SVAŠEK HYDRAULICS
COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS

Troskrachten op afgemeerde schepen in het Van Starkenborghkanaal, Groningen

Definitief

2027/U20076/C/MB

7 Mei 2020

SVAŠEK HYDRAULICS
COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS

Kratonkade 23
3024 ES Rotterdam
Nederland
Ⓣ +31 - 10 - 467 13 61
Ⓕ +31 - 10 - 467 45 59
Ⓔ info@svasek.com
Ⓘ www.svasek.com

Document titel	Troskrachten op afgemeerde schepen in het Van Starkenborghkanaal, Groningen
Verkorte Titel	Troskrachten Van Starkenborghkanaal
Status	Definitief
Datum	7 Mei 2020
Project naam	Troskrachten Van Starkenborghkanaal
Project nummer	2027
Opdrachtgever	Royal Haskoning DHV
Referentie	2027/U20076/C/MB

Auteurs	M.J.G. van den Boomgaard
Gecontroleerd door	A.J. Bliek

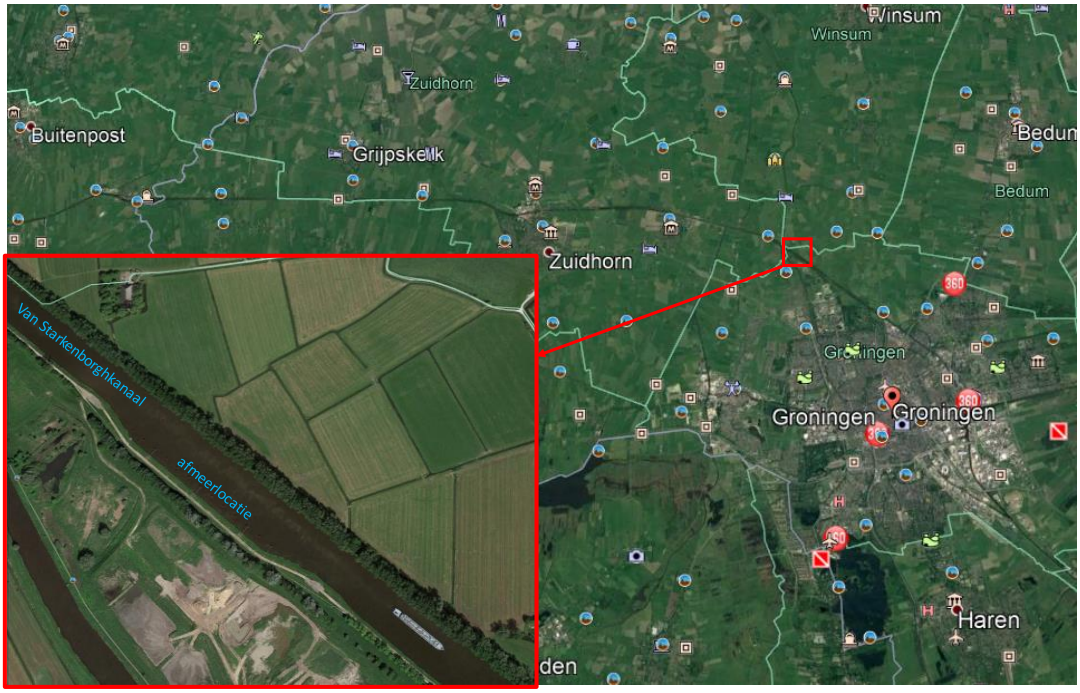
INHOUDSOPGAVE

			Pag.
1	INTRODUCTIE		1
2	PLAN VAN AANPAK		2
3	KRACHTEN T.G.V. LANGSVARENDE SCHEPEN		3
	3.1	Introductie	3
	3.2	Beschrijving van de krachten op afgemeerd schip	3
	3.3	Opzet ROPES model	4
	3.4	Uitgevoerde simulaties	6
	3.5	Resultaten ROPES simulaties	8
	3.5.1	Introductie	8
	3.5.2	Effecten van de scheepspassage op afgemeerd schip A1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5m)	8
	3.5.3	Effecten van de scheepspassage op afgemeerd schip A2 (L=135 m, B=11,4 m, D=3,5m)	11
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN		15
LITERATUUR			17

1 INTRODUCTIE

Als vaarwegbeheerder wil RWS inzicht in de effecten van scheepspassages op afgemeerde schepen in het Van Starkenborghkanaal. Met deze inzichten is het de bedoeling tot een onderbouwde eisen set voor de vernieuwing of aanleg van afmeervoorzieningen te komen.

De analyse voor de bepaling van de effecten van de scheepspassages moet worden gebaseerd op de situatie in het kanaal ten westen van Groningen ter hoogte van Dorkwerd en Paddepoel (zie rode gebied in Figuur 1.1), waar in de zuidelijke oever een ligplaats voor beroepsvaart, maar toepasbaar is voor meerdere soortgelijke situaties langs het kanaal.



Figuur 1.1: Ligging afmeerlocatie op het Van Starkenborghkanaal

Het Van Starkenborghkanaal wordt gebruikt door schepen tot CEMT-klasse Va met afmetingen 110 x 11,4 x 3,5 m (en met speciale ontheffing worden ook schepen tot 135 m toegelaten). De toegestane vaarsnelheid zal per traject worden vastgesteld in een nieuw verkeersbesluit en kan variëren tussen 6 en 12 km/uur. De langsvarende schepen oefenen invloed uit op het afgemeerde schip. Deze invloed bestaat uit bewegingen van het afgemeerde schip en daaruit voortvloeiende tros- en fenderkrachten.

Royal Haskoning DHV heeft Svašek Hydraulics gevraagd nader onderzoek te verrichten naar de effecten van de scheepspassages op de afgemeerde schepen op deze afmeerlocatie.

2 PLAN VAN AANPAK

Om de te verwachten krachten op de afgemeerde schepen als gevolg van een passerend schip (parallel aan het afgemeerde schip) te berekenen, zijn statische analyses uitgevoerd met behulp van het ROPES model (Research On Passing Effects on Ships). Voor meer informatie over het ROPES model wordt verwezen naar Pinkster 2014 en Bliek & Talstra 2014.

ROPES berekent de statische krachten die nodig zijn om het schip plaatsvast te houden (captive forces). Maar in werkelijkheid zijn dynamische effecten aanwezig, waardoor als gevolg van opslingering de werkelijke bewegingen ongeveer 2 keer zo groot kunnen zijn dan de statische krachten. De ROPES berekeningen geven de te verwachten statische krachten in de afmeerlijnen en op de fenders. De krachten in de springlijnen (trossen) worden veroorzaakt door de langskracht (surge). De breastlijn- en de fenderkracht zijn een combinatie van de dwarskracht (sway) en het dwarsmoment (yaw).

Verschillende modelberekeningen zijn uitgevoerd. Hierbij is op een gestructureerde wijze gekeken hoe de krachten op een afgemeerd schip zich gedragen bij variërende passagesnelheden, type passerend schip en type afgemeerd schip. Er is slechts 1 passageafstand beschouwd.

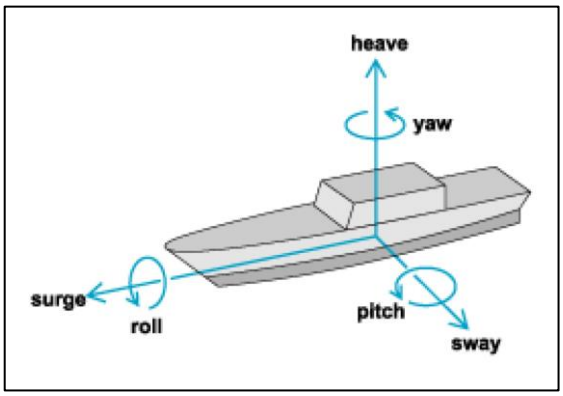
3 KRACHTEN T.G.V. LANGSVARENDE SCHEPEN

3.1 Introductie

Om een goed beeld te krijgen van de te verwachten krachten en momenten op het afgemeerde schip als gevolg van de scheepspassage, is in dit hoofdstuk kort een beschrijving gegeven van het verloop van de resulterende krachten en momenten op een afgemeerde schip als functie van de relatieve positie van een (parallel) voorbijvarend schip.

