



Vlaanderen
is wetenschap



19_078_2
WL rapporten

Kanaal Gent-Oostende Renovatie Nieuwekalebrug

Deelrapport 2 – Advies stabiliteit oevers

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Kanaal Gent-Oostende: Renovatie Nieuwekalebrug

Deelrapport 2 – Advies stabiliteit oevers

Verelst, K.; Visser, K.P.; Eloit, K.; Mostaert, F.

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 2020
D/2020/3241/189

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; Visser, K.P.; Eloit, K.; Mostaert, F. (2020). Kanaal Gent-Oostende: Renovatie Nieuwekalebrug: Deelrapport 2 – Advies stabiliteit oevers. Versie 5.0. WL Rapporten, 19_078_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg nv regio West	Ref.:	WL2020R19_078_2
Keywords (3-5):	Nieuwekalebrug, Gent, renovation, erosion protection		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > Dijken, oevers en andere waterkeringen > Erosiebescherming > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	26	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Visser, K.P.	Getekend door: Klaas Visser (Signature) Getekend op: 2020-09-22 10:08:06 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Klaas Visser</i>
Projectleider:	Eloit, K.	Getekend door: Katrien Eloit (Signature) Getekend op: 2020-09-18 09:48:19 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Katrien Eloit</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-09-18 11:12:46 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Voor de renovatiewerken aan de Nieuwekalebrug W16 over de Ringvaart, vlakbij het kruispunt Ringvaart Gent en Kanaal Gent-Oostende zal er onder de brug een stelling gebouwd moeten worden. De renovatiewerken aan de brug zouden in twee fasen uitgevoerd worden zodat telkens de helft van de doorvaartbreedte beschikbaar blijft voor één schip CEMT klasse Va. Door de Vlaamse Waterweg nv regio West werd aan het WL reeds nautisch advies gevraagd om te onderzoeken of het beschikbaar zijn van de halve doorvaartbreedte voor een schip CEMT klasse Va een probleem vormt om zowel naar de sluis te Evergem te varen, als komende van de sluis te Evergem richting Kanaal Gent-Oostende of de Ringvaart te varen. Gedurende de twee tijdelijke fasen bij de renovatie van de brug zullen de schepen echter dicht tegen de bestaande oevers varen dan nu het geval is. Om die reden vraagt De Vlaamse Waterweg nv regio West aan WL advies in verband met de stabiliteit van de oevers van de Ringvaart juist onder de Nieuwekalebrug en van deze van het volledige kruispunt tussen de Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende.

Voor de bepaling van de stabiliteit van de oevers van het kruispunt tussen de Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende zijn de hydraulische belastingen op de bodem bepaald voor twee karakteristieke types oevers langs dit kruispunt, namelijk de oever in het zuidelijk gedeelte van het kruispunt tussen kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart en de linkeroever van het kanaal tussen de Nieuwekalebrug en de toegangsgeul naar de sluis van Evergem. De oevers van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem worden niet beschouwd, aangezien deze voorzien zijn van voldoende oeverbescherming. Voor de bepaling van de hydraulische belasting op de bodem zijn enkel de stroming ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef van scheepvaart beschouwd, aangezien deze belastingen algemeen maatgevend zijn indien schepen dichtbij de oever varen.

De oever in het zuidelijk gedeelte van het kruispunt tussen kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart is zowel belast door stroming ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef. De berekende stroomsnelheden aan de bodem op deze oever ten gevolge van deze belastingen zijn beduidend hoger dan de toelaatbare stroomsnelheden voor breuksteen. Om erosie van de oever taluds tegen te gaan dient de breuksteen daarom gepenetreerd te worden met colloïdaal beton. Wanneer gekozen zou worden voor een oeverbekleding bestaande uit schanskorven zouden zeer grote diktes van schanskorven nodig zijn. De oeverbescherming dient aangebracht worden in het gedeelte van de oever tussen de bodem, i.e. het peil +2.01 mTAW na uitbaggeren van de bodem of een lager peil indien dit lagere bodempeil op dit ogenblik al aanwezig is, en de waterlijn of tot het horizontaal gedeelte juist onder de waterlijn van het grondmassief naast de betonnen damplanken.

Voor de linkeroever tussen de Nieuwekalebrug en de toegangsgeul naar de sluis van Evergem is enkel de stroming ten gevolge van de boegschroef van belang. Om te weerstaan aan de stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van deze belasting is in dit gedeelte geen bijkomende oeverbescherming nodig.

Aan de hand van de resultaten voor de maatgevende hydraulische belastingen is ook een inschatting gemaakt van de oeverbekleding aan rechteroever van het kanaal Gent-Oostende. Deze oever heeft een steilere helling dan de linkeroever tussen de Nieuwekalebrug en de toegangsgeul naar de sluis van Evergem. Deze steilere helling is nadeliger voor de stabiliteit van de oever, waardoor een iets groter breuksteensortering nodig is. Bijgevolg volstaat een oeverbekleding uit breuksteen met dezelfde sortering als bij de oever in het zuidelijk gedeelte van het kruispunt tussen kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart om te weerstaan aan de daar optredende hydraulische belastingen. Als alternatief kan ook een oeverbekleding uit schanskorven beschouwd worden. De berekende dikte van de schanskorven voor deze oever is beduidend kleiner is dan de gebruikelijke schanskorfdiktes van 0.30 m à 0.50 m.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Gegevens	2
2.1 Fasering werken Nieuwekalebrug	2
2.2 Oeverprofielen.....	4
2.3 Scheepvaart	6
2.4 Waterstanden	7
3 Bepaling stabiliteit oevers	8
3.1 Algemeen.....	8
3.2 Stabiliteit oever met typeprofiel 27	11
3.3 Stabiliteit oever met typeprofiel 17	20
4 Conclusie.....	23
5 Referenties	26

