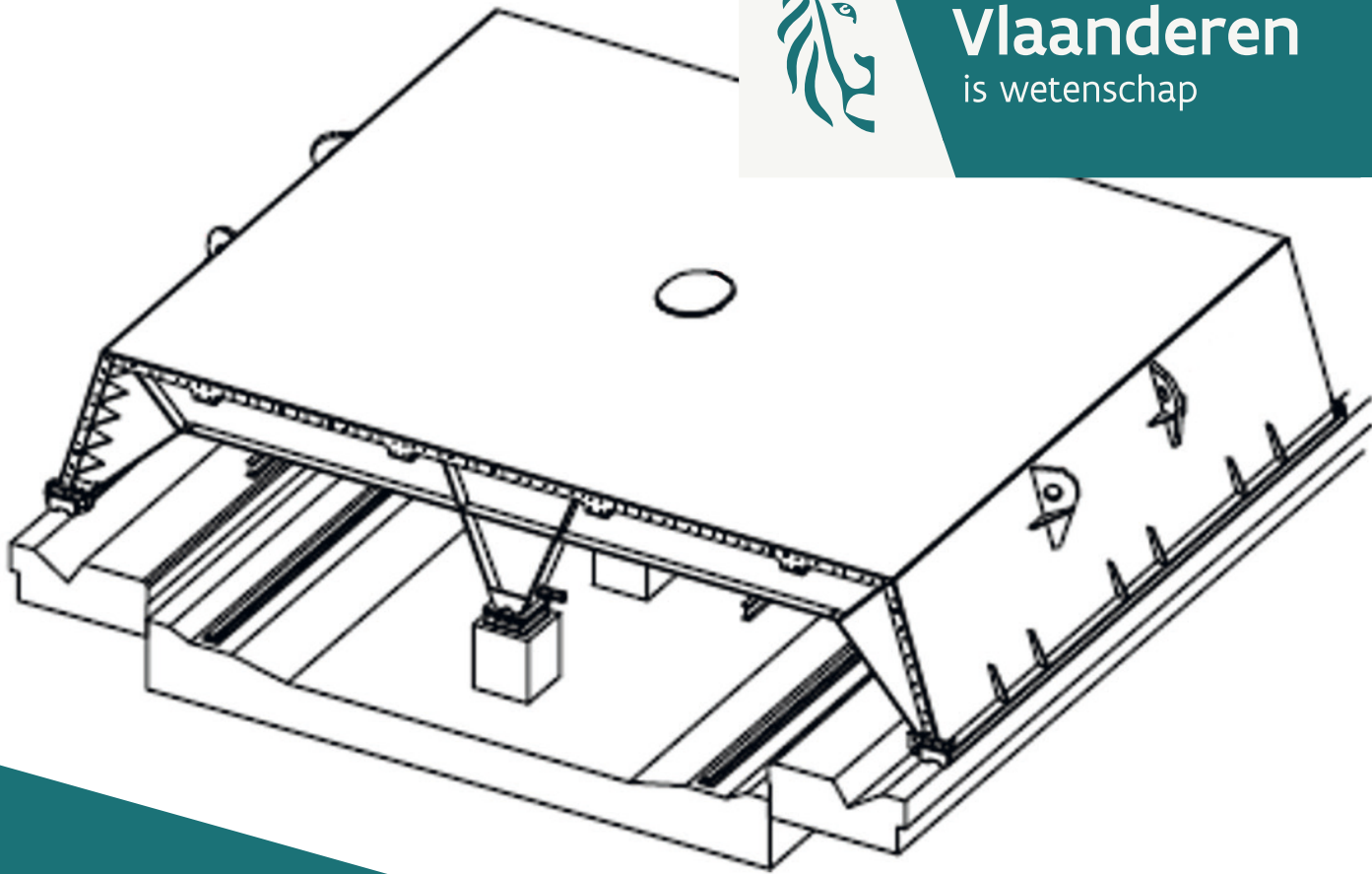




Vlaanderen
is wetenschap



23_106_1
WL rapporten

Zeeschelde - Sluis Wintam

Bepaling hydraulische belasting op drooglegkuip

Zeeschelde - Sluis Wintam

Bepaling hydraulische belasting op drooglegkuip

Verelst, K.; Lopez Castaño, S.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2024
D/2024/3241/084

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; Lopez Castaño, S. (2024). Sluis Wintam: Bepaling hydraulische belasting op drooglegkuip. Versie 3.0. WL Rapporten, 23_106_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen


Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg regio Centraal	Ref.:	WL2024R23_106_1
Trefwoorden (3-5):	Lock, dewatering caisson, force, main propeller, return current		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructie > Sluizen		
Tekst (p.):	32	Bijlagen (p.):	1
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verelst, K.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Lopez Castaño, S.	Getekend door:Santiago LOPEZ CASTA Getekend op:2024-07-08 15:44:23 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
Projectleider:	Verelst, K.	Getekend door:Kristof Verelst (Signature) Getekend op:2024-07-03 10:18:42 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op:2024-07-03 10:52:23 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
-----------------	---------------	--

Abstract

De sluis te Wintam vormt de verbinding tussen de Zeeschelde en het Zeekanaal Brussel-Schelde en laat toe schepen te verschutten met een breedte tot 24.0 m en een diepgang tot 8.8 m. Zowel in het bovenhoofd als in het benedenhoofd bevinden zich twee roldeuren. Bij het buiten dienst zijn van een van beide roldeuren ten gevolge van onderhoud of technisch falen is de continuïteit voorzien door de andere roldeur. De rails van de onderrolwagen van de roldeuren zijn echter in slechte staat. Om die reden plant de Vlaamse Waterweg regio Centraal (DVW) een renovatie van deze rails. Aangezien de sluis te Wintam de enige toegang is tot het Zeekanaal Brussel-Schelde is het onmogelijk om deze sluis voor een lange tijd buiten dienst te stellen en wordt door DVW de bouw van een drooglegkuip gepland. Het ontwerp van deze drooglegkuip wordt uitgevoerd door afdeling Expertise Beton en Staal.

Het toepassen van de drooglegkuip impliceert een lokale vermindering van de kielspeling met 1.5 m. Gelet op de nauwe sectie tussen schip en sluis bij de minimale kielspeling vraagt DVW aan het Waterbouwkundig Laboratorium om de hydraulische krachten ten gevolge van scheepvaart op de drooglegkuip te begroten. Bij binnenvaren van een sluis kunnen enkel de retourstroming en de stroming ten gevolge van de hoofdschroef van schepen mogelijk de stabiliteit van de drooglegkuip in gevaar brengen.

De retourstroming is begroot voor 12 condities bij binnenvaren van de sluis kolk aan Scheldezijde en 5 condities bij binnenvaren van de sluis kolk aan kanaalzijde. Hierbij zijn vooral combinaties van breedtes van schepen, diepgang en waterstanden beschouwd waarbij de minimale kielspeling bereikt wordt. Daarnaast is ook de invloed van de breedte, diepgang en kielspeling van het schip op de grootte van de retourstroming onderzocht. De grootte van de stroming ten gevolge van de hoofdschroef is bepaald voor 3 schepen met de grootste breedte en/of met de grootste diepgang. Daarna is de verticale kracht op het bovenzak van de drooglegkuip bepaald aan de hand van de formulering voor de liftkracht op een element in een stroming en is de horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip bepaald aan de hand van de formulering voor de kracht van een stroming loodrecht op een vlakke plaat.

Zowel voor retourstroming als voor de stroming ten gevolge van de hoofdschroef worden krachten op het bovenzak en het zijvlak van de drooglegkuip berekend die beduidend lager zijn dan de druk van het water op het bovenzak. Bijgevolg zal de stabiliteit van de drooglegkuip niet in gedrang komen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Selectie condities voor bepaling kracht op drooglegkuip	4
3 Methodologie bepaling kracht op drooglegkuip	9
3.1 Bepaling stroomsnelheid ten gevolge van retourstroming bij binnenvaren sluis	9
3.2 Bepaling stroomsnelheid ten gevolge van hoofdschroef	12
3.3 Bepaling horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip	15
4 Resultaten bepaling krachten op drooglegkuip	16
4.1 Kracht op drooglegkuip ten gevolge van retourstroming.....	16
4.2 Kracht op drooglegkuip ten gevolge van stroming van hoofdschroef.....	25
5 Conclusies	29
6 Referenties	32
Bijlage 1 Plan sluis Wintam	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Karakteristieke afmetingen sluis Wintam	1
Tabel 2 – Afmetingen drooglegkuip	2
Tabel 3 – Beschouwde schepen voor bepaling kielspeling bij binnenvaren sluis Wintam	5
Tabel 4 – Variatie kielspeling in huidige toestand en met aanwezigheid drooglegkuip voor zeeschepen en duwkonvoeien	6
Tabel 5 – Condities voor bepaling kracht op drooglegkuip ten gevolge van retourstroming.....	7
Tabel 6 – Karakteristieke afmetingen beschouwde schepen voor bepaling kracht op drooglegkuip ten gevolge van stroming hoofdschroef	7
Tabel 7 – Condities bepaling kracht op drooglegkuip ten gevolge van de hoofdschroef	8
Tabel 8 – Resultaat berekening stroomsnelheid op het bovenvlak en de bovenzijde van zijwand drooglegkuip	21
Tabel 9 – Resultaat berekening stroomsnelheid op onderzijde van zijwand drooglegkuip.....	22
Tabel 10 – Resultaat berekening horizontale en verticale kracht op de drooglegkuip.....	23
Tabel 11 – Waterspiegeldaling bij aanwezigheid en afwezigheid van de drooglegkuip berekend aan de hand van formulerings uit de Rock Manual	24
Tabel 12 – Resultaat berekening horizontale kracht op zijwand drooglegkuip	27
Tabel 13 – Resultaat berekening verticale kracht op bovenvlak drooglegkuip	28

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Situering sluis Wintam (Bron: Google Earth).....	1
Figuur 2 – 3D voorstelling drooglegkuip.....	2
Figuur 3 – Doorsnede drooglegkuip (Expertise Beton en Staal, 2023).....	2
Figuur 4 – Variatie van diepgang in functie van breedte voor zeeschepen, binnenvaartschepen en duwkonvoeien.....	4
Figuur 5 – Principeschets berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van hoofdschroef van schip	13
Figuur 6 – Principeschets bepaling van de afstand r tussen een punt op de zijwand of bovenzijde van drooglegkuip tot as van de hoofdschroef.....	14
Figuur 7 – Schematische voorstelling kracht ten gevolge van stroming op de drooglegkuip.....	15
Figuur 8 – Principeschets bepaling horizontale en verticale kracht op drooglegkuip ten gevolge van retourstroming.....	17
Figuur 9 – Principeschets bepaling stroomsnelheid ten gevolge van de hoofdschroef op bovenzijde en zijzijde van de drooglegkuip.....	25
Figuur 10 – Variatie van stroomsnelheid op onderzijde en bovenzijde van de zijwand van de drooglegkuip	27
Figuur 11 – Variatie van stroomsnelheid op voorzijde en achterzijde van het bovenzijde van de drooglegkuip.....	28
Figuur 12 – Planzicht sluis Wintam (N.V. Zeekanaal en haveninrichtingen van Brussel, 1981).....	B1

1 Inleiding

De sluis te Wintam vormt de verbinding tussen de Zeeschelde en het Zeekanaal Brussel-Schelde, zie Figuur 1. Zowel in het bovenhoofd als in het benedenhoofd wordt de sluis afgesloten door twee roldeuren. De sluis heeft een lengte tussen de buitenste roldeuren van 279 m, een breedte van 25 m en een bodempeil gelijk aan -7.00 mTAW. Het drempelpeil van de sluis bedraagt -7.00 mTAW aan Scheldezijde en -5.10 m TAW aan de zijde van het Zeekanaal. Een overzicht van de karakteristieke afmetingen van de sluis te Wintam is gegeven in Tabel 1. De sluis laat toe schepen te verschutten met maximale afmetingen 180 m x 24.0 m x 8.8 m.



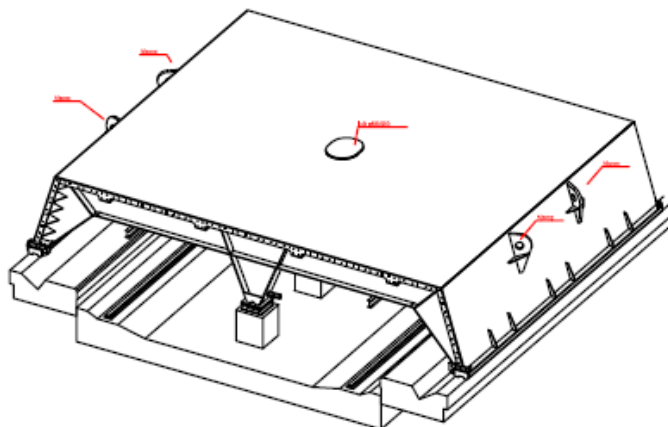
Figuur 1 – Situering sluis Wintam (Bron: Google Earth)

Tabel 1 – Karakteristieke afmetingen sluis Wintam

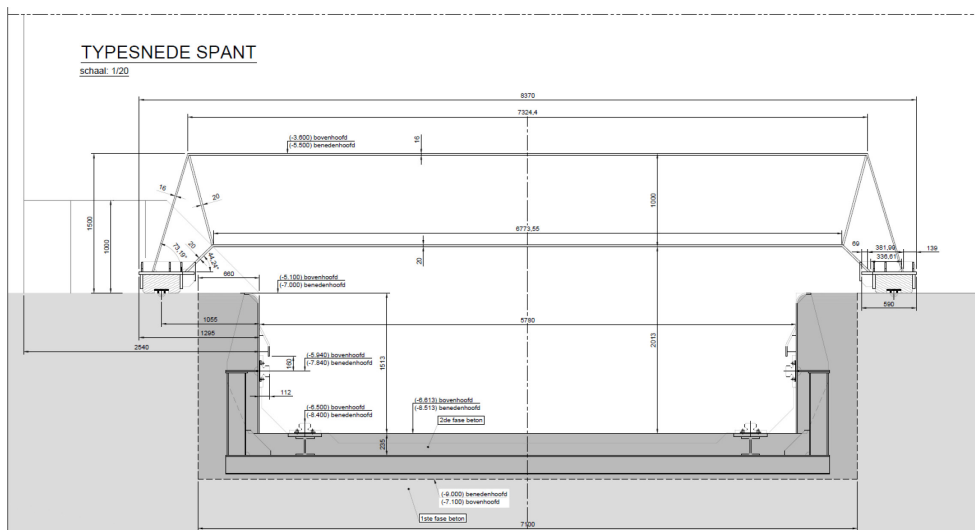
Totale lengte tussen buitenste roldeuren	279 m
Nuttige lengte	210 m
Breedte	25.00 m
Bodempeil	-7.00 mTAW
Drempelpeil opwaarts	-5.10 mTAW
Drempelpeil afwaarts	-7.00 mTAW

De rails van de onderrolwagens van de roldeuren van de sluis zijn in slechte staat. Om die reden plant de Vlaamse Waterweg regio Centraal (DVW-aRC) een renovatie van deze rails. Aangezien de sluis te Wintam de enige toegang is tot het Zeekanaal Brussel-Schelde is het onmogelijk om deze sluis voor een lange tijd buiten dienst te stellen. Om die reden wordt door DVW de bouw van een drooglegkuip gepland. Het ontwerp van deze drooglegkuip wordt uitgevoerd door afdeling Expertise Beton en Staal (EBS).

