

A wide-angle photograph of a turbulent ocean with white-capped waves under a clear sky. The image is split horizontally, with the top half showing the surface and the bottom half showing a darker, more textured view of the water.

Challenging wind and waves

Linking hydrodynamic research to the maritime industry

Barge Truck

Overall rapport, overzicht alle deelstudies

Eindrapport

Report No. : 22906
Date : 13 December 2010

Barge Truck

Overall rapport, samenvatting van de deelstudies

MARIN order No. : 22906
Ship model No. : -
Propeller model No. : -
Model scale ratio : -

Ordered by : Agentschapnl

Reference :

Reported by : ir. H.G. Blaauw
Reviewed by : G. Gaillarde, MSc

CONTENTS

1	Inleiding	3
1.1	SBIR Fase I	4
1.2	SBIR Fase II	5
2	Haalbaarheidsonderzoeken en milieu	8
2.1	Logistieke haalbaarheid	8
2.2	Milieuaspecten	10
2.3	Conclusies	11
3	Resistance and propulsion	13
3.1	Introduction	13
3.2	Particulars of the Barge Truck	13
3.3	Review of calculations	16
3.4	Presentation and discussion of results	17
3.5	Conclusions	23
3.6	Conclusies	23
4	Propeller Design	25
4.1	Introduction	25
4.2	Review of calculations	25
4.3	Presentation and discussion of results	27
4.3.1	Propulsion concepts in consideration	27
4.3.2	Evaluation on low speed and bollard pull performance	28
4.3.3	Evaluation of free sailing propulsive efficiency	36
4.3.4	Maneuverability assessment	39
4.4	Conclusions	41
4.5	Conclusies	41
5	The manoeuvring study	43
5.1	Conclusions	45
5.2	Conclusies	46
6	Koppelingen	47
6.1	De aanloop van het onderzoek	47
6.2	Standaard plan van aanpak van IMC	47
6.3	De technische uitwerking van het nieuwe koppelsysteem	49
7	Energiehuishouding	52
7.1	Inleiding en doelstelling	52
7.2	Energiehuishouding aan boord	52
7.3	Emissie van dieselmotoren	54
7.4	Alternatieven voor diesel als brandstof	55
7.5	Vergelijk varianten met beoordelingscriteria en conclusies	57
7.6	Samenvatting	58
8	Design	60
8.1	Programma van eisen en fasering	60
8.2	Ontwerp overwegingen	60
8.3	Conclusies	63

1 INLEIDING

De meeste steden in Nederland zijn middels vaarwegen aan elkaar gekoppeld. Tot in het begin van de vorige eeuw (zeg tot 70 a 80 jaar geleden) vond het transport tussen de bevolkingscentra middels schepen plaats. Dit transport werd voor verreweg het grootste deel overgenomen door vrachtwagens. De kleine vaarwegen bonden aan economisch belang in.

Het betreft met name de vaarwegen van klasse I, II en III¹: schepen van 40 tot 80 m, van 250 tot 1250 ton. Dit zijn Spitsen, Kempenaars, Hagenaars, Dortmund-Eems kanaalschepen en Verlengde Dortmunders. In de Nederlandse praktijk van het gebruik van vaarwegen is het zo dat in verreweg de meeste gevallen met schepen kan worden gevaren van 50 m lang en 6,7 m breed (formaat grote Spits dan wel kleine Kempenaar).

In de loop van de afgelopen decennia werden een aantal problemen steeds meer manifest. Een aantal belangrijke daarvan zijn:

- De vraag naar transport is zeer sterk toegenomen en het eind van de groei is nog lang niet in zicht.
- Er kunnen om een aantal redenen niet voldoende asfaltwegen worden gerealiseerd. Dit is niet alleen een zaak van financiën, maar zeker ook van ruimte- beslag en invloed op het milieu van de uitlaatgassen.

Ook maatschappelijk ontstaat er steeds meer weerstand tegen de uitstoot van vervuilende gassen en deeltjes. Zo ontwikkelen een aantal steden als steeds restrictievere normen voor wat betreft het rijden en varen in het centrum. Voor de rondvaartboten in de stad Amsterdam geldt al dat de nieuwe schepen alleen nog maar emissieloos mogen varen in de stad. Ook de stad Rotterdam gaat eisen opleggen aan de uitstoot van de binnenschepen die de stad passeren.

Indien deze aspecten op een rij worden gezet lijkt het op zijn minst een goed idee om uit werken of het gebruik van deze kleinere vaarwegen met succes geïntensiveerd kan worden. De kleine vaarwegen strekken zich veelal uit tot diep in de binnensteden. Hiertoe is een logistiek concept ontwikkeld bestaande uit relatief kleine schone duwboten in combinatie met koppelbare eenheden. Deze Barge Trucks moeten zowel in staat zijn om zo kosteneffectief mogelijk te varen als ook het milieu zo weinig mogelijk te belasten.

De kleinste eenheid (de enkele geduwde barge) moet kunnen worden ingezet in de kleinste vaargebieden, zoals de kanalen in de polders en ook bijvoorbeeld de oude Zuidwillemsvaart.

Deze BT's kunnen **lokaal** met (bijvoorbeeld) een kleine pumpjet worden voortgestuwd zodat ze zelf een sluis kunnen passeren dan wel zichzelf kunnen verhalen. De gekoppelde eenheden worden voortgestuwd door de duwboot en kunnen zo groot worden gemaakt als de vaarwegen lokaal toelaten. Daarbij kan gedacht worden 2 X 1 eenheden (twee bakken achter elkaar met een duwboot) of zelfs aan nog grotere eenheden zoals bijvoorbeeld een 2 X 2 combinatie.

¹ Zie: *Nieuwe klasse-indeling van de huidige actieve binnenvaartvloot*, 15 November 2003, AVV



Figuur 1: Artist impression van de Barge Truck

Door de logistiek over de kleine vaarwegen als voorgesteld vorm te geven worden een groot aantal voordelen bereikt. Dit betekent in grote lijnen dat:

- er zich grote logistieke voordelen voordoen vanwege de ontkoppeling van het varen en het proces van laden/lossen. De grootte van de eenheden kunnen worden aangepast aan de maximaal mogelijke afmetingen van de lokale infrastructuur.
- er exploitatievoordelen zijn daar de duwboten zeer weinig wachttijd hebben.
- de schepen hydrodynamisch worden geoptimaliseerd zodat de vervoersprestatie met een minimum aan brandstof kan worden geleverd

De voorgestelde ontwikkelingen zijn gericht op het optimaliseren van het varen door kleine vaarwegen. Deze optimalisaties houden niet alleen een logistieke optimalisatie in (optimaal benutten van de infrastructuur) maar ook een technische. Het deur naar deur exploitatiemodel van MARIN combineert de logistieke en de milieucomponenten.

De logistieke optimalisatie is geheel uitgewerkt in Fase I van SBIR. Daarbij wordt niet alleen aan de kosten maar ook aandacht besteed aan de belasting van het milieu. Bij het minimaliseren van de uitstoot wordt niet alleen gedacht aan het reduceren van CO₂ maar ook aan overige ongewenste gassen zoals NO_x en aan fijnstof (PM).

De technische optimalisatie wordt gerapporteerd in SBIR Fase 2. De inhoud van beide fasen wordt nu eerst kort behandeld.

1.1 SBIR Fase I

Het Barge Truck concept werd daadwerkelijk ondersteund door de Huis Vuil Centrale te Alkmaar (HVC) en Meppel Container Services (MCS). Beiden werken samen met DLD om de bestaande wijzen van transporten van huishoudelijk en industrieel afval van de polders (Noordoostpolder en Flevoland) naar Alkmaar in kaart te brengen, door te rekenen op kosten en uitstoot en alternatieve oplossingen gebaseerd op de inzet van de Barge Truck vast te stellen en eveneens – op dezelfde wijze- door te rekenen.

De eerste resultaten leken bevredigend en besloten werd dan ook in mei 2008 om aanvullende berekeningen te maken. De resultaten tot op dat moment zijn tevens in het kader van SBIR fase 1 gerapporteerd. De voorstudies waren eind 2008 bevredigend afgerond. De resultaten zijn richtinggevend voor de in fase 2 van SBIR uit te voeren technische realisaties.

Daarnaast zijn er goede contacten met Hendrix UTD uit Helmond. Het bedrijf maakt veevoeders op basis van een grote hoeveelheid geïmporteerde agrostromen. Veel van de aanvoer komt uit de haven van Amsterdam. De transporten over water worden overwegend door Spitsen en kleine Kempenaars uitgevoerd. Hendrix voorziet echter dat bij deze transporten de continuïteit in gevaar komt en zoekt naar nieuwe wijzen van transport. Bovendien wil Hendrix meer greep op de tarieven van het transport. De Barge Truck lijkt daarbij een goed alternatief. De maximale diepgang van de barge kan daarbij echter slechts 1,9 m zijn vanwege het feit dat een bestaande sluis gepasseerd moet worden die een grotere diepgang niet toestaat. De bakken moeten zelf in staat zijn om de sluis te passeren en af te meren aan de direct er achter gelegen losplaats. Ook moeten de bakken zichzelf kunnen verhalen. Op de Zuidwillemsvaart kan met een enkele bak gevaren worden naar Tiel, en van daar kan met grotere eenheden (2 bakken achter elkaar) naar Amsterdam.

De haalbaarheidsstudies samen met deze geïnteresseerde bedrijven werden in de loop van 2009 definitief en met positieve uitslag afgerond.

Tijdens het vaststellen van de haalbaarheid werd aandacht besteed aan de kosten maar ook aan de uitstoot. De oplossingen kunnen daarmee onderling ook worden vergeleken op basis van deze twee grootheden.

Bij deze vergelijking wordt in eerste instantie uitgegaan van bestaande trucks en schepen. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat het vervoer over water qua productie van CO₂ iets beter scoort. Hoe groter de eenheden hoe beter dat wordt. Echter, de schepen kunnen door toepassing van moderne technieken vrijwel emissieloos worden gemaakt: dit aspect wordt ook uitgewerkt in Fase 1, zie daartoe het volledige verslag.

Na gebleken haalbaarheid van de 2 concepten werd besloten om Fase II uit te gaan voeren.

1.2 SBIR Fase II

Bij de volgende fase, het technisch optimaliseren van de Barge truck werd door het projectteam gesteld dat:

- het concept zo aantrekkelijk is dat het zal worden geïmplementeerd
- het verbruik van energie zo laag mogelijk is
- alle uitstoten worden geminimaliseerd
- de duwbakken zelfvarend zijn (met een kleine actieradius) en goed manoeuvreerbaar
- de eenheid als geheel goed manoeuvreerbaar is
- het koppelen eenvoudig kan worden uitgevoerd.
- de gekozen concepten ook in economische zin haalbaar zijn

MARIN is verantwoordelijk voor de opzet en het management. Daaronder wordt ook begrepen het rapporteren van de eindresultaten naar Senternovem, verzorgen van rapportages het bewaken van de interacties en de voortgang en het opstellen van financiële en inhoudelijke voortgangsrapportages.

Hydrodynamica: weerstand, voortstuwing en manoeuvreren

De hydrodynamische aspecten die een rol spelen bij het ontwerp, zoals daar zijn:

- a) vorm van de bakken
- b) aansluiting van de bakken onderling
- c) aansluiting van duwboot en duwbakken
- d) vorm van de duwboot
- e) weerstand en voortstuwingsaspecten, inclusief
- f) de keus van de voortstuwingsapparaten van boot en bakken en tot slot
- g) de manoeuvreereigenschappen van de bakken afzonderlijk en van de eenheid

worden uitgevoerd door de combinatie DST uit Duisburg en Marin uit Wageningen.

Energiehuishouding

Bij het ontwerp van de machinekamer spelen een aantal belangrijke aspecten een rol, zoals het zo efficiënt mogelijk omgaan met de energie, het kiezen van de meest gewenste brandstof en de beste motorconfiguratie. Marine Services Noord (MSN) heeft het deelproject geleid en liet zich daarbij adviseren door TKVeerhaven.

Koppelingen

IMC bv uit Rotterdam heeft de koppelingen van de duweenheden ontwikkeld. IMC is een innovatief bedrijf uit Rotterdam dat zich vooral richt op maritieme ontwikkelingen.

Ontwerp

Alle resultaten van de deelprojecten zijn invoer voor de ontwerpen van Gaastmeer. Al deze studies komen dus samen in het ontwerp van Gaastmeer engineering.

Op basis van de eindresultaten (van zowel de haalbaarheidsstudies als de technische uitwerking) zullen de potentiële gebruikers beslissen om daadwerkelijk in het concept gaan investeren.

Het project is vanaf het begin ondersteund door een stuurgroep. Deze stuurgroep heeft het proces actief beïnvloedt hetgeen heeft geleid tot praktische en direct toepasbare oplossingen.

Stuurgroep en werkgroep:

In de stuurgroep namen deel:

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Riaart van Engeldorp | HVC, Alkmaar |
| 2. Jack Kuin | namens HVC |
| 3. Nutte Visser | MCS, Alkmaar |
| 4. Michel van Dijk | Inland terminal Veghel |
| 5. Robert Koster | Hendrix bv |
| 6. Pieter van de Bas | EVO |
| 7. Be Boneschansker | TKVeerhaven |

De invloed van de stuurgroep bleek van grote waarde voor het welslagen van het project.

Het project werd uitgevoerd door:

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| a. Henk Blaauw | ² MARIN, coördinatie |
| b. Jeroen Markus | Marin, logistiek |
| c. Rien de Meij | Marin, weerstand en Voortstuwing |
| d. Klaus Biecker | DST, weerstand en voortstuwing |
| e. Jie Dang | Marin, ontwerp schroef |
| f. Freek Verkerk | Marin, manoeuvreren |
| g. Peter Jansen ,Henk Oudman | MSN, Energiehuishouding |
| h. Markus van de Laar | IMC, koppelingen |
| i. Heine Deelstra | Gaastmeer engineering, ontwerp |

² DLD is per 1 jan 2009 overgenomen door MARIN. Het project is verder geheel onder de verantwoordelijkheid van MARIN uitgevoerd.

Het nu voorliggende verslag geeft de resultaten van het Barge Truck project weer en is samengesteld op basis van de inhoud van alle deelverslagen. Indien gewenst kan ten allen tijde over de deelverslagen worden beschikt.

De deelverslagen omvatten achtereenvolgens:

1. **Logistiek en milieu (hoofdstuk 2)**
2. **Weerstand en voorstuwing (hoofdstuk 3)**
3. **Keus van de schroeven (hoofdstuk 4)**
4. **Manoeuvreren (hoofdstuk 5)**
5. **Koppelingen (hoofdstuk 6)**
6. **Energiehuishouding (hoofdstuk 7)**
7. **Ontwerp (hoofdstuk 8)**

2 HAALBAARHEIDSONDERZOEKEN EN MILIEU

2.1 Logistieke haalbaarheid

Het SBIR project: “ **Barge Truck**” werd in 2008 door Senternovem in opdracht gegeven aan DLD. Doel van het project was om het gebruik van de kleine vaarwegen te intensiveren.

DLD is met ingang van 1 januari 2009 overgenomen door MARIN. Fase II is dan ook voor het grootste deel onder de verantwoordelijkheid van Marin uitgevoerd. De eindresultaten worden dan ook onder de naam van MARIN naar buiten gebracht.

In het kader van dit project zijn een aantal voorstudies verricht bedoeld om de logistieke en financiële haalbaarheid van het project te toetsen. Deze voorstudies omvatten achtereenvolgens:

A Haalbaarheidsonderzoek: “CO2 optimalisatie afvaltransporten”.

Dit onderzoek is uitgevoerd onder leiding van MCS bv, Nutte Visser, en betreft het transport van huisvuil en industrieel afval van de NO Polder, Flevoland en Noord Holland naar de HVC te Alkmaar.

Het project werd uitgevoerd door DLD, H. G. Blaauw en opgeleverd op 5 maart 2008. Het is het eerste verslag dat als input diende voor de SBIR studie met betrekking tot revitalisatie van de kleine vaarwegen.

B Schoon varen,

Dit verslag is een vervolg op het voorgaand: de CO2 optimalisatie van afvaltransporten. Het verslag is opgesteld voor: HVC in combinatie met MCS en vormt tevens input voor de SBIR Fase I rapportage. Het onderzoek werd begeleid door Riaart van Engeldorp (HVC), Jack Kluin (HVC³), Nutte Visser (MCS⁴), Meeuwis van Wirdum (Senternovem), Be Boneschansker van TKVeerhaven (vanwege de grote ervaring van het omgaan met duweenheden), Michel van Dijk van Inland terminal Veghel en werd door DLD opgeleverd 17 juni 2008.

C Barge-Truck (BT concept), ontwerp van een logistiek systeem op basis van koppelbare duwbakken, SBIR Fase I

Voorgaande haalbaarheidsonderzoekingen vormden de basis van de genoemde SBIR regeling. In eerste aanleg werd aandacht besteed aan de HVC problematiek, aan het transport van veevoeder van Amsterdam naar Helmond (Nutreco) en de stedelijke distributie van Amsterdam. De EVO (Pieter van der Bas) werd betrokken bij de uitvoering van het veevoedertransport en de stedelijke distributie van Amsterdam. Het verslag werd opgeleverd 20 juni 2008 aan dezelfde stuurgroep als onder B genoemd.

D Haalbaarheidsstudie huisvuilcentrale Alkmaar

De laatste berekeningen voor de HVC werden uitgevoerd op basis van nieuwe inzichten die met name de verwachte mogelijkheden met betrekking tot het transport vanuit de polders. Deze laatste berekeningen werden door MARIN (H.G. Blaauw, J. Markus) opgeleverd op 29 september 2009, opgeleverd.

E Barge-truck, een goed alternatief?

³ Huis Vuil Centrale Alkmaar

⁴ Meppel Container Services, de belangrijkste vervoerder van de afvaltransporten van de HVC

Tot slot studeerde J. Markus af op het vervoer van veevoeder van Nutreco, een initiatief van Hendrix UTD te Helmond (Robert Koster). De afstudeerscriptie is gemaakt bij MARIN en werd opgeleverd 5 juni 2009

Uit bovenstaande blijkt dat de haalbaarheid voor de transporten van huisvuil van de Noordoostpolder en Flevoland al eind 2007 is begonnen.

De eindresultaten van de eerste studie bleken zo interessant dat HVC en MCS besloten om de onderzoeking verder uit te breiden. Deze uitbreiding werd ook gefinancierd door HVC en MCS samen.

In het kader van SBIR werden beide verslagen vervolgens samengevat en gerapporteerd. Deze SBIR (Fase I) rapportage omvatte daarnaast ook het transport van veevoeder van Hendrix UTD uit Helmond en de stedelijke distributie van Amsterdam. De stedelijke distributie van Amsterdam bleek op het moment van onderzoek niet haalbaar dus dit spoor is verder verlaten.



Figuur 2: Geografische verspreiding vestigingen Nutreco

De veevoederstudie werd voortgezet door J. Markus in het kader van zijn afstuderen. De inzet van de Barge Truck bleek niet echt zinvol voor een vestiging vanwege het feit dat er onvoldoende transport van lading voorhanden was. Daarop ontstond het idee om de aanvoer van veevoer van alle vestigingen van Nutreco uit te werken en dat bleek veel beter te werken.

Tot slot werden de laatste berekeningen gemaakt voor HVC en MCS op basis van nieuwe inzichten.

Op basis hiervan werd geconcludeerd dat het haalbaar is om de containers met huisvuil te transporteren met 3 bakken en 1 duwboot. De gekozen afmetingen van de bakken zijn: lengte, 50 m, breedte 6,7 m breed met een diepgang van (max) 2,8 m. De duwboot heeft een lengte van 13 m en een breedte van 6,7 m.

Ook de haalbaarheid van de transporten van en naar Brabant zagen er veelbelovend uit. Voor de Brabant case werden dezelfde afmetingen geselecteerd.

Op basis van de haalbaarheidsstudies werd besloten om Fase II in te gaan, de technische optimalisatie van de Barge Truck.

2.2 Milieuaspecten

Tijdens de haalbaarheidsonderzoeken heeft het exploitatiemodel een belangrijke rol gespeeld. In het exploitatiemodel worden naast de kosten van het overall transport tevens de uitstoten uitgerekend. Op basis van de resultaten zijn keuzes gemaakt over de beste wijze van transport. Bij het vaststellen van de beste wijze van werken speelt de belasting van het milieu een belangrijke rol. Vanwege dit grote belang worden deze aspecten in het volgende kort behandeld. Het eerste element is de optimalisatie van de scheepsromp gegeven het bekende vaargebied en beladingtoestand (design for service). Vervolgens komt de juiste keus van de schroeven aan de orde en het manoeuvreergedrag. In het verlengde hiervan komt de binnenkant van het schip, aan de beurt, de energiehuishouding.

