

Model voor realistische achtersleepbootassistentie

Afstudeerverslag A.781A

Jan-Kees van der Meulen

Abstract

Dit rapport beschrijft een model voor het genereren van realistische achtersleepbootassistentie. Dit model kan gebruikt worden voor het aan sturen van een gesimuleerde sleepboot op een "Full Mission Bridge Simulator". Het model genereert natuurgetrouwe banen voor een Azimunth tractor sleepboot. Het model past de positie en de heading van de sleepboot continu aan aan de huidige snelheid en stroming. Het model ontwijkt andere objecten in de vaarweg
De resultaten van het model zijn gevalideerd aan de hand van metingen van echte sleepboot bewegingen

Model for realistic stern tug assistance

Graduation report A.781A

Jan-Kees van der Meulen

Abstract

This report describes a model for realistic stern tug assistance. The model generates realistic trajectories for an azimuth tractor tug. It adjusts the heading and position of the tug to the current conditions. It is capable of avoiding collisions with other objects.

This model can be used to generate automatic tugboat assistance of a vessel simulated on a "Full Mission Bridge Simulator".

The results of this model are validated by measurements of actual tug manoeuvres.

INHOUDSOPGAVE

Afstudeeropdracht	i
Inhoudsopgave	ii
Samenvatting	v
Verklarende woorden lijst	vii
Inleiding	viii
Hoofdstuk 1 Sleepbootassistentie	1
1.1 Sleepboottypen	2
1.1.1 Conventionele sleepboten	2
1.1.2 Tractorsleepboten	2
1.1.3 Reverse tractor	3
1.2 Sleepmethoden	3
1.3 Mogelijkheden en beperkingen	3
1.3.1 Conventionele boot	4
1.3.2 Tractorboot	5
1.4 Keuze boot en afbakening onderwerp.	6
Hoofdstuk 2 De sleepbootkapitein	8
2.1 Werkomgeving	8
2.1.1 De brug	8
2.1.2 Consoles	9
2.1.3 Stuurknuppels	9
2.1.4 Uitzicht van af de brug	10
2.2 Werk wijze	11
2.2.1 Aanvaren en vastmaken	11
2.2.3 Standby varen	11
2.2.4 Positie veranderen	12
2.3 Vereenvoudigd gedrag kapitein	12
Hoofdstuk 3 Het achtersleepbootmodel	13
3.1 Objecten en restricties	15
3.1.1 Voorspeller scheepspositie	15
3.1.2 Objecten	15
3.1.3 Restrictie door maximale sleephoek	17
3.1.4 Vorm restrictie in tijd	17
3.1.5 Uitbreiden van restricties	18
3.1.6 Samenvoegen van restricties	18
3.2 Uitwijken van objecten	19
3.2.1 De uitwijkbaan	19
3.2.2 Keuze uitwijkrichting	20
3.2.3 Bepaling setpoint voor de sleephoek	22
3.3 Model van sleepboot gedrag	23

3.3.1	Uitvoeroutine voor de sleephoek	23
3.3.2	Voorspellen baan	23
3.3.4	Uitvoering troshoek	23
3.3.5	Uitvoering troskracht	23
3.4	Bepaling waarden sleepboot karakteristieken	24
3.4.1	Krachtenspel op sleepboot	24
3.4.2	Krachten evenwicht	25
3.4.3	Momenten evenwicht	26
3.4.4	Weerstandskrachten	26
3.4.5	Kegkrachten	28
3.5	Resultaten berekening tabellen	29
3.2.1	Maximale en minimale versnelling	29
3.5.2	Maximale sleephoek	30
3.5.3	Maximale troskracht	31
Hoofdstuk 4 Resultaten van de simulatie		32
4.1	Responsie op loods commando	33
4.2	Boei ontwijken	35
4.3	Brug ontwijken	38
Hoofdstuk 5 Validatie		41
5.1	Mogelijkheden validatie	41
5.2	Uitvoering gekozen methode	42
5.3	Resultaten en vergelijking	44
5.3.1	Van buiten naar binnen	44
5.3.2	Van buiten naar binnen	45
5.3.3	Van binnen naar buiten	46
5.3.4	Slingering	47
5.4	Gemaakte aanpassingen	47
5.4.1	Sleephoek	47
5.4.2	Troshoek	48
5.4.3	Slingering troshoek	48
Hoofdstuk 6 Conclusies en aanbevelingen		49
6.1	Conclusies	49
6.2	Aanbevelingen	49

SAMENVATTING

In dit verslag is een model gemaakt voor het genereren van realistische achtersleepbootassistentie ten behoeve van de scheepssimulator van MarineSafety. Het is uitgevoerd als een afstudeeropdracht bij de Technische Universiteit Delft. Het doel van het model is de besturing van (gesimuleerde) sleepboten over te nemen van de simulator operator. Hiermee kan het sleepboot gedrag verbeterd en de belasting van de operator verminderd worden.

Er is gekozen voor een Z-peller Tractor type die aan een tros assistentie verleend. De sleepboot verleent assistentie. Dit betekent dat het geassisteerde schip zijn eigen schroef en roer blijft gebruiken. De sleepboot helpt draaien en remmen. Ook kan de sleepboot als drijfanker fungeren, waardoor het schip zijn schroef kan blijven gebruiken zonder dat de snelheid toe neemt. Hierdoor blijft het schip roerdruk houden en blijft het bestuurbaar.

Het model moet de volgende dingen doen:

- op een reële manier van positie veranderen
- positie en oriëntatie continu aanpassen aan omgeving
- zelfstandig objecten ontwijken

In het in dit rapport beschreven model wordt het volgende gedaan:

Om te kunnen uitwijken moet de kapitein weten wanneer welke obstakels zich gevaarlijk dicht bij de sleepboot bevinden. Hiervoor worden de toekomstige posities van het schip voorspeld. Voor elke voorspelde positie wordt gekeken waar de obstakels zich bevinden. Vanaf die obstakels wordt teruggerekend met een uitwijkbaan. Voor elk obstakel resulteert dit in een gebied van waaruit nog niet kan worden uitgeweken. Het setpiont voor de sleepboot positie komt in dit 'veilige' gebied.

De uitvoeringsmodule zal de boot vervolgens naar dit punt toesturen. Bij het maken van de uitvoeringsroutine is uitgegaan van de volgende punten.

- De hoek tussen sleepboot en tros wordt bepaald door de stroming t.o.v. de boot
- De kapitein verplaatst zijn schip liefst met een constante snelheid.
- De snelheid en versnellingen worden beperkt door de weerstandskrachten en de beperkte kracht van de motor.
- Een kapitein zal niet onder een hoek gaan varen waarbij hij teveel rendementsverlies heeft.

Dit resulteert in het volgende gedrag.

- De sleepboot past zijn positie en heading aan, aan de omgevingsfactoren zoals snelheid van het schip en de stroming.
- De sleepboot ontwijkt zelfstandig objecten.
- De sleepboot verandert op een reële manier van positie.

Het model is gevalideerd met behulp van video opnames in de praktijk. Uit deze validatie blijkt dat de vorm van de door het model gegenereerde banen met de werkelijkheid overeen komt. Een aantal veranderingen met betrekking tot de numerieke grootte van een aantal variabelen zijn gemaakt.

Conclusie

Het model is in staat zelfstandig een (gesimuleerde) Z-peller tractor-sleepboot reëel te besturen. Er hoeft niet constant door de operator gestuurd te worden. Het gedrag van de sleepboot is onafhankelijk van de kennis van de operator.

Het model is in eerste instantie opgezet voor een achtersleepboot. Het blijkt ook te werken voor een Z-peller Tractor die aan de voorkant assisteert. Met enkele kleine aanpassingen zou dit model ook kunnen werken voor een ASD en Voihboot die aan de voorkant assisteren

Verklarende woordenlijst

ASD	Azimuth Stern Drive. Sleepboot met draaibare schroeven achter onder de boot. Kan zowel als een conventionele en als een tractor boot fungeren.
Azimuth propeller	Z-peller. Soort aandrijving waarbij de gehele schroef om een verticale as draaibaar is. Kan in elke gewenste richting kracht leveren.
Boot	de sleepboot.
Bolder	bevestigingspunt voor de tros op het schip.
Conventionele sleepboot	sleepboot waarbij de aandrijving achteraan het schip zit.
Keg of scheg	een vin aan de onderkant aan de achterkant van een boot. Scheg is de officiële naam, in dit rapport zal toch meestal de naam keg gebruikt worden.
Loodscommando	commando van de loods aan de sleepboot kapitein waarin hij aan geeft waar en hoe hard de sleepboot moet trekken.
Object	een brug, een boei o.i.d. in de vaarweg dat waarvoor eventueel uitgeweken zou moeten worden.
Obstakel	object dat in de (vaar)weg ligt.
Restrictie voor de sleephoek	gebied waar de sleepboot zich niet mag bevinden uitgedrukt in sleephoek
Restrictie voor het setpoint van de sleephoek	gebied waar de sleepboot niet naartoe gestuurd mag worden..
Schip	het te assisteren schip.
Spiegel	platte achterkant van een schip.
Sleephoek	hoek tussen schip en tros. De positie van de sleepboot wordt aangegeven door de sleephoek. Als de sleepboot recht achter het schip vaart is de sleephoek nul.
Tractor sleepboot	sleepboot waarbij de aandrijving vóór de tros zit
Tros	sleepkabel.
Troshoek	hoek tussen tros en sleepboot. Als de sleepboot in het verlengde van de tros ligt is de troshoek nul.
Voiht	soort aandrijving met behulp van ronddraaiende verticale peddels. Kan in elke gewenste richting kracht leveren. Hier wordt meestal een Voiht Tractor sleepboot bedoeld
Z-peller	Azimuth propeller. Soort aandrijving waarbij de gehele schroef om een verticale as draaibaar is. Kan in elke gewenste richting kracht leveren.

Inleiding

Dit onderzoek is verricht als afstudeeropdracht aan de Technische Universiteit Delft in samenwerking met MarineSafety International Rotterdam b.v.

MarineSafety is een maritiem trainings- en onderzoeksinstituut dat o.a. streeft naar continue innovatie op het gebied van sloopssimulatoren. Eén van de aandachtspunten is het vergroten van de illusie van werkelijkheid voor de persoon in de simulator. Een punt waar nog verbetering mogelijk is, is het gedrag van sloopboten. Als er door de trainende bemanning een sloopboot wordt aangevraagd, wordt deze door de operator naar het schip gevaren en er aan vast gemaakt. Op commando van de bemanning kan de operator de oriëntatie en de positie van de boot ten opzicht van het schip wijzigen. Voor het uitwijken voor objecten zoals boeien en bruggen moet de operator de boot zelf heen en weer sturen. Op veranderingen van de omgeving zoals stroming en snelheid van het schip zal de operator naar eigen inzicht de sloopbootpositie moeten aanpassen. Als de operator niets doet zal ook het sloopboot niets doen en passief aan het schip blijven hangen. Voor een goed gedrag is de continue aandacht van de operator vereist.

Het doel van dit onderzoek is het verbeteren van het gedrag van de sloopboten door het maken van een model dat de achtersloopbootbesturing van de operator overneemt. Het model moet daarvoor aan de volgende criteria voldoen:

- Ten eerste moet het model de positie en oriëntatie van de sloopboot aanpassen aan de situatie. De mogelijke posities en oriëntaties zijn afhankelijk van de snelheid van het schip.
- Ten tweede moet de sloopboot zich op een realistische manier van de ene positie naar de andere verplaatsen.
- Ten slotte moet de sloopboot zelfstandig objecten zoals boeien en bruggen kunnen ontwijken.

De taak van de simulatoroperator wordt hierdoor verlicht omdat hij niet continu op de sloopboot hoeft te letten. De operator blijft wel de interface tussen de trainende bemanning en het model. Hij verzorgt de mondelinge communicatie met de bemanning en voert de gewenste kracht en richting in het model in.

Het sloopbootgedrag wordt realistischer omdat dit onafhankelijk wordt van de individuele operator en diens kennis over sloopbootbewegingen. Bovendien wordt de sloopboot continu bestuurd en niet alleen als de operator tijd en aandacht over heeft.

Het onderzoek richt zich op twee punten. Het stuurgedrag van de kapitein en de fysieke beperkingen van de sloopboot. Als sloopboot is hier een Z-peller tractor type genomen. Er wordt alleen gekeken naar het verlenen van assistentie tijdens de vaart. Assisteren wil zeggen dat het schip eigen motor en roer gebruikt. Het aanleggen en loskomen wordt niet beschouwd. De achtersloopboot zal tijdens het assisteren alleen een dwarskracht leveren of remmen.

De indeling van dit rapport is als volgt:

Hoofdstuk 1 gaat over het assisteren van schepen in het algemeen en behandelt de keuze van het type sleepboot en van de manoeuvres. Hoofdstuk 2 gaat in op de sleepbootkapitein, zijn werkomgeving en de waargenomen handelingen. Hoofdstuk 3 behandelt het model van zowel de sleepboot, als het gedrag van boot en kapitein. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van het model die in hoofdstuk 5 gevalideerd worden. Hoofdstuk 6 behandelt de conclusies en aanbevelingen voor eventueel nader onderzoek.

Als er gesproken wordt over de positie van de sleepboot is dit, tenzij anders vermeld, ten opzichte van het schip. De positie van de sleepboot wordt bepaald door de sleephoek. Dit is de hoek tussen de as van het schip en de tros. De oriëntatie van de sleepboot wordt bepaald door de troshoek, de hoek tussen de as van de sleepboot en de tros. Is de troshoek nul dan vaart de sleepboot in het verlengde van zijn tros.

Met 'schip' wordt in dit verslag het geassisteerde zeeschip bedoeld. Met 'boot' wordt de sleepboot bedoeld.

Hoofdstuk 1

SLEEPBOOTASSISTENTIE

In dit hoofdstuk wordt achtersleepbootassistentie in het algemeen behandeld. Eerst zal een overzicht worden gegeven van sleepboottypen en sleepmethodes. Vervolgens zal van deze typen en methodes een overzicht van de mogelijkheden en beperkingen gegeven worden. Tenslotte wordt er één type uitgekozen waarmee verder in dit verslag wordt gewerkt. De behandeling van sleepmethoden en sleepboottypen is toegespitst op achtersleepboot assistentie.

Een zeeschip is over het algemeen slecht manoeuvreerbaar. Dit komt doordat ze ontworpen zijn om zo efficiënt mogelijk de zeeën te bevaren. Hierbij wordt voornamelijk recht vooruit gevaren. De hele kiel is zo ontworpen dat bij recht vooruit varen het beste resultaat gehaald wordt. Koerswijzigingen gaan zeer langzaam en worden kilometers van tevoren ingezet. Een haven is voor een zeeschip erg nauw en bochtig. De gevolgen van het uit koers raken zijn groter dan op zee. Er is hier een veel grotere wendbaarheid nodig. Bij het binnenkomen moet een schip afremmen vóór het kan aanleggen. Achteruitslaan met de schroef kan niet doordat een schroef behalve een voorwaartse ook een zijwaartse kracht levert. Dit komt door verschillen in stroming boven en onder de schroef. Bij vooruitvaren is dit gecompenseerd door de vorm van de kiel. Bij achteruitslaan versterkt de compensatie dit effect. Om remmende kracht te leveren en om te assisteren met draaien worden sleepboten gebruikt.

Er zijn diverse sleepboten en sleepmethoden mogelijk. In de volgende paragraaf zullen enkele behandeld worden.

1.1 Sleepboottypen

De sleepboottypen worden ingedeeld naar de positie en type van hun aandrijving en de positie van hun sleeptros. Deze typen zijn: conventioneel, tractor en reverse tractor.

1.1.1 Conventionele sleepboten

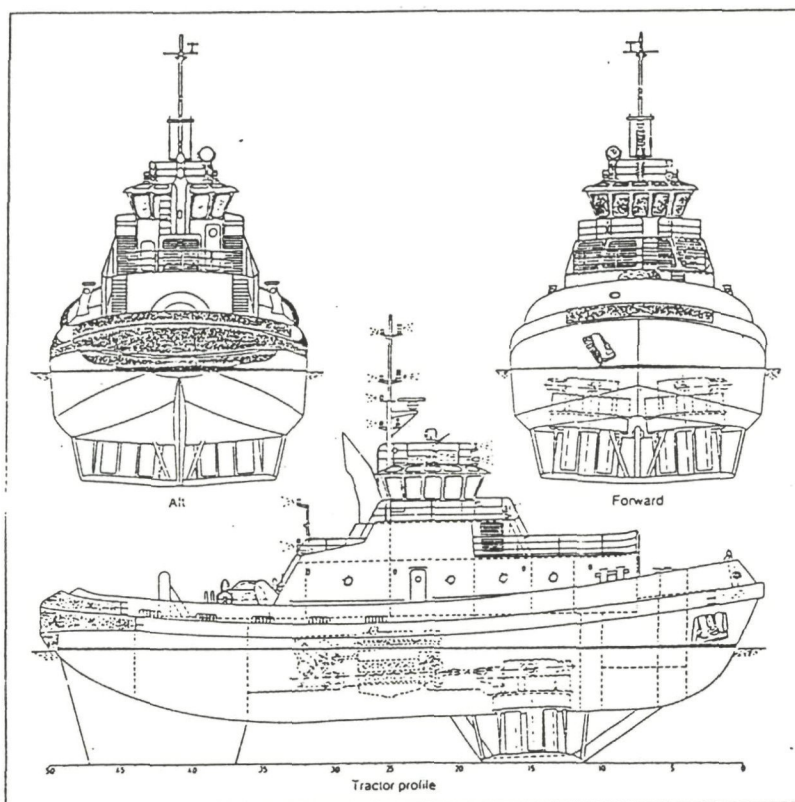
Conventionele sleepboten hebben de aandrijving achter aan het schip. Er zijn enkel- en dubbelschroefsuitvoeringen. Enkelschroefers hebben één schroef en één roer. Ze hebben een beperkt vermogen en wendbaarheid. Dubbelschroefers hebben twee schroeven en twee roeren achter. Hierdoor zijn ze krachtiger en wendbaarder. Behalve krachten vooruit en opzij kan, door verschillende vermogens op de beide schroeven te zetten, ook een (beperkt)

moment gegenereerd worden. Met een boegschroef kan de wendbaarheid nog vergroot worden.

De tros grijpt in het algemeen aan in het midden van het schip in het zwaarte- of draaipunt. Een conventionele boot kan onder zijn tros draaien.

1.1.2 Tractorsleepboten

Tractortypen hebben de aandrijving niet achter maar even voor het midden zitten. De tros zit niet in het midden maar achter vast. De boot vaart tijdens het assisteren met zijn achterkant naar het te assisteren schip. Doordat de tros achter en de motor voor aangrijpt wordt de boot in het verlengde van de tros getrokken. Bij volle-kracht-trekken zal de troshoek zeer klein zijn. Een keg achteraan, bij zowel een Z-peller als een Voiht schip, zorgt bij vooruit varen voor een stabiele situatie, doordat de boot evenwijdig aan de vaarrichting komt te liggen.



figuur 1.1 Voiht-Schneider

Er zijn twee soorten tractorschepen, Voiht en Z-peller. Voiht is het oudste tractortype. De naam tractor-tug is zelfs afkomstig van Voiht-Schneider. De Voiht aandrijving bestaat uit een aantal verticale peddels die een cirkelvormige baan beschrijven. In rust staan de peddels evenwijdig aan hun bewegingsrichting door het water. Door de peddels afhankelijk van hun positie te draaien kan in elke gewenste richting een kracht geleverd worden. De grootte en de richting van de kracht is snel te veranderen.