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Afmetingen schip CEMT klasse Va en schip CEMT-klasse Va+.....	7
Tabel 2 – Karakteristieken hoofdschroef en boegschroef voor een schip CEMT klasse Va en een schip CEMT klasse Va+.	7
Tabel 3 – Berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van hoofdschroef bij oever met typeprofiel 27 voor schip CEMT klasse Va en schip CEMT klasse Va+	14
Tabel 4 – Berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van boegschroef bij oever met typeprofiel 27 voor schip CEMT klasse Va en schip CEMT klasse Va+	15
Tabel 5 – Breuksteensortering vòòr grouting.....	17
Tabel 6 – Resultaat bepaling dikte schanskorven voor oever met typeprofiel 27.....	19
Tabel 7 – Berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van boegschroef bij oever met typeprofiel 17 voor schip CEMT klasse Va en schip CEMT klasse Va+	21
Tabel 8 – Resultaat bepaling dikte schanskorven voor oever met typeprofiel 18.....	22

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Kruispunt Kanaal Gent-Oostende en Ringvaart Gent.....	1
Figuur 2 – Fase 1 uitvoering werken rechteroever	2
Figuur 3 – Fase 2 uitvoering werken linkeroever	3
Figuur 4 – Zone waarin gebaggerd wordt tot bodempeil +2.01 mTAW.....	4
Figuur 5 – Typeprofielen 5 (boven), 6 (midden) en 17 (onder).....	5
Figuur 6 – Typeprofielen 18 (boven) en 27 (onder)	6
Figuur 7 – Cases voor bepaling stabiliteit oevers bij renovatie van het brugdeel aan rechteroever.....	9
Figuur 8 – Afbakening te baggeren zone.....	10
Figuur 9 – Principeschets bepaling stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef voor oever met typeprofiel 27	11
Figuur 10 – Principeschets bepaling stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van boegschroef voor oever met typeprofiel 17.....	20
Figuur 11 – Cases voor bepaling stabiliteit oevers bij renovatie van het brugdeel aan linkeroever	24

1 Inleiding

Voor de renovatiewerken aan de Nieuwekalebrug W16 over de Ringvaart, vlakbij het kruispunt Ringvaart-Gent en Kanaal Gent-Oostende (Figuur 1), zal er onder de brug een stelling gebouwd moeten worden. De renovatiewerken aan de brug zouden in twee fasen uitgevoerd worden zodat telkens de helft van de doorvaartbreedte beschikbaar blijft voor één schip CEMT klasse Va.

Figuur 1 – Kruispunt Kanaal Gent-Oostende en Ringvaart Gent.



Door de Vlaamse Waterweg nv regio West werd aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) reeds nautisch advies gevraagd om te onderzoeken of het beschikbaar zijn van de halve doorvaartbreedte voor een schip CEMT klasse Va een probleem vormt om zowel naar de sluis te Evergem te varen, als komende van de sluis te Evergem richting Kanaal Gent-Oostende of de Ringvaart te varen. Dit nautisch advies is beschreven in Eloot *et al.* (2019).

Gedurende de twee tijdelijke fasen bij de renovatie van de brug zullen de schepen echter dichter tegen de bestaande oevers varen dan nu het geval is. Om die reden vraagt de Vlaamse Waterweg nv regio West (contactpersoon: Caroline Bytebier) aan WL advies in verband met de stabiliteit van de oevers. Hierbij worden niet enkel de oevers van de Ringvaart beschouwd juist onder de Nieuwekalebrug, maar ook de oevers van het volledige kruispunt tussen de Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de gebruikte gegevens. De bepaling van de stabiliteit van de oevers wordt beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies.

