

Geachte lezer,

Voor u ligt het ontwerprapport van MT26. De afgelopen weken zijn wij, Tom Oldenbeuving, Thijn Lie-

vaart, Jiswi Wensink en Bart van Nuland, in kader van het vak integratieproject 1 bezig geweest met

het ontwerpen van een zware ladingsschip. Een schip ontwerpen dat in staat was een windmolen te

heien bleek lastiger dan verwacht, maar na vele uren coderen en optimaliseren kunnen we trots zijn

op ons uiteindelijke ontwerp.

Het ontwerpproces verliep niet altijd vlekkeloos en vergde hier en daar wat extra moeite; voor het

eerst werken met Grasshopper en panda's was leuk, maar ook zeker een uitdaging. Voor de goede

begeleiding willen we dan ook onze hoofddocent Bas Goris bedanken ondersteund door studentassis-

tenten Sebastiaan Stelling en Jochem Ribberink.

Veel leesplezier toegewenst.

MT26

Delft, June 2023

i

Samenvatting

De komende jaren zal de wereld steeds meer over moeten stappen op groene

hernieuwbare energie-

bronnen. Windmolens op zee zijn hiervoor een goede optie; op zee staat bijna altijd wind en niemand

heeft last van geluid of slagschaduw. De firma Drijfmij & Zn. ontwikkelde een nieuwe techniek om

deze windmolens met behulp van een zwareladingsschip de grond in te heien, dit rapport bespreekt

het ontwerpproces en het uiteindelijke ontwerp van een dergelijk zwareladingsschip.

Het schip zal in twee condities moeten presteren; een varende conditie en een last conditie.

Tijdens

de varende conditie zal het schip naar haar werkplek gesleept worden, er hoeft dus geen rekening

met voortstuwing en een machinekamer gehouden te worden. Wel is het zaak dat de weerstand van

het schip in deze conditie zo laag mogelijk is, een lagere weerstand resulteert immers in een lager

brandstofverbruik en dus lagere kosten.

In de zogenoemde last conditie is het schip daadwerkelijk aan het werk. Het schip wordt met het

stevan naar een hefboom gevaren en aan de hefboom bevestigd. Vervolgens wordt met behulp van

containers de punt van het schip ingezonken, dit zal de achterkant van het schip omhoog bewegen.

Deze opwaartse beweging zet de hefboom in gang die de windmolen de grond in heid (zie

figuur 2.1).

Voor deze conditie is het dus van het grootste belang dat het schip zoveel mogelijk kracht kan opwekken (last aankan).

Aan beide condities zijn vanzelfsprekend ontwerpeisen verbonden ter waarborging van de veiligheid. Zo mag nergens in het schip de maximaal toelaatbare spanning van het gebruikte staal over-

schreden worden en moet het schip in beide condities stabiel in het water liggen.

Er zijn vele parameters die het schip en haar gedrag in beide condities veranderen; zo leidt een slank

schip tot een lage weerstand en een vol schip tot een hoge maximale last. Parameters voor de ver-

schillende condities spreken elkaar ook vaak tegen. Naast de invloed op de prestaties van het schip

spelen de ontwerp parameters ook een cruciale rol in het halen van de ontwerpeisen van het schip

en het waarborgen van de veiligheidsnormen aan boord. Parameters als holte en onderwatervolume

hebben grote invloed op dit alles, nadere toelichting aan de hand van fysisch-scheepsbouwkundige

formules volgt in hoofdstuk 3.

Een schip met zulk uiteenlopende condities ontwerpen is complex en vergt een gedegen aanpak. De

scheepsrompen zijn telkens eerst getekend in Rhino 7 met behulp van Grasshopper, vanuit de online

tekening werd allerlei data uitgelezen en verwerkt in een excel. Met een uitgebreid model geschreven

in programmeertaal python werd deze data vervolgens omgezet tot alle belangrijke waarden die be-

kend moeten zijn van het schip; van hoe ver het schip maximaal door zal buigen tot aan hoe stabiel

het in het water ligt.

Door vele kleine aanpassingen in een variabele te doen is een variatie studie uitgevoerd waarmee

bekend werd welke invloed iedere variabele had op het schip en haar gedrag. Door al deze kleine

aanpassingen tegen elkaar uit te zetten in grafieken kunnen optima bepaald worden voor het scheeps-

ontwerp.