3.2 Beschrijving van de krachten op afgemeerd schip

Krachten op een afgemeerd schip kunnen bewegingen veroorzaken. De bewegingen worden door 6 vrijheidsgraden beschreven, drie in het horizontale vlak (surge, sway en yaw) en 3 in het verticale vlak (roll, pitch en heave). De zes vrijheidsgraden zijn weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Vrijheidsgraden voor een afgemeerd schip.

Hieronder volgt een beschrijving van het verloop van de resulterende krachten en momenten op het afgemeerde schip, als functie van de relatieve positie van een (parallel) voorbijvarend schip zoals grafisch weergegeven in bijvoorbeeld Figuur 3.4.

Surge kracht:
De surge is de beweging in langsrichting van het afgemeerde schip. Deze kracht bepaalt de troskrachten in de springlijnen. Allereerst wordt het afgemeerde schip weggeduwd van het tegemoetkomende schip als gevolg van de versnelling van de watermassa. Vervolgens nadert de primaire golf van het tegemoetkomende schip het afgemeerde schip, en deze wordt daarnaar toe gezogen (negatieve surge piek). Wanneer het passerende schip ter hoogte van het afgemeerde schip is, bedraagt de surge 0. Nadat het schip gepasseerd is wordt het afgemeerde schip naar de tegenovergestelde richting gezogen als gevolg van het verlaten van de primaire golf van het passerende schip (positieve surge piek). Tenslotte wordt het afgemeerde schip licht weggeduwd van het gepasseerde schip als gevolg van de vertraging van het omringende water.

Sway kracht:
De sway kracht in combinatie met het dwarsmoment (yaw) geven de krachten op de breastlijn- en fenders. Het afgemeerde schip wordt weggeduwd van het naderende schip als gevolg van de stroomversnelling. Wanneer het passerende schip ter hoogte van het afgemeerde schip is, wordt het afgemeerde schip naar het passerende schip toe gezogen als gevolg van de waterstanddaling rond het schip (piek sway). Tenslotte wordt het afgemeerde schip weer weggeduwd van het passerende schip als gevolg van de stroomvertraging.

Yawmoment:
De kant van het afgemeerde schip die naar de kant van het aankomende schip ligt zal allereerst weggeduwd worden van de voorkant van het naderende schip (eerste yaw piek). Wanneer de primaire golf het afgemeerde schip bereikt zal deze kant van het afgemeerde schip naar het naderende schip toe getrokken worden (tweede yaw moment). Als het passerende schip voorbij is zal de andere kant van het afgemeerde schip naar het passende schip gedraaid worden (derde yaw moment). Tenslotte wordt het afgemeerde schip teruggeduwd naar zijn originele positie (vierde yaw moment).

Heave kracht:
Wanneer het passerende schip nadert, zal door versnelling en stagnatie-effecten een kleine waterstandverhoging optreden. De grote negatieve piek in het heave-signaal is proportioneel aan de waterstandverlaging rond het passerende schip. Tenslotte zal door vertragingseffecten weer een kleine waterstandverhoging plaatsvinden, alvorens het afgemeerde schip terugkeert naar de begintoestand.

Pitchmoment:
Door de stroomversnelling als gevolg van het naderende schip zal de initiële waterstand iets stijgen en het afgemeerde schip iets naar voren kantelen. Vervolgens zal deze weer naar achteren terugkantelen als de primaire golf het afgemeerde schip bereikt. Wanneer de primaire golf het afgemeerde schip weer verlaat zal het afgemeerde schip naar voren kantelen. Tenslotte zal het afgemeerde schip weer licht naar achteren kantelen als gevolg van vertragingseffecten. Hierna keert het afgemeerde schip weer terug naar de begintoestand.

Rolmoment:
Dit moment bepaald de scheefstand van het afgemeerde schip. Tijdens het naderen van het passerende schip zal het afgemeerde schip door versnellingseffecten licht naar de kade overhellen. Dit gebeurt gelijktijdig met het naar de kade weggeduwd worden van het afgemeerde schip door de eerste sway-piek. Gedurende het passeren van het varende schip zal het afgemeerde schip sterker overhellen in de richting van het passerende schip. Dit gebeurt tegelijk met het naar het varende schip toegezogen worden van het afgemeerde schip door de tweede sway-piek. Tenslotte zal het afgemeerde schip, terwijl het passerende schip zich verwijdert, door vertragingseffecten weer licht overhellen richting kade. Dit gebeurt tegelijk met het naar de kade weggeduwd worden van het afgemeerde schip door de derde en laatste sway-piek. Al met al is de vorm van de grafiek van het roll-moment sterk gerelateerd aan de sway-force: in het gekozen assenstelsel zijn beide grafieken (afgezien van eenheden en schaal) nagenoeg spiegelbeelden van elkaar.

De krachten in de springlijnen (trossen) worden veroorzaakt door de langskracht (surge). De breastlijn- en de fenderkracht zijn een combinatie van de dwarskracht (sway) en het dwarsmoment (yaw). De kracht in de breastlijn is berekend door de negatieve dwarskracht (sway) te delen door 2 (1 lijn voor- en 1 lijn achterzijde schip) en daarbij het negatieve dwarsmoment (yaw) gedeeld door de lengte van de arm van het moment op te tellen. De fenderkracht is berekend door de positieve dwarskracht (sway) te delen door 4 (4 fenders) en daarbij het positieve dwarsmoment (yaw) gedeeld door de lengte van de arm van het moment op te tellen. Bij de bespreking van de resultaten in paragraaf 3.5 zijn tabellen met de resulterende maximale krachten gepresenteerd. De onderste 3 rijen in deze tabellen laten de maximale springlijn-, breastlijn- en fenderkrachten zien.

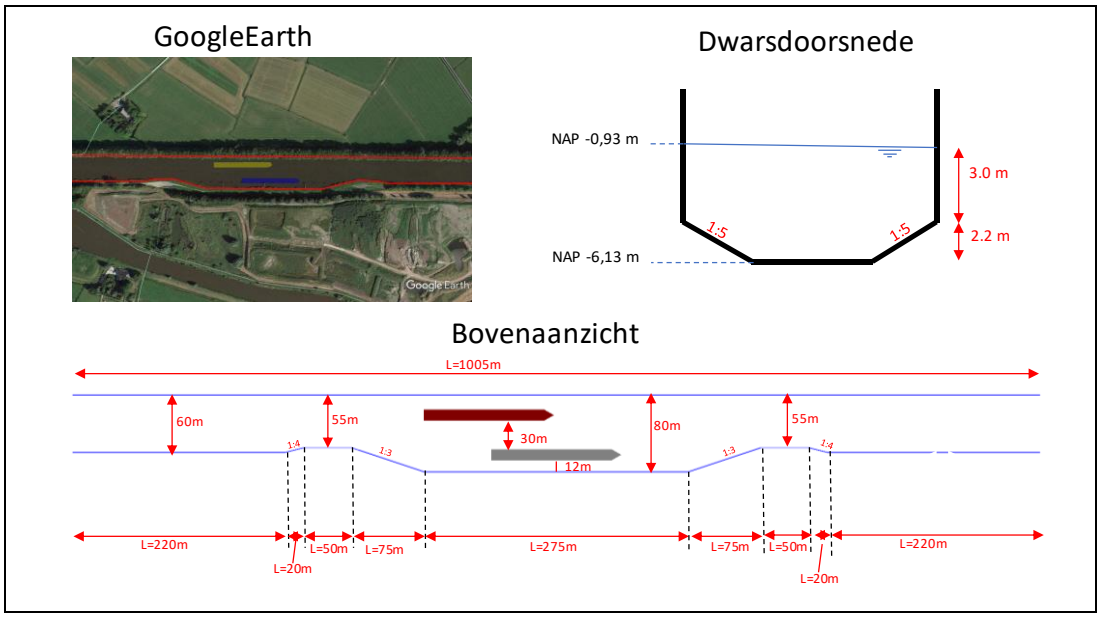
3.3 Opzet ROPES model

Om de te verwachten krachten op het afgemeerde schip als gevolg van een passerend schip (parallel aan het afgemeerde schip) te berekenen is een statische analyse met behulp van het ROPES (Research On Passing Effects on Ships) model gebruikt. Voor meer informatie over het ROPES model wordt verwezen naar Pinkster 2014 & Bliek 2014. In de uitgevoerde ROPES berekeningen is geen rekening

gehouden met wind. De ROPES software geeft een goede indicatie van de te verwachten statische (captive) krachten op het afgemeerde schip.