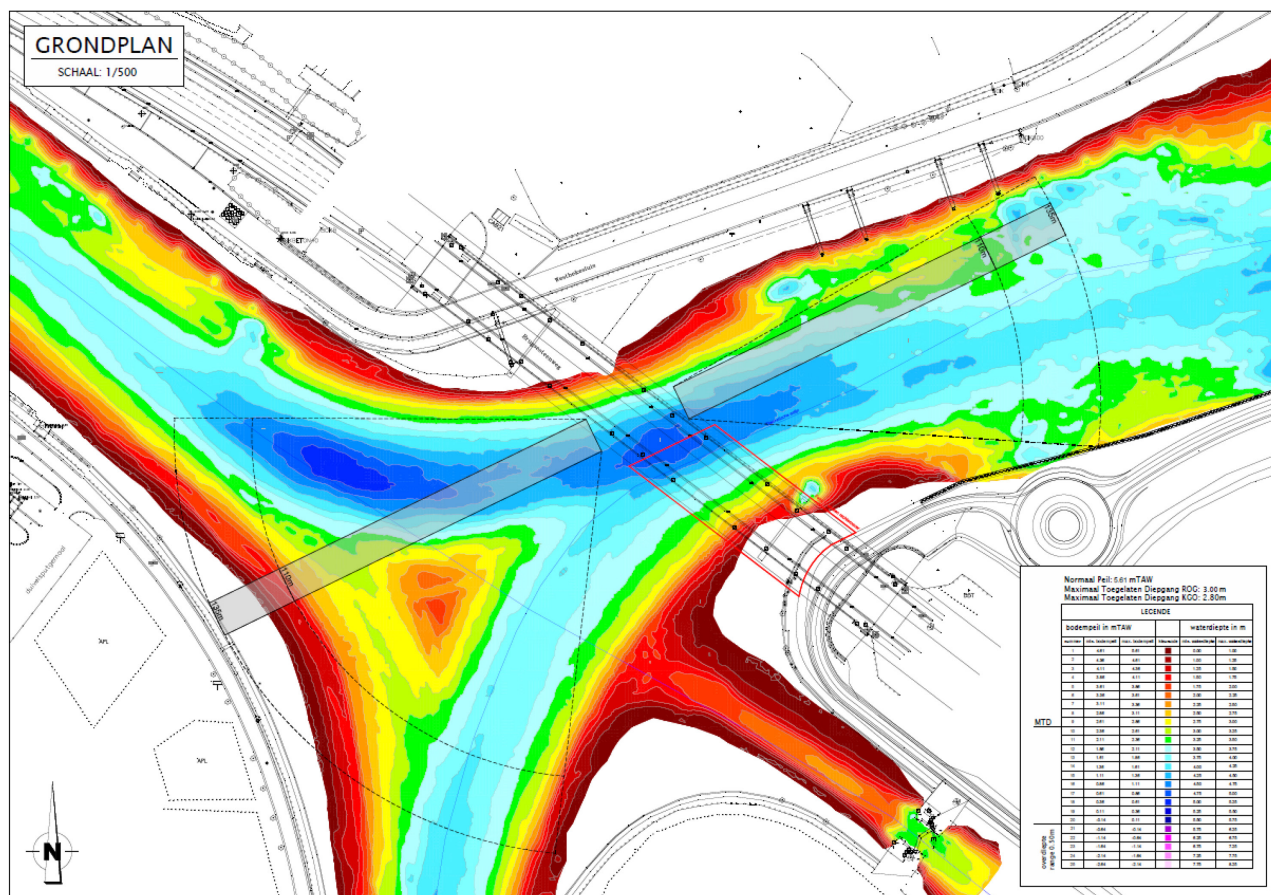
2 Gegevens

2.1 Fasering werken Nieuwekalebrug

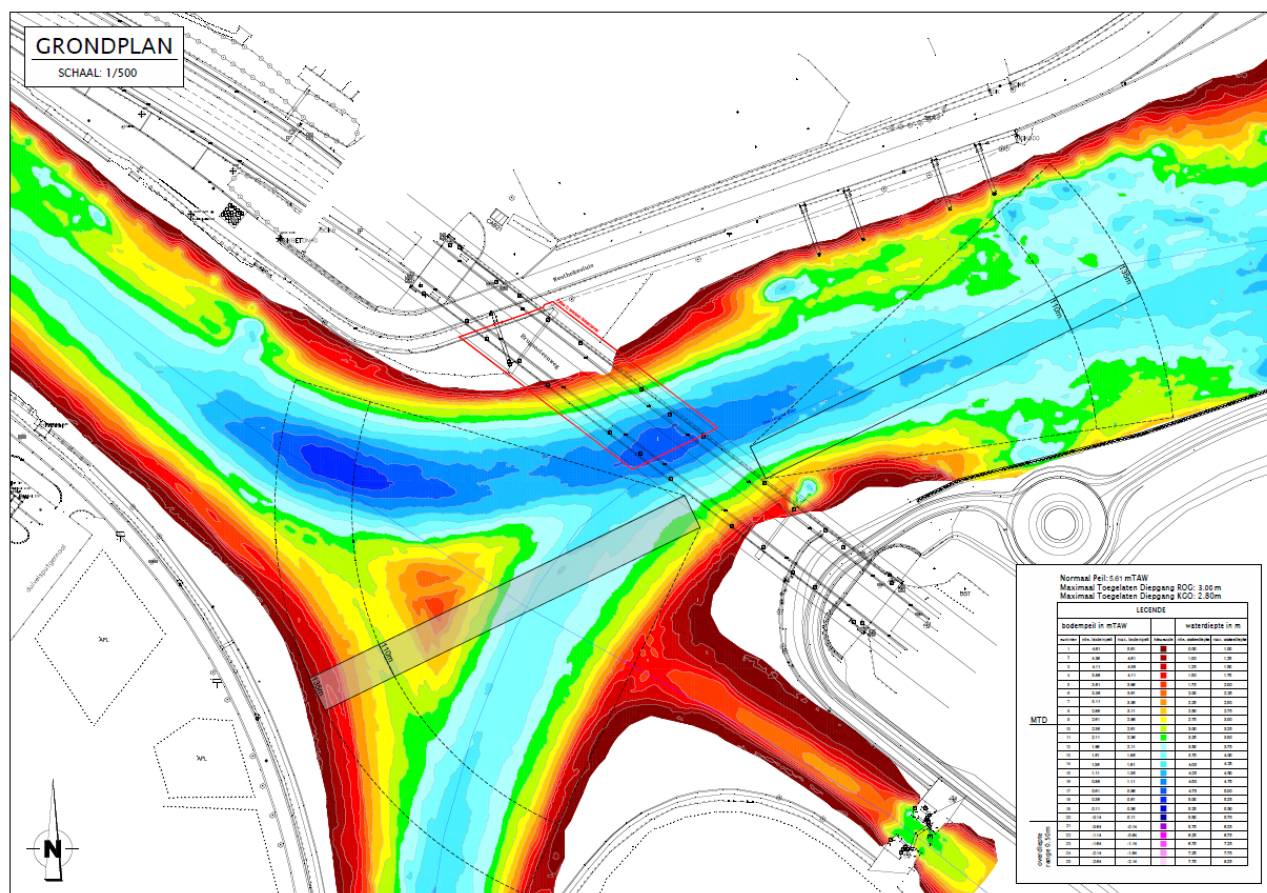
De werken aan de Nieuwekalebrug zullen uitgevoerd worden in twee fasen. In een eerste fase wordt een stelling geplaatst onderaan het gedeelte van de brug aan rechteroever. Tijdens deze fase is scheepvaart enkel mogelijk in het gedeelte van de Ringvaart aan linkeroever (zie Figuur 2). In een tweede fase wordt de stelling geplaatst onderaan het gedeelte van de brug aan linkeroever. Tijdens deze fase is scheepvaart enkel mogelijk in het gedeelte van de Ringvaart aan rechteroever (zie Figuur 3).