Een Voiht-boot heeft twee van zulke aandrijvingen. Beide hebben hun eigen motor en dus eigen toerental. De grootte van de voorwaartse kracht wordt voor elk apart ingesteld. De grootte (van de fractie) van de zijwaartse kracht is voor beide gelijk.

De kapitein heeft een dubbele handle voor de voorwaartse kracht en een stuurwiel voor de dwarskracht. De snelheid waarmee aan het wiel gedraaid wordt is de beperkende factor voor het veranderen van de krachtrichting.

In elke willekeurige richting kan kracht geleverd worden. Door voorwaartse kracht op één van beide te veranderen kan ook nog een moment geleverd worden.

Het modernere tractor type heeft Azymuth-Propellers oftewel Z-pellers. Dit zijn 360 graden draaibare schroeven. Deze zitten net als bij de Voiht vlak voor het midden. Beide schroeven zijn onafhankelijk instelbaar. De snelheid waarmee ze de krachtrichting verandert is kleiner dan bij de Voiht, nl. 16 graden per seconde. De motoren kunnen in elke gewenste richting en grootte kracht leveren. Doordat de motoren volledig onafhankelijk instelbaar zijn kan een moment gegenereerd worden.

1.1.3 Reverse tractor

De ASD (Azymuth Stern Drive) heeft twee volledig draaibare schroeven (Azymuth Propellers) die, net als bij een conventionele boot, achter aan de boot zitten. De tros kan zowel in het midden of op de boeg vast zitten. Als de tros in het midden vast zit fungeert de boot als een conventionele boot, zij het dat hij wendbaarder is. Zit de tros voor vast dan gedraagt hij zich als een tractorboot. Hij ligt dan met zijn boeg naar het te assisteren schip toe. Dit is precies andersom als bij een gewone tractor.

Een ASD-boot kan zowel als een conventionele en als een tractorboot fungeren. Op het moment dat de tros is vastgemaakt is de methode bepaald en kan tijdens de vaart niet meer veranderd worden.

1.2. Sleepmethoden

Een sleepboot kan op diverse manieren assisteren. De verschillen zitten in de manier waarop en waar de boot vast zit. De belangrijkste zijn Push-pull en 'aan de lijn'.

In Europese havens wordt de push-pull methode alleen gebruikt bij het aanleggen of lostrekken van de kant. Hierbij zit de sleepboot met een korte lijn aan de zijkant van het schip vast. Om van de kant te komen zal de sleepboot trekken aan de lijn. Om naar de kant te gaan zal de sleepboot tegen de romp van het schip duwen. Push-pull kan alleen bij zeer lage snelheden gebruikt worden. Het uitwijkgedrag is niet relevant.

Als er 'aan de lijn' gesleept wordt ligt de sleepboot met een lange lijn (30 tot 50 meter) aan de voor- of achterkant van het schip vast. De sleepboot kan een kracht of moment leveren door naar de goede positie ten opzichte van het schip te varen en dan te trekken. Als een schip bijv. een draai naar bakboord moet maken zal de achtersleepboot zo ver mogelijk naar stuurboord varen en dan de achterkant naar stuurboord trekken. De sleepboot ligt nu naast het schip. Uitwijken voor objecten is nu nodig.

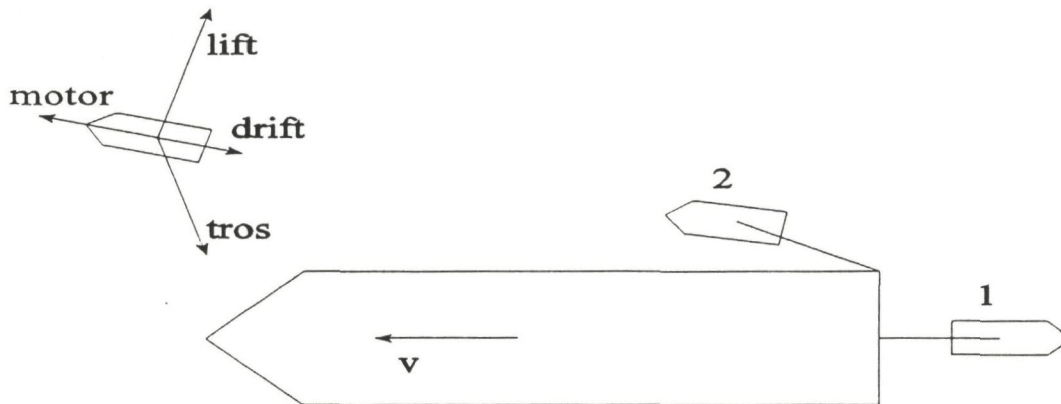
1.3 Mogelijkheden en beperkingen

Elk type sleepboot heeft zijn eigen mogelijkheden en beperkingen afhankelijk van de sleepmethode. Hier wordt alleen het aan de lijn slepen beschouwd. Een ASD-boot gedraagt zich of als een conventionele of als een tractorboot en zal verder niet als apart type behandeld worden.

1.3.1 Conventionele boot

Een conventionele boot kan alleen vooruitvaren. Om van positie te veranderen moet hij eerst draaien, verplaatsen en dan weer terugdraaien.

Doordat de tros vast zit in het midden kan een conventionele boot draaien zonder de positie van de tros ten opzichte van het schip te veranderen. Hierdoor kan hij zelf bepalen wat de invalshoek van het water op zijn romp is zodat hij optimaal gebruik kan maken van het liftgedrag van zijn romp, het zogenaamde scheren. Hiermee kan er een veel grotere kracht geleverd dan alleen met de motor.



Figuur 1.2 Conventionele boot als achtersleepboot

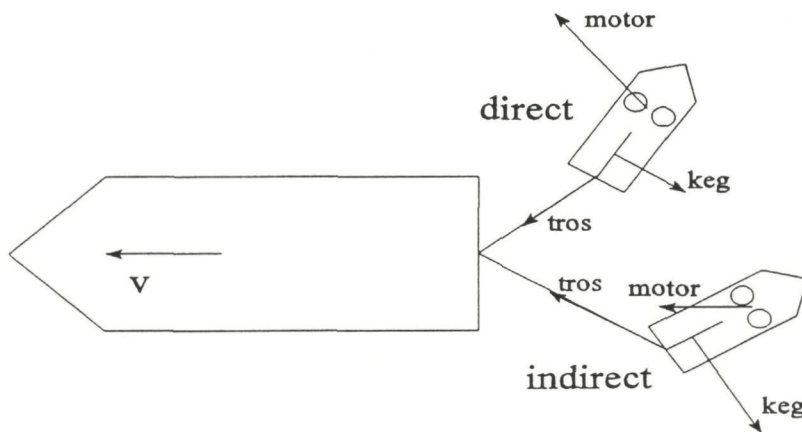
Een conventionele boot kan slechts zeer beperkt achteruitvaren. (figuur 1.1 optie 1) Hij heeft dan geen goede stroming langs zijn roer en is dus moeilijk stuurbaar. Door de turbulentie van het scheepsroer en schroef zal hij veel moeten corrigeren. Deze stuurmogelijkheid heeft hij echter niet. Het gevaar is dat hij dwars op de stroming komt en kapseist. Een conventionele boot vaart dan ook vóór de plek waar hij vast zit. (figuur 1.1 optie 2).

Wordt de sleephoek ten opzichte van de voorwaartse richting te groot dan kan de sleepboot ingehaald worden door het schip. Hij komt hierdoor dwars op de stroming te liggen en zal kapseizen.

Als de sleephoek (ten opzichte van de voorwaartse richting) echter te klein wordt, komt de boot dicht bij de romp van het schip. Door de stroming tussen beide rompen worden ze tegen elkaar aangezogen. Om weg te komen moet de boot eerst met zijn achterkant naar het schip toe draaien. Is de ruimte daarvoor te klein dan zal de boot tegen de romp varen en kan dan niet meer weggkomen.

1.3.2 Tractorboot

Bij een tractorboot zit de tros niet in het midden maar aan de achterkant vast. Als er spanning op de tros komt te staan wordt de boot in het verlengde ervan getrokken. Dit is een stabiele en veilige positie. Er is geen gevaar voor kapseizen. Een tractorboot zal achter het vastmaakpunt op het schip varen .



Figuur 1.3 Direct en indirect slepen

Een tractorboot zal bij lage snelheden direct slepen. Dat wil zeggen de geleverde kracht komt voornamelijk van de motor. De boot ligt hierbij bijna in het verlengde van de tros. Door de kracht op de keg zal de boot iets dwars op de stroming willen draaien. Als de sleephoek te groot wordt komt de boot haaks op de stroming te liggen. Bij grotere snelheden kost dit erg veel motorvermogen waardoor er niets meer voor de tros overblijft. De kapitein zal dit ook niet doen en een kleinere sleephoek aanhouden. De hoek waarbij de maximale dwarskracht kan worden geleverd wordt steeds kleiner met toenemende snelheid.

Bij hogere snelheden kan een tractorboot indirect slepen. Hierbij scheert hij uit op zijn keg. Hiermee kunnen grotere krachten worden gehaald. Een Voiht heeft een grote keg en kan dit al vanaf 3 knopen en een Z-peller, met de kleine keg, pas vanaf 12 knopen.

Deze grote keg geeft voor de Voiht ook problemen. Een Voiht kan niet goed recht achteruitvaren. De liftkracht op de keg zorgt ervoor dat de boot elke keer opzij wil draaien. De boot draait tot de stroming rond de keg loslaat (v.g.l. overtrekken bij een vliegtuig). En de boot valt weer terug. De boot blijft zwabberen. Dit is moeilijk te corrigeren. Zeker in smalle doorgangen zoals bij bruggen, waar de boot recht achter het schip moet varen en geen zijwaartse kracht mag leveren, is dit vervelend. Een Z-peller heeft dit effect ook, maar in veel mindere mate en is gemakkelijk te corrigeren.

Een Z-peller aandrijving heeft een groter rendement dan een Voiht. Een Z-peller haalt 1,5 ton trekkracht uit 100 BHP (Brake Horse Power) terwijl een Voiht met hetzelfde vermogen maar tot 1,0 ton komt.

Een Z-peller is doordat hij zijn aandrijvingen onafhankelijk kan instellen wendbaarder dan een Voiht.

Zowel Voiht en Z-peller hebben een diepstekende aandrijving en hebben eerder last van ondiep water dan een conventionele boot.

1.4 Keuze methode en boot type en afbakening onderwerp

Voor het model is een keuze gemaakt uit diverse sleepboten en -methoden.

De gekozen sleepmethode is 'aan de lijn'. Dit is de methode waarbij uitwijken het meest relevant is. Dit is de in de Rotterdamse en andere Europese havens gebruikte methode.

De gekozen boot is de Z-peller tractor.

Voor de keuze van het boottype is geprobeerd zoveel mogelijk bij de, in de Rotterdamse haven gebruikte, boten te blijven.

Voor conventionele sleepboten is achterassistentie veel te gevaarlijk; deze worden daar dan ook zelden tot nooit gebruikt. Zowel Voiht als Z-peller worden achter gebruikt. Een Z-peller is stabiel, beter manoeuvreerbaar en heeft, bij direct slepen, een hoger rendement. Zowel de kapiteins als een loods vinden de Z-peller voor achtersleepboot-assistentie beter dan een Voiht.

	conventioneel	Voiht	Z-peller
veilig	--	+	+
rendement direct	+	-	+
stabiliteit	-	~	+
manoeuvrer- baarheid	--	-	+
totaal	--	~	+

Tabel 1.1 Enige eigenschappen van diverse sleepboten bij achtersleepbootassistentie.

- slecht ~ matig + goed

Er is gekozen voor een Z-peller tractor aan een lijn die direct sleept. Er wordt gekeken naar het assisteren van (zee)schepen tijdens het in- en uitvaren van een haven, waarbij objecten gepasseerd moeten worden. Het vastmaken en aanleggen wordt niet beschouwd.

Hoofdstuk 2

DE SLEEPBOOTKAPITEIN

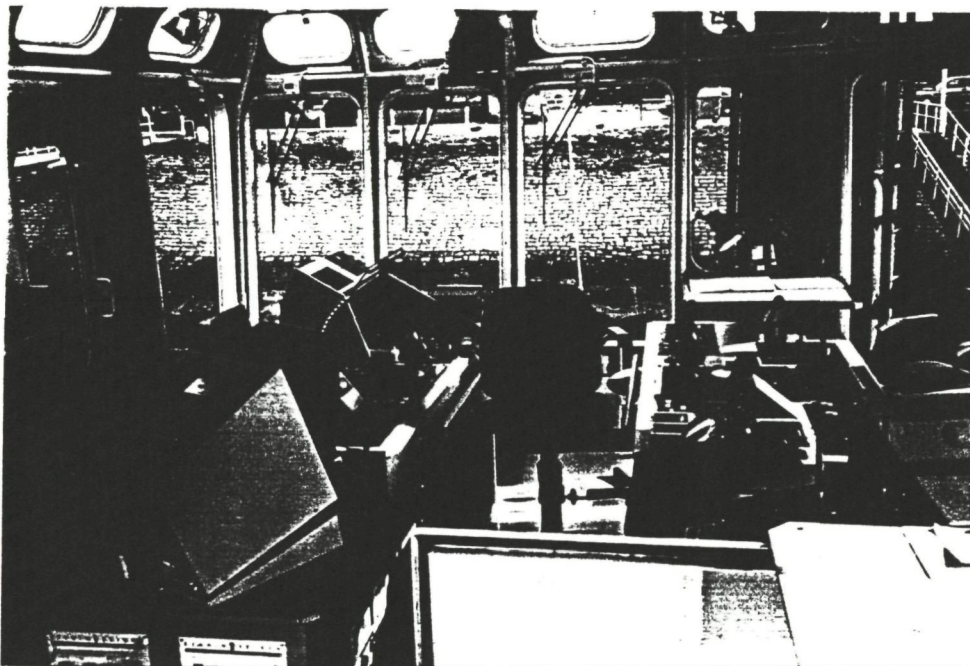
Dit hoofdstuk behandelt de sleepbootkapitein, zijn werkomgeving en zijn werkwijze. Tevens wordt het vereenvoudigde gedrag van de kapitein behandeld. Hierbij is uitgegaan van de in hoofdstuk 1 gekozen type boot en assistentie methode, namelijk een Z-peller tractor aan de lijn die direct sleept.

2.1 Werkomgeving

De hier gebruikte sleepboot is een Z-peller tractor. De beschrijving die hier volgt is van de Thames- en Texelbank van Smit Internationale te Rotterdam. Op deze schepen zit een driekoppige bemanning: een kapitein die de boot bestuurt, een machinist die de motor bedient en onderhoudt en een maat die onder andere de tros bedient.

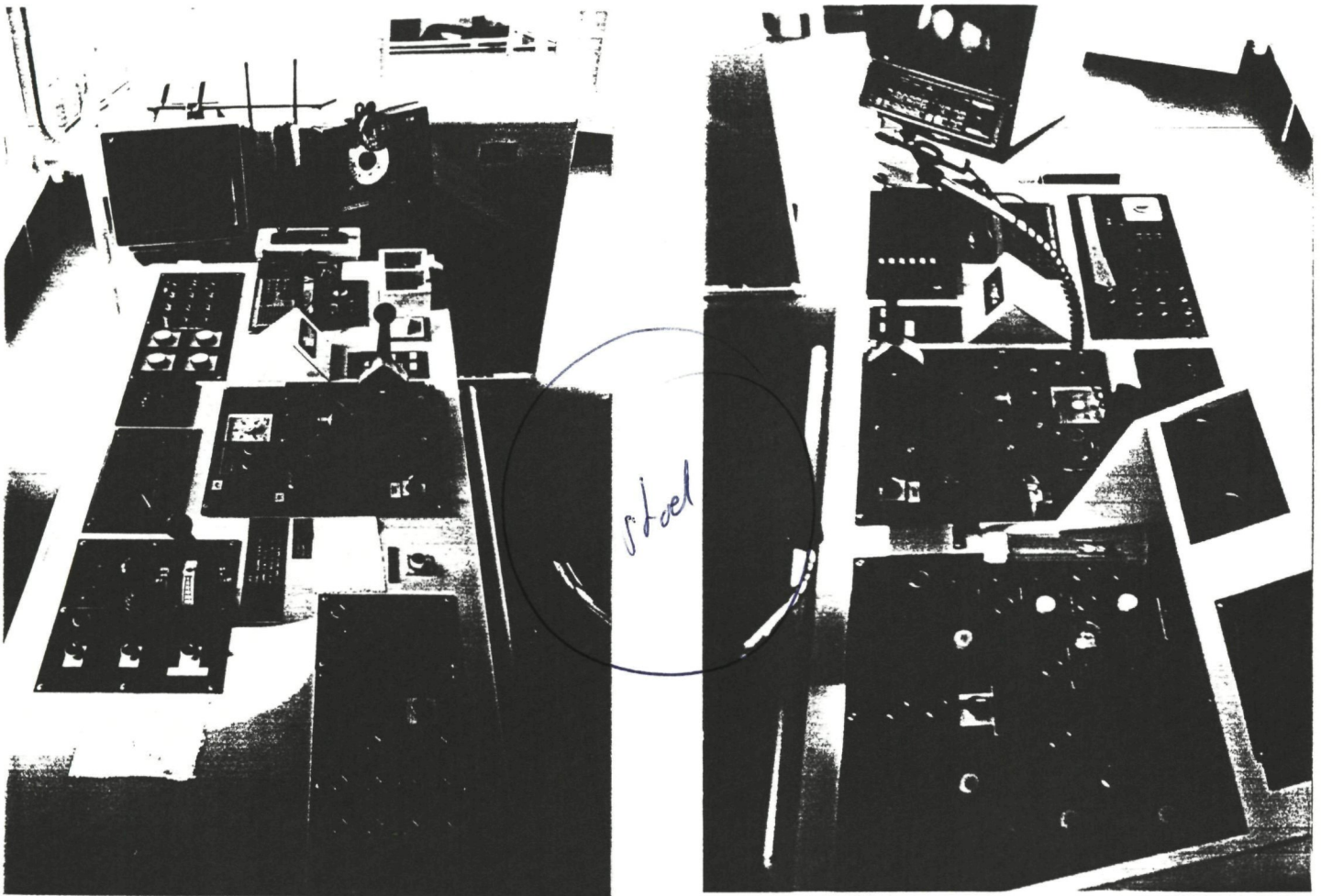
2.1.1 De brug

De brug is de plek waar de kapitein zijn werk doet. Van hieruit kan hij vrijwel alles bedienen. De brug is rondom voorzien van ramen. Met uitzondering van de schoorsteen links achter, is er een onbelemmerd uitzicht naar alle kanten en naar het voor- en achterdek. In het midden staan twee consoles evenwijdig aan de lengteas van het schip. Tussen deze consoles zit de kapitein op zijn stoel. In elke hand heeft hij een stuurknuppel. De kapitein kan zich in zijn stoel wel iets draaien maar is in principe aan zijn positie gebonden.