Transport of waste to Alkmaar	reduction	exhaust in tons per year			
		CO2	Nox	PM	Sox
all transport via road		1281	7.8	0.13	0.01
all transport via water		998	11.7	0.22	1.09
related to road transport in percents		78%	150%	169%	15571.43%
diesel electric engines	7% over all	928.14	10.881	0.2046	1.0137
clean diesel	30% less PM, no Sox	928.14	10.88	0.14	0.00
after treatment	85% less Nox, no PM	928.14	1.63	0.00	0.00
gas engines with generators	5% less CO2, no Nox, no PM, no Sox	881.73	0.00	0.00	0.00
same, with bio gas	90% less CO2	88.17	0.00	0.00	0.00
related to road transport in percents		7%	0%	0%	0%

Table 1: Cleaning up Ships with respect to exhaust gasses

Uit de tabel blijkt dat indien er voor wordt gekozen om alle containers over het water te transporteren (waarbij wel voorttransport over de weg plaats moet vinden) de CO2 uitstoot met iets meer dan 20% wordt gereduceerd, maar dat voor de overige uitstoten vervoer over de weg schoner is. In dit geval wordt er van uit gegaan dat de duwboot wordt voortgestuwd met gewone dieselmotoren. Door verdergaande maatregelen te treffen kan de uitstoot fors worden gereduceerd, bijvoorbeeld door het toepassen van:

1. Diesel elektrische machines
2. Toepassing van schone diesel
3. After treatment
4. Gasmotoren op aardgas
5. Gasmotoren op biogas



Figure 3: Retrofitting met SCR and PM filter, VT, ms Victoria.

Door invoering van de eerste drie mogelijkheden wordt het resultaat als veel beter, zie de rij Alles over water schoonst. Het transport kan nog veel beter door gebruik te maken van LNG en nog beter door gebruik te maken van bio gas in vloeibare vorm. In dat geval is er bijna sprake van een emissieloos schip.

Varen op vloeibaar aardgas of bio gas is niet opgenomen in de regels die gelden voor de constructie van binnenschepen. Echter, het is mogelijk om aardgas als brandstof te gebruiken maar in dat geval dient er voor een specifiek schip waarvoor de plannen bestaan toestemming worden gevraagd. Dit kan bij Lloyds te Rotterdam, zie het deelperslag over Fase 1, logistiek en milieu. De procedure neemt ongeveer 3 maand tijd en zal de voortgang in de bouw daarmee niet behoeven te belemmeren.

2.3 Conclusies

Uit de logistieke haalbaarheidstudies kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Conclusies met betrekking tot de huisvuiltransporten

1. Het transport van huisvuil van de polders kan op kosteneffectieve wijze worden uitgevoerd met een kleine duwboot en drie bakken, Klasse II.
2. Door het transport zo uit te voeren wordt er ca 20% minder CO₂ geproduceerd dan het geval is bij transport over de weg. Zonder verder maatregelen is vervoer over de weg voor de overige uitstoten minder belastend voor het milieu.

Conclusies met betrekking tot de veevoedertransporten

- i) Indien Nutreco er voor zou kiezen om alle aanvoer van grondstoffen over water met het BT concept te doen plaatsvinden dan is toepassing van dit concept financieel en operationeel aantrekkelijk.

- ii) De beste keus voor Nutreco is in dat geval gebruik te maken van een mix van grote en kleine duwboten in combinatie met hubs voor bakken. De grote duwboten kunnen daarbij 4 bakken duwen en de kleine 1 of 2.

Conclusies met betrekking tot de milieubelasting

- A. Indien met schone diesel wordt gevaren en gebruik wordt gemaakt van SCR en PM filters, wordt vervoeren over water al de schoonste oplossing.
- B. Indien de voortstuwing geschiedt op basis van LNG of, nog beter, bio gas dan wordt de qua milieu verreweg de beste oplossing gekozen. In geval van biogas gaat zelfs de uitstoot van CO₂ vrijwel naar nul: het emissieloze schip.
- C. Het is mogelijk om met LNG dan wel vloeibaar bio-gas te varen. Per schip dient ontheffing van de regels te worden aangevraagd bij IVW. De procedure neemt 3 tot 6 maanden in beslag.

3 RESISTANCE AND PROPULSION

3.1 Introduction

As part of the SBIR programme “Revitalization of small inland waterways”, Senter Novem No. 08205, MARIN performed a speed-resistance prediction and a hull form optimisation programme for a Barge Truck configuration of a single barge and for two barges coupled in length at the transoms in combination with a pusher tug. This combination is referred to as the Barge Truck.

The objective of the project was to optimise the initially designed hull form as developed by Gaastmeer Design BV (Gaastmeer) and to predict the calm water performance of the Barge Truck in shallow water. The two barges are connected with their near-flat transoms. Bow and stern of the two-barge train thus are always equal. As any change at the bow also means an identical change at the stern, it is impossible to optimise bow and stern separately for wave and viscous resistance, respectively. Both resistance components were taken into account simultaneously in the design process.

For the optimisation of the hull lines potential flow calculations were made using MARIN’s potential CFD code RAPID. The resistance calculations are made with the MARIN program BAKRES based on and in correlation with similar vessels available in the database of test results. After this optimisation, the mathematical model PARNASSOS has been used to analyse the viscous flow aspects, such as flow separation and the occurrence of vortexes along the hull.

Based on systematic model tests Development Centre for Ship Technology and Transport Systems (DST) then determined a propulsion prediction for the canal stretches to be passed and shallow water regions. By means of the optimised barge shape, DST then re-calculated the flow around the single-track train with two barges in line and determined the propulsion prediction.

In this report descriptions are given of the ship, the appendages and the propulsors; it includes a review of the calculations that have been made for this project.

Throughout this report SI units are used unless indicated otherwise.

3.2 Particulars of the Barge Truck

Barges

The preliminary design covered two types of barges, a bulk barge and a container barge. The main particulars and the hull forms of these two alternatives are identical and are tabulated below:

Length between perpendiculars	50.00	m
Breadth moulded	6.65	m
Depth	4.35	m
Design draught moulded	2.55	m
Displacement volume moulded	802	m ³

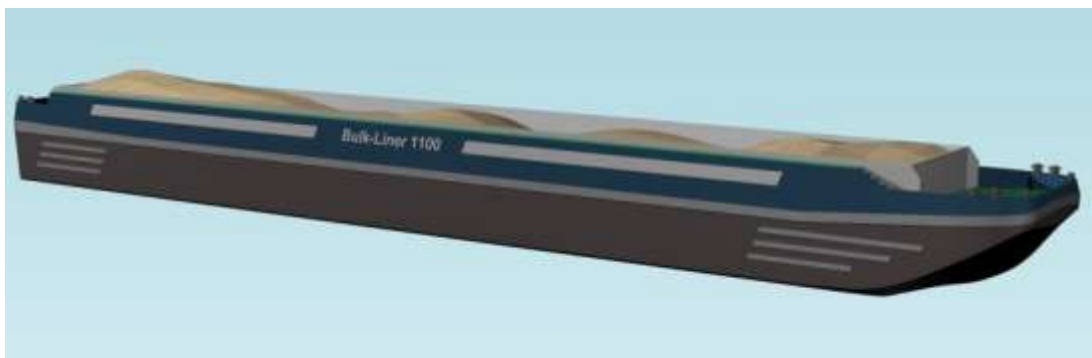


Figure 4 – Impression of the Bulk barge



Figure 5 – Impression of the Container barge

The hard points for the hull optimisation, based upon the general arrangement of the cargo hold are:

Aft, horizontal distance from APP	2.000	m
Aft, vertical distance from Baseline	0.600	m
Aft, horizontal distance from Centreline	2.600	m
Forward, horizontal distance from APP	45.000	m
Forward, vertical distance from Baseline	0.10	m
Forward, horizontal distance from Centreline	2.70	m

The main particulars of the combined barges (transom to transom) are:

Length between perpendiculars	100.00	m
Breadth moulded	6.65	m
Design draught moulded	2.55	m
Displacement volume moulded	1603	m ³

Pusher tug

The pusher tug was developed in two alternative versions of different length. The main particulars of the pusher tug are tabulated below:

Length over all	10.00 / 13.00	m
Breadth moulded	6.30	m
Design draught moulded	1.60	m

Displacement volume moulded	70 / 83	m ³
-----------------------------	---------	----------------



Figure 6 – Impression of the 13 m Pusher tug

The table below indicates some relevant propulsion details of each barge:

Engine type	Diesel	-
Engine power	1 x 195	kW
Engine rotation rate	2300	RPM
Number and type of propulsors	-	-
Shaft line / gearbox losses (estimated)	-	%

The table below indicates some relevant propulsion details of the pusher tug:

Engine type	Diesel	-
Engine power	2 x 265	kW
Number and type of propulsors	2 azimuthing thrusters	-
Propeller diameter	0.875	m
Thruster gear losses (estimated)	4%	%

The two combined barges (transom to transom) should be able to attain a trial speed of 7.0 knots at the design draught of 2.55 m and in a water depth of 3.50 m, at a shaft power of 85% MCR in the pusher mode, thus with an available delivered power of $P_d = 2 \times 260 \times 0.85 \times 0.96 = 424$ kW.

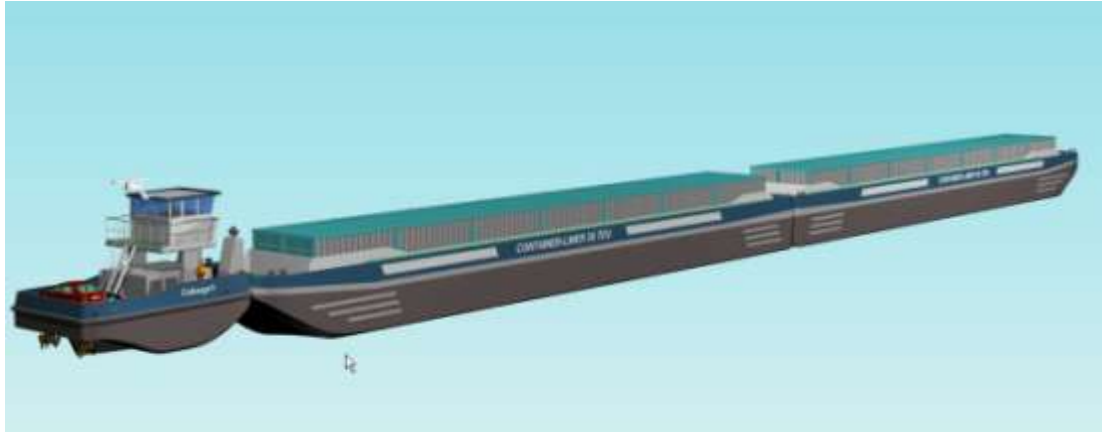


Figure 7 – Impression of the Barge Truck (Container version, 2 barges)

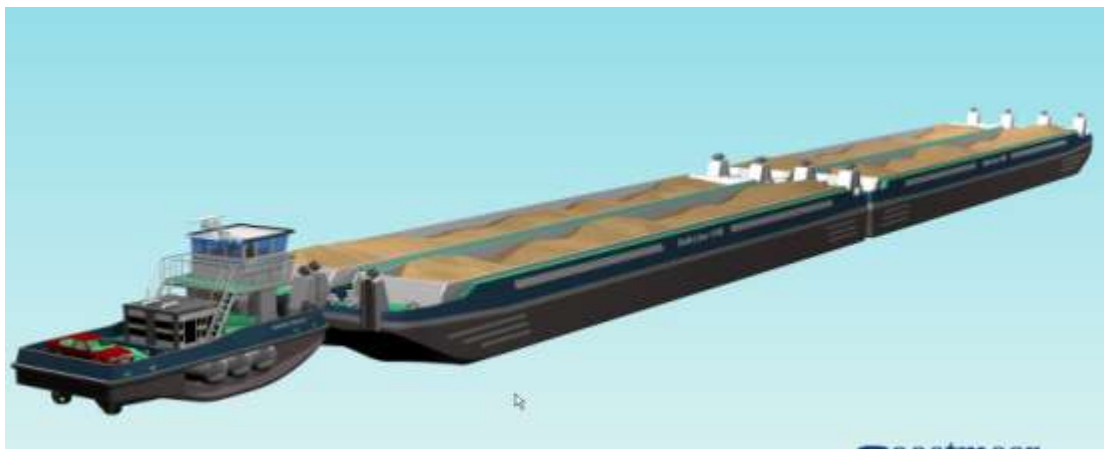


Figure 8 – Impression of the Barge Truck (Bulk version, 4 barges)

3.3 Review of calculations

Review of the potential flow calculations

The following potential flow calculations were made as part of the optimisation process and the resistance calculations:

Computer program:	Description	ID:
DESP	Initial lines, single barge, 24/04/09	Initial lines
BAKRES	Initial lines, single barge, 24/04/09	Initial lines
RAPID	Initial lines, combined pusher tug & two barges	C10551
BAKRES	Revised lines, two coupled barges, 29/07/09	C1055a

C10551 computations were done for ship draughts of $T = 2.55$ m and $T=1.90$ m, on even keel, for a ship speed of 13 km/uur in 5.0 m water depth. Additional calculations were made for the 3.5 m water depth but no converging solution was derived.

Review of the viscous flow calculations

Several Computational Fluid Dynamics (CFD) computations have been carried out using MARIN's viscous flow code PARNASSOS.

Computer program:	Drawing Nr.:	ID:
PARNASSOS	Initial lines, single barge, 24/04/09	Initial lines

PARNASSOS	Revised lines, two coupled barges, 29/07/09	C1055a
PARNASSOS	Final lines, two coupled barges, 23/12/09	C1055b
ANSYS (DST)	C1055b lines, combined with pusher tug initial lines	DST

The computations were done for the following conditions:

1. Double body flow for the bare hull of two barges, connected transom to transom.
2. Free surface flow for the bare hull.
3. Each computation was done for a ship draught of $T = 2.55$ m on even keel and for a ship speed of 7 knots in 3.5 m water depth.
4. All these cases have been computed for full-scale.

Thus various revised hull lines were calculated for the same (1) condition.

Additional CFD calculations for the full Barge Truck configuration consisting of a pusher tug and two barges were made by DST.

3.4 Presentation and discussion of results

Potential flow calculations (MARIN)

The hull form optimisation has been performed using RAPID. This program computes the wave pattern and the non viscous flow along the hull to fully non-linear boundary conditions on the water surface, see Figure 9. In the calculations, the dynamic trim and sinkage of the vessel have been computed and the hull attitude has been adjusted accordingly, to take into account their effect on the wave making. It is to be noted that the calculated flow does not include viscous effects or wave breaking.

The results of the calculations are valid for a ship draught of $T = 2.55$ m with free trim and sinkage and a ship speed of $V_S = 13$ km/uur in a water depth of 5.00 m.

The plot shows the actual dynamic waterline along the hull.

The following notes are to be made to the presentation in the graphs:

- In the wave pattern plot the wave heights have been exaggerated by the magnification factor indicated.
- The isobars on the hull represent the hydrodynamic pressure distribution, and the numbers indicate the non-dimensional pressure coefficient C_P . A low hydrodynamic pressure means a high velocity along the hull, a high pressure a low velocity; in a stagnation point, where the velocity relative to the hull vanishes, $C_P = 1.0$
- The “tufts” represent the flow direction on the hull, but not the magnitude of the velocity. In both types of plots an approximate wave profile along the hull is indicated, and pressure or flow directions above that line are meaningless.
- The selection of the best hull lines was not only based upon the resistance values, but also the pressure distribution and the entire wave profile have been taken into consideration.

The preliminary hull lines of the barge as supplied by Gaastmeer Design were used to compose a configuration consisting of two barges coupled in length at the transoms. This combined hull was denominated as hull form C1055. Next a configuration consisting of a pusher tug and two barges coupled in length at the transoms was composed. This combination was denominated as hull form C10551. With this hull-form potential flow calculations have been carried out.

Order No. 22906
 RAPID No. c10551
 SHIP SPEED 7.0 knots ($Fn = 0.1097$)
 SHIP DRAUGHT AFT 2.55 m
 SHIP DRAUGHT FWD 2.55 m } free trim and sinkage
 WATERDEPTH 5.00 m
 $C_p = 1 - \left(\frac{V}{V_s}\right)^2$

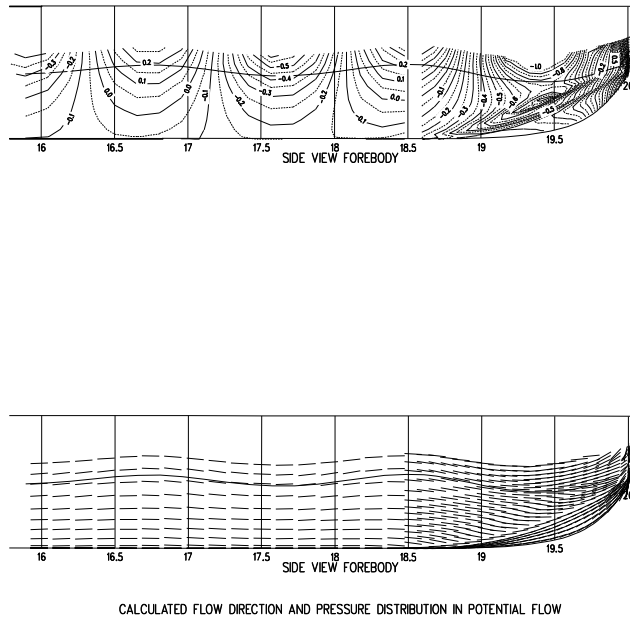


Figure 9: Calculated flow direction and pressure distribution in potential flow

RAPID cannot easily be applied to pontoon bows with 90 deg angle of entrance. Wave breaking is an indispensable effect for such bows and is not taken into account by RAPID. For this reason additional calculations were made with the MARIN program BAKRES based on and in correlation with similar vessels available in the database of the MARIN test results.

The bow of the barge train generates a wave system, accounting for most of the total wave resistance. There is some wave making at the junction, and a modest stern wave system. According to the empirical prediction by BAKRES, at 13 km/hr the wave resistance amounts to 26% of the total resistance, frictional resistance 50%, viscous pressure resistance 11%. The wave resistance is predicted to increase quickly with speed in this range. The numbers are indicative with an uncertainty of about +/-15%.

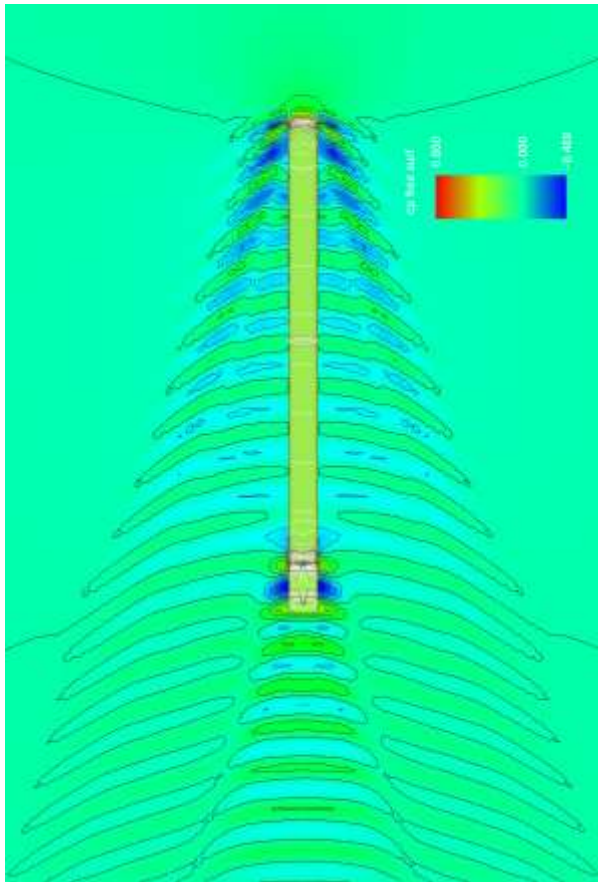


Figure 10: Results with Rapid, optimisation of bow form

Viscous flow calculations (MARIN)

When reviewing the viscous flow calculations that were made for the initial lines, considerable flow separation was found beneath the aft part of the coupled barge. Also a strong vortex builds up at the fore ship, especially at location of the outer hull knuckle. Following these initial calculations MARIN revised the bow lines according to hull form C1055a. For this revised hull, again viscous flow calculations were carried out for full scale, for double body flow.