De streeplijnen in beide figuren geven de mogelijke posities van een schip met lengte 110 m (schip CEMT-klasse Va) en een schip met lengte 135 m (schip CEMT klasse Va+) weer bij doorvaart door het op dat ogenblik beschikbare gedeelte van de brug. Na overleg met de nautische collega's van WL is gebleken dat de werkelijke vaarpositie onder de brug zelf in fase 1 uit Figuur 2 iets meer noordelijker zal zijn. De schepen zullen vermoedelijk in het midden varen van de zone tussen de blauwe streeplijn uit Figuur 4, dewelke juist naast de pijler gelegen is, en het afgesloten gedeelte van de brug. Deze positie wordt ook voor de bepaling van de stabiliteit van de oevers in hoofdstuk 3 beschouwd.

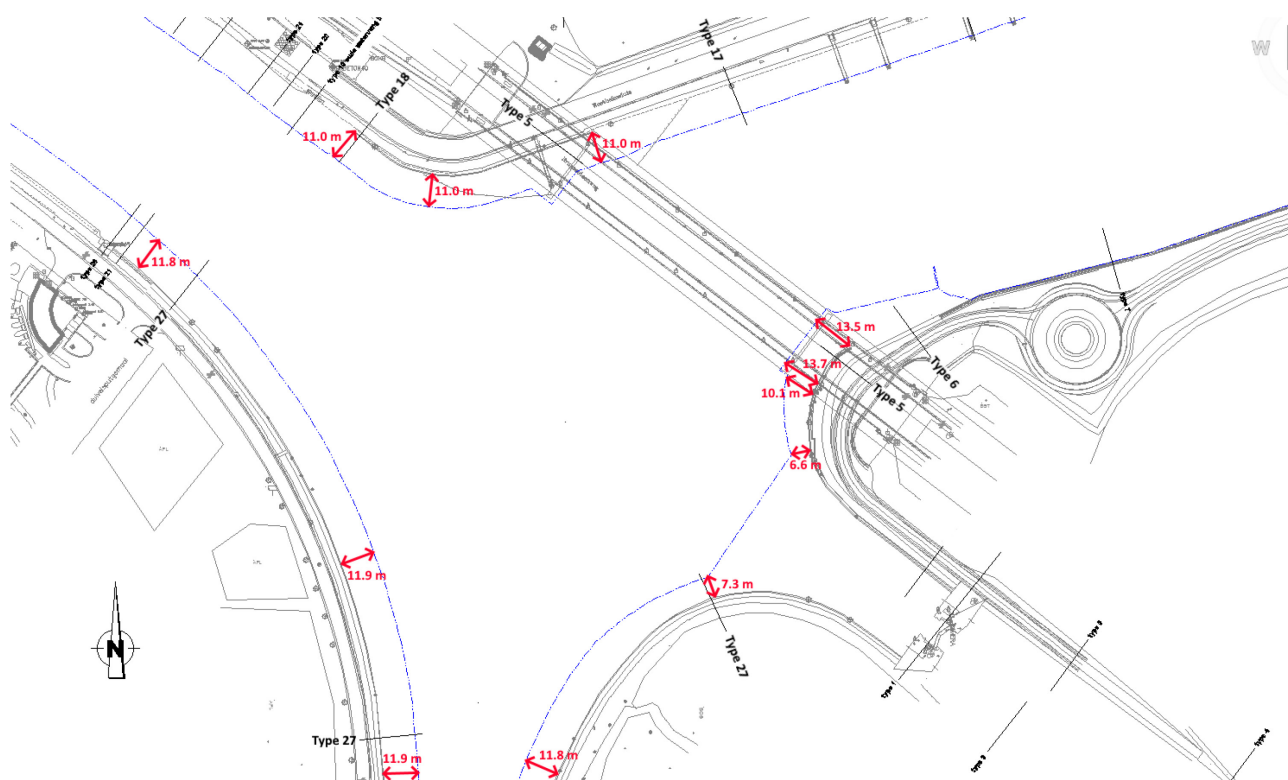
Figuur 2 – Fase 1 uitvoering werken rechteroever (De Vlaamse Waterweg nv Afdeling Bovenschelde, 2019a)



Figuur 3 – Fase 2 uitvoering werken linkeroever (De Vlaamse Waterweg nv Afdeling Bovenschelde, 2019b)



Figuur 4 – Zone waarin gebaggerd wordt tot bodempeil +2.01 mTAW.