2.1.2 Consoles

De kapitein zit tussen twee consoles met instrumenten. Aan elke kant heeft hij een stuurknuppel voor de motor van die kant. Rechtsvoor bevindt zich de radar. De kapitein gebruikt deze alleen 's nachts en bij slecht zicht voor het observeren van ander verkeer. Linksvoor bevindt zich het kompas met autopilot. Het kompas wordt in de haven zelden gebruikt. Naast het kompas staat de monitor met een lijst met alarmen en waarschuwingen uit de machinekamer. Linksachter bevindt zich het bedieningspaneel van de lier waar de tros opgewonden zit. Op de foto's in figuur 2.2 zijn deze consoles te zien. De linker foto toont de linker console en de rechter de rechter. Tussen deze consoles staat de stoel van de kapitein. Deze stoel is niet te zien.



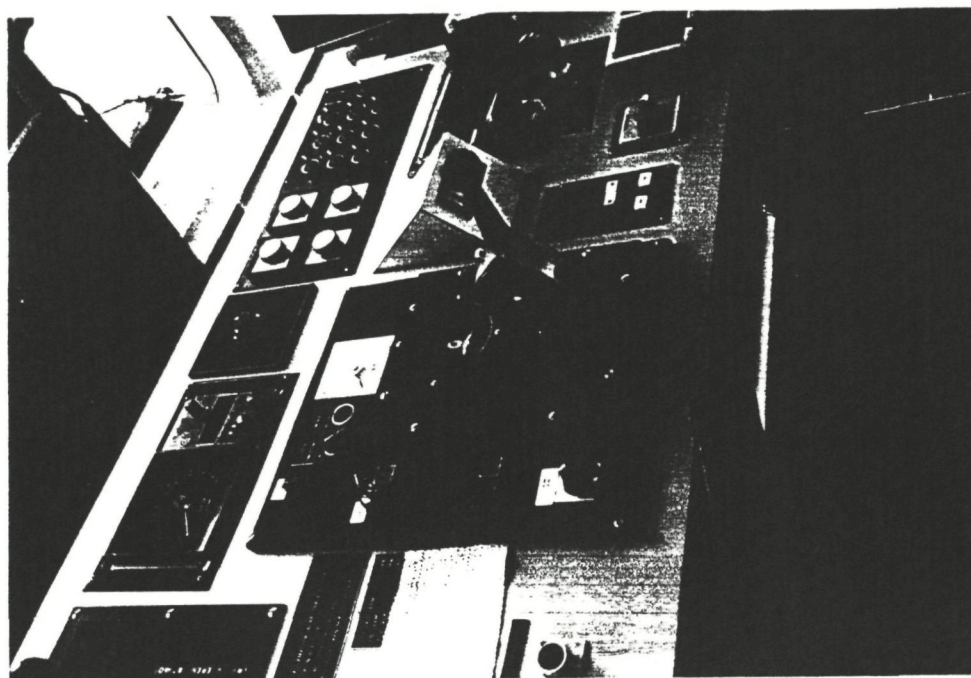
figuur 2.2 De consoles op de Texelbank. Van achter gefotografeerd.

2.1.3 Stuurknuppels.

De stuurknuppels bestaan uit een soort verticale ronde schijven met een handvat er bovenop (zie figuur 2.3). De knuppels kunnen om hun verticale as gedraaid worden. De richting van de knuppel is de gewenste richting van de schroef. De schroef volgt de ingestelde stand van de knuppel met een zekere traagheid. De werkelijke stand van de

schroef wordt aangegeven door een ronde indicator waarop een propeller staat afgebeeld. Deze indicator is naast de knuppel gemonteerd. In het geval van figuur 2.3 staat de motor naar binnen (rechts) gericht.

De hele knuppel kan gekanteld worden. De mate van kanteling is bepalend voor het toerental van de schroef. Het toerental is af te lezen op een indicator naast de knuppel. In figuur 2.3 is dit de witte wijzerplaat in het zwarte paneel waar ook de knuppel in gemonteerd is.



figuur 2.3 Linker stuurknuppel

2.1.4 Uitzicht vanaf de brug

Als de kapitein vooruit vaart heeft hij goed zicht op kompas en radar. Tijdens het assisteren vaart de boot echter achteruit. De kapitein draait dan zijn stoel om en gaat achterstevoren zitten. Hierdoor heeft hij goed uitzicht op de tros, lier en het te slepen schip. Hij kan dan net bij het bedieningspaneel van de lier. Het te slepen schip vult een groot deel van het gezichtsveld. Het enige hinderlijke object in het gezichtsveld is de schoorsteen rechts. Hij kan zijn kompaskoers en radar niet direct zien. Hij kijkt slechts af en toe om zich heen of op zijn radar of er ander verkeer is.



figuur 2.4 Uitzicht vanuit de positie van de kapitein.

2.2 Werkwijze

In dit stuk wordt beschreven hoe het assisteren in zijn werk gaat. De diverse handelingen zijn beschreven in de volgorde waarbij ze optreden als een schip binnen komt.

2.2.1 Aanvaren en vastmaken

Het naar het te slepen schip toe varen gebeurt vooruit. De kapitein zet beide motoren half vooruit en stuurt door één van beide iets te draaien. Door de keg achter onder draait de boot. De boot blijft vooruit varen Soms wordt de automatisch piloot gebruikt; deze volgt de ingestelde kompaskoers. Aangekomen bij het te assisteren schip verzet de kapitein zijn stoel en vaart achteruit naar het schip.

De kapitein zet de achterkant van zijn sleepboot tegen de achterkant van het schip. De sleeptros van de sleepboot wordt door de bemanning van het schip opgetakeld en vastgezet. Tijdens het vastmaken blijft de sleepboot tegen het schip varen. Als de tros vastzit, vaart de boot langzaam achteruit waarbij de tros gevierd wordt. Is de tros op de juiste lengte dan wordt de lier vastgezet.

2.2.3 Standby varen

Als de sleepboot niet hoeft te trekken zal hij evenwijdig aan de stroming varen. Dit betekent dat de troshoek dan gelijk is aan de negatieve sleephoek. In eerste instantie zal de kapitein op de positie blijven varen waar hij het laatst getrokken heeft (en waar hij verwacht weer te moeten trekken). Hoeft hij langere tijd niets te doen dat zal hij achter het

schip gaan hangen. De kapitein zal niet helemaal recht achter het schip gaan varen omdat hij dan in de turbulentie van schroef en roer komt. Hij blijft op ongeveer 20 graden sleephoek varen. Hierdoor blijft hij in rustiger water en hoeft hij minder te corrigeren.

2.2.4 Positie veranderen

Als de kapitein van positie (=sleephoek) verandert zet hij een stap van ongeveer 40 graden op zijn knuppels. De boot is in korte tijd op snelheid. Als de gewenste positie bereikt is, wordt de boot afgeremd en de kapitein zoekt even naar een nieuw evenwicht. Tijdens het bewegen worden de knuppels nauwelijks gedraaid.

Tijdens de manoeuvre kijkt de kapitein niet naar zijn handles of naar de indicatoren van de motorstand, maar alleen naar het schip.

2.3 Vereenvoudigd gedrag kapitein

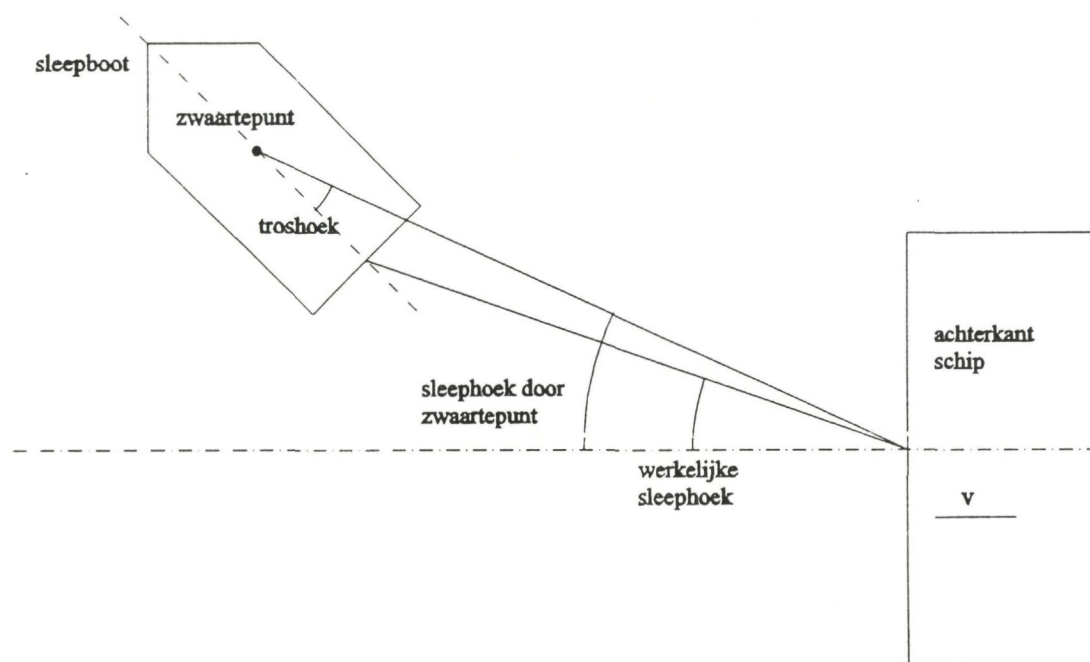
In dit model worden de volgende aannames en beperkingen gemaakt voor het gedrag van de kapitein:

- Hij zal zoveel mogelijk doen wat de loods zegt. Dit in tegenstelling tot de praktijk waar de kapitein doet wat de loods bedoelt.
- Hij zal pas op het laatste moment uitwijken voor objecten.
- Hij zal altijd zijn tros strak houden. Dit om te voorkomen dat de tros in een schroef komt.
- Hij zal niet verder naar buiten gaan dan een bepaalde maximale sleephoek. Dit is de hoek waarbij hij grootste dwarskracht kan leveren.
- Hij oriënteert zich op het schip. Zijn snelheid en positie bepaalt hij ten opzichte van het schip.
- Bij het veranderen van positie zet hij een stap op zijn stuurknuppels. Hij gaat zo snel mogelijk naar een bepaalde snelheid en houdt deze constant. De versnelling die hierbij optreedt is afhankelijk van de stromingen rond de boot. De traagheid van de motoren wordt hierbij niet mee genomen.
- De snelheid en versnelling van de sleepboot ten opzicht van het water worden beperkt door de beperkte kracht die de motoren leveren.

Hoofdstuk 3

HET ACHTERSLEEPBOOTMODEL

Een kapitein weet wat hij met zijn boot kan doen. Deze kennis gebruikt hij om te voorkomen dat hij ergens tegenaan vaart. Hij begint op tijd uit te wijken dat wil zeggen voordat hij op het punt is waar het onmogelijk is om nog uit te wijken. Hij weet welke baan hij vaart bij het ontwijken. Deze baan is erg afhankelijk van de situatie waarin de boot zich bevindt. De kapitein kan hier op grond van zijn ervaring mee omgaan. Het is niet mogelijk om alle mogelijke banen in de computer te stoppen. Daarom wordt elke keer, uitgaande van de situatie die dan geldt, de baan gesimuleerd. Hiervoor is, behalve het uitwijkmodel, ook een model nodig van de bewegingen van de boot. Dit bewegingsmodel wordt voor zowel de voorspeller van de uitwijkbaan, als voor de uitvoering gebruikt.



figuur 3.1 Sleep- en troshoek

Een sleepboot wordt in dit rapport gekarakteriseerd door twee variabelen (en hun afgeleiden) nl. de sleephoek en de troshoek. De sleephoek is de hoek tussen de tros en de as van het schip. De sleephoek en de lengte van de tros bepalen de positie van de sleepboot ten opzichte van het schip. De troshoek is de hoek tussen de sleepboot en de tros. Dit bepaalt de oriëntatie van de sleepboot. De tros en sleephoek zijn zo gekozen dat ze tijdens normaal gebruik hetzelfde teken hebben. De oriëntatie van de sleepboot ten opzichte van het schip is gelijk aan de sleephoek plus de troshoek.

In het model wordt niet gerekend met de werkelijke sleephoek, maar met de hoek tussen de as van het schip en een lijn door de bolder op het schip en het zwaartepunt van de sleepboot. De werkelijke sleephoek is de hoek tussen de as van het schip en de tros. De tros zit achter aan de sleepboot vast en niet in het zwaartepunt. De werkelijke sleephoek wordt alleen gebruikt bij het invoeren van het loodscommando. Deze wordt dan omgerekend naar de sleephoek door het zwaartepunt. Inwendig wordt er gerekend met de hoek van de lijn door het zwaartepunt. Uitwendig lijkt het of er met de werkelijke sleephoek gerekend wordt.

Als er over de positie van de sleepboot gesproken wordt, wordt hiermee de sleephoek in radialen bedoeld. De positie van objecten en restricties wordt ook in hoeken gegeven. Veel figuren in dit rapport hebben dan ook de hoek in radialen op de verticale as staan.

In het in dit rapport beschreven model wordt het volgende gedaan:

Om te kunnen uitwijken moet bekend zijn wanneer welke obstakels gevaarlijk dichtbij komen. Hiervoor worden de toekomstige posities van het schip voorspeld. Vanaf elke voorspelde positie wordt gekeken waar de obstakels zich bevinden. Obstakels die te dichtbij komen (afstand kleiner dan de lengte van tros en boot samen) zorgen voor een restrictie. Een restrictie is een gebied waar de sleepboot niet mag komen. Deze restricties worden uitgedrukt in de sleephoek. Voor elke restrictie wordt bepaald aan welke kant deze gepasseerd wordt. Overlappende restricties worden samengevoegd tot één enkele. Vanaf die resulterende restricties wordt terugerekend met een uitwijkbaan. Voor elke restrictie resulteert dit in een gebied van waaruit nog net kan worden uitgeweken. Het setpoint voor de sleepbootpositie komt in dit 'veilige' gebied. Zijn er geen restrictie dan wordt het loodscommando aan gehouden als setpoint; zijn er wel restricties dan komt het setpoint zo dicht mogelijk bij dit loodscommando te liggen. De uitvoeringsmodule stuurt de sleepboot vervolgens naar dit setpoint toe.

In het eerste twee delen van dit hoofdstuk wordt het algemene ontwijkmodel besproken; het bepalen van de restricties voor de sleephoek en het bepalen van de setpoints voor de uitvoering. In het derde deel worden de bewegingen van de boot, nodig voor uitvoer en voorspeller, besproken.

3.1 Objecten en restricties

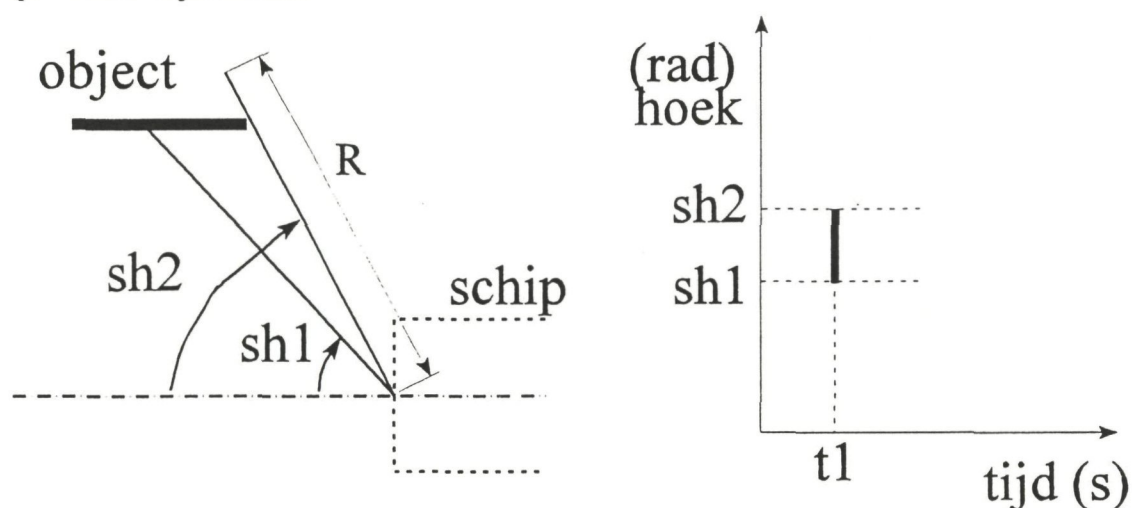
Dit gedeelte behandelt hoe de omgeving wordt omgerekend naar restricties voor de sleephoek.

3.1.1 Voorspeller scheepspositie

Bij het voorspellen van de toekomstige scheepsposities wordt er vanuit gegaan dat de snelheid en de verandering van de koers, de 'rate of turn', constant blijven. Deze aanname is reëel doordat (zee)schepen zeer traag zijn. In de praktijk wordt, op schepen met een moderne radar, deze methode gebruikt om scheepsbanen te voorspellen en daarmee aanvaringen te voorkomen.

3.1.2 Objecten

Objecten zijn gedefinieerd als lijnstukken. Voor elk lijnstuk wordt de afstand tot de bolder bepaald. Is deze afstand kleiner dan de lengte van de tros en sleepboot samen, dan kan de sleepboot met dit obstakel in aanraking komen. Voor dit obstakel wordt bepaald voor welke hoeken een lijn met lengte R dit lijnstuk raakt. In het gebied tussen die twee hoeken zal de sleepboot het object raken.

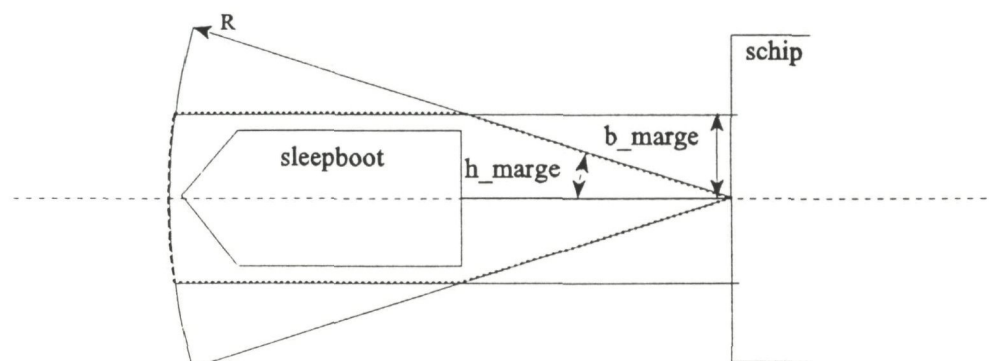


figuur 3.2

(a) Positie van een object op tijdstip t_1 van boven gezien. (b) Positie en afmetingen in radialen. In de figuur is gestippeld het te slepen schip weergegeven. De tros met de sleepboot is weergegeven door een lijn met lengte R . De lijn raakt het object op twee manieren. Bij sleephoek1 (sh_1) raakt de punt van de lijn het object. Bij sleephoek2 (sh_2) raakt de zijkant van de pijl het object. Voor hoeken tussen sh_1 en sh_2 zal de pijl door het object heengaan. De sleepboot raakt dan het object.

Bij het bepalen van de hoeken waarbij de boot het object raakt is er vanuit gegaan dat de boot geen breedte heeft. In werkelijkheid heeft een sleepboot wel breedte, bovendien houden sleepboot kapiteins zelf nog een marge van ongeveer een halve meter tussen boot en object. Om de breedte van de boot wel mee te nemen wordt aan beide zijden van het gebied sh_1 - sh_2 een marge toegevoegd.