Alle uiteindelijke ontwerpen zijn vervolgens aan elkaar getoetst. Door een rangorde te maken van

de prestaties van elk van de schepen was het mogelijk tot het uiteindelijke ontwerp te komen.

Het uiteindelijke model (the1 J-serie 1.6) bevindt zich op het optimum tussen last en weerstand. Door

vele iteraties en variaties op het model los te laten is de uiteindelijke vorm van het schip

bepaald en is
het klaar voor de scheepswerf.

Ontwerp strategie

De ontwerpopdracht zit vol tegenstrijdigheden en zoals duidelijk uit het vorige hoofdstuk bleek, is het

zaak een optimum te vinden tussen de verschillende parameters. Het vinden van een optimale romp

kost tijd en geduld, de strategie tot het vinden van deze romp zal in dit hoofdstuk uiteengezet worden.

Het Hoofdstuk begint met een uitleg over het programma waarin de schepen ontworpen worden,

Rhino 4.1. Vervolgens wordt er uitgelegd hoe we het ontwerpproces versneld hebben, door middel van

een variatie studie 4.2.

4.1. Rhino 7 en grasshopper

Tijdens het ontwerpproces is er gebruik gemaakt van het computertekenprogramma Rhino 7, aange-

stuurd door grasshopper. Er is gebruik gemaakt van de zogenoemde

MT1458_HullGenerator_V3 van

dhr. B. Goris. Met deze generator is het mogelijk bijna alle mogelijke scheepsvormen te genereren door

belangrijke parameters als holte, kimstraal, diepgang, Cstern et cetera aan te passen. Alle waarden

van het schip zijn te exporteren naar excel, van waaruit doorgerekend kan worden.

Ook bevindt zich in de grasshopper een zogenoemde 'Holtrop en Mennen' functie om de weerstand

mee te berekenen. De methode van Holtrop en Mennen is gebaseerd op uitgebreide weerstandstesten:

334 modellen zijn uitvoerig getest op weerstand en opgeslagen in een database. Door middel van

interpolatie binnen deze database is het mogelijk de weerstand van een schip te berekenen.

De Holtrop

en Mennen voorspelling geeft een goed beeld van wat ongeveer de weerstand zal zijn, maar om de

exakte weerstand te berekenen zijn sleeptanktesten of CFD nodig.

Om alle waarden van het schip door te rekenen is gebruik gemaakt van een model geschreven in

de programmeertaal python. Dit veelomvattende model is in staat de waarden van het schip uit excel

uit te lezen en daarmee het gehele schip, van doorbuiging tot stabiliteit, door te rekenen. Zo kan van

ieder schip bepaald worden of zij aan de ontwerpeisen voldoet.

Een ontwerp begint in Rhino 7. Door lijnen aan te passen en parameters te veranderen verandert

het resultaat. Met behulp van 'trial and error' ontstaat een idee voor wat werkt en niet werkt, wat de

parameters daadwerkelijk doen met de last van het en schip en wat de parameters doen met de weerstand. Zo is het mogelijk tot een eerste ontwerp te komen, hieruit kan de romp verder doorontwikkeld worden.

7

4.2. Verdere optimalisatie 8

Figuur 4.1: Eerste ontwerp

4.2. Verdere optimalisatie

Vanuit het eerste ontwerp kan de romp verder doorontwikkeld worden. Echter, het is eerst belangrijk

te onderzoeken welke parameters de grootste invloed hebben op de stabiliteit en de sterkte. Om te

onderzoeken welke parameters dit zijn is een variatie studie gedaan.

4.2.1. Variatie studie

De variatie studie heeft als doel per parameter uitzoeken wat dit veranderd aan de eigenschappen en

het gedrag van het schip, het is dus belangrijk dat enkel de te onderzoeken parameter veranderd.

Voor de variatie studie hebben is het uiteindelijke eerste ontwerp (figuur 4.1) als uitgangspunt ge-

nomen. Door constant in de grasshopper van dit ontwerp een variabele te variëren is een database

aangelegd van waaruit de veranderingen aan het schip in kaart te brengen zijn. Vervolgens is iedere

losse excel waar een parameter veranderd is doorgerekend.