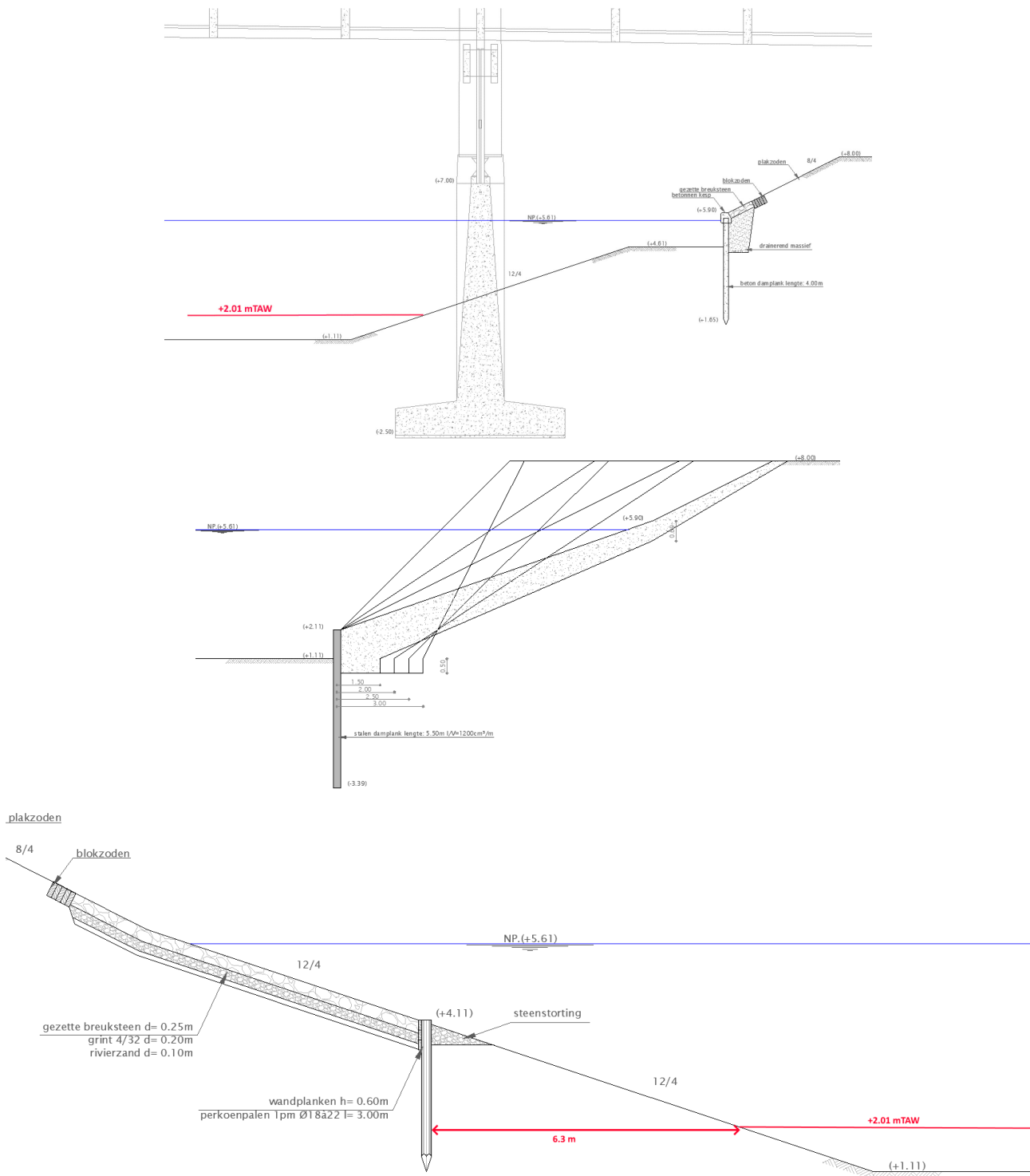


2.2 Oeverprofielen

In Figuur 4 in vorige paragraaf is voor elke oever van het kruispunt tussen Ringvaart Gent en het Kanaal Gent-Oostende de locatie van het type oeverprofiel aangegeven. Figuur 5 en Figuur 6 geven een voorstelling van de typeprofielen 5, 6, 17, 18 en 27, dewelke op het kruispunt aanwezig zijn. Deze typeprofielen zijn overgenomen uit De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde (2011). In de vorige paragraaf is vermeld dat voorafgaand aan de uitvoering van de renovatie van de brug het volledige kruispunt gebaggerd gaat worden tot een bodempeil +2.01 mTAW. Dit bodempeil is in de profielen (benaderend) weergegeven door middel van een rode lijn.

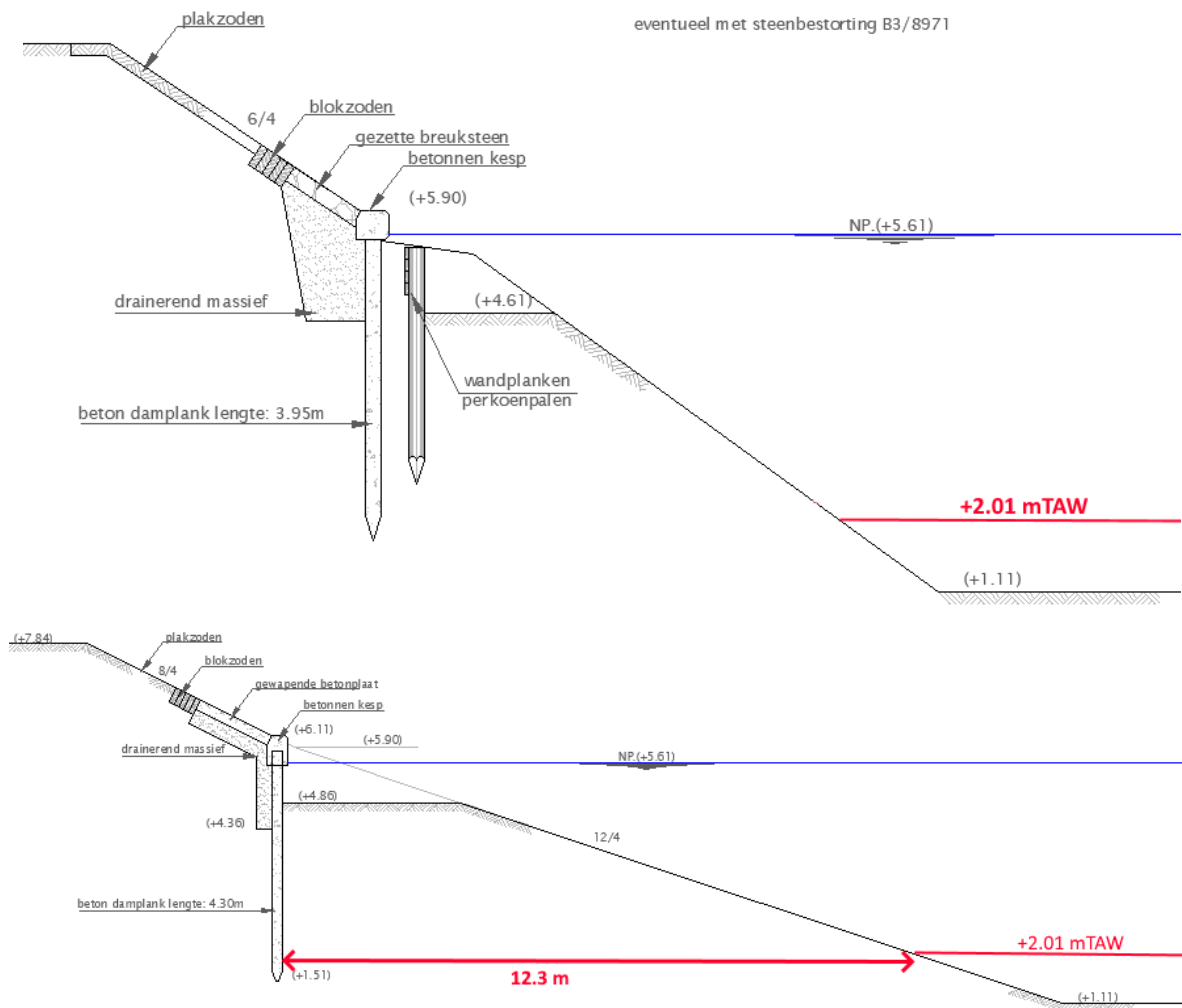
Uit Figuur 5 en Figuur 6 volgt dat de oevers van het kruispunt tussen het Kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart voornamelijk zijn opgebouwd uit een betonnen damplank met betonnen kesp. Deze damplank is aangebracht tot een diepte van +1.50 mTAW à +1.60 mTAW. Aan rechteroever van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem zijn stalen damplanken aanwezig tot een diepte van -3.00 mTAW. Aan linkeroever zijn houten perkoenpalen aanwezig tot een diepte van +1.11 mTAW. Aan kanaalzijde van deze damplanken is een grondmassief aanwezig. Ter plaatse van profielen 5, 17 en 27 heeft dit grondmassief een helling 12/4. Ter plaatse van profiel 18 is de helling niet vermeld, maar is deze beduidend steiler dan 12/4, vermoedelijk 8/4 of 6/4. In de ontwerpplannen begint de helling van dit grondmassief op de theoretische aanlegdiepte van +1.11 mTAW van het kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart en eindigt de helling bij profiel 5 en profiel 18 op +4.61 mTAW en bij profiel 27 op +4.86 mTAW. Dit is ca. 1.0 m lager dan het streefpeil van +5.61 mTAW. Ter plaatse van profiel 17 aan linkeroever van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem loopt deze helling door tot boven streefpeil van +5.61 mTAW. Uit overleg met de opdrachtgever volgt dat het grondmassief aan kanaalzijde van de betonnen damplanken vermoedelijk niet voorzien is van een enige erosiebescherming. Enkel bij profiel 17, aan linkeroever van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem, is een oeverbescherming uit gezette breuksteen aanwezig, die begint op het peil +4.11 mTAW en die zich uitstrekt tot boven de waterlijn.

Figuur 5 – Typeprofielen 5 (boven), 6 (midden) en 17 (onder)



Bron: De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde (2011)

Figuur 6 – Typeprofielen 18 (boven) en 27 (onder)



Bron: De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde (2011)

2.3 Scheepvaart

Op dit ogenblik is de Ringvaart en het kanaal Gent-Oostende geschikt voor scheepvaart CEMT klasse Va met een maximale diepgang van 2.8 m. Daarnaast kan ook een verlengd schip CEMT Va+ gebruik maken van het de Ringvaart en het kanaal Gent-Oostende. Tabel 1 geeft een overzicht van de toegepaste afmetingen van deze schepen. Hierbij wordt opgemerkt dat op basis van het nautisch advies mogelijk scheepvaart CEMT klasse Va+ tijdens de werken niet toegelaten kan worden tot het kruispunt. Voor de bepaling van de stabiliteit van de oevers in dit rapport worden de resultaten van de berekeningen telkens voor beide scheepstypes vermeld. Op deze wijze is het mogelijk de invloed van het niet beschouwen van het scheepstype CEMT klasse Va+ na te gaan.

Tabel 1 – Afmetingen schip CEMT klasse Va en schip CEMT-klasse Va+.

CEMT-klasse	Va	Va+
Lengte	110.0 m	135.0 m
Breedte	11.4 m	11.4 m
Diepgang (geladen)	2.8 m	2.8 m

Tabel 2 geeft voor de schepen CEMT klasse Va en CEMT klasse Va+ een overzicht van de toegepaste karakteristieken van hoofdschroef en boegschroef. De vermogens van hoofdschroef en boegschroef zijn bepaald op basis van de waarden vermeld in ten Hove (2010) en Geerts *et al.* (2011). In ten Hove (2010) wordt de verdeling van de vermogens beschreven van de Nederlandse vloot. In Tabel 2 worden zowel de 50 %- als de 90 %-percentiel van het geïnstalleerde motorvermogen voor de hoofdschroef vermeld. Voor de bepaling van de hydraulische belastingen ten gevolge van de hoofdschroef wordt de 90 % - percentielwaarde voor dit vermogen toegepast. Voor de boegschroef van deze beide schepen wordt hetzelfde aantal schroeven en motorvermogen beschouwd als toegepast bij de dimensionering van de bodembescherming voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve (Verelst *et al.*, 2016). Bij de in Tabel 2 vermelde waarden moet opgemerkt worden dat de onderzijde van zowel de hoofdschroef als de boegschroef wordt verondersteld samen te vallen met de kiel van het schip. Dit is een conservatieve benadering, aangezien in werkelijkheid de hoofdschroef en de boegschroef zich op een kleine afstand boven de kiel van het schip bevinden. Uit overleg met de nautische collega's van WL volgt dat de toegepaste motorvermogens voor de boegschroef een bovengrens betreffen voor de geïnstalleerde vermogens bij schepen van dit type. Om de invloed van een kleiner geïnstalleerd vermogen na te gaan zal bij de bepaling van de stabiliteit van de oevers bij wijze van gevoeligheidsanalyse ook de helft van het totaal motorvermogen van de boegschroef beschouwd worden.

Tabel 2 – Karakteristieken hoofdschroef en boegschroef voor een schip CEMT klasse Va en een schip CEMT klasse Va+.

CEMT-klasse		Va	Va+
Hoofdschroef	Aantal schroeven	1	2
	Motorvermogen 50% - percentiel	1300 kW	1800 kW
	Motorvermogen 90% - percentiel	1800 kW	2200 kW
	Diameter schroef	2.00 m	2.00 m
Boegschroef	Aantal schroeven	1	2
	Totaal motorvermogen boegschroef	450 kW	840 kW
	Diameter schroef	1.20 m	1.20 m

2.4 Waterstanden

De Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende maken deel uit van het Groot Pand rond Gent. Het streefpeil voor het Groot Pand rond Gent bedraagt +5.61 mTAW. Deze waterstand wordt beschouwd voor het inschatten van de stabiliteit van de oevers van de Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende.

3 Bepaling stabiliteit oevers

3.1 Algemeen

Voor de beide fasen van de renovatie van de Nieuwekalebrug tonen Figuur 2 en Figuur 3 (zie paragraaf 2.1) de mogelijke posities die een schip CEMT klasse Va of CEMT klasse Va+ kan innemen bij doorvaart onder het op dat ogenblik beschikbare gedeelte van de brug. Uit deze figuren volgt dat de schepen gedurende de werken aan de brug beduidend dichter tegen de oever varen dan nu het geval is. Hierdoor kan de stabiliteit van de oevers, in het bijzonder de stabiliteit van het grondlichaam aan kanaalzijde van de betonnen damplanken in het gedrang komen. Beduidende erosie van dit grondlichaam kan mogelijk de stabiliteit van de betonnen damplanken beïnvloeden. Om die reden wordt in dit hoofdstuk een eerste inschatting gemaakt van de erosiegevoeligheid van de oevers van het kruispunt van de Ringvaart en het kanaal Gent-Oostende.

Voor de bepaling van de stabiliteit van de oevers dient eerst de hydraulische belasting op deze oevers bepaald te worden. Algemeen kunnen volgende hydraulische belastingen op de oevers optreden:

- Stroming ten gevolge van afvoer van water,
- Golfaanval op de oevers ten gevolge van voorbijvarende schepen en wind,
- Retourstroming ten gevolge van scheepvaart,
- Stroming ten gevolge van de hoofdschroef van schepen,
- Stroming ten gevolge van de boegschroef van schepen.

Zoals hierboven reeds vermeld, varen de schepen tijdens de renovatie van de brug beduidend dichter tegen de oever dan nu het geval is. Om die reden worden voor de bepaling van de erosiegevoeligheid van de oevers enkel de situaties beschouwd waarbij het schip dicht bij de oever vaart. In deze situaties zijn de stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef van scheepvaart maatgevend ten opzichte van de overige hydraulische belastingen. Bijgevolg worden in dit rapport enkel stroming ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef beschouwd voor de bepaling van de erosiegevoeligheid van de oevers.