Het Van Starkenborghkanaal is ter plaatste van de afmeerlocatie 80 meter breed en de kanaalbodem ligt op NAP -6,13 m. In het kanaal wordt een vast peil gehandhaafd van NAP -0,93 m, waardoor de kanaaldiepte 5,2 m bedraagt. Er wordt een bakprofiel in stand gehouden met verticale oevers met kerende hoogte vanaf de waterlijn van 3 m (kanaalbodem langs de oever op NAP -3.93 m), daarna onder 1:5 omlaag tot de nautische diepte van 5,2 m (NAP -6,13 m).

Een overzicht van de betreffende afmeerlocatie op het Van Starkenborghkanaal is weergegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Schematisatie van de betreffende afmeerlocatie in het Van Starkenborghkanaal.

In de huidige studie zijn de krachten op twee type afgemeerde schepen bekeken, waarbij slechts één schip is afgemeerd per berekening. Het afgemeerde schip is afgemeerd langs de aanwezige afmeerpalen (12 m van de kant) en midden in de inkassing (zie grijze schip in Figuur 3.2). Het eerste type afgemeerde schip (A1) heeft een lengte van 110 m, een breedte van 11,4 m en een diepgang van 3,5 m. De afmetingen van het tweede type afgemeerde schip (A2) zijn een lengte van 135 m, een breedte van 11,4 m en een diepgang van 2,9 m.

De krachten op de afgemeerde schepen zijn bepaald ten gevolge van de passage van drie scheepstype, 3 vaarsnelheden en 1 passageafstand (afstand van zijkant afgemeerd schip tot zijkant passerend schip) van 30 meter (zie Figuur 3.2). Hierbij vaart het passerende schip parallel aan het afgemeerde schip.

De toegepaste dimensies van de afgemeerde schepen en de passerende schepen zijn gepresenteerd in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Dimensies toegepaste afgemeerde en passerende schepen.

Dimensies schepen	L [m]	B [m]	D [m]
Afgemeerd schip A1	110	11,4	3,5
Afgemeerd schip A2	135	11,4	2,9
Passerend schip P1	110	11,4	3,5
Passerend schip P2	135	11,4	3,5
Passerend schip P3	85	9,5	2,8

3.4 Uitgevoerde simulaties

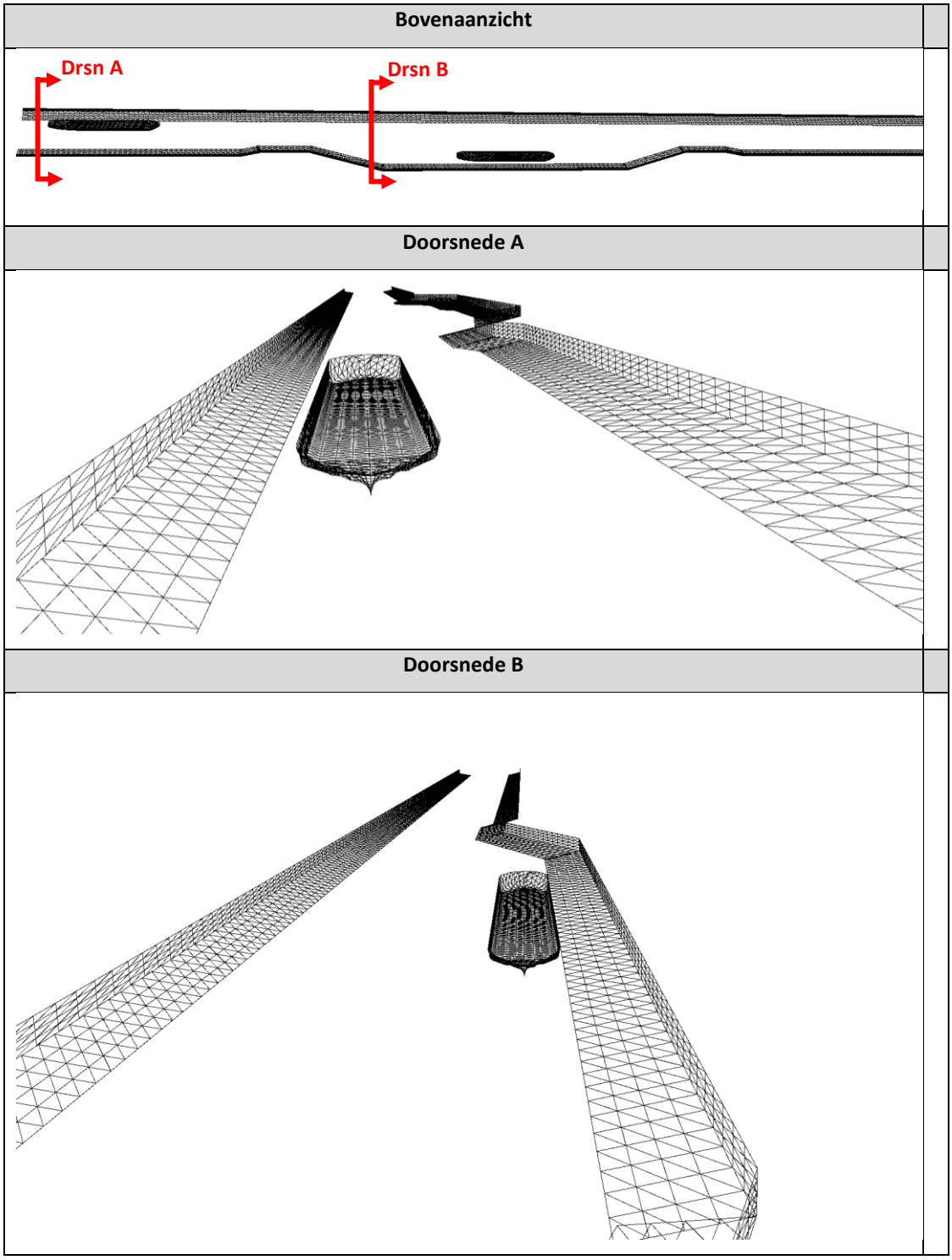
Verschillende modelberekeningen zijn uitgevoerd. Hierbij is op een gestructureerde wijze gekeken hoe de krachten op twee type afgemeerde schepen zich verhouden bij drie passagesnelheden, drie type passerende schepen en één passageafstand (afstand van zijkant afgemeerd schip tot zijkant passerend schip) van 30 meter. In Tabel 3.2 zijn de verschillende scenario's weergegeven.

Tabel 3.2: Definiëring ROPES scenario's

Scenario	Afgemeerd	Passerend	Passeersnelheid	Passeerafstand
1	A1	P1	1,67 m/s	30 m
2	A1	P1	2,5 m/s	30 m
3	A1	P1	3,33 m/s	30 m
4	A1	P2	1,67 m/s	30 m
5	A1	P2	2,5 m/s	30 m
6	A1	P2	3,33 m/s	30 m
7	A1	P3	1,67 m/s	30 m
8	A1	P3	2,5 m/s	30 m
9	A1	P3	3,33 m/s	30 m
10	A2	P1	1,67 m/s	30 m
11	A2	P1	2,5 m/s	30 m
12	A2	P1	3,33 m/s	30 m
13	A2	P2	1,67 m/s	30 m
14	A2	P2	2,5 m/s	30 m
15	A2	P2	3,33 m/s	30 m
16	A2	P3	1,67 m/s	30 m
17	A2	P3	2,5 m/s	30 m
18	A2	P3	3,33 m/s	30 m

Alle 18 scenario's zijn met de ROPES software doorgerekend. Nogmaals, hierbij is de invloed van wind niet meegenomen. Het passerende schip vaart parallel aan het afgemeerde schip. Met de verschillende scenario's is de invloed van de passagesnelheid, type en grote van het passerende schip op de twee type afgemeerde schepen bekeken.

Als voorbeeld is de modelopzet van scenario 1 weergegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3.3: ROPES model opzet.