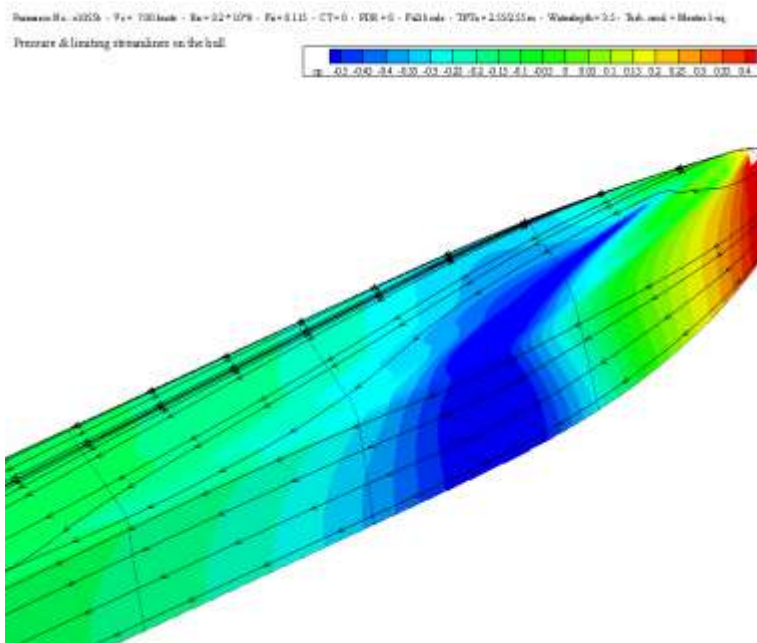


Figure 11: Calculation results with Parnassos, optimisation of the lines.

The viscous flow around a ship hull is governed by the Navier-Stokes equations. For turbulent flows, time-averaging over the turbulent velocity fluctuations needs to be carried out, and the resulting equations for the time-mean velocity field are the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations. To solve these equations, semi-empirical expressions to approximate the effect of the turbulent fluctuations on the mean flow are required; the so-called turbulence model.

The calculations of the viscous flow have been carried out using MARIN's computational program PARNASSOS. This program is based on a finite-difference approximation of the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations. The pressure field and the velocity field in the computational domain are solved iteratively by successive downstream and upstream sweeps. The calculation is ended when the maximum residual of the static pressure coefficient between two sweeps, at any given point in the solution domain, is smaller than 0.0004. The turbulence model used in these calculations is the Menter model. The steps to be made in any viscous flow calculation are:

- Representation of the hull form in our CAD-system GMS, and the design of the extension, which is needed for prediction of the wake.
- Selection of the flow domain around the hull.
- Generation of a 3D grid in the interior of this domain. The entire grid consists of over half a million cells.
- Calculation of the inviscid flow around the hull, in particular the velocities at the outer boundary of the domain, which are imposed as boundary conditions for the viscous flow.
- Solution of the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations.
- Visualisation and analysis of the predicted velocity- and pressure field.

Parnassos No.: c1055b - $V_s = 7.00$ knots - $R_n = 3.2 \cdot 10^8$ - $F_n = 0.115$ - $CT = 0$ - $PDR = 0$ - Full Scale - $TITa = 2.55/2.55$ m - Waterdepth = 3.5 - Turb. mod. = Menter 1-eq.

Axial velocity field (V_x/V_∞)

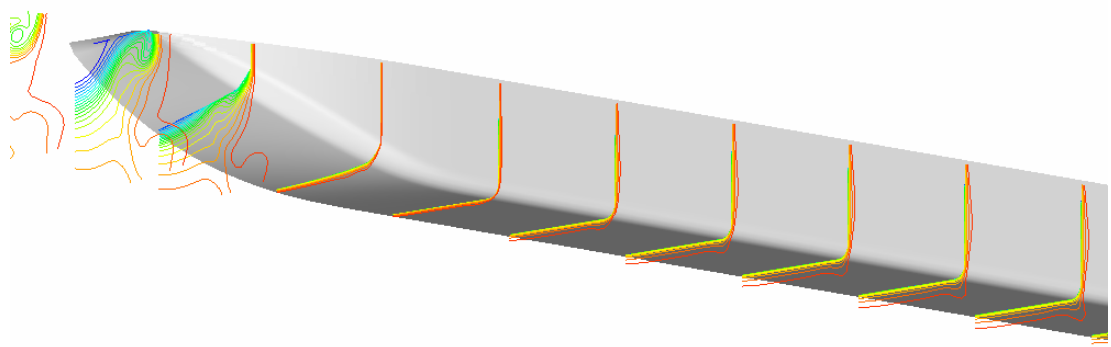
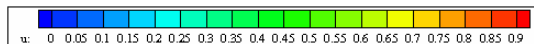


Figure 12: Results of Parnassos: flow around the aft ship

For the calculation, several assumptions have to be made to be able to solve the Navier-Stokes equations. One of them is the extension of the transom towards the water surface, which is needed to predict the wake. On the free surface, the calculated non-

linear wave surface, from Section 4.1 by using the potential method – RAPID, is used as the boundary of the present viscous calculation. The calculation was only made for the bare hull of two barges, coupled in length at the transom. The barges were not fitted with pusher blocks, meaning that the transoms were fitted directly to each other.

All computations were done for a bare hull with a ship speed of 13 km/hr and a draught of 2.55 m even keel in a water depth of 3.50 m.

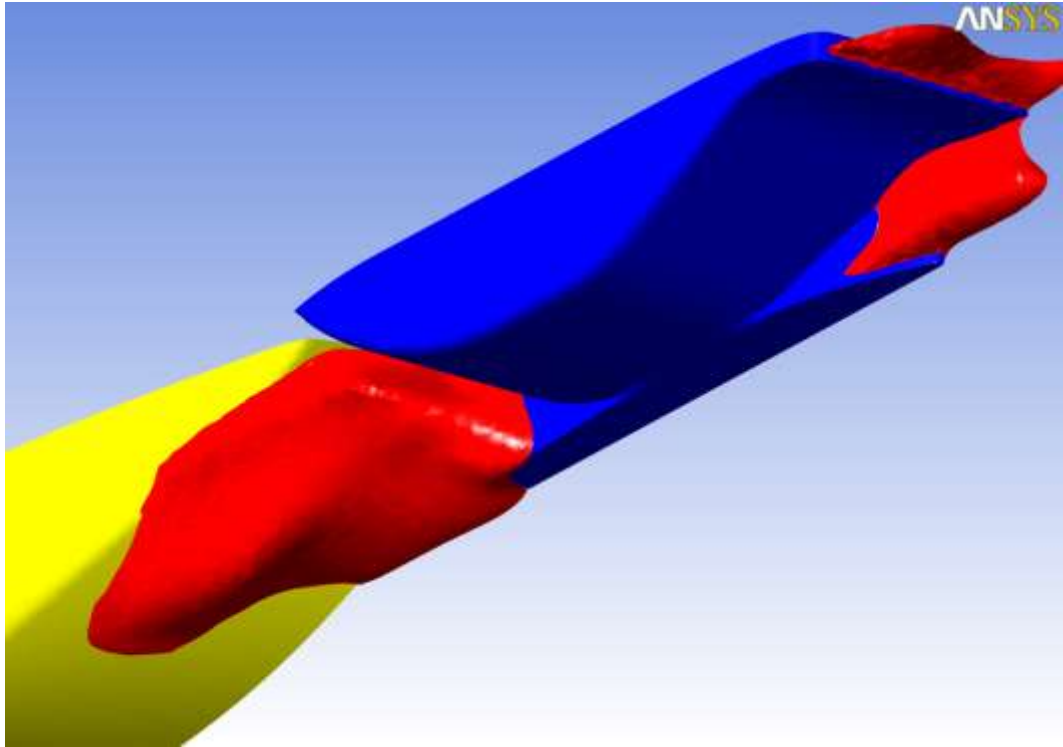


Figure 13: Reverse current areas at pusher tug (10m), DST

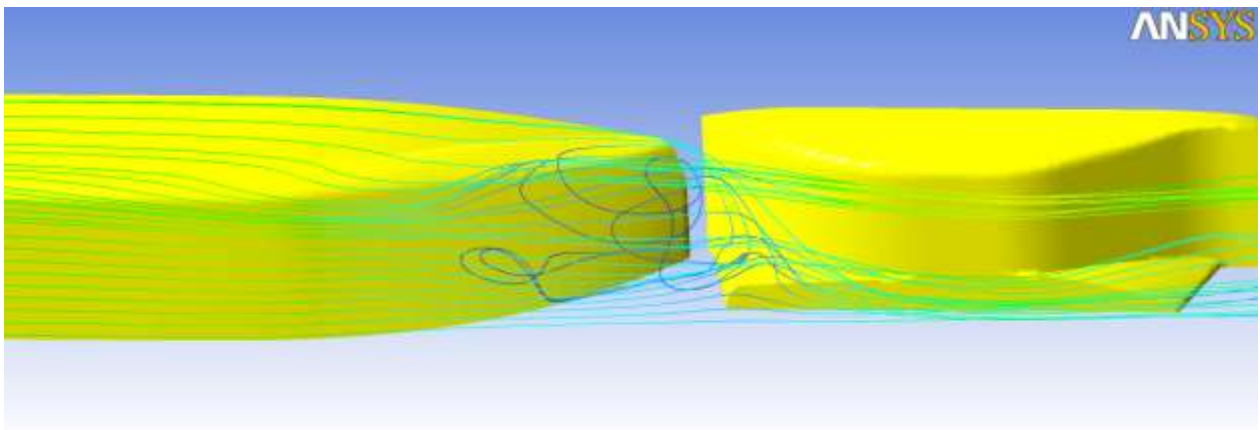


Figure 14: Streamlines at pusher tug (10m), DST

After the first runs, it was decided that better results could be achieved by modifying the general arrangement of the barges by moving the cargo hold further aft by a distance of one metre and by raising the basis of the front row of containers by 0.20 m. With these new constraints further shaping of the bow lines took place, resulting in hull C1055b. For this hull, again viscous calculations were made, using the PARNASSOS software.

The computed resistance coefficients are shown in the following table. All are based on the wetted surface at zero speed for the bare barge hull, being 549.21 m² for full-scale.

Case	1000 C _t	1000 C _f	1000 C _p	R _t (kN)	R _t (%)
Hull C1055	3.184	2.090	1.094	23.3	100%
Hull C1055 a	2.873	2.050	0.823	20.9	90%
Hull C1055 b	2.659	2.045	0.614	19.1	82%

It should be noted that some of the used options in PARNASSOS were not ideal for resistance predictions (explicit symmetry condition, domain size). However, it was concluded that the improvements were considerable.

Viscous flow calculations (DST)

By means of the optimised barge shape DST re-calculated the flow around the single-track train with two barges in line in front of a pusher tug.

The flow around the complete pushed barge train, pusher tug with barges, was calculated for two different configurations. In each case a single-track train with two barges in line was analysed with a pusher tug of 10 m and one of 13 m length. These calculations were done for a speed of 13 km/h and a water depth of 3.50 m.

Both the 10 m and the 13 m long pusher tug show a limited dead water area behind their stern. Also concerning the single-track train a regular inflow to the propulsion unit area is to be expected.

Propulsion calculations (DST)

Based on the resistance results from the CFD calculations, the required propulsive power for the Barge Truck configuration was calculated.

Propulsion diagrams were derived from systematic model tests. In this connection Europe IIb barges, having a similar hull form compared to those of the Barge Truck, were analysed with a twin screw pusher tug.

Propulsion values of the prediction were corrected in a first step for the blockage effect resulting from model tests by conversion to a waterway with an infinite breadth. A second calculation step corrected the speed value for increased blockage encountered in the narrow canal sections.

Water depth (H) within different operating areas for altered configurations:

	Canal width 32 m	Laterally unrestricted water	
Single-track, two in line	H= 2.3 m	H= 4 m	H= 6 m
Double-track, two in line	H = 2.3 m	H= 4 m	H= 6 m

Trim of the pusher tug

For the pusher resistance it is best to have its transom slightly emerged, irrespective of the loading condition of the pusher tug. That means that the pusher tug with full bunkers trims should be trimmed down by the bow and the empty tug should be trimmed down slightly astern. Supply tanks and possibly necessary ballast tanks are to be arranged accordingly.

Considering the short length of the pusher tug, the low buoyancy of the stern and position of the heavy propulsion units, it will certainly be difficult to find out the best possible weight distribution.

For this, it will be advisable to discuss the sense and the size of the stern anchor device with the appropriate public authorities, as this additional weight at the stern will not improve the trim situation. For instance, the size of the anchor device could allow mooring the pusher tug or the pusher tug and a barge. In general, however, anchors of the barges are used in case of a pushed barge train.

3.5 Conclusions

The following conclusions summarise the findings of the present project:

- Large improvement was gained by the hull form optimisation. The improvement in the total resistance is about 18%.
- Part of this improvement could be achieved by modifying the general plan of the barges, by moving the cargo hold further aft by a distance of one metre and by raising the front row of containers by 0.20 m.
- Two combined barges (transom to transom) with pusher should be able to attain a trial speed of 7.0 knots at the design draught of 2.50 m and in a water depth of 3.50 m at a rated shaft power of 85% MCR.
- Propulsion prognoses are calculated with ample margin and should be met by the pushed barge train; the more in case of the single-track train, as according to CFD calculations no turbulences spread into the direction of the propellers that could affect propulsion performance. Due to the high thrust load, ducted propellers are recommended to be used on the azimuthing thrusters.

The above conclusions do not in any way supersede the more detailed statements made in the previous chapters and in the tables and figures with results.

3.6 Conclusies

De volgende conclusies zijn een opsomming van de bevindingen in het huidige project:

- Er zijn grote verbeteringen behaald met de rompvorm optimalisatie. De totale weerstand is ongeveer 18% verbeterd.
- Een deel van deze verbetering is behaald door het aanpassen van het algemeen plan van de bakken; het ruim is één meter naar achteren verplaatst en de voorste rij containers is 0,20 m verhoogt.

- Een combinatie van twee bakken (spiegel aan spiegel) en een duwboot zou een proeftocht snelheid van 7 knopen moeten kunnen halen op een ontwerpdiepgang van 2,50 m en een water diepte van 3,50 m, met een benodigd as vermogen van 85% MCR.
- De vermogens voorspellingen zijn berekend met een ruime marge en moeten gehaald kunnen worden door de 'barge train'; dit zou zeker het geval moeten zijn voor een bakken combinatie van een rij breed, de CFD berekeningen laten hier geen verspreiding van turbulentie in de stroming zien welke in de schroeven terecht komt wat het voortstuwingsrendement zou kunnen beïnvloeden. Verder is het advies om buizen toe te passen omdat de schroeven relatief zwaar belast zijn.

De bovenstaande conclusies vervangen niet de gedetailleerde beweringen uit voorgaande hoofdstukken, tabellen en figuren met resultaten.

4 PROPELLER DESIGN

4.1 Introduction

Within the frame work of the barge-truck concept for innovative inland shipping for the European inland waterways, the Maritime Research Institute of the Netherlands (MARIN) was contracted to carried out conceptual studies for performance of the barge-truck combination, with emphasis on different propulsion concepts.

In total 10 different propulsion concepts were selected in the present study, from conventional configuration with fixed shaft propellers in nozzles with rudders, to very contemporary propulsion concepts with fish tails. Both the propulsive efficiency of each of the concepts and also their effects on the maneuverability of the barge-truck combination while using different propulsion concepts have been evaluated.

Calculations have been made to the propulsors with propellers by using MARIN's in-house program DESP. For novel propulsion concepts, calculations were made according to the correlations to model tests and CFD calculations carried out in the past for similar vessels with similar propulsors.

At the end of the report, a summary is provided, and the conclusions of the study are drawn. Figures and pictures of propulsion systems are attached.

Throughout this report, SI units are used unless indicated otherwise.

4.2 Review of calculations

The following is a list of calculations carried out for the present project with information of the results in tables or on figures.

- The calculations made for propulsors with propellers were carried out by using MARIN's in-house program DESP and the results are listed in the tables given above.
- The calculations made for novel propulsion system were made by separate programs, together with correlations to model tests and CFD calculations and studies carried out in the past for similar vessel with similar propulsors at MARIN.
- The summary of all calculations carried out is given in Table 2. The results of all calculations are presented in the report on propeller selection and can be obtained at Marin.

Concepts	Draught barge (m)	Draught Truck (m)	Water depth (m)	Results on pages	
				tables	figures
Fixed shaft – propeller in nozzle	1.90	1.60	5.0	T3	F1
Thrusters with nozzle - push	1.90	1.60	5.0	T4	F2
Thrusters open propellers - push	1.90	1.60	5.0	T5	F3
Thrusters open propellers - pull	1.90	1.60	5.0	T6	F4
Thrusters tandem propellers	1.90	1.60	5.0	T7	F5
Thrusters CR propellers	1.90	1.60	5.0	T8	F6
Thrusters inline propellers	1.90	1.60	5.0	T2	F7
Voith Schneiders propulsors	1.90	1.60	5.0	T2	F8
Whale tail wheels	1.90	1.60	5.0	T2	F9
Fish tail propulsor	1.90	1.60	5.0	T2	F10

Table 2: survey of possibilities for propulsors



Figure 15: Propeller in nozzle with fixed shafts and rudders

4.3 Presentation and discussion of results

4.3.1 Propulsion concepts in consideration

For the present barge-truck project, totally 10 different propulsion concepts were chosen for the study. Those concepts includes conventional concepts, such as propellers in nozzles with fixed shafts combined with rudders for the maneuvering of the vessel, azimuthing thrusters with pushing propeller in nozzle in order to improve maneuverability of the vessel, to the most novel propulsion concept with one large horizontal fish tail at the end of the vessel flapping up and down – fish tail propulsion.

The following is a list of the concepts in consideration of the present study.

- Propellers in nozzles with fixed shafts and rudders
- Azimuthing thrusters with propellers in nozzles – push type
- Azimuthing thrusters with open propellers – push type
- Azimuthing thrusters with open propellers – pull type
- Azimuthing thrusters with tandem propellers
- Azimuthing thrusters with contra-rotating propellers – on one end or one two ends
- Azimuthing thrusters with inline propulsors – shaftless ring-drive propeller in nozzle
- Voith Schneiders propulsors
- Whale tail wheels
- Fish tail propulsion with one large horizontal flapping wing.



Figure 16: Azimuthing propellers with propellers in nozzles

For each of the above mentioned propulsion concept, one page of photo(s) is given throughout the text, as illustration of the concept and its connection with the hull of the vessel which plays also an important role in the total propulsive efficiency of the concept, mainly by the effective wake fraction, the thrust deduction and the relative efficiency.

The first 7 different concepts are actually variations in configurations with propellers driven by rotating shafts. The last three concepts are in principle all flapping wings in different configurations.



Figure 17: Azimuthing thrusters with open pushing propellers

In general, all the concepts with flapping wings gain propulsive efficiency mainly from their large actuating area so that the propulsors are lower loaded. When the driving mechanism is well designed, the motions of the flapping wing can be optimized and the negative interactions between the wing can be reduced so higher propulsive efficiency can be expected by those propulsion systems.

All the azimuthing thrusters by nature can easily generate horizontal thrust in different directions. Vessel installed with those propulsion system may have a better maneuverability than other propulsion concepts. This is even more true for the Voith Schneiders propulsors which can easily change the direction of their thrust on the horizontal plane. They are widely used for tugs and work boats when extensive maneuvering operations are demanded.

4.3.2 Evaluation on low speed and bollard pull performance

To evaluate the low speed performance of a propulsor, the generated thrust by given power input is often used. Especially at the **bollard pull condition**, this thrust-power ratio is judged by the merit coefficient defined as,

$$\eta_d = \frac{(K_T / \pi)^{\frac{3}{2}}}{K_Q}$$

the higher the merit coefficient, the higher the thrust the propulsor can generate for given input power.