Figuur 2 geeft een 3D-voorstelling van een deel van de drooglegkuip. Een doorsnede van de drooglegkuip is gegeven in Figuur 3. De totale breedte van de drooglegkuip bedraagt 8.37 m, de totale hoogte bedraagt 1.50 m en de lengte is gelijk aan de breedte van de sluiscolk (25 m). De beide zijanten van de drooglegkuip hebben een helling van 73.19° met de horizontale. De breedte van het bovenzvlak bedraagt hierdoor 7.324 m.



Figuur 2 – 3D voorstelling drooglegkuip



Figuur 3 – Doorsnede drooglegkuip (Expertise Beton en Staal, 2023)

Tabel 2 – Afmetingen drooglegkuip

Lengte	25 m
Totale breedte	8.37 m
Hoogte	1.50 m
Breedte bovenzvlak	7.324 m
Hoek horizontale zijkanten	73.19°

Het toepassen van de drooglegkuip impliceert een vermindering van de waterdiepte in de sluiscolk met 1.50 m. Op dit ogenblik wordt de sluis gebruikt door zeeschepen met een maximale breedte tot 24.0 m en een maximale diepgang tot 8.8 m. De minimale kielspeling die door de loodsen van deze zeeschepen aangehouden wordt bedraagt 1.0 m aan Scheldezijde en 0.70 m aan de zijde van het Zeekanaal. DVW geeft aan dat de loodsen vermeld hebben dat schepen op dit ogenblik weerstand ondervinden bij het binnenvaren van de sluis.

Gelet op de nauwe sectie tussen schip en sluis bij deze minimale kielspeling, vraagt DVW (contactpersoon: Dajo Geys) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) om de hydraulische krachten ten gevolge van scheepvaart op de drooglegkuip te begroten. Bij binnenvaren van een sluis kunnen door schepen krachten op de drooglegkuip ontstaan ten gevolge van retourstroming, stroming ten gevolge van de hoofdschroef en stroming ten gevolge van de boegschroef. Van deze stromingen zullen enkel retourstroming en stroming ten gevolge van de hoofdschroef mogelijk de stabiliteit van de drooglegkuip in gevaar kunnen brengen. De stroming ten gevolge van de boegschroef van het schip bij binnenvaren van de sluis kolk doet zich loodrecht op de as van de sluis kolk voor en vormt daardoor geen gevaar voor de stabiliteit van de drooglegkuip.

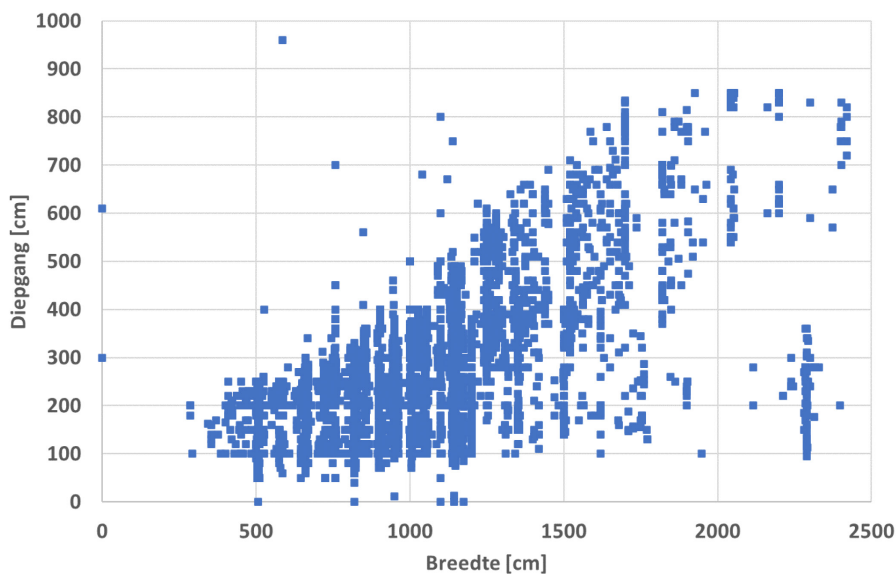
Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de selectie van de condities voor de bepaling van de krachten op de drooglegkuip. De methodologie voor de inschatting van de kracht op de drooglegkuip is gegeven in hoofdstuk 3, de resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 vat de conclusies van dit rapport samen.

2 Selectie condities voor bepaling kracht op drooglegkuip

Voor de bepaling van de kracht op de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming en stroming ten gevolge van de hoofdschroef zijn de schepen met de grootste breedte en de schepen met de grootste diepgang van belang. Deze schepen zorgen voor de grootste blokkering van het dwarsprofiel van de sluis kolk bij binnenvaren van de sluis.

Door DVW werd aan WL een lijst bezorgd met gegevens van schepen die zijn verschut in de sluis van Wintam in de periode januari 2022-augustus 2023. Deze lijst bevat voor elk schip het tijdstip "Actual Time of Arrival", het starttijdstip en eindtijdstip van de schutting, de richting (opwaarts of afwaarts), het type schip, de lengte, breedte en diepgang van het schip en de duur van de schutting.

Voor de bepaling van de krachten op de drooglegkuip zijn de schepen met de grootste breedte en de schepen met de grootste diepgang van belang. Voor zeeschepen, binnenvaartschepen en duwkonvoeien uit de lijst met scheepvaartgegevens toont Figuur 4 de variatie van de diepgang van de schepen in functie van de breedte. Uit deze figuur volgt dat in de periode januari 2022-augustus 2023 schepen met een breedte tot 24.0 m en schepen met een diepgang tot 8.50 m verschut zijn. Hierbij wordt opgemerkt dat de theoretisch maximale diepgang eigenlijk 8.80 m bedraagt.



Figuur 4 – Variatie van diepgang in functie van breedte voor zeeschepen, binnenvaartschepen en duwkonvoeien

Om een overzicht te krijgen van de kielspeling waarmee deze schepen de sluis binnenvaren is deze bepaald voor de 20 zeeschepen en duwkonvoeien met de grootste breedte uit de lijst met scheepvaartgegevens. Tabel 3 geeft een overzicht van de beschouwde schepen.

Tabel 3 – Beschouwde schepen voor bepaling kielspeling bij binnenvaren sluis Wintam

ActualTimeOfArrival	ActualStartTime	ActualEndTime	Traveldirei	Name	ShipType	Length	Width	Draught	DuurSchutting(min)
4/19/2022 5:27:21 AM	4/19/2022 6:26:50 AM	4/19/2022 6:39:46 AM	Afwaarts	CHEM SINGAPORE	Sea	14500	2420	800	13
7/17/2023 3:37:11 AM	7/17/2023 5:18:31 AM	7/17/2023 5:18:39 AM	Afwaarts	PURPLE RAY	Sea	14505	2420	820	0
6/8/2022 10:10:04 AM	6/8/2022 11:15:27 AM	6/8/2022 11:27:17 AM	Afwaarts	CHEM NEON	Sea	14650	2403	830	12
9/3/2022 9:25:17 AM	9/3/2022 10:51:17 AM	9/3/2022 10:51:23 AM	Afwaarts	CHEM NEON	Sea	14650	2403	780	0
2/4/2022 5:13:36 PM	2/4/2022 6:49:29 PM	2/4/2022 6:49:31 PM	Afwaarts	CHEM GALLIUM	Sea	14650	2400	780	0
1/23/2022 6:52:05 AM	1/23/2022 7:30:16 AM	1/23/2022 8:58:13 AM	Afwaarts	CHEM POLARIS	Sea	14660	2373	650	88
7/29/2023 8:04:03 PM	7/29/2023 9:09:55 PM	7/29/2023 9:41:59 PM	Afwaarts	T RIGEL	Sea	15701	2300	590	32
4/17/2022 6:45:17 PM	4/17/2022 6:47:35 PM	4/17/2022 7:02:17 PM	Opwaarts	CHEM SINGAPORE	Sea	14500	2420	720	15
7/15/2023 3:29:10 PM	7/15/2023 4:43:05 PM	7/15/2023 4:51:47 PM	Opwaarts	PURPLE RAY	Sea	14505	2420	750	8
6/6/2022 9:43:16 PM	6/6/2022 9:43:31 PM	6/6/2022 9:49:56 PM	Opwaarts	CHEM NEON	Sea	14650	2403	790	6
9/1/2022 7:57:31 AM	9/1/2022 9:05:40 AM	9/1/2022 9:31:08 AM	Opwaarts	CHEM NEON	Sea	14650	2403	700	26
2/3/2022 5:38:59 PM	2/3/2022 6:30:16 PM	2/3/2022 6:38:39 PM	Opwaarts	CHEM GALLIUM	Sea	14650	2400	750	8
1/21/2022 11:07:58 AM	1/21/2022 12:12:52 PM	1/21/2022 12:29:45 PM	Opwaarts	CHEM POLARIS	Sea	14660	2373	570	17
7/26/2023 10:15:48 AM	7/26/2023 11:26:22 AM	7/26/2023 12:02:05 PM	Opwaarts	T RIGEL	Sea	15701	2300	830	36
8/10/2023 6:02:40 AM	8/10/2023 6:34:01 AM	8/10/2023 6:47:36 AM	Afwaarts	RIGA	Convoy	11900	2397	200	13
11/16/2022 4:55:33 PM	11/16/2022 5:32:12 PM	11/16/2022 5:44:57 PM	Afwaarts	VENJO	Convoy	11000	2330	280	12
1/3/2023 3:03:11 PM	1/3/2023 3:07:53 PM	1/3/2023 3:15:51 PM	Afwaarts	VENJO	Convoy	10917	2315	280	8
2/1/2023 5:12:07 AM	2/1/2023 5:36:43 AM	2/1/2023 5:49:52 AM	Afwaarts	STANFORD	Convoy	10997	2315	177	13
2/5/2023 5:25:30 AM	2/5/2023 6:00:44 AM	2/5/2023 6:00:47 AM	Afwaarts	VENJO	Convoy	11156	2315	280	0
2/23/2022 2:13:47 PM	2/23/2022 3:13:52 PM	2/23/2022 3:13:59 PM	Afwaarts	DENFORD	Convoy	11000	2300	240	0
12/17/2022 4:12:36 PM	12/17/2022 5:13:25 PM	12/17/2022 5:13:28 PM	Opwaarts	VENJO	Convoy	11036	2317	280	0
4/20/2023 4:20:56 PM	4/20/2023 5:37:18 PM	4/20/2023 5:48:00 PM	Opwaarts	VENJO	Convoy	11036	2317	280	10
4/29/2023 5:16:44 PM	4/29/2023 6:00:33 PM	4/29/2023 6:10:07 PM	Opwaarts	VENJO	Convoy	11156	2315	280	10
5/5/2023 10:40:56 PM	5/5/2023 10:47:30 PM	5/5/2023 11:04:59 PM	Opwaarts	VENJO	Convoy	11156	2315	280	17
4/4/2023 12:49:38 AM	4/4/2023 1:30:07 AM	4/4/2023 1:47:14 AM	Opwaarts	VENJO	Convoy	11196	2308	280	17
5/25/2023 8:16:26 PM	5/25/2023 9:08:11 PM	5/25/2023 9:08:12 PM	Opwaarts	BARKENTIJN	Convoy	10700	2300	300	0

Voor deze schepen is de kielspeling bepaald als de waterdiepte bij een waterstand op de Schelde of op het kanaal op het tijdstip gelijk aan het "Actual Time of Arrival" verminderd met de diepgang van het schip.

Door DVW is vermeld dat het streefpeil van het Zeekanaal Brussel-Schelde gelijk is aan +4.45 mTAW. De normale speling op dit streefpeil is +/- 0.25 m. In extreme situaties kan de speling +/- 0.50 m bedragen. Uit eenvoud en aangezien het een inschatting betreft van de kielspeling bij binnenvaren van de sluis is voor de bepaling van de kielspeling de waterstand op het kanaal op elk tijdstip gelijk beschouwd aan het streefpeil.

Wat de waterstand op de Schelde betreft, wordt de waterstand gemeten door DVW aan afwaartse zijde van de sluiskolk. Daarnaast wordt de waterstand door WL op de Schelde te Hemiksem gemeten, wat ca. 2.8 km afwaarts van de monding van de Rupel in de Schelde gelegen is. Voor de bepaling van de kielspeling bij binnenvaren van de sluiskolk zijn de data van beide meetposten gedownload van waterinfo.be. De data van de meetpost van DVW aan afwaartse zijde van de sluiskolk in waterinfo.be zijn echter niet gevalideerd door WL, de data van de meetpost op de Schelde te Hemiksem betreffen gevalideerde data.

Op basis van deze waterstanden op het Zeekanaal Brussel-Schelde en op de Schelde is voor elk van de 20 beschouwde schepen de kielspeling bij binnenvaren van de sluiskolk bepaald. Tabel 4 geeft voor zeeschepen en duwkonvoeien, zowel bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde als aan kanaalzijde, een overzicht van de variatie van de diepgang en de kielspeling. In de huidige toestand varieert de kielspeling bij zeeschepen tussen 2.50 m en 5.70 m bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde en tussen 1.25 m en 3.65 m bij binnenvaren van de sluiskolk aan kanaalzijde. Voor de duwkonvoeien met een kleinere diepgang wordt een beduidend hogere kielspeling berekend. De kielspeling varieert tussen 4.00 m en 9.75 m bij binnenvaren aan Scheldezijde en tussen 6.75 m en 7.78 m bij binnenvaren aan kanaalzijde. In Tabel 4 is ook de kielspeling gegeven voor het geval op datzelfde ogenblik een drooglegkuip aanwezig zou geweest zijn. Deze is bepaald door de kielspeling in de huidige toestand te verminderen met 1.50 m. Op deze wijze wordt voor zeeschepen een kielspeling bepaald die varieert tussen 0.98 m en 4.22 m bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde en tussen -0.25 m en 2.15 m bij binnenvaren aan kanaalzijde. Zoals vermeld in hoofdstuk 1 bedraagt de minimale kielspeling die door loodsen aangehouden wordt 1.0 m aan Scheldezijde en 0.70 m aan kanaalzijde. Bijgevolg is een kielspeling gelijk aan 0.98 m Scheldezijde en -1.25 m aan kanaalzijde niet mogelijk. Dit betekent dat deze schepen met dezelfde diepgang de sluiskolk niet kunnen binnenvaren bij deze waterstanden. Dit heeft bij binnenvaren aan kanaalzijde een beperking van de diepgang tot gevolg of bij binnenvaren aan Scheldezijde een niet tij-onafhankelijk verschutten tot gevolg. Bij duwkonvoeien verlaagt de kielspeling tot waarden tussen 2.43 m en 8.25 m bij binnenvaren aan Scheldezijde en tot waarden die variëren tussen 5.25 m en 6.28 m bij binnenvaren aan kanaalzijde.