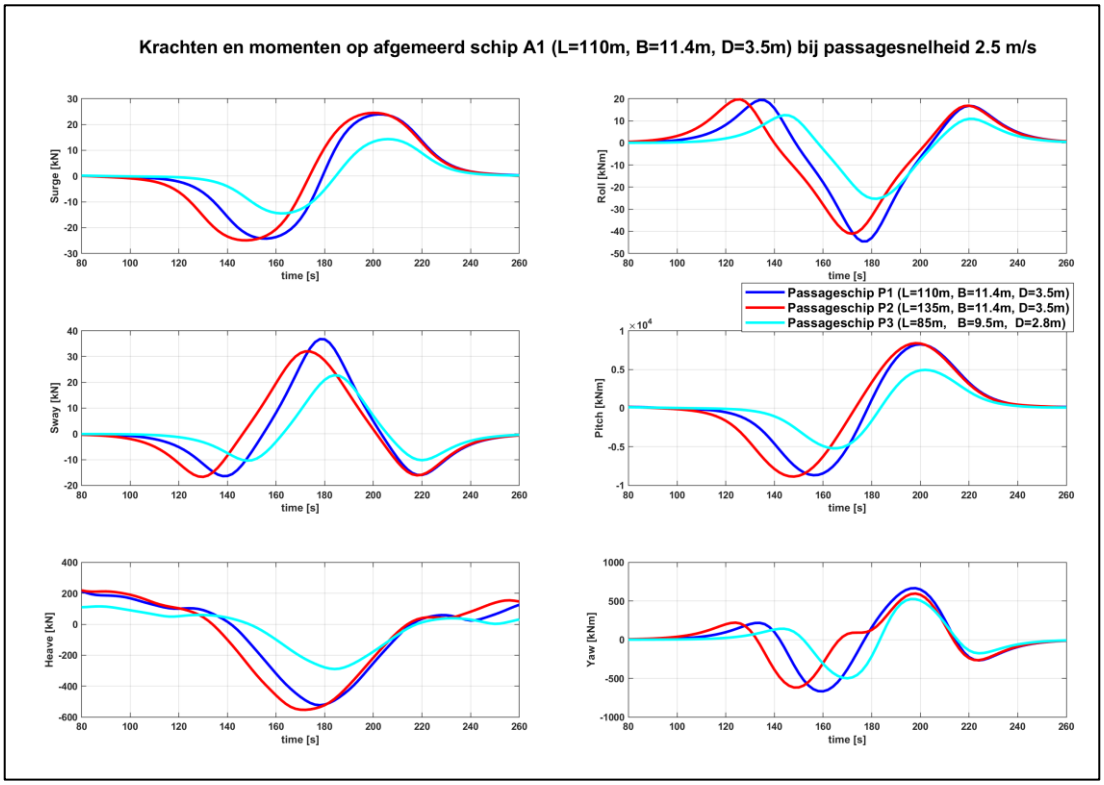
3.5 Resultaten ROPES simulaties

3.5.1 Introductie

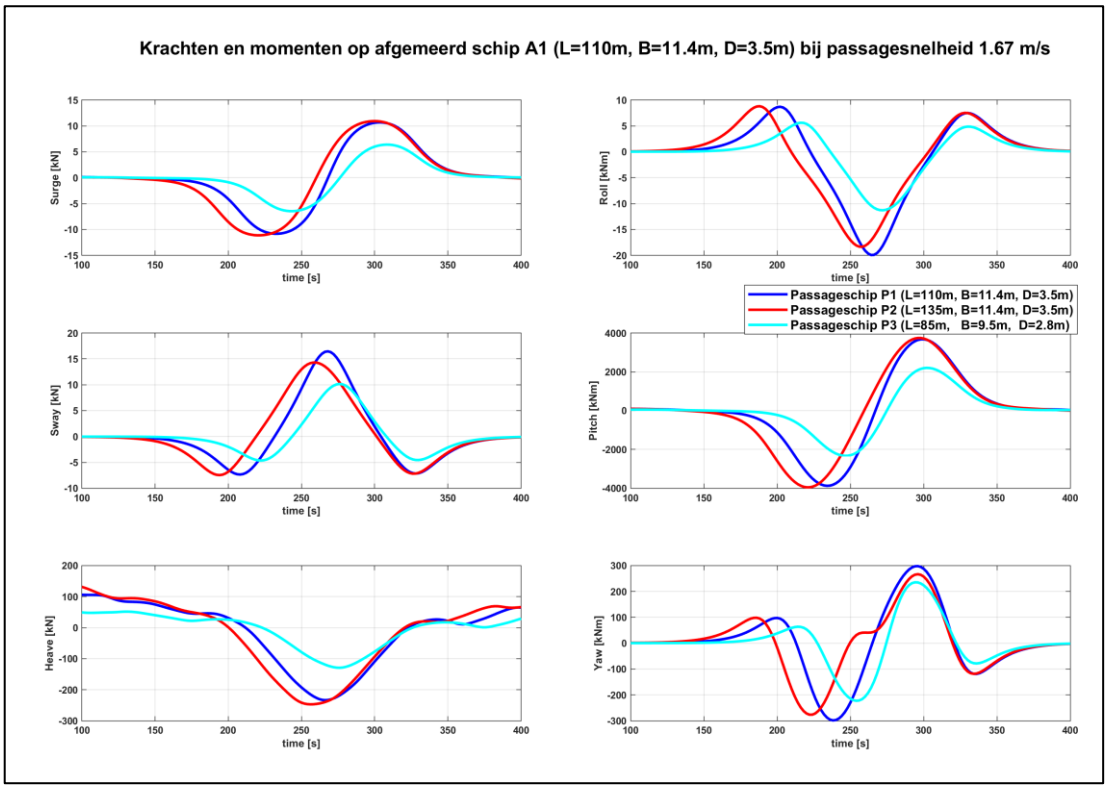
In deze paragraaf zijn de resultaten van de verschillende scenario's beschreven. Paragraaf 3.5.2 beschrijft de krachten en momenten op het kortste afgemeerde schip A1 (L=110m, B=11,4 m, D=3,5m) als gevolg van het passeren (parallel aan het afgemeerde schip) van de drie type passerende schepen met drie verschillende passagesnelheden. Paragraaf 3.5.3 laat de krachten op het langere afgemeerde schip A2 (L=135 m, B=11,4 m, D=3,5m) als gevolg van dezelfde passages zien.