De marge is niet een vaste hoek maar afhankelijk van de afstand tussen bolder en object. Ter hoogte van de tros wordt een vaste hoek aangehouden en ter hoogte van de boot is de breedte bepalend. Als een constante hoek aangehouden zou worden, zouden bij een korte tros de marges zo groot worden dat de boot niet meer door een normale brugdoorgang zou kunnen. De resulterende marge is in figuur 3.3 dik gestippeld weergegeven. Het op deze manier berekende gebied, waar de boot een object raakt, wordt een restrictie genoemd. De boot mag hier nooit komen.



figuur 3.3 Marges rond sleepboot

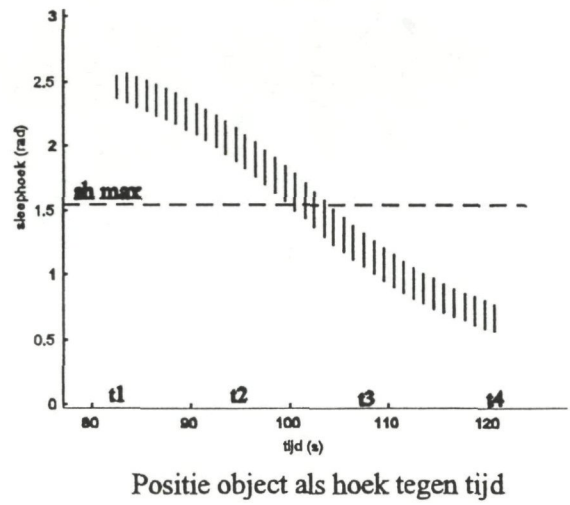
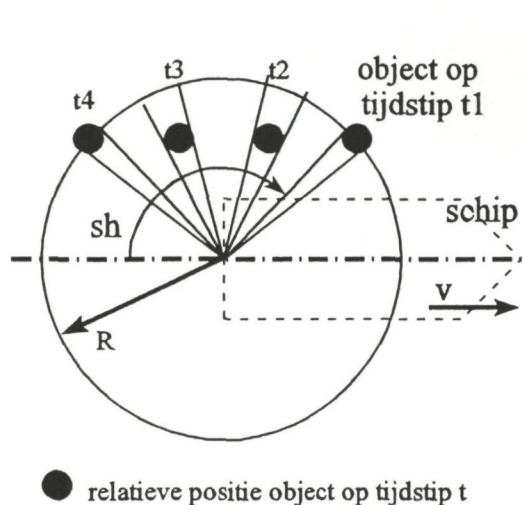
3.1.3 Restrictie door maximale sleephoek

Een kapitein zal een bepaalde maximale sleephoek niet overschrijden. Deze hoek is afhankelijk van de snelheid. Hiermee voorkomt hij dat hij dwars op de stroom komt te liggen, hetgeen te veel motorkracht vergt waardoor er te weinig kracht over blijft voor de tros. Deze maximale sleephoek wordt aangehouden aan beide zijden, zowel bij het slepen aan bakboord als aan stuurboord. Dit zorgt voor een restrictie aan beide kanten, bij de positieve en negatieve maximale sleephoek.

3.1.4 Vorm restrictie in de tijd.

Bij het passeren van een object verandert de plek van dit object ten opzichte van het schip. In eerste instantie, (tijdstip t_1 in figuur 3.4) bevindt het object zich naast het schip nog voor de bolder. Op deze positie levert het een restrictie voor een grote sleephoek. Als het object meer naar achteren beweegt, zal de waarde van de restrictie steeds kleiner worden. Op tijdstip t_4 wordt de laatste restrictie geleverd. De afstand is bijna zo groot dat de sleepboot het object niet meer kan raken. Dit is tevens de kleinste hoek van de restrictie.

De restricties van een passerend object krijgen, uitgezet als 'sleephoek tegen tijd', een 'golf vorm' (zie figuur 3.4). De vorm van de golf hangt af van de richting en de snelheid van het schip. De dikte hangt af van de grootte van het object.



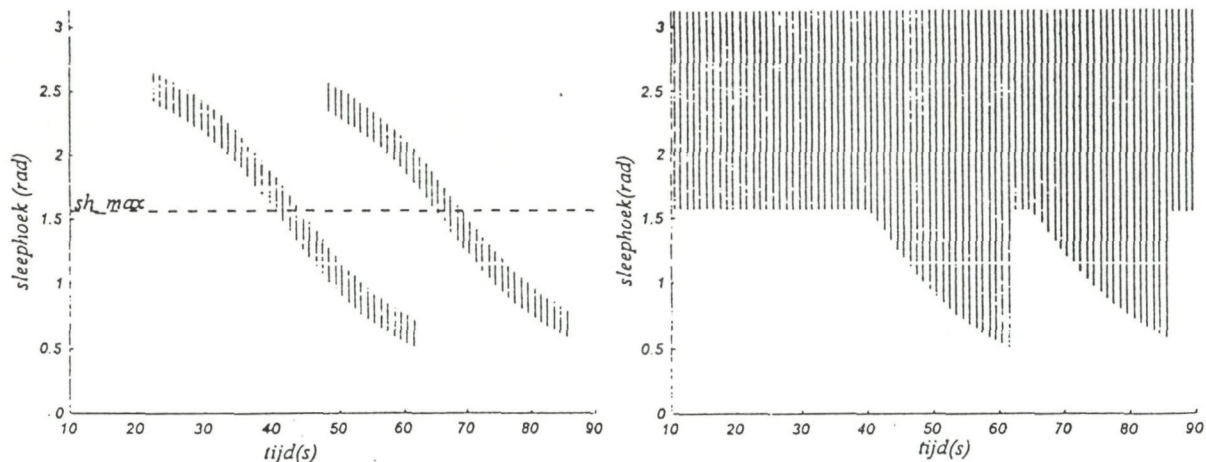
figuur 3.4 positie van een object van boven gezien en de resulterende restricties.

3.1.5 Uitbreiden van restricties.

Een restrictie kan maar aan één kant gepasseerd worden. Om te bepalen aan welke kant er gepasseerd moet worden, wordt er gekeken naar het verloop van de restrictie in de tijd. Een restrictie zal op een gegeven moment over de maximale sleephoek heen gaan. Een sleepboot mag niet tussen de restrictie en die maximale sleephoek komen. Er kunnen zich dan twee situaties voordoen: of de sleepboot kan er niet meer weg komen, of de sleepboot moet door het object heen om er te komen. Als de sleepboot eenmaal aan één kant van de restrictie is, kan hij niet meer naar de andere kant. Zodra bekend is aan welke kant de restrictie gepasseerd moet worden, wordt deze restrictie aan de andere kant uitgebreid tot aan de maximale sleephoek. Als dit niet gedaan zou worden dan zou de sleepboot de verkeerde kant kunnen kiezen, om het object heen willen varen en vervolgens in een situatie komen waaruit hij niet meer weg kan komen.

3.1.6 Samenvoegen

Om geheugenruimte en rekentijd te besparen worden overlappende restricties samengevoegd. Een object zoals een zijkant van een brug is vaak opgebouwd uit diverse lijnstukken. De restricties die deze opleveren zullen, elkaar overlappen. Deze worden samengevoegd tot één enkele restrictie. Ook losse objecten zoals boeien worden samengevoegd als ze dicht bij elkaar staan. Als de sleepboot niet tussen de paaltjes past zullen de restricties (die bestaan uit de boeien zelf en de marges) elkaar overlappen. Een extra marge om iets verder uit elkaar staande objecten samen te voegen is niet nodig. In de praktijk ontstaat er per tijdstap één restrictie aan de linkerkant en één restrictie aan de rechterkant.



figuur 3.5 Het uitbreiden van restricties naar de maximale sleephoek

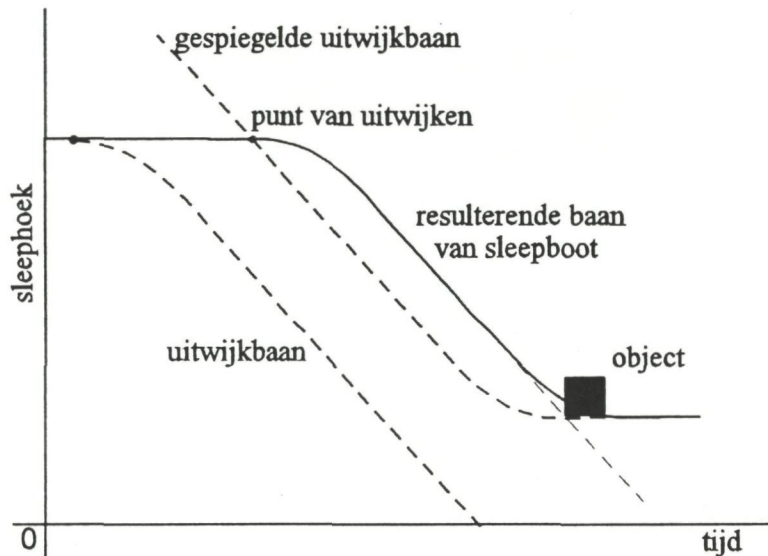
In figuur 3.5 is te zien hoe uit de oorspronkelijke restricties aan de linkerkant de uiteindelijke restricties ontstaan. In het linker plaatje staan de feitelijke restricties ten gevolge van twee boeien aan bakboordzijde. In het rechter plaatje is alles wat groter dan de maximale sleephoek en alles wat aan een andere kant van de boei zit dan de boot, ook een restrictie geworden. Op elk tijdstip is er maar één waarde per kant nodig.

3.2 Het uitwijken voor objecten

De baan waarmee de kapitein een object ontwijkt is afhankelijk van de beginsituatie van de sleepboot, zoals snelheid, stroming en huidige manoeuvre. Omdat deze uitgangssituatie continu verandert moet de baan elke keer opnieuw worden bepaald. Het bereik van de voorspelde baan loopt van de huidige positie naar de maximale sleephoek in de uitwijkrichting. Dit kan een hele korte baan opleveren. Om software problemen door een te korte baan te voorkomen wordt de voorspelde baan geëxtrapoleerd met zijn gemiddelde snelheid. Het geëxtrapoleerde deel van de baan heeft geen invloed op het gedrag van het model. Het is alleen nodig om te bewerkstelligen dat het model eenduidig blijft werken.

3.2.1 de uitwijkbaan

Om goed uit te kunnen wijken moet het bekend zijn wanneer de uiterste uitwijkbaan net het te ontwijken object mist. Hiervoor wordt de uiterste uitwijkbaan gespiegeld aan het object geplakt. Vervolgens kan er gekeken worden waar de boot zich bevindt. Zit de boot aan die kant van de lijn waar hij nog kan uitwijken dan zal hij het loodscommando volgen. Bevindt hij zich aan de andere kant van de lijn dan moet er uitgeweken worden. Het setpoint, waar de boot naar toe gestuurd wordt, komt dan op de lijn te liggen, zo dicht mogelijk bij het loodscommando.



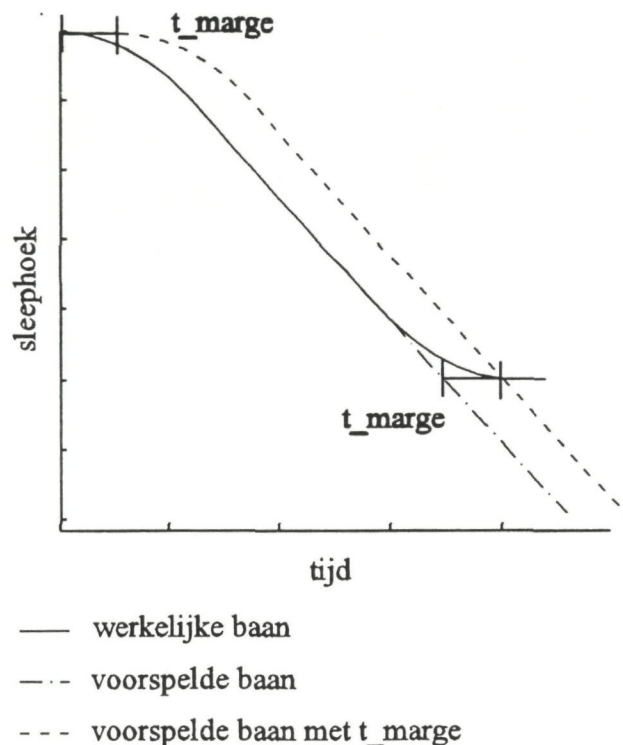
figuur 3.5 Het spiegelen van de uitwijkbaan

Op deze manier onderneemt het model pas actie als het eigenlijk te laat is. De boot gaat pas wat doen als hij de uiterste uitwijkmogelijkheid voorbij is. Door de voorspelde baan met een marge ter grote van de gebruikte tijdstap te vervroegen, wordt er één tijdstap eerder, en dus net op tijd, uitgeweken.

De echte uitwijkbaan (doorgetrokken lijn in fig 3.6) is niet gelijk aan de voorspelde baan (punt-streep lijn). Bij de echte baan wordt afgeremd als het setpoint bijna bereikt is. De voorspelde baan loopt door. Als de afremming ook voorspeld zou worden moet voor elk object een aparte voorspelling gemaakt worden. Dit zou erg veel tijd kosten.

Om het verschil tussen de echte en de voorspelde baan te compenseren wordt een extra tijds marge toegevoegd.

De minimaal benodigde marge is in principe afhankelijk van de huidige toestand. Hiervoor wordt een vaste waarde genomen.



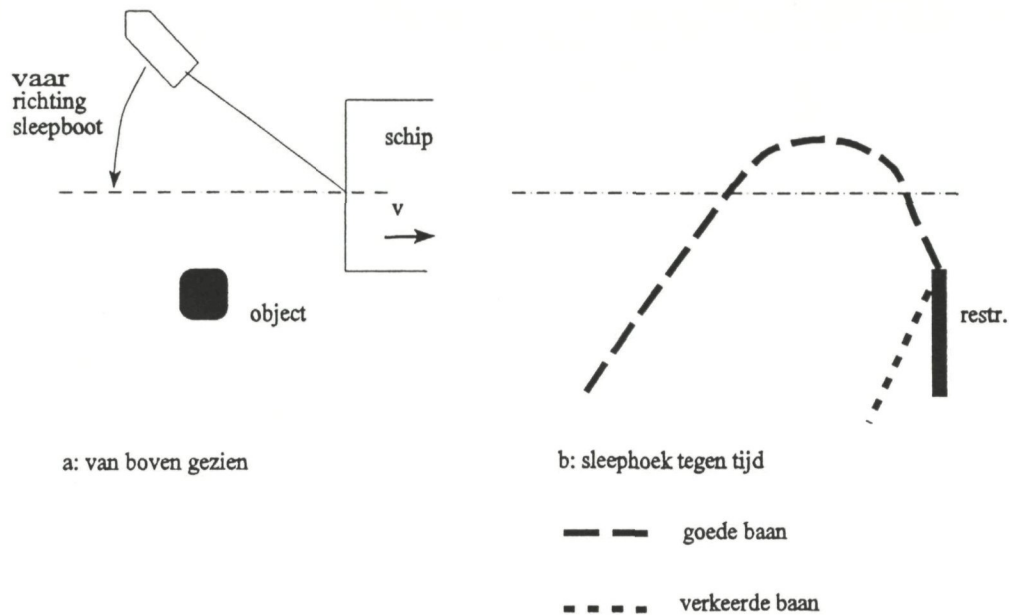
figuur 3.6 Werkelijke en voorspelde baan

3.2.2 Keuze uitwijkrichting.

Voor de baan van de sleepboot maakt het veel uit of hij naar binnen of naar buiten uit moet wijken. Tegen de stroming in naar buiten gaat de boot langzamer dan met de stroom mee naar binnen.

Als de sleepboot al vaart heeft maakt het uit of hij eerst moet afremmen en omdraaien of dat hij direct door kan gaan. Het is van belang dat de goede uitwijkmanoeuvre wordt voorspeld.

Er zijn twee voorspellingsstrategieën: altijd naar binnen of afhankelijk van het loodscommando. Een sleepboot zal in principe altijd naar binnen uitwijken dat wil zeggen naar een positie recht achter het schip (sleephoek nul). Toch is dit niet altijd de juiste baan om te voorspellen. Het kan mis gaan als de sleepboot met snelheid naar binnen draait. De voorspelde baan is dan erg snel omdat de boot al snelheid heeft in de uitwijkrichting. Als er een object zich aan de andere kant bevindt dan wordt bij het bepalen van de 'gevaarlijke zone' van dit object niet gerekend met het vertragen en omdraaien van de boot. Als de boot voor bij 'recht er achter' komt dan wordt er wel rekening mee gehouden, maar dat kan te laat zijn. In het linker deel van figuur 3.9 gaat de sleepboot van grote sleephoek naar een kleine. Aan de andere kant van het schip (negatieve sleephoek) bevindt zich een object. De correcte voorspellingsbaan (gestreepte lijn) komt over de lijn $sh=0$ heen. De boot moet al beginnen uit te wijken voor hij $sh=0$ passeert. Doet hij dit niet dan komt hij onherroepelijk tegen het obstakel.



figuur 3.7 voorspellings richting

De uitwijkrichting wordt afhankelijk van het loodscommando bepaald. Er wordt uitgeweken in de richting tegenovergesteld aan het loodscommando. Dit om de volgende reden. Of de taak opgelegd wordt door de loods of door de omgeving, maakt voor de baan geen verschil. De resulterende baan is exact hetzelfde. Als een object ontweken dient te worden in de richting van het loodscommando (bijvoorbeeld als het loodscommando richting 'naar binnen' of verder is) is de boot al bezig zich in die richting te verplaatsen. Extra uitwijken in die richting heeft geen zin omdat de boot al zijn maximale baan vaart. De relevante uitwijk manoeuvres zijn die in de richting tegenovergesteld aan het loodscommando. Vandaar dat de voorspelde baan niet in de richting van het loodscommando gaat.

3.2.3 Bepaling setpoint voor de sleephoek

Door het terug rekenen van de restricties ontstaan er gebieden waar de sleepboot wel en niet naar toe mag gaan. Het setpoint voor de sleephoek wordt in het toegestane gebied zo dicht mogelijk bij het loodscommando gekozen. Zijn er geen beperkingen dan zal hij zelf exact gelijk zijn aan het loodscommando. Veelal zal het loodscommando plus of min 90 graden zijn. Het setpoint wordt dan beperkt door de maximale sleephoek.

3.3 Model van sleepbootgedrag

Dit gedeelte behandelt het gedrag van de sleepboot. Dit manifesteert zich bij het uitvoeren van het setpoint en bij het voorspellen van de 'uitwijkbaan'.

3.3.1 Uitvoerroutine voor de sleephoek

De ingang van deze routine is het setpoint voor de sleephoek zoals die bepaald is op grond van de omgeving en loodscommando.

De boot zal eerst versnellen met een situatie afhankelijke maximale versnelling. Is de maximale draaisnelheid (in radialen) bereikt dan zal hij deze handhaven.

Als het setpoint dichtbij komt, wordt er afgeremd tot het setpoint bereikt is. Om het punt te bepalen waar begonnen moet worden met afremmen, wordt elke keer bepaald hoeveel radialen het kost om vanuit de huidige snelheid met de huidige maximale vertraging tot stilstand te komen. Ligt het setpoint binnen deze afstand dan wordt er geremd.

De waarden van de maximale versnellingen, maximale sleephoek zijn afhankelijk van snelheid en stroming. Deze karakteristieke waarden zijn apart berekend en zijn opgeslagen in tabellen. Tijdens het uitvoeren worden deze tabellen geïnterpoleerd.