Tabel 4 – Variatie kielspeling in huidige toestand en met aanwezigheid drooglegkuip voor zeeschepen en duwkonvoien

Type schip	Sluishoofd	Kant	Diepgang	Kielspeling in huidige toestand	Kielspeling met drooglegkuip
Zeeschip	Benedenhoofd	Schelde	7.00 m – 8.30 m	2.50 m à 5.70 m	0.98 m* à 4.22 m
	Bovenhoofd	Kanaal	5.90 m – 8.30 m	1.25 m à 3.65 m	-0.25 m* à 2.15 m
Duwkonvooi	Benedenhoofd	Schelde	2.80 m – 3.00 m	4.00 m à 9.75 m	2.43 m à 8.25 m
	Bovenhoofd	Kanaal	2.77 m – 2.80 m	2.75 m à 7.78 m	2.25 m à 6.28 m

* = kielspeling lager dan minimale kielspeling van 1.0 m aan Scheldezijde en 0.70 m aan kanaalzijde

Uit bovenstaande analyse volgt dat in de huidige toestand schepen vooral aan kanaalzijde de sluis kolk binnenvaren met een kielspeling die iets hoger is dan de minimale kielspeling van 0.70 m. Aan Scheldezijde varen in de huidige toestand de schepen de sluis kolk binnen bij een hogere kielspeling. Bij verhoging van het drempelpeil met 1.5 m wordt door aanwezigheid van een drooglegkuip op de bodem van de sluis kolk zowel aan Scheldezijde als aan kanaalzijde wel de minimale kielspeling van 1.0 m, respectievelijk 0.70 m bereikt.

Voor de bepaling van de retourstroming worden om die reden vooral combinaties van breedtes van schepen, diepgang en waterstanden beschouwd met een kielspeling gelijk aan de minimale waarde, zowel aan Scheldezijde als aan kanaalzijde. In overleg met DVW zijn voor de bepaling van de retourstroming bij binnenvaren van de sluis kolk aan Scheldezijde en bij binnenvaren van de sluis kolk aan kanaalzijde de schepen uit Tabel 5 beschouwd. Bij deze tabel wordt het volgende opgemerkt:

- Voor de Scheldezijde is de minimale waterstand beschouwd zodat bij de betreffende diepgang van het schip de kielspeling gelijk is aan de minimale waarde van 1.0 m, met uitzondering van (zie hieronder) de combinaties waarbij een hogere kielspeling beschouwd is. Uitgangspunt voor de beschouwde diepgang betreft de gerapporteerde maximale diepgang van 8.5 m. De invloed van de theoretisch maximale diepgang gelijk aan 8.8 m en de invloed van een vrij lage waterstand (+1.20 m TAW) wordt ook nagegaan. Aan kanaalzijde is de diepgang van de schepen bij aanwezigheid van de drooglegkuip in het bovenhoofd beperkt tot 7.35 m zodat de kielspeling bij een waterstand gelijk aan streefpeil op het kanaal gelijk is aan de minimale kielspeling van 0.70 m. Voor het duwkonvooi is een waterpeil gelijk aan -1.40 m beschouwd. Dit is het laagste laagwaterpeil gemeten te Hemiksem in de periode 2011-2015 (Hertoghs *et al.*, 2018).
- Initieel werd de grootste diepgang en grootste breedte van de schepen beschouwd. Daarnaast is op vraag van DVW ook voor binnenvaren van de sluis kolk aan Scheldezijde en voor binnenvaren van de sluis kolk aan kanaalzijde de invloed van de breedte van het schip op de grootte van de retourstroming nagegaan. Bij een kleinere breedte zal het schip de sluis kolk binnenvaren met een hogere vaarsnelheid, wat aanleiding kan geven tot een hogere waarde van de retourstroming. Voor een aantal schepen is ook de invloed van de diepgang op de grootte van de retourstroming onderzocht.
- De schepen aangeduid met ZS1 tot en met ZS4 betreffen een theoretische combinatie van breedte, diepgang en waterstand.
- Voor het schip CHEM POLARIS met diepgang 8.5 m is ook onderzocht wat de invloed is van het binnenvaren van de sluis kolk aan Scheldezijde met een hogere kielspeling. Bij deze hogere kielspeling zal het schip de sluis kolk binnenvaren met een hogere vaarsnelheid, wat aanleiding kan geven tot een hogere waarde van de retourstroming.

Tabel 5 – Condities voor bepaling kracht op drooglegkuip ten gevolge van retourstroming

Sluishoofd	Schelde/ kanaal	Type schip	Naam	Breedte	Diep- gang	Drempel- peil	Water- stand	Kiel- speling
				m	m	mTAW	mTAW	m
Benedenhoofd	Schelde	Zeeschip	Chem polaris	24	5.7	-5.5	1.2	1.00
				24	8.8	-5.5	4.3	1.00
				24	8.5	-5.5	5.5	2.50
				24	8.5	-5.5	5.0	2.00
				24	8.5	-5.5	4.5	1.50
				24	8.5	-5.5	4.0	1.00
			ZS1	23	8.5	-5.5	4.0	1.00
			EVA DP	22	8.5	-5.5	4.0	1.00
			ZS2	21	8.5	-5.5	4.0	1.00
			ZS3	20	8.5	-5.5	4.0	1.00
		ZS4	20	8.8	-5.5	4.3	1.00	
Duwkonvooi	VENJO	23.15	2.8	-5.5	-1.4	1.33		
Bovenhoofd	Kanaal	Zeeschip	Chem Neon	24	7.35	-3.6	4.5	0.7
			ZS1	23	7.35	-3.6	4.5	0.7
			EVA DP	22	7.35	-3.6	4.5	0.7
			ZS2	21	7.35	-3.6	4.5	0.7
			ZS3	20	7.35	-3.6	4.5	0.7

Voor de bepaling van de kracht op de drooglegkuip ten gevolge van de hoofdschroef worden de schepen met grootste breedte en de grootste diepgang uit de lijst met scheepvaart beschouwd. Dit betreffen de schepen Chem Neon, Chem Polaris en EVA DP. Tabel 6 geeft een overzicht van de karakteristieke afmetingen van deze schepen. In deze tabel is ook het motorvermogen van de hoofschroef vermeld en de bron waaruit deze gegevens afkomstig zijn. De diameter van de propeller is op deze websites niet vermeld, maar is bepaald aan de hand van volgende formulering uit het PIANC rapport WG 180 (MarCom Working Group 180, 2015):

$$D_p = 0.1636 P^{0.3656}$$

Met:

- D_p Diameter propeller [m]
- P Vermogen motor [kW]

Tabel 6 – Karakteristieke afmetingen beschouwde schepen voor bepaling kracht op drooglegkuip ten gevolge van stroming hoofdschroef

Schip	Afmetingen	Motor- vermogen	Diameter propeller	Bron
Chem Neon	146.5 m x 24 m x 9.7 m	4620 kW	3.57 m	https://www.classnk.or.jp/register/regships/one_dsp.aspx?imo=9815264 Register of Ships - M/S CHEM NEON(CNo.181039)
Chem Polaris	146.6 m x 23.7 m x 9.6 m	4523 kW	3.55 m	https://www.classnk.or.jp/register/regships/one_dsp.aspx?imo=9416044
EVA DP	120 m x 22.0 m x 8.5 m	3320 kW	3.17 m	https://imacloudapplications.com/elburg/vessel_attachments/document/Eva%20DP.Vessel%20Particulars.pdf

Voor de bepaling van de kracht op de drooglegkuip wordt verondersteld dat het schip met de minimale kielspeling over de drooglegkuip gevaren is. Bij deze conditie bevindt de hoofdschroef van het schip zich het dichtste bij de bodem van de sluis en bij de drooglegkuip. Bijgevolg worden voor deze schepen dezelfde condities voor waterstand en diepgang beschouwd als bij de bepaling van de kracht op de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming. Echter omdat het schip zich in de sluis bevindt, maar reeds op een bepaalde afstand voorbij de drooglegkuip, wordt voor een schip dat richting Schelde vaart het drempelpeil van het bovenhoofd beschouwd als bodempeil en voor een schip dat richting kanaal vaart het drempelpeil van het benedenhoofd als bodempeil. Een overzicht van de beschouwde condities voor de bepaling van de kracht op de drooglegkuip ten gevolge van de hoofdschroef wordt gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 – Condities bepaling kracht op drooglegkuip ten gevolge van de hoofdschroef

Schip	Sluishoofd	Motorvermogen	Diameter propeller	Waterpeil	Bodempeil	Waterdiepte	Diepgang	Kielspeling	Afstand as schroef bodem	Percentage motorvermogen
Chem Neon	Bovenhoofd	4620 kW	3.57 m	4.45 m TAW	-5.10 mTAW	9.55 m	7.35 m	2.2 m	3.985 m	50 %
Chem Polaris	Benedenhoofd	4523 kW	3.55 m	1.20 mTAW	-7.00 mTAW	8.20 m	5.70 m	2.5 m	4.275 m	50 %
EVA DP	Benedenhoofd	3320 kW	3.17 m	4.00 mTAW	-7.00 mTAW	11.00 m	8.50 m	2.5 m	4.085 m	50 %

Bij Tabel 7 wordt opgemerkt dat in deze tabel ook het toegepast percentage motorvermogen vermeld is. Voor binnenvaren van een sluis is in de literatuur voor zeeschepen hiervoor geen standaardwaarde beschikbaar. Voor aanmeren aan een kaaimuur vermeldt het PIANC rapport WG 180 (MarCom Working Group 180, 2015) een aanbeveling om 5 à 15 % van het geïnstalleerde motorvermogen voor de hoofdschroef toe te passen. Echter binnenvaren van een sluis verschilt wezenlijk van het aanmeren aan een kaaimuur. Bij het ontwerp van de bodembescherming voor de Nieuwe Sluis te Terneuzen werd voor zeeschepen met een lengte van 180 m een toegepast motorvermogen beschouwd van 50 %, zowel voor aanmeren aan een kaaimuur als voor binnenvaren van een sluis. Voor dit advies wordt dezelfde waarde van 50 % van het totaal geïnstalleerd motorvermogen beschouwd voor het gebruik van de hoofdschroef bij binnenvaren van de sluis.

3 Methodologie bepaling kracht op drooglegkuip

Bij binnenvaren van de sluis te Wintam zal de drooglegkuip voornamelijk krachten ondervinden ten gevolge van retourstroming en stroming ten gevolge van de hoofdschroef. Dit hoofdstuk beschrijft vooreerst de methodologie voor de bepaling van de retourstroming van schepen bij binnenvaren van een sluis (paragraaf 3.1) en de methodologie voor de bepaling van de stroomsnelheid ter plaatse van de drooglegkuip ten gevolge van de hoofdschroef van het schip (paragraaf 3.2).

Aan de hand van deze formuleringen wordt eerst de stroomsnelheid ter plaatse van de wanden en op het bovenzvlak van de drooglegkuip bepaald. Met behulp van deze stroomsnelheid wordt daarna de optredende horizontale kracht op de zijwand en de verticale kracht op het bovenzvlak van de drooglegkuip berekend. De methodologie voor de bepaling van deze horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip is beschreven in paragraaf 3.3.

3.1 Bepaling stroomsnelheid ten gevolge van retourstroming bij binnenvaren sluis

De retourstroomsnelheid van een schip bij binnenvaren van een sluis kan bepaald worden aan de hand van de formuleringen uit Ontwerp van Schutsluizen (Beem *et al.*, 2000) en aan de hand van de formuleringen uit de Rock Manual (CIRIA; CUR, 2007).

Volgens de formuleringen in "Ontwerp van schutsluizen" (Beem *et al.*, 2000) wordt de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van retourstroming berekend als:

$$u_r = \beta V_{smax} \frac{A_s}{(A_k - A_s)}$$

Met:

- u_r	Retourstroomsnelheid	[m/s]
- A_s	Natte sectie schip (= $b_s \cdot d_s$)	[m ²]
- b_s	Breedte schip	[m]
- d_s	Diepgang schip	[m]
- A_k	Natte sectie sluiskolk boven de drempel (= $b_k \cdot (h_k - z_d)$)	[m ²]
- b_k	Breedte sluiskolk	[m]
- h_k	Waterpeil	[mTAW]
- z_d	Drempelpeil sluiskolk	[mTAW]
- V_{smax}	Maximum invaarsnelheid sluismond	[m/s]
- β	coëfficiënt	[-]
	= 0,60 ($A_s/A_k=0,35$) tot 0,80 ($A_s/A_k=0,80$) voor $v_{smax}=1,0V_g$	
	= 0,45 ($A_s/A_k=0,35$) tot 0,70 ($A_s/A_k=0,80$) voor $v_{smax}=1,5V_g$	
	= 0,30 ($A_s/A_k=0,35$) tot 0,65 ($A_s/A_k=0,80$) voor $v_{smax}=2,0V_g$	
- V_g	Grenssnelheid schip	[m/s]

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- Voor de maximum invaarsnelheid van de sluismond wordt in "Ontwerp van schutsluizen" (Beem *et al.*, 2000) 1 tot 2 maal de grenssnelheid beschouwd. Hierbij wordt de grenssnelheid berekend ter plaatse van de drempel van de sluiskolk. Bij het naderen van de sluis in de fuik kan de

vaarsnelheid hoger zijn dan de grenssnelheid berekend ter plaatse van de drempel. Om die reden wordt in “Ontwerp van schutsluizen” een maximum vaarsnelheid beschouwd die gelijk is aan 1 à 2 maal de berekende grenssnelheid.

- De grenssnelheid van een schip is de maximale snelheid waarmee een schip in normale snelheid kan varen. Bij bepaalde schepen, bijvoorbeeld een speedboot of een catamaran, kan de vaarsnelheid hoger zijn dan de grenssnelheid. Dit kost een zeer groot motorvermogen en het schip kan daarbij uit het water getild worden (“planeren”).