De studie is toegepast op de parameters lengte, breedte, holte, diepgang, kimstraal, intrede hoek

van de waterlijn en midscheepse lengte. Met de parameters uit hoofdstuk 3 in het achterhoofd is

besloten deze parameters nader te onderzoeken om te kijken wat de invloed op het schip is.

De resultaten van de variatie studie liepen ver uiteen; zo deed het vergroten van de holte alle

waarden dalen en leid midscheepse lengte tot een grafiek met vele snijpunten van waaruit optima te

bepalen zijn.

Figuur 4.2: Variatie studie lengte

4.2. Verdere optimalisatie 9

Figuur 4.3: Variatie studie midscheepse lengte

Figuur 4.4: Variatie studie holte

De bovenstaande figuren tonen verschillende uitkomsten van de variatie studie. Grofweg kunnen

zijn de uitkomsten in deze drie getoonde categorieën in te delen: stijgend, dalend of vele snijpunten.

Figuur 4.2 toont hoe de stabiliteit, de plaatsing van de containers, de spanning, de last en de weerstand

afhangen van de lengte. Er is duidelijk te zien dat al deze waarden toenemen naarmate de lengte toeneemt, een grotere lengte lijkt dus optimaal. Echter neemt vanaf 170m de spanning enorm snel toe, dit is een reden om een lengte van maximaal 170m te nemen. De optimale lengte is de grootste lengte waarbij de maximale spanning binnen de grenzen blijft. Voor de holte (dalend) is dezelfde strategie te gebruiken; de optimale holte is de holte waarbij de variabelen maximaal zijn. Weliswaar is in deze beide gevallen ook maximaal, hiervoor is in het uiteindelijke ontwerp de rompvorm gecorrigeerd om toch een lage weerstand te bereiken. Wanneer, zoals bij midscheepse lengte, er vele snijpunten zijn en het lastiger is een duidelijk optimum vast te stellen kost het optimalisatieproces meer tijd. Door de optima uit de grafieken in te incorporeren in het scheepsontwerp worden grote stappen gezet op

4.2. Verdere optimalisatie 10

weg naar het optimale schip. Door middel van 'trial and error' zijn er meerdere verbeterde versies van het eerste ontwerp door te rekenen om te bekijken hoe het ontwerp scoort op last en weerstand. Zo is het mogelijk tot een uiteindelijk ontwerp te komen.

4.2.2. Carene diagram

Een andere houvast tijdens het ontwerpproces is het Carene diagram. In een Carene diagram zijn verschillende stabiliteitsparamters zoals KG, KB en GM uitgezet. Zo kan een idee gevormd worden over wat de diepgang veranderd aan de stabiliteit van het schip en of het schip nog aan de gestelde stabiliteitsnormen voldoet.

Figuur 4.5: Carène diagram

Ook hier vormt zich een complexe figuur waarin vele snijpunten te herkennen zijn. Door vele iteraties met verschillende van hetzelfde schip door te rekenen kan een uiteindelijk optimum gevonden worden.

4.2.3. Ontwerpen vergelijken

Na de vorige twee optimalisatie stappen blijven er nog een gering aantal schepen over waaruit een keuze gemaakt moet worden. Om tot het uiteindelijke ontwerp te komen is het belangrijk te weten hoe iedere schip zich positioneert op het spectrum tussen weerstand en last; het ene schip zal namelijk beter presteren op last en het andere op last. Hoe ieder schip zich plaatst in dit spectrum is

te zien in
onderstaande figuur 4.6.

4.2. Verdere optimalisatie 11

Figuur 4.6: Uitkomsten van verschillende ontwerpen weergegeven in een grafiek met trendlijn

In de grafiek is te zien dat naarmate de ontwerpen zich verder vorderden zij over het algemeen een

lagere weerstand kregen, tegelijkertijd nam de last die de schepen konden dragen ook toe.

De verhou-

ding tussen last en weerstand is geschetst met de gestippelde trendlijn. Niet ieder schip scoorde even

goed op last als op weerstand, dit is niet onlogisch aangezien de ontwerpparameters voor deze twee

condities tegenstrijdig zijn. Om te bepalen welk schip gemiddeld het beste presteert zijn de schepen

vervolgens gerangschikt volgens de onderstaande figuur 4.7.