3.5.2 Effecten van de scheepspassage op afgemeerd schip A1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5m)

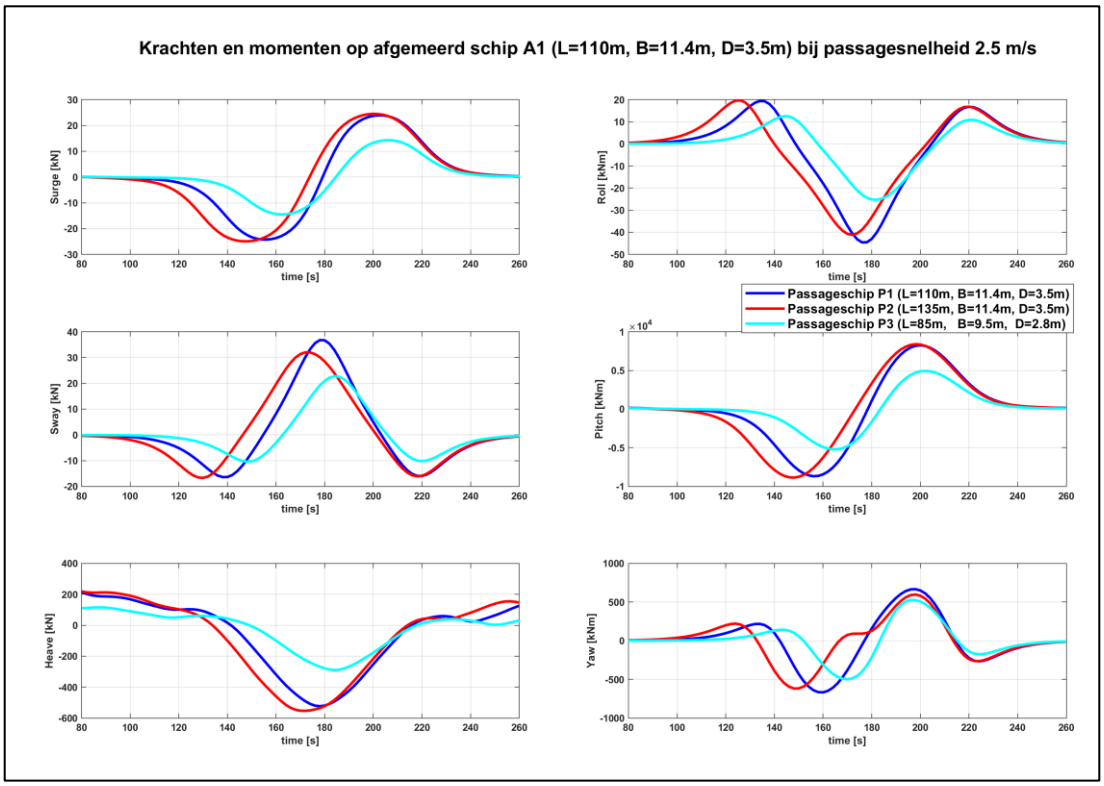
De te verwachten krachten op het afgemeerde schip A1 als gevolg van het passeren (parallel aan het afgemeerde schip) van drie type passerende schepen met een passagesnelheid van 6 km/h (1,67 m/s) zijn geplot in Figuur 3.4. De donkerblauwe lijnen geven het verloop weer van de krachten en momenten als functie van de tijd als gevolg van de passage van het schip P1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5 m). De rode lijnen hebben betrekking op de passage van het langste passerende schip P2 ((L=135 m, B=11,4 m, D=3,5 m) en de licht blauwe lijnen betreffen het kleinste langsvarende schip P3 (L=85 m, B=9,5 m, D=2,8 m). Dezelfde figuren horend bij de passagesnelheden 2,5 m/s en 3,33 m/s zijn gepresenteerd in respectievelijk



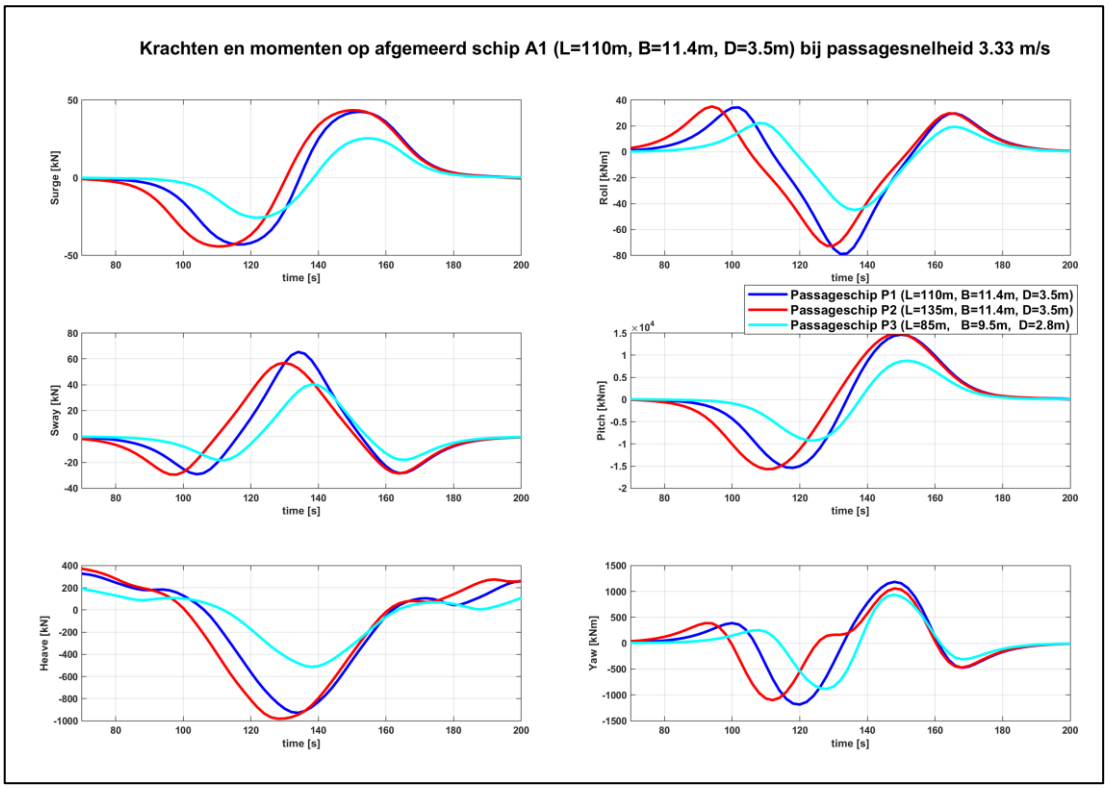
Figuur 3.5 en Figuur 3.6.



Figuur 3.4: Berekende krachten op het afgemeerde schip A1 t.g.v. passage van drie verschillende scheepstype met een passagesnelheid van 1,67 m/s (6 km/h).



Figuur 3.5: Berekende krachten op het afgemeerde schip A1 t.g.v. passage van drie verschillende scheepstype met een passagesnelheid van 2,5 m/s (9 km/h).



Figuur 3.6: Berekende krachten op het afgemeerde schip A1 t.g.v. passage van drie verschillende scheepstype met een passagesnelheid van 3,33 m/s (12 km/h).

De figuren Figuur 3.4 t/m Figuur 3.6 laten zien dat het verloop van de krachten en de momenten is zoals kwalitatief beschreven in hoofdstuk 3.2. De minimale en maximale krachten en momenten die op het afgemeerde schip A1 werken als gevolg van de passage van 3 type passageschepen met 3 verschillende vaarsnelheden zijn gepresenteerd in Tabel 3.3. In deze tabel zijn tevens de maximale horizontale statische springlijnkracht, breastlijnkracht en de fenderkracht per scenario weergegeven (de onderste 3 rijen in de tabel), waarbij uitgegaan is van twee springlijnen en 4 fenders. Voor de wijze van bepaling van deze krachten wordt verwezen naar paragraaf 3.2.

Tabel 3.3: Berekende krachten en momenten op het afgemeerde schip A1 t.g.v. de passage van 3 type passageschepen met 3 verschillende vaarsnelheden