3.3.2 Voorspellen baan

Voor het voorspellen van de uitwijkbaan wordt een kopie van de uitvoer routine gebruikt. De beginsituatie van de voorspeler is gelijk aan de huidige situatie van de sleepboot. Het setpoint is de maximale sleephoek in de uitwijkrichting. De voorspeller gaat net zoals de uitvoerroutine naar zijn setpoint toe.

Heeft de sleepboot de nieuwe positie bereikt en is zijn snelheid (bijna) nul dan wordt de simulatie gestopt.

3.3.4 Uitvoering troshoek

De stroming tegen de keg duwt de achterkant van de boot opzij. De tros trekt hem echter weer terug. Op een bepaalde waarde van de troshoek zal er een evenwicht zijn. Het is veel te veel rekenwerk om elke keer de tweede afgeleide van de troshoek te bepalen en daaruit de volgende troshoek te berekenen. Daarom is er een tabel gemaakt met voor elke snelheid en instroomhoek van het water een evenwichtswaarde van de troshoek. Het model gaat met een tweede orde gedrag achter dit setpoint aan. Dit tweede orde systeem is gebaseerd op de rotatietraagheid en -weerstand van de boot. De troshoek vertoont enige slingering en doorschot.

3.3.5 Uitvoer troskracht

De troskracht is de kracht die de sleepboot op de tros zet. De maximale troskracht is berekend voor de situaties dat de boot niet versnelt. Dit is in het algemeen het geval. De boot is namelijk in korte tijd op snelheid. De tijd dat de troskracht niet gelijk is aan de maximale troskracht als gevolg van de versnelling is zo kort dat de invloed ervan op de dynamica van het schip niet te merken is. Ook deze waarden staan in een tabel.

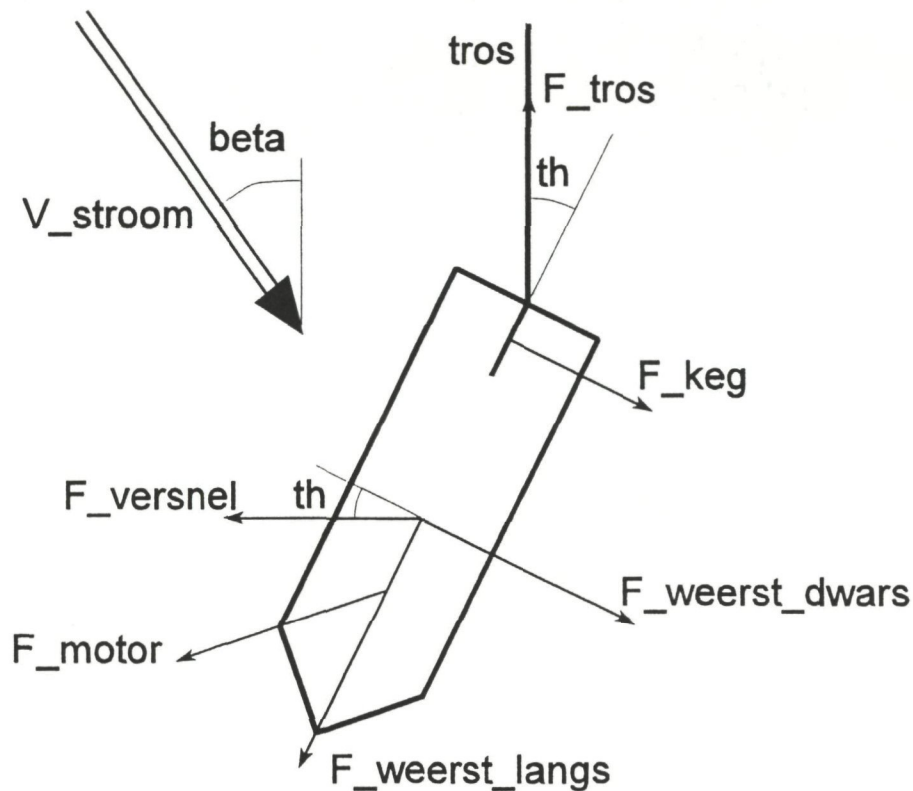
3.4. Bepaling waarden sleepboot karakteristieken

De karakteristieken van de sleepbootbeweging zijn gebaseerd op tabellen. Deze tabellen zijn met een apart programma gemaakt. Deze tabellen zijn gebaseerd op modellen van het krachtenspel op een sleepboot en van het gedrag van de kapitein. In de tabellen staan de troshoek, maximale versnelling en de maximale krachten voor diverse omstandigheden. Het zijn tweedimensionale tabellen met op de assen de stroomsnelheid en de stroomrichting van het water ten opzichte van de sleeptros.

Voor elke combinatie van sloopssnelheid, sleephoek en stroming moeten waarden gegeven worden. Toch moet de omvang van de tabellen beperkt blijven. Hiervoor worden alle omgevingsvariabelen omgerekend naar de lokale stroming rond de sleepboot. Hiervoor wordt de tros vastgelegd en de rest van de wereld draait er onderdoor. Hier wordt dus niet met de snelheid van het schip en met tros- en sleephoek gewerkt. De enige variabelen die overblijven zijn de snelheid van de stroming en de richting er van gerelateerd aan de sleeptros. Er is dus geen verschil tussen, bij een grote sleephoek vooruit varen, of bij een kleine sleephoek van positie veranderen. In beide gevallen stroomt het water dwars onder de boot door. De tabellen zijn opgehangen aan de oriëntatie van de tros in plaats van de sleepboot. De troshoek en dus ook oriëntatie van de sleepboot is zelf bepaald als gevolg van de stroming ten opzichte van de tros. Als de tabellen aan de troshoek gerelateerd waren zou er elke stap naar een troshoek geïtereerd moeten worden.

3.4.1 Krachtenspel op sleepboot

In dit model wordt er vanuit gegaan dat de door de motor geleverde maximale kracht niet afhankelijk is van de snelheid van de boot. Hierbij wordt aangenomen dat de snelheid ter plaatse van de schroef groter is dan de snelheid van de boot. Dit betekent dat de snelheid van het water bij de schroef niet significant verandert als de boot sneller gaat. De weerstand van de schroef en zijn rendement zullen dus ook niet significant veranderen. Hierdoor blijft de kracht, geleverd door de schroef, constant bij veranderende snelheden. Als maximale motorkracht is de kracht genomen die gemeten is bij snelheid nul.



figuur 3.8 Krachtenspel op sleepboot

De volgende krachten zijn van belang:

- Weerstandskrachten in dwars- en langsrichting.
- Dwars kracht op de keg.
- Motorkracht.
- Resulterende kracht, beschikbaar voor versnelling.
- Resulterende troskracht bij constante snelheid.

In de figuur zijn alle krachten en hun aangrijpingspunten weergegeven. De dubbele pijl linksboven is geen kracht maar de stroomrichting van het water ten opzichte van de tros.

3.4.2 Krachten evenwicht

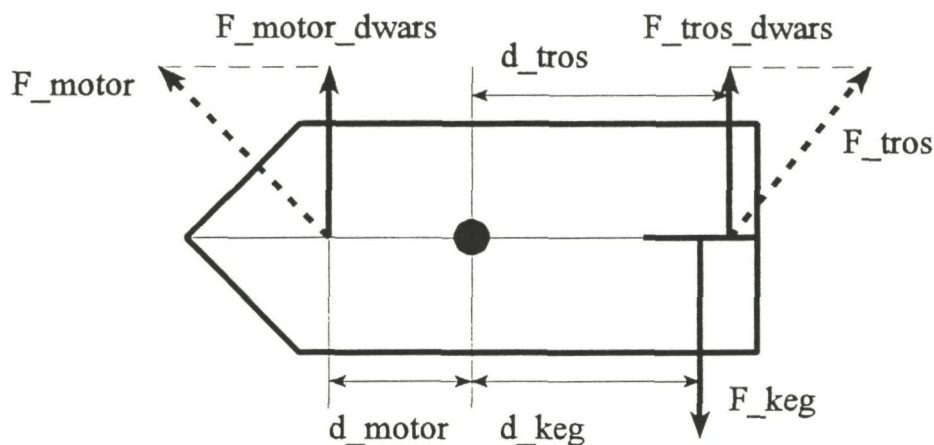
De enige kracht die de kapitein kan instellen is de geleverde kracht van de motor. Hiervan kan hij de grootte en de richting geheel vrij instellen. Bij het bepalen van de maximale versnellingen en krachten is er vanuit gegaan dat de kapitein het volle vermogen van de motor gebruikt. De kapitein zal zijn tros altijd strak houden. Hij zal eerst een deel van zijn motorkracht gebruiken om een eventuele negatieve weerstandskracht evenwijdig aan de tros op te heffen. Wat over is wordt gebruikt om zijn positie of snelheid te handhaven en vervolgens om te versnellen of om aan de tros te trekken.

Voor het bepalen van de maximale versnelling wordt, na het strak trekken van de tros, gekeken of er nog voldoende kracht over is om te versnellen. Is er voldoende kracht over dan is de maximale versnelling gelijk aan de nominale versnelling en zal de overgebleven kracht

gebruikt worden voor de tros. Is er te weinig dan zal de maximale versnelling kleiner zijn. De troskracht wordt dan alleen door de wrijvingskrachten bepaald. De maximale versnelling kan negatief zijn. In dit geval kan de boot zijn positie of snelheid niet handhaven.

De maximale afremversnelling wordt niet apart in een tabel gezet. Deze versnelling is te bepalen door de tabel gespiegeld uitgelezen.

In de statische situatie (geen versnellingen) zal de motorkracht eerst gebruikt worden om de weerstandskrachten dwars op de tros op te heffen. Wat er over is wordt op de tros gezet.



figuur 3.9 krachten en afstanden die momenten op de sleepboot leveren.

3.4.3 Momenten evenwicht

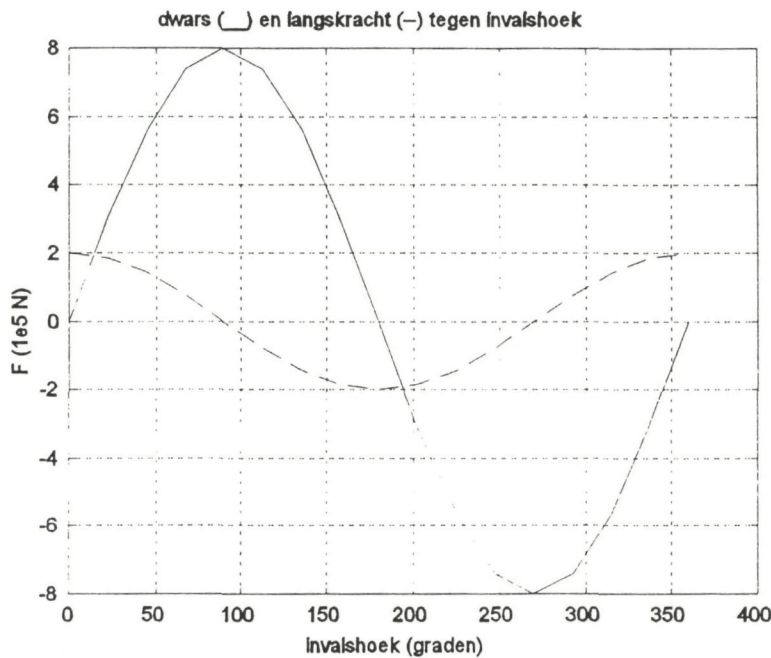
Voor het bepalen van de troshoek wordt het momentenevenwicht gebruikt. Er wordt uitgegaan van de statische troskracht (geen versnelling). De krachten van de keg en motor zullen de sleep willen draaien. De tros trekt hem weer recht. Dit evenwicht is door diverse niet-lineariteiten niet analytisch te bepalen. Er is geïtereerd tot er een evenwicht bereikt werd. De resulterende troshoek staat in de tabel.

De werkende momenten zijn: de dwars component van de motorkracht maal de afstand motor zwaartepunt, de dwars component van de troskracht maal de afstand tros-zwaartepunt en de kegkracht maal de afstand keg zwaartepunt.

3.4.4 Weerstandskrachten

De algemene theoretische weerstandsberekeningen gaan uit van een object dat symmetrisch is ten opzichte van de as van de stroming. De weerstand is dan gelijk aan: $\text{contante} \cdot A \cdot v^2$. Dit werkt echter alleen voor recht voor/achteruit of recht opzij gaan. Voor andere dan rechte hoeken voldoet dit model niet. Er is een weerstandsmodel nodig dat voor alle hoeken een waarde voor de weerstand geeft. Theoretisch is er geen eenvoudig weerstand model te vinden. Hier wordt geprobeerd een formule te vinden die goed past.

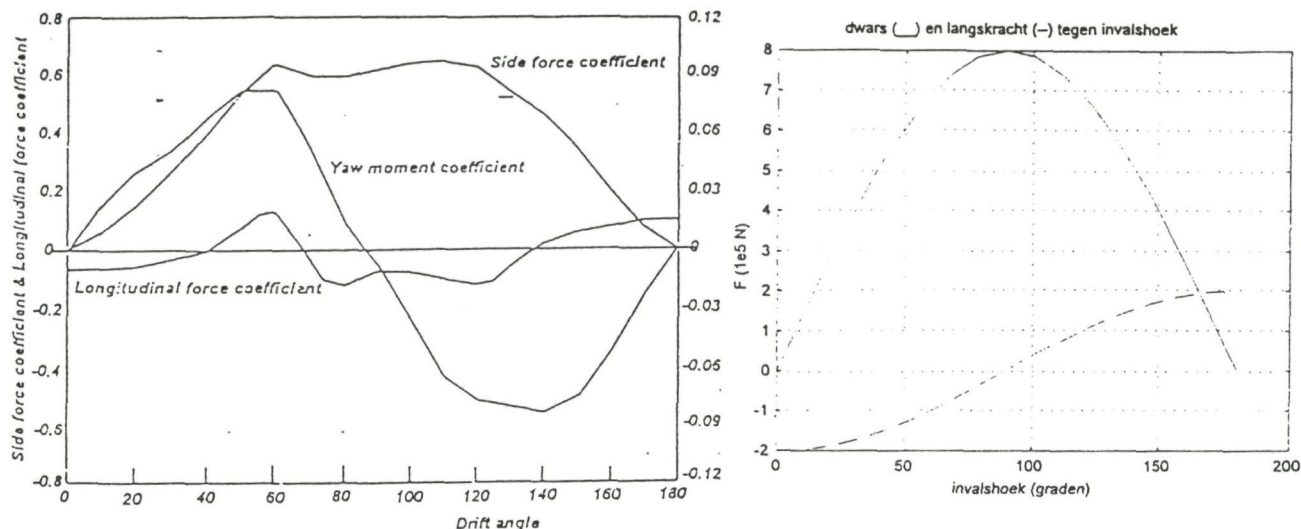
Er wordt uit gegaan van een object dat in langsrichting een kleine en in dwarsrichting een grote weerstandcoëfficiënt heeft. De snelheid wordt gekwadrateerd en ontbonden in langs- en dwarsrichting. De componenten van de snelheid in het kwadraat worden vervolgens vermenigvuldigd met de respectievelijke weerstand coëfficiënten. De krachten in langs- en dwarsrichting worden dan weer vectoriëel opgeteld. Hierdoor kan voor elke invalshoek een weerstandskracht berekend worden. In het geval van een cirkelvormige boot (volledig rotatie symmetrisch) geeft dit model dezelfde waarden als de algemene theorie. Voor de Texelbank genereert dit model de volgende waarden.



figuur 3.10 Lift- en driftkrachten

In figuur 3.10 zijn de lift- en driftkrachten te zien. De liftkracht staat dwars op de stroming en de driftkracht evenwijdig aan de stroming. Voor rechte hoeken, 0, 180 en 360 graden, is er geen lift maar wel een drift, die gelijk is aan de door de formule voor symmetrische objecten gegeven waarde.

De weerstandskrachten van een boot met vergelijkbare grootte, een ASD-Sleepboot staan in figuur 3.11. Deze grafiek is bepaald met modelproeven in een sleeptank. Om het vergelijken makkelijker te maken zijn de tekens van de langskrachten gelijk gemaakt.

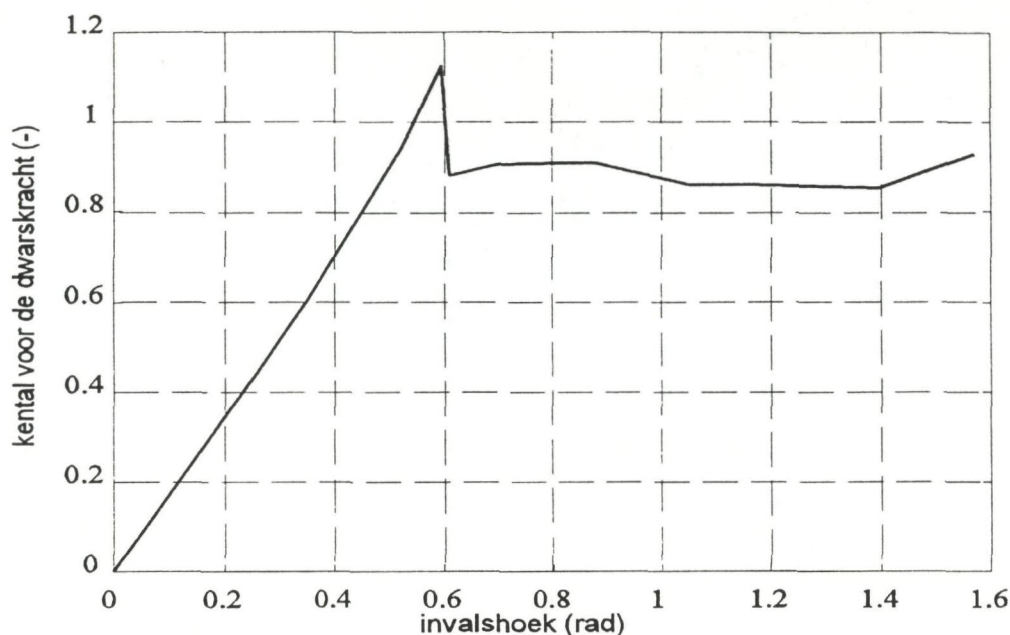


figuur 3.11 Krachten op ASD (praktijk) en Z-peller (model)

De side force coefficient komt overeen met de berekende dwarskracht. Tussen de longitudinal force coefficient en de langskracht is bij kleine hoeken een afwijking zichtbaar. Dit komt doordat de ASD-boot een langere slanker romp heeft. De stroming blijft hierdoor lang aanliggen en zorgt voor een grote liftkracht. Als deze liftkracht ontbonden wordt in langs- en dwarsrichting geeft dit een vergroting van de langskracht. Een Z-peller boot heeft niet zo'n slanke romp en zal dit effect minder hebben.

3.4.5 Keg krachten

Voor de keg is alleen de dwarskracht interessant. Om dicht bij de werkelijkheid te blijven is in plaats het hierboven beschreven model de karakteristiek van roerprofiel NACA-0015 genomen. Er is voor dit profiel gekozen omdat dit voor handen was en redelijk op een keg lijkt.



*Much
Tor.*

figuur 3.12 Dwarskracht op keg (kental) tegen invalshoek (rad)

In figuur 3.12 is goed te zien dat tot ongeveer 0.6 radialen de stroming blijft aanliggen. De kracht neemt toe met de invalshoek. Na 0.6 radialen laat de stroming los en daalt de kracht. Voor negatieve hoeken en hoeken groter dan een $1/2 \pi$ (≈ 1.57 rad) wordt de figuur gespiegeld.