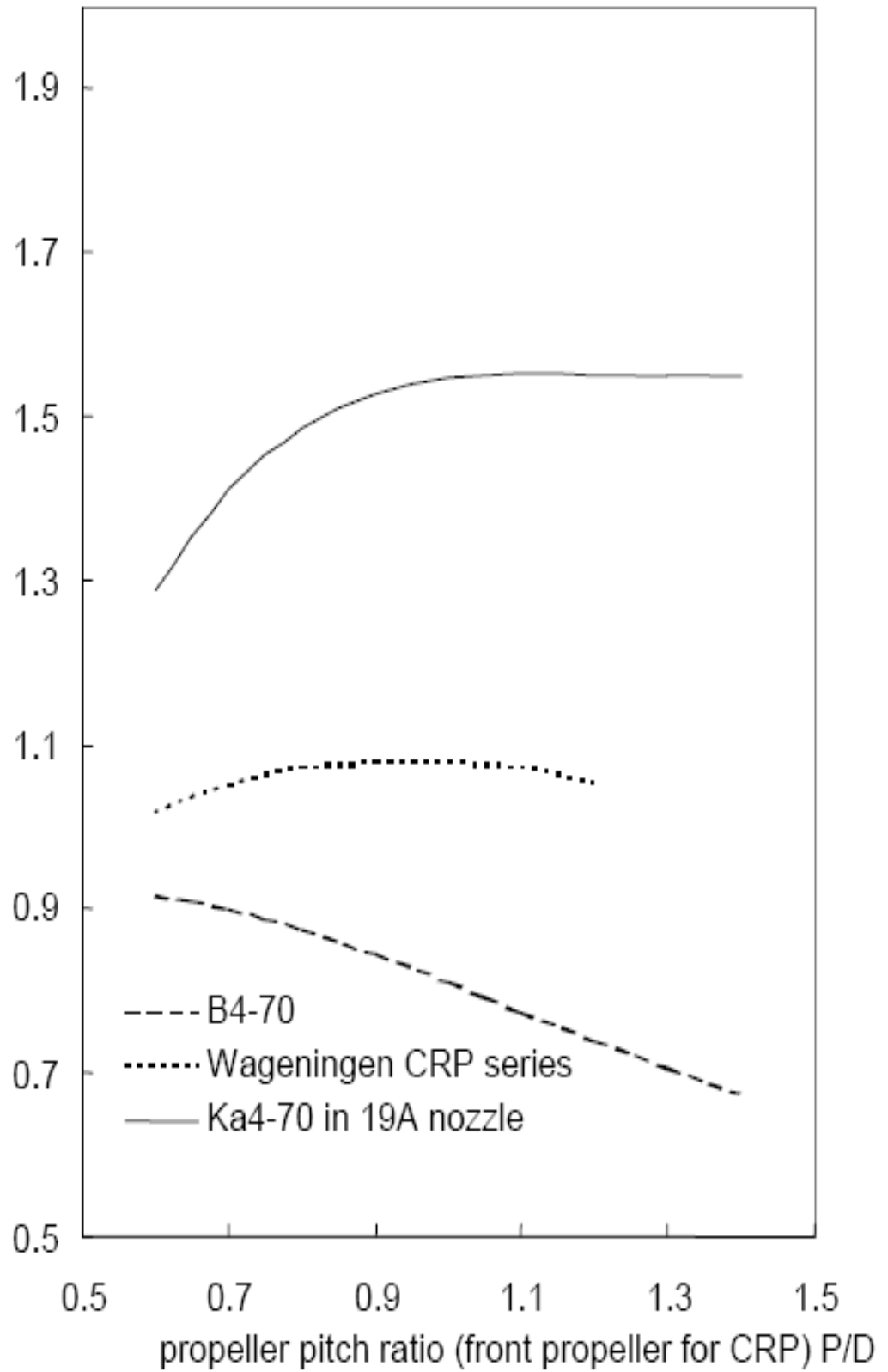


Figure 18: Propeller performance at bollard condition as function of the merit coefficient η_d

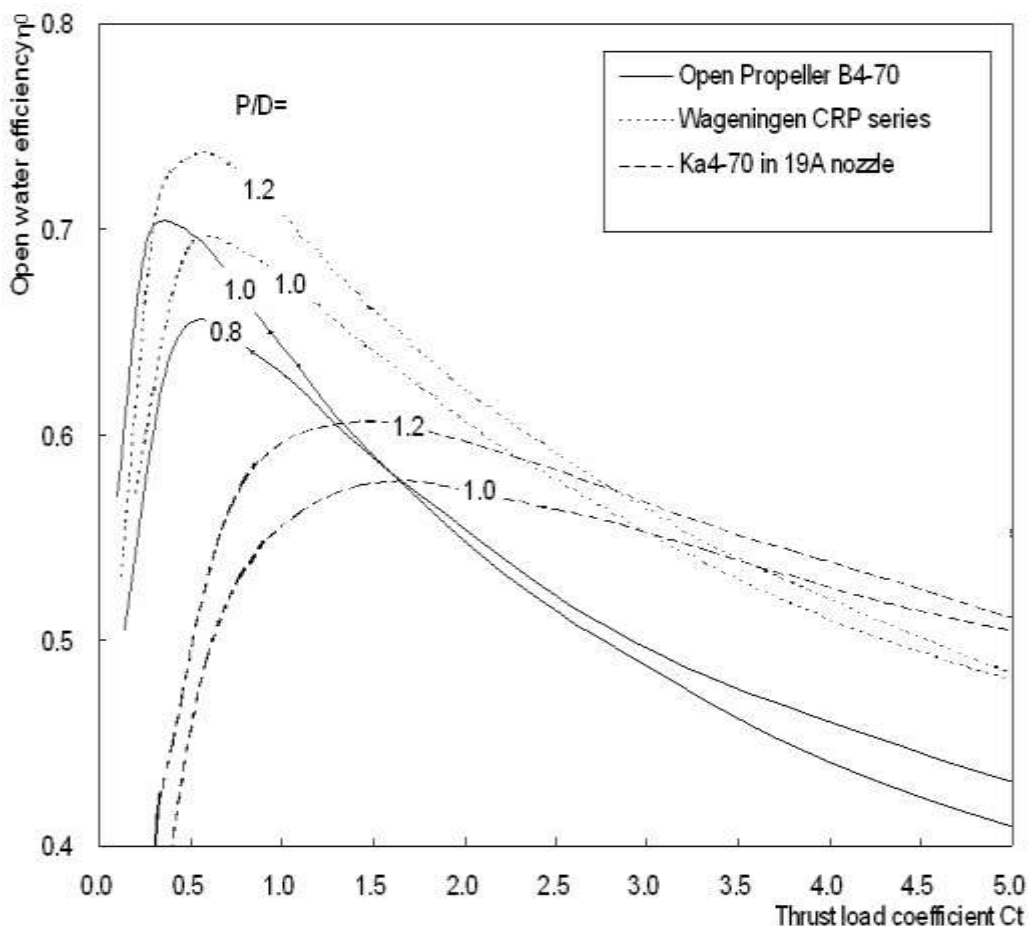


Figure 19: Propeller performance at sailing condition

Figure 18 shows the comparison of the merit coefficients for different propeller configurations. It is seen that the value is very high for propeller in nozzle, with respect to that of the open propellers and contra rotating (CR) propellers. This is why most vessel which have to operate at low speed conditions (such as towing tugs, big pushing units) will have propellers in nozzles instead of normal open propellers configurations. Figure 19 represents the open water efficiency of propellers as function of the load of the propellers. It can be seen that a high efficiency is obtained for lightly loaded propellers.

In Figure 20 a comparison has been made between the open water characteristics of an open propeller to that of a nozzle propeller. When looking at the K_t and K_q curve at low J values, it is clearly seen that the K_q curve of the propeller in nozzle tends to be flat at $J=0$. This special characteristics shows that the propeller operating in a nozzle is less sensitive to the change of J value at low speed condition. This is very good for the cooperation of a fixed pitch with a diesel engine.

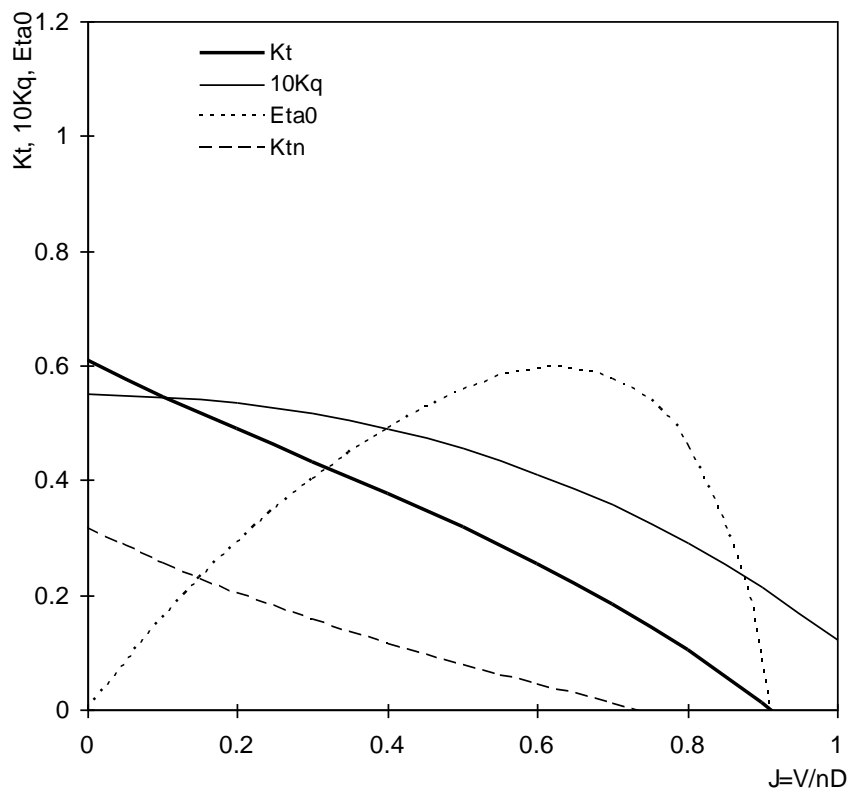
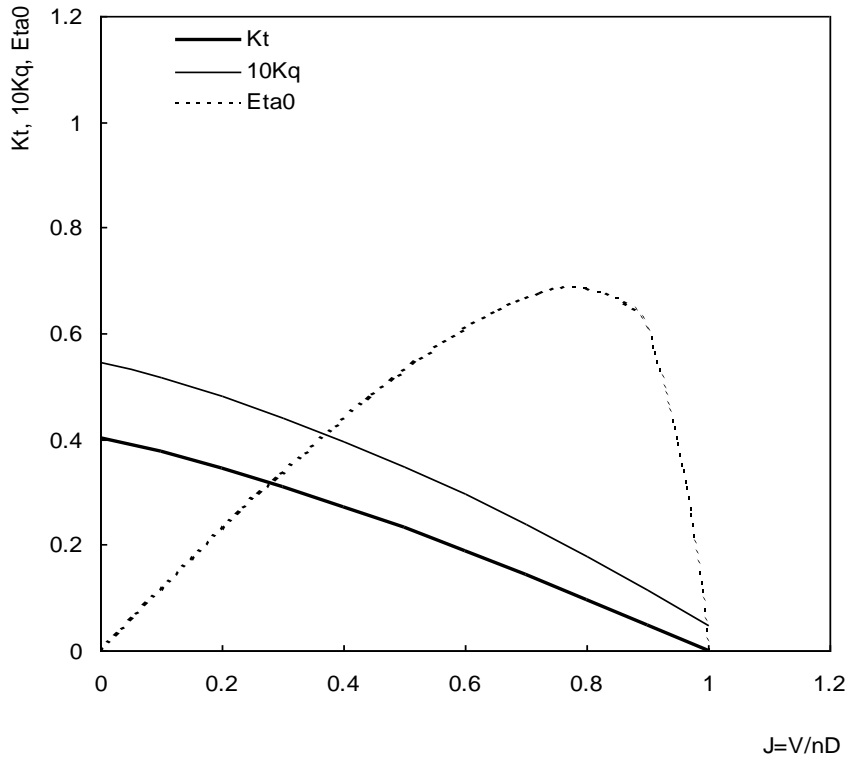


Figure 20: Comparison of open propeller and propeller with nozzle



Figure 21: Azimuthing thrusters with open pulling propeller



Figure 22: Azimuthing thrusters with tandem propellers (rotating in the same direction)

This nozzle propeller characteristics can be explained by the induced flow in the nozzle as shown in the figure below where the upper most flow lines is for the bollard pull condition. Different from open propellers, even if the advance speed is zero (at bollard pull), the propeller in the nozzle will not face zero advance speed but an induced speed by the nozzle, see also Figure 23. In the other word, a propeller in nozzle is less sensitive to the operation condition which is needed for the inland vessel in order to operate in changing water depth and currents.

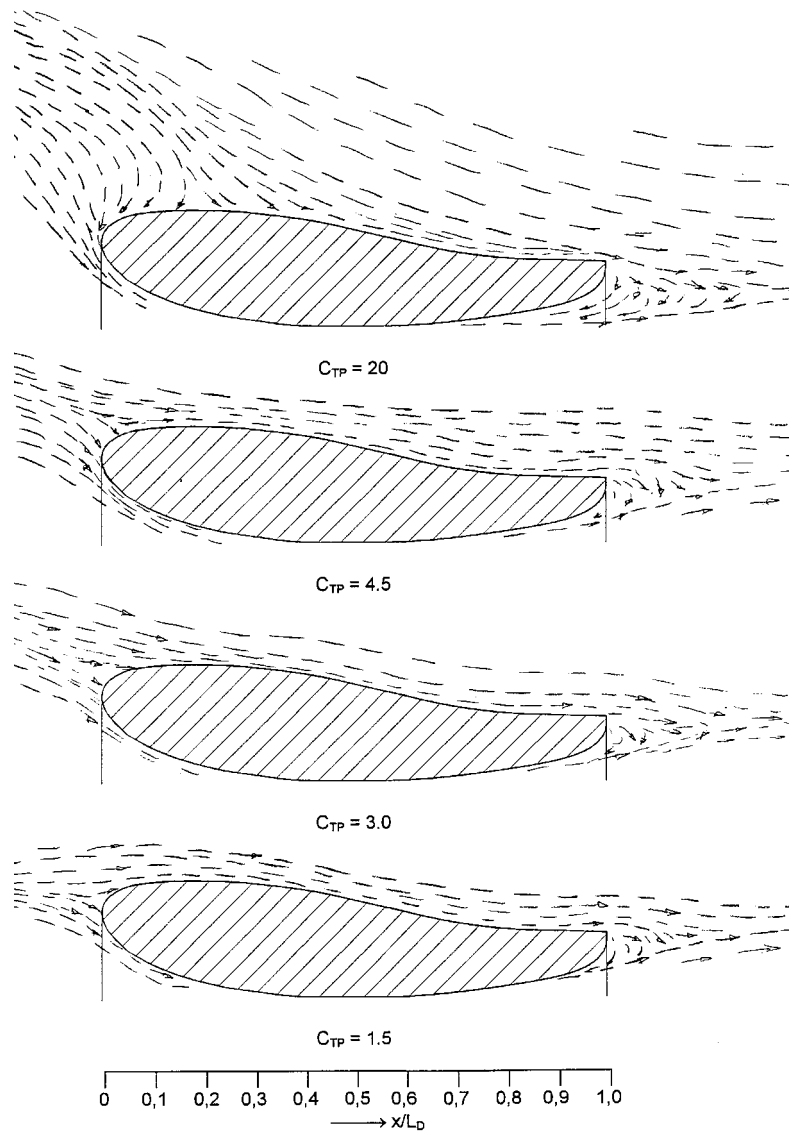


Figure 23: Flow pattern around a nozzle



Figure 24: Azimuthing thrusters with contra rotating propellers

Figure 25 shows propeller curves and electric motor limits as an example to explain the cooperation of propeller with the engines or e-motors. It is shown on the this page with three type of propellers design for a vessel through normal sailing condition at 100% RPM and 85% of Maximum Continuous Rating (MCR) power of the engine. It is clear seen on this figure that all of the propeller curve go through the design point as shown on the figure for free sailing ahead condition.

But when these three designed propellers in off-design condition, especially **at bollard pull** as shown in the figure, all the propeller curve will move to the left side of the figure, meaning that the propeller becomes heavier in bollard. But the changes of the curves are different.

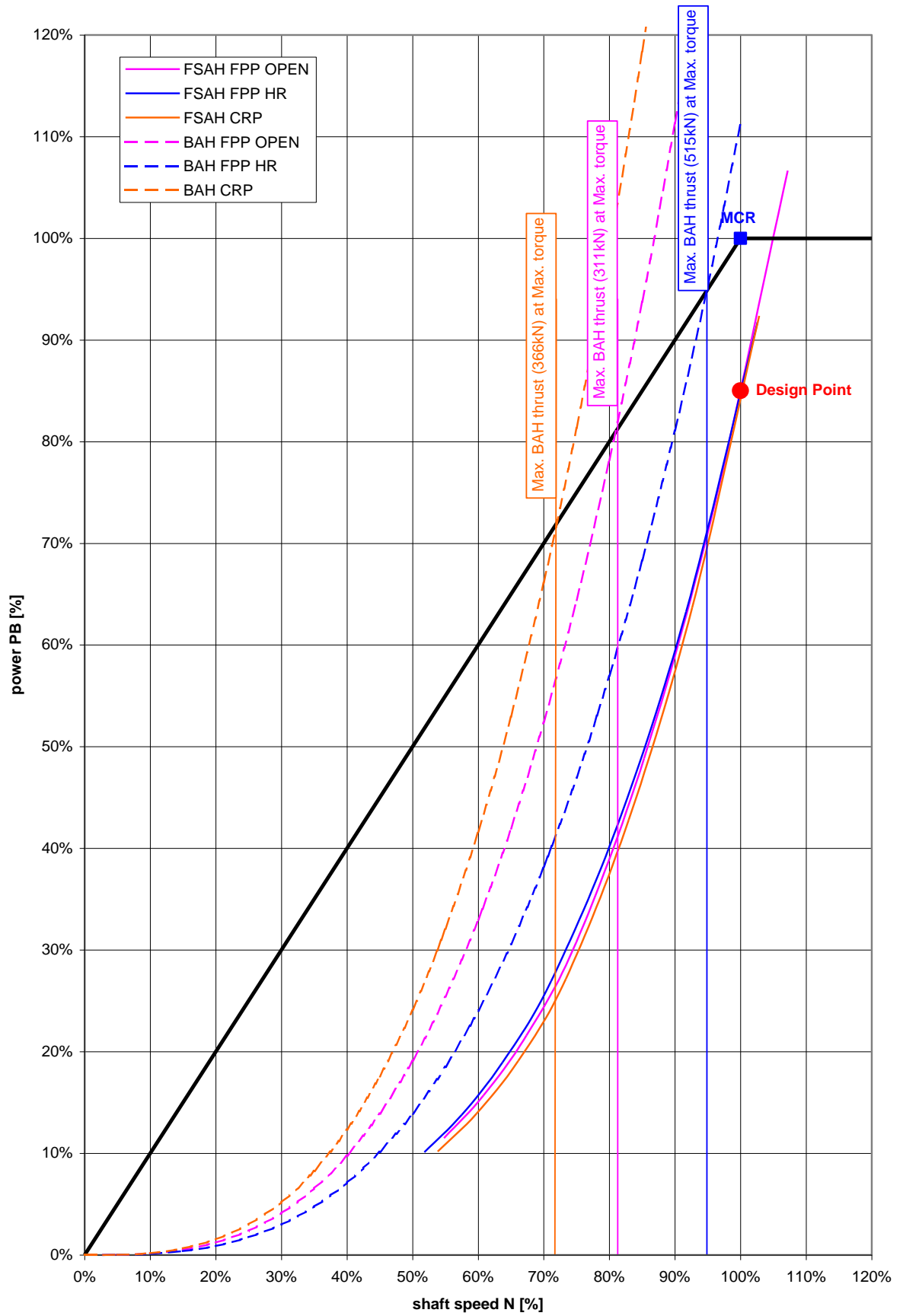


Figure 25: Cooperation of propellers with the electric engine.



Figure 26: Voith Schneider propulsors

For the propeller in nozzle, the shift of the propeller is very limited. All of the operation condition for this concept will be between the two curves – one extreme is for free sailing and other is for bollard. But the contra rotating (CR) propellers concept shows a big shift of the propeller curves to the left. This means that CR propellers can well be designed and optimized for one certain condition, such as the design condition on the figure, but is not suitable for a vessel who has large range of off-design operation conditions.

4.3.3 Evaluation of free sailing propulsive efficiency

For propulsors with propellers, it is known that propeller in nozzle is advantageous for heavy loaded operation while CR propellers are good in high speed and light loaded conditions. This is shown in figure 19 where the abases is the propeller thrust coefficient C_t , representing the load of the propeller. It is seen from the figure that at high C_t , The efficiency of the propeller in nozzle is the highest of the three propeller types on this figure. But at low thrust coefficient, CR propellers has much higher open water efficiency of all the types.

The evaluation of the propulsive efficiency of all the concepts for the present barge-truck concept was carried out by calculations and correlations to model tests done in the past at MARIN.

For the propulsion concepts with propellers, MARIN's in-house program DESP was used. The DESP calculation results are given in the report on propeller selection, and can be obtained at Marin. Besides the propulsive efficiency of each of the concepts calculated and evaluated, the resistance of the barge-truck combination was also provided in all of the calculations.

For non-conventional novel propulsors, like fish tail propulsor, correlation has been made to the model tests or CFD calculations carried out in past at MARIN.

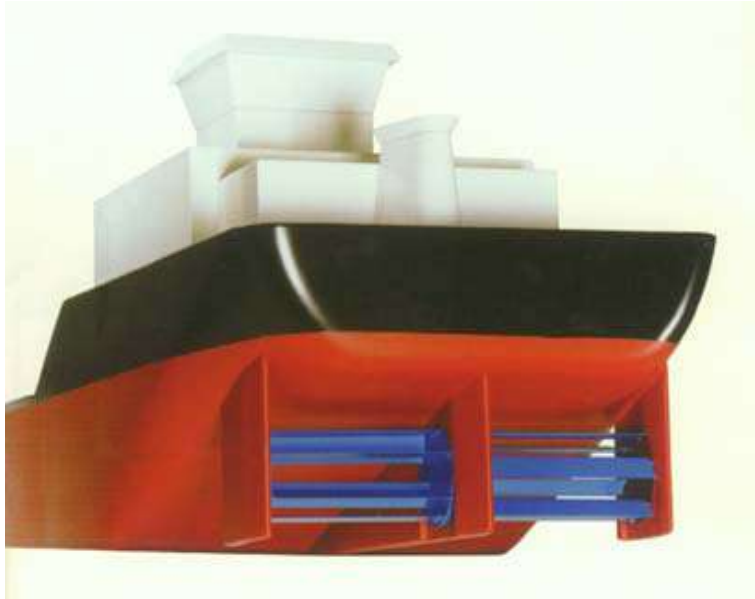


Figure 27: Whale tail wheels

A summary of the calculated propulsive efficiency can also be found in the report on propeller selection.

On basis of the results the following conclusions can be drawn:

- The conventional propeller in nozzle driven by fixed shaft is still a concept with relative highest total propulsive efficiency for the present barge-truck combination, except for the fish tail propulsor which can be higher depending strongly on the driving system. One of the important reason of this high efficiency of this conventional system is the propeller diameter which can be much larger than that of azimuthing thrusters.
- All the azimuthing thrusters have similar total propulsive efficiency, with highest efficiency delivered by the contra-rotating systems – two propellers at one end or two propellers at two ends.
- As expected, the total propulsive efficiency for the thruster with pull propeller is not better than the others, see Figure 28. This is because the C_t value of the propulsor is high for the present situation and the pull thruster is not really advantage for this operation condition.

- Although inline thrusters has e-motors built in the nozzle and without a shaft and bearing, the efficiency of those thrusters are still not very high. They are the lowest in all of the evaluated concepts.
- The open water efficiency of the fish tail propulsor is the highest. But the total propulsive efficiency depends strongly on how this fish tail is driven. Should the driving system simple and does not deliver much additional drag in the water, this concept is very promising.
- The Voith Schneiders propulsors are estimated to have moderate efficiency because of this limited motion pattern – the cycloid blade motion. Should the blade motion pattern can be optimized, some higher efficiency can be expected.

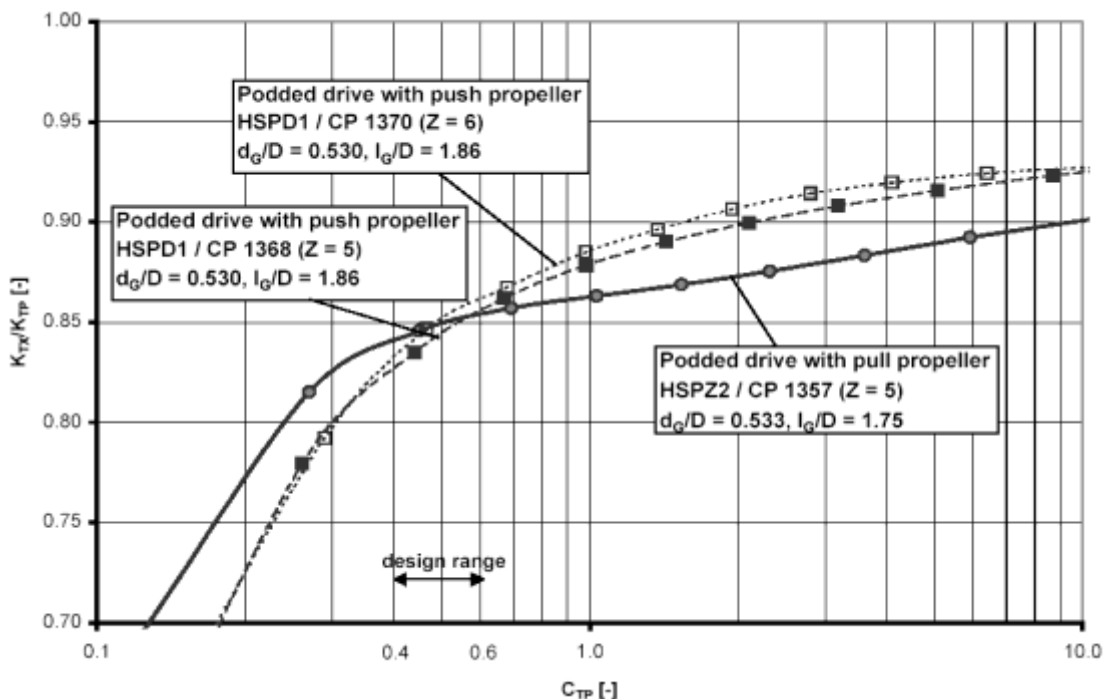


Figure 28: Comparison of pulling and pushing type of thrusters



Figure 29: Inline thrusters (fixed or azimuthing)

4.3.4 Manoeuvrability assessment

The manoeuvrability of the vessel with equipped propulsors is discussed here under briefly for indication. A maneuvering assessment of the present barge-truck concept has been delivered in a separate report for this project.

One of the drawback of using whale tail wheels is the manoeuvring of the vessel because the propulsion system cannot be steered and the side skegs have very strong course keeping ability, see the figure 30. Due to the large actuating area of the propulsor, the total amount mass flow through the propulsor is high, but the water velocity is very low. This means that putting rudders into the slipstream of the whale tail wheels will not be efficient. This system has been judged as one of the worst system for the maneuverability of the barge-truck combination.

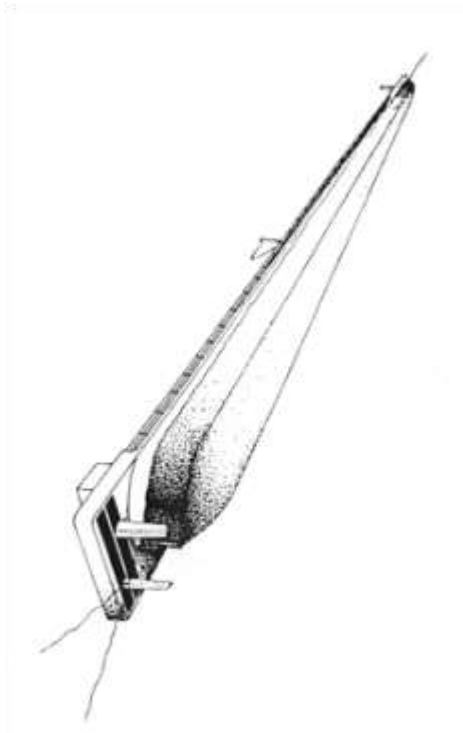


Figure 30: Fish tail propulsion

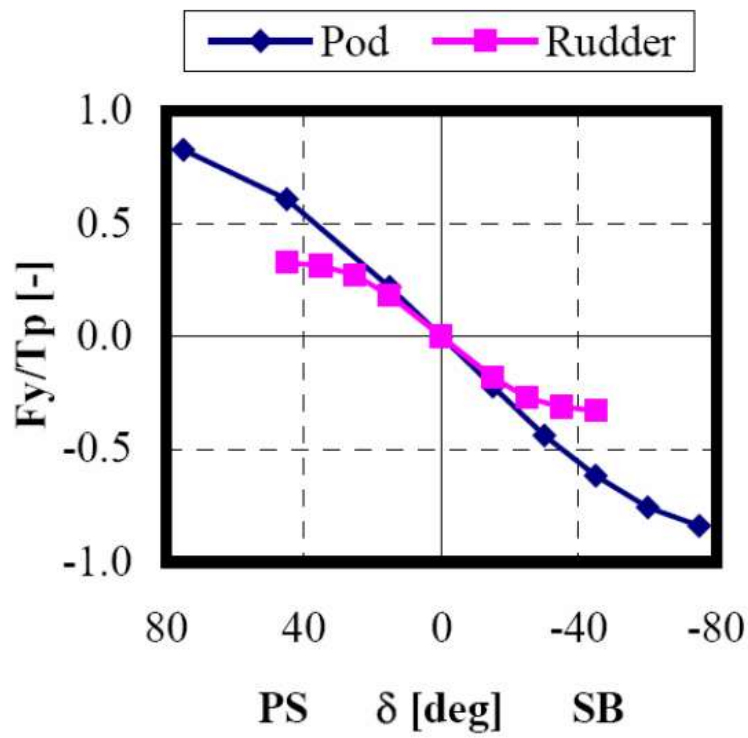


Figure 31: Comparison of manoeuvrability of azimuthing thrusters and rudders

Voith Schneiders propulsor is famous with its versatility on changing the thrust direct very quickly. This system can generate instant side forces needed. Vessels installed with Voith Schneiders propulsors have typically the best maneuverability.

The steering ability of azimuthing thrusters depends mainly on the steering power installed. Typical thrusters will have enough steering power to achieve a steering speed of 30 seconds for one revolution in low vessel speed and 120 second for high vessel speed.

A summary of relative comparison of all the discussed propulsion concepts is given in the table on page T1, including also the assessment of the maneuvering.

4.4 Conclusions

The following conclusions summarise the findings of the present project:

- Propeller in nozzle is the most advantageous propulsion system for low speed and bollard pull operation.
- The conventional propeller in nozzle driven by fixed shaft is still a concept with a high propulsive efficiency for the present barge-truck combination if a large propeller diameter is applied. The efficiency of the fish tail propulsor can be higher which makes this development interesting.
- All azimuthing thrusters have however similar total propulsive efficiency, with an advantage to manoeuvrability. The highest efficiency is however delivered by the contra-rotating systems – two contra propellers at each side.
- The development of the inline thruster is obviously not mature yet. A similar propulsion efficiency should be expected as high as propeller in nozzle. But up to the present development, the efficiency of inline thruster is still low and calculated to be the lowest of the present study.
- The open water efficiency of the fish tail propulsor is the highest. But the total propulsive efficiency depends strongly on how this fish tail is driven. Should the driving system simple and does not deliver much additional drag in the water, this concept is very promising.
- The drawback of all the fish tail propulsions is the manoeuvrability of the vessel. Most of the fish tail propulsor cannot be steered.
- Voith Schneiders propulsors are still the propulsor with the best steerability and very good for the maneuvering of the vessel.

The above conclusions do not in any way supersede the more detailed statements made in the previous chapters and in the tables and figures with results.

4.5 Conclusies

De volgende conclusies zijn een opsomming van de bevindingen in het huidige project:

- Een schroef met een straalbuis is het beste voortstuwingssysteem voor lage snelheden en 'bollard pull' operaties.
- Een conventionele schroef aangedreven door een vaste as is een concept met een goed voortstuwingsrendement voor de huidige barge-truck combinatie, en wordt beter indien een zo groot mogelijke propeller diameter wordt toegepast. Alleen de fish tail voortstuwer kan een hoger rendement halen en is om die reden dan ook een interessant concept.
- Alle azimuthing thrusters hebben een soortgelijk totaal voortstuwingsrendement en hebben als voordeel goede manoeuvreereigenschappen. Het hoogste rendement wordt behaald door twee sets van contra-roterende systemen – aan iedere kant van het schip één.
- De ontwikkeling van de inline thuster is duidelijk nog niet genoeg gevorderd. Een vergelijkbaar voortstuwingsrendement als een schroef in een straatbuis is verwacht. Maar in de huidige staat is het rendement van de inline-thruster nog erg laag en berekend als de laagste in dit onderzoek
- Het open water rendement van de fish tail voortstuwer is het hoogst. Maar het totale voortstuwingsrendement is sterk afhankelijk van de aandrijver van de fish tail. Als het aandrijf systeem eenvoudig is en niet te veel extra weerstand in het water met zich mee brengt, dan is het een veelbelovend concept.
- Het nadeel van al de fish tail voortstuwars is de manoeuvreerbaarheid van het schip. De meeste fish tail voortstuwars kunnen niet bestuurd worden.
- Voith Schneiders voortstuwars hebben de beste stuurbaarheid wat zeer goed is voor de manoeuvreerbaarheid van het schip.

De bovenstaande conclusies vervangen niet de gedetailleerde beweringen uit voorgaande hoofdstukken, tabellen en figuren met resultaten.

Concepts	Efficiency	Bollard pull	Maneuvering
2 X propeller in nozzle – fixed shaft	++	+++	0
2 X thruster with nozzle	+	+++	++
2 X thruster open propeller push	0	0	++
2 X thruster open propeller pull	0	0	++
2 X Schottel STP open propeller	++	+	++
2 X Contra Rotating Propellers	++	0	++
2 X <u>Voith-Schneiders</u>	-	0	+++
2 X Whale tail wheel	-	-	---
1 X large fish tail	+++	-	---
.....			

Table 3: survey of results of propulsor study

5 THE MANOEUVRING STUDY

The Barge Truck concept aims for cost effective transport for special transport routes at smaller waterways and canals. The dimensions of the design have been optimized for this kind of waterways. The Barge Truck pusher is equipped with two thruster units of 260 kW each as main propulsion and bow and stern thrusters in the barges. The manoeuvring aspects of the Barge Truck are studied to ensure safe and smooth transits of the Barge Truck units. To reach this goal the manoeuvring study focuses on:

1. The routes to be followed by the Barge Trucks, resulting in an inventory of most critical parts of the fairway;
2. Environmental conditions to be expected (wind);
3. Manoeuvring properties of the Barge Truck in the fairway.

Three routes Alkmaar-Almere, Amsterdam-Helmond and Rotterdam-Vechel have been studied to identify critical points in the field of fairway dimensions, bend radii, bridge and lock passages and exposure to wind. This inventory has been carried out with help of the VIN information system of Rijkswaterstaat for the geometrical information and classification of the fairway. Google Earth photographs (See Figure) were used to identify the exposure for wind of the fairway and an overall assessment of the situation.



Figure 32: Example of Google Earth photograph of fairway leg

For the **limiting wind condition** a 2 % exceedance frequency is taken. This is a general excepted value for inland waterway traffic (RVW 2005 design rules). The limiting wind conditions will occur in the western part of the routes e.g. in the open areas in the vicinity of Alkmaar, Almere, Amsterdam and Rotterdam. In these areas (coastal zone) the 2 % wind limit is 13 m/s at an altitude of 10 m (11.3 m/s at Barge Truck height of 4 m). The limiting wind condition in the land zone (more sheltered canals) is 7.6 m/s at 4 m height.

The Barge Truck must be able to sail and manoeuvre in wind velocities as described above. The wind forces resulting from these wind conditions (see Figure below) have to be compensated by the main propulsion of the pusher and bow and stern thrusters installed in the barges. As the barges may be equipped with only a bow thruster or bow and stern thruster, also the effects of these arrangements are taken into account. To determine the required bow and stern thruster power a margin of 30 % is taken on the static force to be compensated.

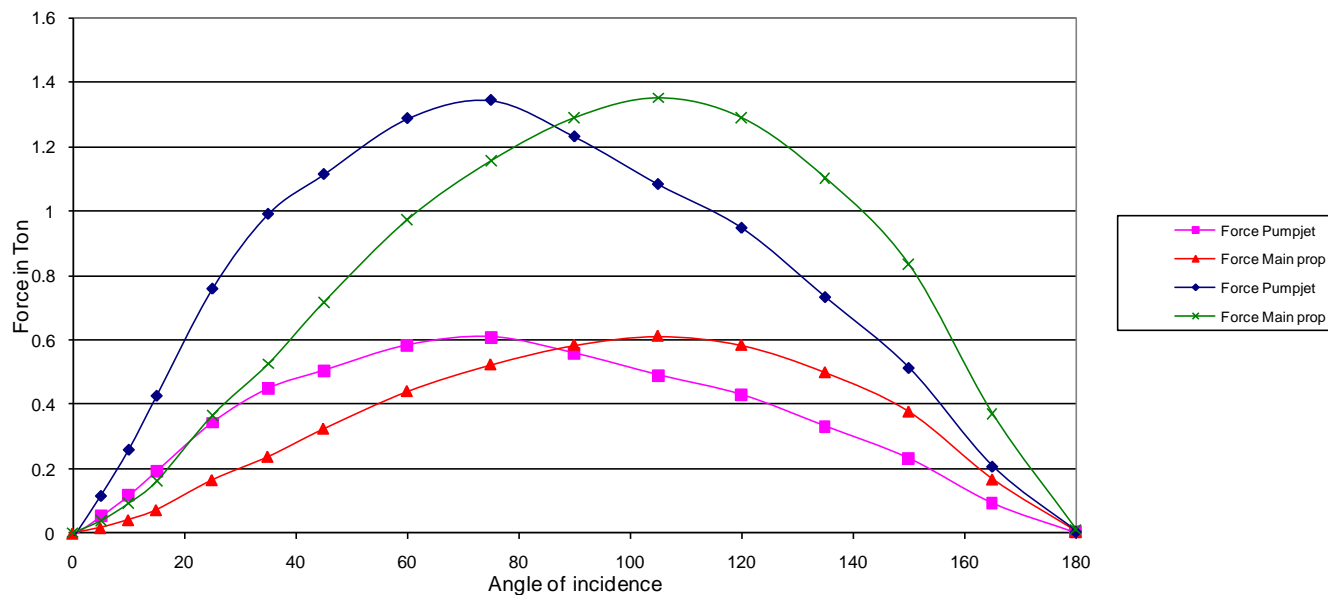


Figure 33: Example of wind forces to be compensated by pumpjet and main propulsion for an empty 2 barge unit in 7.6 and 11.3 m/s wind.

The **manoeuvring behaviour** of the Barge Truck in relation to the fairway and the environmental conditions has been studied by using model test results of former investigations into push tow units. The results of the former investigations have been scaled to the dimensions of the Barge Truck. The behaviour of the laden two barge unit, the pusher with one laden barge and the laden self sailing barge have been studied as well as the behaviour of the empty versions of these three configurations. Next to this also the properties of these configurations laden with empty containers have been studied.

For the normal sailing conditions in narrow canals in cross wind and bends the required **path width** is a determining factor. As the manoeuvring means of the Barge Truck (main propulsion by Schottel unit and bow/stern thrusters in the barges) are capable of completely controlling the units at low speed in wind the path width in bends can always be reduced to the geometrical path width (See Figure below). Also manoeuvring 'on the spot' is always possible with the available manoeuvring means.



Figure 34: Geometrical minimum path width of a combination sailing a bend.

From the manoeuvring properties and the wind climate to be expected during the voyages of the empty and container barges, the **required bow and stern thruster power** has been identified (see table below).

For the different Barge Truck combinations sailing in cross wind **extra fuel consumption** has been calculated to reduce path width. The actual wind velocity and

the required path width result in a certain bow and stern thruster power to be applied, which determines the extra fuel consumption.

Required installed pumpjet power [kW] to manoeuvre safely in wind up to 11.3 m/s.

Barge configuration	1 Bow Thr.	1 Bow and 1 Stern thr.	1 Bow and 2 Stern thr.
One empty barge	N.A.	118	N.A.
Pusher + one empty barge	139	N.A.	N.A.
Pusher + two empty barges	241	149 + 149	110 + 110 + 110
One barge with empty containers	N.A.	157	N.A.
Pusher + one barge with empty containers	179	N.A.	N.A.
Pusher + two barges with empty containers	309	192 + 192	143 + 143 + 143

Table 4: required bow and stern thrusters power due to wind

5.1 Conclusions

From the results of this manoeuvring study the following conclusions are drawn:

- The three expected Barge Truck routes (Alkmaar-Almere, Amsterdam-Helmond and Rotterdam Veghel), which were identified for this study show no critical points to pass with the Barge Truck concept;
- In some cases (small locks, and short bends) close to the final berths disconnection of one of the barges is required. The barges must pass these points one by one. In mild conditions the barges may sail on their own power by using bow and stern thruster;
- If the two pushed barges must be able to sail safely on the coastal parts of the routes in wind up to 11.3 m/s at 4 m altitude (= 13 m/s at 10m altitude, exceedance frequency 2 % in coastal zones) the barges must be equipped with one bow thruster of 241 kW for empty barges or 309 kW for barges with empty containers. If one bow thruster (fore-barge) and one stern thruster (aft barge) would be installed the required power can be reduced to 150 kW per thruster for empty barges or 192 kW per thruster for barges with empty containers;
- If the units would only sail and manoeuvre in the land zone (more sheltered canals) with a limiting wind velocity of 7.6 m/s the bow thruster power may be reduced to 109 respectively 140 kW. Installed power of barges equipped with bow and stern thruster may be reduced to 50 respectively 65 kW. However, this will strongly limit the sailing area;
- If the Barge Truck units are equipped with adequate bow and stern thrusters 'manoeuvring on the spot' (turning and side stepping at zero speed) is well possible;
- The path width in bends of the laden two barge unit varies from 21 m (bend radius about 200 m) to 11 m (bend radius about 650 m);

- The path width in bends of the empty two barge unit without active bow steering varies from 33 m (bend radius about 200 m) to 16 m (bend radius about 650 m);
- The path width in bends of the empty two barge units can be reduced with active bow steering to a path width comparable to the path width of the laden two barge unit;
- The path width in bends of the empty two barge units sailing in limiting cross wind (11.3 m/s) can be reduced by reducing the speed and applying active bow steering. Also in these conditions the path width of the laden two barge unit can be reached;
- Applying active bow steering and main propulsion to reduce path width in narrow canals will cost extra fuel. This extra fuel consumption is calculated for different wind conditions and different Barge Truck configurations.