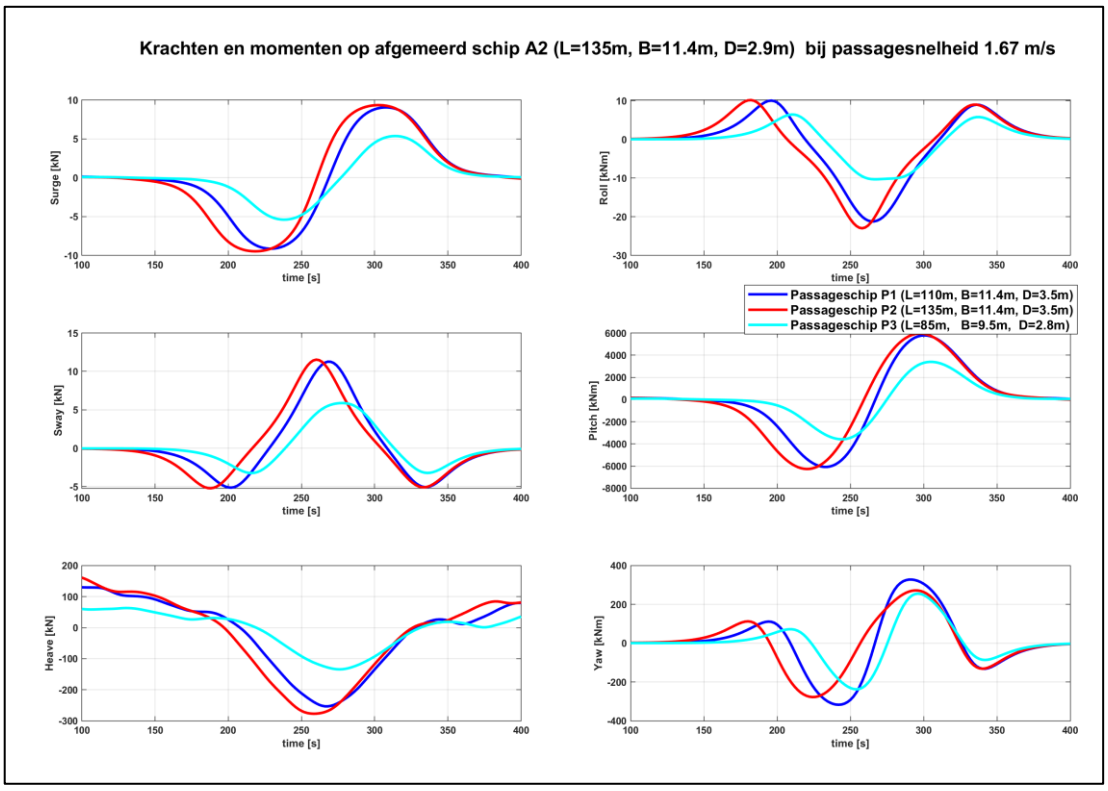
	Afgemeerd schip A1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5 m)																	
	Passagesnelheid (1,67 m/s)						Passagesnelheid (2,5 m/s)						Passagesnelheid (3,33 m/s)					
	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Surge [kN]	-11	11	-11	11	-6	6	-24	24	-25	25	-14	14	-43	42	-44	43	-26	25
Sway [kN]	-7	16	-7	14	-5	10	-16	37	-17	32	-10	23	-29	65	-29	57	-18	40
Heave [kN]	-234	106	-247	125	-129	52	-523	194	-553	212	-290	115	-928	307	-981	347	-514	167
Roll [kNm]	-20	9	-18	9	-11	6	-45	19	-41	20	-25	13	-79	34	-73	35	-45	22
Pitch [kNm]	-3875	3676	-3951	3742	-2327	2203	-8681	8244	-8859	8391	-5210	4937	-15390	14630	-15690	14850	-9255	8753
Yaw [kNm]	-298	298	-276	267	-223	235	-667	667	-618	597	-499	526	-1185	1185	-1100	1058	-884	936
F_Springlijn [kN]	11		11		6		24		25		14		43		44		26	
F_Springlijn [Ton]	1.1		1.1		0.7		2.5		2.5		1.5		4.4		4.5		2.6	
F_Breastlijn [kN]	9		8		8		20		17		17		36		31		30	
F_Breastlijn [Ton]	0.9		0.8		0.8		2.1		1.8		1.7		3.7		3.2		3.1	
F_Fender [kN]	11		9		9		24		19		21		43		34		38	
F_Fender [Ton]	1.1		0.9		1.0		2.5		1.9		2.2		4.4		3.4		3.8	

Uit de figuren en het tabel blijkt het volgende:

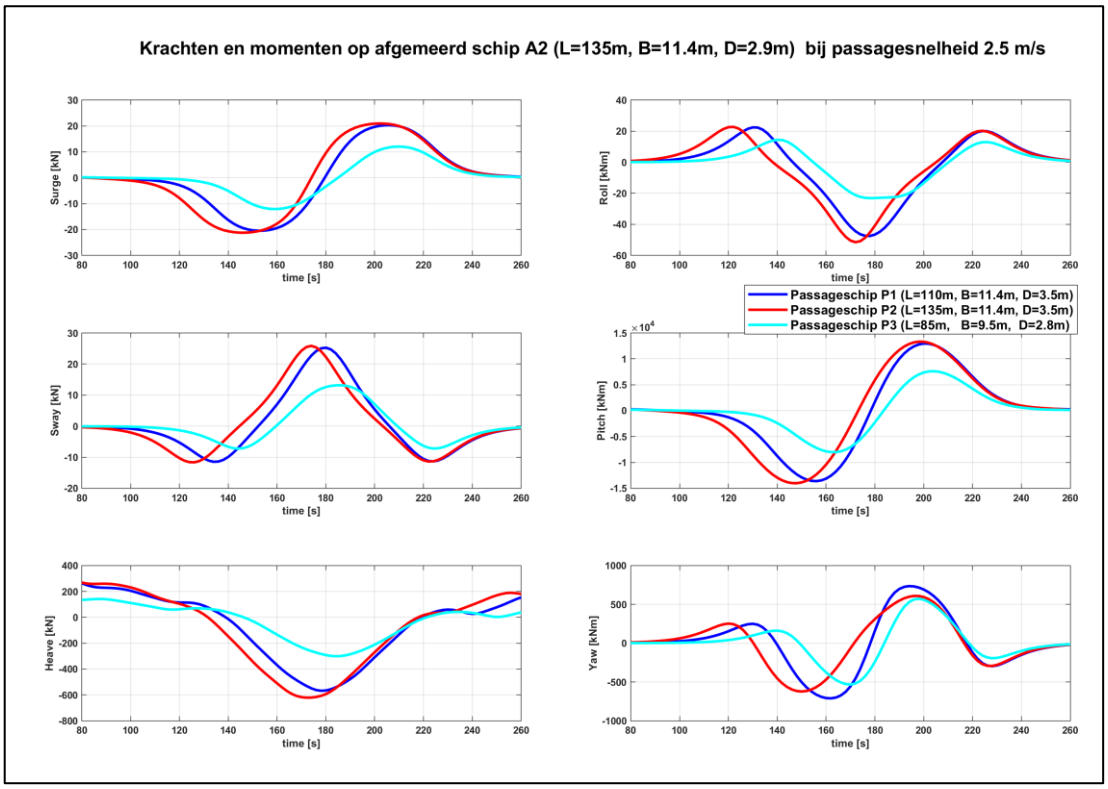
- De grootste krachten en momenten op de het afgemeerde schip A1 treden op ten gevolge van de passages van het grootste schepen P1 en P2. Deze zijn bij deze schepen gelijkwaardig.
- De meeste krachten en momenten ten gevolge van de passage van het schip P3 zijn een factor 0,6 kleiner dan als gevolg van de passage van de andere twee type schepen.
- De krachten en momenten op het afgemeerde schip zijn kwadratisch proportioneel aan de passeersnelheid.
- Bij een passerend schip met een grotere lengte ligt het gebied waar de watermassa wordt versneld (vooraan het passerend schip) en het gebied waar de watermassa wordt vertraagd (achter het passerend schip) iets verder uit elkaar. Zo zal de versnelling van de watermassa vooraan het passerend schip het afgemeerde schip eerder bereiken en uiteindelijk verlaat de primaire golf van het passerende schip het afgemeerde schip later. Dit betekent dat de negatieve en positieve pieken iets meer uit elkaar zijn getrokken.