3.5 Resultaten berekening

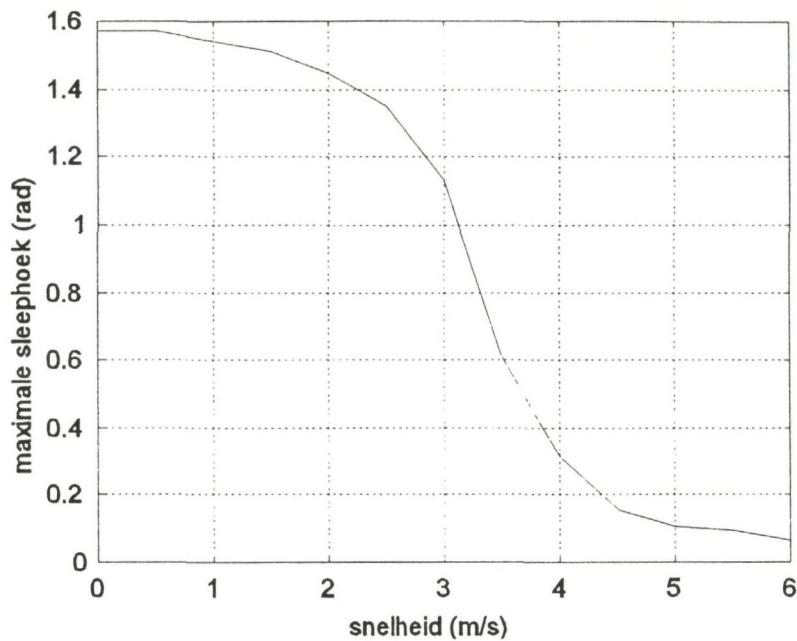
Voor de volgende variabelen zijn tabellen bepaald:

- maximale en minimale versnelling
- troshoek
- maximale statische troskracht.

3.5.1 Maximale en minimale versnelling

In tabel *im_dd_sh_max* zijn de maximale versnellingen uitgezet tegen de invalshoek en stroomsnelheid voor de relatieve stroming t.o.v. de sleepboot. Het maakt niet uit of de relatieve stroming veroorzaakt wordt door een positie verandering of door een absolute stroming.

Hier is goed te zien dat bij grote snelheden de maximale versnelling kleiner of zelfs negatief wordt. Deze negatieve versnelling treedt op als de boot met te grote snelheid rond gaat of als de boot bij grote voorwaartse snelheid van het schip met te grote sleephoek gaat varen. De sleepboot kan dit niet volhouden en zal vertragen.



figuur 3.13 Maximale sleephoek tegen snelheid schip.

3.5.2 Maximale Sleephoek

De maximale sleephoek is de hoek waarbij de zijwaartse component van de troskracht maximaal is. Dat wil zeggen de sleephoek waarbij de statische troskracht maal de sinus van de sleephoek maximaal is. De sleepboot zou nog wel verder kunnen uitzwaaien maar doet dat niet omdat het rendement dan erg snel daalt.

3.5.3 Maximale troskracht

De hier getoonde troskrachten zijn polair uitgezet. De richting van de vector geeft de sleephoek aan en de lengte de troskracht. Duidelijk is te zien dat bij hoge snelheden er in nog maar een klein gebied effectief geassisteerd kan worden. Bij snelheid nul kan er overal even hard getrokken worden

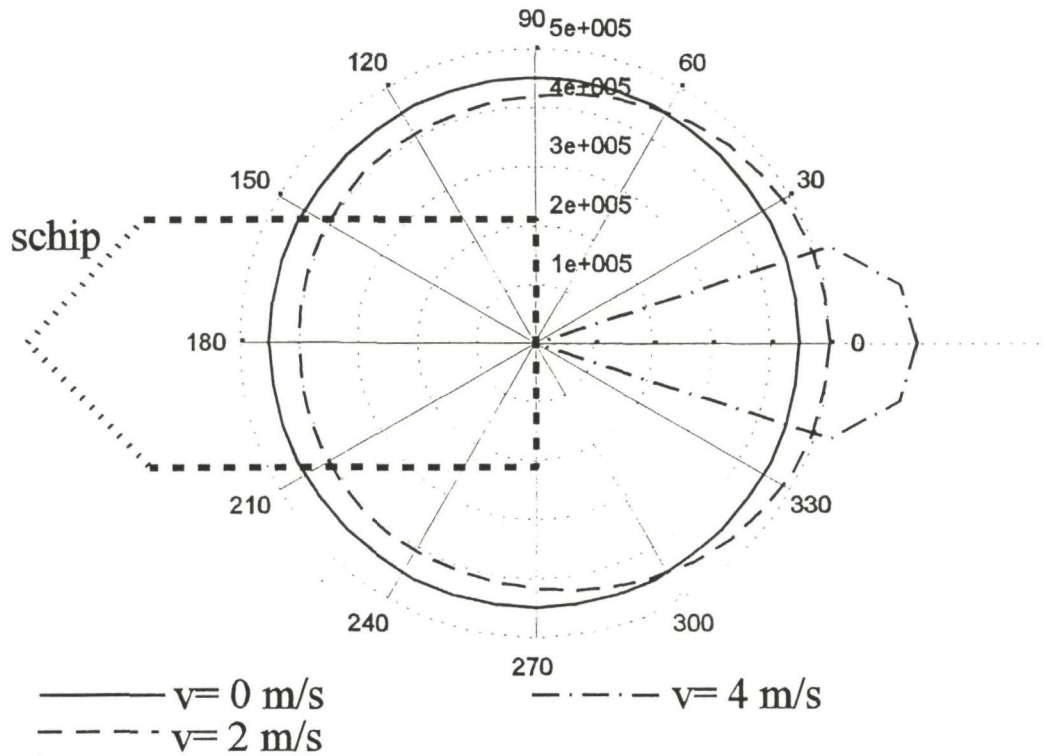


figure 3.14 Troskracht tegen hoek bij diverse snelheden.

Hoofdstuk 4

RESULTATEN VAN DE SIMULATIE

In dit hoofdstuk worden de resultaten, zoals die door het model gegenereerd worden gepresenteerd. Eerst wordt de responsie op een commando bij verschillende snelheden gegeven. Vervolgens worden de resultaten van het ontwijken van een boei gepresenteerd. Tenslotte wordt de vaart door een smalle doorgang gesimuleerd.

In dit hoofdstuk staan 3 soorten figuren: bovenaanzichten, tros- en sleephoek tegen de tijd, en restricties tegen de tijd.

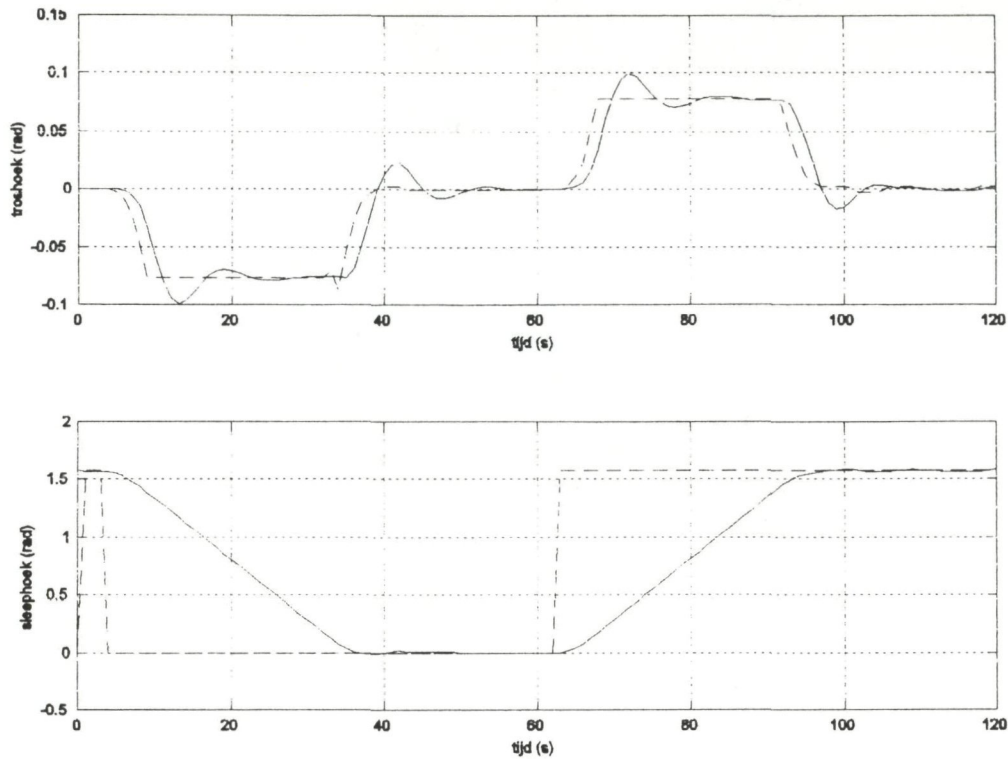
Op de figuren met een bovenaanzicht zijn de posities van het schip, de sleepboot en de eventuele obstakels op verschillende tijdstippen te zien. Van het schip zijn alleen de eerste en de laatste positie afgebeeld. Voor de andere tijdstippen staat er een streepje dat de richting van het schip aan geeft. De sleepboot is om de paar seconden afgebeeld. Van de sleepboot is de positie en de oriëntatie te zien. Met een onderbroken lijn wordt het setpoint voor de sleepbootpositie aangegeven.

In de sleep- en troshoek tegen tijd figuren zijn behalve de resulterende sleep en troshoeken ook de setpoints voor de uitvoeringsroutine afgebeeld. De sleep- en troshoek zijn afgebeeld met doorgetrokken lijnen en de respectievelijke setpoints met onderbroken lijnen.

In de figuren met restrictie tegen tijd staan positie van de obstakels t.o.v. het schip, de restricties voor het setpoint van de sleephoek, het setpoint voor de sleephoek en de sleephoek afgebeeld. De obstakels zijn met doorgetrokken verticale strepen aangegeven. In de figuur zien deze er uit als donkere banden. De restricties voor het setpoint zijn met verticale gestreepte lijnen aangegeven. Deze zien er uit als een lichte band boven en onder. Het setpoint is elke tijdstap met een kruisje weergegeven. De resulterende sleephoek is weergegeven met een gestreepte lijn.

4.1 Responsie op loods commando

In figuur 4.1 staat de responsie van het model op een loodscommando. De setpoints voor zowel sleephoek als troshoek zijn gestreept weergegeven. De resulterende hoeken is met een doorlopende lijn weergegeven. In het begin trekt de sleepboot vol aan stuurboord (sleephoek is maximaal positief). Na één seconde krijgt de sleepboot de opdracht om recht achter het schip te gaan trekken (sleephoek is nul). Na 60 seconde wordt de boot weer teruggestuurd naar stuurboord. De voorwaartse snelheid van het schip is 0 m/s; het schip ligt stil.

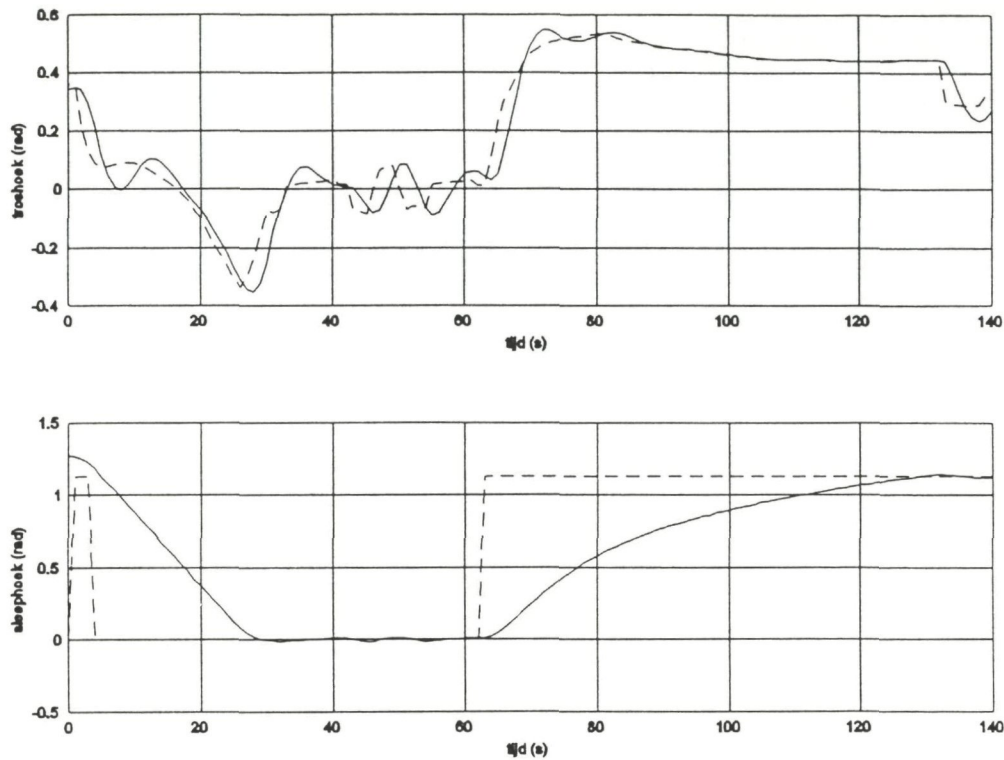


Figuur 4.1 Responsie op loodscommando bij $v=0$.

Na $t=1$ wordt het loodscommando veranderd. Het duurt 1 à 2 cycli voordat de beslissings routine daaruit het nieuwe setpoint voor de sleeppoek berekend is. Het uitvoerings gedeelte versnelt de sleeboot naar een constante snelheid en houdt die vast. Vlak voordat de boot bij zijn setpoint is remt hij af en stopt. Tijdens de zijwaartse beweging wordt de keg door het water weggeduwd waardoor een troshoek ongelijk aan nul ontstaat. Doordat de zijwaartse snelheid constant is, is ook het setpoint voor de troshoek constant. De troshoek gaat slingerend naar dit setpoint toe.

Na $t=60$ wordt de sleeboot weer naar zijn maximale sleeppoek gestuurd. De zijwaartse snelheid is gelijk aan die bij het naar sleeppoek=0 gaan, zij het dat het teken anders is. De bij behorende troshoek is, op het teken na, ook het zelfde.

De sprong in het setpoint voor de sleeppoek op $t=1$ komt doordat het één cyclus duurt voordat het eerste setpoint berekend is.



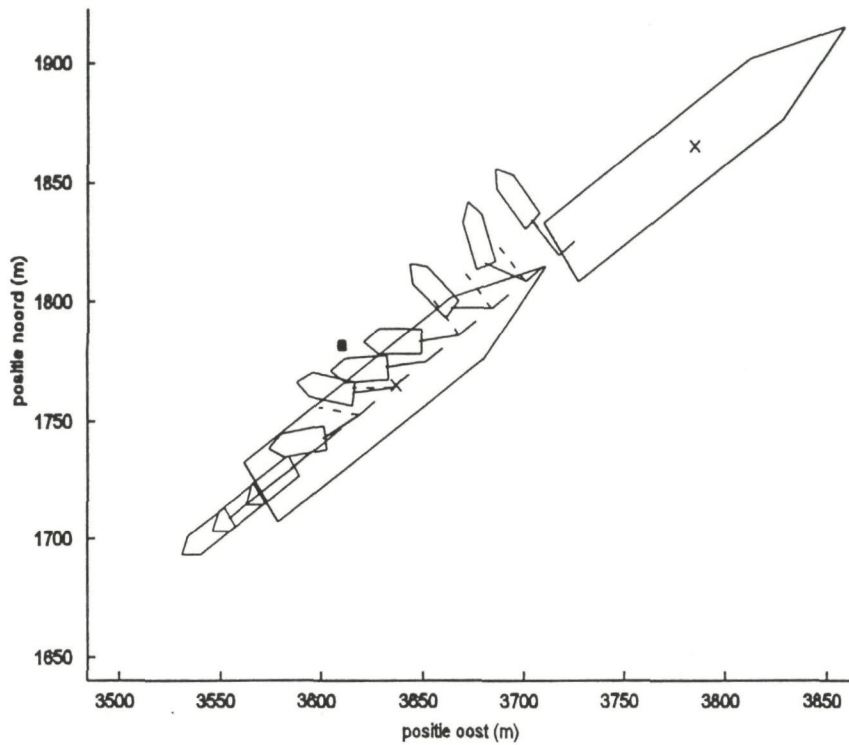
figuur 4.2 Responsie op loodscommando bij $v=3$ m/s.

In figuur 4.2 wordt dezelfde manoeuvre gemaakt als in figuur 4.1. Het verschil is echter dat het schip nu met een voorwaartse snelheid van 3 m/s vaart. De maximale sleefhoek is bij deze snelheid kleiner. Als de boot naar binnen gaat, dwz van een grote sleefhoek naar een kleine, zal hij ten opzichte van schip naar achteren gaan. Het schip vaart naar voren waardoor de sleepboot slechts langzaam ten opzichte van het water beweegt. Dit is goed te zien aan de troshoek bij de naar binnen gaande beweging. Deze is kleiner dan in de beginpositie.

Als de sleepboot naar buiten gaat, zal hij sneller ten opzichte van het water gaan. Zijn snelheid ten opzichte van het water is begrensd. Hij gaat langzamer naar buiten dan naar binnen. Dit verschil in snelheid is ook duidelijk te zien in de troshoek. Als de sleepboot naar binnen gaat is de troshoek klein, kleiner nog dan in de beginsituatie. Gaat de boot naar buiten, dan ontstaat er een grote troshoek.

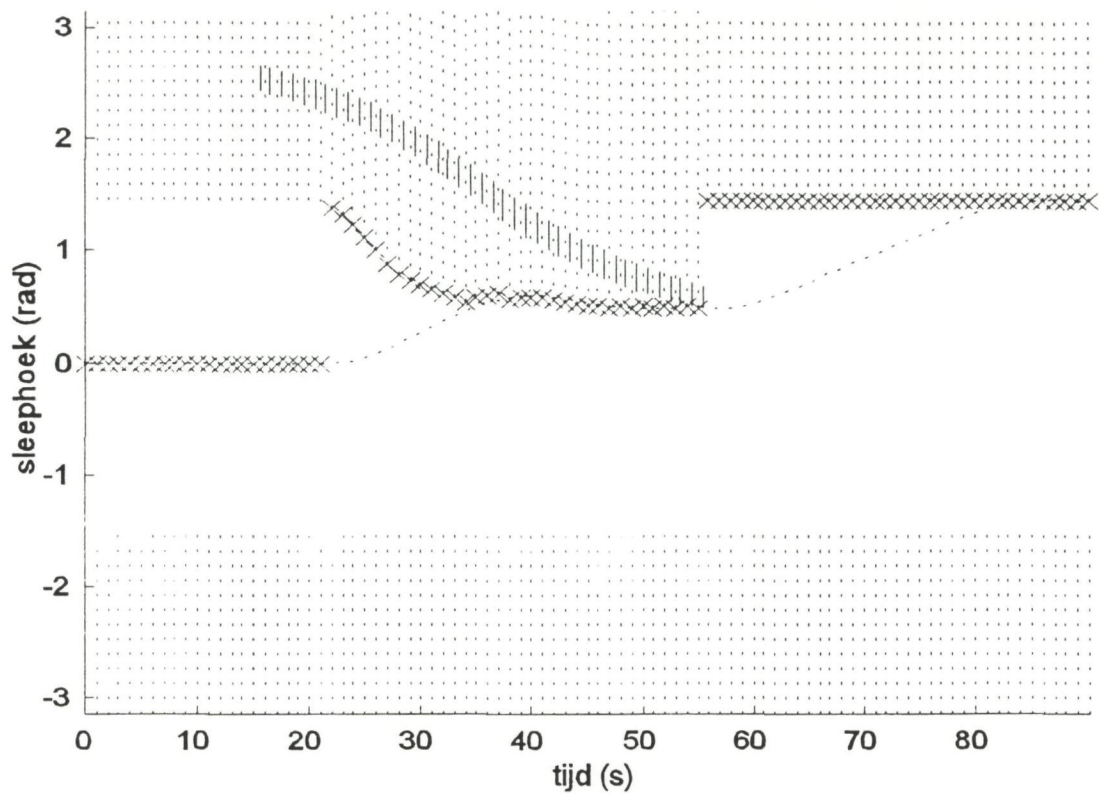
4.3 Boei ontwijken

Hier moet de sleepboot een boei ontwijken net op het moment dat hij er door de loods naartoe gestuurd wordt. Het model begint met het uitvoeren van het loodscommando, maar moet halverwege zijn manoeuvre de boei ontwijken.



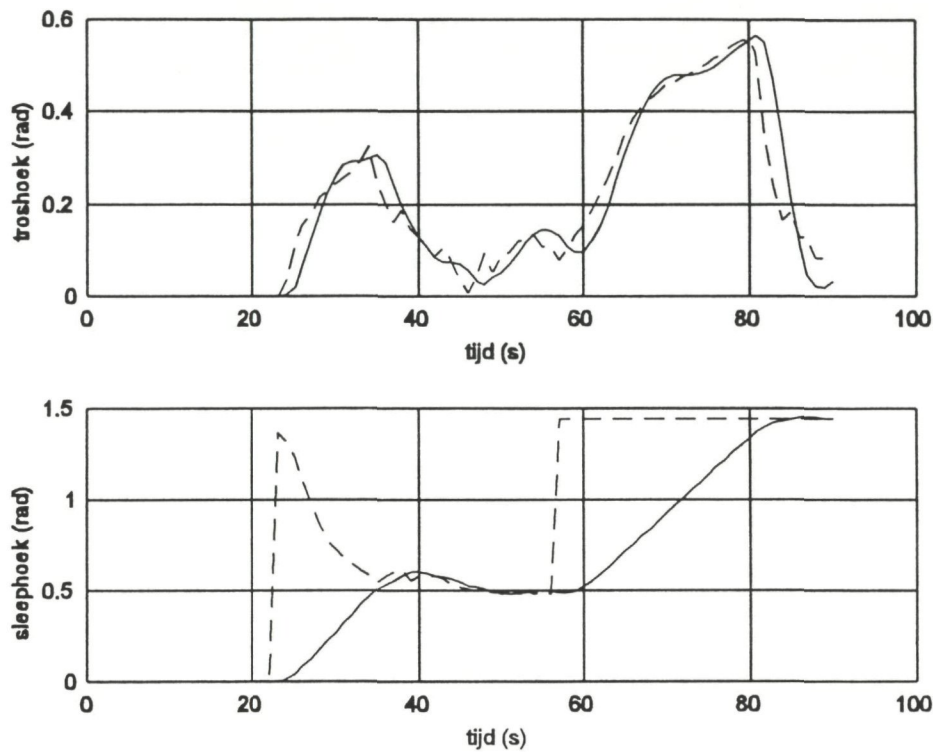
figuur 4.3 Bovenanzicht van het ontwijken van een boei

In het bovenanzicht van figuur 4.3 is te zien dat de sleepboot eerst recht achter het schip hangt, daarna naar buiten gaat, even inhoudt en vervolgens helemaal naar buiten gaat.



figuur 4.4 Object en resticties bij een boei

Op het moment dat de sleepboot naar de boei toegaat en dus een snelheid heeft naar de boei toe, wordt zijn uitwijkbaan langer. Het setpoint voor de sleephoek ligt hier dan ook verder van de boei af dan normaal. Er wordt voldoende tijd en ruimte gereserveerd om af te remmen. Dit effect is het beste te zien op $t=30$.

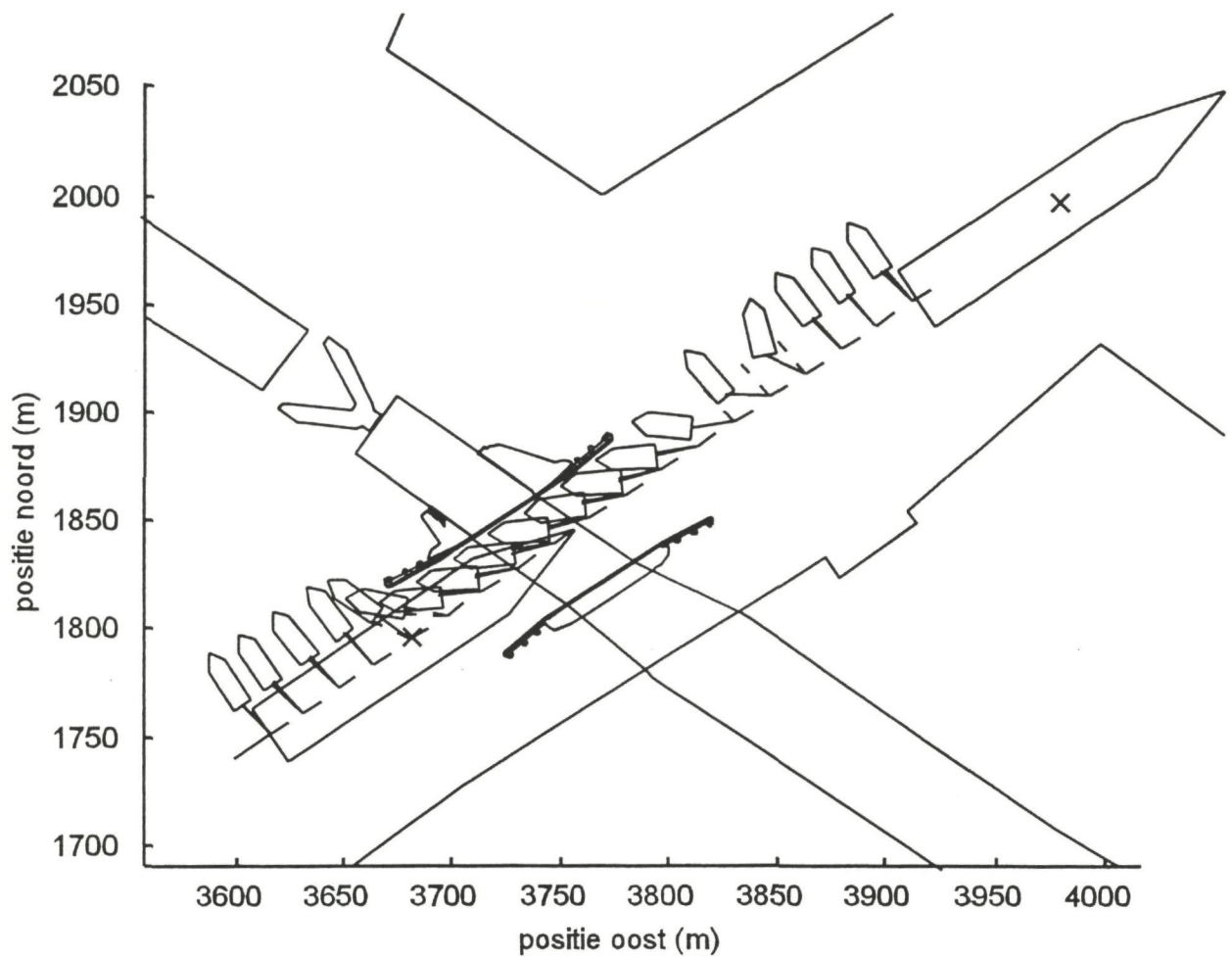


figuur 4.5 Tros- en sleephoeken bij het uitwijken voor een boei.

In figuur 4.5 zijn de resulterende sleep- en troshoeken uitgezet. Tijdens zijwaartse bewegingen van de sleephoek is de troshoek vrij groot. Doordat de combinatie schip en sleepboot een voorwaartse snelheid heeft blijft de sleepboot ook tijdens het uitwijken voor de boei een zijwaartse snelheid houden. Dit is te zien aan de troshoek die positief blijft.

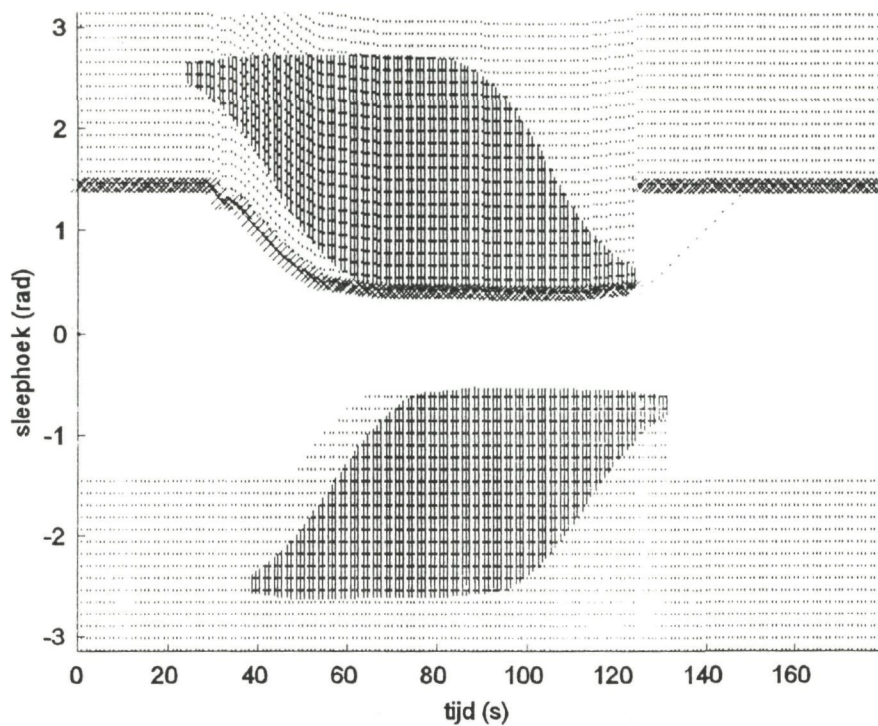
4.3 Brug doorgang

De sleepboot krijgt hier de opdracht om vol aan bakboord te trekken. De gehele combinatie gaat met 2 m/s door een smalle doorgang. In dit geval is de Erasmusbrug in Rotterdam gebruikt.



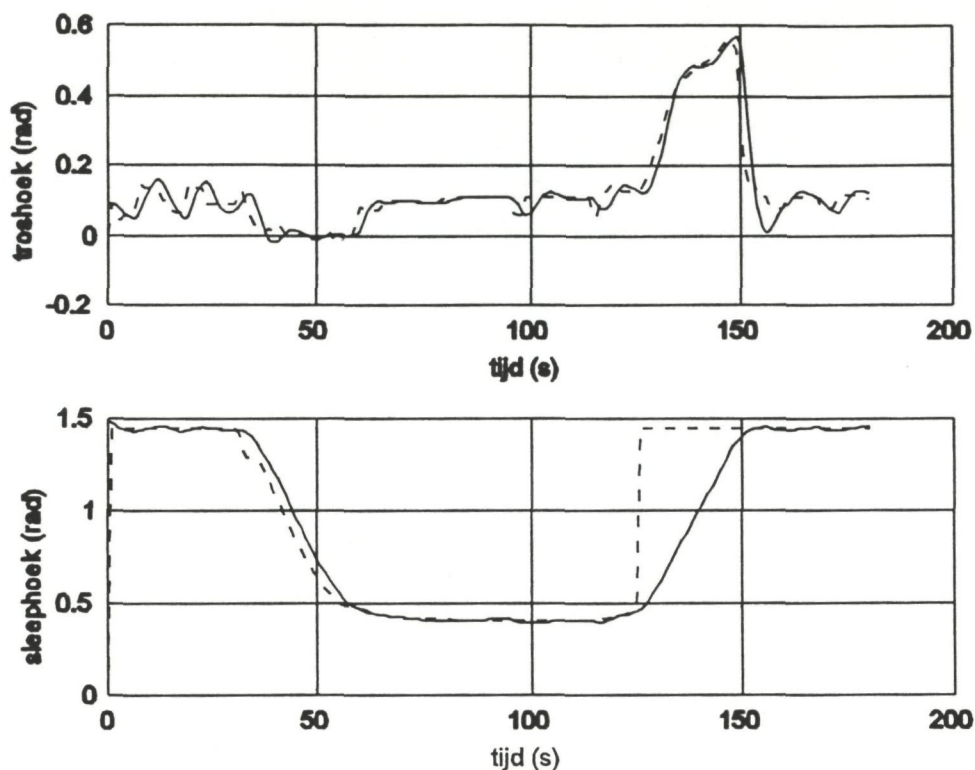
figuur 4.6 Bovenaanzicht doorgang door Erasmusbrug

In de figuur is de gehele brug afgebeeld. In het model zijn alleen de dikke lijnen als obstakels gedefinieerd. Dit om rekentijd te besparen.



figuur 4.7 Objecten en restricties bij een brugdoorgang

In figuur 4.7 zijn de restricties te zien bij een brugdoorgang. De donkere banden zijn de relatieve posities van de brugranden.



figuur 4.8 Sleep- en troshoek bij een brugdoorgang.

In figuur 4.8 zijn de resulterende sleep- en tros hoeken te zien. In de sleephoekfiguur is te zien dat het setpoint eerst langzaam naar binnen gaat en na de doorgang direct weer naar maximaal gaat.

Hoofdstuk 5

VALIDATIE

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het model vergeleken met sleepbootbewegingen uit de praktijk. Er zouden eigenlijk twee verschillende aspecten van het model gevalideerd moeten worden nl. het veranderen van positie ten gevolge van een loodscommando en het zelfstandig ontwijken van objecten. Het ontwijken van objecten komt in de praktijk niet vaak voor. Dit is ook niet waargenomen tijdens de validatie en zal hier verder niet behandeld worden.

De twee variabelen die de positie en oriëntatie van de sleepboot bepalen zijn de sleephoek en de troshoek. Van deze variabelen moet het verloop in de tijd ten gevolge van een loodscommando gemeten worden.

In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt beschreven welke mogelijke manieren er zijn om aan de benodigde informatie te komen. In het tweede deel wordt de gekozen methode verder uitgewerkt. In het derde deel worden de gemeten resultaten vergeleken met de gesimuleerde resultaten. Tenslotte worden de gemaakte aanpassingen aan het model besproken.

5.1 Mogelijkheden validatie

Er zijn drie locaties vanwaar gemeten kan worden. Van het schip, van de wal en van de sleepboot. Van elke locatie worden hierna de mogelijkheden en beperkingen behandeld.

Vanaf het schip is er meestal een goed uitzicht over de sleepboot. De brug van het schip staat meestal achter op het schip en steekt ver boven de sleepboot uit. De sleepboot wordt van boven bekeken. De sleep- en troshoek zijn duidelijk te zien en kunnen eventueel opgenomen worden met een videocamera.

Helaas is dit in de praktijk niet gemakkelijk uit te voeren. Om mee te varen moet er toestemming komen van de loods, de kapitein van het schip en van de reder. Om al deze toestemmingen te krijgen, is slechts weinig tijd beschikbaar. Een paar uur voordat het schip de haven bereikt is pas bekend welke sleepboten gaan assisteren. De loods gaat al in een vroeg stadium aan boord van het schip. Tevens willen de loodsen eigenlijk niet dat er iemand mee gaat omdat de overstap tussen loodsboot en schip voor een leek gevaarlijk is.

Vanaf de wal wordt het gehele Rijnmondgebied in de gaten gehouden met behulp van radar ten behoeve van de Vessel Traffic Services (VTS). Alle scheepsbewegingen worden hier geregistreerd en gecoördineerd. De informatie van diverse radarposten wordt gecombineerd en digitaal verwerkt. De operator krijgt alleen de bewerkte beelden te zien. Doordat de radarposten ver van de schip/sleepboot combinatie af staan, zijn ze veelal niet afzonderlijk

te zien. De gehele combinatie wordt als één enkel object verwerkt. Er is hier geen informatie beschikbaar over de positie en oriëntatie van de sleepboot.

De derde locatie is aan boord van de sleepboot. Op de sleepboot zijn diverse informatiebronnen aanwezig.

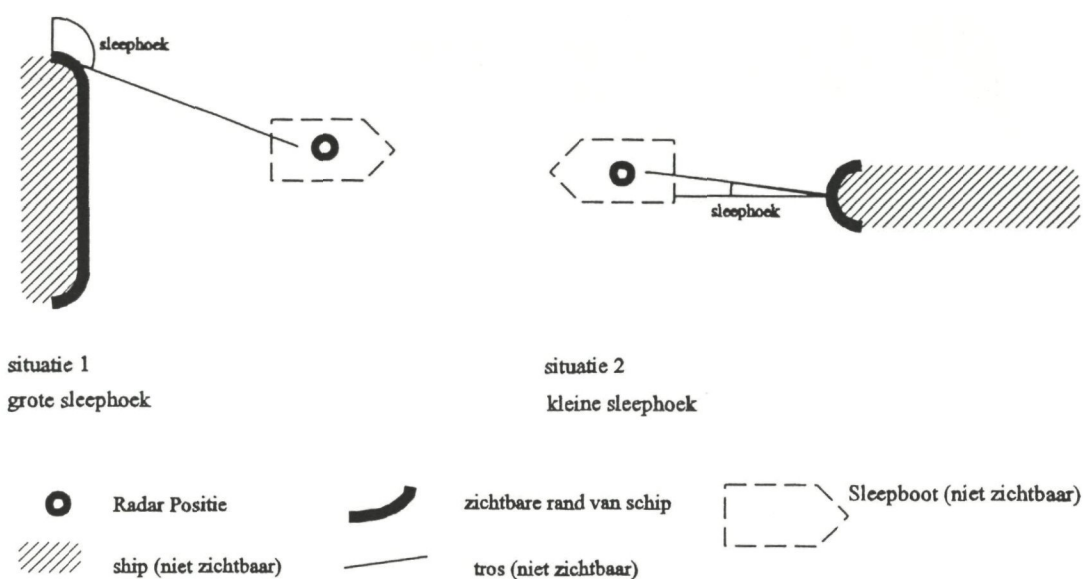
Vanaf de brug is de tros van boven te zien. De troshoek kan worden opgenomen met een videocamera. De positie van de sleepboot ten opzicht van het schip (sleephoek) is niet goed waarneembaar.

Op het kompas is de oriëntatie van de sleepboot ten opzichte van de omgeving te bepalen. Een derde informatiebron is de radar. Op de radar is te zien waar het schip zich bevindt. Hieruit kan de troshoek bepaald worden. Aan de oriëntatie van de sleepboot kan dan, bij gelijkblijvende oriëntatie van het schip, de sleephoek bepaald worden.