5.2 Conclusions

De onderstaande conclusies zijn getrokken na de manoeuvreer studie:

- Op de drie verwachte barge-truck routes (Alkmaar-Almere, Amsterdam-Helmond and Rotterdam Veghel), die zijn bepaald voor deze studie, zijn geen kritieke punten om te passeren te vinden voor het barge-truck concept.
- In sommige gevallen (kleine sluisen, en korte bochten) dicht bij de eind bestemming is het noodzakelijk de duwbakken te ontkoppelen. De duwbakken moeten deze plekken een voor een passeren. In lichte condities mogen de duwbakken op eigen vermogen varen door het gebruik van de boeg en hek schroeven.
- Als een duwboot met twee bakken veilig wil kunnen varen in de kust gebieden van de routes met windsnelheden tot 11.2 m/s op 4 m hoogte (=13 m/s op 10 m hoogte, overschrijding frequentie 2% in de kust gebieden), moeten de duwbakken uitgerust worden met een boegschroef van 241 KW voor lege duwbakken of 309 kW voor duwbakken met lege containers. Als er een boegschroef en een hekschroef wordt geïnstalleerd kan het benodigde vermogen gereduceerd worden naar 149 kW per schroef voor lege duwbakken en 192 kW per schroef voor duwbakken met lege containers.
- Als de duwcombinaties alleen varen en manoeuvreren in het binnenland (beschutten kanalen) met een maximale wind snelheid van 7.6 m/s, dan kan het vermogen van de boegschroef gereduceerd worden naar 109 en respectievelijk 140 kW. Het geïnstalleerde vermogen op de duwbakken die zowel een boeg als een hekschroef hebben kan gereduceerd worden tot respectievelijk 50 kW en 65 kW. Daarbij moet bedacht worden dat dit grote restricties oplegt aan het vaargebied.
- Als de duwbakken worden uitgevoerd met boeg en hek schroef met voldoende vermogen, dan is op de plaats manoeuvreren goed mogelijk (ronddraaien en zijwaarts zonder voorwaartse snelheid)
- De pad breedte in bochten van twee beladen duwbakken, varieert van 21 m (bocht radius ongeveer 200m) tot 11 meter (bocht radius ongeveer 650m)

- De pad breedte in bochten van twee lege duwbakken, zonder actieve sturing in de boeg varieert van 33 m (bocht radius ongeveer 200m) tot 16 m (bocht radius ongeveer 650m)
- De pad breedte in bochten van twee lege duwbakken kan gereduceerd worden tot een pad breedte vergelijkbaar met de pad breedte van twee beladen duwbakken, door actieve boeg sturing.
- De pad breedte in bochten van twee lege duwbakken varend in een beperkte zijwind (11.3 m/s) kan gereduceerd worden door de vaart te verminderen en actieve boeg sturing, in deze condities kan de pad breedte van twee beladen duwbakken worden bereikt.
- Het gebruik van actieve boeg sturing en de hoofd voortstuwing voor het reduceren van de pad breedte in smalle kanalen kost extra brandstof. Het extra brandstofverbruik is berekend voor verschillende wind condities en verschillende barge-truck combinaties.

6 KOPPELINGEN

6.1 De aanloop van het onderzoek

In het kader van het barge truck project is IMC benaderd om te onderzoeken of er een conceptueel nieuwe koppeling ontwikkeld zou kunnen worden die een verbetering is ten opzichte van de huidige standaard koppelingen middels bolders, staaldraden en koppellieren.

Uitgangspunt van duwbakken is dat de losse bakken zowel onderling als met een duwboot gekoppeld kunnen worden. De huidige koppelingsuitvoering bestaat uit meerdere bolders aan dek, een uitgebreide combinatie van staaldraden en een aantal koppellieren.

Bij het koppelen legt de bemanning de staaldraden over de bolders aan dek van de bakken en spant de kabel aan middels de koppellier. Het werken met de staaldraden en de koppellieren zijn lastige werkzaamheden met de nodige veiligheidsrisico's.

De twee hoofddoelstellingen van het ontwerp van de nieuwe koppeling waren:

- Eenvoudige bediening en golfbestendig, met als doelstellingen daaronder:
- Eenvoudig en veilig koppelen en ontkoppelen van bakken onderling en met duwboot
- Vaargebied inclusief IJsselmeer en moet hoogteverschillen kunnen overbruggen.
- Focus op 2 bakken achter elkaar, echter sluit 4 bakken (2x2) niet uit.

6.2 Standaard plan van aanpak van IMC

Plan van aanpak volgt standaard opzet van IMC:

- 1) Initiatief Fase (Aanvraag ontwerp / oplossing)
- 2) Definitie Fase (Welke eisen / één of meerdere oplossingen)
- 3) Principe Fase (Welke principes zijn mogelijk én haalbaar)
- 4) Concept Fase (Welke concepten zijn op basis van principes mogelijk én haalbaar)

5) Voorontwerp Fase (Is/zijn voorontwerp(en) op basis van concepten mogelijk én haalbaar)

IMC heeft conform deze standaard opzet de fases 1 tot en met 5 doorlopen en middels principes diverse concepten ontwikkeld en één finaal voorontwerp.

In fase 1) is de ontwerp vraag en de gewenste oplossingsrichting doorgenomen in aantal besprekingen met dhr. Blaauw.

In fase 2) zijn de ontwerp eisen en wensen systematisch langsgelopen opnieuw met dhr. Blaauw en vastgelegd in document. Duidelijk kwam hier al naar voren dat er vanuit de huidige stand der techniek weinig normen en richtlijnen beschikbaar zijn en dat ontwikkeling zich derhalve sterk moet richten op algemene technisch mechanische criteria.

Belangrijke randvoorwaarden bij de uitvoering van deze waardes waren:

- Nieuwe koppeling dient zo mogelijk ook conventioneel gekoppeld te kunnen worden
- De zijkant van de bakken moet glad blijven zodat koppelingen gelimiteerd zouden worden tot bovendecks.

Tevens is in deze fase onderzoek gedaan naar de huidige koppelingen en de bijbehorende problemen en risico's voor de gebruikers.

In fase 3) zijn voor de koppelingsfunctie een aantal principes gedestilleerd, die in het verder onderzoek zijn gebruikt als basis voor de nieuwe concepten. Hierbij is ook als vergelijk een analyse gemaakt van de koppelingen bij de spoorwegen, met interessante overeenkomsten.

In fase 4) is op basis van de principes een nieuw concept ontwikkeld, de zgn 'V' arm. Dit concept is uitgewerkt en met stuur/werkgroep besproken op 30 09 2009 (beslismoment 1). Hierbij is besloten om naast het 'V'-arm concept nog andere concepten te onderzoeken.

In fase 5 heeft IMC het door de stuur/werkgroep goedgekeurde concept verder uitgewerkt tot een voorontwerp dat gepresenteerd is aan stuur/werkgroep op 01 06 2010.

Door de standaard ontwikkelingsprocedure van IMC wordt zorg gedragen voor een goede en fundamentele onderzoeksopzet met optimaal gebruik van principes om doelen zo efficiënt mogelijk uit te voeren.

Door het ontbreken van duidelijke richtlijnen en normen had IMC een grote mate van vrijheid om nieuw ontwerp te maken dat gericht was op de functie.

Principes bieden heldere stap voorwaarts in het ontwerpproces en hebben geleid tot diverse concepten. Elk van de gepresenteerde concepten heeft haar eigen voor- en nadelen, waarbij het finale concept sterk georiënteerd is op conventionele praktijk en lage productiekosten. Deze aspecten vergroten de kans op praktische implementatie en acceptatie in de markt.

Ten opzichte van de huidige stand der techniek levert het verende bolders concept met kunststof kabels en een nieuwe lier een aanzienlijke stap voorwaarts en voldoet ten volle aan de gestelde doelstelling en subdoelen.

In de toekomst zou echter nogmaals gekeken kunnen worden naar meer 'futuristische' en automatische oplossingen, zeker indien bemanningskosten (dan wel beschikbaarheid) een grotere rol spelen.

Tevens zou er dan gekeken kunnen worden naar een mogelijke koppeling van het onderwaterschip om zodoende een stromingsgunstige vorm te realiseren met minder brandstofverbruik.

De standaard ontwikkelingsopzet van IMC heeft geleid tot een heldere definitie van de benodigde koppelingsprincipes en in overleg met stuurgroep/werkgroep verdere uitwerking van aantal concepten tot een finaal ontwerp.

In dit voorontwerp zijn alle gestelde principes geïntegreerd, hetgeen geleid heeft tot :

- een eenvoudige en doeltreffende koppeling
- met toegenomen ergonomie en veiligheid voor de gebruiker
- kortere koppelingstijden
- grotere hoogteverschillen mogelijk tussen bakken onderling
- een betrouwbaardere koppeling door juiste verantwoorde belasting van de afzonderlijke componenten.

6.3 De technische uitwerking van het nieuwe koppelsysteem

In het kader van SBIR Barge Truck heeft IMC onderzoek gedaan naar nieuwe koppelingen tussen duwbakken onderling en met de duwboot. Dit onderzoek heeft IMC uitgevoerd middels haar standaard ontwikkelingsprocedure met 5 stappen:

- 1) Initiatief Fase Aanvraag ontwerp / oplossing
- 2) Definitie Fase Welke eisen / één of meerdere oplossingen
- 3) Principe Fase Welke principes zijn mogelijk én haalbaar
- 4) Concept Fase Welke concepten zijn op basis van principes mogelijk én haalbaar
- 5) Voorontwerp Fase Is/zijn voorontwerp(en) op basis van concepten mogelijk én haalbaar

In de initiatief en definitie fase zijn alle randvoorwaarden en wensen voor het project vastgelegd. De belangrijkste eisen zijn:

- Eenvoudig en veilig koppelen en ontkoppelen van bakken onderling en met duwboot
- Vaargebied inclusief IJsselmeer en moet hoogteverschillen kunnen overbruggen.
- Focus op 2 bakken achter elkaar, echter ook 4 bakken (2x2) mogelijk

Tevens is onderzoek gedaan naar de huidige stand der techniek en de optredende problemen en risico's voor de gebruikers.

In de principe fase zijn voor de koppelfunctie een aantal principes gedestilleerd:

- Complementaire uitvoering van koppeldelen om en om
- Combinatie trek / afschuifkrachten
- Elasticiteit vermindert krachtpieken
- Omhoog/omlaag scharnierend ipv verticale rail/geleider.
- Voorgespannen veer principe
- Stelmechanisme op basis van bijvoorbeeld een spindel ?

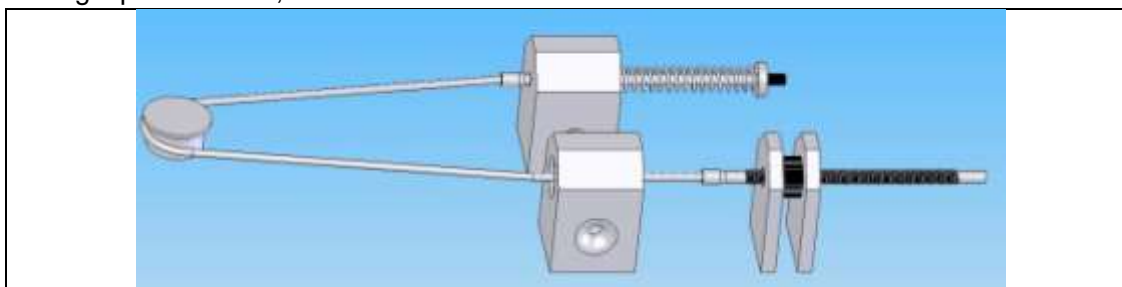
Hierbij is ook als vergelijk een analyse gemaakt van de koppelingen bij de spoorwegen.

 <p>Complementaire delen AB</p>	 <p>Combi trek / schuifkrachten</p>	 <p>Voorgespannen veer & spindel principe</p>
--	---	--

Figure 35: Basisprincipes van de ontwikkelde koppelingen

Deze principes zijn in het verder onderzoek gebruikt als basis voor de nieuwe concepten.

In de concept fase is in eerste instantie het 'V'-arm concept uitgewerkt, bestaande uit een 'V'-vormige scharnierende arm die over een bolder op de naastgelegen bak gelegd kan worden. Op één armdeel is een spindel aangebracht en op het andere armdeel een voorgespannen veer, zie hieronder.



Figuur 36: principeschets principe koppeling, voorspanning

Bij presentatie aan stuur/werkgroep is besloten om nadere concepten uit te werken vanwege beperkte dekafmetingen, een groter hoogteverschil en eenvoudiger koppelen, zie hieronder:.

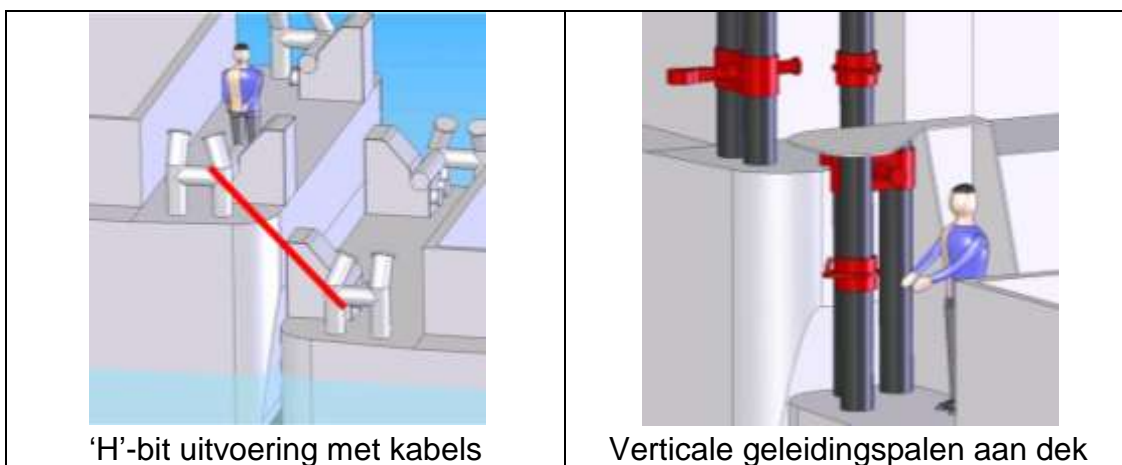
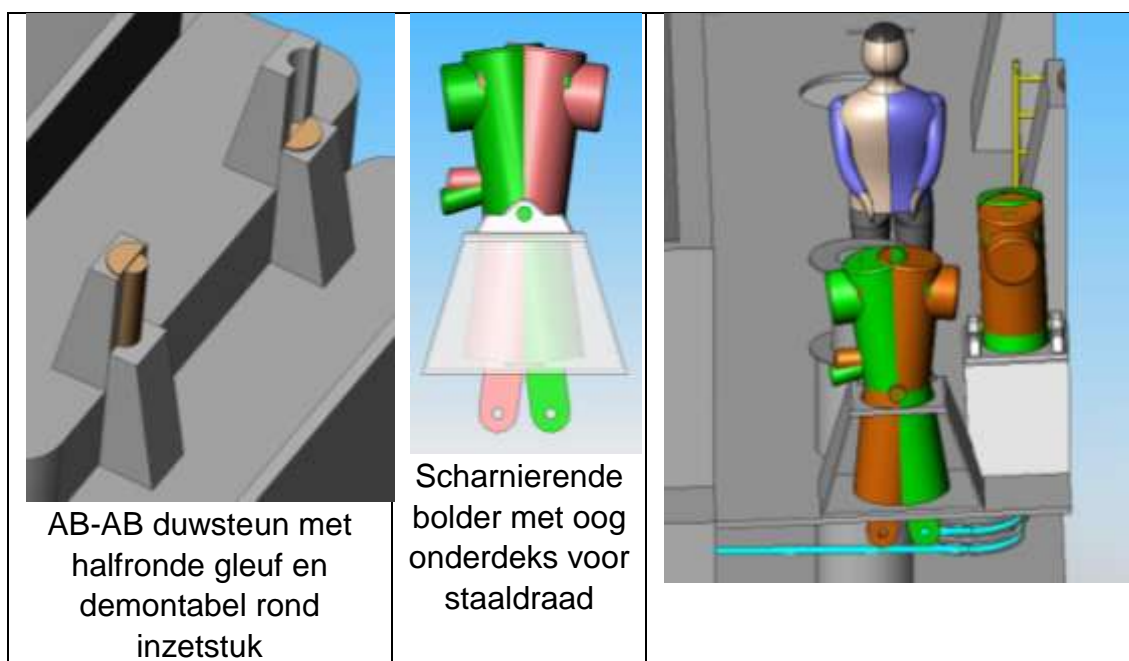


Figure 37: Overwinnen van hoogteverschillen

Bij volgende presentatie aan stuur/werkgroep is besloten om uitgaande van 'H'-bit uitvoering verder onderzoek te doen naar meer conventionele concepten. Dit heeft geleid tot het finale concept met AB-AB duwsteunen en verende bolders. De AB-AB duwsteunen zijn voor bakken onderling en voor duwboot zonder inzetstukken. Hierdoor kan duwboot zowel recht achter één bak duwen alsook halverwege tussen twee bakken. De bolders zijn op een verhoogde bolderkast scharnierend opgesteld en worden middels een lange voorgespannen staaldraad in groene positie gehouden. Deze staaldraad is veilig onderdeks geplaatst en loopt van bolder op boeg naar bolder op achterkant. Zodra belasting boven voorspanning stijgt zal bolder vrije slag maken naar rode positie. Door deze slaglengte (orde 150 mm) kan aanzienlijk meer koppelingsenergie opgevangen worden dan nu ($\approx 5 - 10x$ zoveel).



Figuur 38: De uitvoering van de koppeling

Koppeling tussen bolders gebeurt met handzame dyneema hoge sterkte kunststof kabels. Voor verbinding wordt kabel met oog om eigen bolder geslagen, vervolgens naar andere bolder en retour, omlaag en via 'hak' naar lier met wormaandrijving. Aantrekken van kabel minimaal door geringe rek kabel, voorgespannen veer onderdeks blijft steeds op spanning. Op elke hoek van bak zijn twee koppelingen aangebracht, één voor koppeling in lengterichting met vrije slag in lengte richting en één in dwarsrichting. Deze worden gekoppeld aan dezelfde bolders op de andere naastgelegen bak.

Met dit concept worden alle principes geïntegreerd op een onconventionele en toch conventionele wijze. Er kan snel, veilig en ergonomisch gewerkt worden en de bouw en onderhoudskosten blijven beperkt. Ten opzichte van huidige bolders kan een groter hoogteverschil gerealiseerd worden alsmede een betrouwbaardere verbinding in dynamische condities.

7 ENERGIEHUISHOUDING

7.1 Inleiding en doelstelling

Het project Barge Truck is opgezet om te onderzoeken of de kleinere vaarwegen in Nederland gebruikt kunnen worden voor transport over water. Kleinere duwbak/duwboot-combinaties kunnen hiervoor ingezet worden, met als randvoorwaarden:

- gemakkelijk te handelen;
- beperkt in afmetingen;
- laag energieverbruik;
- lage emissies.

Door studie te doen naar voortstuwingsconcepten, de rompvorm van duwbotten en duwbakken, optimale afmetingen ten opzichte van de vaarwegen, manieren van koppelen van duwboot- en duwbakcombinaties, energiehuishouding aan boord en emissie wordt er gestreefd naar een optimale oplossing.

Marine Service Noord verzorgt als deelnemer in dit project de studie naar de energiehuishouding, de keuze uit de verschillende mogelijke brandstofvarianten en, afhankelijk van de brandstofkeuze, de verschillende emissie-effecten.

Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is:

“Het selecteren van de voortstuwingsinstallatie en hulpbedrijf met het hoogst mogelijk rendement en een minimum aan emissie, vs de technische haalbaarheid en beschikbaarheid van verschillende brandstoffen.”

Naast gasolie is Biodiesel, LNG, CNG, biogas of waterstof een brandstof welke tegen elkaar uitgezet zullen worden.

Om tot een goed inzicht van het probleem te komen, is er gekozen voor een systematische thematische aanpak.

Aan de orde zullen komen: benodigd vermogen, rendement, benodigde energie en emissie.

Vermogen

De eerste stap die in het Barge Truck project is genomen, is de bepaling van de maximale stuwkracht van de duwboot in combinatie met de verschillende configuraties duwbakken. Dit is vertaald naar het geïnstalleerde vermogen voor de voortstuwing.

De laatste inschatting voor de voortstuwing en het benodigde vermogen is: een dubbelschroever met straalbuizen uitgerust met een vermogen van $2 * 260$ kW, zie ook de conclusies op blz 51.

7.2 Energiehuishouding aan boord

In een conventionele (duw)boot zijn op hoofdlijn twee groepen energieverbruikers te onderscheiden:

- De voortstuwing en het
- hulpbedrijf; waar onder verwarming/koeling.

De ruimteverwarming wordt verzorgd door de warmte van de hoofdmotoren te gebruiken.

Hulpbedrijf wordt ingeschat op max. 25 kW waarvan 10 kW voor elektrische koeling, airco.

De conventionele duwboot in dieseldirect aangedreven uitvoering zou uitgerust zijn met twee hoofdmotoren van plm. 260 kW elk, met een generatorset voor het hulpvermogen van plm. 25 kW voor zowel hulpvermogen als airco voorziening.

De grootste winst kan behaald worden bij de aanpak van twee gekoppelde fundamentele problemen die zich hierbij voordoen. Het eerste probleem is de mismatch van de karakteristieken van de motor en de voortstuwer. Het tweede probleem is de afgeleide hiervan, het inefficiënt brandstofverbruik.

Dieselmotoren

Dieselmotoren kennen een specifiek brandstofverbruik van plm 200 gr/kW/uur. Deze waarden worden opgegeven voor belastingen die rond de 90% van het nominaal vermogen liggen. Met de energie-inhoud van de brandstof geeft dit het rendement van de motor. Rendementswaarden voor dieselmotoren liggen rond de 30 tot 35%. Motorfabrikanten zijn geneigd in de berekeningen de parasitaire verbruikers weg te laten om tot gunstige rendementscijfers te komen.

Over het hele toeren- en belastingbereik is echter het brandstofverbruik en dus het rendement niet constant. Bij lage deellast waarden kan het specifieke brandstofverbruik oplopen tot boven de 300 gr/kW/uur waardoor het rendement terugloopt tot onder de 15%.

Stap naar generatorsets

De geïnstalleerde voortstuwing en het motorvermogen zijn gebaseerd op de maximaal benodigde stuwkracht. Echter, het momentane en het in de tijd gezien gemiddeld gevraagd vermogen is veel lager dan het geïnstalleerde vermogen.

Als gesteld: van een dieselmotor is het rendement bij deellast beduidend lager dan bij vollast. Het diesel proces is een complex proces met vele procesparameters en variabelen. Eén van de manieren om dit te moeizame compromis te verbeteren, is het toepassen van elektromotoren op de voortstuwer en de elektrische energie op te wekken met variespeed generatorsets. Hierbij wordt meestal gekozen voor een DC distributienet, maar systemen met een variabele frequentie AC net worden ook genoemd als oplossing.

Bij het gekozen concept voor de Barge Truck, met twee voortstuwars van 260 kW elk worden er twee generatorsets van 300 kW opgesteld. Deze output van de generatorsets wordt op een DC boordnet gezet, waarna met DC/AC motordrives de motoren worden aangestuurd.

Variabele speed generatorsets zijn sets die over een breed toeren- en belastingbereik met hoog rendement werken mede als gevolg van het omzetten van de AC spanning naar een DC net.

Een tweede voordeel dat uit deze configuratie komt, is dat een generatorset kan worden afgeschakeld bij deellast, zodat er altijd op of dichtbij een optimaal werkpunt van de generatorsets kan worden gewerkt. De dimensionering van de generatorsets kan verfijnd worden als er meer gedetailleerde gegevens van het vaarprofiel bekend zijn. Afhankelijk van de belastingen en de tijdsduur in het vaarprofiel zou ook gekozen kunnen worden voor drie generatorsets van 200 kW, om een meer optimale belasting, en dus beter specifiek brandstofverbruik, te hebben.

Uit recente studies blijkt dat de rendementswinst die door deze configuratie behaald wordt, opweegt tegen de extra verliezen van de elektronische omzettingen die in deze opzet voorkomen. Verder geldt dat hoe langer er volgens het vaarprofiel met relatief lage deellast gevaren wordt, hoe hoger de besparing zal uitvallen.

7.3 Emissie van dieselmotoren

Als gevolg van de verbranding van diesel wordt er CO₂ gevormd. Uit de chemische vergelijkingen is af te leiden dat voor iedere kilogram diesel er ongeveer 3.5 kg CO₂ gevormd wordt. NO_x vorming treedt op door de relatief hoge temperaturen die bij het verbrandingsproces optreden. Door in te grijpen in de procesparameters (inspuitmoment, inspuitintervallen, hoeveelheidbrandstof etc.), zijn motorfabrikanten in staat NO_x waarden naar beneden te brengen, echter ten koste van het specifieke brandstofverbruik. Het derde aspect van emissie bij de dieselmotor, de uitstoot van roet en fijnstof, wordt ook nadelig beïnvloed door de ingrepen om de NO_x uitstoot te verlagen.

Het dalende rendement bij afnemende belasting gekoppeld aan bovenstaande emissie-effecten vormt de aanvullende reden om te kijken naar varianten met generatorsets.

Regelgeving met betrekking tot emissies

De sinds april 2004 geldende Europese regelgeving (directive 2004/26 EC) is van toepassing op de binnenscheepvaart. Er zijn verschillende fases (stage III/IV) die gelden voor "non-road" engines. Stage III wordt gefaseerd ingevoerd vanaf 2006 tot 2013, stage IV geldt vanaf 2014.

Er is een aparte categorie voor Inland Water Vessels, stage IIIA Motoren worden ingedeeld in categorieën gebaseerd op slagvolume en vermogen. De regelgeving is geharmoniseerd met de Amerikaanse standaards voor scheepsmotoren. Ook de IMO heeft met de aanscherping van de Marpol Annex VI de grenswaarden per 2011 lager gemaakt (Tier II). In 2016 gebeurt dit weer, waarbij de emissie grenswaarden zo laag komen te liggen dat met interne ingrepen in de motoren deze niet meer gehaald kunnen worden. Voor deze stap is waarschijnlijk SCR (Selectieve Katalytische Reductie) technologie noodzakelijk. De eisen in de Europese regelgeving liggen ruwweg tussen de Tier II en Tier III in.

De beschikbaarheid en infrastructuur voor fossiele dieselbrandstof is uitstekend, de kostprijs is laag. Het is niet te verwachten dat de technologische ontwikkeling voor wat betreft rendementen en uitstoot nog spectaculaire verbeteringen zal geven.

7.4 Alternatieven voor diesel als brandstof

Biodiesel

Biodiesel is een verzamelnaam voor een aantal alternatieven voor diesel die in de laatste jaren op de markt zijn gekomen. De meeste zijn een mengvorm van fossiele diesel gemixt met gesynthetiseerde diesel uit gewassen. Deze mengvormen zijn te herkennen aan de toevoeging Dxx, waarbij de xx staat voor het percentage bijgemengde biodiesel. Voorbeeld: D20 wil zeggen een mengsel van 20% biodiesel met 80 % fossiele diesel.

Ter vergelijking is in deze studie gekeken naar 100% gesynthetiseerde biodiesel volgens de ASTM standaard D6751.

Als gevolg van het weer opnemen van de CO₂ door de gewassen is de totale footprint van CO₂ uitstoot bij verbranding van zuivere biodiesel tot 70% lager dan van fossiele diesel. Biodiesel geeft iets lagere emissiewaarden voor de uitstoot van onverbrande koolwaterstofverbindingen die invloed hebben op smogvorming en het gat in de ozonlaag. De NOx waarden en die van fijnstof zijn vergelijkbaar met die van fossiele diesel.

De voordelen voor een uitvoering met generatorsets zijn uiteraard voor biodiesel en fossiele diesel hetzelfde.

De beschikbaarheid en infrastructuur voor biodiesel is groeiend, de kostprijs is iets hoger dan die van fossiele diesel. Biodiesel kan zonder problemen worden toegepast als brandstof voor dieselmotoren.

Gasvormige brandstoffen, CNG, LNG, LPG en H₂

Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Natural Gas (LNG) en Liquefied Petroleum Gas (LPG) zijn gasvormige brandstoffen die of onder hoge druk, of bij lage temperatuur worden opgeslagen en gebruikt kunnen worden als brandstof voor verbrandingsmotoren.

CNG en LNG zijn beiden aardgas (methaan, CH₄). CNG wordt onder druk opgeslagen. Dit gebeurt bij 200 tot 500 bar. De energiedichtheid ten opzichte van diesel is: plm 25 %. LNG is vloeibaar gemaakt aardgas, wat bij atmosferische druk bij plm – 162 gr Celsius wordt opgeslagen en getransporteerd. De energiedichtheid ten opzichte van diesel is: plm 62 %.

LPG is een mengsel van butaan C₃H₈ en propaan C₄H₁₀, wat onder druk vloeibaar gehouden wordt. LPG is in tegenstelling tot methaan wat lichter dan lucht en verspreidt snel en verdund is dit gasmengsel zwaarder dan lucht en zal bij lekkage plassen vormen. De energiedichtheid ten opzichte van diesel is plm. 80 %.

Aan boord van schepen geldt de verordening dat brandstoffen een vlamptpunt dienen te hebben beneden de 55 graden Celsius. Het is echter niet onmogelijk om toestemming te krijgen om CNG of LNG als brandstof aan boord van (binnen)vaartschepen te gebruiken. In samenwerking met Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW), een motorfabrikant, een gasleverancier, een ontwerper/integrator van werktuigbouwkundige scheepsinstallaties en een klassebureau is het mogelijk een traject te starten waarbij onder voorwaarden en na studie van gebleken bedrijfszekerheid en veiligheidsaspecten er een vergunning wordt afgegeven voor een specifiek schip en er een uiteindelijk ook een wetswijziging volgt.

Emissies van CNG en LNG motoren (gasmotoren)

Methaan, CH₄, heeft de laagste CO₂ waarde van alle koolwaterstoffen, per kilogram komt er 2,75 kg CO₂ vrij bij volledige verbranding. De NO_x uitstoot is tot een factor 4 lager dan bij fossiele diesel. Roetvorming is niet aan de orde, uitstoot van fijnstof is tot 12 maal lager dan bij fossiele diesel.

Ook aardgas heeft een relatief lage CO₂ uitstoot, in orde van 10% minder dan het geval is bij diesel.

Er is bij toepassing van CNG of LNG als brandstof voor motoren nog een effect, namelijk methaan slip. Door onvolledige verbranding, "coldspots", koude starts en kleine lekkages komt er methaan vrij, wat als verzamelnaam methaanslip heeft. Mede omdat methaan als broeikasgas gezien wordt. is het zaak om deze uitstoot zo klein mogelijk te houden. Er is op het moment van schrijven nog geen regelgeving voor. Recente ontwikkelingen in reductie van methaanslip en daarmee het verbeteren van het verbrandingsproces maken dat rendementen van gasmotoren vergelijkbaar worden met die van dieselmotoren.

Ook bij toepassing van CNG of LNG als brandstof voor motoren geldt dat bij systemen met elektrische aandrijving en generatorsets het overall rendement verbeterd kan worden. De beschikbaarheid en infrastructuur van LNG en CNG is groeiend. Bij voldoende grote volumes is de kostprijs concurrerend met andere fossiele brandstoffen.

Verschillende motorfabrikanten en leveranciers zijn bezig met de ontwikkeling en/of ombouw van motoren om deze geschikt te maken voor het gebruik van LNG/CNG.

Waterstof, H₂

Waterstof, wat bij kamertemperatuur en atmosferische druk gasvormig is, wordt als brandstof voor brandstofcellen gebruikt. In de brandstofcel vindt een elektrochemisch proces plaats wat energetisch een rendement van plusminus 50 % kent. De rest van de energie van waterstof komt als warmte vrij. Het proces binnen een brandstofcel is vrijwel onafhankelijk van de belastinggraad. In dit opzicht scoort het omzetten van waterstofgas in een brandstofcel veel beter dan een verbrandingsmotor met Otto- of Diesel principe. Een tweede voordeel is dat er bij de energieomzetting geen emissie optreedt, er is geen koolstofcomponent in de brandstof die bij verbranding zorgt voor CO₂ uitstoot, en het proces in een brandstofcel verloopt bij plusminus 70 graden Celsius, dus NO_x zal niet ontstaan als gevolg van hoge verbrandingstemperaturen als bij verbrandingsmotoren.

Brandstofcellen zijn inmiddels zover doorontwikkeld dat complete brandstofcellensystemen met voldoende grote vermogens gebouwd en toegepast kunnen worden.

Waterstofgas is in voldoende grote hoeveelheden beschikbaar. Transport, opslag en infrastructuur voor lokale tankvoorzieningen staat echter nog in de kinderschoenen. De kostprijs voor waterstof per energie eenheid vergeleken met bijvoorbeeld fossiele brandstof in MJ is hoog, een vergelijk laat zich echter moeilijk maken, omdat de emissievoordelen zich moeilijk laten kapitaliseren.

Emissieloze techniek

Hoge investeringskosten, met als gevolg een lange terugverdientijd bij het huidige prijspeil van brandstof en energie.

Brandstofceltechnologie is goed toepasbaar in DC boordnetten aan boord van (binnen)vaartschepen, en zou in een ontwikkelingsscenario als een volgende stap

ingepast kunnen worden in DC distributienetten aan boord van schepen als vervanging van de door fossiele brandstof aangedreven generatorsets.

7.5 Vergelijk varianten met beoordelingscriteria en conclusies

Vergelijk varianten met beoordelingscriteria	Rendement	Emissie	Commercieel beschikbaar	Infrastructuur	Brandstofprijs/MJ	Investering	Regelgeving IVW direct toepasbaar	Toekomstig lagere emissiewaarden haalbaar
Diesel	-	-	+	+	++	++	+	-
Diesel Elektrisch	+	-	+	+	++	+	+	-
Biodiesel	-	+	-/+	+	+	++	+	+
Biodiesel Elektrisch	+	+	-/+	+	+	+	+	+
LNG Elektrisch	+	++	-/+	-	-/+	-	-	+
Waterstof	+	++	-	-	--	--	-	++

Tabel 5: vergelijking van de mogelijkheden qua typen motoren

Als wordt gekeken naar de doelstelling zoals in het project geformuleerd:

“Selecteren van de voortstuwingsinstallatie en hulpbedrijf met het hoogst mogelijk rendement en een minimum aan emissie, vs de technische haalbaarheid en beschikbaarheid van verschillende brandstoffen”

kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Diesel en Biodiesel in combinatie met generatorsets geven zowel een rendementsverbetering als emissie reductie. De beschikbaarheid van brandstof tegen lage prijs, goede infrastructuur en bestaande regelgeving maken het de meest voor de hand liggende keuze. Nadelen op termijn zijn de strenger wordende regelgeving op het gebied van emissies en de groeiende vraag naar fossiele brandstoffen;
- Voor wat betreft de strengere emissieregels en de beschikbaarheid van CNG en LNG zijn deze brandstoffen als alternatief op termijn beter. De houding van IVW met de toezegging dat via een voorlopige vergunning en het opbouwen van een trackrecord tot definitieve vergunning en naar een wetwijziging kan worden gewerkt moet als stimulans worden gezien;
- Een volledig emissievrij systeem met toepassen van waterstof en brandstofceltechnologie is technisch haalbaar, maar in het project Barge Truck financieel/economisch niet haalbaar zonder subsidietraject.

Brandstofkeuze

In het concept met generatorsets kunnen er drie varianten voorkomen, ingedeeld naar brandstofsoort.

Diesel

Vanuit de conventionele situatie geredeneerd, is de dieselvariant de meest voor de hand liggende door de uitstekende beschikbaarheid, de lage kostprijs, de bestaande regelgeving en beschikbaarheid van door klasse goedgekeurde installaties. Groot nadeel is de relatief hoge uitstoot van CO₂, NO_x, roet en fijnstof.

Gasvormige brandstoffen (LNG, CNG en LPG)

Als brandstof zeer geschikt voor generatorsets. Veel gebruikt in stationaire opstellingen. Veel beter geschikt vanuit oogpunt toekomstige emissie eisen.

Waterstof

Dure brandstof met een hoge investering voor de installatie.

Installatie keuze

In gesprek met IVW en lokale overheden moet bekeken worden of varen op aardgas mogelijk is qua regelgeving. Wat betreft de techniek is het goed haalbaar en het meest geschikt qua prijs milieu verhouding. Door de gasmotoren met een variabel toerental te laten draaien kan een gunstig rendement behaald worden. Een variabel toerental is mogelijk door toepassing van een DC netspanning aan boord. Door voorts twee generatorsets te kiezen, is redundancy gewaarborgd en kan door afschakeling van een set ook de helft van het gevraagde vermogen geleverd worden met een hoog rendement.

Brandstofverbruik en rendement

De besparingen op het brandstofverbruik kunnen worden uitgerekend ten opzichte van een bestaande situatie. Om dat te kunnen doen, is er een gedetailleerd vaarprofiel nodig, waarin het motorvermogen in de tijd in voldoende kleine stappen wordt opgenomen. Aan de hand van dit vaarprofiel kan dan de optimale configuratie van de generatorsets worden bepaald. Vervolgens kan er aan de hand van de rendementsverschillen bij de verschillende belastingen in de conventionele en de nieuwe configuratie een inschatting van de besparing gemaakt worden.

In de Barge Truck studie is er een vaarprofiel gegenereerd, maar dit geeft alleen informatie over de afgelegde afstand en totale draaiuren. De emissie effecten laten zich gemakkelijker bepalen, aan de hand van de massabalansen van de verbrandingsreacties.

7.6 Samenvatting

Marine Service Noord B.V. heeft, in het Barge Truck project, onderzoek gedaan naar de energiehuishouding, het toepassen van alternatieve brandstoffen, de mogelijke besparingen, het realiseren van reductie in emissie, de regelgeving en mogelijkheden om op toekomstige regelgeving in te spelen met de keuze van configuratie en brandstof.

Er is gekeken naar de efficiëntie van het gehele concept Barge Truck. De vorm van het onderwaterschip van de duwboot en de duwbakken is geoptimaliseerd. Er is voor een type voortstuwder gekozen die optimaal functioneert in het werkgebied van de Barge

Truck, en als gezegd, er is onderzocht op welke manier er het meest efficiënt met energie omgegaan kan worden binnen de randvoorwaarden van toepasbaarheid en investeringen. Restenergie gebruik en/of opslag zoals terugwinnen van uitlaatgas energie in hoge temperatuur generatorsets of warmte opslag in buffertanks is niet meegenomen gezien het geringe effect op het totaalrendement, de investeringen die er mee gemoeid zijn en de toepasbaarheid in het Barge Truck concept.

Efficiënter omgaan met de energie in de brandstof wordt bereikt door toepassing van generatorsets in plaats van directe aandrijving. Dit levert afhankelijk van de variaties in belasting gedurende de vaart de nodige procenten brandstofbesparing. Deze besparing is de eerste reductie in emissie. Een tweede reductie in emissie kan worden gerealiseerd door het toepassen van alternatieve brandstoffen.

Biodiesel is een voor de hand liggende keuze, maar strenger wordende emissieregels veroorzaken dat er op termijn opnieuw geïnvesteerd moet worden in schonere technologie. LNG, CNG en H2 kunnen ook bij de strengere regelgeving als brandstof toegepast worden, omdat de emissie beneden de normwaarden blijven. LNG en CNG zijn zonder al te veel problemen of grote investeringen ten opzichte van dieselgeneratorsets toe te passen als brandstof in generatorsets, Er zal eerst met voorlopige vergunningen gewerkt worden om ervaring op te doen voor er door IVW een certificaat wordt afgegeven. Waterstof, H2, als energiedrager toegepast in brandstofcellen, levert als enige geen emissie bij de omzetting naar elektriciteit, maar valt in dit project af vanwege de hoge investeringen in de installatie.

8 DESIGN

In het kader van fase II van het SBIR project, betreffende de technische realisatie van de barge truck, is Gaastmeer engineering benaderd om de vormgeving van het ontwerp van zowel bakken als duwboten te maken.

Bij de verschillende werkgroepvergaderingen is Gaastmeer Engineering aanwezig geweest om expertise betreffende bouwtechnische en ergonomische zaken in te brengen.

Opdracht was het maken van een realistisch ontwerp van kleine duwvaart eenheden. Tevens moesten de verschillende stadia van dit ontwerp dienen als "hard-case" voor de verschillende deelstudies en voor de inbreng van de potentiële eindgebruikers. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling "bouwtekeningen" te maken.

8.1 Programma van eisen en fasering

Hoofdafmetingen:

- 50x 6.70 bij een diepgang van max. 2.70m voor de bakken.
- 110 x 6.70 voor het koppelverband voor de Brabantse kanalen.
- 115 x 6.70 m voor het koppelverband op overige wateren.

Capaciteiten:

- Container capaciteit 28 TEU.
- Universele bakken voor zowel containers inzetbaar als zgn. "bulkbak".
- Een containerbak is eenvoudig aan te passen tot bulkbak met schuifkap.
- Voor bulkbak streven naar maximaal volume.

Voorstuwing:

- Bakken kunnen beperkt zelfvarend ingezet te worden.
- De duwboot heeft de optie voor de inbouw van verschillende voortstuwingssystemen.

Operationeel:

- Gevaren door aflosbemanning.
- Vormgeving inzetten als high tech uitstraling voor personeelswerving en promotie.

Bouwwijze:

- Eenvoudig en goedkoop.

Na overleg met de stuurgroep is besloten tot de volgende aanpak:

1. Literatuurstudie en zoeken naar vergelijkbare schepen.
2. Maken eerste voorontwerp ter presentatie aan stuurgroep.
3. Inbreng van potentiële gebruikers (ITV) en aanpassing/restylen van het ontwerp.
4. Presentatie ontwerp aan stuurgroep.
5. Aanlevering scheepsvorm en hydrostatica aan overige werkgroepen.
6. Aanpassing ontwerp met geoptimaliseerde scheepsvorm, aanbevolen voortstuwingsconcept en koppelsysteem.
7. Oplevering lijnenplan algemeen plan van bakken en duwboten.

8.2 Ontwerp overwegingen

Bakken

Vorm van de boeg. In de historie is veel geëxperimenteerd met verschillende boegvormen voor lichters. In bepaalde specifieke omstandigheden heeft een zgn. elliptische boeg weerstandsvoordeel, deze is echter moeilijk te combineren met de 28 TEU eis binnen de gegeven afmetingen. In eerste instantie is gekozen voor de ook in

grotere eenheden toegepaste “keilspant” boegvorm. Tevens is gekozen het laadruim zoveel mogelijk naar achter te plaatsen. Bij de minimaal geachte werkruimte van 2.70 m voor het achterdek kan zo de boeg zoveel mogelijk oplopen. Naar aanleiding van de weerstand studie is bovendien besloten om door toepassing van oplegnokken onder de voorste containerlaag het vlak nog verder te laten oplopen.

Vorm van de kim. Er is voor gekozen om een constante radius toe te passen omwille van aanmeren tegen een oplopend talud.

Vorm van de spiegel. De bakken worden veelal met de spiegels gekoppeld, een knik van ca 600 mm is toegepast om trimverschillen te overbruggen.

Holte. Hoewel de diepgang beperkt is tot 2.70 m. is de holte vergroot om volume te creëren voor de toepassing als bulkbak. Dit is gedaan door boven het berghout een verhoogd boeisel toe te passen. Een volume van 1100m³ voor bulkklading is dan mogelijk.

Constructie eisen worden bepaald door de maximale diepgang.

Voorstuwing. Beperkte eigen voorstuwing is in optie aanwezig, door in zowel voor als achterschip een schacht van 1.50m x 1.50 m in de constructie op te nemen.

Hierin kan men naar believen een boegschroef unit of een unit met een actief kop roer plaatsen. De bakken zijn dan voor diverse vaarwegprofielen eenvoudig aan te passen. Tevens is het koppelsysteem volgens AB principe ingetekend. Er is een wegneembare reling toegepast.

Duwboten

Lijnenplan. Gekozen is voor een eenvoudige spantvorm met een voor en achter opgebogen vlak. Deze biedt ruimte voor aanstroming van de voorstuwings. Ten behoeve van de langsscheepse volume verdeling is een gondelvormige appendage toegepast, die tevens de schroeven beschermt en de diepgang beperkt.

Aanpassingen voor de verschillende opbouwconfiguraties zijn hierdoor mogelijk zonder de hoofdconstructie te veranderen.

Zijden zijn recht opgaand om zoveel mogelijke volume te creëren.

Voorstuwingsconcept. Binnen dit lijnenplan zijn in principe alle voortstuwingsconcepten mogelijk. Binnen het Barge Truck concept hebben wij gekozen voor de volgende optie:

Voorstuwing d.m.v. 2 x een 360 graden draaibare trusters met straalbuis. Aandrijving d.m.v. een elektromotor die zowel horizontaal als verticaal kan worden opgesteld. De benodigde stroom wordt opgewekt door een te variëren aantal generatorsets die aan dek in een reces onder de hefbaar stuurhut zijn geplaatst. Al naar gelang het benodigde vermogen kunnen meerdere generatorsets worden opgeschakeld. Bij continu vaart kunnen de sets voor revisie zonder stilligdagen worden omgewisseld. Voor de generatoren kunnen zowel gasgeneratoren als dieselgeneratoren worden gekozen.

Uitrusting. Op het achterdek bevindt zich een kraan waarmee zowel de auto voor de aflosbemanning op de wal als een kleiner generatorset op een bak kan worden gezet.

Duwhoorns zijn voorzien van een dubbele AA koppeling zodat zowel een tweebaks- al een vierbaks formatie kan worden gevaren. Voor de 13 m versie is de inbouw van LNG tanks voorzien. De pusher is voorzien van een hefbaar stuurhut. In de bijlagen is een zichtplan studie opgenomen. Gezien de geringe afmetingen van de duwboten wordt aangeraden het boeganker van de achterste bak als hekanker te gebruiken. In de voor en achterhoeken zijn trimitanks geïntegreerd.

Bijstelling n.a.v. rapportage werkgroepen

Met vertegenwoordigers van de stuurgroep is uitgebreid overleg geweest over de vormgeving van de bakken qua transport van containers en droge bulk.

De boegvorm van de bakken is in overleg met Marin aangepast waardoor de weerstand significant verminderd is.

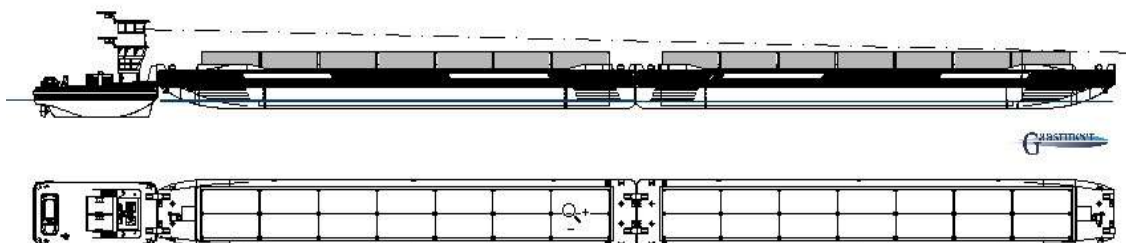
Voor de pusher zijn geen aanpassingen gedaan. Aanstromen van de schroeven is volgens CFD berekeningen redelijke optimaal. Wel zijn in de 13 m versies gastanks geplaatst. De technische tekeningen voor presentatie doeleinden zijn in 3-d modellen omgezet.

De bakken

De bakken kunnen in deze vorm eenvoudig en in secties worden gebouwd. Bouwmateriaal is staal. Staal gewicht van de bakken is plm 135 ton. De gekozen afmetingen van de bunnen voor boegschroefunit van 1.50 x 1.50m lijken aan de kleine kant. Uit de manoeuvreerstudies zou een boegschroefunit van 350 pk blijken.

Pusher 10m

De 10 m versie is uitgevoerd met diesel generatoren. Gezien de



Figuur 39: eindconfiguratie van het ontwerp

langsscheepse trim is het meenemen van een auto in combinatie met elektrische voorstuwung twijfelachtig. Dit gezien het gewicht van de elektromotoren en de trusters. Verplaatsing is naar schatting 70 ton.

Gekozen vermogen is 2 x 350 pk. Uit de overige deelstudies blijkt dat dit voldoende is voor snelheid en manoeuvreren. Indien deze pusher alleen in de kleiner kanalen wordt ingezet, kan gekozen worden voor minder generatorvermogen.

Pusher 13m.

De 13m versie van de duwboot is getekend met gastanks met een totale inhoud van 20 m³ en een tweetal gasgeneratoren. Vooralnog is een afstand tot de zijden en de tanks van 1 m gekozen. Dit om aan de ADNR eisen te voldoen. Verplaatsing is naar schatting 93 ton. De gehele opzet is wat ruimer dan de 10 m en levert een meer werkbaar schip op. De elektromotor kan eventueel verticaal worden geplaatst. Dit levert een beter rendement op.

Verdere uitwerking

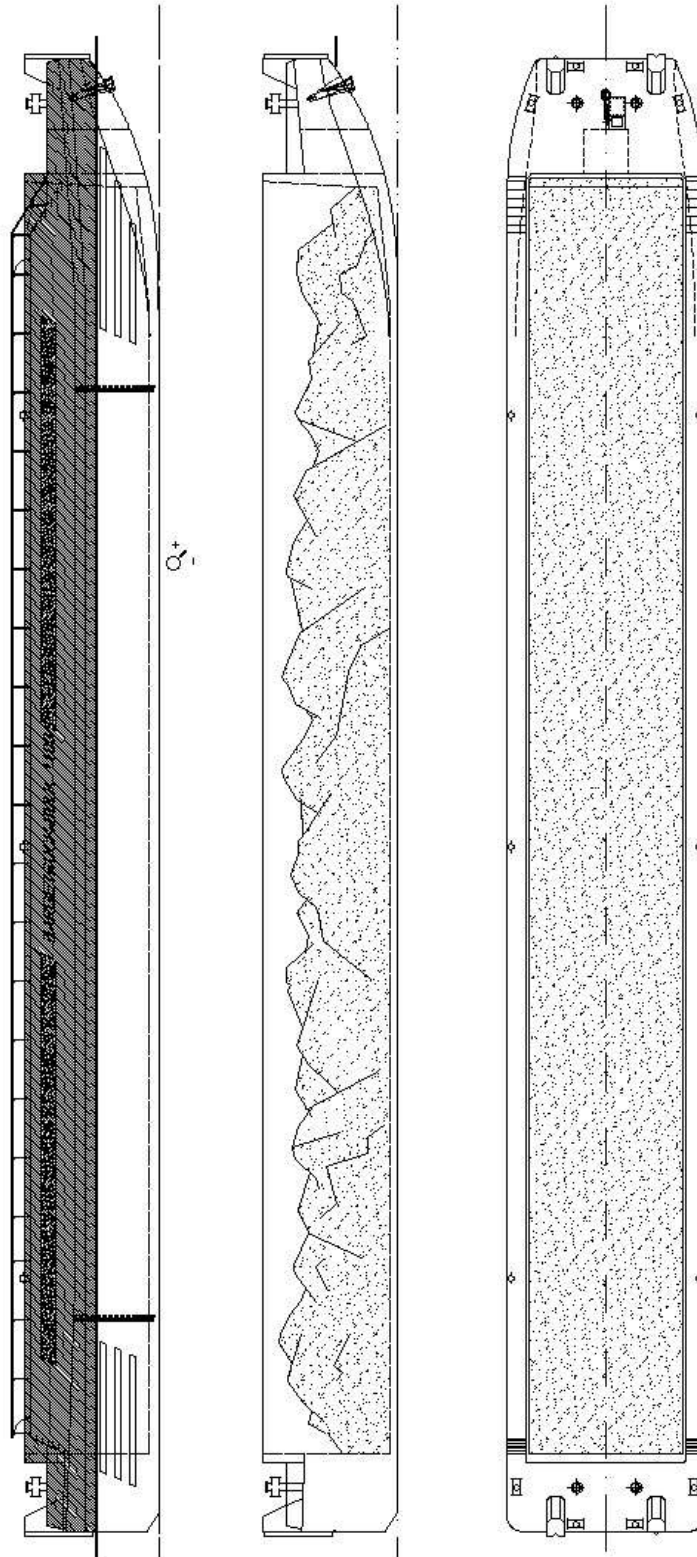
De in de bijlage geleverde voorontwerpen dienen qua constructie verder te worden uitgewerkt. Bij de definitieve keuze van de voortstuwungstrein moet de gewichtsberekening definitief uit de specificaties van de verschillende componenten worden aangepast. Indien mogelijk moet de spiegelindompeling worden beperkt.

Voor de bakken moet nagedacht worden over detaillering van de voorste containers steps. In het geval van combineren van containers en bulkclading moet deze eenvoudig gedemonteerd of weg geklapt kunnen worden.

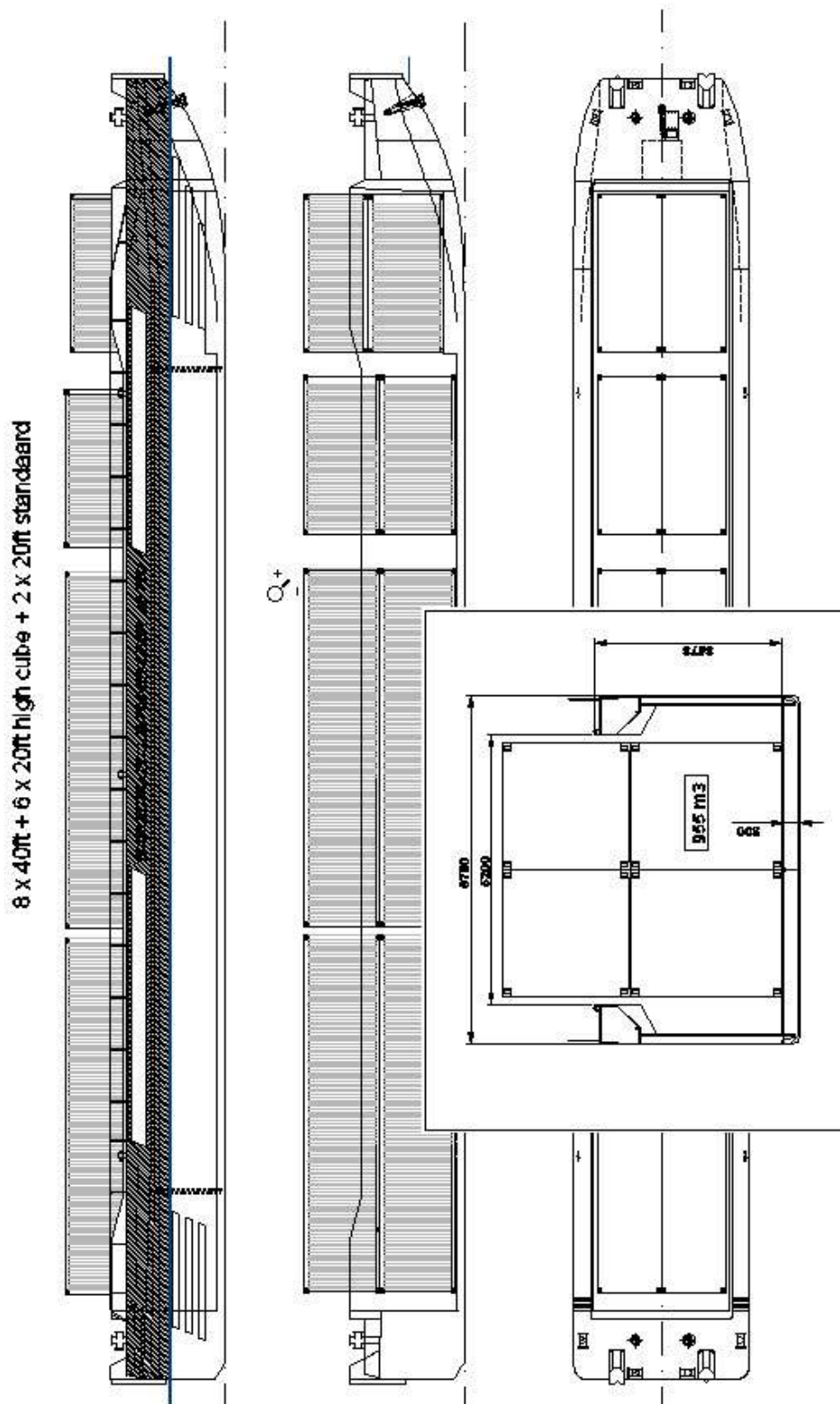
8.3 Conclusies

De geleverde voorontwerpen voldoen aan het programma van eisen en zijn binnen de gestelde randvoorwaarden geoptimaliseerd voor de weerstand. De concepten zijn eenvoudig aan te passen op het operationele vaarwegprofiel. (Power on demand concept.) Bakken zijn te voorzien van Power/sturing modules, die snel uitwisselbaar zijn. Conversies na afloop van een dienstperiode zijn eenvoudig. Door modulaire opbouw is het concept goed in te passen in een rederij bedrijf.

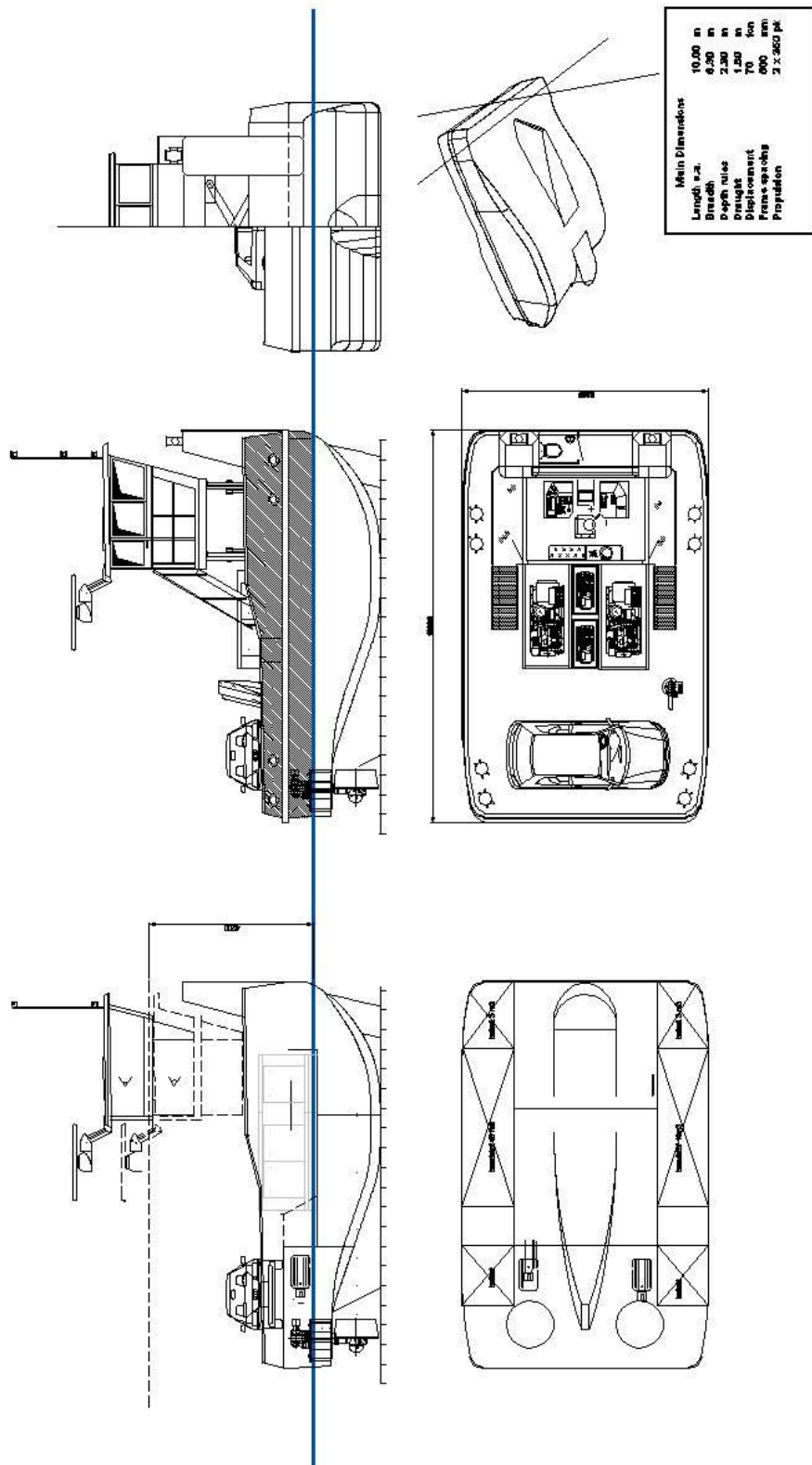
Figur 40: General Arrangement of Bulk Barge



Figuur 41: General Arrangement of Container Barge



Figuur 42: Pusher 10 m General Arrangement



Figuur 43: Pusher 13 m General Arrangement