3.5.3 Effecten van de scheepspassage op afgemeerd schip A2 (L=135 m, B=11,4 m, D=3,5m)

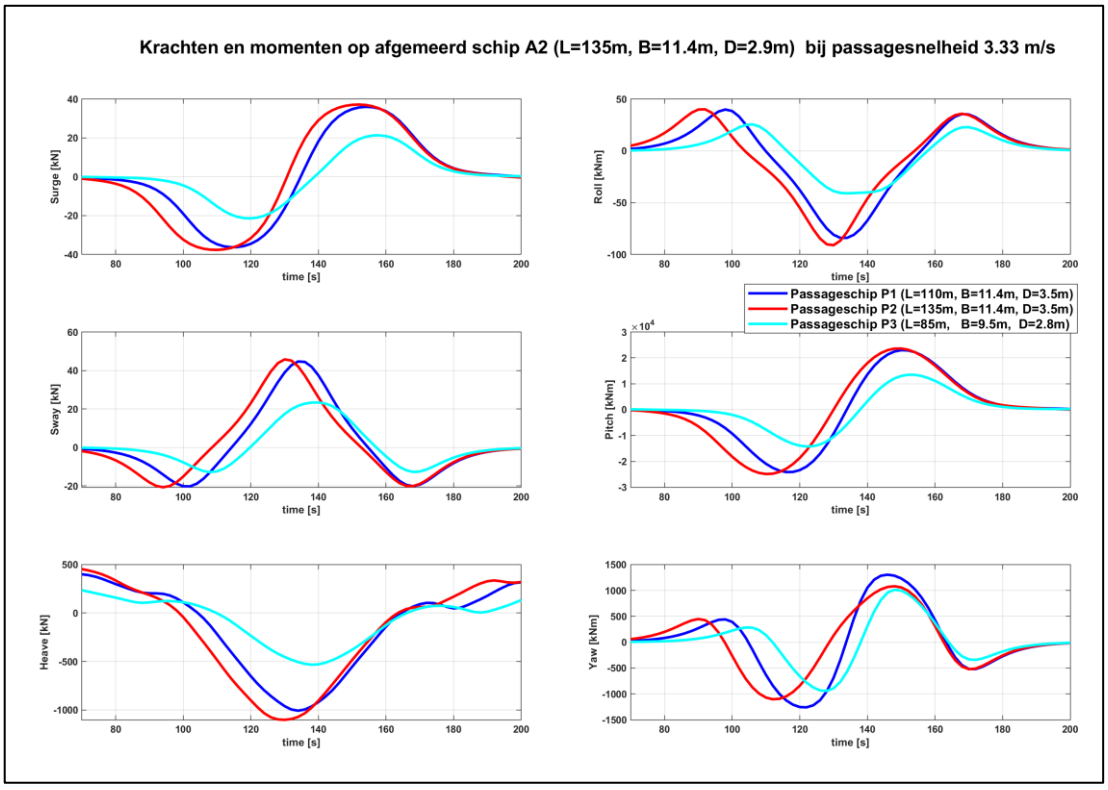
De te verwachten krachten op het afgemeerde schip A2 als gevolg van het passeren (parallel aan het afgemeerde schip) van drie type passerende schepen met een passagesnelheid van 6 km/h (1,67 m/s) zijn geplot in Figuur 3.7. De donkerblauwe lijnen geven het verloop weer van de krachten en momenten als functie van de tijd als gevolg van de passage van het schip P1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5 m). De rode lijnen hebben betrekking op de passage van het langste passageschip P2 ((L=135 m, B=11,4 m, D=3,5 m) en de licht blauwe lijnen het kleinste passageschip P3 (L=85 m, B=9,5 m, D=2,8 m). Dezelfde figuren horend bij de passagesnelheden 2,5 m/s en 3,33 m/s zijn gepresenteerd in respectievelijk Figuur 3.8 en Figuur 3.9.



Figuur 3.7: Berekende krachten op het afgemeerde schip A2 t.g.v. passage van drie verschillende scheepstype met een passagesnelheid van 1,67 m/s (6 km/h).



Figuur 3.8: Berekende krachten op het afgemeerde schip A2 t.g.v. passage van drie verschillende scheepstype met een passagesnelheid van 2,5 m/s (9 km/h).



Figuur 3.9: Berekende krachten op het afgemeerde schip A2 t.g.v. passage van drie verschillende scheepstype met een passagesnelheid van 3,33 m/s (12 km/h)

De figuren Figuur 3.7 t/m Figuur 3.9 laten eveneens zien dat het verloop van de krachten en de momenten is zoals beschreven in hoofdstuk 3.2. De minimale en maximale krachten en momenten die op het afgemeerde schip A2 werken als gevolg van de passage van 3 type passageschepen met 3 verschillende vaarsnelheden zijn gepresenteerd in Tabel 3.3. In deze tabel zijn tevens de maximale horizontale statische springlijnkracht, breastlijnkracht en de fenderkracht per scenario weergegeven (de onderste 3 rijen in de tabel), waarbij uitgegaan is van twee springlijnen en 4 fenders. Voor de wijze van bepaling van deze krachten wordt verwezen naar paragraaf 3.2.

Tabel 3.4: Berekende krachten en momenten op het afgemeerde schip A2 t.g.v. de passage van 3 type passageschepen met drie verschillende vaarsnelheden.

	Afgemeerd schip A2 (L=135 m, B=11,4 m, D=2,9 m)																	
	Passagesnelheid (1,67 m/s)						Passagesnelheid (2,5 m/s)						Passagesnelheid (3,33 m/s)					
	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Surge [kN]	-9	9	-9	9	-5	5	-20	20	-21	21	-12	12	-36	36	-38	37	-21	21
Sway [kN]	-5	11	-5	12	-3	6	-11	25	-12	26	-7	13	-20	45	-21	46	-13	23
Heave [kN]	-253	129	-277	153	-134	63	-568	238	-621	259	-301	141	-1008	375	-1102	421	-534	205
Roll [kNm]	-21	10	-23	10	-10	6	-48	22	-52	23	-23	14	-84	40	-91	40	-41	26
Pitch [kNm]	-6075	5786	-6262	5952	-3583	3397	-13620	12960	-14020	13330	-8014	7617	-24120	22980	-24880	23630	-14240	13470
Yaw [kNm]	-317	328	-278	272	-238	255	-711	735	-622	609	-532	572	-1259	1304	-1103	1081	-942	1013
F_Springlijn [kN]	9		9		5		20		21		12		36		38		21	
F_Springlijn [Ton]	0.9		1.0		0.6		2.1		2.2		1.2		3.7		3.8		2.2	
F_Breastlijn [kN]	8		7		7		19		15		16		33		27		29	
F_Breastlijn [Ton]	0.8		0.7		0.7		1.9		1.5		1.6		3.4		2.7		2.9	
F_Fender [kN]	10		8		9		23		18		20		41		31		36	
F_Fender [Ton]	1.0		0.8		0.9		2.3		1.8		2.1		4.2		3.2		3.6	

Uit de figuren en de tabel blijkt het volgende:

- De grootste krachten en momenten op de het afgemeerde schip A1 treden op ten gevolge van de passages van het grootste schepen P1 en P2. Deze zijn bij deze schepen gelijkwaardig.
- De meeste krachten en momenten ten gevolge van de passage van het schip P3 zijn ook bij het afgemeerde schip A2 een factor 0,6 kleiner dan als gevolg van de passage van de andere twee schepen.
- De krachten en momenten op het afgemeerde schip zijn kwadratisch proportioneel aan de passeersnelheid. Logischerwijs levert de hoogste passersnelheid de grootste krachten en momenten op.
- De negatieve en positieve pieken zijn iets meer uit elkaar getrokken bij een grotere lengte van het passerend schip.

Bij vergelijking tussen de krachten en momenten op de twee afgemeerde schepen kan het volgende geconcludeerd worden:

- De krachten sway en surge zijn op het afgemeerde schip A1 respectievelijk 20% en 30% hoger hoger dan op het afgemeerde schip A2
- De heavekracht, het rolmoment en het yaw moment zijn daarentegen in de meeste gevallen op het afgemeerde schip A1 tien tot twintig procent lager dan op het afgemeerde schip A2.
- Het pitchmoment is bij het afgemeerde schip A2 ongeveer een factor 1,6 hoger dan die bij het afgemeerde schip A1.
- De krachten in de spring-, breastlijnen en de fenderkracht zijn over het algemeen 10% hoger bij het afgemeerde schip A1 dan bij het afgemeerde schip A2.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de huidige studie is onderzoek verricht naar de effecten van de scheepspassages op de afgemeerde schepen op de geplande afmeerlocatie in het Van Starkenborghkanaal ten noordwesten van Groningen (zie Figuur 1.1). Met deze inzichten is het de bedoeling tot een onderbouwde eisen set voor de vernieuwing of aanleg van afmeervoorzieningen te komen.

Om de te verwachten krachten op de afgemeerde schepen als gevolg van een passerend schip (parallel aan het afgemeerde schip) te berekenen zijn statische analyses uitgevoerd met behulp van het ROPES model (Research On Passing Effects on Ships). Hierbij is op een gestructureerde wijze gekeken hoe de krachten op twee afgemeerde schepen (1 per simulatie) zich gedragen bij drie variërende passagesnelheden, drie verschillende type passerende schepen en 1 passageafstand. In de uitgevoerde berekeningen is geen rekening gehouden met wind en stroming.

De te verwachten krachten en momenten op het afgemeerde schip A1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5 m) zijn voor de 9 scenario's samengevat in Tabel 4.1 en voor het afgemeerde schip A2 (L=135 m, B=11,4 m, D=3,5 m) zijn deze te vinden in Tabel 4.2.