In “Ontwerp van schutsluizen” (Beem *et al.*, 2000) wordt de grenssnelheid berekend aan de hand van volgende formulering:

$$V_g = [0,76(A_s/A_k)^2 - 1,45(A_s/A_k) + 0,74]\sqrt{g(h_k - z_d)}$$

Met:

-	V_g	Grenssnelheid	[m/s]
-	A_s	Natte sectie schip	[m ²]
-	A_k	Natte sectie sluiskolk boven de drempel	[m ²]
-	h_k	Waterpeil	[mTAW]
-	z_d	Drempelpeil	[mTAW]
-	g	Valversnelling (=9,81 m/s ²)	[m/s ²]

Deze formulering is enkel geldig voor een verhouding natte sectie schip tot natte sectie sluiskolk (A_s/A_k) die gelegen is tussen 0.35 en 0.85. Voor waarden buiten deze range vermeldt het rapport “Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen” (Rijkswaterstaat Directie sluizen en stuwen, 1990) volgende formulering voor de berekening van de grenssnelheid, die wordt toegeschreven aan Balanyn en Bykov:

$$\frac{V_g}{\sqrt{gH}} = \sqrt{8} \left[\cos \left(\frac{\pi + \arccos \left(1 - \frac{A_s}{A_k} \right)}{3} \right) \right]^{3/2}$$

met:

-	V_g	Grenssnelheid van het schip	[m/s]
-	g	Valversnelling (=9,81 m/s ²)	[m/s ²]
-	H	Waterdiepte	[m]
-	A_s	Natte sectie schip	[m ²]
-	A_k	Natte sectie sluis	[m ²]

De Rock Manual (CIRIA; CUR, 2007) vermeldt voor de berekening van de grenssnelheid de formulering volgens Schijf voor een in de as van de vaarweg varende schip (Waterloopkundig Laboratorium, 1997):

$$\frac{V_g}{\sqrt{g h'}} = \left(\frac{2}{3} \right)^{3/2} \left(1 - \frac{A_m}{A_c} + \frac{V_g^2}{2 g h'} \right)^{3/2}$$

met:

-	V_g	Grenssnelheid	[m/s]
-	g	Valversnelling (=9.81 m/s ²)	[m/s ²]
-	h'	Imaginaire waterdiepte (= $\frac{A_c}{b_w}$)	[m]
-	A_c	Natte sectie waterweg	[m ²]
-	b_w	Breedte vaarweg aan waterlijn	[m]
-	A_m	Natte sectie schip	[m ²]

Een vergelijking van de uitdrukking voor de grenssnelheid volgens Balanyn en Bykov met deze uit Ontwerp van schutsluizen en met de (iteratief) bepaalde exacte oplossing van de formulering volgens Schijf leert dat:

- De grenssnelheid berekend met de formulering uit “Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen” (Rijkswaterstaat Directie sluizen en stuwen, 1990) is voor elke waarde van A_s/A_k gelijk aan de (iteratief bepaalde) exacte oplossing van de formulering van Schijf voor de grenssnelheid.
- De formulering uit “Ontwerp van schutsluizen” is een goede (tweedegraads-) benadering van de grenssnelheid berekend met de formulering uit Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen voor waarden van A_s/A_k gelegen tussen 0.15 en 0.65.

Voor de bepaling van de grootte van de retourstroomsnelheid wordt in de Rock Manual (CIRIA; CUR, 2007) verondersteld dat de vaarsnelheid van het schip (V_s) meestal gelijk is aan 0.9 maal de grenssnelheid voor ongeladen schepen en 0.75 maal de grenssnelheid voor geladen schepen. Daarna wordt aan de hand van de methode van Schijf de gemiddelde retourstroming berekend aan de hand van de onderstaande formuleringen:

$$\Delta h = \frac{V_s^2}{2g} \left(\alpha_s \left(\frac{A_c}{A_w} \right)^2 - 1 \right)$$

$$\alpha_s = 1.4 - 0.4 \frac{V_g}{V_s}$$

$$A_w = b_b (h - \Delta h) + m (h - \Delta h)^2 - A_m$$

$$A_c V_s = A_w (V_s + u_{r,gem})$$

met:

- Δh	Waterspiegeldaling naast schip	[m]
- V_s	Vaarsnelheid van het schip	[m/s]
- A_w	Parameter	[m ²]
- g	Valversnelling (=9.81 m/s ²)	[m/s ²]
- A_c	Natte sectie waterweg	[m ²]
- α_s	Correctiefactor	[-]
- V_g	Grenssnelheid	[m/s]
- b_b	Bodembreedte profiel	[m]
- h	Waterdiepte	[m]
- m	Taludhelling van het trapeziumvormig profiel	[-]
- A_m	Natte sectie schip	[m ²]
- $u_{r,gem}$	Gemiddelde retourstroomsnelheid	[m/s]

De bodembescherming in de toegangsgeul naar de sluis kan de grootte van de snelheidsverdeling van de retourstroming beïnvloeden. Om die reden vermeldt de Rock Manual dat de grootte van de retourstroming onder de kiel van het schip ingeschat kan worden aan de hand van volgende formulering:

$$u_{r,kiel} = 1.5 \text{ à } 2.0 u_{r,gem}$$

Met:

- $u_{r,kiel}$	Grootte retourstroomsnelheid onder kiel van schip	[m/s]
- $u_{r,gem}$	Gemiddelde retourstroomsnelheid	[m/s]

Bij de formuleringen voor de bepaling van de retourstroomsnelheid uit de Rock Manual wordt opgemerkt dat deze eigenlijk bepaald zijn voor een schip dat in de as van een (rechthoekig of trapeziumvormig) kanaal vaart. Een sluis kolk wijkt hiervan af aangezien het uiteinde van de sluis afgesloten is en de toegangsgeul naar de sluis een vernauwing van de dwarssectie vormt.

3.2 Bepaling stroomsnelheid ten gevolge van hoofdschroef

De stroomsnelheid juist achter een schroef wordt volgens de formuleringen in "Ontwerp van schutsluizen" (Beem *et al.*, 2000) en de Rock Manual (CIRIA; CUR, 2007) gegeven door volgende formule:

$$u_p = 1.15 \left(\frac{P_{schroef}}{\rho_w D_0^2} \right)^{1/3}$$

met:

- u_p	Stroomsnelheid juist achter de schroef	[m/s]
- $P_{schroef}$	Vermogen geleverd door de schroef	[W]
- ρ_w	Dichtheid water (= 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
- D_0	Effectieve diameter van de schroef	[m]
	$D_0 = \begin{cases} 0.7 D_p & \text{Schroef zonder straalbuis} \\ 1.0 D_p & \text{Schroef in straalbuis} \\ 0.85 D_p & \text{Schroef/straalbuiscombinatie} \end{cases}$	
- D_p	Echte diameter van de schroef	[m]

Zoals vermeld in Tabel 7 in hoofdstuk 2 wordt bij binnenvaren van een sluiskolk 50 % van het totaal geïnstalleerd vermogen beschouwd voor het vermogen geleverd door de schroef.

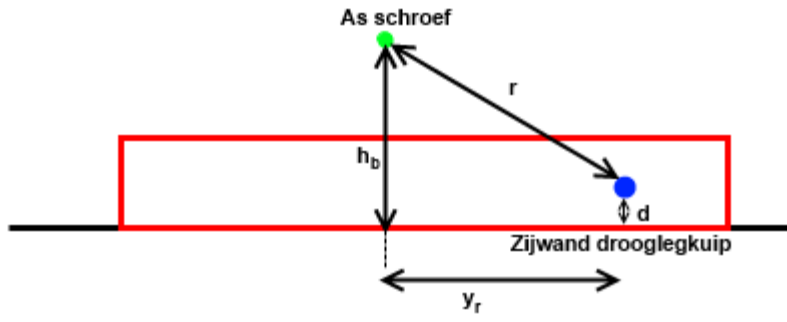
Bij de hoofdschroef van een schip doet de maximale stroomsnelheid boven de bodem u_{bp} zich voor op een afstand x_{bp} achter de schroef. Deze beide grootheden zijn schematisch voorgesteld in Figuur 5 en kunnen als volgt berekend worden (Beem *et al.*, 2000):

$$x_{bp} = 5.6 h_b$$

$$u_{bp} = 1.68 u_p \left(\frac{D_0}{x_{bp}} \right)$$

met:

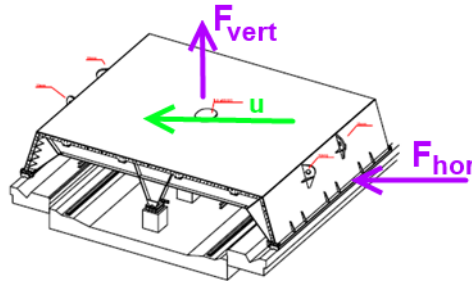
- x_{bp}	Horizontale afstand van de schroef tot de plaats met maximale stroomsnelheid aan de bodem	[m]
- h_b	Verticale afstand van de as van de schroef tot de bodem	[m]
- u_{bp}	Maximale stroomsnelheid boven de bodem	[m/s]
- D_0	Effectieve diameter van de schroef	[m]



Figuur 6 – Principeschets bepaling van de afstand r tussen een punt op de zijwand of bovenvlak van drooglegkuip tot as van de hoofdschroef

3.3 Bepaling horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip

Indien een schip over de drooglegkuip vaart zal de drooglegkuip ten gevolge van de retourstroming tussen kiel van het schip en de bodem en ten gevolge van de stroming van de hoofdschroef een verticale en een horizontale kracht ondervinden, zie Figuur 7.



Figuur 7 – Schematische voorstelling kracht ten gevolge van stroming op de drooglegkuip

De verticale kracht op het bovenvlak van de drooglegkuip ontstaat ten gevolge van lift van een horizontale stroming over dit bovenvlak. De formulering voor de bepaling van de liftkracht op een element ten gevolge van stroming is de volgende:

$$F_{vert} = \frac{1}{2} \rho C_L A u^2$$

Met:

- F_{vert}	Liftkracht ten gevolge van stroming	[N]
- ρ	Dichtheid water (= 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
- C_L	Liftcoëfficiënt	[-]
- A	Oppervlakte	[m ²]
- u	Stroomsnelheid	[m/s]

Wat de liftcoëfficiënt C_L betreft vermeldt Raes *et al.*, (1996) voor een plaatvormige bodembescherming een waarde gelijk aan 0.50. Deze waarde zal ook in deze studie toegepast worden.

Op de zijwanden van de drooglegkuip wordt door de stroming een horizontale kracht uitgeoefend. De hoek van de zijwanden van de drooglegkuip met de horizontale bedraagt 73.19°. Voor de bepaling van de horizontale kracht op de drooglegkuip wordt deze zijwand loodrecht op de bodem van de sluis beschouwd, of een hoek van 90° met de horizontale. Dit is een conservatieve benadering, aangezien op een verticale wand loodrecht op de stroming enkel horizontale krachten worden uitgeoefend. Op de zijwand van de drooglegkuip echter zal door de beperkt schuine positie naast een horizontale kracht ook een beperkte verticale kracht worden uitgeoefend.

Voor een verticale plaat die zich loodrecht op de stroming bevindt wordt de horizontale kracht op deze plaat berekend aan de hand van volgende formulering:

$$F_{hor} = \rho A u^2$$

Met:

- F_{hor}	Horizontale kracht op plaat ten gevolge van stroming	[N]
- ρ	Dichtheid water (= 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
- A	Oppervlakte	[m ²]
- u	Stroomsnelheid	[m/s]

4 Resultaten bepaling krachten op drooglegkuip

4.1 Kracht op drooglegkuip ten gevolge van retourstroming

Voor de bepaling van de horizontale en de verticale kracht ten gevolge van retourstroming op de drooglegkuip wordt eerst de grootte van de retourstroming bepaald aan de hand van de formuleringen in paragraaf 3.1. Bij de bepaling van de waarde van de retourstroming wordt als drempelpeil het peil van de bovenzijde van de drooglegkuip beschouwd, i.e. -5.50 mTAW voor het benedenhoofd en -3.60 m TAW voor het bovenhoofd. Deze stroomsnelheid doet zich eigenlijk voor tussen het bovenvlak van de drooglegkuip en de kiel van het schip. De retourstroming ten gevolge van het binnenvaren van een schip in een sluis is een uniforme stroming tussen schip en bodem of zijwand van de sluis. Voor de bepaling van de verticale kracht op het bovenvlak van de drooglegkuip wordt de op deze wijze berekende waarde van de retourstroming beschouwd. De verticale kracht wordt berekend aan de hand van de formulering uit paragraaf 3.3, waarbij een totale oppervlakte gelijk aan 183.1 m² (lengte 25 m x breedte bovenvlak 7.324 m) beschouwd wordt.

Echter aan de bodem van de sluis kolk doet zich een lagere stroomsnelheid voor aangezien hier de retourstroming aanwezig is die verderop in de sluis kolk wordt gegenereerd. Voor de bepaling van de horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip wordt om die reden de volgende methodologie toegepast:

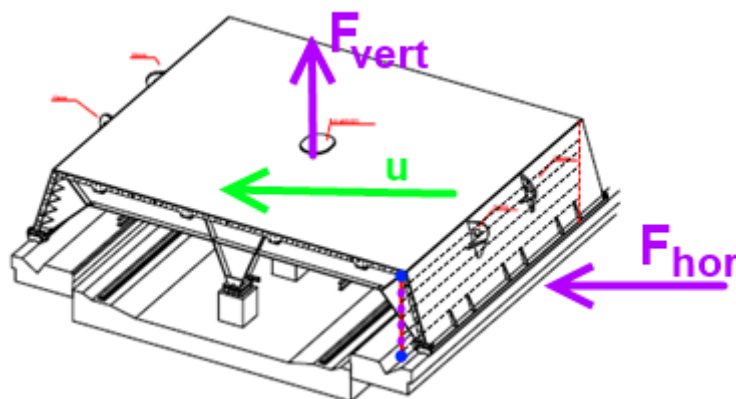
- 1) De waarde van de retourstroming berekend met als drempelpeil de bovenzijde van de drooglegkuip doet zich voor op de bovenste rand van de zijwand.
- 2) Op de onderrand van de zijwand doet zich een lagere stroomsnelheid voor. De stroomsnelheid wordt bij benadering bepaald door de retourstroming te berekenen voor hetzelfde schip dat de sluis binnenvaart bij afwezigheid van een drooglegkuip. Hierbij wordt bijgevolg het bodempeil van de sluis kolk aan benedenhoofd (-7.00 mTAW) en aan het bovenhoofd (-5.10 mTAW) beschouwd als drempelpeil bij de berekening van de retourstroming.
- 3) De zijwand wordt onderverdeeld in deelvlakken met een hoogte van 0.125 m en een lengte gelijk aan de lengte van de drooglegkuip. De stroomsnelheid op elk van deze deelvlakken wordt bepaald door lineaire interpolatie tussen de berekende stroomsnelheid op de bovenrand en de berekende stroomsnelheid op de onderrand (zie principeschets in Figuur 8).
- 4) De totale horizontale kracht wordt dan als volgt berekend als de som van de kracht op de deelvlakken:

$$F_{hor} = \sum \rho A_i u_i^2$$

Met:

-	F_{hor}	Totale horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming	[N]
-	ρ	Dichtheid water (= 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	A_i	Oppervlakte van deelvlak i (= $l_{drooglegkuip} \times h_i$)	[m ²]
-	$l_{drooglegkuip}$	Lengte drooglegkuip (= 25 m)	[m]
-	h_i	Hoogte van deelvlak (= 0.125 m)	[m]
-	u_i	Stroomsnelheid op deelvlak i	[m/s]

Hierbij wordt opgemerkt dat de berekening van de stroomsnelheid op de onderrand van de zijwand aan de hand van de retourstroming bij afwezigheid van een drooglegkuip een sterk benaderende methode is om deze stroomsnelheid te bepalen. De stroomsnelheid berekend in afwezigheid van een drooglegkuip doet zich op een voldoende grote afstand van de drooglegkuip voor. Ter plaatse van de onderrand van de zijwand van de drooglegkuip zal zich een overgang voordoen tussen de stroming in afwezigheid van drooglegkuip en de stroming in aanwezigheid van de drooglegkuip.