Figuur 4.7: Uitkomsten van verschillende ontwerpen gerangschikt volgens gemiddelde

Deze laatste twee stappen brengen het ontwerp en optimalisatie proces ten einde en leveren het

uiteindelijke ontwerp welke in het komende hoofdstuk nader toegelicht wordt.

Het ontwerp

Het uiteindelijke ontwerp is tot stand gekomen aan de hand van de variatie studie en de ontwerp

strategie. Er het ontwerpproces is meerdere malen geïtereerd om tot een zo efficiënt mogelijk zware

ladingsschip te komen. Dit schip voldoet aan de eisen zoals behandeld in hoofdstuk 2 en heeft de

optimale combinatie van ontwerp parameters.

Om tot het eind ontwerp te komen behandelen we in dit hoofdstuk eerst het ideale schip voor de last

conditie en het ideale schip voor de varende conditie 5.1. Daarna zal het definitieve ontwerp toegelicht

worden 5.2.1.

5.1. Ideaal ontwerp voor varende en belaste conditie

Om te komen tot een definitief ontwerp is het belangrijk dat het schip zowel in de varende als in de

belaste conditie optimaal presteert. De eisen voor de varende en belaste conditie zijn in strijd met

elkaar. Dit omdat in de varende conditie het schip een lage weerstand moet hebben, terwijl in de

belaste conditie het schip zo veel mogelijk last aan moet kunnen.

5.1.1. Ideaal schip voor de belaste conditie

Een ideaal schip voor de belaste conditie kan zo veel mogelijk last aan. Aan de belaste conditie zijn

een aantal normen gesteld genoemd in subsectie 2.2.1. In sectie 4.2.1 zijn de belangrijke

ontwerp parameters beschreven die de verandering van de last en de weerstand veroorzaken. Uit deze grafieken is af te lezen hoe verschillende aspecten van het schip de totale last beïnvloeden. Om een schip te maken dat zo veel mogelijk last kan dragen, moeten we een schip creëren dat de optimale waarden voor last uit de variatie studie volgt. In grote lijnen is het belangrijk om het schip een zo groot mogelijke blokcoëfficiënt en een zo lang mogelijke lengte te hebben. Door deze twee aspecten te maximaliseren wordt een zo groot mogelijk onderwater volume bereikt.

Figuur 5.1: Onderkant van de romp van het model schip, geoptimaliseerd op last.

12

5.1. Ideaal ontwerp voor varende en belaste conditie 13

In Figuur 5.1 is de onderkant van het ideale last schip te zien. Er is goed te zien dat het schip het onderwatervolume maximaliseert door middel van een zo klein mogelijke kimstraal en een zo groot mogelijke blokcoëfficiënt over de gehele lengte. De blokcoëfficiënt van dit schip is $C_b = 0.95$.

5.1.2. Ideaal schip voor varende conditie

Om een ideaal schip voor de varende conditie te creëren, moet de weerstand van het schip zo laag mogelijk zijn. Verder moet het schip ook nog aan de eisen voldoen van de varende conditie, deze zijn

besproken in subsectie ???. Om een schip met zo min mogelijk weerstand te krijgen, gaan we op de

zelfde manier te werk als in subsectie 5.1.1. Alleen kijken we ditmaal niet naar de last die het schip

kan dragen, maar naar de weerstand die het schip ervaart.

Figuur 5.2: Onderkant van de romp van het model schip, geoptimaliseerd op weerstand.

In figuur 5.2 is de onderkant van het model schip te zien. Dit schip heeft een lage weerstand omdat het

een grote lengte tot breedte verhouding heeft, en een lange waterlijn. Dit zorgt voor een klein frontaal

oppervlak en dus een lage weerstandscoefficiënt. Daarnaast is te zien hoe de spitse boeg geleidelijk

overloopt in het middenschip, wat de hydrodynamica ten goede komt. Ook het achterstevan van het

schip heeft een geleidelijke vormverandering, hierdoor treedt er weinig weerstand op.

5.2. Het definitieve ontwerp 14

5.2. Het definitieve ontwerp

5.2.1. De romp en het Lijnenplan

Figuur 5.3: Lijnenplan

Met behulp van het variatie onderzoek is uiteindelijk het definitieve ontwerp tot stand gekomen. Dit

ontwerp heeft een van de laagste weerstanden, maar kan ook een van de grootste lasten aan en dus de meeste kracht genereren (zie figuur 4.6). Het schip genaamd the1(J-series 1.6) is te zien in figuur

5.3.