Tabel 4.1: Berekende krachten en momenten op het afgemeerde schip A1 t.g.v. de passage van 3 type passageschepen met 3 verschillende vaarsnelheden

	Afgemeerd schip A1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5 m)																	
	Passagesnelheid (1,67 m/s)						Passagesnelheid (2,5 m/s)						Passagesnelheid (3,33 m/s)					
	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Surge [kN]	-11	11	-11	11	-6	6	-24	24	-25	25	-14	14	-43	42	-44	43	-26	25
Sway [kN]	-7	16	-7	14	-5	10	-16	37	-17	32	-10	23	-29	65	-29	57	-18	40
Heave [kN]	-234	106	-247	125	-129	52	-523	194	-553	212	-290	115	-928	307	-981	347	-514	167
Roll [kNm]	-20	9	-18	9	-11	6	-45	19	-41	20	-25	13	-79	34	-73	35	-45	22
Pitch [kNm]	-3875	3676	-3951	3742	-2327	2203	-8681	8244	-8859	8391	-5210	4937	-15390	14630	-15690	14850	-9255	8753
Yaw [kNm]	-298	298	-276	267	-223	235	-667	667	-618	597	-499	526	-1185	1185	-1100	1058	-884	936
F_Springlijn [kN]	11		11		6		24		25		14		43		44		26	
F_Springlijn [Ton]	1.1		1.1		0.7		2.5		2.5		1.5		4.4		4.5		2.6	
F_Breastlijn [kN]	9		8		8		20		17		17		36		31		30	
F_Breastlijn [Ton]	0.9		0.8		0.8		2.1		1.8		1.7		3.7		3.2		3.1	
F_Fender [kN]	11		9		9		24		19		21		43		34		38	
F_Fender [Ton]	1.1		0.9		1.0		2.5		1.9		2.2		4.4		3.4		3.8	

Tabel 4.2: Berekende krachten en momenten op het afgemeerde schip A2 t.g.v. de passage van 3 type passageschepen met drie verschillende vaarsnelheden.

	Afgemeerd schip A2 (L=135 m, B=11,4 m, D=2,9 m)																	
	Passagesnelheid (1,67 m/s)						Passagesnelheid (2,5 m/s)						Passagesnelheid (3,33 m/s)					
	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Surge [kN]	-9	9	-9	9	-5	5	-20	20	-21	21	-12	12	-36	36	-38	37	-21	21
Sway [kN]	-5	11	-5	12	-3	6	-11	25	-12	26	-7	13	-20	45	-21	46	-13	23
Heave [kN]	-253	129	-277	153	-134	63	-568	238	-621	259	-301	141	-1008	375	-1102	421	-534	205
Roll [kNm]	-21	10	-23	10	-10	6	-48	22	-52	23	-23	14	-84	40	-91	40	-41	26
Pitch [kNm]	-6075	5786	-6262	5952	-3583	3397	-13620	12960	-14020	13330	-8014	7617	-24120	22980	-24880	23630	-14240	13470
Yaw [kNm]	-317	328	-278	272	-238	255	-711	735	-622	609	-532	572	-1259	1304	-1103	1081	-942	1013
F_Springlijn [kN]	9		9		5		20		21		12		36		38		21	
F_Springlijn [Ton]	0.9		1.0		0.6		2.1		2.2		1.2		3.7		3.8		2.2	
F_Breastlijn [kN]	8		7		7		19		15		16		33		27		29	
F_Breastlijn [Ton]	0.8		0.7		0.7		1.9		1.5		1.6		3.4		2.7		2.9	
F_Fender [kN]	10		8		9		23		18		20		41		31		36	
F_Fender [Ton]	1.0		0.8		0.9		2.3		1.8		2.1		4.2		3.2		3.6	

Het volgende kan geconcludeerd worden:

- De krachten en momenten op de afgemeerde schepen zijn kwadratisch proportioneel aan de passeersnelheid.
- De meeste krachten en momenten ten gevolge van de passage van het schip P3 (L=85 m, B=9,5 m, D=2,8 m) zijn een factor 0,6 kleiner dan als gevolg van de passage van de andere twee langsvarende schepen.
- De passerende schepen P1 (L=110 m, B=11,4 m, D=3,5 m) en P2 (L=135 m, B=11,4 m, D=3,5 m) veroorzaken vergelijkbare krachten en momenten op de afgemeerde schepen.
- De grootste springlijn-, breastlijn- en fenderkrachten worden veroorzaakt door P1 en P2 bij de hoogste passeersnelheid en bedragen bij het afgemeerde schip A1 respectievelijk 43, 36 en 43 kN en bij het afgemeerde schip A2 36, 33 en 41 kN.
- De krachten sway en surge zijn op het afgemeerde schip A1 respectievelijk 20% en 30% hoger hoger dan op het afgemeerde schip A2
- De heavekracht, het rolmoment en het yaw moment zijn daarentegen in de meeste gevallen op het afgemeerde schip A1 tien tot twintig procent lager dan op het afgemeerde schip A2.
- Het pitchmoment is bij het afgemeerde schip A2 ongeveer een factor 1,6 hoger dan die bij het afgemeerde schip A1.
- De krachten in de spring-, breastlijnen en de fenderkracht zijn over het algemeen 10% hoger bij het afgemeerde schip A1 dan bij het afgemeerde schip A2.

Bovenstaande krachten gelden voor een situatie waarbij het afgemeerde schip wordt gefixeerd op een vaste positie (captive forces). Dit is in de praktijk alleen mogelijk als het afgemeerde schip stijf tegen de kade of steiger wordt afgemeerd. In werkelijkheid is dit vaak niet het geval en zijn dynamische effecten aanwezig. Dit betekent dat het afgemeerde schip zal gaan bewegen onder invloed van het passerende schip. Dit kan leiden tot een toename van de lijn- en fenderkrachten ten opzichte van de statische situatie. Daarom wordt aanbevolen in het ontwerp van afmeerconstructies rekening te houden met krachten die een factor 2 (gebaseerd op expert opinion) hoger zijn dan de krachten die in de huidige studie berekend zijn. Nadere specificatie van deze factor is mogelijk door een dynamische mooring analyse (DMA) uit te voeren.

De resultaten van de berekeningen zijn ook toepasbaar op andere locaties langs het Van Starkenborghkanaal, mits de geometrie van het kanaal, de inkassing en de passageafstand (afstand van zijkant afgemeerd schip tot zijkant passerend schip) gelijkwaardig zijn. Bij een grotere of kleinere passageafstand kunnen de krachten significant anders zijn, waarbij als eerste benadering geldt dat de krachten omgekeerd evenredig zijn met de passageafstand. Zo zullen (als eerste ruwe benadering) bijvoorbeeld de krachten en momenten op het afgemeerde schip ongeveer een factor 1.5 hoger zijn indien de passageafstand 20 meter wordt in plaats van de in de berekeningen gehanteerde passageafstand van 30 meter. Indien het afgemeerde schip in plaats van in de inkassing direct langs de oever van het kanaal van 60 m breed ligt afgemeerd, wordt de passageafstand – bij gelijkblijvende vaarlijn van het passerende schip - ongeveer 20 meter, maar hierbij speelt eveneens de geometrie op de afmeerlocatie een rol. De oever van het kanaal is vertikaal en in de inkassing is de oever een talud, dit resulteert in een ander doorstroomprofiel. Dit heeft ook een effect op de krachten en momenten op het afgemeerde schip en zou daarom meegenomen moeten worden. Voor de grootte van dit effect dient nadere analyse te worden uitgevoerd. Bij aanwezigheid van zijkanalen, bochten of insteekhavens in de omgeving van de inkassing zijn de resultaten niet toepasbaar.

LITERATUUR

Bliek A.J., Talstra H. (2014)
Loads on Moored Ships Due to Passing Ship Events in a Straight Harbor Channel" Proceedings 2014 PIANC World Congress San Francisco

Pinkster, J. (2014)
A Fast, User-friendly, 3-D Potential Flow Program for the Prediction of Passing ` Vessel Forces. Proceedings 2014 PIANC World Congress San Francisco

Svašek Hydraulics (2012)
'Pontonbewegingen Amsterdam-Rijnkanaal. Bij samenbouwen Weesperbrug te Nigtevecht', d.d. 28-11-2012 (Ref 1691/U12331/B/SPo).

SVAŠEK
HYDRAULICS

SVAŠEK
HYDRAULICS
COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS