

Seminar
'Energie-efficiëntie onder de waterlijn – op zoek
naar natte innovaties'
Woensdag 2 maart 2016





Inleiding

Het platform

Samen gaan voor/van economie & milieu
Niet zonder regelgeving -> innovatie
Iedereen is nodig!

Expert meetings & seminars
wet & regelgeving overzicht
Relevante publicaties

<http://www.schonescheepvaart.nl/platform>

De actualiteit

Parijs
IMO bespreekt uitbreiding van EEDI eisen
MRV voert druk op operationele efficiency op



Programma

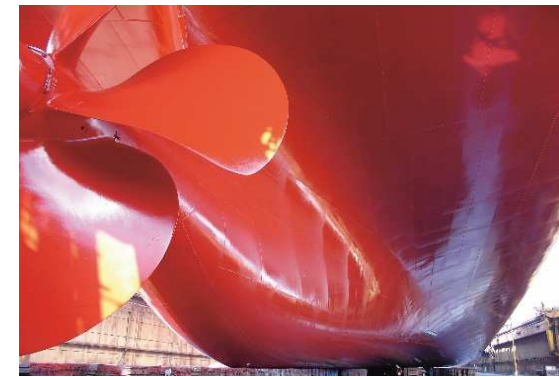
13.00 uur	Opening en inleiding programma	Johan de Jong, dagvoorzitter Manager international relations, MARIN
13.10 uur	Brandstofbesparing door efficiënte aangroeiwering	Job Klijnstra Expert Fouling Control & Material Protection, Endures
13.40 uur	Het 'ecospeed' hull coating systeem	Manuel Hof Production Executive, Hydrex
14.00 uur	Antifouling folie voor de scheepshuid om aangroei te voorkomen	Robert de Ruiter Commercieel Directeur, Micanti
14.20 uur	Antifouling in koelwatersystemen (Engelstalige presentatie)	Carlos Felipe Leon-Morales Laboratory Manager, Corrosion
14.40 uur	<i>Pauze</i>	
15.00 uur	Fouling weten door stuwkracht te meten	Erik van Ballegooijen Technisch consultant hydromechanica, VAF Instruments
15.25 uur	Gebruik maken van air cavity om brandstof te besparen	Jochem de Jong Principal Research Engineer, Damen Shipyards
15.50 uur	Slim ontwerp van het achterschip, de ConoDuctTail	Guus van der Bles Manager development, Conoship
16.15 uur	Voortgang in rompoptimalisatie in operationele ontwerpen	Patrick Hooijmans Teamhoofd koopvaardij- en werkschepen, MARIN
16.40 uur	Vragen en discussie	Onder leiding van dagvoorzitter
17.15 uur	<i>Netwerkgelegenheid</i>	



a TNO company

Brandstofbesparing door efficiënte aangroeiwering

Presentatie Seminar Platform Schone Scheepvaart
2 maart 2016 Harderwijk



Job Klijnstra
Expert Fouling Control & Material Protection

Job.Klijnstra@Endures.nl



Inhoud presentatie

- Aangroeiwering:
 - Wat is het en waarom is het nodig?
- Gangbare technieken voor aangroeiwering
- Regelgeving voor antifouling coatings
- Testmethoden voor antifouling coatings





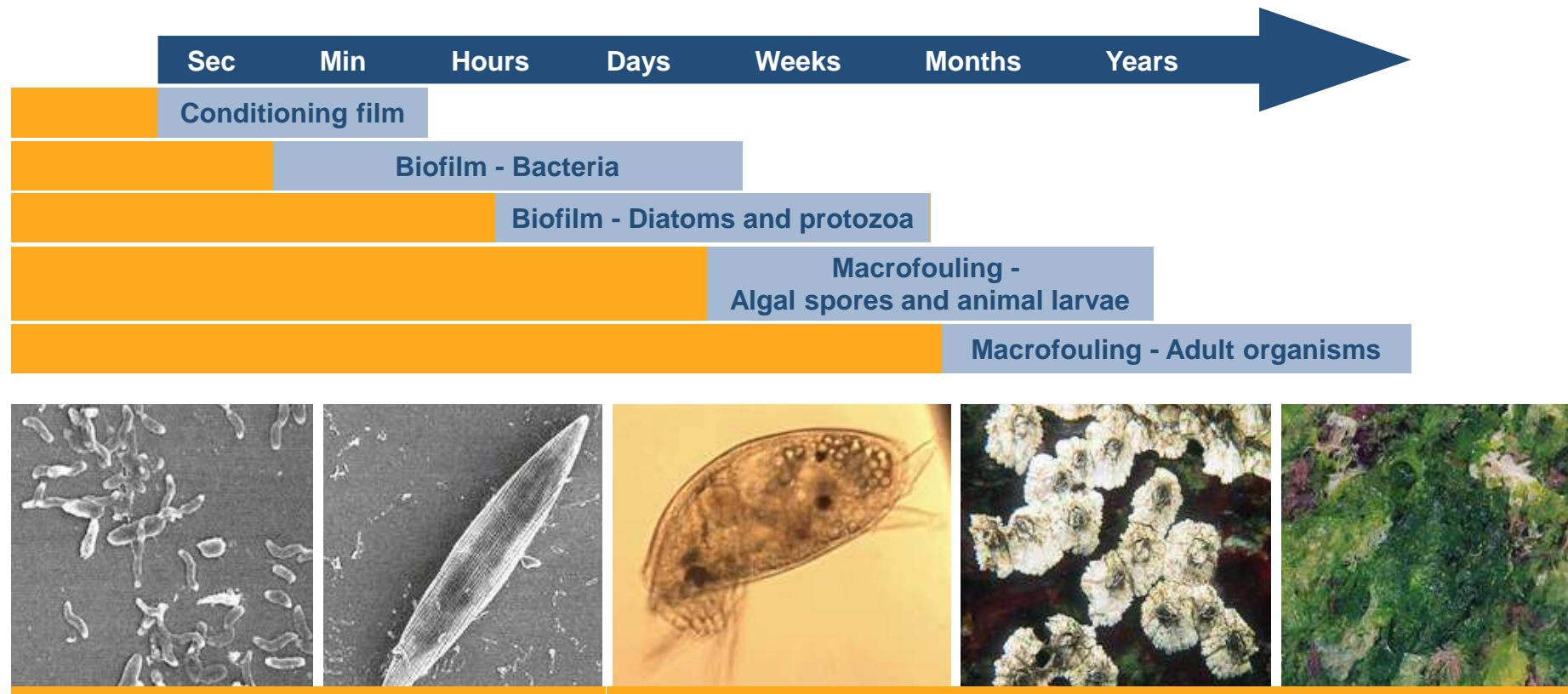
Endures BV, Den Helder

- Corrosie en Antifouling onderzoek sinds 1964
- Expertise
 - Corrosie
 - Electrochemie
 - Metaalkunde
 - Antifouling
 - Microbiologie
 - Coatings
 - Duurzaamheid materialen in zeewater (composiet, lijmverbindingen)
- Natuurlijk zeewater voor testopstellingen
- Huis-laboratorium van de KM





Schematische weergave van het fouling proces



Let wel: de variatie in soorten organismen, tijdsbestek en seizoeneffecten, volgorde en interacties tussen soorten is groot



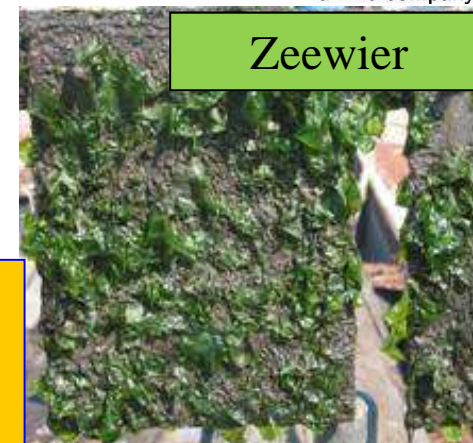
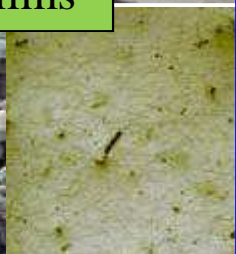
Diversiteit in soorten en populaties



Biofilms

Hangt onder meer af van:

- geografische locatie
- duur van blootstelling
- seizoen
- oppervlakte-eigenschappen
- biologische interacties
- variaties van jaar tot jaar



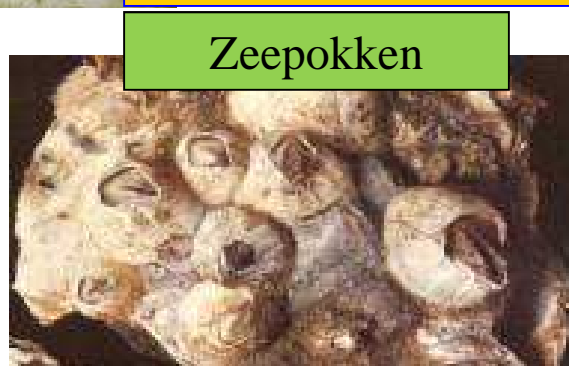
Zeewier



Gemengde populaties



Kokerworm



Zeepokken





a TNO company

Aangroei is een probleem in veel sectoren



Jachten



Offshore installaties



Zeegaande schepen

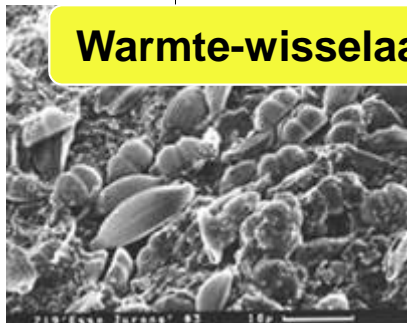


Membranen

Antifouling Onderzoek



Oceanografische instrumentatie



Warmte-wisselaars en water inlaten



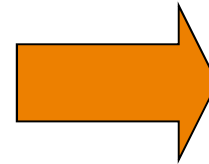
Aquacultuur



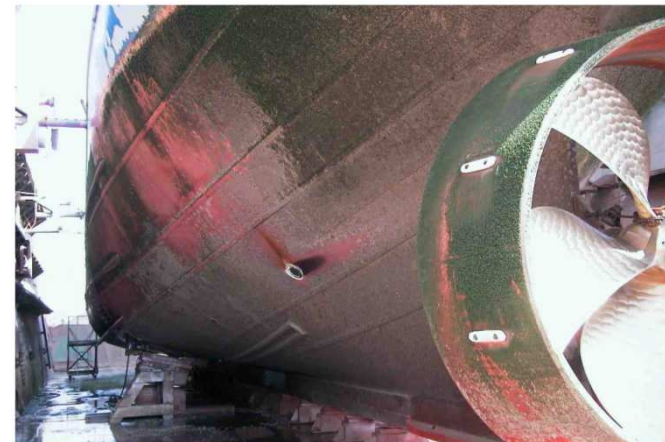


Consequenties voor schepen

- Toename van wrijvingsweerstand
- Hoger brandstofverbruik of langere vaartijd
- Toename van corrosie-risico
- Meer onderhoud nodig
- Beperking in operationele inzet

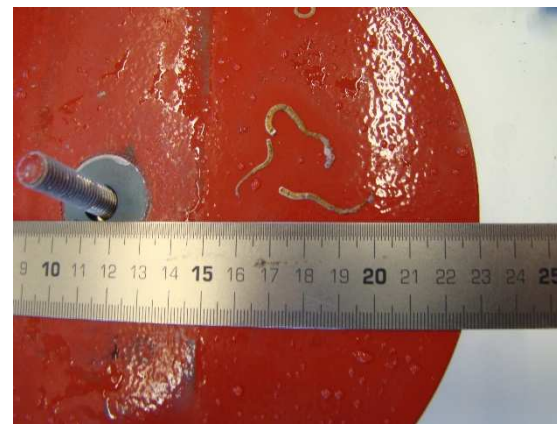


Toename van kosten





Voorbeelden van "biologische ruwheid"





Geschatte invloed van aangroei op wrijvingsweerstand a TNO company

Description of conditions	Average coating roughness (μm)	Increase in resistance and shaft power at 15 kn
Typical as applied AF coating	150	1 %; 1 %
Deteriorated coating or light slime	300	9 % ; 9 %
Heavy slime	600	17 %; 18 %
Small calcareous fouling or weed	1000	29 %; 31 %
Medium calcareous fouling	3000	44 %; 47 %
Heavy calcareous fouling	10.000	69 %; 76 %

Schultz *et al.*, (2011). *Biofouling* 27: 87 – 98.

Schattingen op basis van aannames over ruwheid. Goede metingen aan coatings met aangroei zijn niet voorhanden. Wrijvingsweerstand is verreweg het grootste deel van de totale weerstand van een schip!



Gangbare technieken voor aangroeiwering

1. Chemisch actieve coatings (bevatten biociden)

- Domineren de markt (80 – 90 %)
- Na het verbod op TBT is koper de belangrijkste actieve stof
- Combinatie met “booster” biociden (*bv.:* Seanine, Zineb, Tralopyril)
- Kenmerk: eroderende of zelfslijpende verven
- Gecontroleerde afgifte van biociden
- Toelating nodig

- Beperkte levensduur
- Verschillende typen bindmiddelen:
 - SPC, CDP, hybride
 - Instelbare “polishing rate”
 - Producten voor schepen met verschillend vaarpatroon



Antifouling coatings met verschillend biocide gehalte



Gangbare technieken voor aangroeiwering

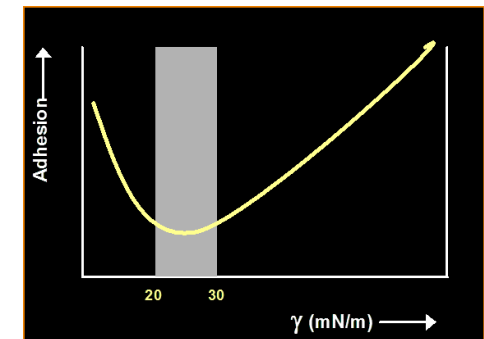
2. Inerte, biocide-vrije coatings

➤ Fouling release coatings (FRC)

- Siliconen bindmiddel in vrijwel alle producten
- Werking gebaseerd op slechte hechting van aangroei: fysische oppervlakte-eigenschappen bepalend
- Coating blijft intact, langere levensduur
- Geen toelating vereist
- Schip kan makkelijk gereinigd worden of zichzelf “schoon varen”
- Afgelopen jaren sterke productontwikkeling
- Alle grote verfleveranciers voeren product(en)

➤ Harde coatings (in combinatie met reiniging)

- Aantal producten beschikbaar
- Vaak op ijsgaande schepen
- **Hydrex presentatie**





Gangbare technieken voor aangroeiwering

3. Verschillende andere technieken

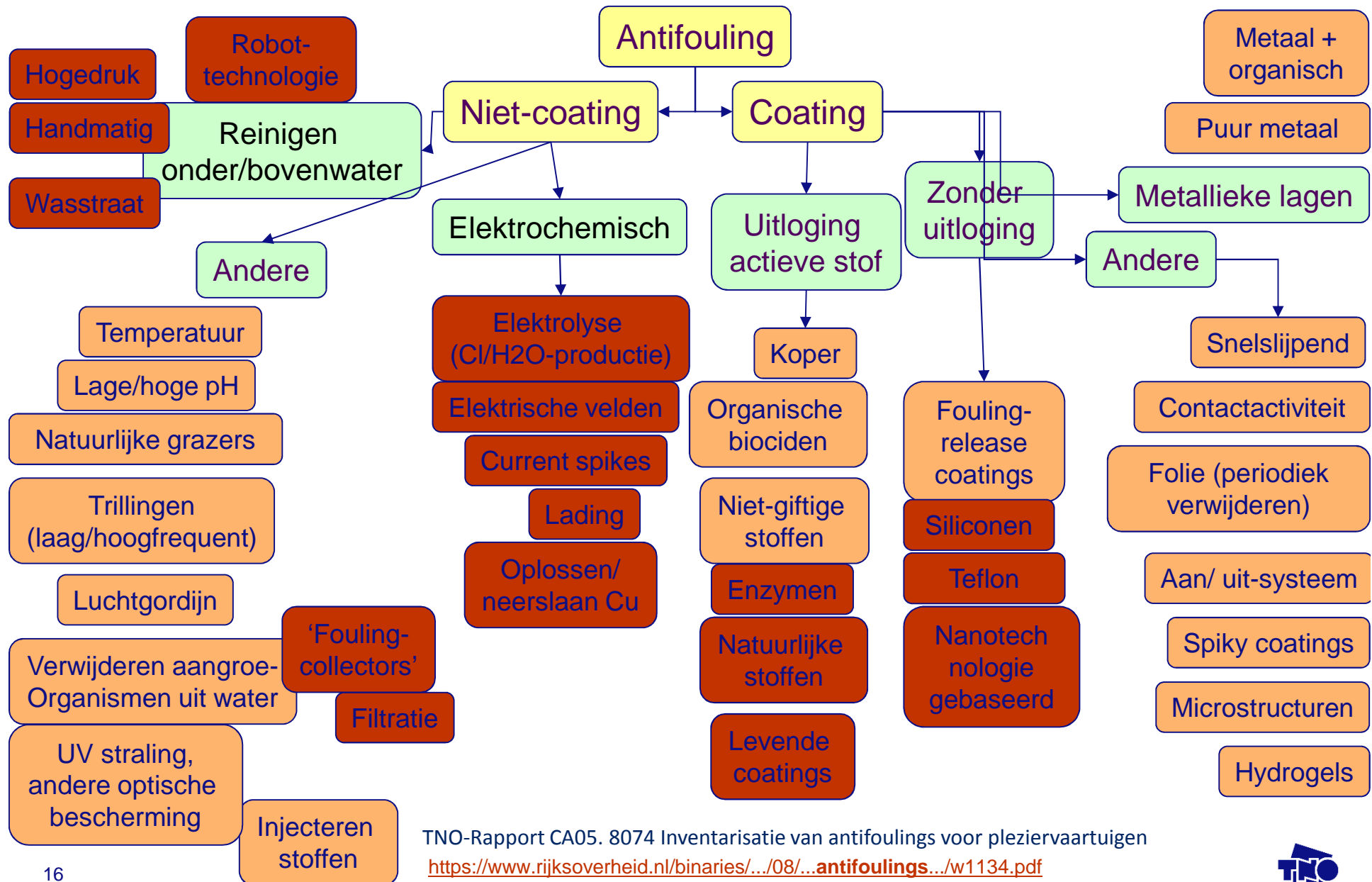
- Elektrochemisch – ICAF systeem, “current spikes”
- UV-straling – [zie presentatie Corrosion](#)
- Ultrasoon geluid – aantal producten op de markt, nog geen overtuigende werking

- Folies voor scheepsrompen
 - Gladde folies
 - Folie met stekels – [zie presentatie Micanti](#)

4. Nieuwe ontwikkeling

- Siliconencoatings met biocide – aantal producenten actief
- Voor schepen met langere stilligtijden of lage activiteit
- Voor deze siliconencoatings wel toelating nodig

Vele mogelijkheden om aangroei te bestrijden





Regelgeving voor antifouling verven

- Chemische actieve antifouling verven - onderhevig aan regelgeving en toelating
- In 1998 is start gemaakt met Biocidenrichtlijn – Productgroep PT21
- Vanaf 1 september 2013 Biocidenverordening van kracht
- Voor PT21 tot nu toe nog geen Europese aanvraag mogelijk – zou kunnen veranderen in 2016
- Aanvragen voor PT21 gaan nog volgens overgangsregeling via Ctgb in Wageningen
- Dossier voor actieve stof koper (oxide) is beoordeeld – stof is toegelaten
- Traject voor (her) registratie van koperhoudende producten loopt

- Producten/ coatings op basis van fysisch werkingsmechanisme behoeven geen toelating
- Huidig beschikbare gifvrije verven zijn qua werkzaamheid en mechanische bestendigheid nog niet geschikt voor alle typen schepen en vaarprofielen



Internationale ontwikkelingen – IMO en EU

Brandstofbesparing zeescheepvaart

- Driving force voor begrippen als EEDI, EEOI en SEEMP
- Hull Fouling = Wrijvingsweerstand: **minimaliseren!**
- Gebruik van minder effectieve coating geeft toename brandstofverbruik en broeikasgasemissie: **trade-off tussen emissies naar lucht en water?**
- ISO 19030 in ontwikkeling; (nog) geen aandacht voor drag-eigenschappen van antifouling coatings
- "Slow steaming" belangrijke component in emissiereductie. **Echter:**
 - Bij gebruik van SPC kan de "polishing rate" niet meer optimaal zijn
 - Bij gebruik van FRC is foul release gedrag misschien niet optimaal
- Mogelijke consequentie bij aanpassing vaarpatroon: productkeuze maken op basis van drag-eigenschappen





Testmethoden voor werkzaamheid

Twee verschillende werkingsmechanismen:

- A) Hoe lang blijft het oppervlak vrij van aangroei?
- B) Hoe gemakkelijk komt fouling weer los van het oppervlak?

Chemisch actieve coatings: vooral mechanisme A van belang!

- Testen van
- erosiegedrag in zeewater (ASTM D4938/ TNO Rotor test)
 - afgiftesnelheid van biociden in zeewater (ASTM D6442 / ISO 15181)
 - expositietest op vlot volgens ECHA/ BPR, 1 seizoen lang
(Worst case scenario; ASTM D3623 en D6990)





Testmethoden voor werkzaamheid

Voor inerte coatings en folies is meestal mechanisme B belangrijk!

Uiteraard geldt hier: wat er niet op komt, hoeft er ook niet af!
Hoe gemakkelijk aangroei loskomt, is te onderzoeken m.b.v.:

- Meten van afschuifkrachten – zeer beperkt bruikbaar
- Testen van platen (met aangroei) in stroomtunnels of sleeptanks – grote opstellingen, dure testen, niet (goed) reproduceerbaar
- Roterende testopstelling met aangegroeide panelen of schijven – kleinere afmeting, goed snelheidsbereik, replica's goed te meten

Voor zowel biocidehoudende en biocidevrije coatings zou je graag direct willen meten:

1. Hoeveel (extra) weerstand geeft een rompcoating met een bepaalde mate van aangroei al dan niet na verouderen?
2. Bij welke vaarsnelheid en na welke vaartijd komt aangroei die aanwezig is, weer los en ondervind het schip geen extra weerstand meer?



Meten van de wrijvings-weerstand van coatings



Opstelling gebouwd naar voorbeeld uit de literatuur (*Holm et al, (2004); Biofouling 20 (4/5): 219*)

Torsie-metingen aan roterende schijven in zeewater; bepaling van de wrijvingsweerstand en omrekening naar de wrijvingscoëfficiënt C_f .

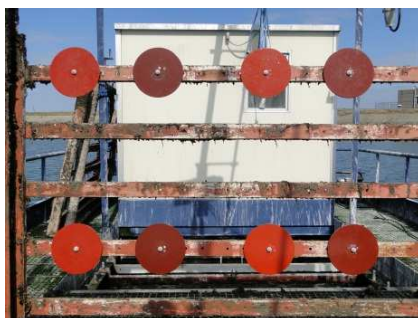
Aan de hand van verschilmetingen aan gecoate schijven met en zonder aangroei kan de extra weerstand van specifieke aangroei patronen op de coating bepaald worden.



Onderzoek naar de weerstandseigenschappen van coatings met en zonder aangroei op lange termijn



Hoe gedragen coatings zich na langere tijd dynamisch verouderen?



Vier verven op het vlot; daarna meten op weerstand met aangroei.



SPC
15 % extra drag



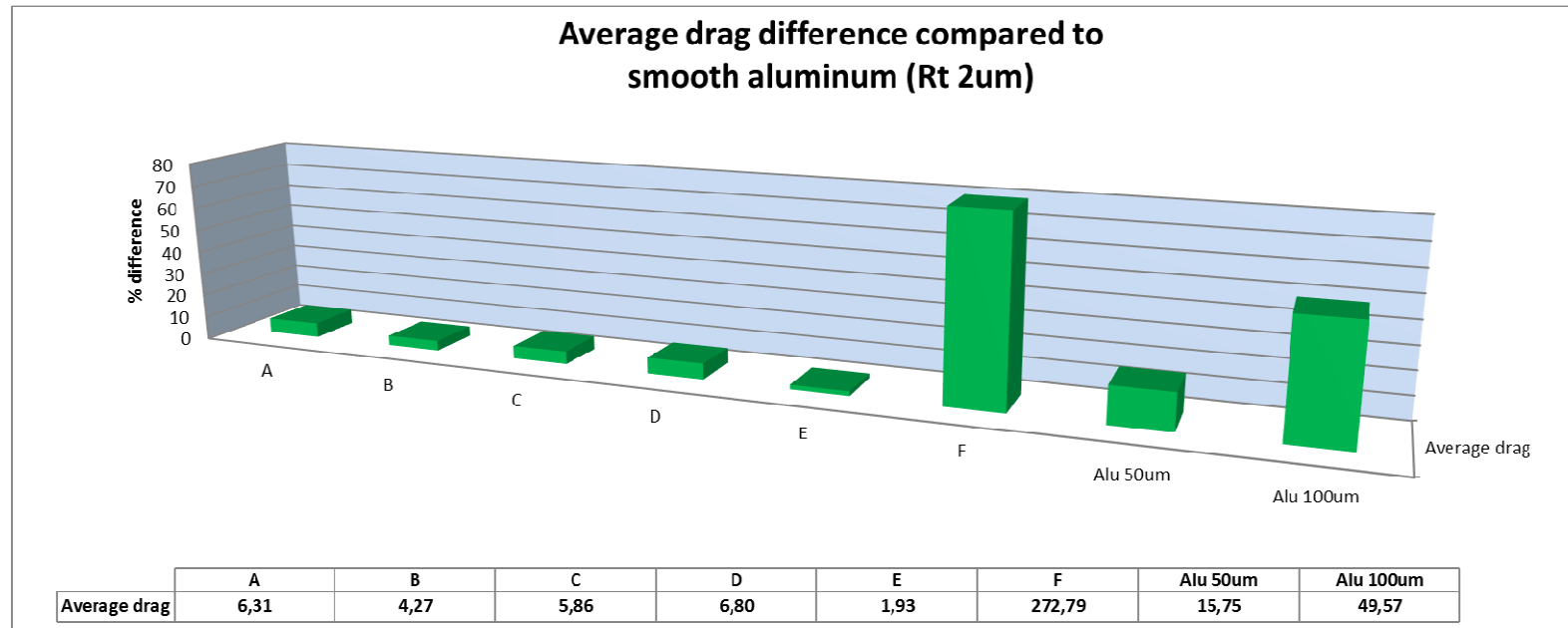
FRC
5 % extra drag

Met behulp van herhaalde cycli van statische expositie op het vlot, weerstandsmetingen en dynamisch verouderen in natuurlijk zeewater, kan het lange-duur gedrag van coatings worden bepaald.



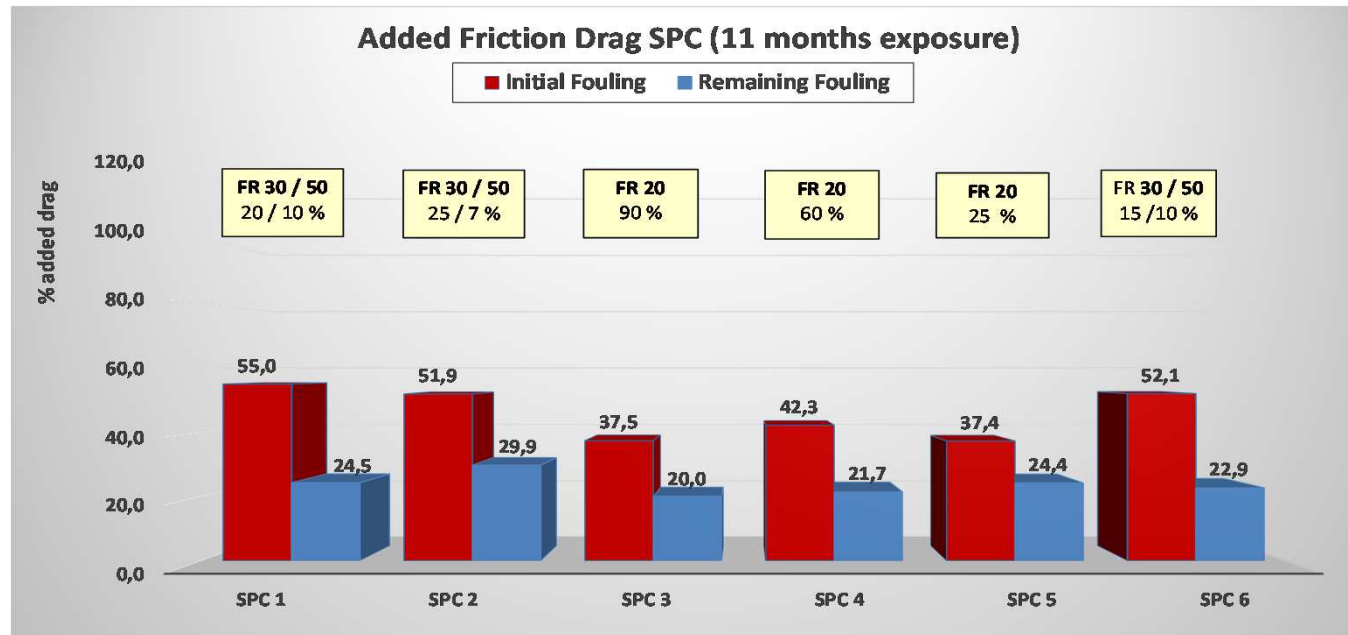


Voorbeeld van weerstandsmetingen aan verschillende antifouling coatings zonder aangroei



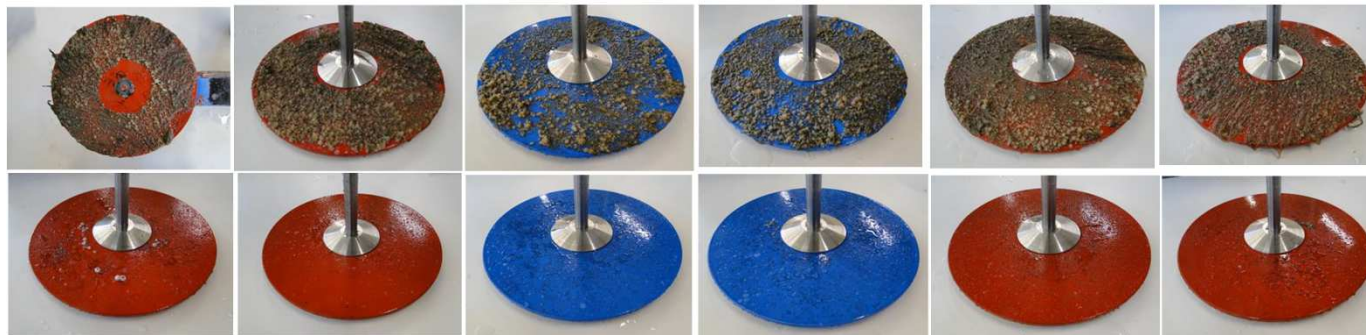
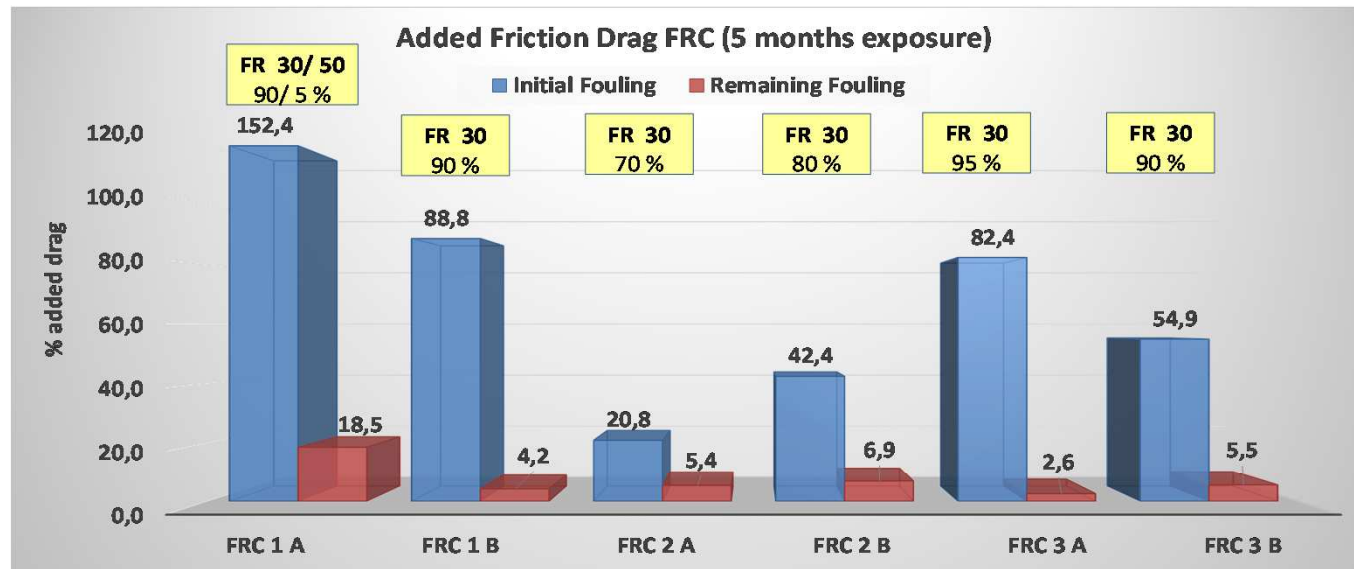


Weerstandsmetingen aan SPC's met aangroei



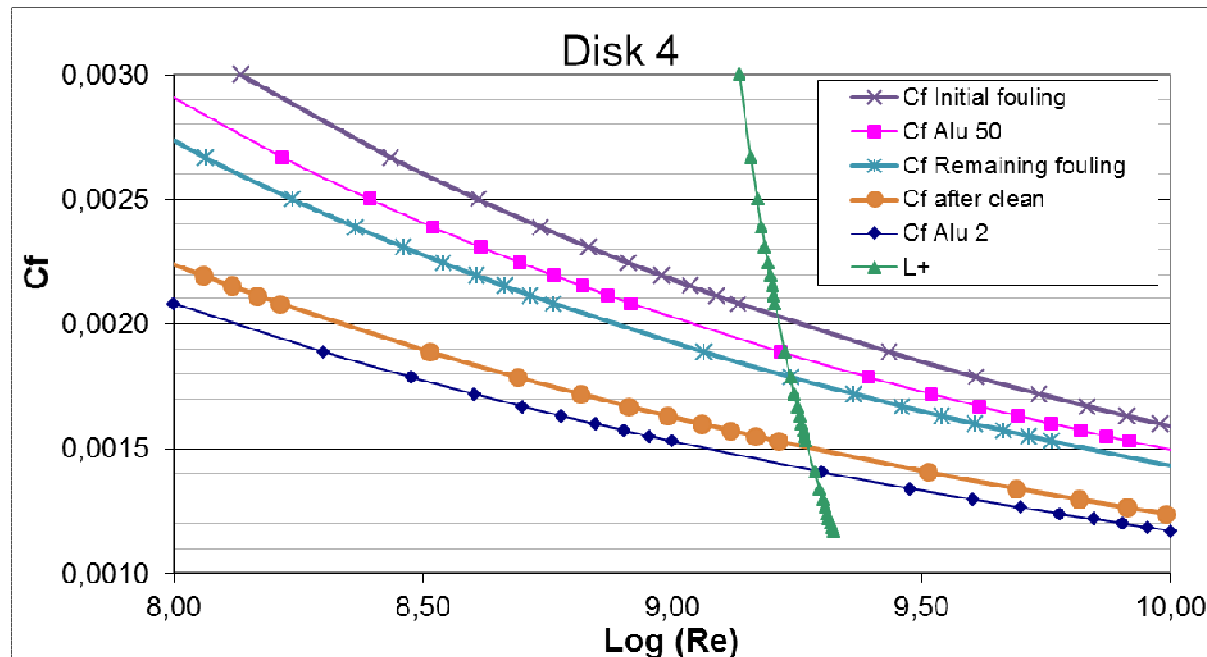


Weerstandsmetingen aan FRC's met aangroei





Voorbeeld van uitwerking van resultaten van weerstandsmetingen naar verschillen in wrijvingscoëfficiënt voor een coating met aangroei.
(Granville similarity law approach)





Roterende trommel in natuurlijk zeewater

- Opstelling bruikbaar voor onderzoek naar de minimale snelheid en rotatietijd die nodig is om aangroei van een (fouling release) coating los te krijgen
- Panelen worden kortstondig op het vlot blootgesteld om stilligperiode van een schip te simuleren
- Daarna worden de panelen onderworpen aan een specifiek protocol met oplopende rotatietijd en rotatiesnelheid om fouling release gedrag te bepalen.
- Met behulp van herhaalde cycli kan ook het lange-duur gedrag van coatings worden bepaald.



Resultaat van een test van enkele jaren geleden met 1^e generatie FRC's. Voor huidige producten liggen claims bij veel lagere snelheid.





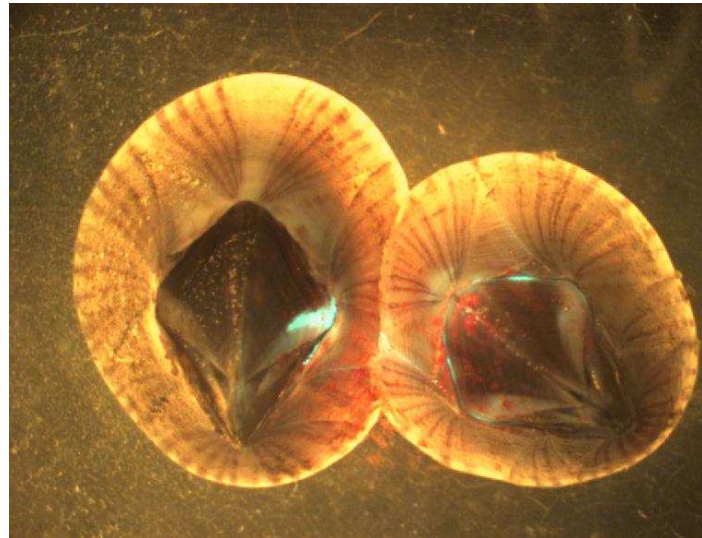
Enkele conclusies

- Gerichte testmethoden voor weerstandsmetingen van coatings met aangroei zijn nodig om voor uiteenlopende vaarpatronen en stillig-perioden de best presterende coatings te kunnen selecteren.
- Uit weerstandsmetingen blijkt dat siliconencoatings met hun fouling release eigenschappen goed kunnen bijdragen aan een laag brandstofverbruik van een schip.
- Selectie van antifouling-coatings op grond van weerstandseigenschappen kan reders helpen het brandstofverbruik van hun schepen zo laag mogelijk te houden.
- Over de lange-duur prestaties van siliconencoatings op het gebied van brandstofbesparing bestaat nog twijfel in de markt. Nader onderzoek hiernaar met gecoate schijven die op representatieve wijze verouderd worden, kan uitsluitsel geven en aanknopingspunten bieden voor productverbetering.



Dank voor uw aandacht

Vragen ?



Job Klijnstra
Expert Fouling Control & Material Protection

Tel.: +31 (0)6 1049 0059
Job.Klijnstra@Endures.nl

Duurzame en verantwoorde benadering van scheepsrompbescherming

Energie-efficiëntie
onder de waterlijn

2 maart 2016

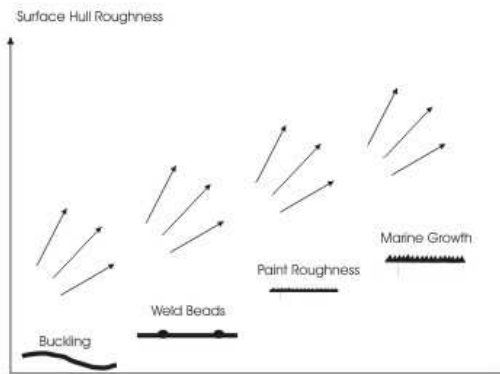
Harderwijk, Nederland



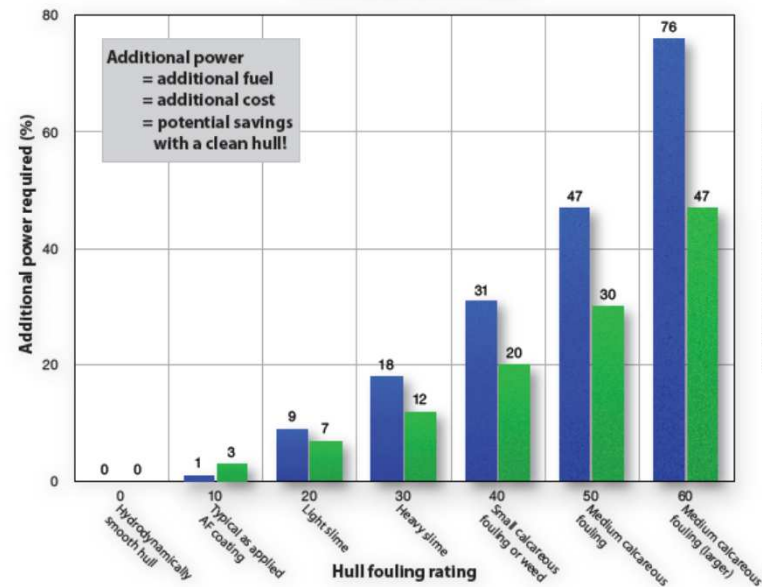
Brandstofefficiëntie

Gevolgen afwijking gladde romp

- Constructie
- Coating en applicatie
- Verslechteren van de coating
- Biologische aangroei
- Bijkomend vermogen nodig van 1-3% tot 80%



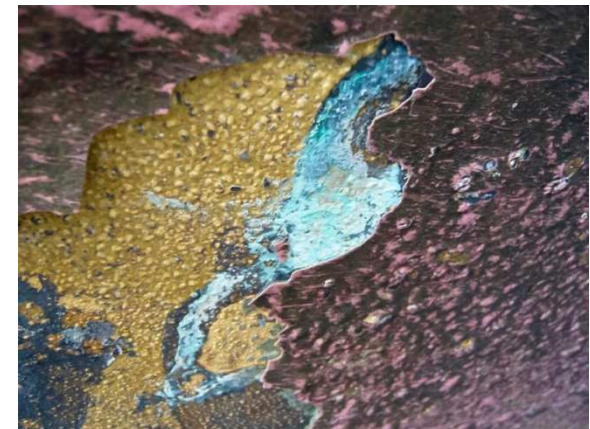
Fuel Penalties Caused by Fouled Hulls Compared to a Hydrodynamically Smooth Hull
@ 15 knots (blue) and @ 30 knots (green)



Wrijvingsweerstand

Verslechteren van de hull coating - de verborgen kost

- Verslechteren van de coating
- “Spot repair”
- “Stress” tussen de lagen
- Toenemen van de wrijvingsweerstand

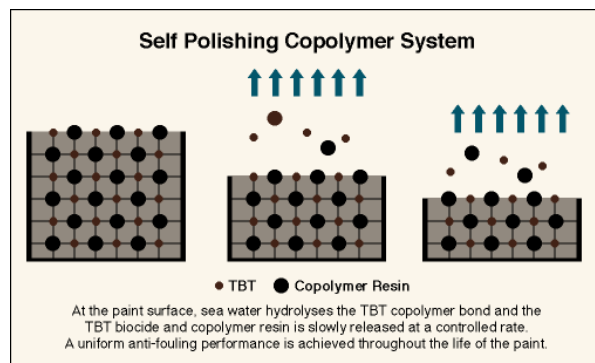


Klassieke problemen met traditionele verfsystemen

Tijdens droogdokken

- Hogedruk waterreiniging
- Spot blasting
- Spot repairs
- Volledig anti-fouling systeem
- Toename in rompweerstand

SPC = zeer toxisch



Klassieke problemen met traditionele verfsystemen



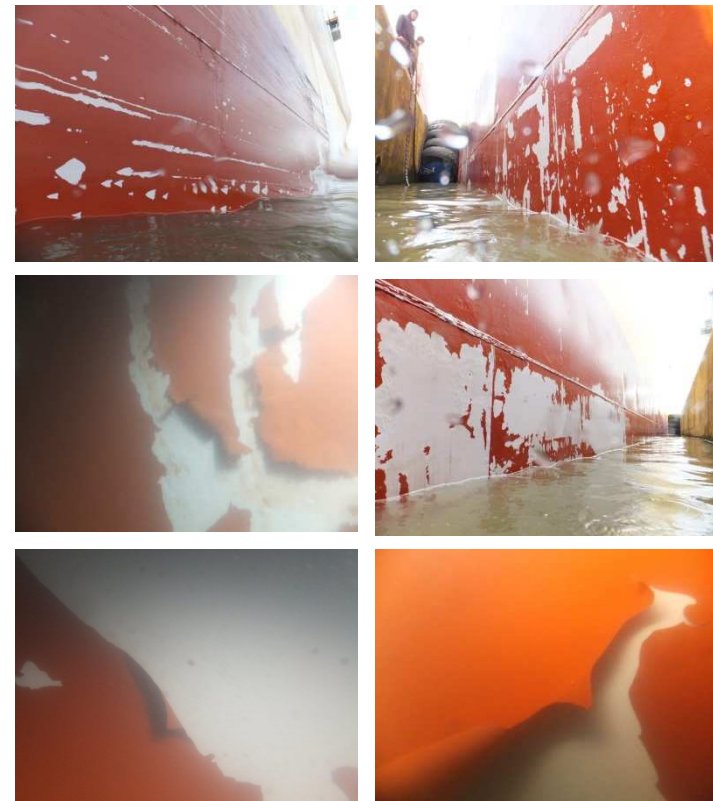
Moderne alternativen

“Foul-release” coatings

- Op silicone gebaseerde hars matrix
- Bevat geen biocides zoals bij SPC
- “Foul release” volgens “non-stick” principe

Echter...

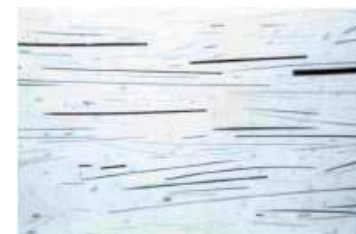
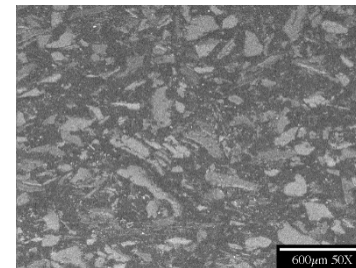
- Een 4 of 5 lagen systeem
- Maximale DFT $\pm 500 \mu\text{m}$
- Zachte coating: beperkte duurzaamheid
- Snel beschadigd
- Moeilijk te herstellen (non-stick)
- Niet geschikt voor “in-water cleaning”
- Schadelijke olie van silicone komt vrij



Een STC harde coating als alternatief

Voornaamste eigenschappen

- STC = Surface Treated Composite¹⁾
- “Glassflake reinforced vinylester coating”
- Aangebracht op een Sa 2.5-gestraalde oppervlak (min. 75 µm straalprofiel)
- Twee monolitische lagen van 500 µm elk (totaal 1.000 µm DFT)
- Ondoordringbaar voor vocht: zeer goede bescherming tegen corrosie
- Extreem duurzaam (harde coating)
- 100 % niet-toxisch



¹⁾ ECOSPEED® valt onder de categorie STC

Een STC harde coating als alternatief

Onderhoud om biologische aangroei te verwijderen



In droogdok



Onderwater

Een STC harde coating als alternatief



Een STC harde coating als alternatief

Geen beschadigingen van de coating



Conventioneel verfsysteem



STC harde coating

Een STC harde coating als alternatief

Geen beschadigingen van de coating



Conventioneel verfsysteem
na 18 maanden



STC na 24 maanden op een
ijsvarende cargo vessel

Een STC harde coating op ijsbreker



Op epoxy gebaseerde
ijscoating



STC harde coating

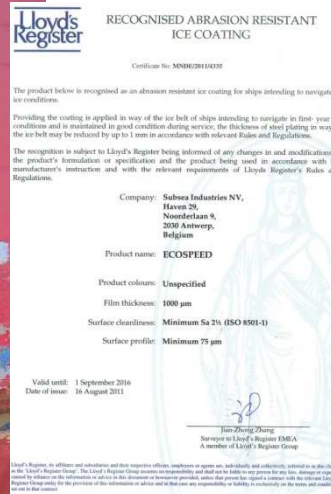
STC als erkende ijscoating



Conditie van
traditioneel
systeem na 1 jaar



STC als erkende ijscoating



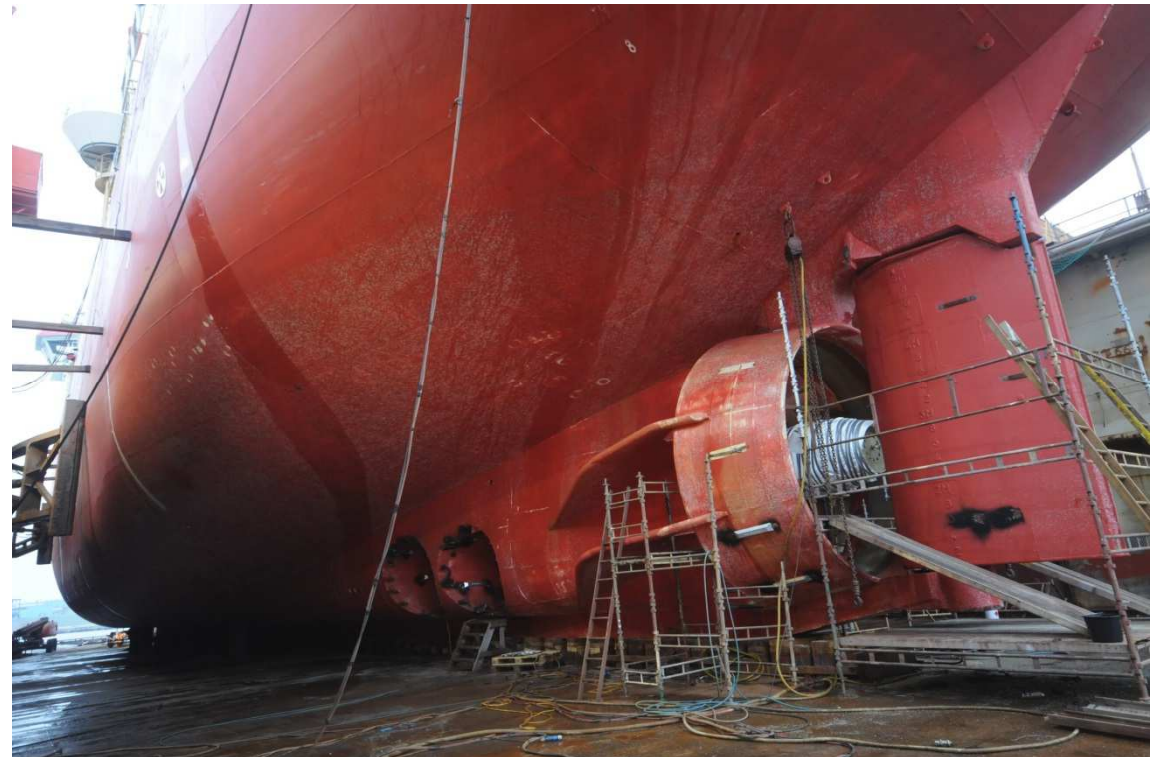
Conditie van STC na
2 winters in zware
ijsomstandigheden



STC als erkende ijscoating



... en na 4 winters...

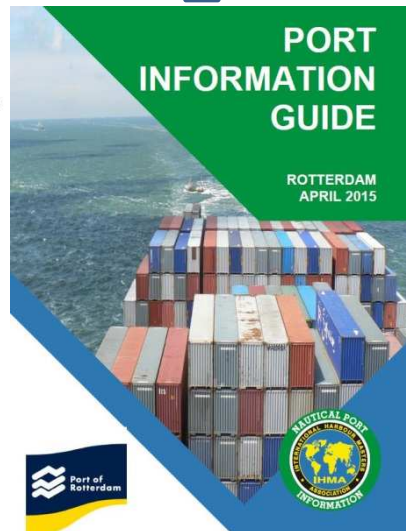


Ecologische voordelen van een STC harde coating

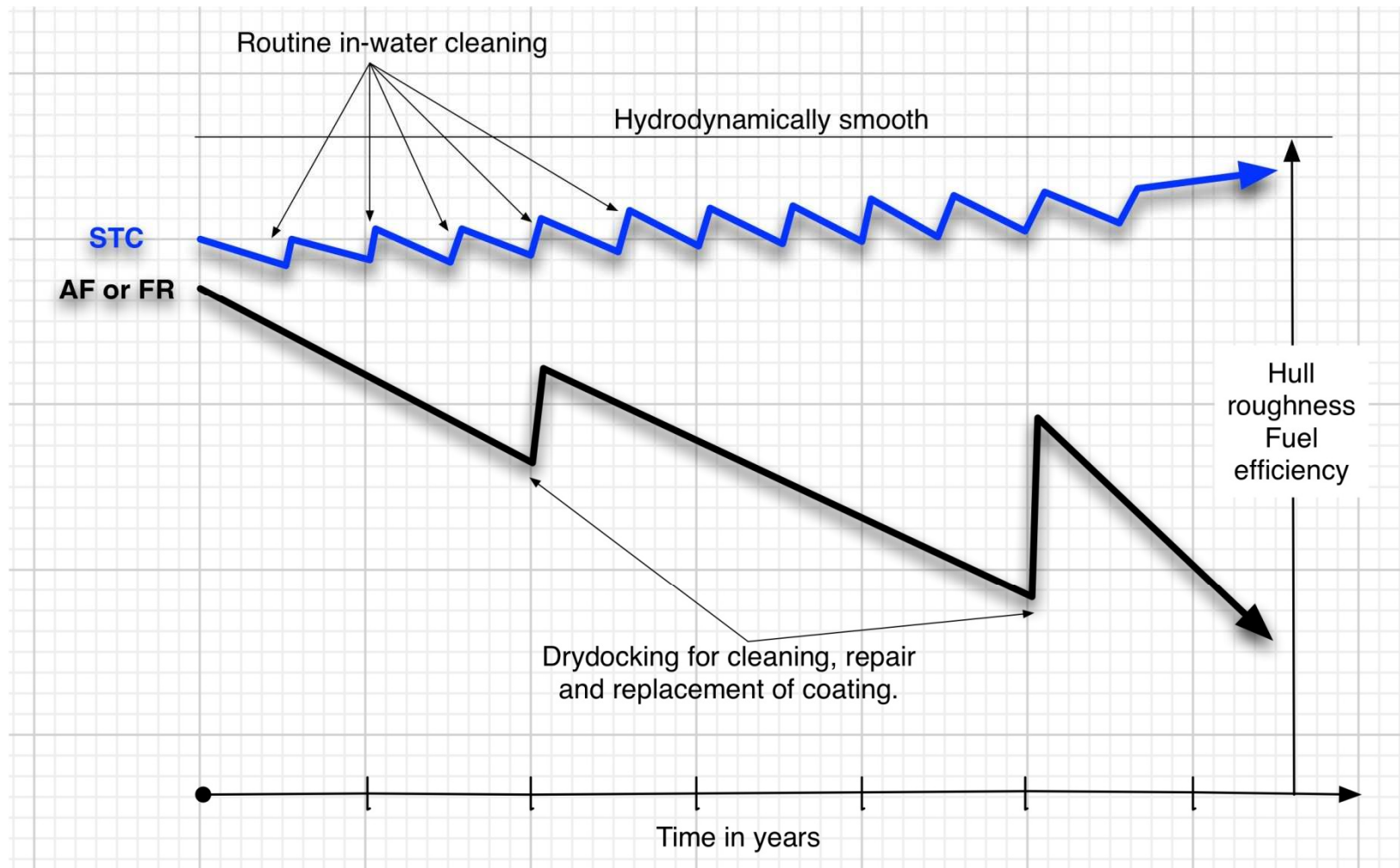
- Geen uitloging toxisch materiaal in het watermilieu
- Vermindering brandstofverbruik en CO₂ emissie door periodiek onderhoud
- Enige coating die in Nederland onderwater mag worden gereinigd

14.	VESSEL OPERATIONS	99
14.1	General	100
14.2	Lowering boats and rafts	100
14.3	Maintenance and repair	100
14.4	Underwater inspection/ cleaning	101

Underwater cleaning of a vessel is allowed provided that the hulls is coated with Ecospeed® hull protection system and the Directorate General for Public Works and Water Management (RWS) and the local berth operator have granted permission.

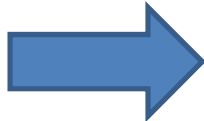


Economische voordelen van een STC




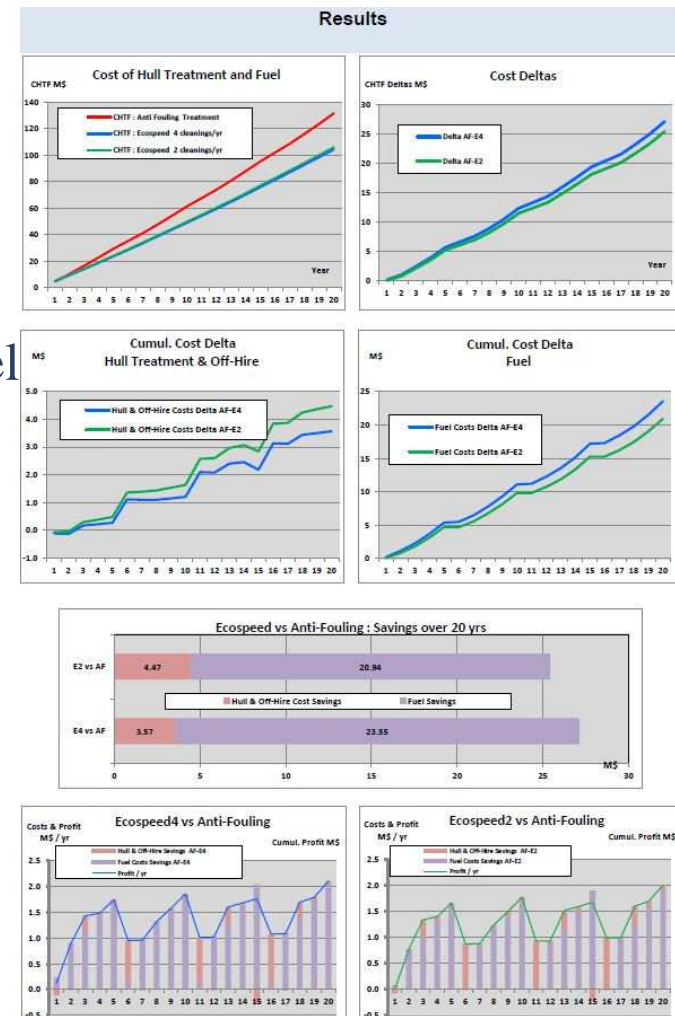
Economische voordelen van een STC

Input
rederij



Financial Model for evaluation of Ship Hull Treatments Costs of Hull Treatment and Fuel (All US\$)	
Specific Ship Inputs	
Vessel name	
Owner	
Navigation Area	Tropical - Arctic
Length	130 m
Hull surface to be treated	3500 m ²
Sailing days / year	220 days
Off-hire costs / day	50000 US\$ / day
Fuel consumption / day	30 metric ton / day
General Inputs	
Yearly inflation (labour costs, ...)	1.25%
Bunker price (CS380/IFO380)	700 US\$ / metric ton
Yearly price increase Fuel	1.26%
Anti-Fouling Hull Treatment	
Initial coating investment	20 US\$/m ²
Cleaning Interval (after first 6Q)	2 quarters
Cleaning costs	15000 US\$
Cleaning effect on Fuel Consumption	-2.50%
Off-Hire time	1 days
Maintenance interval	2.5 yrs
Maintenance (Docking-Cleaning) Cost	150000 US\$
Coating to be repaired	10%
Cleaning effect on Fuel Consumption	-3.00%
Off-Hire and Dry-dock time	3 days
Re-Treatment (Blasting-Coating) interval	5 yrs
Re-Treatment (Docking-Cleaning) Cost	300000 US\$
Blasting and Coating	100%
Off-Hire and Dry-dock time	10 days
Fuel consumption change parameters	
Slime Factor initial worsening	10.0% 1st year
Slime worsening 2 quarters after cleaning	Q1 Q2
	2.0% 3.0%
Ecospeed Hull Treatment	
Initial Coating investment	35 US\$/m ²
Cleaning Interval	1 or 2 quarters
Cleaning cost	20000 US\$
Dry-dock (and off-hire) time	No Dry-Docking needed
Big Maintenance Interval	7 years
Big Maintenance Costs	50000 US \$
Coating to be repaired	1%
Big Maintenance Dry-dock time	5 days
Fuel consumption change parameters	
Long Term Paint improvement	3.0%
Ripple effect improvement	1.0%
Slime Factor worsening	10.0%
Slime % of slime factor	Q1 Q2
At end of the Q	30% 100%
Average during Q	15.0% 65.0%

Output
rekenmodel

Het alternatief voor de toekomst – “level playing field”







micanti
ANTIFOULING REINVENTED



micanti

ANTI FOULING REINVENTED

Waarom deze innovatie?

Onderhoudskosten



Brandstofkosten



Waarom deze innovatie?



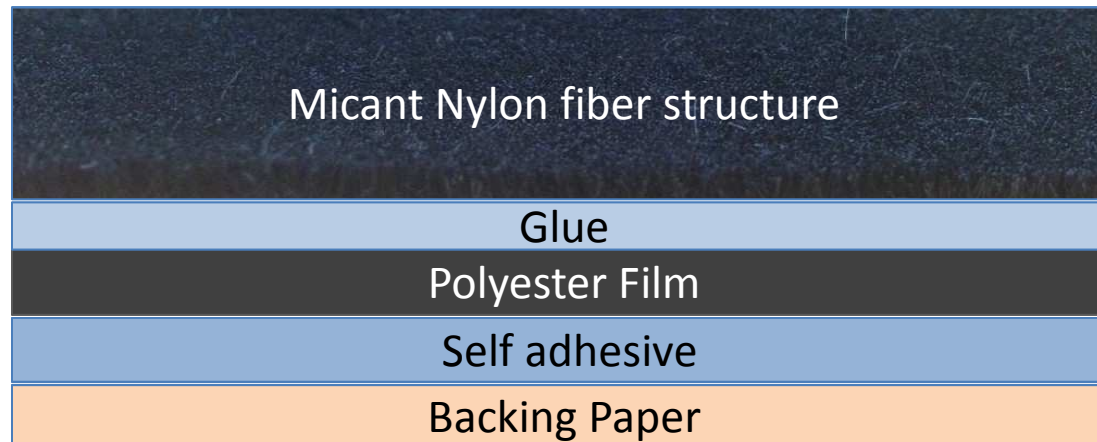
Waar komt het idee vandaan?





Het Product

Product opbouw

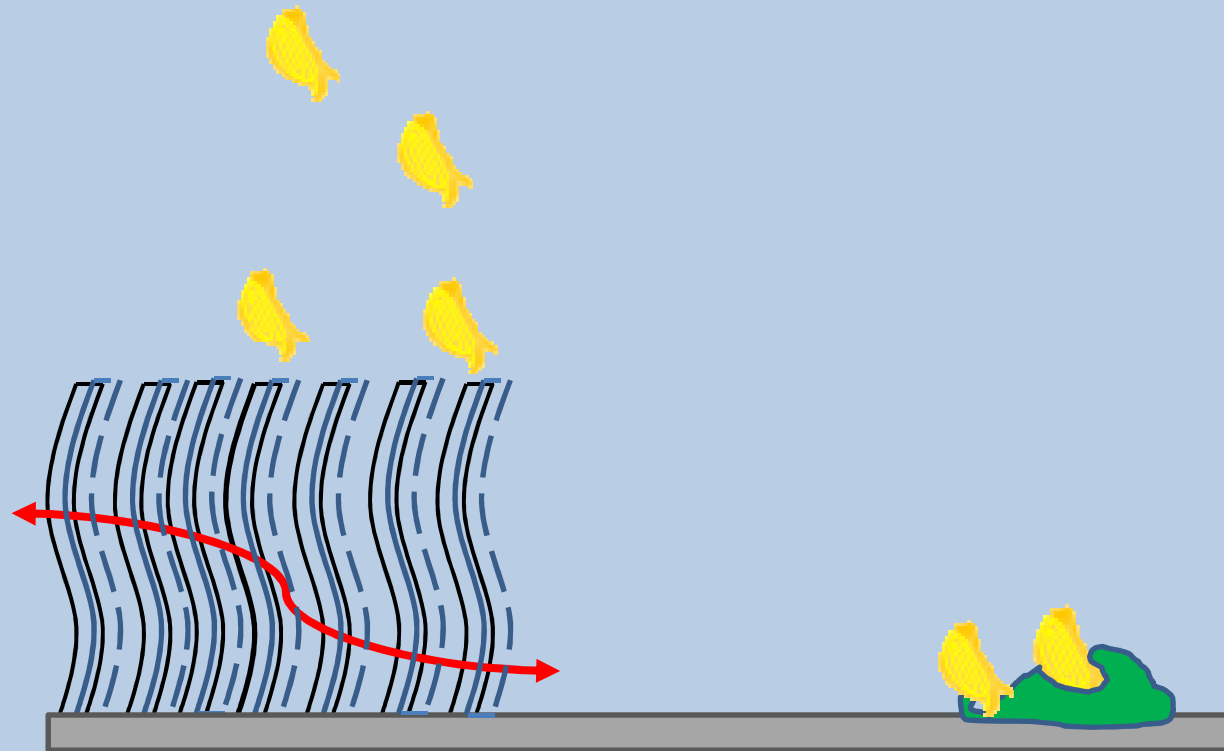


Technology by:





Het werkingsprincipe



Flocked Micanti Surface

Painted Surface

Patenten

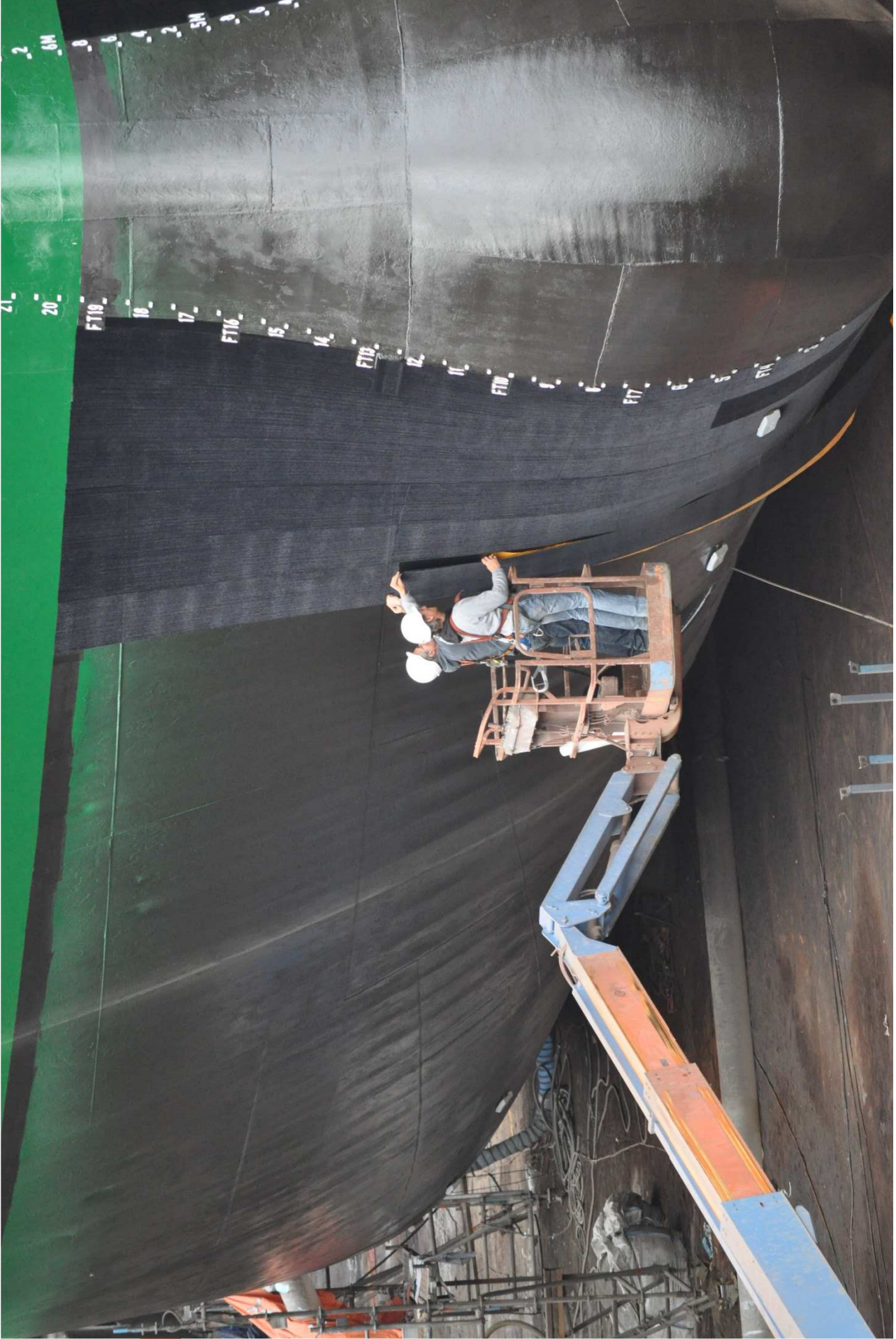
- Het concept en de kenmerken
- Toepassing van het concept

Voordelen van Micanti

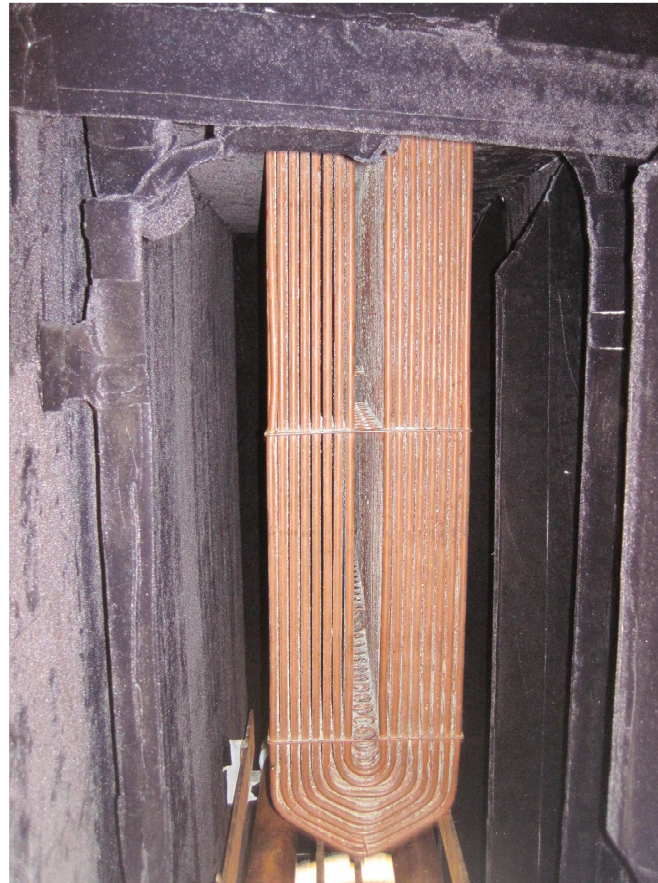
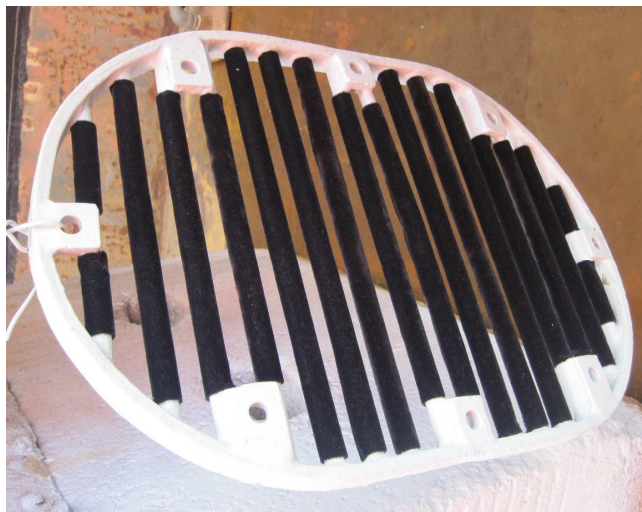
- Levensduur van > 5 jaar
- Niet giftig
- Lagere weerstand door het water bespaart brandstof
- Schone werkomgeving bij applicatie

Applicatie





Kleine oppervlakken





Referenties?

VOS Achilles



Workboats (Worldwide)



Coasters



Repeat Customers

HALUL



Fugro



Motor Yachts



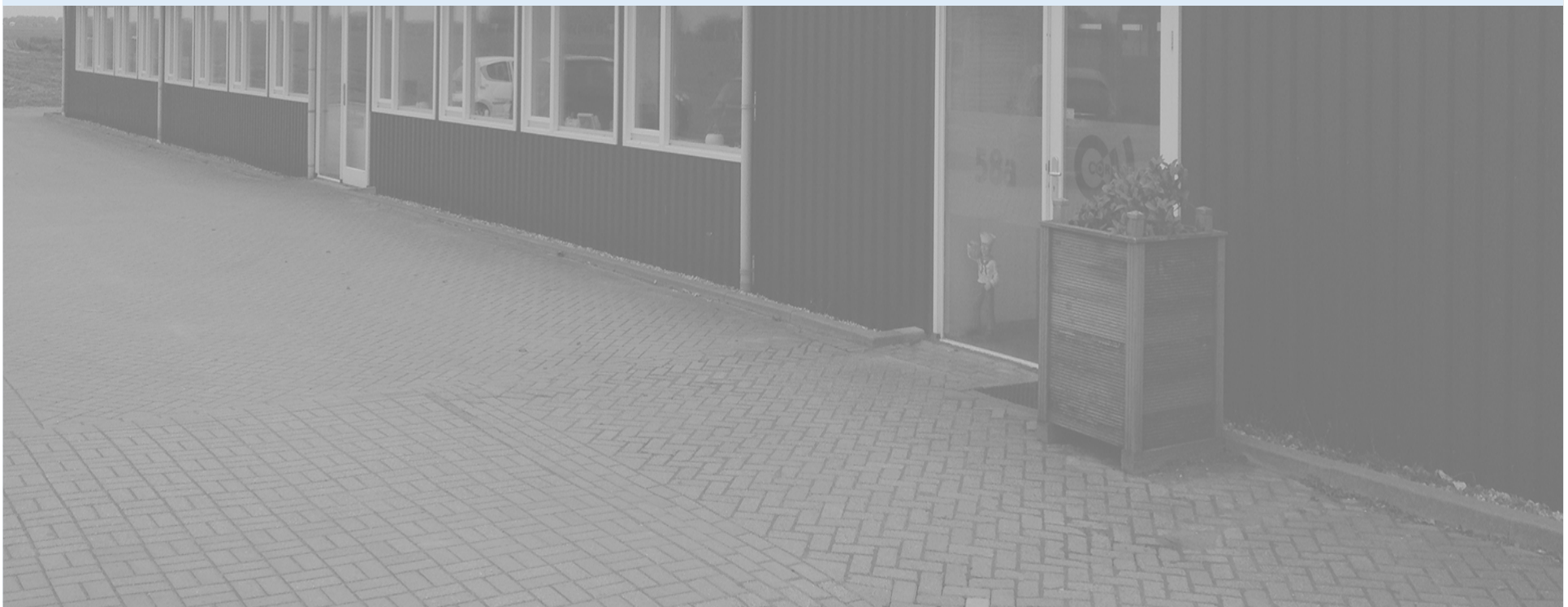


We steel your trust

WHO WE ARE

OUR LOCATIONS

OUR PRODUCTS



who we are

EXPERIENCE

LOTS OF ASSETS

INT. SUPPLIER

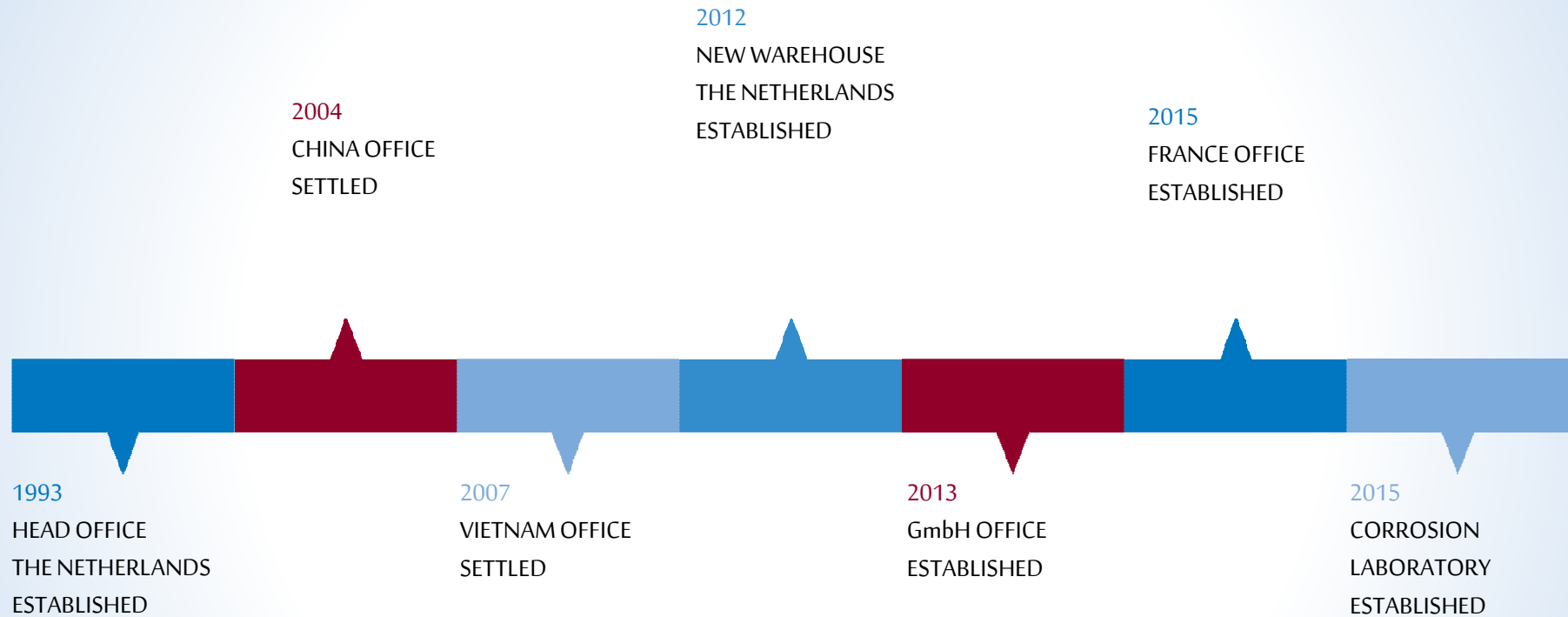


EXPERTISE

KNOW HOW

SERVICE

TIMELINE





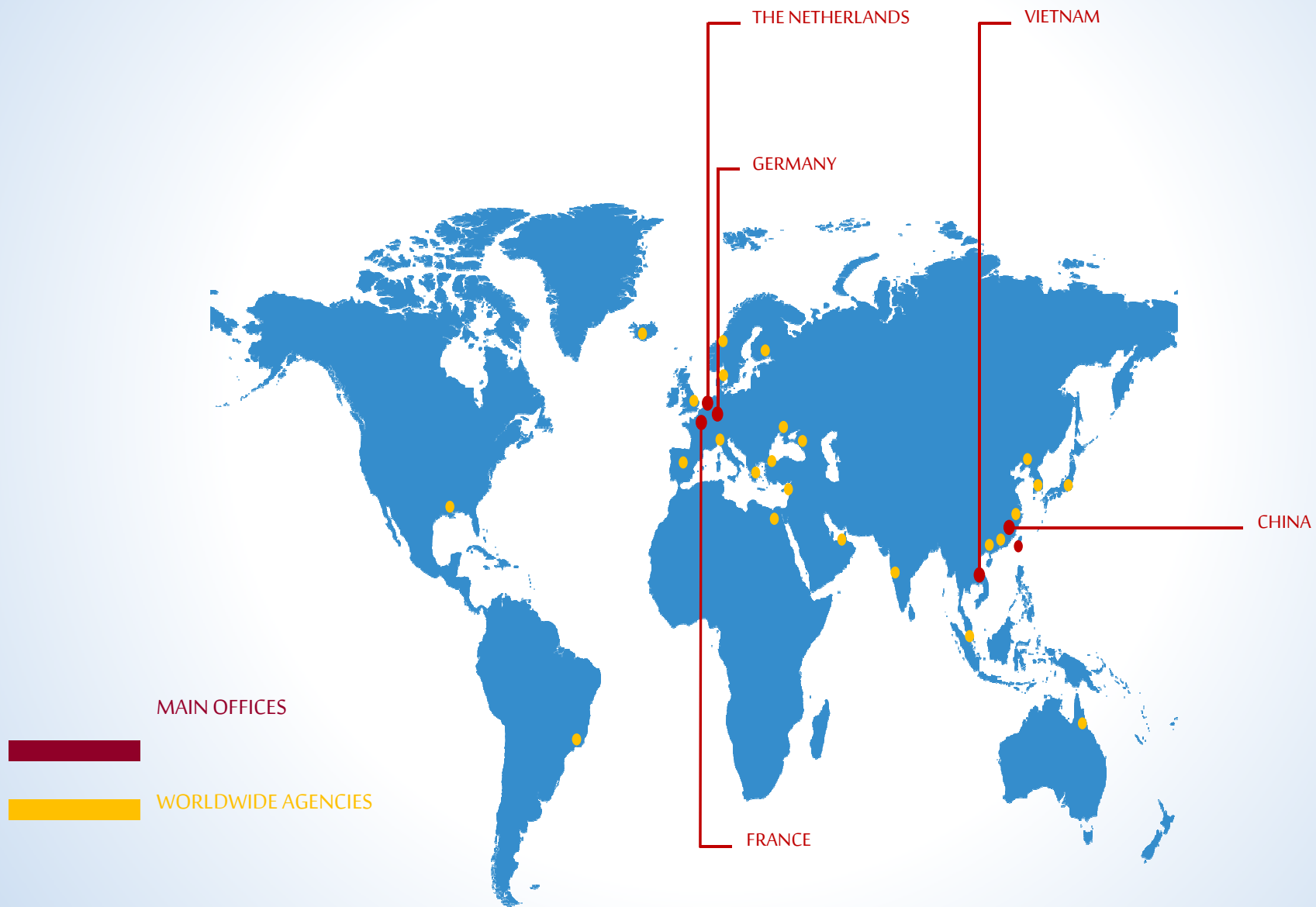
WHO WE ARE

OUR LOCATIONS

OUR PRODUCTS



OUR LOCATIONS



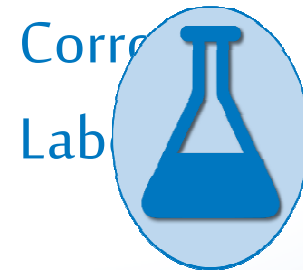
WHO WE ARE

OUR LOCATIONS

OUR PRODUCTS



OUR PRODUCTS



Antifouling for cooling systems

Overview of alternative techniques

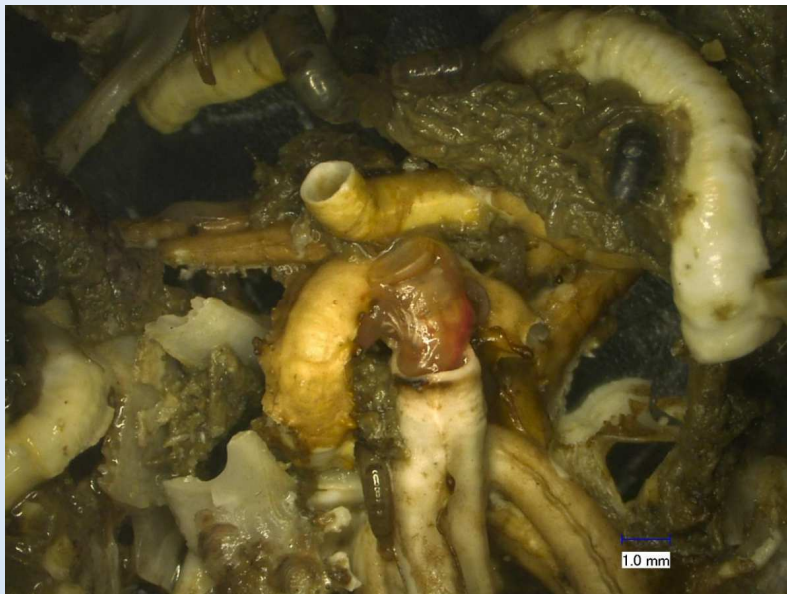
C. Felipe Leon-Morales
Corrosion Laboratory



Consequences of untreated fouling

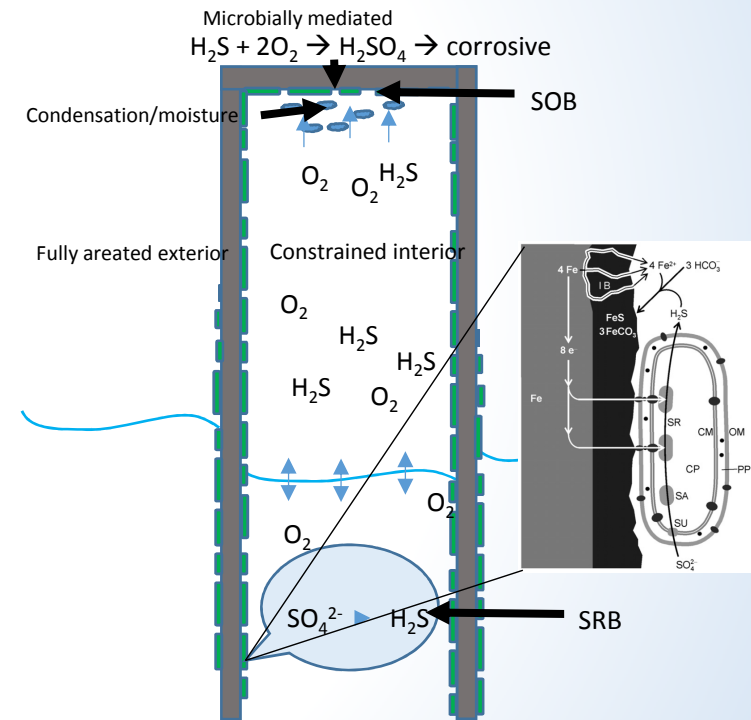
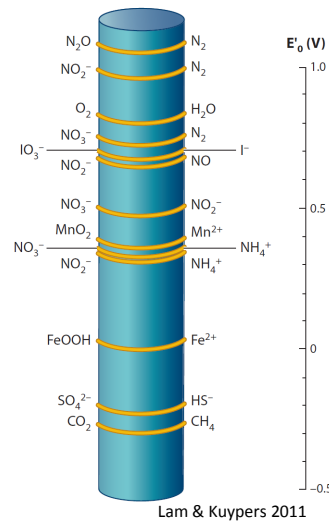
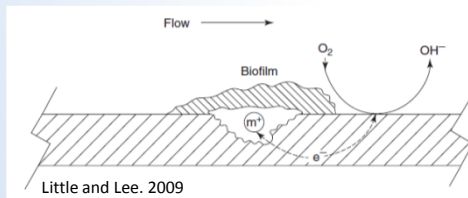
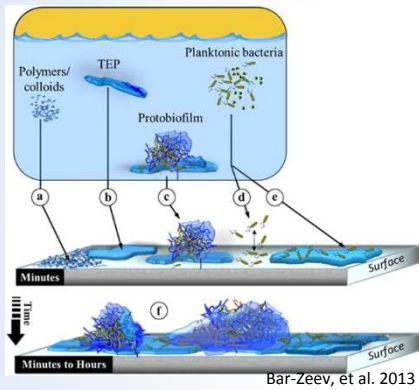


- Macrofouling can have serious consequences on
 - Added drag (increased fuel consumption)
 - Affect efficiency of heat exchange process
 - Pressure drop in pipelines
 - Release of undesirable products from local biota



- Microfouling or thin (some times invisible) slimes

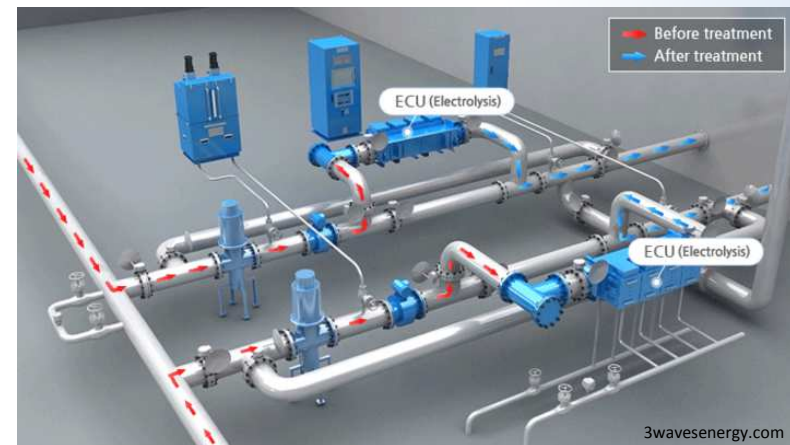
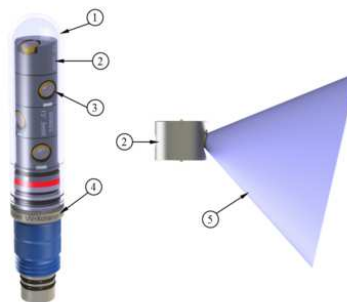
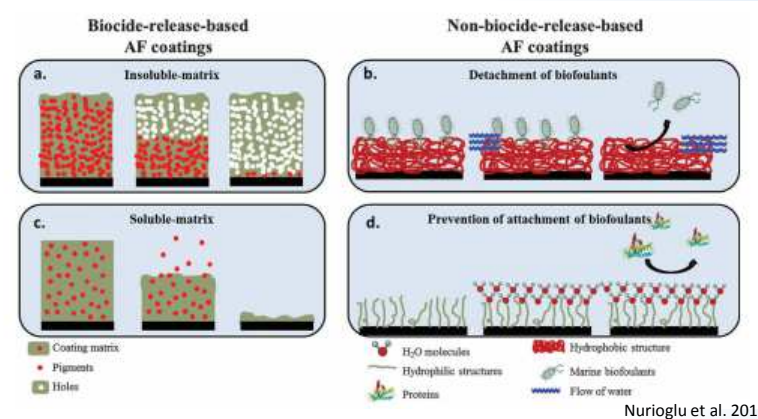
- Formation of local microenvironments with negative consequences on surfaces
 - MIC
 - Coating alterations
- Release of undesirable products



- SRBs can also use H_2 as electron donor for sulfate reduction!

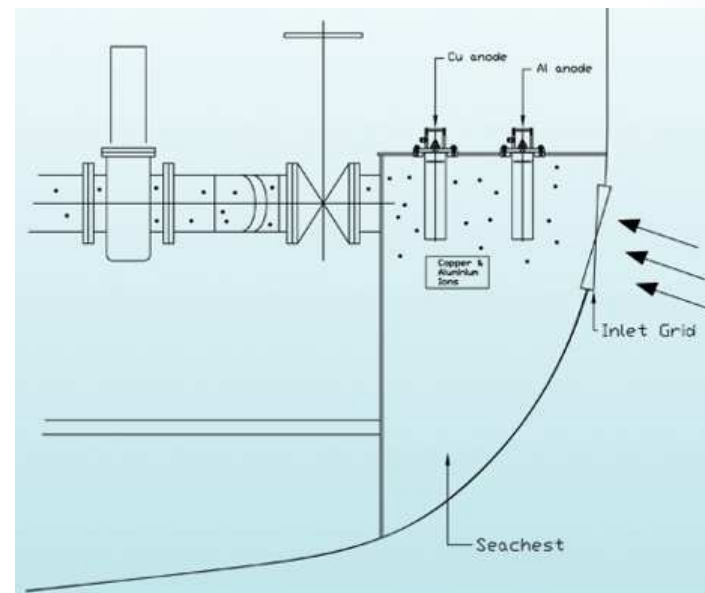
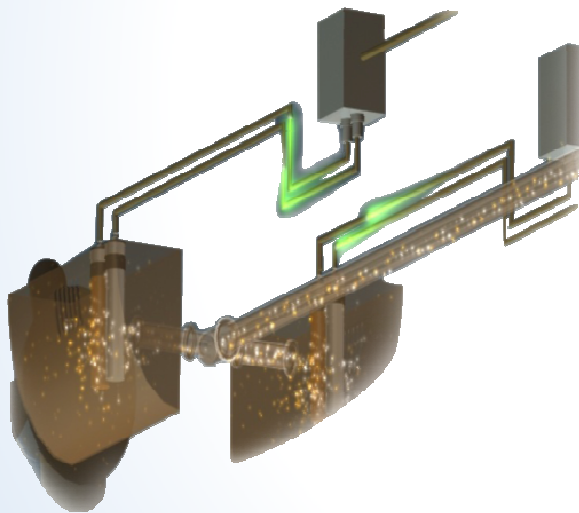
Short overview approaches

- Antifouling coatings (some very effective but prohibited)
- Electrochemical
 - ICAF (mainly with Cu dissolution)
 - Electrochlorination
- Physicochemical
 - Sound/Ultrasound
 - UV-C irradiation



Established technology

Marine Growth Prevention System (MGPS)
Impressed Current Anti-Fouling (ICAF)



Impressed current antifouling

With Protection



Without Protection

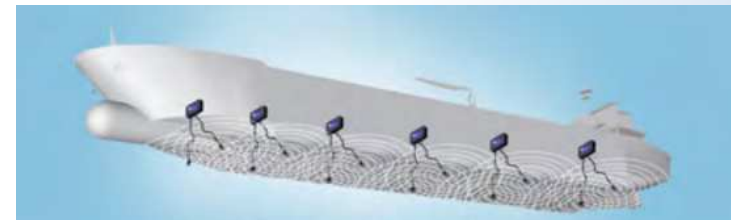


ICAF power unit

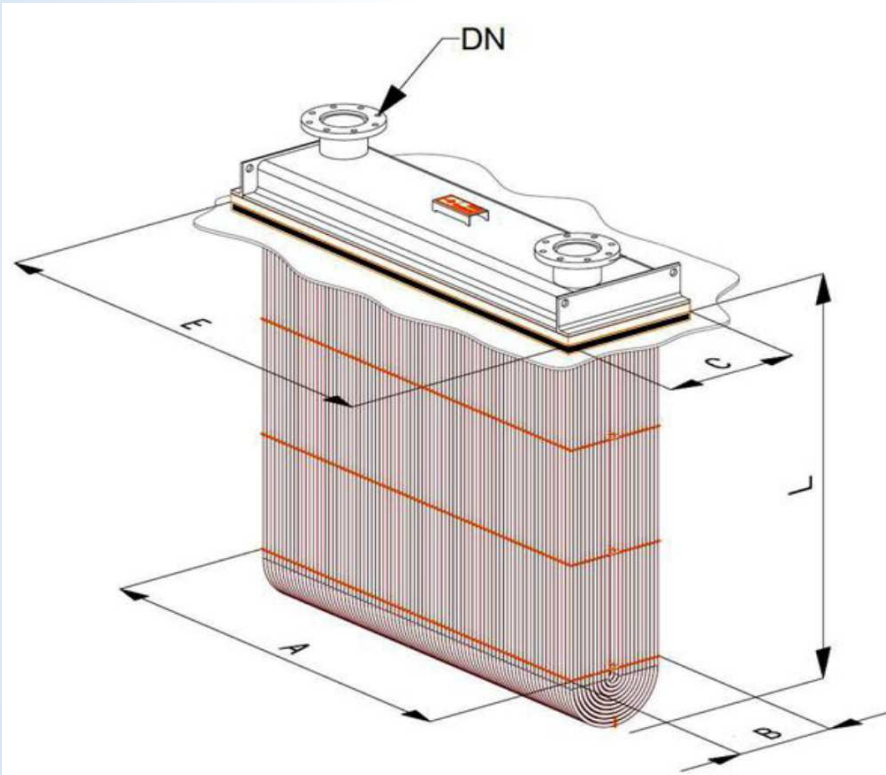


Sound-based antifouling system

- Several commercial systems available
- Main markets are algae control and leisure boats
- Exact technology not disclosed
- Very likely based on commonly found transducers in the range of 20-40 KHz

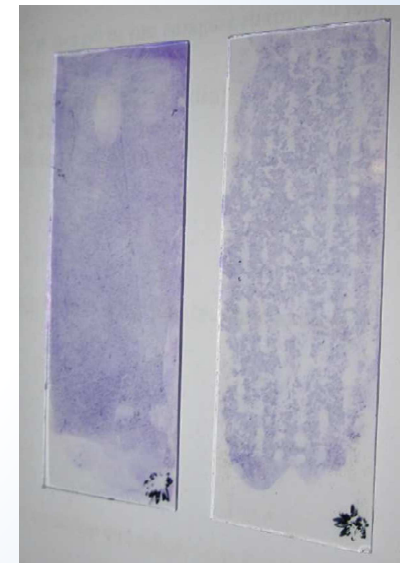
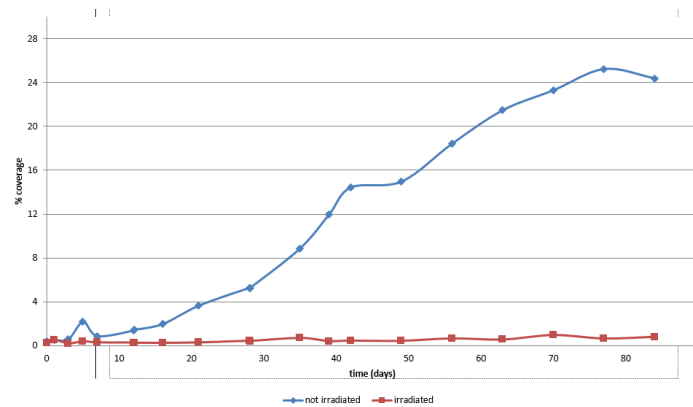


Sound-based antifouling system for seachests?



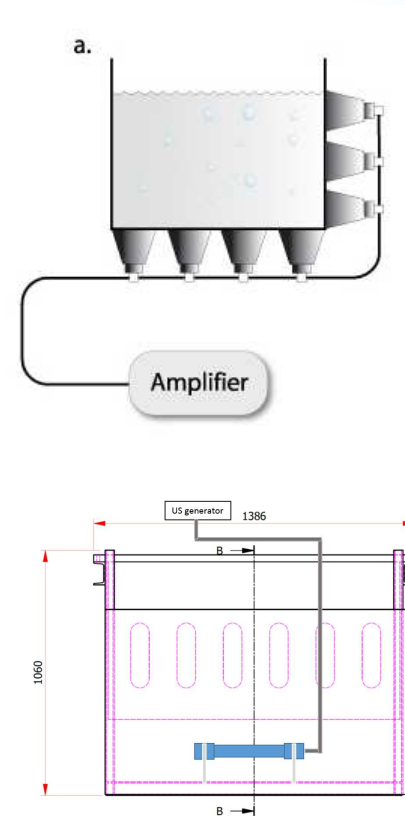
Ultrasound and cavitation – the basics

- Together with TNO started on the fundamental aspects (effectivity and at which conditions).
- Although US will affect materials in several ways the main relevant effect for AF purposes is cavitation.
- Cavitation bubbles expand/contract due to US.
- Bubbles absorb energy and implode close to a surface.
- During implosion gases inside can be heated up to 5K °C and jet of fluid is expelled at around 400 Km/h.

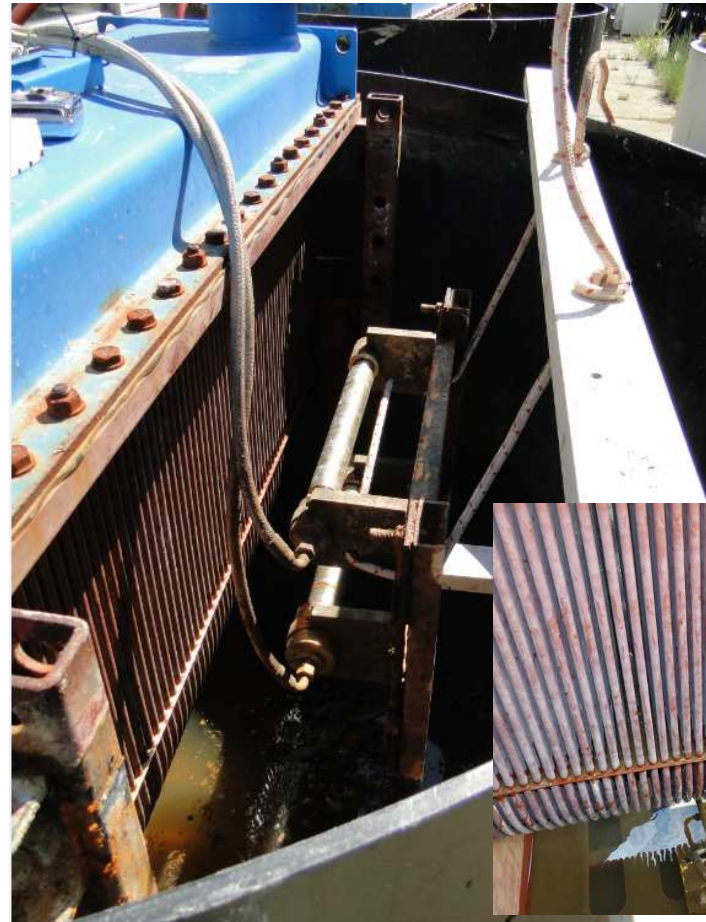


Tests with actual box coolers

- Two main approaches used for larger scale testing:
 - Transducers mounted directly on structure to be protected
 - Transducers mounted separately from structure to be protected “submersible transducers”.



Tests with actual box coolers

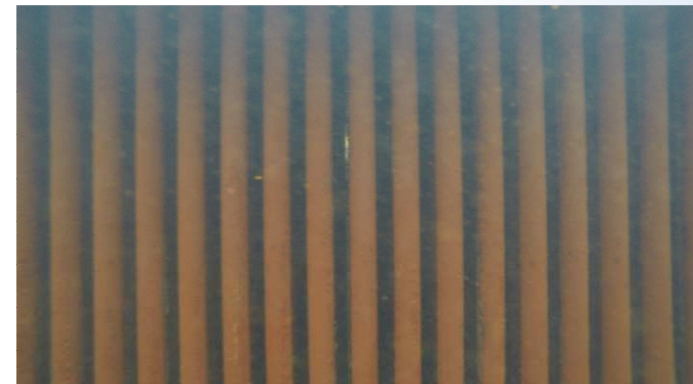


Effectiveness range

- Transducer in bottom position



- Transducer in middle position





Concluding remarks

- In ideal conditions ultrasound is very effective on keeping a surface clean from any fouling – several techniques have same properties.
- So far most effective cleaning mechanism is US-induced cavitation – no clear demonstration that material vibration alone could result in an antifouling effect.
- Ultrasound is very effective against soft and microfouling – this already could help improving problems derived from microbial biofilm formation.
- Reported to affect and inhibit barnacle settlement but once hard fouling develops effectivity decreases – should be considered a preventive technology
- Because most alternative techniques (including US) have advantages and disadvantages CORROSION is currently looking at synergistic effects between technologies.
- The most interesting so far are US, UV irradiation in combination with ICAF.



Many thanks for your
attention!

Fouling weten door stuwkracht te meten

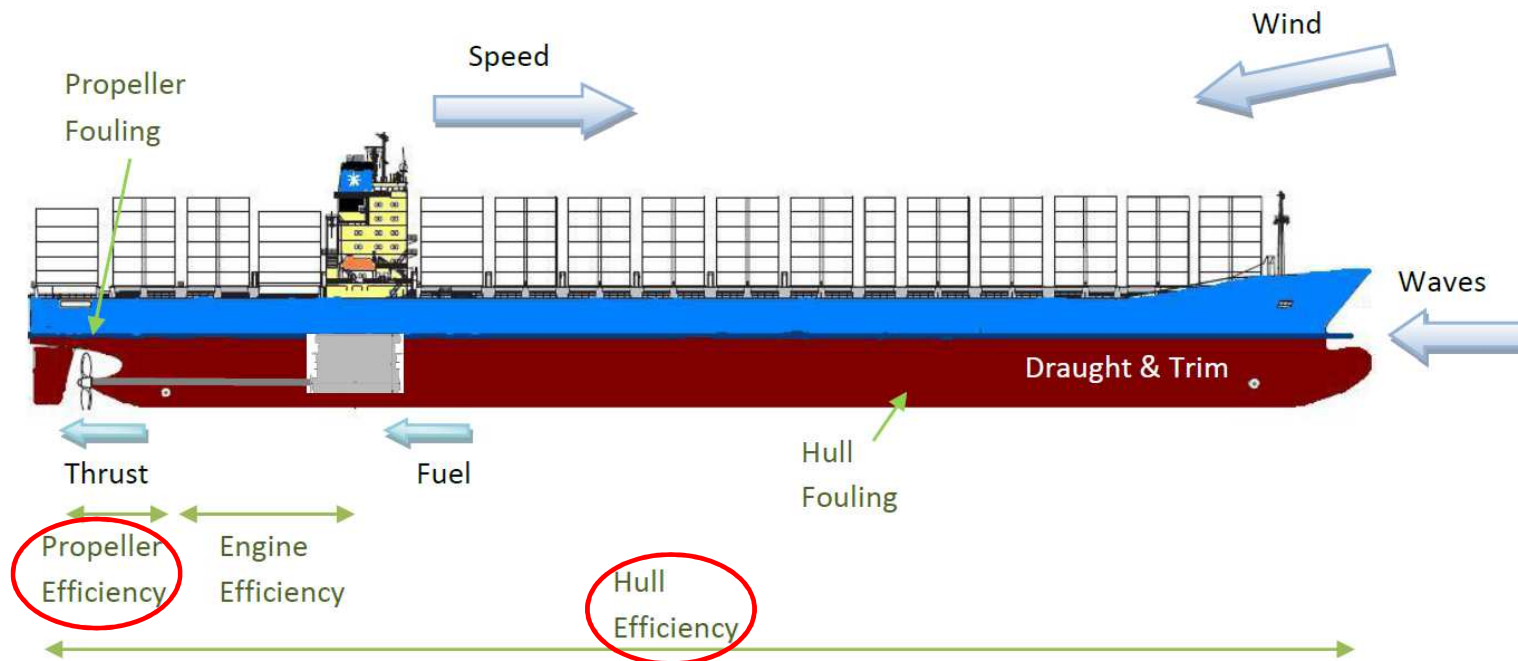
Erik van Ballegooijen, VAF Instruments
evballegooijen@vaf.nl

2 maart 2016

www.vaf.nl

TO BE
REALLY
SURE

Factors below the waterline influencing the energy efficiency



* Picture from:
"Performance Monitoring of Ships",
Søren Vinther Hansen
PhD thesis TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK

Factors below the waterline influencing the energy efficiency

Factors influencing the fuel consumption:

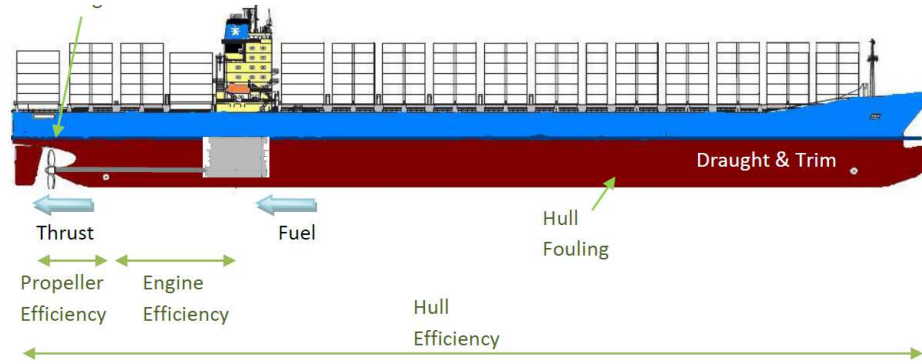
- Engine efficiency
- Ship speed (through water)
- Wind
- Waves / Seastate
- Draught
- Trim
- Hull**
 - roughness
 - fouling
 - design (a.o. operational profile change like slow steaming – bulbous bow retrofit)
- Propeller**
 - roughness
 - fouling
 - damages
 - design (a.o. operational profile change like slow steaming – propeller retrofit)



Energy conversions

VAF

INSTRUMENTS



TO BE
REALLY
SURE



In order to be able to improve on the energy efficiency “below the waterline”, it is needed to be able to measure the individual energy conversions involved:

- Propeller**
- Ship Hull**

This means that the next parameters need to be measured:

- Torque**
- Thrust**
- Ship speed (through water)**

Working principle VAF Instruments TT-Sense®

VAF
INSTRUMENTS

In order to measure:

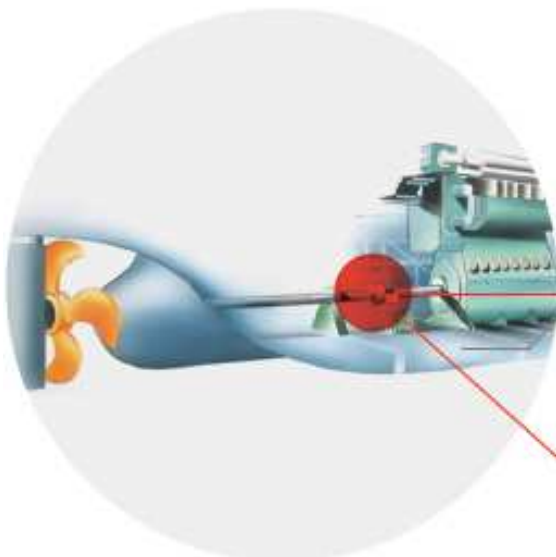
- Torque
- Thrust

VAF Instruments has developed the **TT-Sense®**

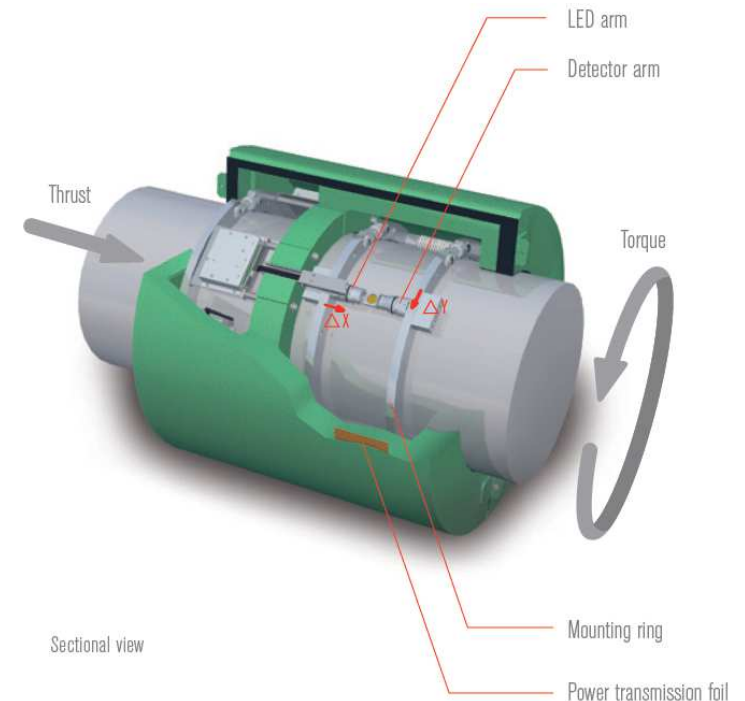
The working principle is based on measuring the propeller shafts:

- Torsion (due to torque)
- Compression (due to thrust)

This over a typical shaft length of 200 [mm]



TT-Sense® location



Δy and Δx are small movements of the propeller shaft surface due to strain.
 Δy is the movement in torque direction and Δx is the movement in thrust direction.

**TO BE
REALLY
SURE**

Example of a +13000 TEU container vessel

VAF

INSTRUMENTS

TT-Sense® sensors are installed on many ships nowadays like:

- Container vessels up to 14000 TEU
- General cargo vessels
- Cruise ships
- Bulk carriers
- Navy vessel

As an example for the possibilities of the **TT-Sense®** sensor, results are provided for a +13000 TEU container vessel



On this vessel a **TT-Sense®** sensor is installed and has performed measurements over the past 1.5 years.

Over this period there is analysed the change in:

- Propeller efficiency
- Hull resistance

TO BE
REALLY
SURE

TT-Sense® measuring results for propeller and hull.

What is the energy / cost saving potential?

	Efficiency decrease	Fuel increase mton / year	Fuel increase US\$ / year
Propeller efficiency decrease	3.7%	1110	222.000,-
Hull resistance increase	5.2%	1560	312.000,-

* For this +13000 TEU container vessel, annual fuel consumption assumed to be 30.000 metric tons. Assumed fuel oil price of US\$ 200,- per metric ton.

Conclusions:

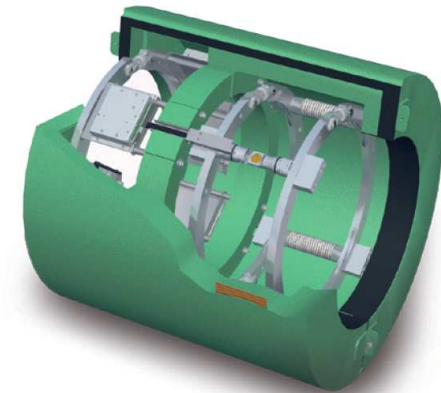
- ✓ **Large cost and energy saving potentials**
- ✓ **Next to the hull also the propeller contributes significantly to the increased fuel costs.**

Measuring Thrust via the **TT-Sense®**, offers the unique possibility to:

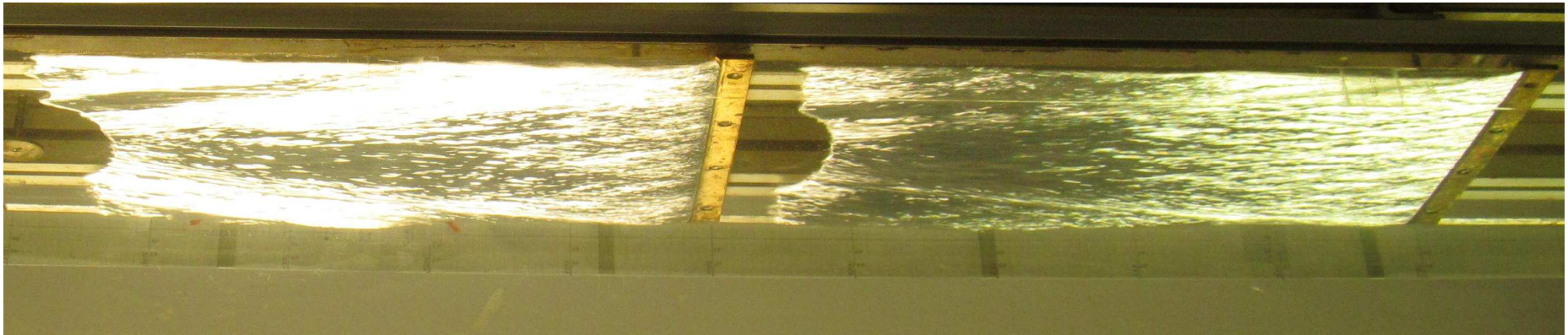
Separate the propeller performance from the hull performance

Resulting in the following general benefits:

- ✓ Fuel cost savings
- ✓ Maintenance cost savings
- ✓ Reduction in green house gasses
- ✓ Measurement and verification of energy saving devices
- ✓ Propeller noise and vibration reductions
- ✓ Improved insights in actual propulsion drive line loads



TT-Sense®



AIR CAVITY RESEARCH

‘Energie-efficiëntie onder de waterlijn – op zoek naar natte innovaties’
Platform Schone Schepen

DAMEN SHIPYARDS GROUP
Jochem de Jong
jochem.de.jong@damen.com
02-03-2016

Energy end emission reductions: Options

- Increase the efficiency of energy conversion
- Crew awareness and operational strategies for fuel efficient operation
- Alternative fuels
- Reduce energy consumption

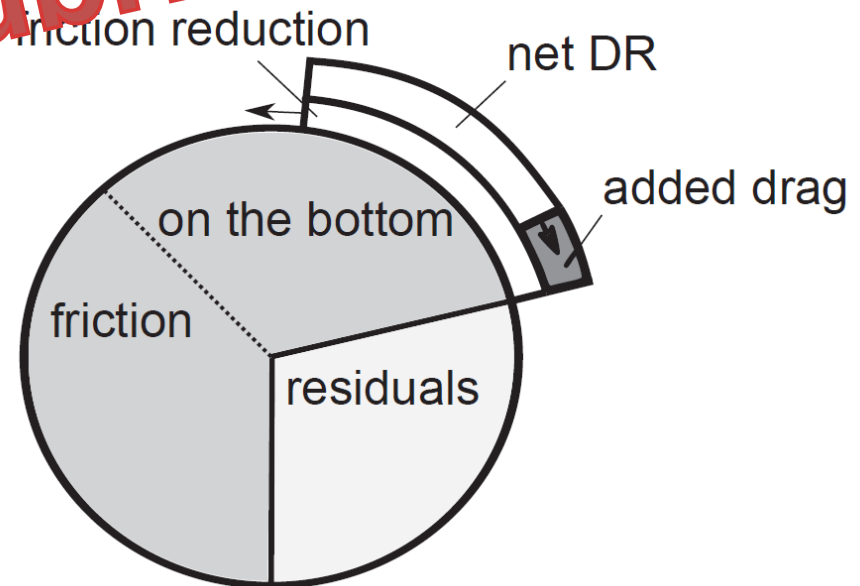
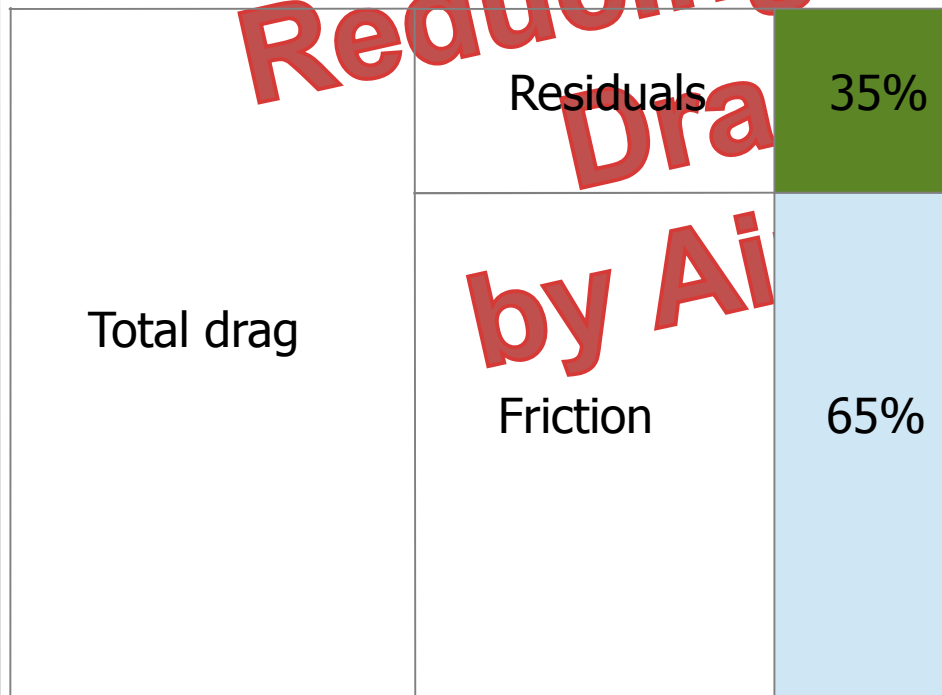
RESISTANCE REDUCTION!



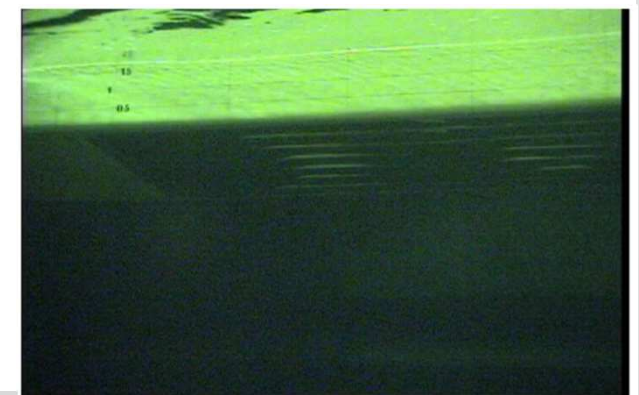
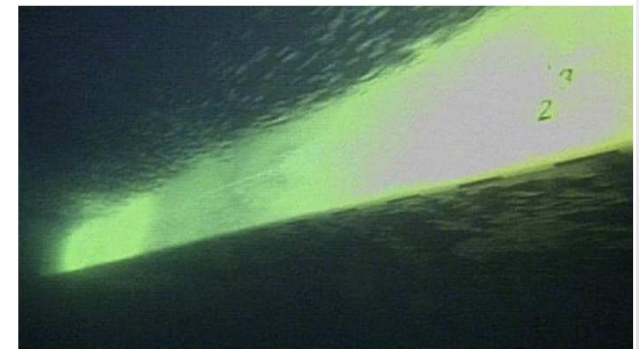
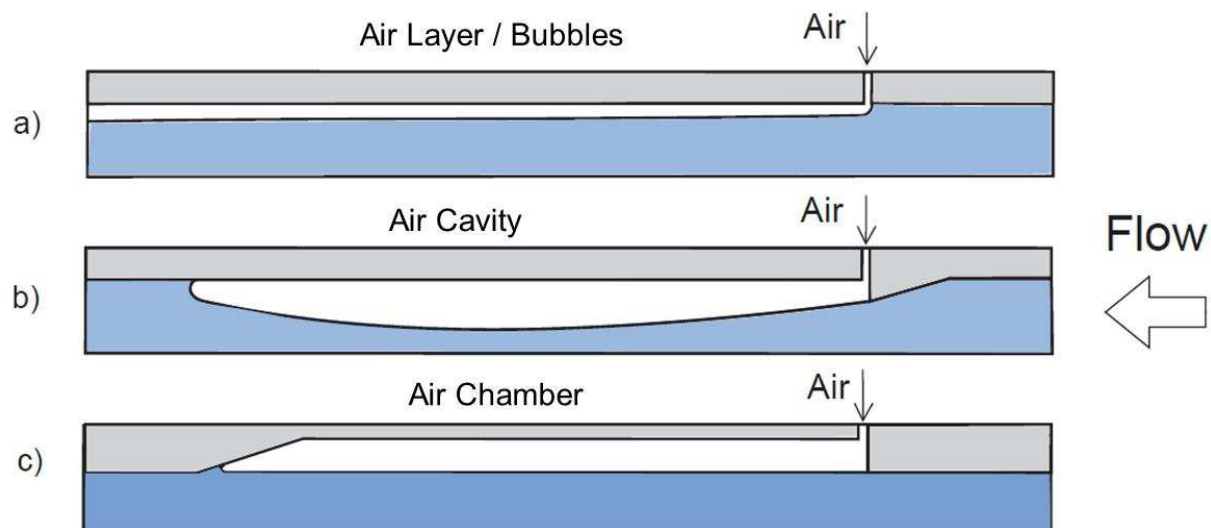
Resistance reduction: Opportunities

Reduce the operational cost of vessels by reducing fuel consumption

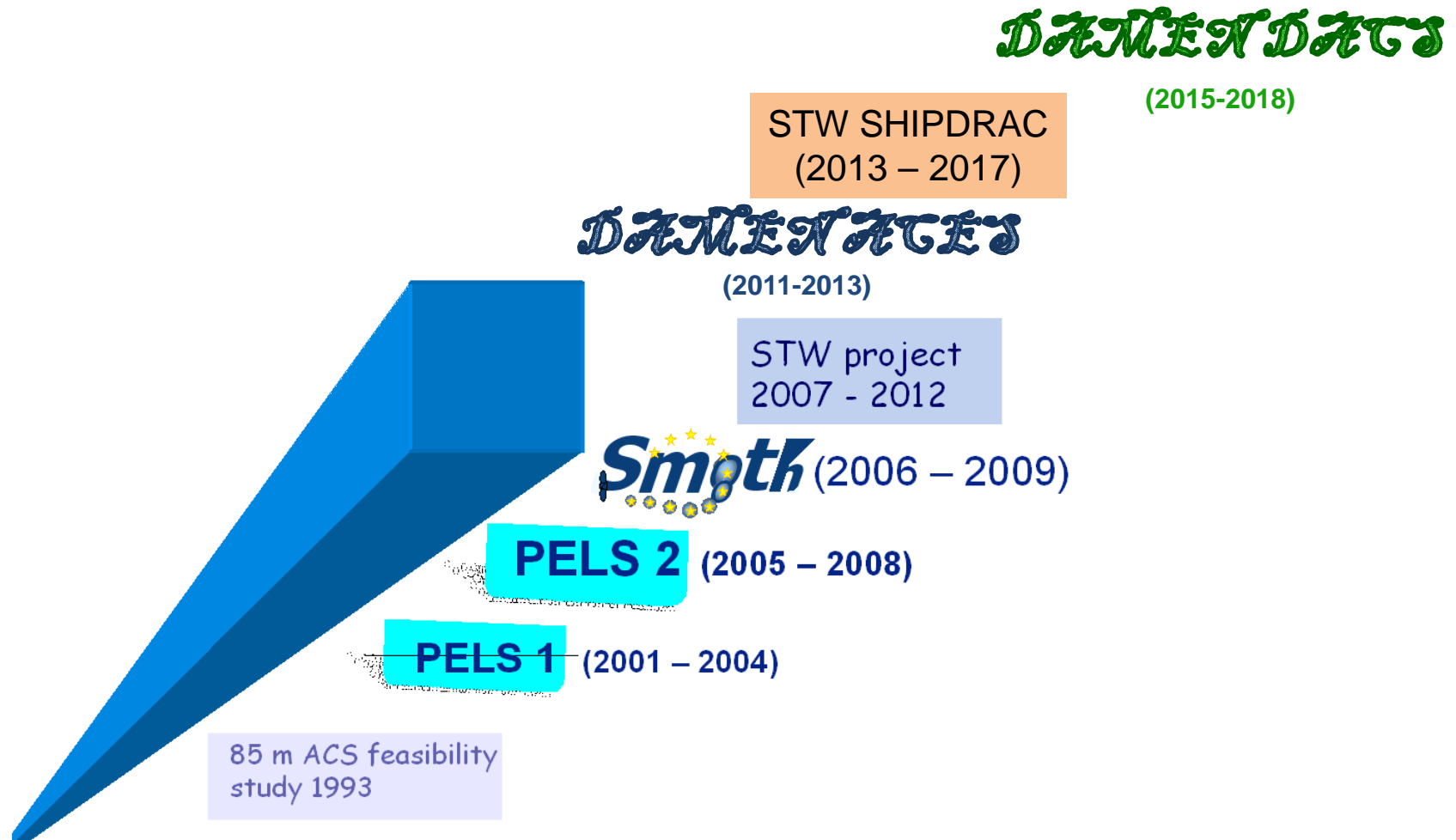
Reducing the Frictional Drag of Ships by Air Lubrication



Air Lubrication: Alternatives

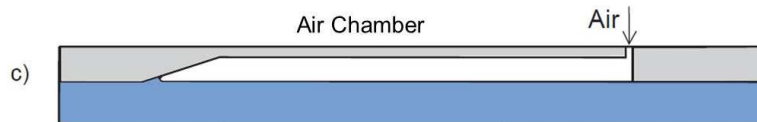


Damen participated and supported various Research on air lubrication



Air Chamber System

DAMEN AGES



Full scale reference tests

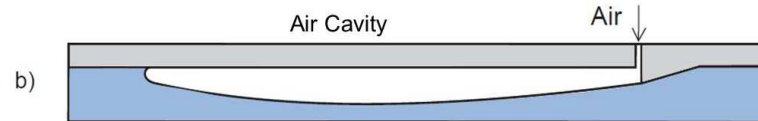
Refit of Air Chamber
System

Measurement campaigns

Patented Air Chamber System

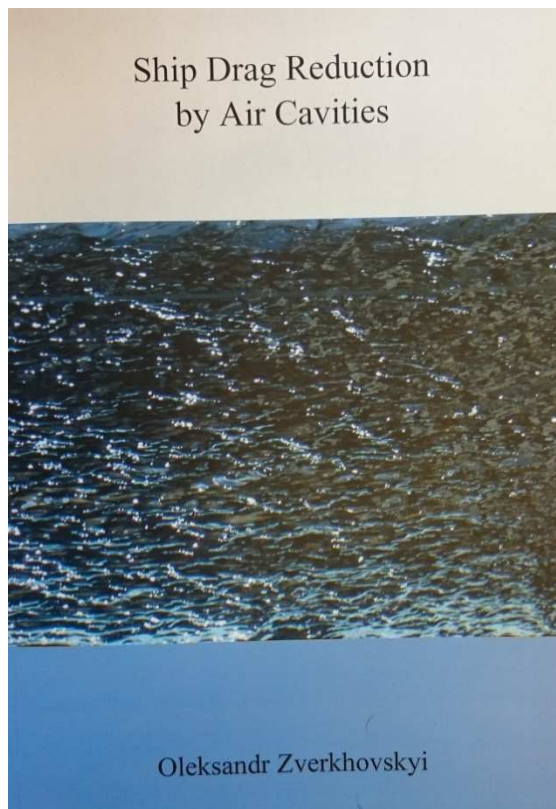


Air Cavity System



Fundamental Research supported by Damen

2010-2014 – O. Zverkhovskiy - “Ship Drag Reduction by Air Cavities”



**PATENT APPLICATION
BY**



Delft University of Technology

Damen was offered exclusive right of use

**Making serious efforts to bring the technology
to the market**

DAMEN DATS

Damen Air Cavity Research Project

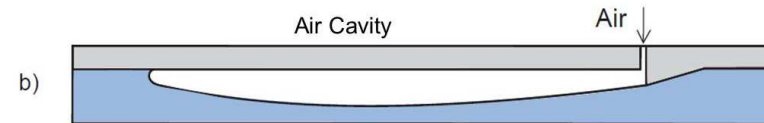
Goal:

- Prove technical and economical feasibility of the air cavity concept on a full scale application case

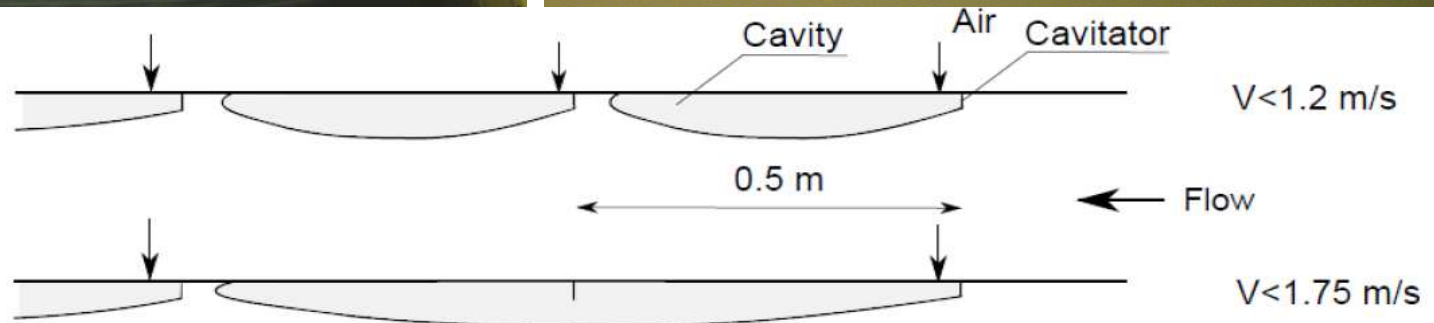
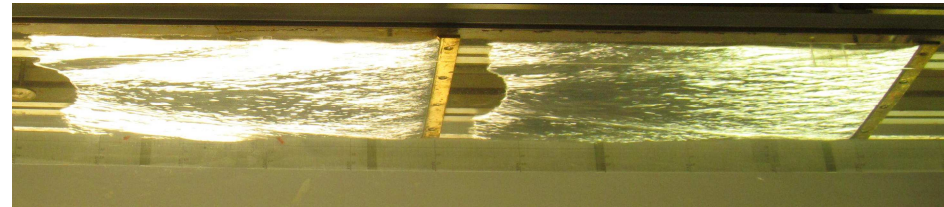
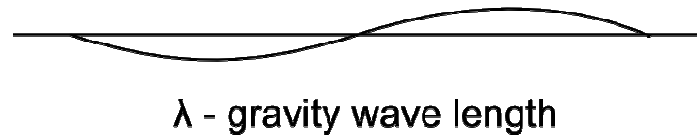
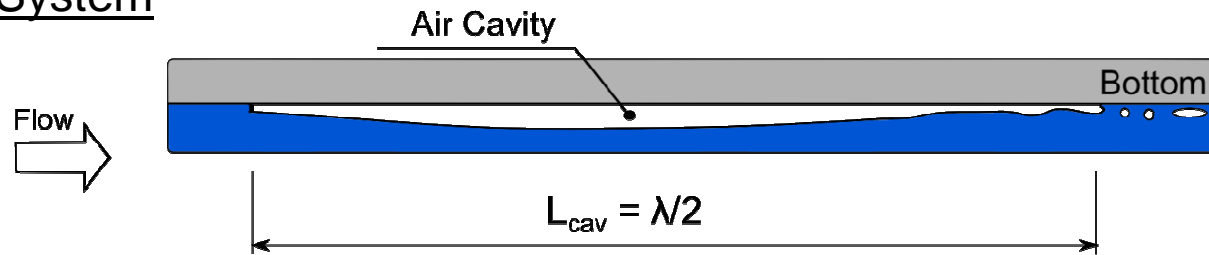
Objectives:

- Quantify resistance reduction and power savings
- Study the effect of operational conditions
- Full scale demonstration

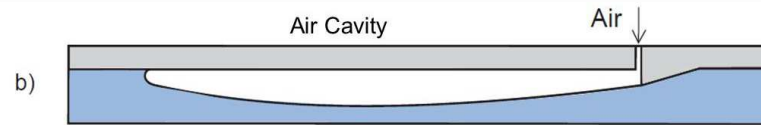
**Strong cooperation with Damen Shiprepair & Conversion
to find interested operator**



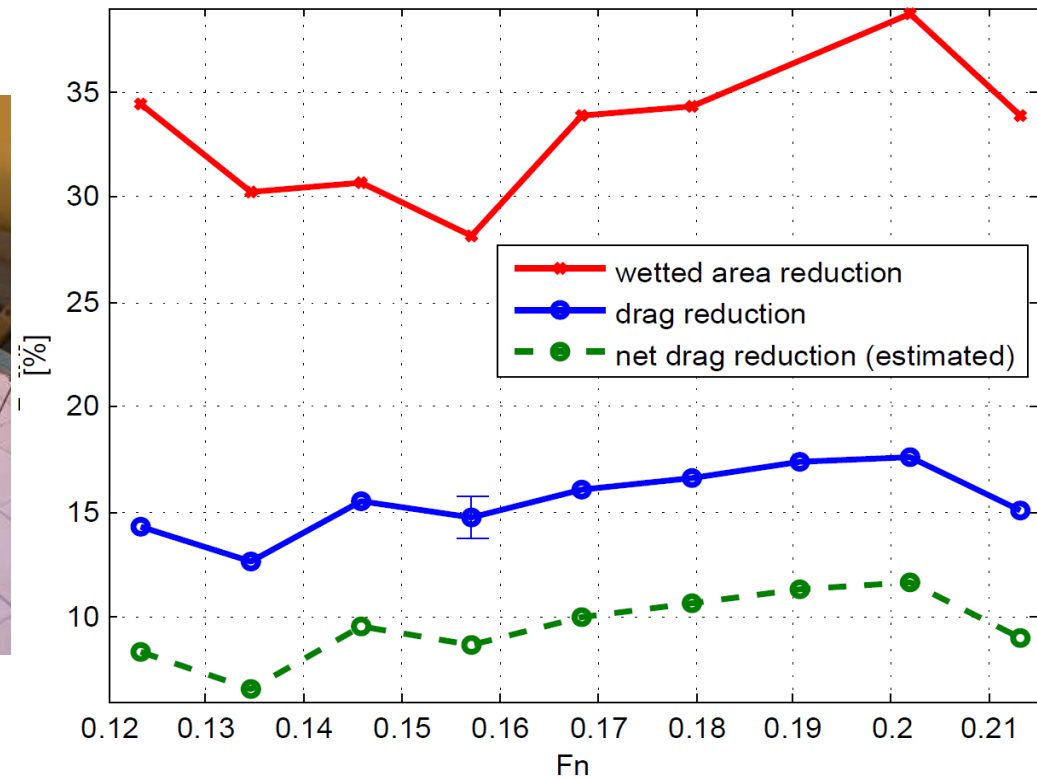
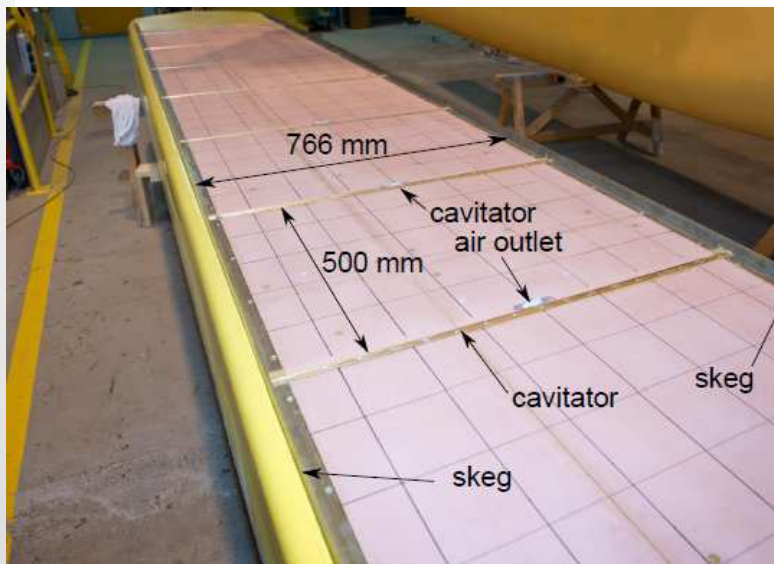
Air Cavity System



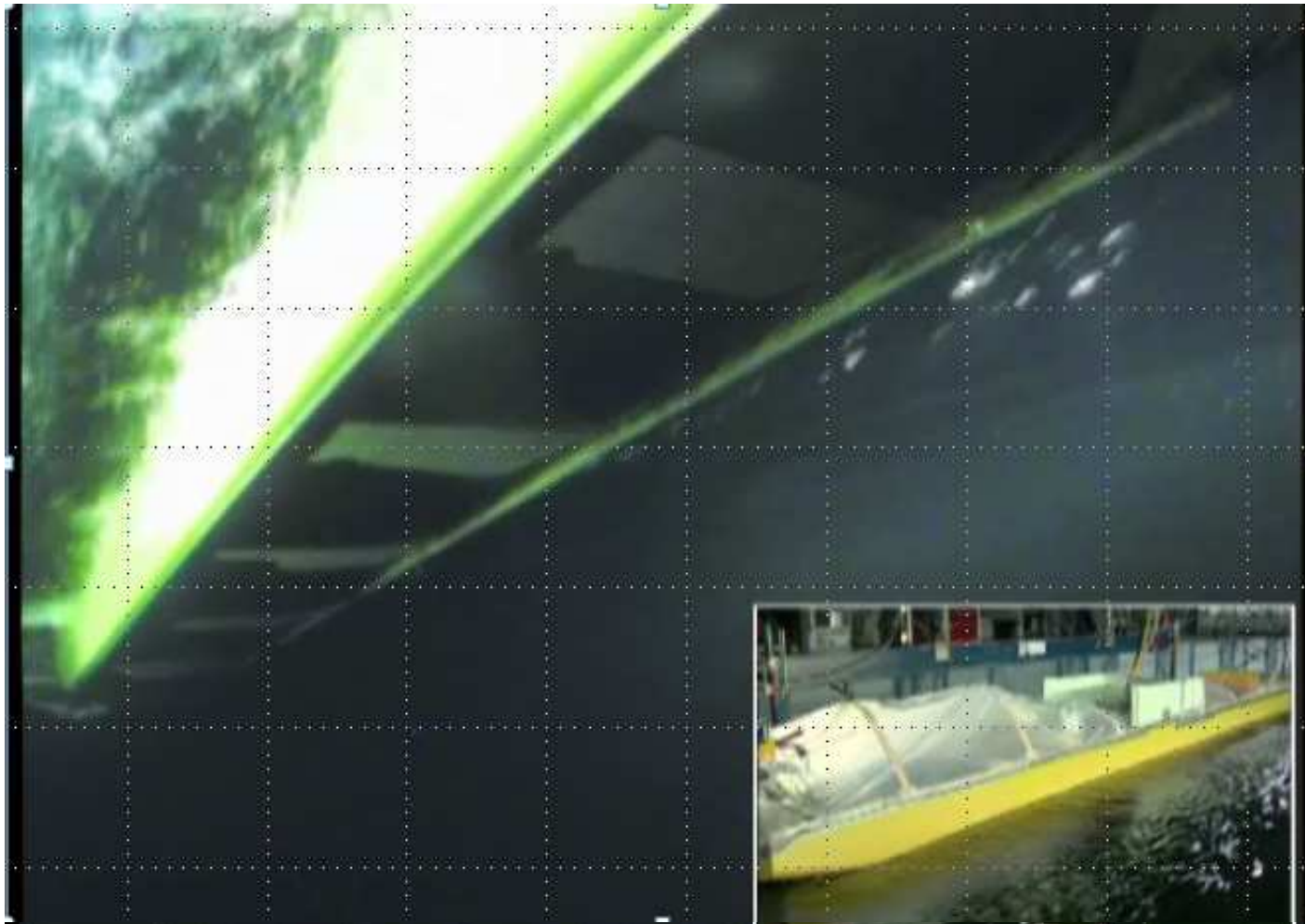
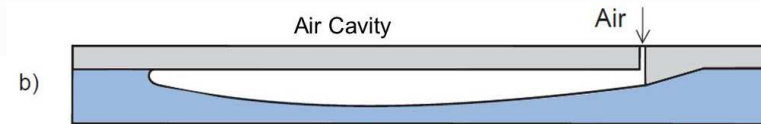
Air Cavity System



Potential savings up to 13%



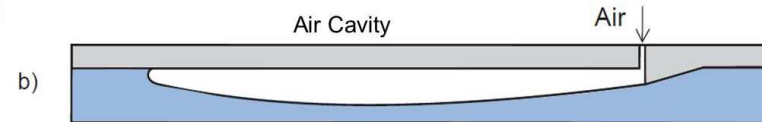
Air Cavity System



2010-2014
O. Zverkhovskiy
Air Cavity model tests

Damen Ecoliner used
 $V_{model} = 1.5 \text{ m/s}$
 $V_{ship} = 10.8 \text{ kn}$

Air Cavity System



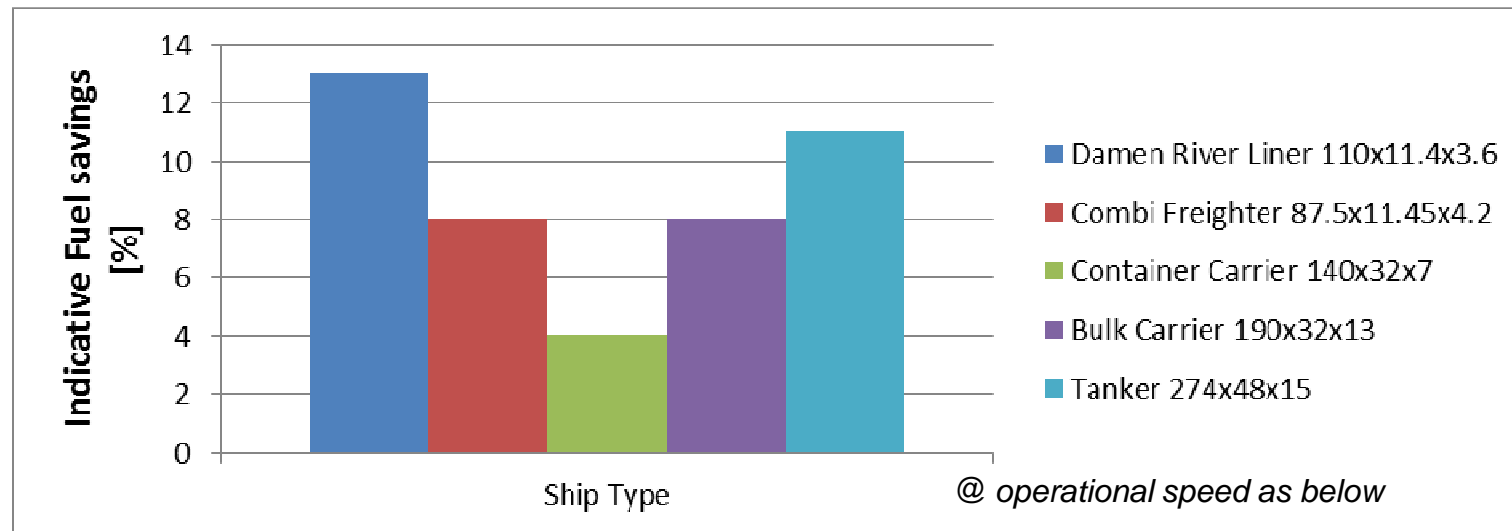
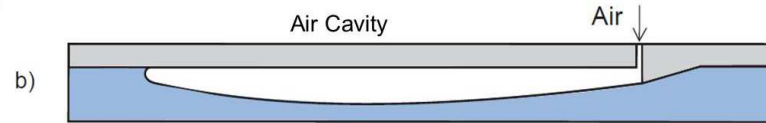
Benefits and applications

- Lower impact on hull geometry
 1. retrofit option, simple and cheap
 2. little effect on deadweight
- More tolerant for off design conditions
 1. application on seagoing vessels
 2. lower penalty on resistance
 3. bi-directional



Air Cavity System

Evaluation of reference cases:

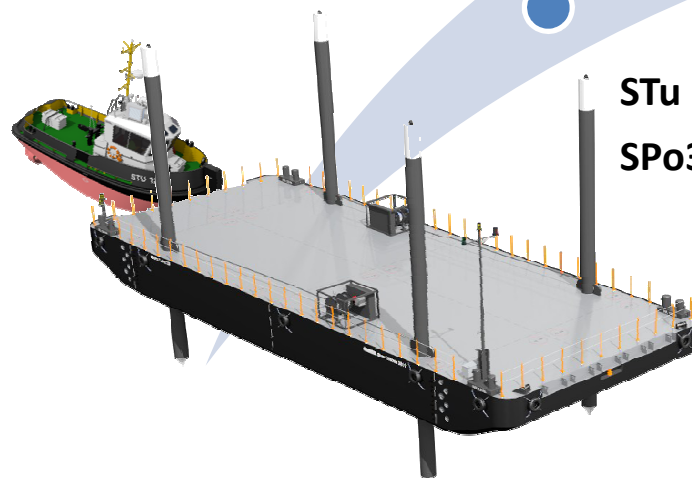
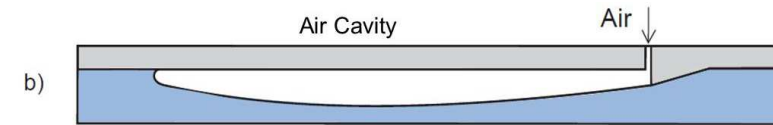


Ship type	Size (LxBxDraft)	ME Power [kW]	Speed [kn]	Compressor Power [kW]	DR [%]	Fuel saving [%]
Damen River Liner	110x11.4x3.6	1100	9.8	13	15	13
Combi Freighter	87.5x11.45x4.2	1104	9.6	16	10	8
Container Carrier	140x32x7	8400	18	180	6	4
Bulk Carrier	190x32x13	8700	11.5	135	10	8
Tanker	274x48x15	15720	11.5	230	13	11

Air Cavity System

Next steps

- practical tests with increasing complexity
- ability to use Damen stock vessels

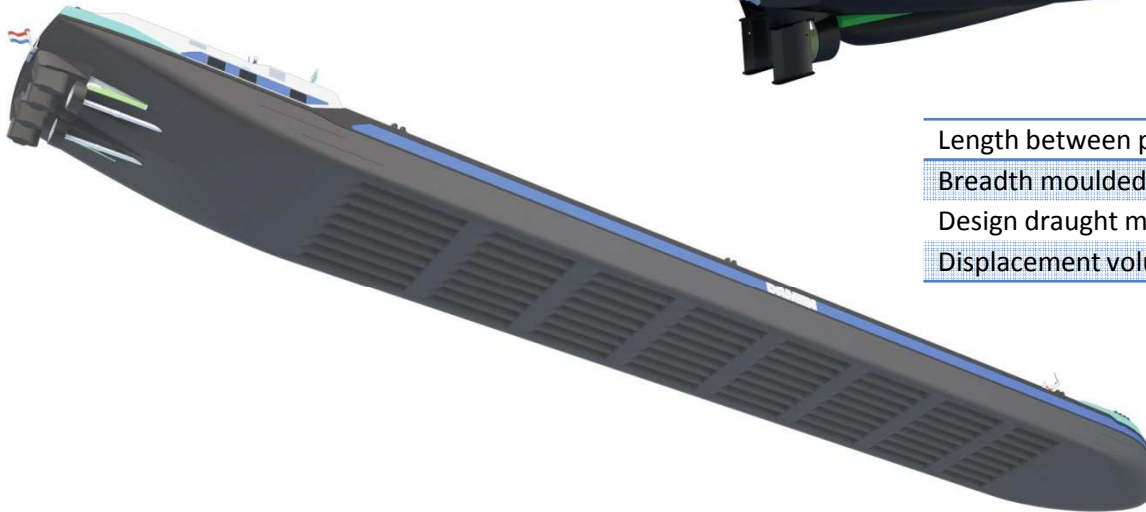


STu 1205
SPo3011

Conversion



DAMEN Ecoliner

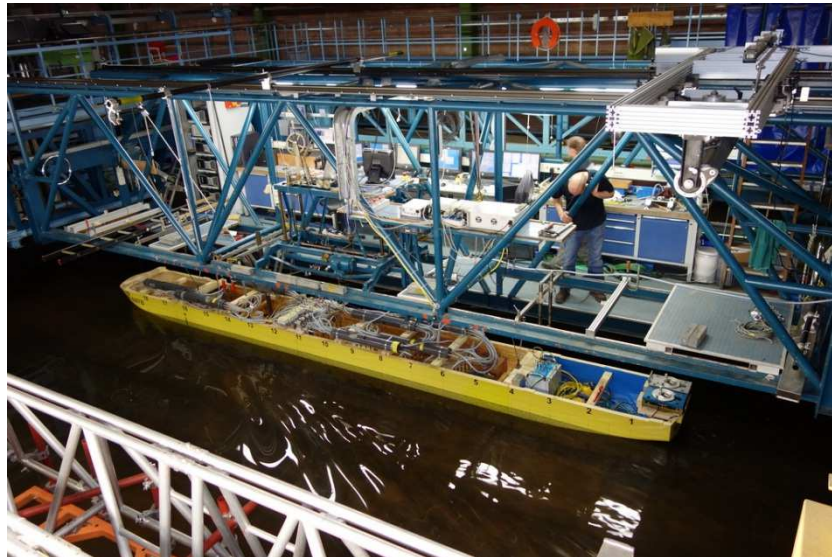


Length between perpendiculars	62.20	m
Breadth moulded	7.74	m
Design draught moulded	1.70	m
Displacement volume moulded	685	m ³

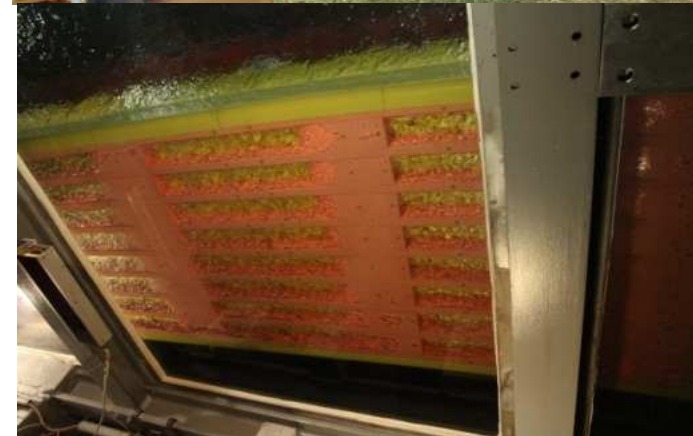
DAMEN
Artist impression
©2015

Optimisation of Air Chamber Configurations

Resistance reductions in excess of 10% predicted for full scale

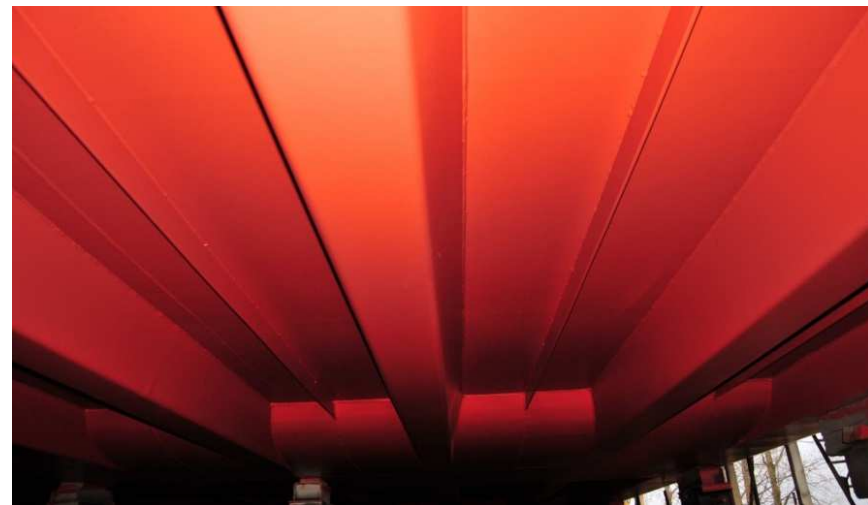
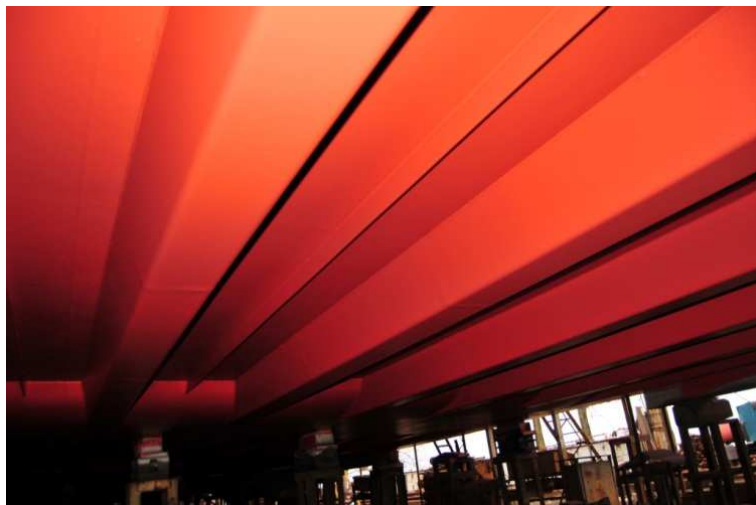


DAMEN Ecoliner





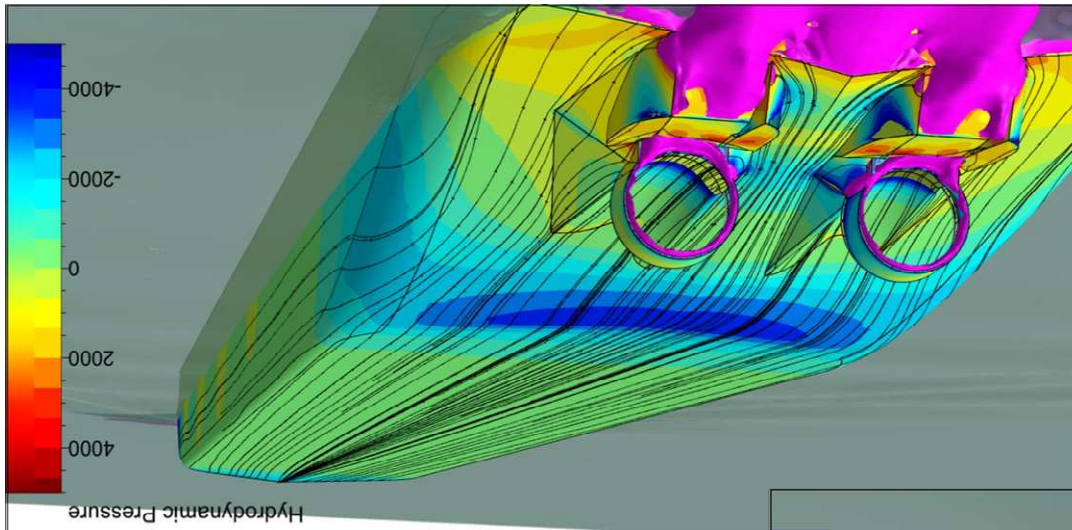
DAMEN Ecoliner



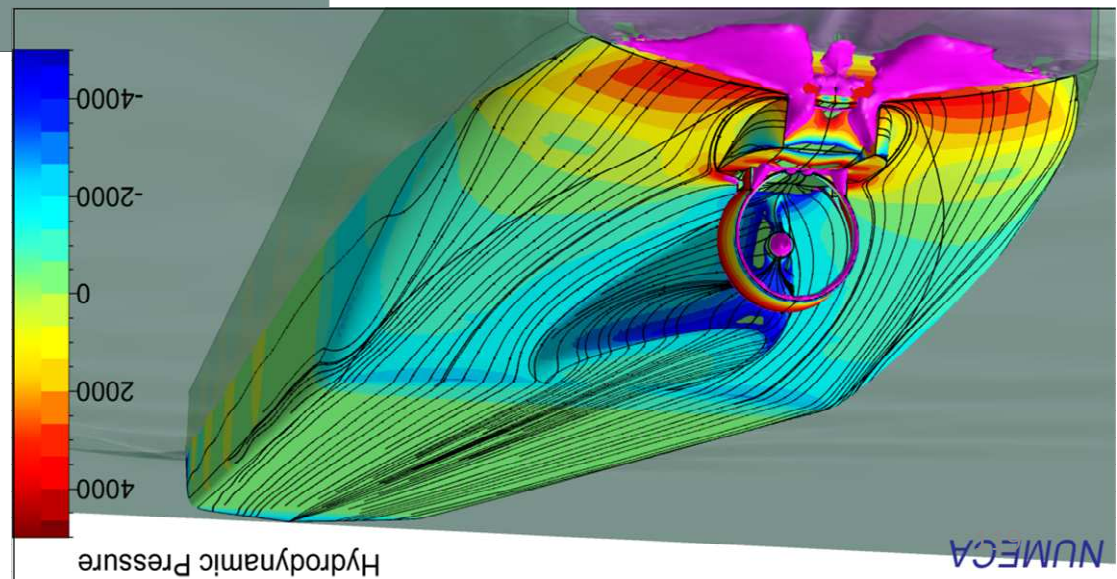
From Ecoliner to Streamliner

Ecoliner (being commissioned)

DAMEN Ecoliner



Streamliner(series of 15 sold)



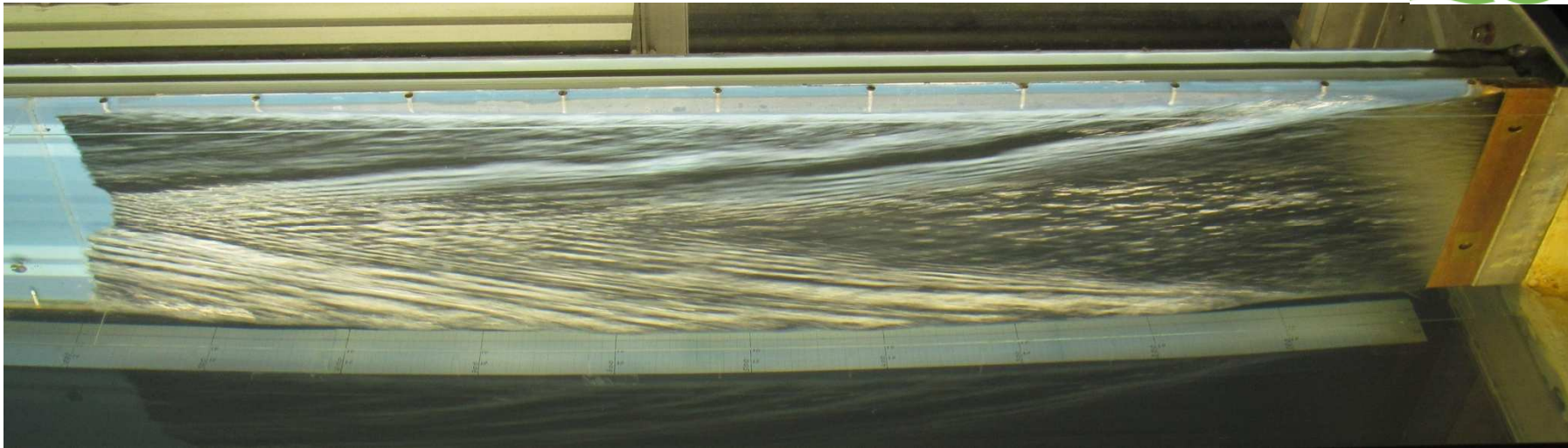
Adaptive aftbody for different loading conditions - Van der Velden Flextunnel



Unloaded draught (15%)	FLEX tunnel is folded out, to ensure a proper water flow into the propeller
Loaded draught (85%)	FLEX tunnel is folded in Resistance at a minimum level (-20%) Efficient use of main engine capacity and fuel consumption



AIR LUBRICATION



Promising
resistance and
power reductions
up to 13%

Ability to combine
with other
measures

Fouling is largely
prevented by air
chamber/cavity

Ongoing research
to show technical
and economical
feasibility



**REDUCTION OF OPERATIONAL COSTS
AND EMISSIONS**



ECONOLOGIE: CONODUCTTAIL

ENERGIE-EFFICIENTIE ONDER DE WATERLIJN

IR. GUUS VAN DER BLES

PROGRAMMA

- Introductie
- eCONOlogie optimalisatie: ConoDuctTail
- Toepassing en resultaten in Lady Anna – series
- Vervolg-ontwikkelingen
- Nieuwe eCONO Sea River Traders
- ConoDuctTail in grotere schepen: LeanShips EU R&D project
- Conclusies: hoe nog efficiënter ?



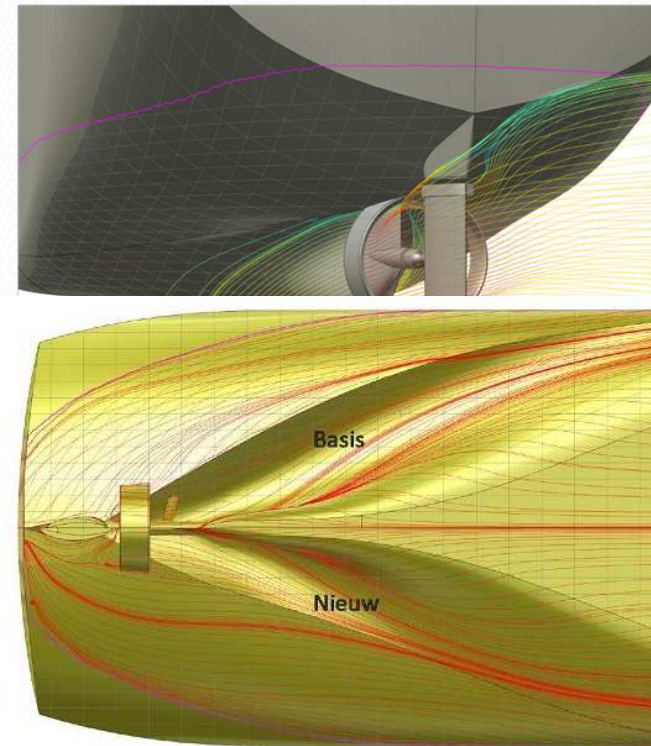
INTRODUCTIE

- Guus van der Bles: Conoship + TU Delft
- Drive: innovaties toepassen in schepen
- Focus Conoship R&D: **eCONOlogie**
 - => combi eCONOmie & eCOlogie :
 - Brandstof besparen door scheepsvorm + voortstuwer
 - ConoSeaBow en ConoDuctTail obv CFD
 - Windvoorstuwing units TurboSail
 - LNG tbv voortstuwing



INTRO CONOSHIP INTERNATIONAL

- Ruim 60 jaar ontwerpbureau in Groningen
- Specialist innovatieve ontwerpen Short Sea Shipping : alle typen vanaf ca. 30 m Lengte
- ca. 2000 schepen van ons ontwerp gebouwd: "World Market Leader" in 'coasters'
- Focus op toepassen van praktische innovaties, oa lekstabiliteit → max T → max DWT ook Retrofit



DESIGN @CONOSHIP

Schepen met hoge toegevoegde waarde

Implementatie van praktische innovaties

Zoveel mogelijk interactie met de klant

Compacte & Complexe schepen met 'iets extra's':

- Kleinste Heavy Lift vessel =>
'Schip van het Jaar ' Award 2007



2 x 120 TON LIFTING CAPACITY WITH OPEN TOP NOTATION

18KN DESIGN SPEED WITH ONLY 3000KW

<3000GT

DESIGN @CONOSHIP

Schepen met hoge toegevoegde waarde

Implementatie van praktische innovaties

Zoveel mogelijk interactie met de klant

Compacte & Complexe schepen met 'iets extra's':

- Kleinste Heavy Lift vessel
- Pilot Station Vessel



DIESEL-ELECTRIC, DUAL SPEED & HIGH COMFORT
LAUNCHING PILOTS AT HIGH SEA STATE

DESIGN @CONOSHIP

Schepen met hoge toegevoegde waarde

Implementatie van praktische innovaties

Zoveel mogelijk interactie met de klant

Compacte & Complexe schepen met 'iets extra's':

- Kleinste Heavy Lift vessel
- Pilot Station Vessel
- W2W Vessel 'KROONBORG' =>
'Schip van het Jaar ' Award 2015



DIESEL-ELECTRIC PROPULSION, DP2 AND VOITH-SCHNEIDER PROPULSORS

DESIGN @CONOSHIP

Schepen met hoge toegevoegde waarde

Implementatie van praktische innovaties

Zoveel mogelijk interactie met de klant

Compacte & Complexe schepen met 'iets extra's':

- Kleinste Heavy Lift vessel
- Pilot Station Vessel
- W2W Vessel 'KROONBORG'
- 4500 m3 Dredger Boskalis 'SHOALWAY'



VERY EFFICIENT, DIRECT DRIVEN PROPULSORS & PUMPS

HIGH DREDGING PRODUCTIVITY

DESIGN @CONOSHIP

Schepen met hoge toegevoegde waarde

Implementatie van praktische innovaties

Zoveel mogelijk interactie met de klant

Compacte & Complexe schepen met 'iets extra's':

- Kleinste Heavy Lift vessel
- Pilot Station Vessel
- W2W Vessel 'KROONBORG'
- 4500 m3 Dredger Boskalis 'SHOALWAY'
- Kleinste zeegaande LNG Tanker 1100 m3



DELIVERED IN 2005

SAILS ON LNG BOIL OFF GAS

DIESEL - & GAS – ELECTRIC

LEAN-BURN GAS-ENGINES



DESIGN @CONOSHIP

Schepen met hoge toegevoegde waarde

Implementatie van praktische innovaties

Zoveel mogelijk interactie met de klant

Compacte & Complexe schepen met 'iets extra's':

- Kleinste Heavy Lift vessel
- Pilot Station Vessel
- W2W Vessel 'KROONBORG'
- 4500 m³ Dredger Boskalis 'SHOALWAY'
- Kleinste zeegaande LNG Tanker 1100 m³
- 3700 DWT Sea-River trader 'LADY ANNA' met ConoDuctTail (series 4 + 8 schepen)

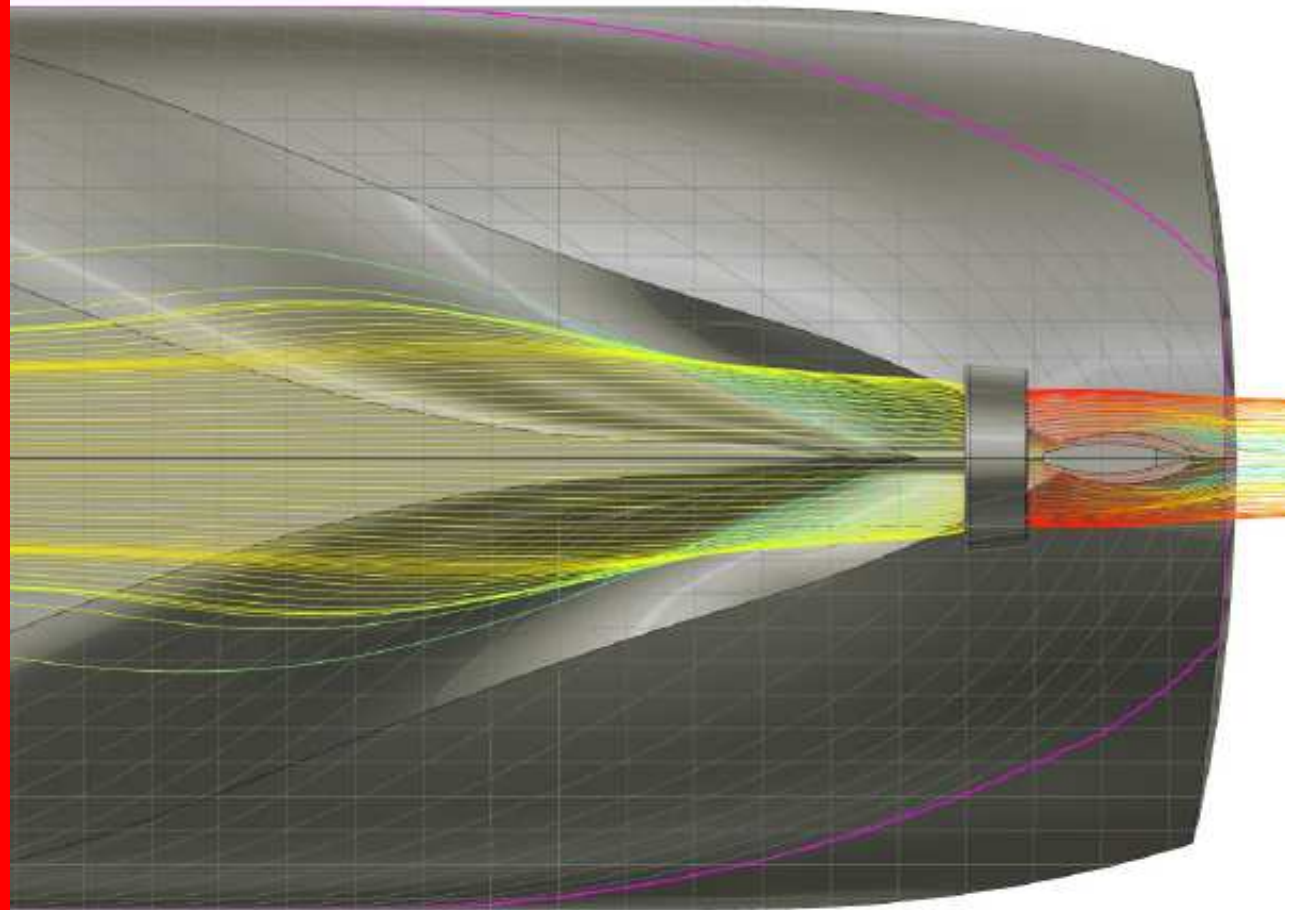


3700 DWT DIRECT DRIVE MGO 749 kW MCR
=> 10,8 KN

EEDI CHAMPION FUEL EFFICIENCY: 10KN @ < 3
TON FUEL/DAY

ECONOLOGIE:

OPTIMALISATIE
SCHEEPSVORM
ACHTERSCHIP &
SCHROEF & STRAALBUIS

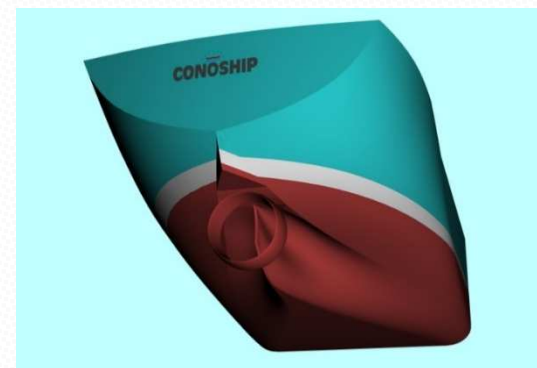


VORM OPTIMALISATIE: PROBLEEM- EN DOELSTELLING

Focus Conoship: innovatieve scheepsvormen !

- Reductie van emissies en brandstofverbruik
- Optimale bewegingen in zeeegang
- 1e focus: achterschip onder water: ConoDuctTail

Doel: beste energy efficiency
(= meer dan laagste weerstand..)

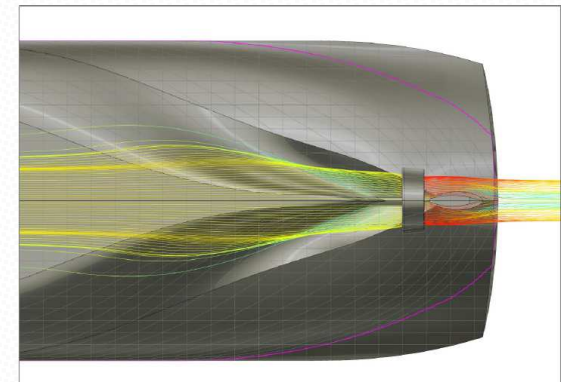


R&D STUDIE OPTIMALISATIE ACHTERSCHIP (1)

Conoship langjarig R&D project in samenwerking met oa MARIN en TU Delft

Delft gestart: analyse achterschipvormen:

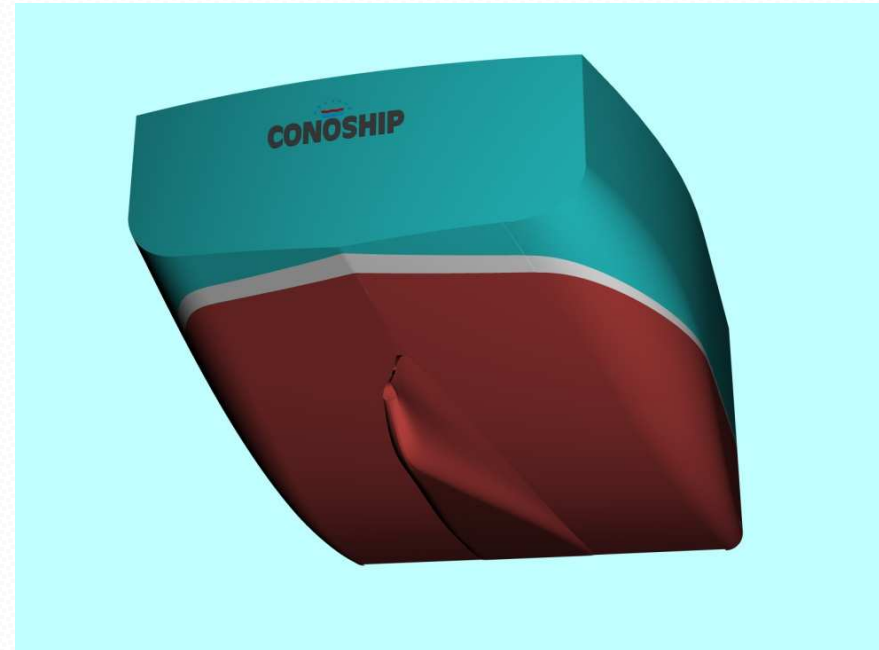
- Enkelschroef dieselgedreven meest efficiënt
- Schroefdiameter niet altijd maximaal
- 3 typen vormen:
 - Extreme praamvorm
 - Tunnelvormen (uit binnenvaart)
 - Gematigd praam met gematigde hekbulb



R&D STUDIE OPTIMALISATIE ACHTERSCHIP (2)

Extreme praamvorm:

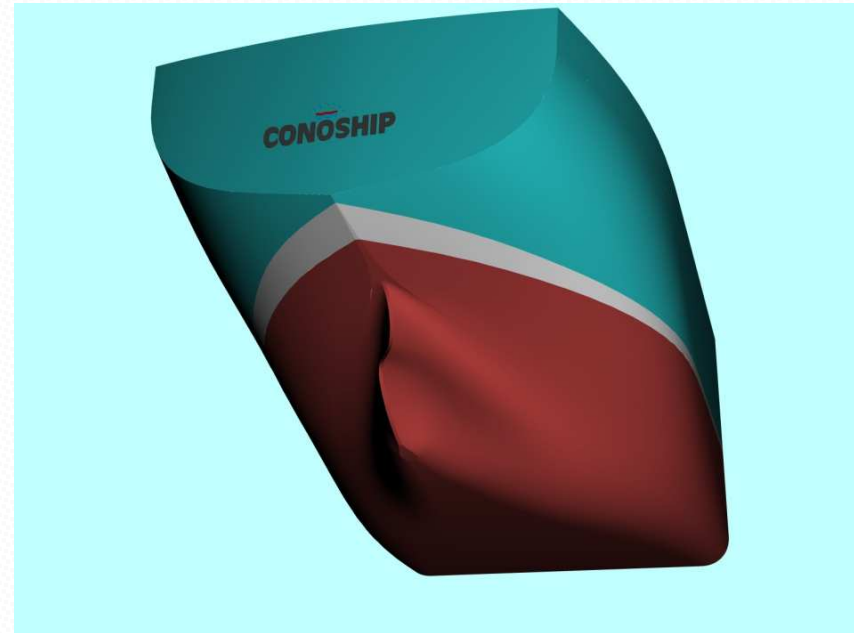
- Lage weerstand
- Toegepast voor snellere schepen
- Slechte ervaringen in ondiep water en in slecht weer (achterschip slamming)
- Relatief lage hull-efficiency, door laag volgstroom-getal



R&D STUDIE OPTIMALISATIE ACHTERSCHIP (3)

Gematigde praamvorm met
Gematigde hekbulb:

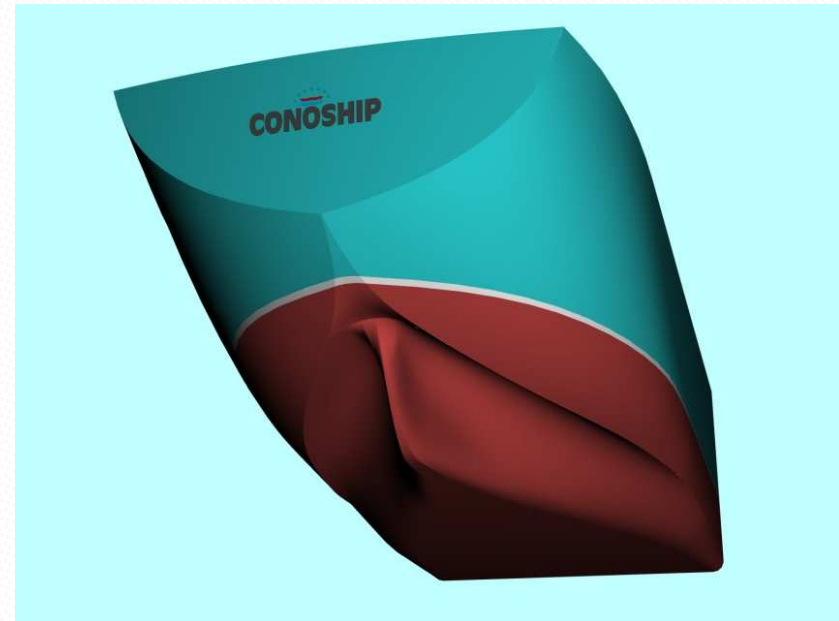
- Beter hull-efficiency dan praamvorm
- Lagere weerstand dan traditionele achterschip
- Beter gedrag in zeeegang dan extreme praamvorm



R&D STUDIE OPTIMALISATIE ACHTERSCHIP (4)

Tunnelvorm (zoals in binnenvaart toegepast):

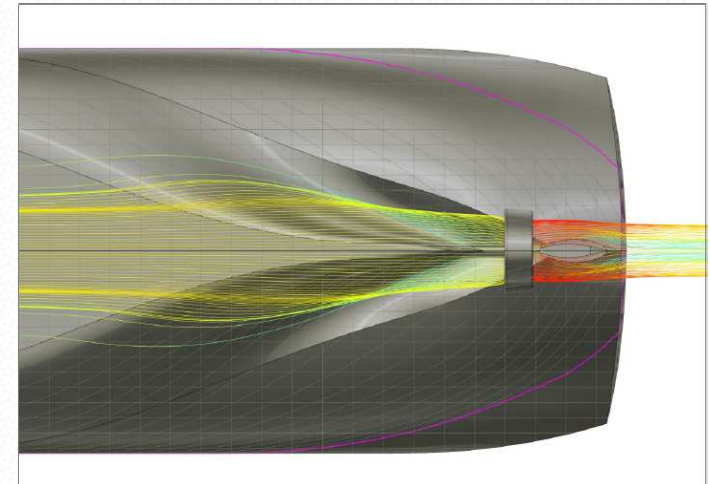
- Grotere schroefdiameter mogelijk, kleine vrijslag
- Ervaringen erg positief over behoud van stuwkracht in zeegang
- Vlakwaterweerstand van conventionele tunnel relatief hoog
- Verwachte volgstroom ook hoog...



ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (1)

Doel: integrale optimalisatie van achterschip-vorm, tunnel, straalbuis en schroefontwerp

- Maximale schroefdiameter
- Straalbuis integreren in tunnel
- Weerstand tunnel minimaliseren tot gematigde praamvorm
- Schroefontwerp voor hoge volgstroom en maximum voortstuwingsrendement



ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (2)

Integrale optimalisatie van
achterschipvorm, tunnel, straalbuis
en schroefontwerp =>

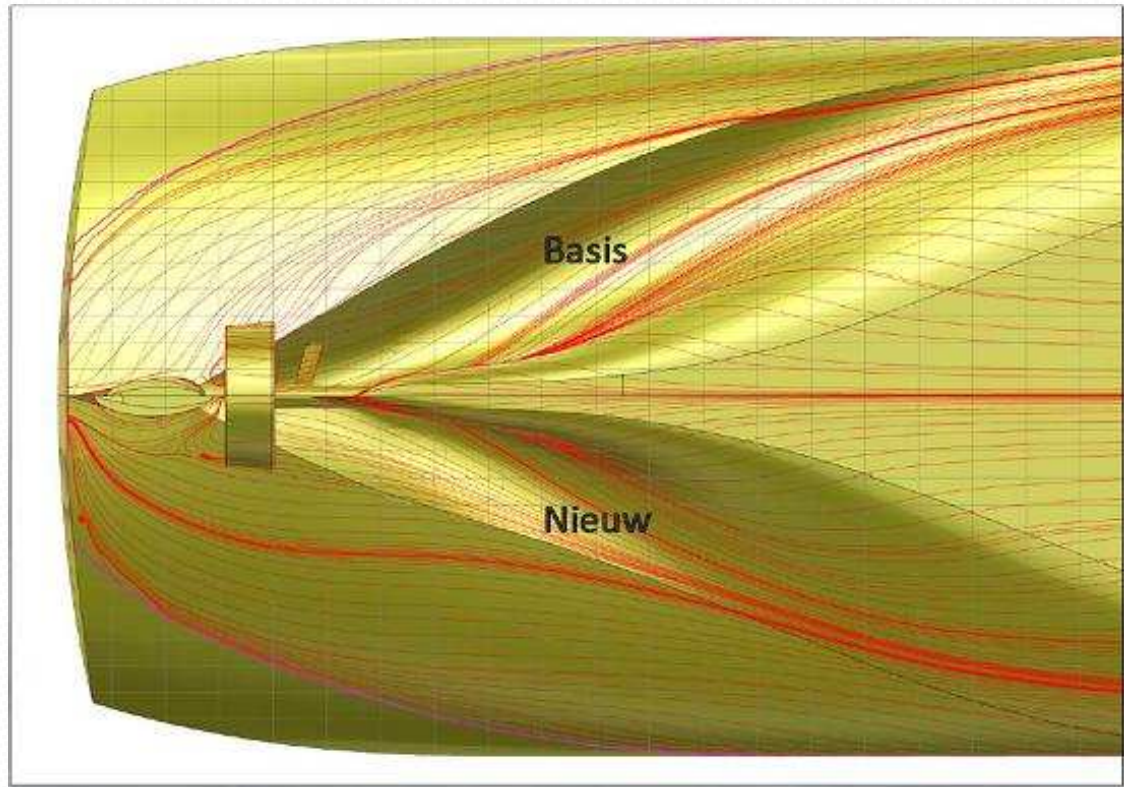
Samenwerking met specialisten

- CFD analyses met Van Oossanen
- Schroefontwerp + advies SasTech
- Modelproeven met MARIN ,
uitgevoerd bij DST Duisburg



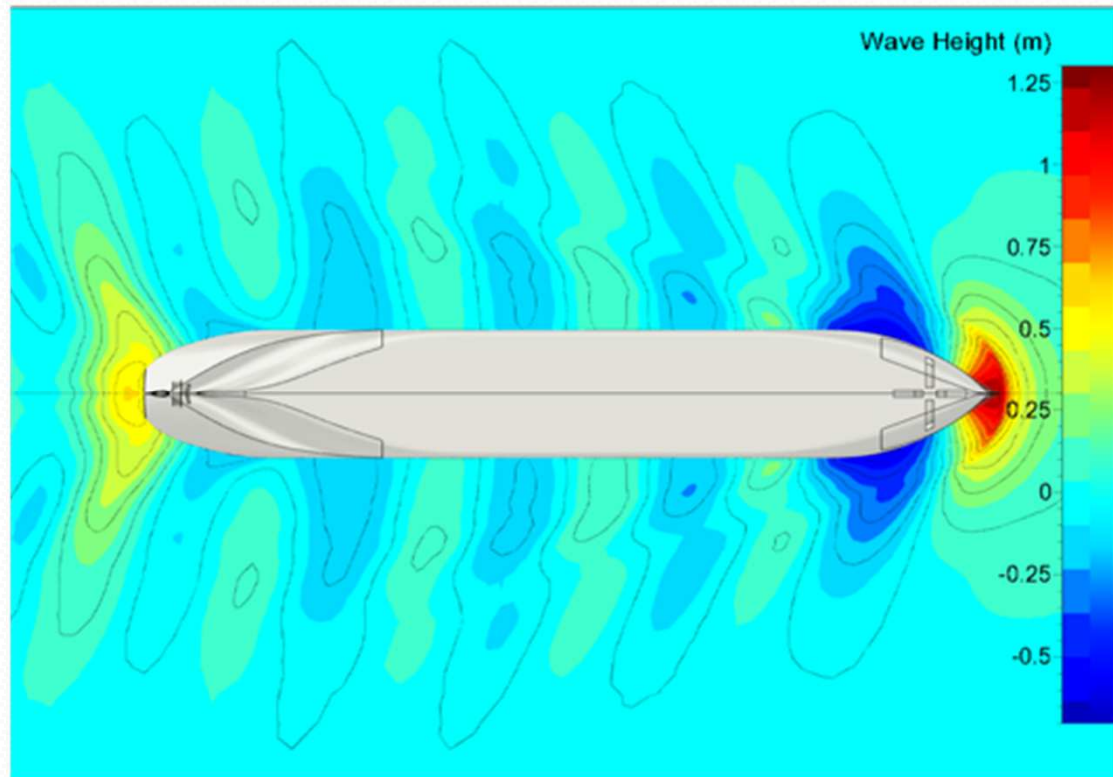
ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (3)

CFD-Optimalisatie van
achterschip-vorm,
tunnel, straalbuis en
schroefontwerp:



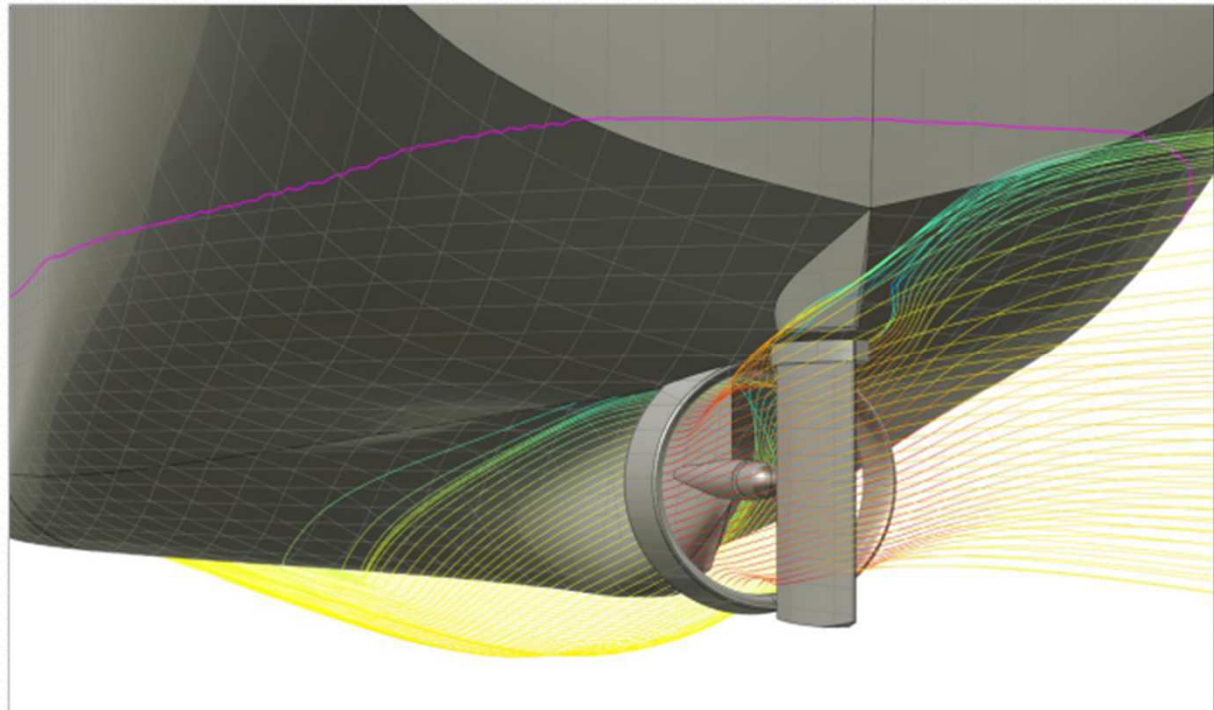
ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (4)

CFD-Optimalisatie
van hele
scheepsvorm:



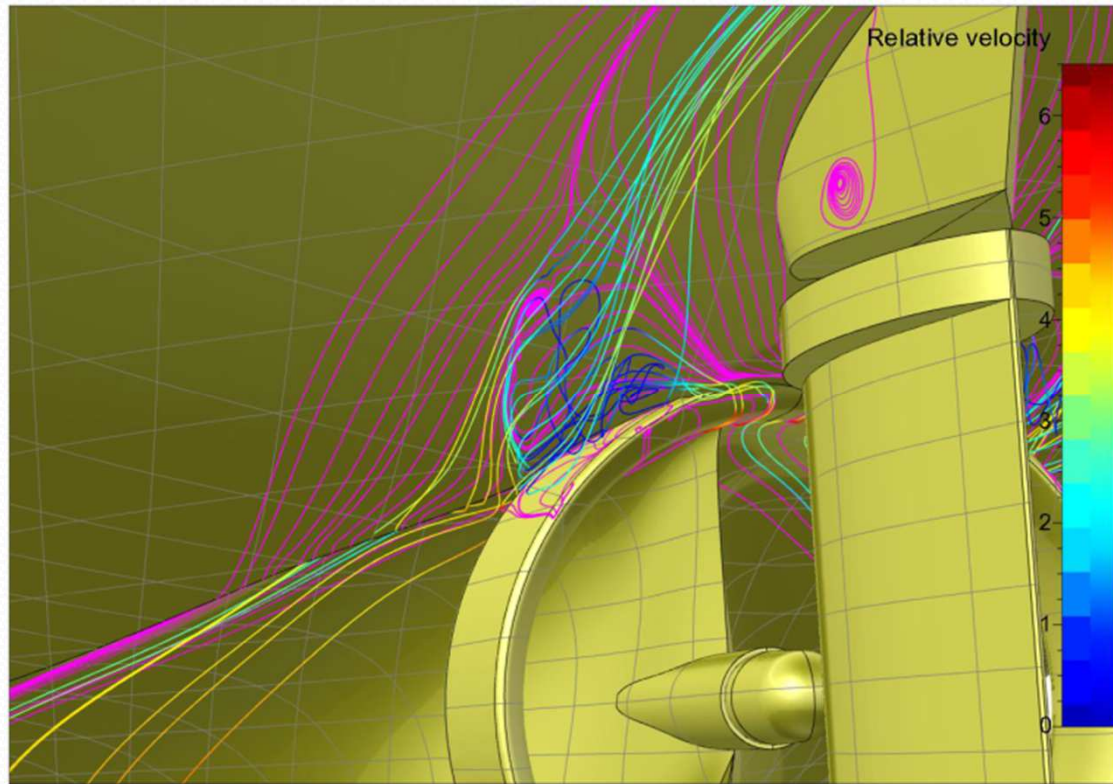
ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (5)

CFD-Optimalisatie
van achterschip-
vorm, tunnel,
straalbuis en
schroefontwerp:



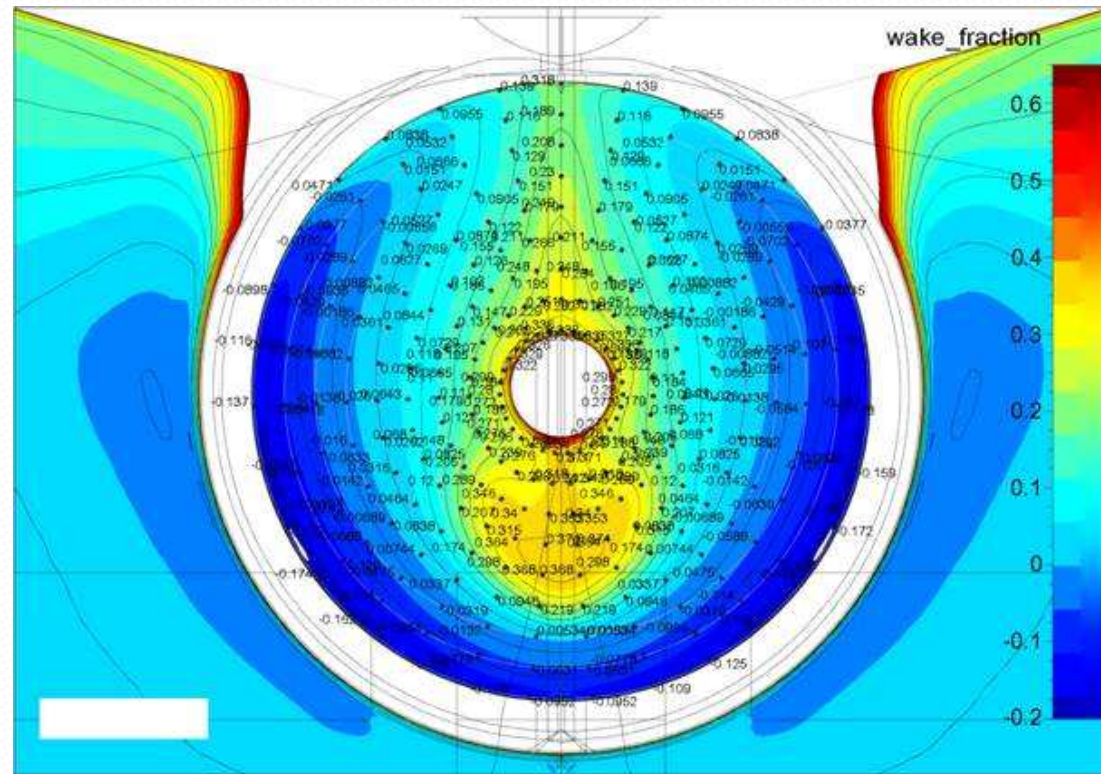
ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (6)

CFD-Optimalisatie
van achterschip-
vorm, tunnel,
straalbuis en
schroefontwerp:



ONTWIKKELING CONODUCTTAIL (7)

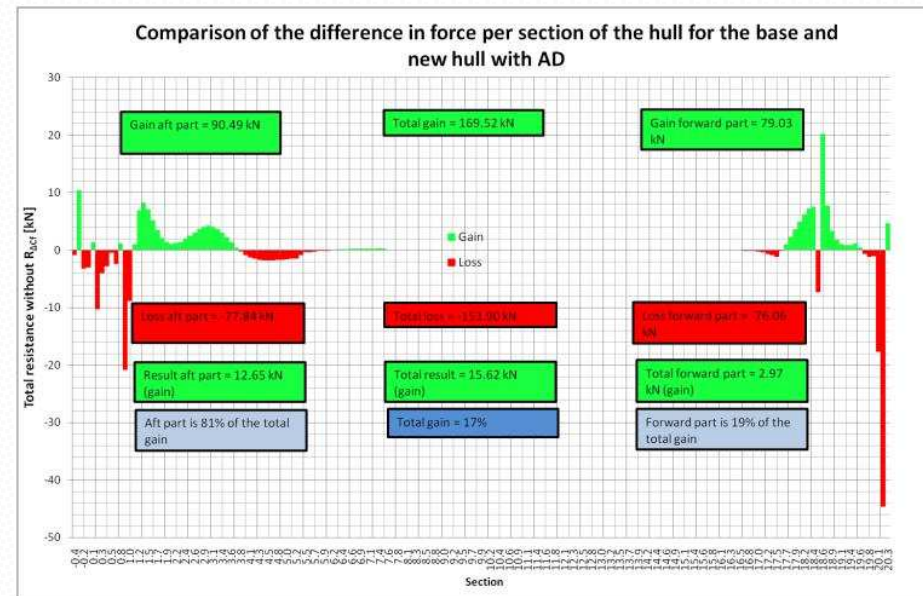
CFD-Optimalisatie van
achterschip-vorm,
tunnel, straalbuis
=> Optimaal
volgstroomveld tbv
meest efficiënte
schroefontwerp:



RESULTATEN CFD OPTIMALISATIE CONODUCTTAIL

CFD-Optimalisatie van hele scheepsvorm:

- 17 % weerstandsvermindering !
 - Verwachte snelheden op ontwerpdiepgang 4.30m bij 749 kW MCR:
 - DST modelproeven: 10.0 kn
 - MARIN correctie schroef/straalbuis: 10.3 kn
 - SasTech predictie optimaal schroefontwerp: 10.5 kn
- Proeftocht : 10,8 kn !



ECONO-TRADER 3700: CDT 1.0 LADY ANNA

Lengte (pp): 84.98 m
Breadth: 13.35 m
Draught max: 4.90 m
Deadweight 3700 ton

Hoofdmotor 749kW

Optimalisatie achterschip
10kn => ConoDuctTail

< 3 ton MGO /dag

Goed behoud van
stuwkracht in zeegang

EEDI = 11,3 => 60% max



CONODUCTTAIL 2.0 : SLANKERE ROMP IJS 1A

R&D Conoship & SasTech & Van Oossanen

Integrale optimalisatie van achterschip, straalbuis met tunnelvormig stroomlijnlichaam & propeller design

Blokcoefficient ca. 0.78

Dual speed optimalisatie:

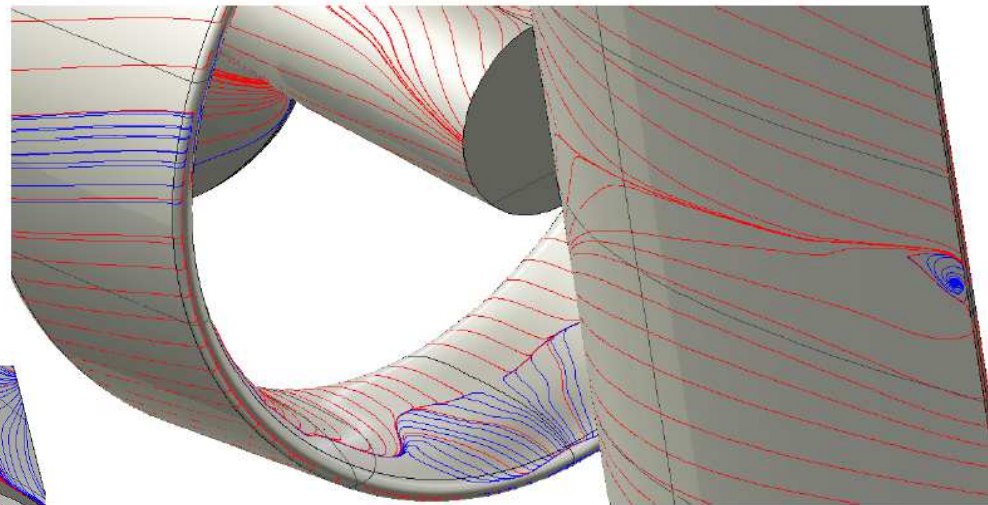
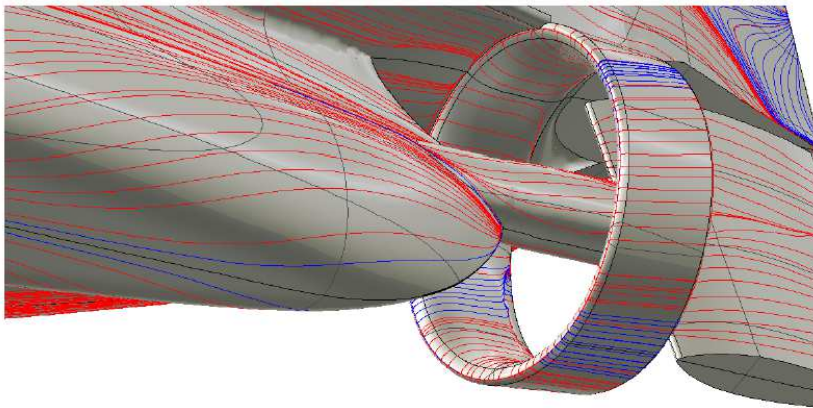
- Eco-speed 11 kn @ min kW
- Max speed ca. 12,5 – 13 kn
@ ICE 1A kW = ca. 1400 kW

Doel: 11 kn @ 3,5 ton/day

CONODUCTTAIL 2.0 : SLANKERE ROMP IJS 1A (4)

R&D Conoship & SasTech & Van Oossanen

Stromingsdetails rond de straalbuis, met Actuator Disc als representatie van de draaiende schroef



ECONO-TRADER ICE 1A CONODUCTTAIL 2.0

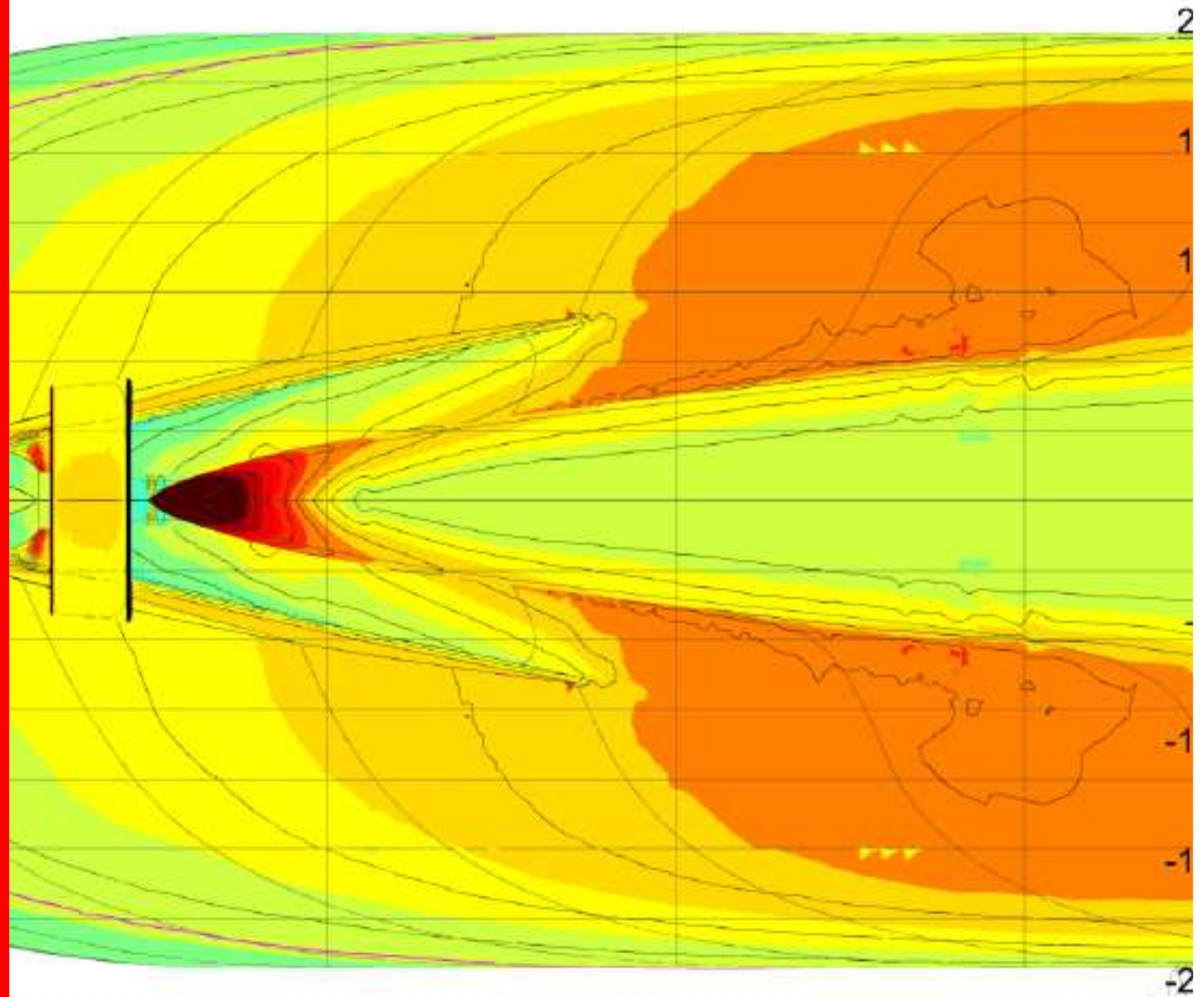
IJsklasse 1A

Gematigde praamvorm
voor hogere snelheden

Bij 11kn van ca. 850 kW
naar 815 kW

11 kn @ ca. 3,7 ton/dg

12,7 kn @ 1400 kW



CONO-TRADER 2600

B = 11.40 M

2008 ontwerp:

- extreme praamvorm
- hoofdmotor 1350 kW,
(inmiddels derated)
- vaarsnelheid 9,5 a 10 kn

2015 eCONO-update:

- ConoDuctTail
- hoofdmotor 749 kW
- Vmax = 10,3 kn
- 20% kW reductie @ 10 kn

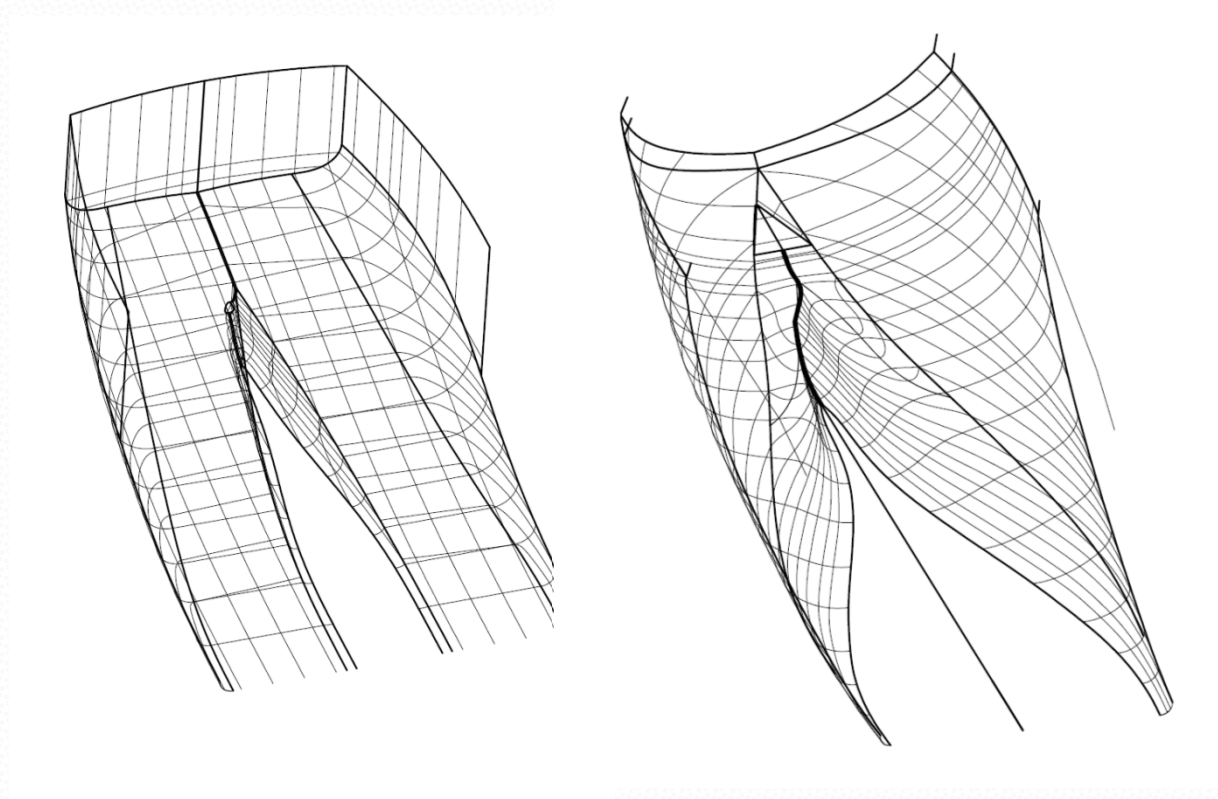


VAN EXTREME PRAAM NAAR ECONOLOGIE

ConoDuctTail 1.0 met
geïntegreerde tunnel en
straalbuis

Beperkte schroefdiamter

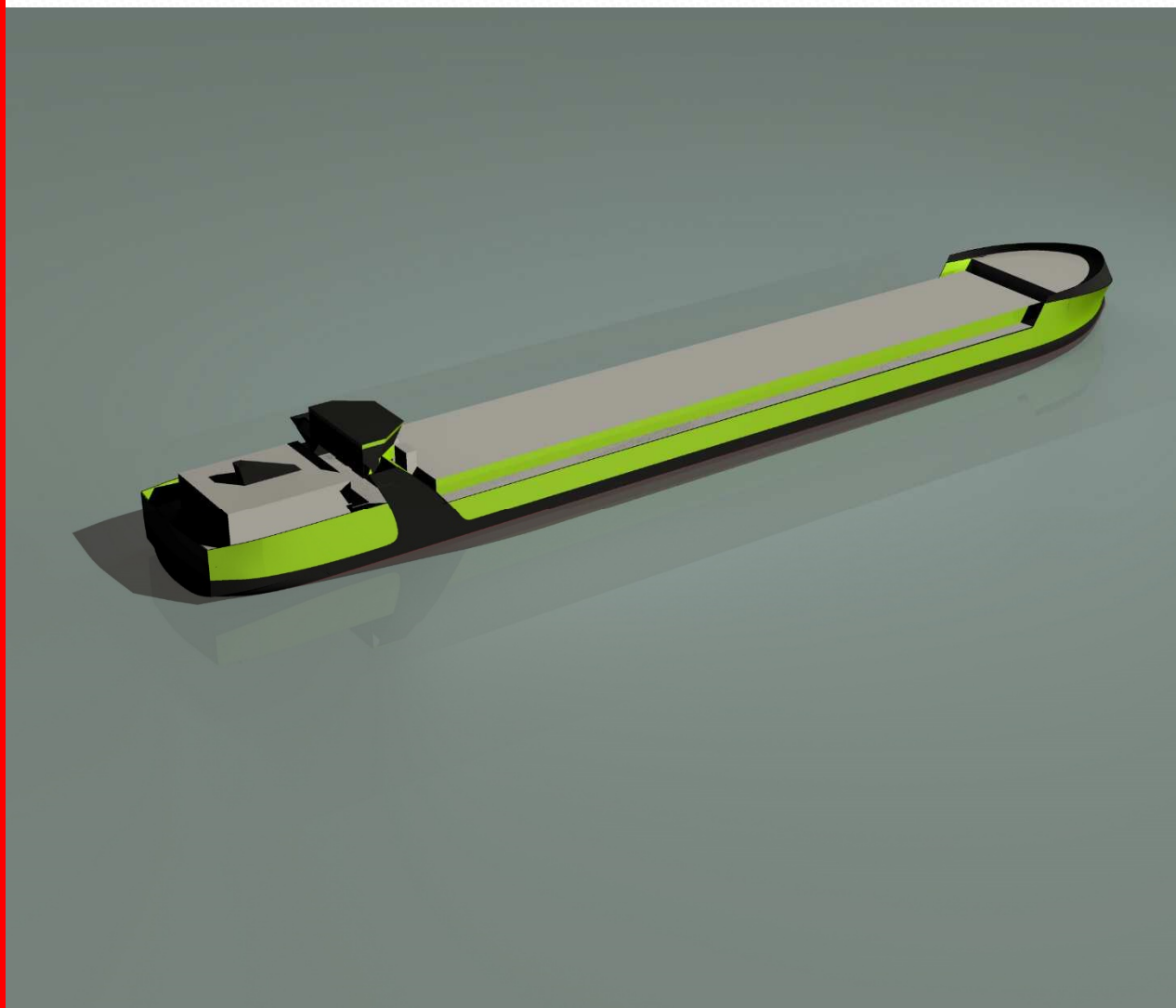
Toch 20% verbetering in
verbruik bij 10 kn naar ca.
3 ton /dag



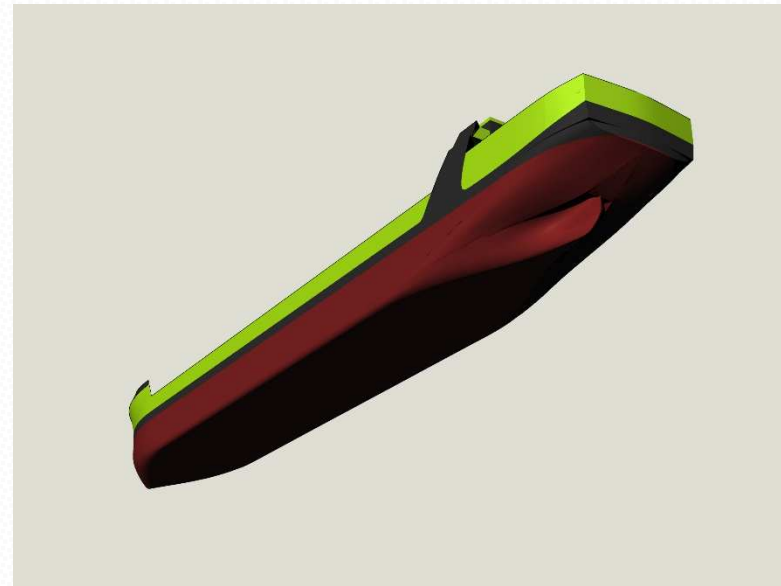
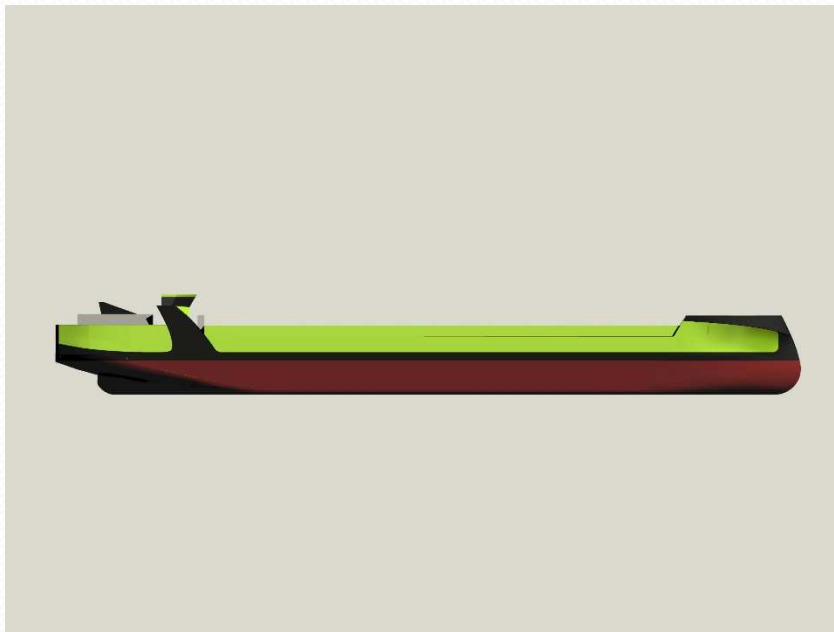
ECONO-TRADERS
2800 / 3000 / 3200
SEARIVERTRADER

2016 eCONO-Trader lijn:

- ConoDuctTail
- grote schroef
- hoofdmotor 749 kW
- minimum kW / emissie / verbruik @ 10 kn
- minimum bouwkosten



ECONO-TRADERS 2800/3000/3200 SEARIVER

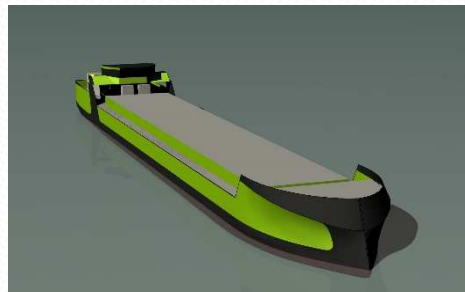
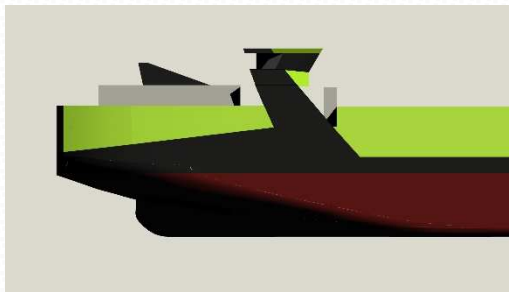


ECONO-TRADERS LIJN 2200 – 5000 TDW

Focus op minimum verbruik bij EcoSpeed van 10 kn

Boven 4000 Dwt hogere TopSpeed + DualSpeed optimalisatie => PTO/PTI

eCONOlogy Traders:		2200	3700	4000	5000
Lpp	(m)	79,97	84,98	91,8	84,94
Bm	(m)	11	13,35	13,5	14,4
Depth	(m)	5,2	7,05	7,8	8,35
Draught	(m)	4,13	4,9	5,7	6,25
Deadweight	(ton)	2260	3711	4000	5000
Main engine	(kW)	749	749	1200-1800	1200
Fuel cons.	(t/day)	1.7	2.9	3	3.1





CONDUCTAIL IN GROTE SCHEPEN: EU-R&D LEANSHIPS

LEANSHIPS WP9 LARGE DIAMETER PROPELLER

EU R&D project met oa Conoship & Wagenborg & MARIN & Rolls-Royce & Lloyds Register

Integrale optimalisatie van achterschip, & propeller design, obv ConoDuctTail

Loa = 220 m, max 34.000 DWT
ontwerpdiepgang = 8 m

Schroefdiameter 7 m, ijssklasse 1A

Veel CFD & Modeltesten:
zeegang/schroefventilatie/ijsimpact

Optimalisatie Eco-speed 13 kn @ min kW



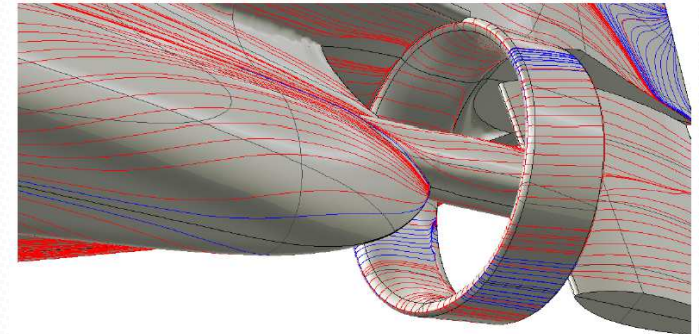
CONCLUSIES : HOE NOG EFFICIENTER ?

Integrale optimalisatie romp en voorstuwer
Doorontwikkelen ConoDuctTail met CFD en
Modeltesten tbv grenzen grootste schroef

Focus op eCONologie:

- onder water: ConoDuctTail
- in machinekamer: LNG, PTO/PTI, Hybrid
- boven water: Wind voortstuwing

Efficiëntie blijft inspireren, steeds weer !!



DANK VOOR DE AANDACHT, VRAGEN ?

www.conoship.com

Guus.van.der.bles@conoship.com



Challenging wind and waves

Linking hydrodynamic research to the maritime industry

VOORTGANG IN DE ROMP/SCHROEFOPTIMALISATIE IN HET ONTWERPEN VOOR OPERATIONELE INZET

Patrick Hooijmans

- **Huidige situatie**

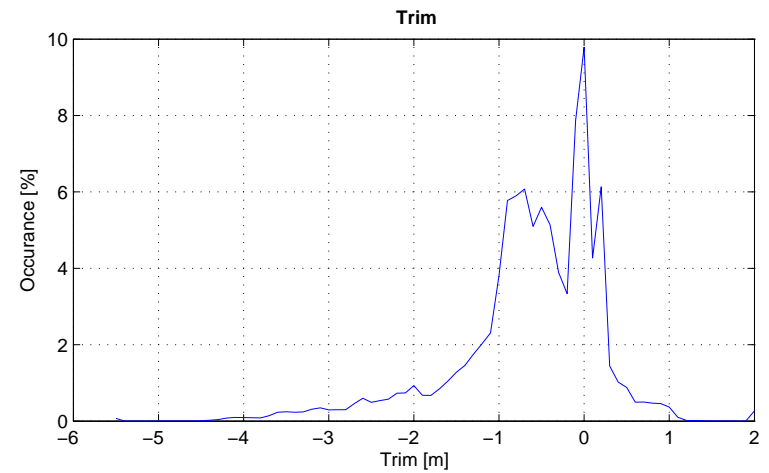
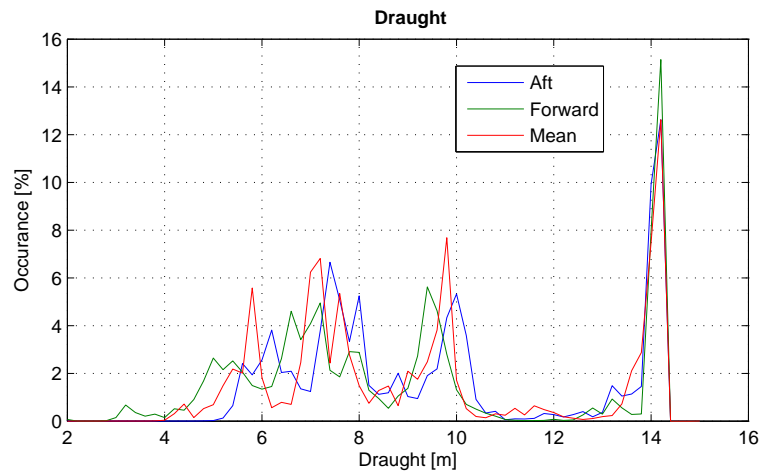
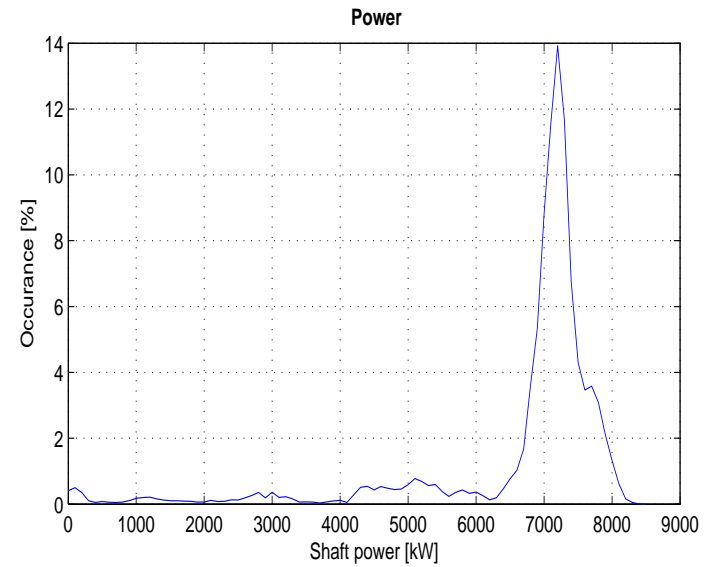
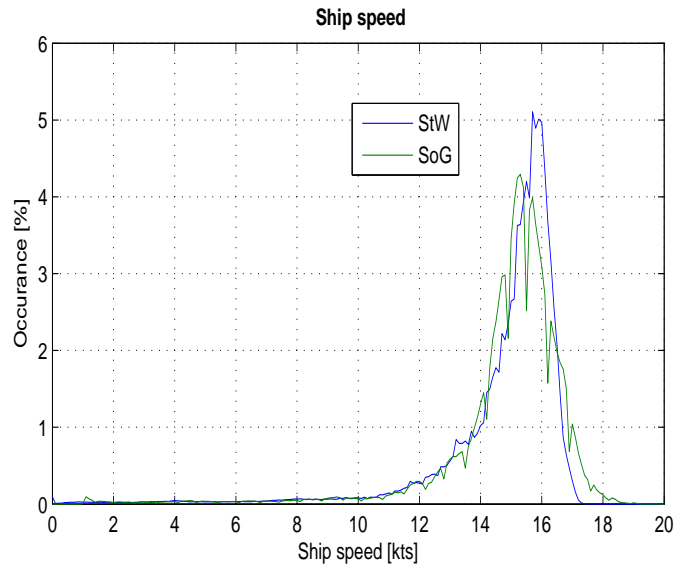
- Wereldwijde opwarming/CO₂/regelgeving
 - Lokale luchtkwaliteit/SO_x, NO_x/PM/SECA/Havens
 - EEDI
-
- Noodzaak voor reductie van brandstof verbruik en emissies
 - Vraag naar energie besparende maatregelen
 - uitgangspunt..... ontwerpen voor operationele condities

ONTWERPEN VOOR OPERATIONELE CONDITIES

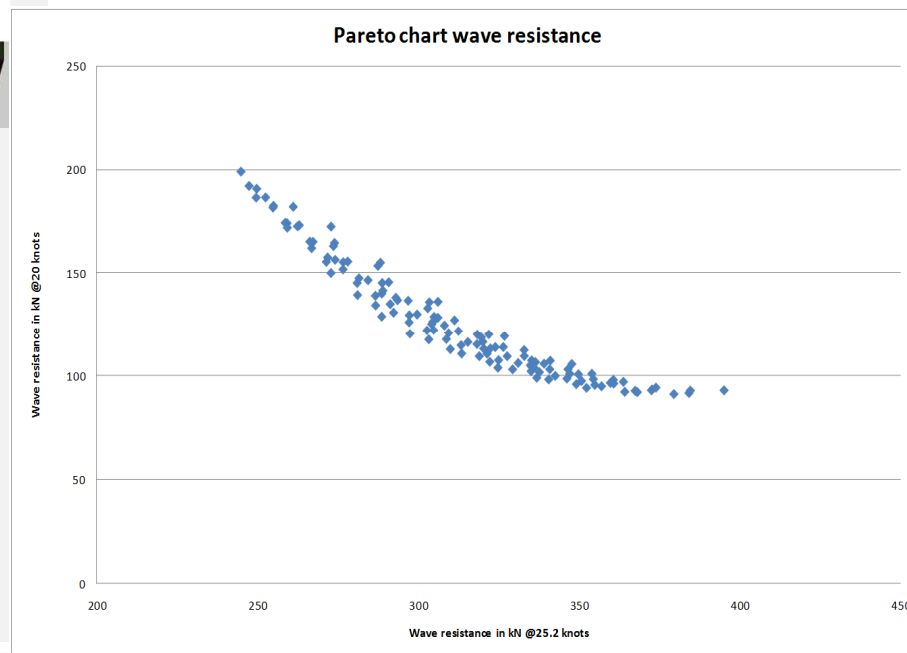
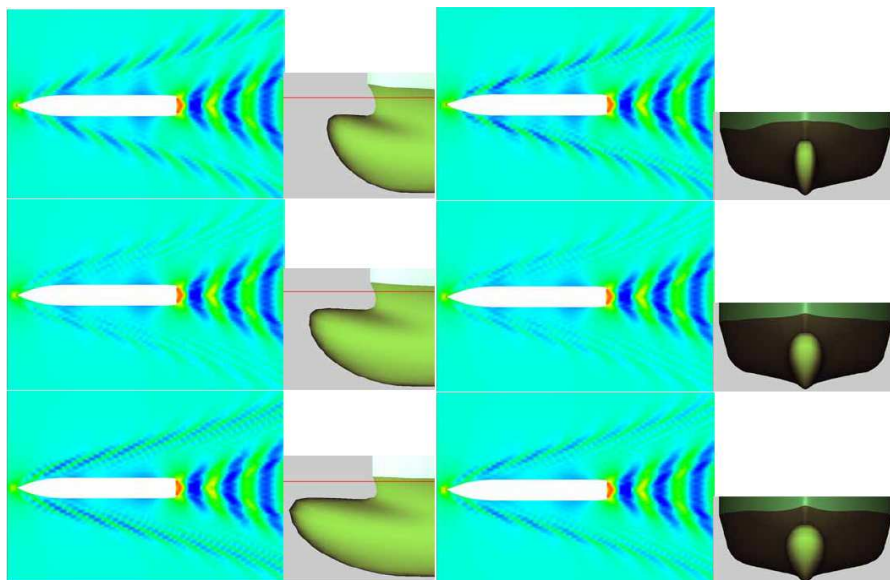
- Diepgang
- Snelheid
- Weer
- Route
-



VOORBEELD OPERATIONEEL PROFIEL

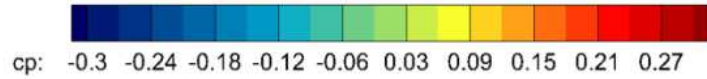


COMPROMIS



ACHTERSCHIP OPTIMALISATIE

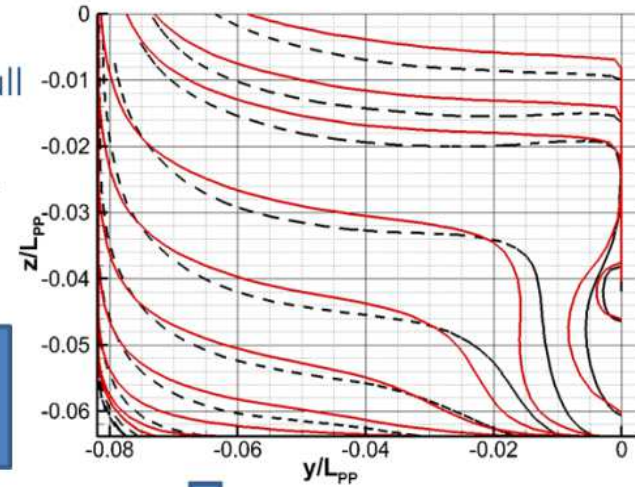
Analyze original ship, locate problems and link to hull lines



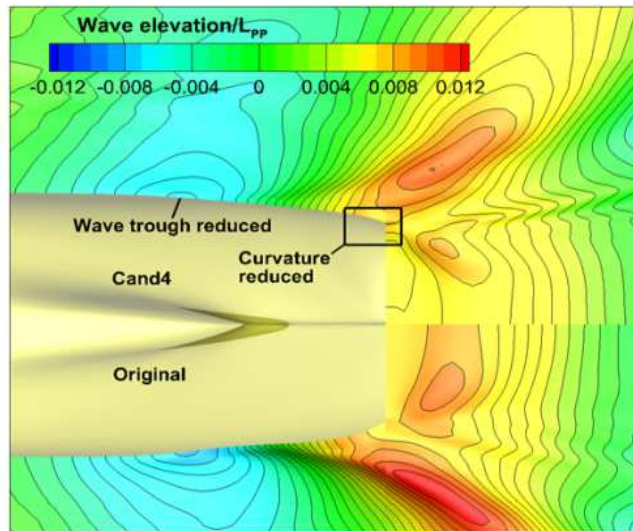
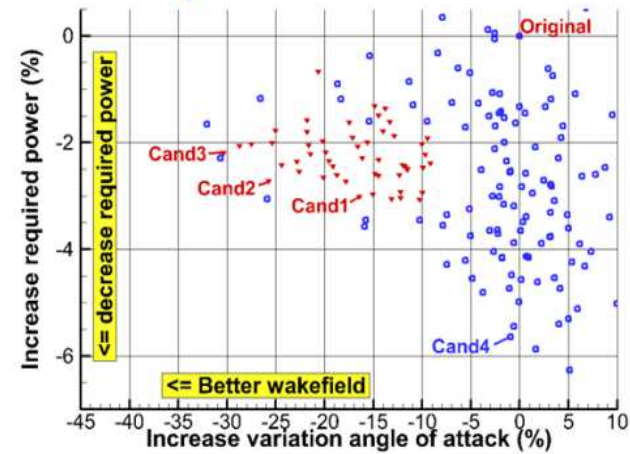
Define basic hull shapes



Design knowledge



Calculate flow for >100 hull shapes

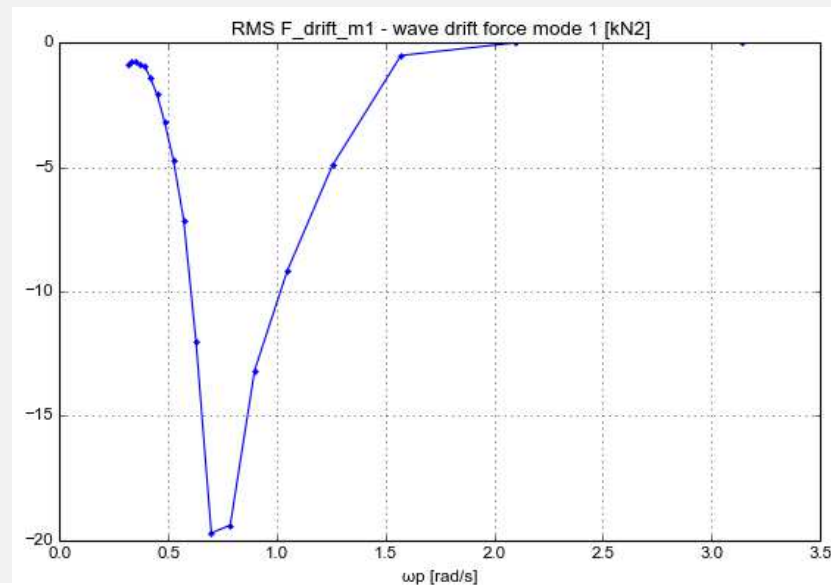


Analyze and determine optimal compromise between power and comfort



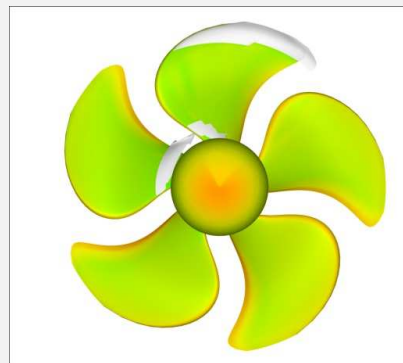
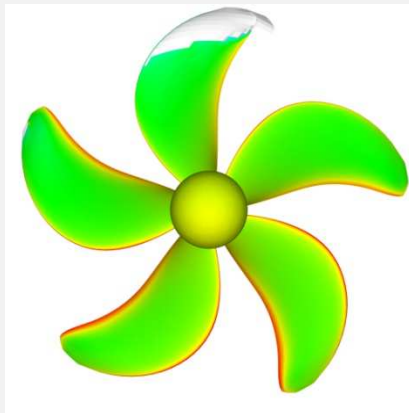
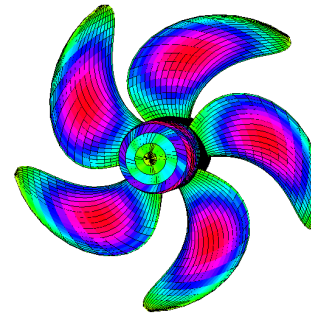
WEERSTAND IN GOLVEN

- Schip vaart niet in vlak water
- Toegevoegde weerstand meenemen in ontwerp fase
- Voorbeeld: 100m coaster, 11 knoop:
Hs = 2.5m, Raw = 15% extra weerstand

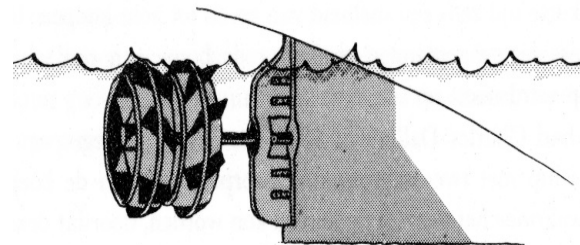
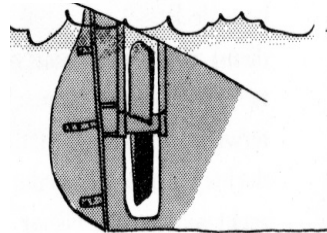
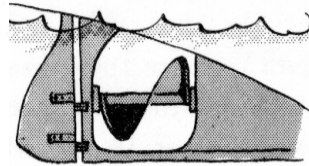
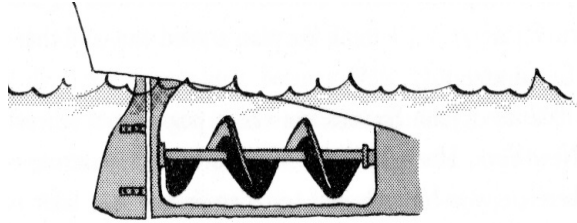


SCHROEF OPTIMALISATIE

- Maximaliseren efficiency
- Keuze ontwerppunt
- Gebruik van BEM en RANS

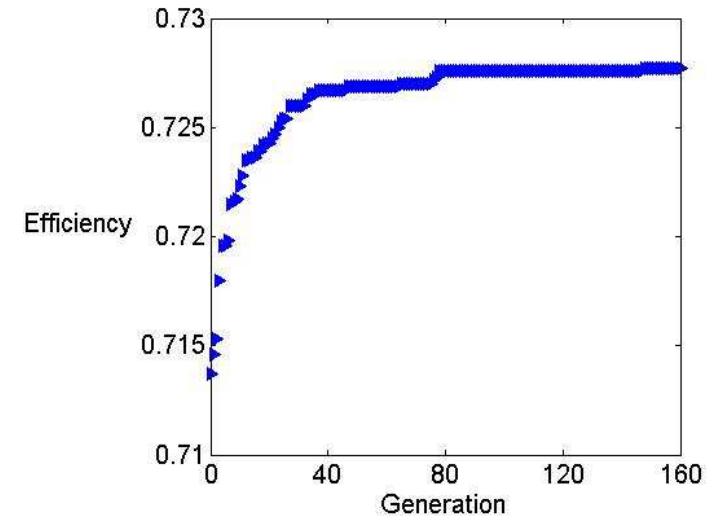
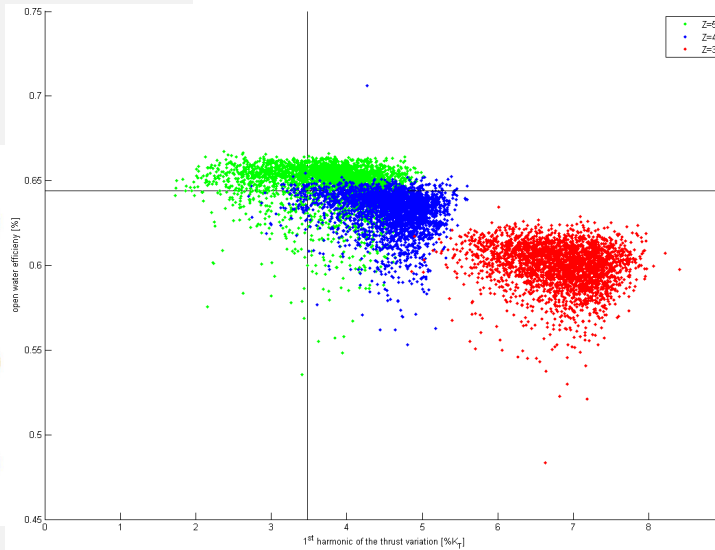
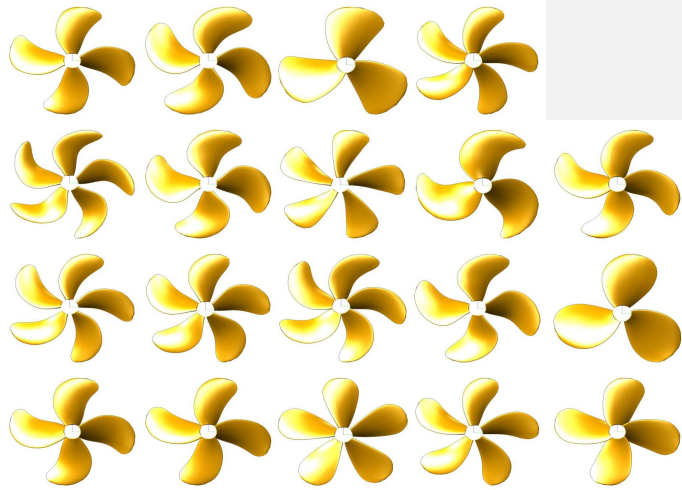


ONTWIKKELING VAN DE SCHROEF

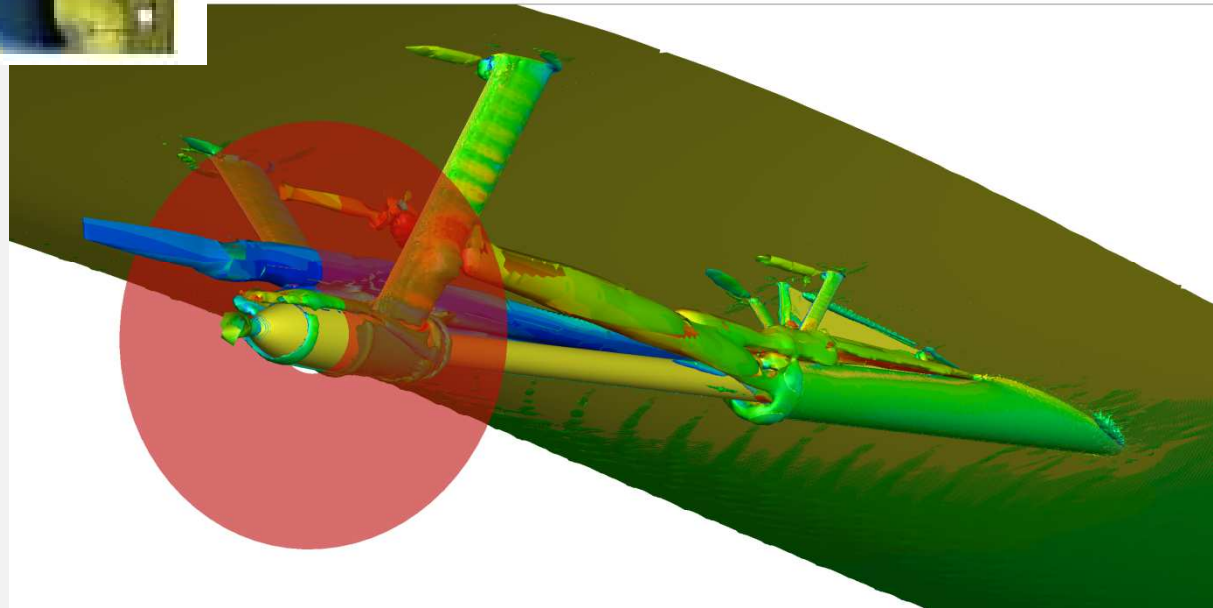
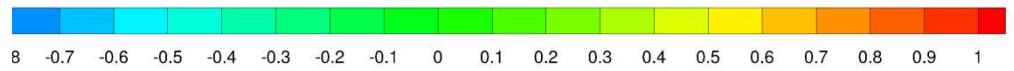
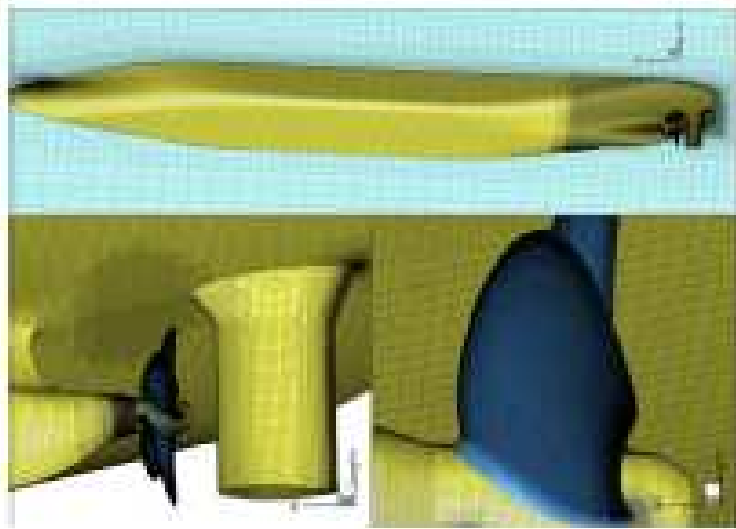


SYSTEMATISCHE SCHROEF OPTIMALISATIE

- Maximaliseren efficiency

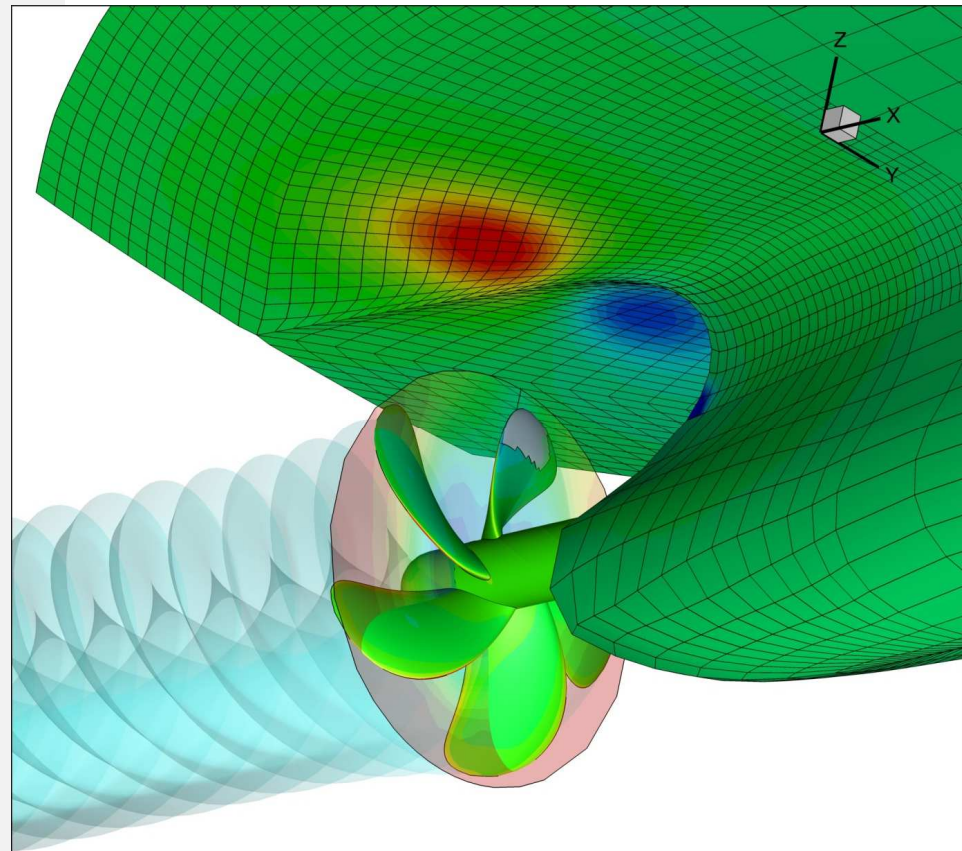


SCHROEF – ROMP INTERACTIE

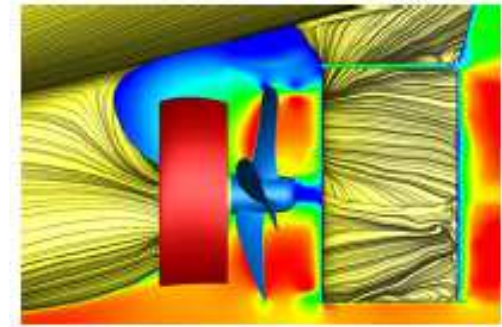
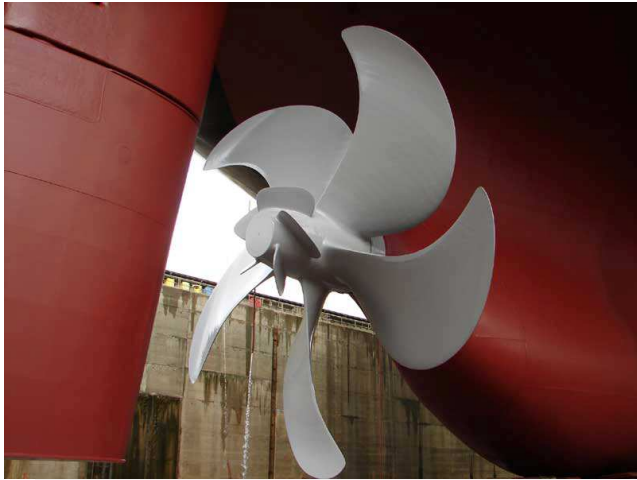


SCHROEF – ROMP INTERACTIE

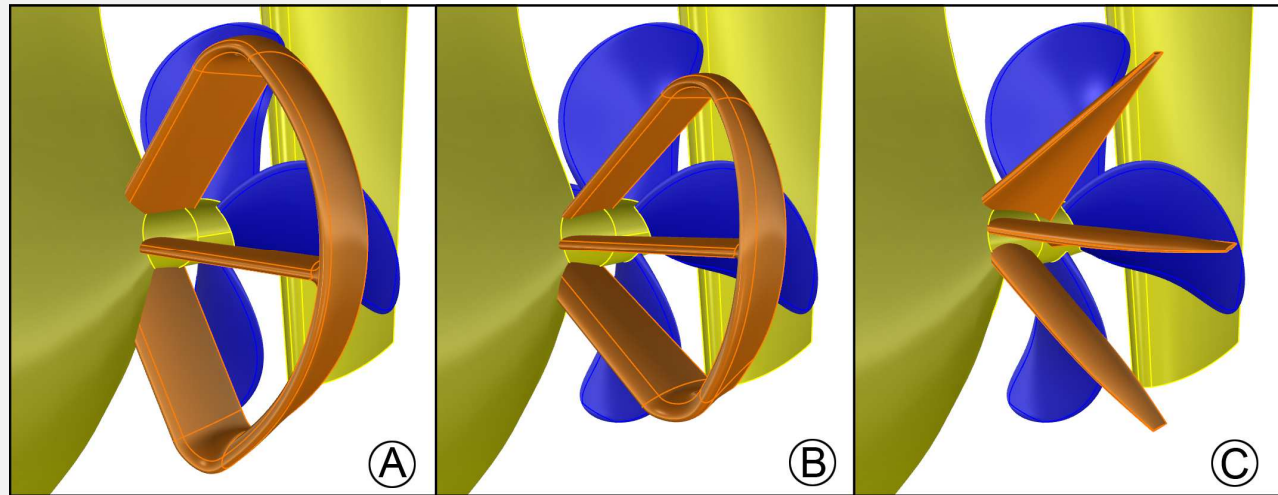
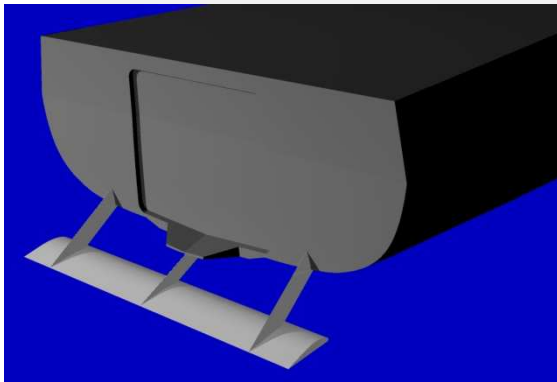
- Cavitatie
- Drukpulsen



ESD'S



Energy-Saving Devices (ESDs)





EN WAT NOG MEER

- Romp afwerking
 - Folies, verf, tapijt
- Belangrijk:
 - Zeer glad is mooi, maar...
 - Geen aangroei
 - robuust

THANK YOU!



www.marin.nl



MARIN
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen
The Netherlands

T +31 317 49 39 11
F +31 317 49 32 45

E info@marin.nl
I www.marin.nl