Figuur 8 – Principeschets bepaling horizontale en verticale kracht op drooglegkuip ten gevolge van retourstroming

Voor alle condities uit Tabel 5 in hoofdstuk 2 is vooreerst de waarde van de stroomsnelheid ten gevolge van retourstroming bepaald, zowel aan de hand van de formulering uit Ontwerp van Schutsluizen als aan de hand van de formulering uit de Rock Manual. Bij de formulering uit Ontwerp van Schutsluizen is zowel een vaarsnelheid gelijk aan 1.0 maal de grenssnelheid beschouwd als een vaarsnelheid gelijk aan 2.0 maal de grenssnelheid. Bij de formulering uit de Rock Manual is zowel een vaarsnelheid gelijk aan 0.75 maal de grenssnelheid beschouwd als een vaarsnelheid gelijk aan 0.90 maal de grenssnelheid. Voor deze beide waarden van de vaarsnelheid is in de formulering uit de Rock Manual zowel een stroomsnelheid onder de kiel beschouwd die gelijk is aan 1.5 maal de gemiddelde retourstroomsnelheid als een stroomsnelheid onder de kiel gelijk aan 2.0 maal de gemiddelde retourstroomsnelheid. De resultaten van deze berekening zijn gegeven in Tabel 8 voor de stroomsnelheid op het bovenvlak en de bovenrand van de zijwand van de drooglegkuip en in Tabel 9 voor de stroomsnelheid op de onderrand van de zijwand van de drooglegkuip.

Wat betreft de vaarsnelheid en de retourstroomsnelheid van het schip bij binnenvaren van de sluis volgt uit deze tabellen dat volgende waarden berekend worden:

- Aan de hand van de formuleringen volgens Ontwerp van Schutsluizen wordt bij toepassing van de vaarsnelheid gelijk aan 1 maal de grenssnelheid een vaarsnelheid van het schip berekend die varieert tussen 0.27 m/s en 0.89 m/s bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en een vaarsnelheid die varieert tussen 0.21 m/s en 0.77 m/s bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde. Bij toepassen van een vaarsnelheid gelijk aan 2 maal de grenssnelheid verdubbelt de berekende vaarsnelheid.
- Bij toepassen van de formuleringen uit de Rock Manual en bij toepassen van een vaarsnelheid gelijk aan 0.75 maal de grenssnelheid wordt een vaarsnelheid berekend die varieert tussen 0.69 m/s en 1.16 m/s bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en een vaarsnelheid die varieert tussen 0.60 m/s en 1.10 m/s bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde. Bij toepassen van een vaarsnelheid gelijk aan 0.90 maal de grenssnelheid varieert de berekende vaarsnelheid tussen 0.83 m/s en 1.39 m/s bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en tussen 0.73 m/s en 1.22 m/s bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde.

- De retourstroomsnelheid op het bovenzijde van de drooglegkuip berekend aan de hand van de formuleringsen volgens Ontwerp van Schutsluizen varieert tussen 1.00 m/s en 2.02 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 1 maal de grenssnelheid en tussen 1.43 m/s en 3.23 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 2 maal de grenssnelheid. Worden de formuleringsen uit de Rock Manual toegepast, dan varieert de retourstroomsnelheid tussen 1.82 m/s en 4.04 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 0.75 maal de grenssnelheid en tussen 2.49 m/s en 5.47 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 0.90 maal de grenssnelheid.
- De retourstroomsnelheid op het onderzijde van de zijwand van de drooglegkuip berekend aan de hand van de formuleringsen volgens Ontwerp van Schutsluizen varieert tussen 0.45 m/s en 1.19 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 1 maal de grenssnelheid en tussen 0.54 m/s en 1.73 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 2 maal de grenssnelheid. Worden de formuleringsen uit de Rock Manual toegepast, dan varieert de retourstroomsnelheid tussen 0.92 m/s en 2.76 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 0.75 maal de grenssnelheid en tussen 1.14 m/s en 3.48 m/s bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 0.90 maal de grenssnelheid.
- Voor de beschouwde zeeschepen is de berekende retourstroomsnelheid bij binnenvaren aan kanaalzijde beperkt lager dan deze berekend voor binnenvaren aan Scheldezijde. Bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde is de minimale kielspeling beperkt lager (0.3 m). Echter de diepgang van het schip om deze minimale kielspeling bij streefpeil te bereiken is aan kanaalzijde 1.15 m lager dan deze aan Scheldezijde.

Aan de hand van de formuleringsen uit de Rock Manual en bij toepassing van een waarde 0.90 voor de verhouding tussen vaarsnelheid en grenssnelheid worden zeer grote waarden voor de retourstroomsnelheid berekend. De retourstroomsnelheid berekend met een factor gelijk aan 0.75 heeft ongeveer dezelfde grootte-orde als deze berekend met een vaarsnelheid gelijk aan 2.0 maal de grenssnelheid volgens de formuleringsen uit Ontwerp van Schutsluizen. De Rock Manual vermeldt echter dat een verhouding tussen vaarsnelheid en grenssnelheid gelijk aan 0.75 geldig is voor geladen schepen en een verhouding gelijk aan 0.90 voor ongeladen schepen. De voor de condities in dit advies beschouwde diepgangen zijn deze voor geladen schepen. Om die reden worden de beduidend grotere retourstroomsnelheden berekend met een factor 0.90 voor de verhouding tussen vaarsnelheid en grenssnelheid uit de Rock Manual als niet-realistisch beschouwd en wordt voor de berekening van de horizontale en de verticale kracht op de drooglegkuip de retourstroming berekend aan de hand van de formuleringsen uit de Rock Manual met factor 0.90 voor de verhouding tussen vaarsnelheid en grenssnelheid niet meer beschouwd. Enkel de retourstroming berekend op basis van de formules uit Ontwerp van Schutsluizen en de retourstroming berekend aan de hand van de formuleringsen uit de Rock Manual met factor 0.75 voor de verhouding tussen vaarsnelheid en grenssnelheid worden verder nog beschouwd.

Algemeen volgt uit de tabellen dat de variatie van de berekende horizontale en verticale krachten in functie van breedte, diepgang schip en kielspeling van het schip hetzelfde is als de variatie van de retourstroomsnelheid in functie van breedte, diepgang schip en kielspeling van het schip, zowel voor de waarden berekend aan de hand van de formuleringsen uit Ontwerp van Schutsluizen als voor de waarden berekend aan de hand van de formuleringsen uit de Rock Manual. Om die reden worden in het vervolg van deze paragraaf enkel de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip in detail besproken en niet de berekende waarden van de retourstroomsnelheid. Voor de horizontale en verticale kracht op de drooglegkuip worden volgende krachten berekend (zie Tabel 10):

- Bij gebruik van de retourstroming berekend aan de hand van de formuleringsen uit Ontwerp van Schutsluizen en toepassen van een vaarsnelheid gelijk aan 1 maal de grenssnelheid van het schip wordt een horizontale kracht, respectievelijk verticale kracht op de drooglegkuip berekend die varieert tussen 21 kN en 97 kN, respectievelijk 46 kN en 186 kN bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en tussen 27 kN en 66 kN, respectievelijk 66 kN en 136 kN bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde. Bij toepassen van een vaarsnelheid gelijk aan 2 maal de grenssnelheid van het schip wordt een horizontale kracht, respectievelijk verticale kracht berekend die varieert tussen 39 kN en 237 kN, respectievelijk 94 kN en 477 kN bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en tussen 71 kN en 158 kN, respectievelijk 173 kN en 242 kN bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde.

- Bij gebruik van de retourstroming berekend aan de hand van de formuleringen uit de Rock Manual en toepassen van een retourstroomsnelheid onder de kiel gelijk aan 1.50 maal de gemiddelde retourstroomsnelheid wordt een horizontale, respectievelijk verticale kracht berekend die varieert tussen 43 kN en 157 kN, respectievelijk 151 kN en 419 kN bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en tussen 88 kN en 104 kN, respectievelijk 291 kN en 307 kN bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde. Bij toepassen van een retourstroomsnelheid onder de kiel gelijk aan 2.0 maal de gemiddelde retourstroomsnelheid wordt een horizontale, respectievelijk verticale kracht berekend die varieert tussen 56 kN en 216 kN, respectievelijk 268 kN en 746 kN bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en tussen 116 kN en 141 kN, respectievelijk 517 kN en 545 kN bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde.

Hieruit volgt dat de maximale waarde van de berekende verticale kracht op de drooglegkuip, onafhankelijk van de formulering waarmee deze berekend is, gelijk is aan 746 kN bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde en 545 kN bij binnenvaren van de sluiskolk aan kanaalzijde. Voor de verschillende beschouwde condities varieert de druk van de waterkolom op het volledige bovenzvlak van de drooglegkuip tussen 7687 kN (bij waterpeil Scheldezijde: -1.40 mTAW en peil bovenzijde drooglegkuip: -5.50 mTAW) en 17812 kN (bij waterpeil Scheldezijde: +4.00 mTAW en peil bovenzijde drooglegkuip: -5.50 mTAW). Dit is beduidend hoger dan de berekende krachten op dit bovenzvlak ten gevolge retourstroming bij binnenvaren van een schip in de sluiskolk.

Wat betreft de variatie van de berekende vaarsnelheid van het schip en de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip in functie van breedte, diepgang en kielspeling van het schip volgt uit de tabellen het volgende:

- Bij eenzelfde diepgang van het schip en eenzelfde waterstand neemt de minimale benodigde vaarsnelheid toe bij een afnemende breedte van het schip. Bij toepassen van de formuleringen uit ontwerp van Schutsluizen nemen de horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde toe tot een breedte van het schip gelijk aan 22 m en dalen deze bij verder afnemende breedte. Bij toepassen van de formuleringen uit de Rock Manual blijven de krachten toenemen bij afnemende breedte van het schip. Echter de toename is beperkt tot bijna verwaarloosbaar vanaf een breedte van het schip gelijk aan 22 m. Bij het binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde en toepassen van de formuleringen uit ontwerp van Schutsluizen nemen de horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip toe bij een afname van de breedte van het schip en een gelijk blijvende kielspeling tot een breedte van het schip gelijk aan 21 m. Bij de kleinere breedte van het schip van 20 m nemen de horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip beperkt af. Bij toepassen van de formuleringen uit de Rock Manual blijven de berekende horizontale krachten toenemen in functie van de afnemende breedte van het schip. Echter voor de verticale krachten worden bij een breedte van het schip kleiner dan 22 m een eerder constante waarde berekend.
- Bij eenzelfde breedte van het schip wordt voor een diepgang 8.5 m en voor een diepgang gelijk aan 8.8 m bij de minimale kielspeling van 1.0 m bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde een quasi dezelfde minimale vaarsnelheid berekend. Deze toename van de diepgang van het schip van 8.5 m naar 8.8 m heeft slechts een beperkte invloed op de berekende horizontale en verticale kracht op de drooglegkuip. Bij afname van de diepgang tot 5.7 m en eenzelfde kielspeling neemt de vaarsnelheid beperkt toe bij toepassing van de formuleringen uit Ontwerp van Schutsluizen, maar blijft deze dezelfde bij toepassing van de formuleringen uit de Rock Manual. Deze afname van de diepgang heeft wel een relatief grote afname van de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip tot gevolg, zowel voor de krachten berekend aan de hand van de formuleringen uit Ontwerp van Schutsluizen als deze berekend aan de hand van de formuleringen uit de Rock Manual.
- Bij eenzelfde breedte van het schip en eenzelfde diepgang neemt de vaarsnelheid toe bij een toename van de kielspeling van het schip bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde. Bij toepassen van de formuleringen uit Ontwerp van Schutsluizen nemen de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip toe met een toename van de kielspeling tot een kielspeling van 2.0 m.

Bij een verdere toename van de kielspeling naar 2.5 m wordt een beperkte afname van de horizontale en verticale kracht berekend. Bij toepassing van de formulerings uit de Rock Manual blijft de berekende horizontale en de verticale kracht toenemen bij een toename van de kielspeling van de minimale waarde van 1.0 m tot een kielspeling van 2.5 m.

- Wegens de kleinere diepgang van het duwkonvooi wordt bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde een lagere vaarsnelheid berekend dan bij een zeeschip met min of meer dezelfde kielspeling, maar met grotere diepgang. Voor dit duwkonvooi worden ook beduidend lagere horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip berekend dan bij een zeeschip met min of meer dezelfde kielspeling, maar met grotere diepgang.

Bij binnenvaren van een schip in de sluis kolk of bij het overvaren van de drooglegkuip zal de waterspiegel ter plaatse van de kiel van het schip lokaal verlagen. Bij toepassing van de formulerings uit de Rock Manual wordt deze waterspiegeldaling expliciet berekend en mee beschouwd bij de bepaling van de retourstroomsnelheid. Bij de formulerings uit Ontwerp van Schutsluizen wordt deze waterspiegeldaling niet expliciet bepaald. Vermoedelijk is de waterspiegeldaling bij deze formulerings impliciet aanwezig in de waarde van de parameter β , dewelke een functie is van de blokkering van de natte sectie van de sluis kolk door het schip. Tabel 11 geeft voor de verschillende beschouwde condities een overzicht van de waterspiegeldaling berekend aan de hand van de formulerings uit de Rock Manual, zowel bij binnenvaren van het schip in de kolk en aanwezigheid van een drooglegkuip als bij binnenvaren van het schip in de kolk en afwezigheid van de drooglegkuip. De waterspiegeldaling bij aanwezigheid van een drooglegkuip doet zich voor ter plaatse van de drooglegkuip in de sluishoofden bij het overvaren, de waterspiegeldaling bij afwezigheid van de drooglegkuip doet zich voor in de rest van de sluis kolk. Uit Tabel 11 volgt dat de waterspiegeldaling ter plaatse van de drooglegkuip aan Scheldezijde varieert tussen 0.22 m en 0.49 m en dat deze ter plaatse van de drooglegkuip aan kanaalzijde varieert tussen 0.27 m en 0.37 m. In de rest van de sluis kolk varieert de waterspiegeldaling tussen 0.11 m en 0.32 m bij binnenvaren van de kolk aan Scheldezijde en tussen 0.13 m en 0.21 m bij binnenvaren van de kolk aan kanaalzijde. De waterspiegeldaling bij aanwezigheid van een drooglegkuip is maximaal 0.17 m groter dan deze bij afwezigheid van de drooglegkuip bij binnenvaren van de sluis kolk aan Scheldezijde en maximaal 0.11 m groter bij binnenvaren van de sluis kolk aan kanaalzijde. Hierbij wordt opgemerkt dat de formulerings uit de Rock Manual voor de berekening van de retourstroming en bijgevolg ook de waterspiegeldaling afgeleid zijn voor een schip dat in een oneindig lang trapeziumvormig kanaal vaart. Een sluis kolk echter is aan het uiteinde afgesloten en de toegangseulen naar de sluis veranderen van breedte. Dit heeft tot gevolg dat de berekende waterspiegeldaling conservatief is en in werkelijkheid vermoedelijk beperkt lager zal zijn.

Tabel 8 – Resultaat berekening stroomsnelheid op het bovenzvlak en de bovenzijde van zijwand drooglegkuip

Sluishoofd	Schelde/ kanaal	Type schip	Naam	breedte	diep- gang	drempel- peil	water- stand	kiel- speling	Formulering uit Ontwerp van schutsluizen				Formulering uit Rock Manual					
									Vaarsnelheid=1.0 x grenssnelheid		Vaarsnelheid=2.0 x grenssnelheid		Vaarsnelheid=0.75 x grenssnelheid			Vaarsnelheid=0.90 x grenssnelheid		
									Vaar- snelheid	Retourstroom- snelheid	Vaar- snelheid	Retourstroom- snelheid	Vaar- snelheid	$u_{r,kiel} = 1.5 \times$ $u_{r,gem}$	$u_{r,kiel} = 2.0 \times$ $u_{r,gem}$	Vaar- snelheid	$u_{r,kiel} = 1.5 \times$ $u_{r,gem}$	$u_{r,kiel} = 2.0 \times$ $u_{r,gem}$
									m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Benedenhoofd	Schelde	Zeeschip	Chem polaris	24	5.7	-5.5	1.2	1.00	0.35	1.24	0.70	2.02	0.69	2.34	3.13	0.83	3.16	4.21
				24	8.8	-5.5	4.3	1.00	0.27	1.37	0.55	2.23	0.71	2.80	3.73	0.85	3.75	5.01
				24	8.5	-5.5	5.5	2.50	0.86	1.91	1.72	2.98	1.14	3.03	4.04	1.37	4.10	5.47
				24	8.5	-5.5	5.0	2.00	0.73	2.02	1.46	3.23	1.00	2.95	3.94	1.20	3.99	5.32
				24	8.5	-5.5	4.5	1.50	0.43	1.52	0.86	2.47	0.85	2.87	3.82	1.02	3.86	5.15
				24	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.28	1.36	0.56	2.21	0.71	2.76	3.68	0.85	3.70	4.94
			ZS1	23	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.39	1.47	0.79	2.38	0.81	2.79	3.72	0.97	3.75	5.01
			EVA DP	22	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.67	1.97	1.34	3.18	0.92	2.81	3.74	1.10	3.79	5.05
			ZS2	21	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.77	1.81	1.54	2.84	1.03	2.81	3.75	1.24	3.81	5.08
			ZS3	20	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.88	1.70	1.77	2.60	1.15	2.81	3.74	1.38	3.82	5.09
		ZS4	20	8.8	-5.5	4.3	1.00	0.89	1.73	1.78	2.66	1.16	2.85	3.80	1.39	3.88	5.17	
Duwkonvooi	VENJO	23.15	2.8	-5.5	-1.4	1.33	0.82	1.00	1.65	1.43	0.97	1.82	2.42	1.16	2.49	3.32		
Bovenhoofd	Kanaal	Zeeschip	Chem Neon	24	7.35	-3.6	4.5	0.7	0.21	1.20	0.42	1.94	0.60	2.52	3.36	0.73	3.38	4.50
			ZS1	23	7.35	-3.6	4.5	0.7	0.31	1.31	0.62	2.13	0.70	2.55	3.41	0.84	3.44	4.58
			EVA DP	22	7.35	-3.6	4.5	0.7	0.43	1.39	0.85	2.26	0.80	2.58	3.44	0.96	3.48	4.63
			ZS2	21	7.35	-3.6	4.5	0.7	0.67	1.72	1.33	2.74	0.90	2.59	3.45	1.08	3.50	4.67
			ZS3	20	7.35	-3.6	4.5	0.7	0.77	1.60	1.53	2.48	1.01	2.59	3.45	1.22	3.51	4.68

$u_{r,kiel}$ = Retourstroomsnelheid onder kiel schip; $u_{r,gem}$ = gemiddelde retourstroomsnelheid; Opmerking: de retourstroomsnelheden berekend aan de hand van de formulering uit de Rock Manual bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 0.90 maal de grenssnelheid worden als eerder onrealistisch beschouwd.

Tabel 9 – Resultaat berekening stroomsnelheid op onderzijde van zijwand drooglegkuip

Sluishoofd	Schelde/ kanaal	Type schip	Naam	breedte	diep- gang	drempel- peil	water- stand	kiel- speling	Formulering uit Ontwerp van schutsluizen				Formulering uit Rock Manual					
									Vaarsnelheid=1.0 x		Vaarsnelheid=2.0 x		Vaarsnelheid=0.75 x grenssnelheid			Vaarsnelheid=0.90 x grenssnelheid		
									Vaar- snelheid	Retourstroom- snelheid	Vaar- snelheid	Retourstroom- snelheid	Vaar- snelheid	$u_{r,kiel} = 1.5 x$	$u_{r,kiel} = 2.0 x$	Vaar- snelheid	$u_{r,kiel} = 1.5 x$	$u_{r,kiel} = 2.0 x$
									m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	$u_{r,gem}$	$u_{r,gem}$	m/s	$u_{r,gem}$	$u_{r,gem}$
Benedenhoofd	Schelde	Zeeschip	Chem polaris	24	5.7	-7.0	1.2	2.50	0.35	0.52	0.70	0.77	0.69	1.26	1.68	0.83	1.56	2.07
				24	8.8	-7.0	4.3	2.50	0.27	0.62	0.55	0.99	0.71	1.70	2.26	0.85	2.09	2.79
				24	8.5	-7.0	5.5	4.00	0.86	1.19	1.72	1.73	1.14	2.07	2.76	1.37	2.61	3.48
				24	8.5	-7.0	5.0	3.50	0.73	1.16	1.46	1.73	1.00	1.96	2.62	1.20	2.46	3.28
				24	8.5	-7.0	4.5	3.00	0.43	0.80	0.86	1.22	0.85	1.81	2.42	1.02	2.26	3.01
				24	8.5	-7.0	4.0	2.50	0.28	0.62	0.56	0.97	0.71	1.66	2.22	0.85	2.05	2.74
			ZS1	23	8.5	-7.0	4.0	2.50	0.39	0.73	0.79	1.13	0.81	1.73	2.30	0.97	2.14	2.86
			EVA DP	22	8.5	-7.0	4.0	2.50	0.67	1.06	1.34	1.59	0.92	1.79	2.39	1.10	2.23	2.97
			ZS2	21	8.5	-7.0	4.0	2.50	0.77	1.04	1.54	1.52	1.03	1.83	2.44	1.24	2.30	3.07
			ZS3	20	8.5	-7.0	4.0	2.50	0.88	1.02	1.77	1.46	1.15	1.87	2.49	1.38	2.35	3.14
			ZS4	20	8.8	-7.0	4.3	2.50	0.89	1.06	1.78	1.51	1.16	1.92	2.56	1.39	2.41	3.21
		Duwkonvooi	VENJO	23.15	2.8	-7.0	-1.37	2.83	0.82	0.45	1.65	0.54	0.97	0.92	1.23	1.16	1.14	1.52
Bovenhoofd	Kanaal	Zeeschip	Chem Neon	24	7.35	-5.1	4.45	2.2	0.21	0.46	0.42	0.72	0.60	1.37	1.83	0.73	1.72	2.29
			ZS1	23	7.35	-5.1	4.45	2.2	0.31	0.57	0.62	0.87	0.70	1.46	1.95	0.84	1.81	2.41
			EVA DP	22	7.35	-5.1	4.45	2.2	0.43	0.67	0.85	0.99	0.80	1.53	2.03	0.96	1.89	2.52
			ZS2	21	7.35	-5.1	4.45	2.2	0.67	0.90	1.33	1.29	0.90	1.57	2.09	1.08	1.95	2.60
			ZS3	20	7.35	-5.1	4.45	2.2	0.77	0.89	1.53	1.24	1.01	1.61	2.14	1.22	2.03	2.70

$u_{r,kiel}$ = Retourstroomsnelheid onder kiel schip; $u_{r,gem}$ = gemiddelde retourstroomsnelheid; Opmerking: de retourstroomsnelheden berekend aan de hand van de formulering uit de Rock Manual bij toepassing van een vaarsnelheid gelijk aan 0.90 maal de grenssnelheid worden als eerder onrealistisch beschouwd.

Tabel 10 – Resultaat berekening horizontale en verticale kracht op de drooglegkuip

Sluishoofd	Schelde/ kanaal	Type schip	Naam	breedte	diep- gang	drempel- peil	water- stand	kiel- speling	Kracht horizontaal				Kracht verticaal			
									Formulering retourstroming uit Ontwerp van schutsluizen		Formulering retourstroming uit Rock Manual		Formulering retourstroming uit Ontwerp van schutsluizen		Formulering retourstroming uit Rock Manual	
									Vaarsnelheid=1.0 x grenssnelheid	Vaarsnelheid=2.0 x grenssnelheid	$u_{r,kiel} = 1.5 \times u_{r,gem}$	$u_{r,kiel} = 2.0 \times u_{r,gem}$	Vaarsnelheid=1.0 x grenssnelheid	Vaarsnelheid=2.0 x grenssnelheid	$u_{r,kiel} = 1.5 \times u_{r,gem}$	$u_{r,kiel} = 2.0 \times u_{r,gem}$
									kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Benedenhoofd	Schelde	Zeeschip	Chem polaris	24	5.7	-5.5	1.2	1.00	30.8	77.9	75.0	98.6	70.8	187.0	251.7	447.5
				24	8.8	-5.5	4.3	1.00	39.1	102.3	119.0	160.2	86.3	227.9	358.1	636.6
				24	8.5	-5.5	5.5	2.50	91.5	213.2	156.6	215.7	166.7	406.9	419.3	745.5
				24	8.5	-5.5	5.0	2.00	96.8	237.4	144.9	198.4	186.2	477.1	399.3	709.9
				24	8.5	-5.5	4.5	1.50	52.1	132.6	129.9	176.3	105.9	279.7	375.8	668.1
				24	8.5	-5.5	4.0	1.00	38.7	100.1	115.1	154.7	84.9	224.3	347.9	618.6
			ZS1	23	8.5	-5.5	4.0	1.00	46.9	120.4	120.7	163.1	98.3	259.6	355.8	632.5
			EVA DP	22	8.5	-5.5	4.0	1.00	89.0	220.9	125.8	171.0	178.2	462.9	360.5	640.9
			ZS2	21	8.5	-5.5	4.0	1.00	78.1	183.9	128.8	175.7	149.6	370.3	362.2	643.9
			ZS3	20	8.5	-5.5	4.0	1.00	70.8	158.5	131.2	179.8	131.7	309.6	361.0	641.8
		ZS4	20	8.8	-5.5	4.3	1.00	74.4	166.7	136.7	187.6	137.0	323.1	372.6	662.4	
		Duwkonvooi	VENJO	23.15	2.8	-5.5	-1.4	1.33	20.9	39.1	42.9	55.8	46.1	93.9	150.9	268.3
		Bovenhoofd	Kanaal	Zeeschip	Chem Neon	24	7.35	-3.6	4.45	0.7	27.4	71.1	87.7	115.7	65.5	172.9
ZS1	23				7.35	-3.6	4.45	0.7	34.8	89.1	94.1	125.3	78.3	206.7	298.7	531.0
EVA DP	22				7.35	-3.6	4.45	0.7	41.5	104.1	98.8	132.4	88.5	233.7	304.0	540.5
ZS2	21				7.35	-3.6	4.45	0.7	66.4	158.7	101.7	136.9	135.7	343.0	306.6	545.1
ZS3	20				7.35	-3.6	4.45	0.7	59.5	134.6	104.2	140.9	117.1	281.1	306.6	545.1

$u_{r,kiel}$ = Retourstroomsnelheid onder kiel schip; $u_{r,gem}$ = gemiddelde retourstroomsnelheid; Voor de Rock Manual is enkel een vaarsnelheid gelijk aan 0.75 maal de grenssnelheid beschouwd.

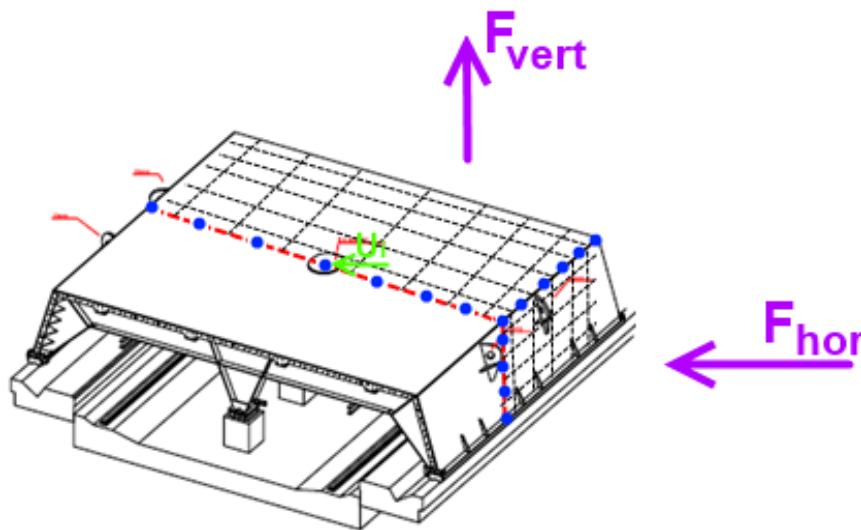
Tabel 11 – Waterspiegeldaling bij aanwezigheid en afwezigheid van de drooglegkuip berekend aan de hand van formuleringen uit de Rock Manual

Sluishoofd	Schelde/ kanaal	Type schip	Naam	Breedte	Diep- gang	Drempel- peil	Water- stand	Kiel- speling	Aanwezigheid drooglegkuip		Afwezigheid drooglegkuip		
									Vaar- snelheid	Waterspiegel- daling	Vaar- snelheid	Waterspiegel- daling	
									m/s	m/s	m/s	m/s	
Beneden- hoofd	Schelde	Zeeschip	Chem polaris	24	5.7	-5.5	1.2	1.00	0.69	0.26	0.69	0.12	
				24	8.8	-5.5	4.3	1.00	0.71	0.35	0.71	0.18	
				24	8.5	-5.5	5.5	2.50	1.14	0.49	1.14	0.32	
				24	8.5	-5.5	5.0	2.00	1.00	0.44	1.00	0.27	
				24	8.5	-5.5	4.5	1.50	0.85	0.39	0.85	0.22	
				24	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.71	0.34	0.71	0.18	
				ZS1	23	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.81	0.37	0.81	0.20
				EVA DP	22	8.5	-5.5	4.0	1.00	0.92	0.39	0.92	0.23
				ZS2	21	8.5	-5.5	4.0	1.00	1.03	0.42	1.03	0.25
				ZS3	20	8.5	-5.5	4.0	1.00	1.15	0.44	1.15	0.28
				ZS4	20	8.8	-5.5	4.3	1.00	1.16	0.46	1.16	0.29
		Duwkonvooi	VENJO	23.15	2.8	-5.5	-1.37	1.33	0.97	0.22	0.97	0.11	
Boven- hoofd	Kanaal	Zeeschip	Chem Neon	24	7.35	-3.6	4.45	0.7	0.60	0.27	0.60	0.13	
			ZS1	23	7.35	-3.6	4.45	0.7	0.70	0.30	0.70	0.15	
			EVA DP	22	7.35	-3.6	4.45	0.7	0.80	0.32	0.80	0.17	
			ZS2	21	7.35	-3.6	4.45	0.7	0.90	0.35	0.90	0.19	
			ZS3	20	7.35	-3.6	4.45	0.7	1.01	0.37	1.01	0.21	

Opmerking: waarden berekend met vaarsnelheid gelijk aan 0.75 maal de grenssnelheid van het schip

4.2 Kracht op drooglegkuip ten gevolge van stroming van hoofdschroef

Voor de bepaling van de horizontale en de verticale kracht op de drooglegkuip ten gevolge van stroming van de hoofdschroef wordt de zijwand van de drooglegkuip verdeeld in deelvlakken met een hoogte van 0.125 m en een lengte van 0.25 m, het bovenvlak wordt verdeeld in deelvlakken met een breedte van 0.50 m en een lengte van 0.25 m. Wegens de symmetrie van het bovenvlak en de zijwand van de drooglegkuip is hiervoor slechts de helft van de drooglegkuip beschouwd. Voor de halve drooglegkuip geeft dit in totaal 663 (= 13 x 51) deelvlakken op de zijwand en 816 (16 x 51) deelvlakken op het bovenvlak. Figuur 9 toont de principeschets voor de definitie van de deelvlakken. In het midden van elk deelvlak van het bovenvlak en elk deelvlak van de zijwand is daarna de grootte van de stroomsnelheid van de hoofdschroef bepaald aan de hand van de formuleringen in paragraaf 3.2.



Figuur 9 – Principeschets bepaling stroomsnelheid ten gevolge van de hoofdschroef op bovenvlak en zijvlak van de drooglegkuip

De totale horizontale kracht en verticale kracht op de drooglegkuip wordt dan aan de hand van de formuleringen uit paragraaf 3.3 als volgt berekend als twee maal de som van de kracht op de deelvlakken van de halve drooglegkuip:

$$F_{hor} = 2 \sum \rho A_i u_i^2$$

$$F_{vert} = 2 \sum \frac{1}{2} \rho C_L A_j u_j^2$$

Met:

- | | | |
|--------------------------|---|----------------------|
| - F_{hor} , F_{vert} | Totale horizontale kracht, respectievelijk verticale kracht op de drooglegkuip ten gevolge van stroming van hoofdschroef | [N] |
| - ρ | Dichtheid water (= 1000 kg/m ³) | [kg/m ³] |
| - A_i , A_j | Oppervlakte van deelvlak i van zijwand drooglegkuip of deelvlak j van bovenvlak drooglegkuip
$A_i = d_i \times y_i$; $A_j = y_j \times x_j$ | [m ²] |
| - d_i | Hoogte van deelvlak i op zijwand drooglegkuip | [m] |

- Y_i, Y_j	Lengte van deelvlak i op zijwand drooglegkuip of lengte van deelvlak j op bovenzvlak drooglegkuip	[m]
- x_j	Breedte van deelvlak j op bovenzvlak drooglegkuip	[m]
- C_L	Liftcoëfficiënt	
- u_i, u_j	Stroomsnelheid op deelvlak i of deelvlak j	[m/s]

Deze berekening is uitgevoerd voor de drie condities uit Tabel 7 in hoofdstuk 2. Paragraaf 3.2 vermeldt dat voor deze berekening verondersteld wordt dat het schip zich in de sluiscolk op een afstand bevindt waarbij ter plaatse van de drooglegkuip de maximale waarde van de stroomsnelheid aan de bodem zich voordoet. Voor de 3 beschouwde condities uit Tabel 7 in hoofdstuk 2 betreft dit een afstand die varieert tussen 22.3 en 23.9 m voorbij de drooglegkuip.

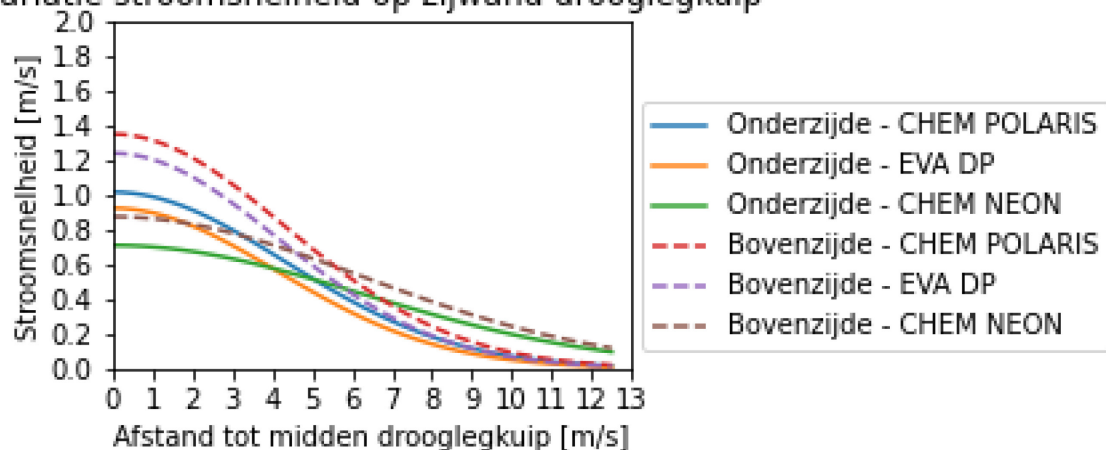
Voor de zijwand van de drooglegkuip toont Tabel 12 voor de drie beschouwde condities de maximale waarde van de berekende stroomsnelheid op de zijwand en de berekende totale horizontale kracht op de zijwand. In Figuur 10 is een grafische voorstelling gegeven van de variatie van de stroomsnelheid op de onderrand en de bovenrand van de zijwand van de drooglegkuip. De maximale waarde van de stroomsnelheid op de zijwand van de drooglegkuip wordt berekend in het midden van de bovenrand van de zijwand. De stroomsnelheid neemt af naar de zijwanden van de sluiscolk toe en in de richting van de onderrand van de zijwand. De maximale waarde van de stroomsnelheid varieert tussen 0.87 m/s en 1.24 m/s. Met deze stroomsnelheden wordt een totale horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip berekend die varieert tussen 10.5 kN en 16.3 kN.

Voor het bovenzvlak van de drooglegkuip toont Tabel 13 voor de drie beschouwde condities de maximale waarde van de berekende stroomsnelheid op het bovenzvlak en de berekende totale horizontale kracht op dit bovenzvlak. In Figuur 11 is een voorstelling gegeven van de variatie van de stroomsnelheid op de voorste en de achterste rand van het bovenzvlak. De maximale waarde van de stroomsnelheid op het bovenzvlak van de drooglegkuip wordt berekend in het midden van achterste rand van het bovenzvlak. De stroomsnelheid neemt af naar de zijwanden van de sluiscolk toe en neemt toe tussen de voorste en de achterste rand van het bovenzvlak. Deze laatste toename van de stroomsnelheid tussen de voorste en de achterste rand van het bovenzvlak lijkt eerder tegen-intuïtief, aangezien de stroomsnelheid in een jet achter een propeller afneemt met de afstand tot de propeller. Een verklaring voor dit eerder tegen-intuïtief resultaat is niet gevonden. De maximale waarde van de stroomsnelheid op het bovenzvlak van de drooglegkuip varieert tussen 0.96 m/s en 1.47 m/s. Met deze stroomsnelheden wordt een totale verticale kracht op het bovenzvlak van de drooglegkuip berekend die varieert tussen 18.8 kN en 32.78 kN. Analoog als bij de verticale kracht op het bovenzvlak van de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming geldt hierbij dat de berekende verticale kracht ten gevolge van stroming van de hoofdschroef beduidend lager is dan de druk van het water op de drooglegkuip, dewelke varieert tussen 7687 kN (bij waterpeil Scheldezijde: -1.40 mTAW en peil bovenzijde drooglegkuip: -5.50 mTAW) een 17812 kN (bij waterpeil Scheldezijde: +4.00 mTAW en peil bovenzijde drooglegkuip: -5.50 mTAW).

Tabel 12 – Resultaat berekening horizontale kracht op zijwand drooglegkuip

Schip	Chem Neon	Chem Polaris	EVA DP
Sluishoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd
Motorvermogen	4620 kW	4523 kW	3320 kW
Diameter propeller	3.57 m	3.55 m	3.17 m
Waterpeil	4.45 m TAW	1.20 mTAW	4.00 mTAW
Bodempeil	-5.10 mTAW	-7.00 mTAW	-7.00 mTAW
Waterdiepte	9.55 m	8.20 m	11.00 m
Diepgang	7.35 m	5.70 m	8.50 m
Kielspeling	2.2 m	2.5 m	2.5 m
Afstand as schroef -bodem	3.985 m	4.275 m	4.085 m
Afstand schip drooglegkuip	22.3 m	23.9 m	22.9 m
Percentage motorvermogen	50%	50%	50%
Maximale waarde stroomsnelheid op zijwand drooglegkuip	0.87 m/s	1.35 m/s	1.24 m/s
Totale horizontale kracht op zijwand drooglegkuip	10.5 kN	16.3 kN	13.1 kN

Variatie stroomsnelheid op zijwand drooglegkuip

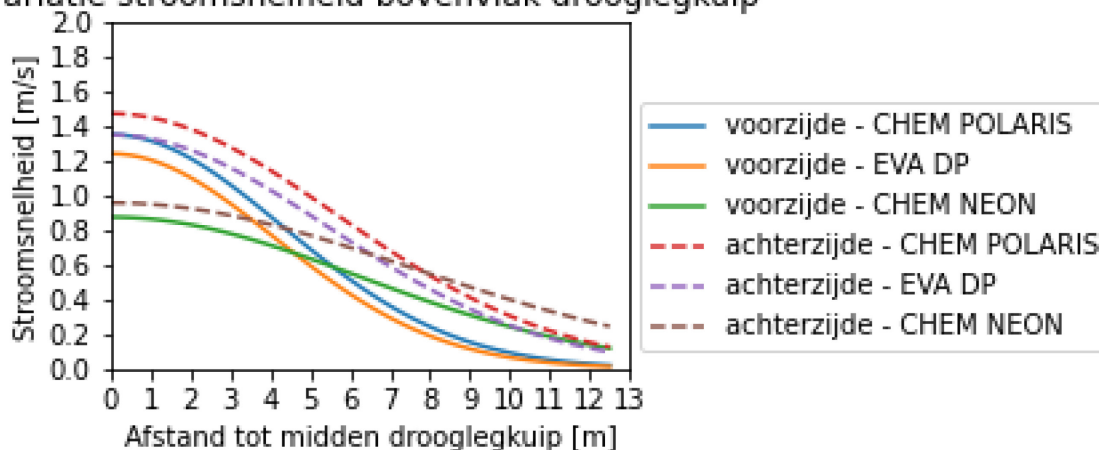


Figuur 10 – Variatie van stroomsnelheid op onderzijde en bovenzijde van de zijwand van de drooglegkuip

Tabel 13 – Resultaat berekening verticale kracht op bovenvlak drooglegkuip

Schip	Chem Neon	Chem Polaris	EVA DP
Sluishoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd
Motorvermogen	4620 kW	4523 kW	3320 kW
Diameter propeller	3.57 m	3.55 m	3.17 m
Waterpeil	4.45 m TAW	1.20 mTAW	4.00 mTAW
Bodempcil	-5.10 mTAW	-7.00 mTAW	-7.00 mTAW
Waterdiepte	9.55 m	8.20 m	11.00 m
Diepgang	7.35 m	5.70 m	8.50 m
Kielspeling	2.2 m	2.5 m	2.5 m
Afstand as schroef -bodcm	3.985 m	4.275 m	4.085 m
Afstand schip drooglegkuip	22.3 m	23.9 m	22.9 m
Percentage motorvermogen	50%	50%	50%
Maximale waarde stroomsnelheid op bovenvlak drooglegkuip	0.96 m/s	1.47 m/s	1.35 m/s
Totale verticale kracht op bovenvlak drooglegkuip	18.8 kN	32.7 kN	26.5 kN

Variatie stroomsnelheid bovenvlak drooglegkuip



Figuur 11 – Variatie van stroomsnelheid op voorzijde en achterzijde van het bovenvlak van de drooglegkuip

5 Conclusies

De sluis te Wintam vormt de verbinding tussen de Zeeschelde en het Zeekanaal Brussel-Schelde. De sluis laat toe schepen te verschutten met maximale afmetingen 180 m x 24.0 m x 8.8 m. Zowel in het bovenhoofd als in het benedenhoofd wordt de sluis afgesloten door twee roldeuren. Het drempelpeil in het benedenhoofd bedraagt -7.00 mTAW en het drempelpeil in het bovenhoofd -5.10 mTAW. Op dit ogenblik bedraagt de door loodsen toegepast minimale kielspeling 1.00 m bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde en 0.70 m bij binnenvaren van de sluiskolk aan kanaalzijde.

De rails van de onderrolwagen van de roldeuren van de sluis zijn in slechte staat. Om die reden plant de Vlaamse Waterweg regio Centraal (DVW) een renovatie van deze rails. Aangezien de sluis te Wintam de enige toegang is tot het Zeekanaal Brussel-Schelde is het onmogelijk om deze sluis voor een lange tijd buiten dienst te stellen. Om die reden wordt door DVW de bouw van een drooglegkuip gepland. Het ontwerp van deze drooglegkuip wordt uitgevoerd door afdeling Expertise Beton en Staal. Het toepassen van de drooglegkuip impliceert een vermindering van de waterdiepte in de sluiskolk met 1.50 m. Gelet op de nauwe sectie tussen schip en sluis bij de minimale kielspeling, vraagt DVW (contactpersoon: Dajo Geys) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) om de hydraulische krachten ten gevolge van scheepvaart op de drooglegkuip te begroten. Enkel retourstroming en stroming ten gevolge van de hoofdschroef kunnen hierbij mogelijk de stabiliteit van de drooglegkuip in gevaar kunnen brengen.

Voor de bepaling van de horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip en de verticale kracht op het bovenvlak van de drooglegkuip is eerst de grootte van de retourstroming en de grootte van de stroomsnelheid ten gevolge van de hoofdschroef bepaald op de zijwand en het bovenvlak aan de hand van de formuleringen uit Ontwerp van Schutsluizen en aan de hand van de formuleringen uit de Rock Manual. De grootte van de retourstroming is bepaald voor 12 condities bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde en 5 condities bij binnenvaren van de sluiskolk aan kanaalzijde. Voor deze condities zijn vooral combinaties van breedtes van schepen, diepgang en waterstanden beschouwd zodat zowel bij binnenvaren aan Scheldezijde als bij binnenvaren aan kanaalzijde de minimale kielspeling bereikt wordt. Daarnaast is ook de invloed van de breedte, diepgang en kielspeling van het schip op de grootte van de retourstroming onderzocht. De grootte van de stroming ten gevolge van de hoofdschroef is bepaald voor 3 schepen met de grootste breedte en de grootste diepgang. Daarna is de verticale kracht op bovenvlak van de drooglegkuip bepaald aan de hand van de formulering voor de liftkracht op een element in een stroming en is de horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip bepaald aan de hand van de formulering voor de kracht van een stroming loodrecht op een vlakke plaat.

De berekende maximale waarde van de verticale kracht op het bovenvlak van de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming bedraagt 746 kN bij binnenvaren van de sluiskolk aan Scheldezijde en 545 kN bij binnenvaren van de sluiskolk aan kanaalzijde. De maximale waarde van de horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming is gelijk aan 237 kN bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde en gelijk aan 158 kN bij binnenvaren van de sluis aan kanaalzijde. De gevoeligheidsanalyse naar de invloed van breedte, diepgang en kielspeling schip laat het volgende besluiten:

- Bij eenzelfde diepgang van het schip en eenzelfde waarde voor de kielspeling, neemt de minimale vaarsnelheid om de sluis in te varen toe bij een afnemende breedte van het schip. De horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip nemen bij afnemende breedte van het schip toe tot een breedte van het schip gelijk aan 21 à 22 m en nemen daarna af of blijven gelijk bij verder afnemende breedte van het schip.

- Bij eenzelfde breedte van het schip wordt voor een diepgang 8.5 m en voor een diepgang gelijk aan 8.8 m bij de minimale kielspeling van 1.0 m bij binnenvaren van de sluis kolk aan Scheldezijde eenzelfde minimale vaarsnelheid berekend. De toename van de diepgang van het schip van 8.5 m naar 8.8 m heeft bij de minimale kielspeling van 1.0 m slechts een beperkte invloed op de berekende horizontale en verticale kracht op de drooglegkuip. Bij verdere afname van de diepgang tot 5.7 m en een gelijk blijvende minimale kielspeling neemt de vaarsnelheid eerder beperkt toe, maar heeft dit wel een relatief grote daling van de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip tot gevolg.
- Bij eenzelfde breedte van het schip en eenzelfde diepgang neemt de benodigde minimale vaarsnelheid om de sluis kolk in te varen toe bij een toename van de kielspeling van het schip bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde. Afhankelijk van de toegepaste formulering nemen de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip toe tot een kielspeling van 2.0 m en nemen deze daarna beperkt af bij een toename van de kielspeling naar 2.5 m, of blijven de berekende horizontale en de verticale kracht toenemen bij toename van de kielspeling tot 2.5 m.
- Wegens de lagere diepgang van het duwkonvooi wordt bij binnenvaren van de sluis aan Scheldezijde aan lagere benodigde vaarsnelheid berekend dan bij een zeeschip met min of meer dezelfde kielspeling en grotere diepgang. Voor dit duwkonvooi worden bijgevolg ook beduidend lagere horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip berekend dan bij een zeeschip met min of meer dezelfde kielspeling en grotere diepgang.

Bij binnenvaren van een schip in de sluis kolk of bij het overvaren van de drooglegkuip zal de waterspiegel tussenschip en kolkwand lokaal verlagen. De waterspiegeldaling ter plaatse van de drooglegkuip aan Scheldezijde varieert tussen 0.22 m en 0.49 m en deze ter plaatse van de drooglegkuip aan kanaalzijde varieert tussen 0.27 m en 0.37 m. In de rest van de sluis kolk waar geen drooglegkuip aanwezig is varieert de waterspiegeldaling tussen 0.11 m en 0.32 m bij binnenvaren van de kolk aan Scheldezijde en tussen 0.13 m en 0.21 m bij binnenvaren van de kolk aan kanaalzijde. Hierbij wordt opgemerkt dat deze waterspiegeldaling berekend is aan de hand van formuleringen die afgeleid zijn voor een schip dat in een oneindig lang trapeziumvormig kanaal vaart. Een sluis kolk echter is aan het uiteinde afgesloten en de toegangsgouwen naar de sluis veranderen van breedte. Dit heeft tot gevolg dat de berekende waterspiegeldaling conservatief is en in werkelijkheid vermoedelijk beperkt lager zal zijn.

Ten gevolge van stroming van de hoofdschroef wordt een totale horizontale kracht op de zijwand van de drooglegkuip berekend met een maximale waarde gelijk aan 16.3 kN en een totale verticale kracht op het bovenvlak van de drooglegkuip met een maximale waarde gelijk aan 32.8 kN.

Bij de berekende horizontale en verticale krachten op de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming en ten gevolge van stroming van de hoofdschroef wordt algemeen het volgende opgemerkt:

- De verticale kracht op het bovenvlak van de drooglegkuip is, zowel ten gevolge van retourstroming als ten gevolge van stroming van de hoofdschroef, beduidend lager dan de druk van het water op de drooglegkuip, dewelke varieert tussen 7687 kN (bij waterpeil Scheldezijde: -1.40 mTAW en peil bovenzijde drooglegkuip: -5.50 mTAW) en 17812 kN (bij waterpeil Scheldezijde: +4.00 mTAW en peil bovenzijde drooglegkuip: -5.50 mTAW). Aangezien alle zijden van de drooglegkuip in contact staan met water is er geen direct risico op een instabiliteit van de drooglegkuip. Herhaaldelijke inwerking van deze krachten bij opeenvolgende scheepspassages kunnen mogelijk leiden tot vermoeiing. Dit valt echter buiten het bestek van deze studie en buiten de expertise van het WL.
- De kracht op de drooglegkuip door stroming ten gevolge van de hoofdschroef dient bij ontwerp van de drooglegkuip niet opgeteld te worden bij de kracht op de drooglegkuip ten gevolge van retourstroming. Als een schip vaart over de drooglegkuip wordt door de hoofdschroef geen kracht uitgeoefend op de drooglegkuip. Indien het schip voorbij de drooglegkuip gevaren is blijft de vorm van de jet achter de propeller constant over een afstand gelijk aan ca. 6 maal de diameter van de propeller of een afstand van ca. 21 m voor de beschouwde schepen.

Over deze afstand heeft de retourstroming zich reeds sterk uitgespreid in hoogte en breedte. Het combineren van de retourstroming en de stroming ten gevolge van de hoofdschroef zou een te conservatieve benadering zijn.

- Ten gevolge van retourstroming ontstaat een horizontale stroming tussen kiel van het schip en het bovenzvlak van de drooglegkuip. De waterdruk op het bovenzvlak van de drooglegkuip zal door deze stroming met hoge stroomsnelheden niet afnemen, aangezien de sectie tussen schip en kolkwanden en deze tussen schip en drooglegkuip een communicerend vat vormt, waardoor op de bovenzijde van de drooglegkuip een constante waterdruk voordoet, die gelijk is aan de waterdruk naast het schip.

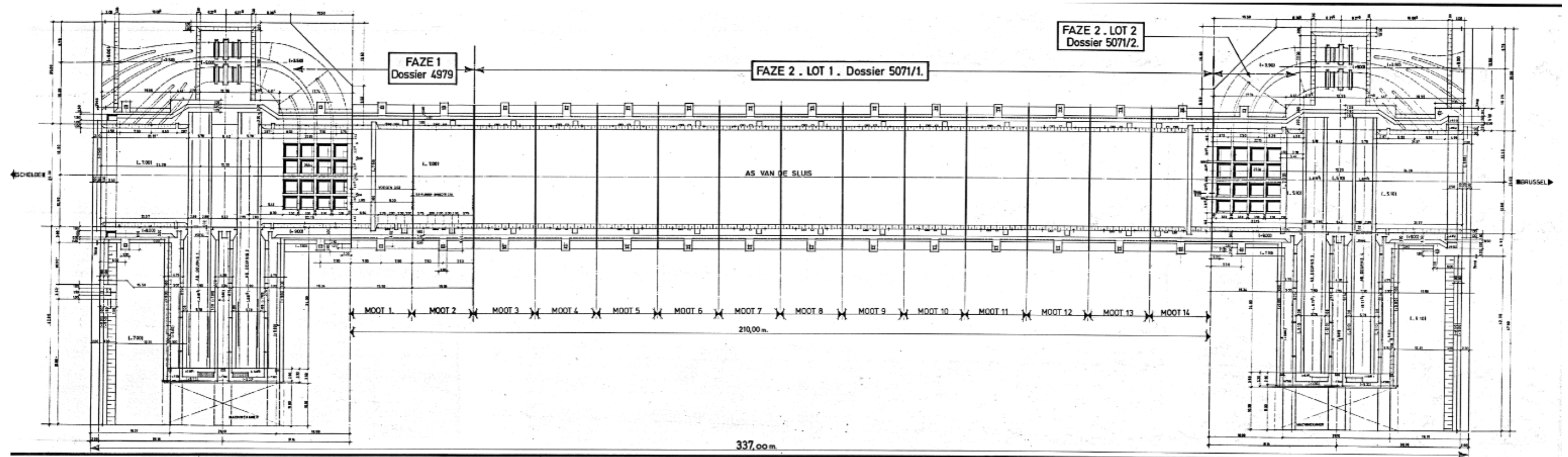
Het nivelleren van de sluis kolk gebeurt in de beide sluishoofden door twee korte omloopriolen rond de sluisdeuren met in de kolk een bodemrooster. DVW vraagt zich af of ten gevolge van de turbulente stroming uit het bodemrooster krachten kunnen voordoet op de drooglegkuip indien deze zich bevindt ter plaatse van de binnendeuren van de sluis kolk. Ten gevolge van nivelleren aan boven- of benedenhoofd ontstaat in de kolk een stroming die voornamelijk naar het oppervlak van de sluis kolk gericht is en in de richting van het andere sluishoofd gericht is, i.e. gericht in de richting van het benedenhoofd bij nivelleren via het bovenhoofd en gericht in de richting van het bovenhoofd bij nivelleren via het benedenhoofd. De invloed van stroming en turbulentie op de drooglegkuip ten gevolge van de nivellering is bijgevolg beperkt. Hierbij meldt DVW dat tijdens de aanwezigheid van de drooglegkuip over de rails van het bovenhoofd of het benedenhoofd uit veiligheidsoverwegingen enkel genivelleerd zal worden met het riool van het bovenhoofd of het benedenhoofd waarvan het bodemrooster zich het verste van de drooglegkuip bevindt. Deze werkwijze vermindert ook de invloed van de stroming uit de omloopriolen op de drooglegkuip.

6 Referenties

- Beem, R.C.A.; Boogaard, A.; Glerum, A.; de Graaf, M.A.; Henneberque, S.D.; Hiddinga, P.H.; Kranenburg, D.; van der Meer, M.T.J.; Nagtegaal, G.; Van der Paverd, M.; Smink, L.M.C.; Vrijburcht, A.; Weijers, J.** (2000). Ontwerp van schutsluizen: deel 2. Bouwdienst Rijkswaterstaat: Utrecht. ISBN 90-369-3306-4
- CIRIA; CUR.** (2007). Manual on the use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)
- Expertise Beton en Staal.** (2023). Renovatie roldeuren sluis Wintam - studie drooglegkuip. Aanbesteding. Algemeen plan. plan EBS00692-3-001 dd. 20/12/2023
- Hertoghs, R.; Vereecken, H.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Mostaert, F.** (2018). Vijfjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken: tijdvak 2011-2015. Versie 4.0. *WL Rapporten, 16_035_1*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=295302>
- MarCom Working Group 180.** (2015). Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships. *PIANC Report*. PIANC: Brussels. ISBN 978-2-87223-223-9
- N.V. Zeekanaal en haveninrichtingen van Brussel.** (1981). Zeekanaal: Sluis te Hingene. 2de Faze - lot 2. Algemeen planzicht. Plan nr. 108 Dossier 5071/2
- Raes, L.; Elskens, F.; Romisch, K.; Sas, M.** (1996). The effects of ship propellers on bottom velocities and on scour near berths and protection methods using thin flexible revetments, *in*: (1996). *11th International Harbour Congress, Antwerpen, June 17-21, 1996*. pp.433-442
- Waterloopkundig Laboratorium.** (1997). Dipro 3.02n Gebruikershandleiding

Bijlage 1 Plan sluis Wintam

Figuur 12 – Planzicht sluis Wintam (N.V. Zeekanaal en haveninrichtingen van Brussel, 1981)



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be