Wat opvalt als naar het lijnenplan gekeken wordt, is de slankheid van de romp in de onderste helft. Hiervoor is gekozen om het schip in de varende conditie een zo laag mogelijke weerstand te laten hebben. De slanke vorm is onderin de romp het duidelijkst aanwezig aangezien het schip in de varende conditie een mindere diepgang heeft, de boven helft van de romp zal zich in die conditie dus niet in het water bevinden.

De romp is een stuk voller bovenin. Wanneer in de beladen conditie deze helft dus het water in zal

zinken, zal het schip een grotere last aan kunnen.

Daarnaast is belangrijk het verschil tussen het voor- en achterschip te bemerken. Het achterschip

is een stuk voller dan het voorschip, de last zal zich namelijk op het achterschip bevinden.

Door een

vol schip op de plek van de last wordt de meeste tegendruk gegenereerd, dit resulteert in een schip

wat een grotere last aankan.

5.2. Het definitieve ontwerp 15

5.2.2. Optimale parameters

De optimale parameters zijn bereikt door het gebruik van het variatie onderzoek. In de grafiek van de

lengte 4.2 is te zien dat de maximale spanning na de 170 meter erg extreem stijgt, daarom is er een

lengte gekozen niet groter dan 170 meter.

Over het algemeen valt te zeggen dat een grotere lengte zorgt voor een groter moment (vanwege de

grotere arm) ten gevolge van de containers en de ballast tank; dit resulteert in een grotere tegenkracht

voor de last waardoor een grotere last mogelijk is. Ook de stabiliteit neemt toen naarmate de lengte

toeneemt. Een zo lang mogelijke romp is dus optimaal mits de maximaal toelaatbare spanning niet

overschreden wordt. Vanwege deze redenen is er gekozen voor een romp met een lengte van 170

meter.

In de grafiek van de variatie van midscheepse lengte 4.3 is er ook een duidelijk optimum te zien:

dit is bij een midscheepse lengte van 50%. Daarom is er bij the1(J-series 1.6) voor deze midscheepse

lengte gekozen.

Wanneer de parameters die tot een hoge maximaal draagbare last leidden resulteerden in een te lage stabiliteit moest dit gecorrigeerd worden. Vaak was dit te corrigeren door de holte te verkleinen, de effecten van verandering in de holte zijn te zien in figuur 4.4. Door alle uitkomsten van de variatie studie te analyseren en op deze wijze in het scheepsontwerp te incorporeren is getracht het optimale schip te ontwerpen. De optimale parameters voor the1(J-series 1.6) zijn te zien in tabel 5.1. Bij de diepgang zijn twee waardes gegeven, de diepgang van 6 meter is voor de varende conditie en de diepgang van 12 meter is voor de last conditie. In tabel 5.2 staan alle waarden van het uiteindelijke ontwerp.

Discussie en Conclusie

Om het ontwerp nog verder door te ontwikkelen zijn er een aantal dingen die nog gedaan kunnen worden, die buiten het kader van dit project vallen. Het is zaak om dit te omschrijven zodat het duidelijk wordt wat de limitaties van het ontwerp zijn en wat verbeterd kan worden in het geval van een vervolg onderzoek.

Aangezien we de rompvorm ontworpen hebben aan de hand van een generatie programma, was het niet mogelijk om alle mogelijke romp vormen te krijgen, de limitaties hiervan staan beschreven in sectie

6.1. Daarna worden de limitaties van Holtrop en Mennen beschreven en wat dit voor consequenties heeft 6.2.

6.1. MT1458_HullGenerator_V3

Allereerst MT1458_HullGenerator_V3, hoewel het vele mogelijkheden biedt zitten er natuurlijk wel limitaties aan omdat er niet buiten de grenzen van de Grasshopper getreden kan worden. Echter is het om tot een volledig optimaal ontwerp nodig om alle parameters te kunnen veranderen zonder grenzen.

Voor een eventueel vervolg is het verstandig te onderzoeken wat deze limitaties precies zijn, of deze het ontwerp limiteren en hoe het ontwerp verbeterd zou kunnen worden buiten de grenzen van deze generator.

6.2. Holtrop en Mennen

Op het gebied van de scheepsweerstand zijn er eveneens mogelijkheden tot nader onderzoek. Voor dit project is, zoals eerder al beschreven (4.1), gebruik gemaakt van de methode Holtrop en Mennen. Deze dataset is natuurlijk niet alles omvattend. Deze methode interpoleert alle waarden van de

weerstand

binnen deze dataset. Het definitieve ontwerp is met een paar parameters buiten het interpolatie-bereik

gekomen. Dit betekent dat de waarde voor de weerstand bepaald is door middel van extrapolatie vanuit

de dataset in plaats van interpolatie binnen de dataset.

De weerstand die nu uit de berekeningen volgt kan dus enigszins afwijken van de daadwerkelijke

weerstand. Voor een eventueel vervolg onderzoek zal de weerstand dus nauwkeuriger bepaald moeten

worden, anders is het ontwerp weer gelimiteerd aan de Holtropp & Mennen dataset.

Methoden

om deze nauwkeurigere weerstand te bepalen zijn sleeptanktesten, CFD-simulaties of interpolatie met

dataset met gelijkende schepen.

Hoeveel de afwijkingen met de Holtropp & Mennen dataset daadwerkelijk zijn zal hieronder toegelicht

worden.

$L/B = 4.315$ (min = 4.71)

LCB/L_{wl}

$2 \cdot 100\% = -13.2\%$ (max = $\pm 5\%$ van 100%)

$B/T = 6.5667$ (max = 4)

(6.1)

16

6.3. Conclusie 17

Holtropp & Mennen stelt aan verschillende verhoudingen van het schip (lengte-breedte, LCB-lengte

waterlijn/2, breedte-diepgang) minima en maxima. Binnen deze waarden is de methode nauwkeurig,

daar buiten neemt de nauwkeurigheid van de weerstandsbepaling af.

De verhouding lengte/breedte mag niet kleiner zijn dan 4.71, voor het uiteindelijke ontwerp komt

deze verhouding uit op 4.315. Tussen de toegestane lengte/breedte verhouding en de lengte/breedte

verhouding van het ontwerp zit een verschil is 8.4%. Uitgaande van de enorme hoeveelheid data die

de methode gebruikt om tot de berekende weerstand te komen is dit percentage acceptabel. In een

dataset van deze omvang zijn zoveel mogelijkheden om een paar procentpunt af te wijken dat 8.4%

afwijking geen significante afwijking in de berekende weerstand zal geven. Voor deze kleine afwijking

zal extrapolatie vanuit de dataset nog voldoende nauwkeurig zijn.

Volgens Holtropp & Mennen mag het percentage berekend door LCB te delen door de halve waterlijn

lengte niet meer of minder dan 5% afwijken van 100%, in het ontwerp is deze afwijking -13.2%. Dit is

een afwijking van 8.2% van wat toelaatbaar is. Deze afwijking is vergelijkbaar aan de afwijking in de lengte/breedte verhouding en daarom om dezelfde redenen acceptabel. De verhouding tussen breedte en diepgang mag maximaal op 4.0 uitkomen om binnen het toegestane bereik te blijven, voor het ontwerp komt deze verhouding uit op 6.5667. Dit is een afwijking van 62.2%, deze afwijking is significant. Deze afwijking wekt het idee dat er allicht te ver buiten de dataset van Holtrop & Mennen geëxtrapoleerd is. Een sleeptank-test of CFD-simulatie zou uitsluitsel kunnen bieden over hoeveel de afwijking in weerstand is, en wat de daadwerkelijke weerstand is.

6.3. Conclusie

Een schip ontwerpen voor dusdanig uiteenlopende en tegenstrijdige condities vraagt om een flexibele aanpak en een gedegen ontwerpstrategie. Door veelvuldig variabelen aan te passen en het schip met iedere aanpassing opnieuw door te rekenen kunnen grafieken gemaakt worden die de optimale ontwerpeisen voor het schip tonen. Door het schip op basis van deze optima te ontwerpen en verder te optimaliseren is het mogelijk om tot een uiteindelijk optimaal ontwerp voor deze casus te komen.