5.2 Uitvoering gekozen methode

Er is gekozen voor het maken van video-opnames van het radarbeeld van de sleepboot. Alle informatie voor het bepalen van de tros en sleephoek is af te leiden uit het radarbeeld. De communicatie tussen loods en kapitein wordt ook opgenomen. Andere bijzonderheden werden tijdens de vaart op een tijdsbalk genoteerd.

Het radarbeeld is als volgt opgebouwd. In het midden bevindt zich de radar zelf, dit komt overeen met de positie van de sleepboot. Vanaf het midden loopt een lijn die de koers van de boot aangeeft. Bij de instellingen die op de Texelbank gebruikt werden loopt deze lijn recht omhoog. Het schip geeft een vrij grote echo (vlek op beeld) die zich dicht bij het midden bevindt. De afstand tussen boot en schip is ongeveer een tiende van de grootte van het beeldscherm. Alleen die rand van het schip, die naar de sleepboot gekeerd is, is zichtbaar. Alles wat achter de eerste echo zit is onbetrouwbaar (de zgn. valse echos).



figuur 5.1 Voorbeeld van een radar echo van een schip met grote sleephoek (1) en met kleine troshoek (2)

In figuur 5.1 is aangegeven wat er op een radarbeeld wel en niet te zien is. Het rondje in het midden van de sleepboot is de positie van de radar. Dit is te zien als een stip in het midden van het scherm. De sleepboot zelf is niet te zien. Er zijn twee schepen afgebeeld. Van deze schepen is alleen die kant die naar de sleepboot gericht is te zien op de radar. In de linker situatie is de sleephoek groot. Het schip ligt dwars zodat de zijkant van het schip door de radar gezien wordt. Hier mee kan de heading van het schip gemeten worden. De hoek tussen de heading van het schip en de lijn tussen sleepboot en achterkant schip is de sleephoek. De lijn tussen schip en boot (sleeptros) is niet zichtbaar maar kan makkelijk in getekend worden.

In de rechter situatie ligt het schip in het verlengde van de boot. De zijkant van het schip wordt niet gezien door de radar. Het is niet mogelijk om de heading van het schip te meten en de grote van de sleephoek te bepalen. De sleephoek is alleen goed te bepalen als deze groot is.

Om dit op te lossen is er vanuit gegaan dat tijdens een manoeuvre van de sleepboot het schip niet van oriëntatie verandert. Bij een grote sleephoek wordt de oriëntatie van het schip ten opzichte van een wal bepaald. De sleephoek wordt dan verder bepaald ten opzichte van die wal.

Om de twee seconden zijn de positie en oriëntatie van de sleepboot ten opzichte van een walkant overgetekend op een overheadsheet. De positie van het schip is ook elke keer genoteerd. De oriëntatie van het schip is alleen bij grote sleephoeken overgenomen. Later zijn met behulp van een geodriehoek de sleep- en troshoek opgemeten. De oriëntatie van het schip (ten opzichte van de wal) is hierbij constant verondersteld.

5.3 Resultaten en vergelijking

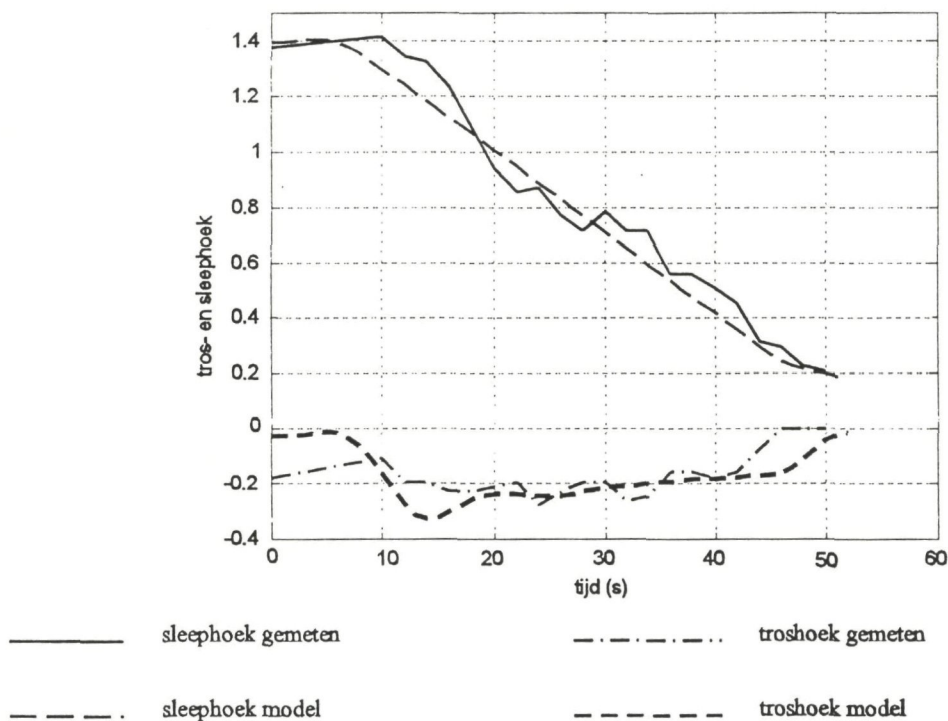
Van de opgenomen radarbeelden zijn slechts enkele delen bruikbaar. Tijdens grote delen van de vaart werd er alleen maar recht achter het schip gevaren. Het is niet nodig geweest om voor objecten uit te wijken. Er zijn wel een viertal interessante manoeuvres gefilmd namelijk:

- twee keer van een grote naar een kleine sleephoek oftewel van buiten naar binnen.
- van een kleine naar een grote sleephoek oftewel van binnen naar buiten.
- van uit dobberen met grote troshoek naar trekken met kleine troshoek.

De resultaten van het model zijn gemaakt nadat de informatie van de evaluatie verwerkt is. De resultaten van het model zijn 'gefit'. Wat er veranderd is staat in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk.

5.3.1 Van buiten naar binnen

De combinatie vaart hier achteruit de Missisipihaven uit. De achtersleepboot fungeert hier dus als voorsleepboot. De snelheid is 1,1 m/s (ca.2,2 knoop). De sleepboot trekt vol aan bakboord en krijgt de opdracht van de loods om recht achter het schip te gaan varen.

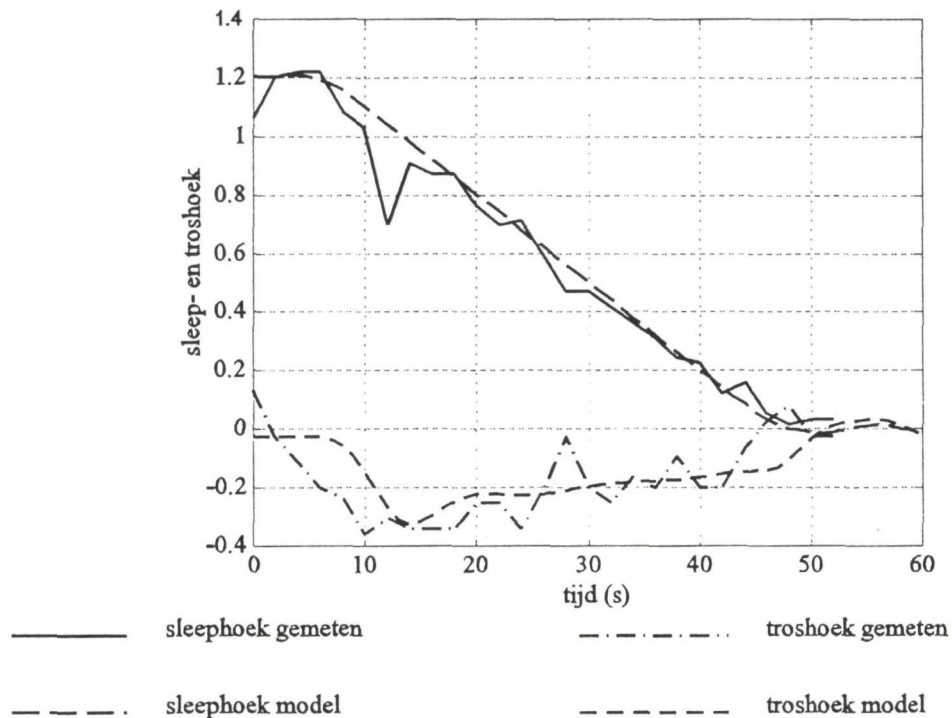


figuur 5.2 Gemeten en berekende sleep- en troshoek

De gesimuleerde sleephoek volgt hier de gemeten sleephoek. Het schokkerige van de gemeten lijn komt door de meetonauwkeurigheid.

5.3.2 Van buiten naar binnen

Deze situatie is gelijk aan de eerste situatie. De sleepboot moet van een grote sleephoek naar een kleine gaan.



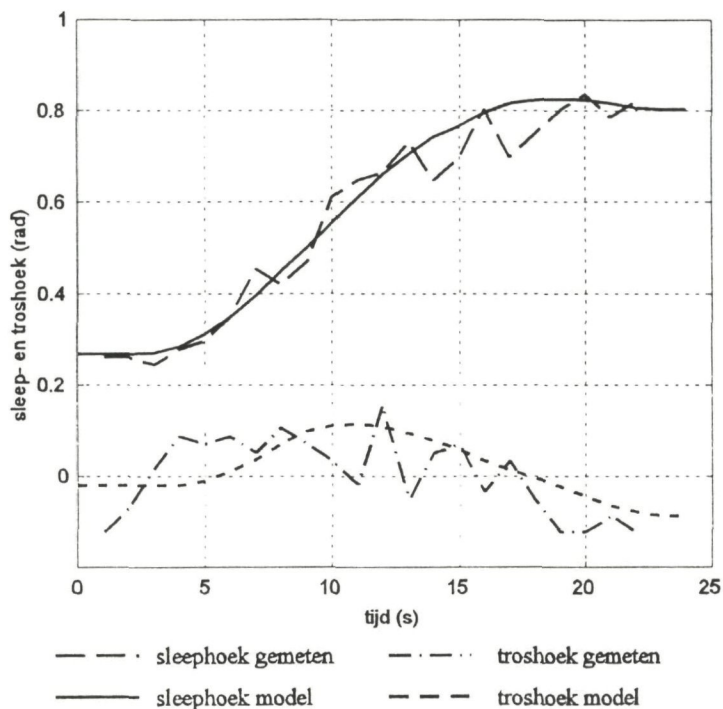
figuur 5.4 Gemeten en berekende tros- en sleephoek tegen de tijd

De gesimuleerde troshoek blijft hier in het begin wat achter bij de echte troshoek. Dit komt doordat het model de troshoek bepaalt uitgaande van een statische situatie. Als de boot versnelt om weg te komen, is de dwarsnelheid nog klein. De dwarskracht op de keg is klein en dat deel van de motorkracht dat voor een moment zorgt is klein. De troshoek is dan ook klein.

In de realiteit levert de motor een dwarskracht om te versnellen. Deze kracht zorgt voor een moment en dus voor een grotere troshoek. Bij het afremmen treedt hetzelfde effect op.

5.3.3 Van binnen naar buiten

De combinatie vaart nog steeds in de zelfde haven als hiervoor. De combinatie vaart achteruit met 1,1 m/s. De sleepboot krijgt nu de opdracht om vanuit een positie achter het schip naar bakboord te gaan.

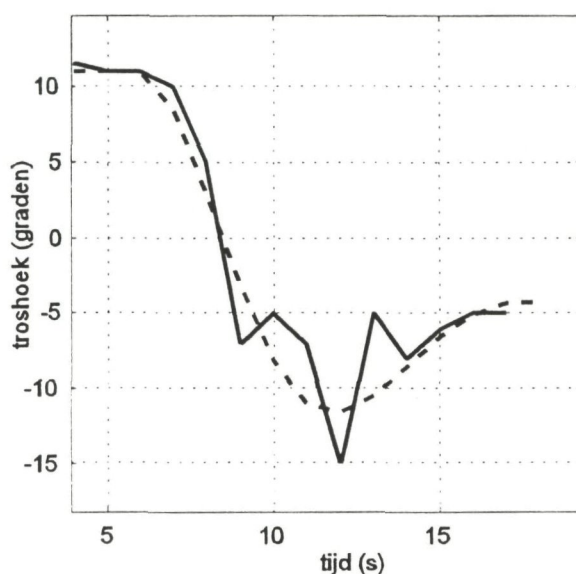


figuur 5.3 Gemeten en berekende sleep- en troshoek

De vorm van het gesimuleerde sleephoekverloop komt overeen met het gemeten verloop. De snelheid van het veranderen van sleephoek is gelijk aan die in de situatie hiervoor. De snelheid die de kapitein aanhoudt is onafhankelijk van zijn bewegingsrichting. Ook hier is te zien dat de gesimuleerde troshoek achterloopt bij de gemeten troshoek.

5.3.4 Slingering

De sleepboot is net vastgemaakt aan een vertrekkend schip en ligt te wachten tot er gesleept moet worden. Door het dobberen is er een grote troshoek ontstaan. Als er gesleept gaat worden komt de boot weer in het verlengde van zijn tros te liggen.



— gemeten troshoek - - - - - gesimuleerde troshoek

figuur 5.4 Gemeten en gesimuleerde troshoek.

In figuur 5.4 is een stapresponsie te zien van 12 naar -6 graden. In de figuur is te zien dat de troshoek een slingering en doorschot vertoont.

5.4 Gemaakte aanpassingen

Naar aanleiding van de verrichte metingen is er een aantal aanpassingen gemaakt aan het model. Deze betreffen het veranderen van de grootte van een aantal parameters. Elementaire veranderingen waren niet nodig.

5.4.1 Sleephoek

De vorm van het sleephoekverloop komt overeen met de metingen. De enige aanpassing die hier gedaan is, is de snelheid. Bij de validatie is met een andere kapitein meegevaren dan bij de eerste schatting van de snelheid. Het verschil in snelheid kan veroorzaakt worden door een ander gedrag van de tweede kapitein of door een onnauwkeurige schatting van de snelheid bij de eerste kapitein.

5.4.2 Troshoek.

De troshoek was te klein. Om de troshoek te vergroten is het zwaartepunt meer naar voren geplaatst. Ook de kegkracht is vergroot. De keg zorgt nu voor een groter draaiend moment en de motor corrigeert nu minder.

In eerste instantie is het zwaartepunt in het midden van de boot gekozen. Dit is niet helemaal juist omdat de opbouw wat naar voren staat. Het achterdek is eigenlijk een lege ruimte en draagt dus minder bij aan het gewicht van de boot. Het zwaartepunt ligt dus iets voor het midden.

De kegkracht is in eerste instantie gebaseerd op de keg alleen. Door het naar voren halen van het zwaartepunt ligt het drukingspunt niet meer in het zwaartepunt. Het extra moment dat daardoor ontstaat wordt in het model bereikt door de kegkracht te vergroten. De kegkracht is niet meer alleen de kracht op de keg, maar is de resultante van alle asymmetrische krachten op de romp.

5.4.3 Slingering troshoek

De originele variabelen voor het tweede orde troshoek model, gebaseerd op geschatte traagheidsmoment, rotatiewrijving en troskracht, vertoonden een slingering met een veel te hoge frequentie. Deze is vrij snel vervangen door een 'mooie waarde' dat wil zeggen gebaseerd op een schatting van de frequentie en overshoot in de praktijk. Uiteindelijk is de rotatietraagheid zo ver opgeschroefd dat de stapresponsie overeen komt met de resultaten van de meting.

Hoofdstuk 6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

- Uit de validatie blijkt dat het model bij positie veranderingen van een tractor Z-peller achtersleepboot een reële baan genereert.
- Het model is in staat om continu de positie en oriëntatie van de sleepboot afhankelijk van de omgevingscondities te bepalen.
- Uit de simulatieresultaten blijkt dat het model zelfstandig kan uitwijken voor objecten.
- Met dit model kan de besturing van een (gesimuleerde) achtersleepboot geautomatiseerd worden. Hierdoor wordt het sleepboot gedrag onafhankelijk van de kennis en de beschikbare aandacht van de operator.
- Het model werkt ook als de combinatie achteruit vaart. In dit geval gedraagt de achtersleepboot zich als een voorsleepboot. Het model is dus ook geschikt om een tractor voorboot te simuleren.

6.2 Aanbevelingen

Met enkele kleine wijzigingen zijn meer mogelijkheden met het model:

Om het model voor een tractor voorsleepboot model te gebruiken moeten de tekens van een aantal variabelen aan gepast worden. Softwarematig is dit eenvoudig te ^{realiseren} regelen.

Het ontwijken van bewegende objecten is mogelijk. Voor tijdstippen tot aan de predictiehorizon wordt de positie van eigen schip voorspeld. Voor elke positie worden de restricties bepaald. In plaats van de positie van een stilstaand object te gebruiken moet dan de voorspelde positie van het bewegende object gebruikt worden. Het model ziet dan verder geen verschil. Het enige dat nodig is, is een module die uitgaande van huidige koers en hoekverdraaiing van het andere object de toekomstige positie ervan voorspelt.

Er is nog een tijdwinst te behalen door de horizon van de voorspeller afhankelijk te maken van de situatie. Als er snel uitgeweken kan worden hoeft er minder ver vooruit gekeken te worden. Uit de tijd die nodig is om de uitwijkbaan te berekenen kan de predictiehorizon van de volgende cyclus bepaald worden.

In het model is uitgegaan van een direct slepende tractorboot. Dit hoeft niet per sé een Z-peller boot te zijn. In principe is het mogelijk om dit model ook te gebruiken voor het direct slepen met een ASD of Voiht boot. Als achterboot zullen deze types door hun vorm zelden direct kunnen slepen. Als ze als voorboot ingezet worden zullen ze wel direct slepen. Het zou mogelijk moeten zijn om de het voorboot-gedrag van deze types met dit model te simuleren. Door de grotere keg resp. grotere afstand tussen motor en zwaartepunt zal de troshoek anders zijn. Deze waarden moeten gemeten worden. Bovendien moeten de aannamen voor het gedrag van de kapitein nog gevalideerd worden.

Om de set sleepbootmodellen compleet te maken, moet er nog een apart model gemaakt worden voor het indirect slepen door Voiht en ASD boten. Bovendien moet het direct slepen voor deze typen dit model aangepast en gevalideerd worden.

LITERATUURLIJST

- N.H. Bakker, Model voor het genereren van realistisch sleepbootassistentie, Afstudeerverslag T.U. Delft, Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek, laboratorium Meet- en Regeltechniek, mei 1995
- J. Brix et. al. Manoeuvring Technical Manual, Seehafen Verlaag, Hamburg
- H. Hensen, Sleepboten. Ontwikkelingen (V), De Nederlandse Loods, nov/dec 1989.
- H. Hensen, Harbor tugs; Types and assisting methods, All Marine, Rotterdam, 1990.
- H. Hensen, Sleepboten. Risicovolle situaties, De Nederlandse Loods, jan/feb 1991.
- R. Papenhuijzen, Towards a Human Operator Model of the Navigator. Ph.D Thesis Technische Universiteit Delft, Delft, ISBN 90-370-0096-7, 179 p., 1994
- Harbor/Coastal Tugs "Banjaardsbank" "Schouwenbank" "Brielsebank", Data Sheets Smit Harbor Towage Company, Smit International
- Harbor/Coastal Tugs "Texelbank" "Thamesbank", Data Sheets Smit Harbor Towage Company, Smit International
- Voith Water Tractor Manoeuvre Manul, Voith-Schneider A.G.