In dit hoofdstuk wordt de bepaling van de maatgevende hydraulische belastingen en de inschatting van de erosiegevoeligheid van de oevers uitgevoerd voor enkele typerende profielen. De typerende profielen zijn afgeleid op basis van Figuur 7 voor de renovatie van het brugdeel aan rechteroever, waarin een aantal bepalende posities van een schip zijn aangeduid met een blauwe, rode en groene rechthoek. Op basis van deze posities zijn volgende maatgevende hydraulische belastingen en maatgevende oeverprofielen beschouwd:

- De stroming ten gevolge van de hoofdschroef voor de linkeroever van het kanaal Gent-Oostende. Deze oever, gekarakteriseerd door typeprofiel 27, is in de figuur aangeduid met de rode puntlijn.
- De stroming ten gevolge van de boegschroef aan linkeroever van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem. Deze oever, gekarakteriseerd door typeprofiel 17, is in de figuur aangeduid met de blauwe puntlijn.
- De stroming ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef aan rechteroever van de Ringvaart. Deze oever, gekarakteriseerd door typeprofiel 27, is in de figuur aangeduid met de groene puntlijn.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

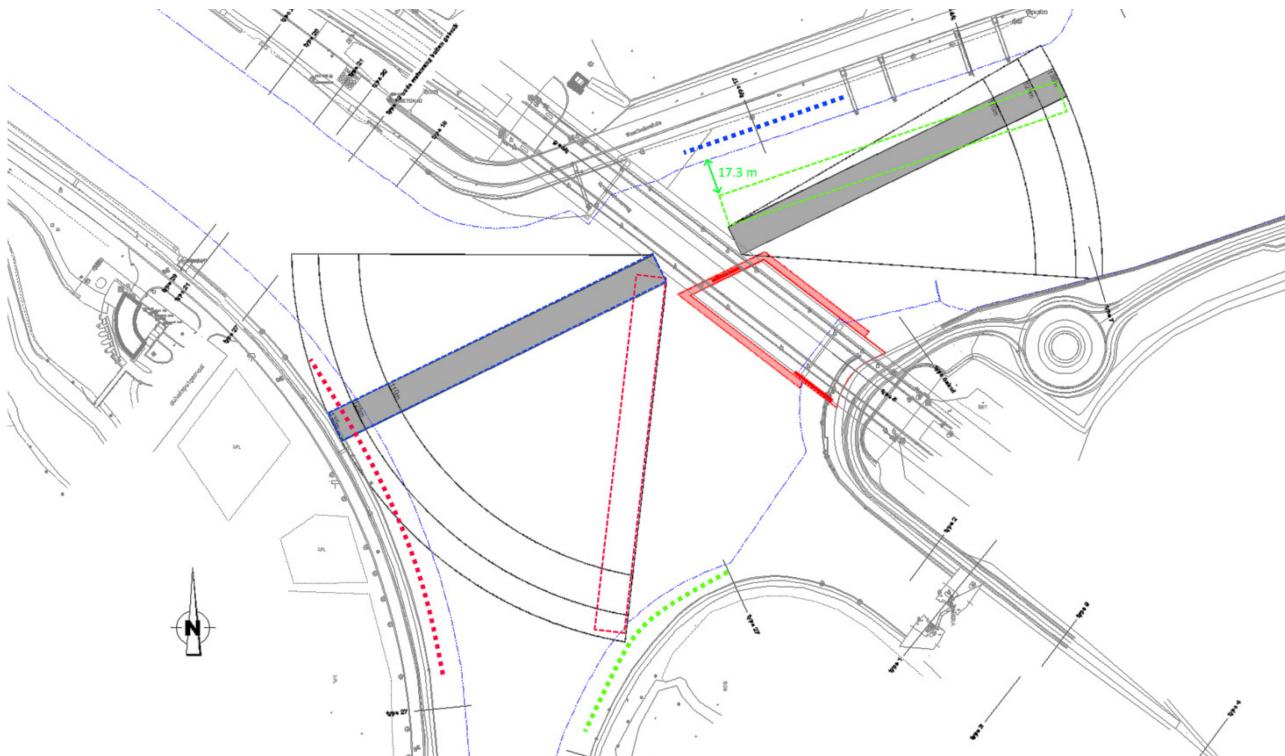
- De typerende profielen zijn afgeleid op basis van Figuur 7 voor de renovatie van het brugdeel aan rechteroever. Indien de fase van de renovatie van het brugdeel aan linkeroever beschouwd zou worden, geldt een analoge redenering voor de bepaling van de maatgevende belastingen op de

oever aan de linkeroever van het kanaal Gent-Oostende (aangeduid met rode puntlijn) en deze op de oever aan rechteroever van de Ringvaart (aangeduid met groene puntlijn). Hieruit volgen voor deze beide oevers dezelfde maatgevende hydraulische belastingen. Bij het beschouwen van de fase van de renovatie van het brugdeel aan linkeroever varen schepen in het midden van de vaargeul voorbij de oever met typeprofiel 18 aan rechteroever van het kanaal Gent-Oostende en wordt het zwaaimanoeuvr uitgevoerd ter plaatse van het midden van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem. De oever met typeprofiel 18 aan rechteroever van het kanaal Gent-Oostende wordt hierbij niet extra belast ten gevolge van het gebruik van de boegschroef. Buiten de beschouwde oevers met typeprofiel 27 dienen voor de fase van de renovatie van het brugdeel aan linkeroever dus geen bijkomende oevers beschouwd te worden.

- De oevers van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem worden niet beschouwd, aangezien deze voorzien zijn van voldoende oeverbescherming. Aan linkeroever van de toegangsgeul is een aanlegsteiger aanwezig. De bodem en oevers ter plaatse van deze aanlegsteiger zijn voorzien van een breusteenbekleding (met dikte 0.30 m). Aan rechteroever is ter plaatse van typedwarsprofiel 6 een oeverbescherming uit beton aanwezig en meer in de richting van de sluis van Evergem een verticale oever uit damplanken, dewelke tot en diepte -7.00 mTAW of -8.00 mTAW zijn aangebracht.

Hieruit volgt dat enkel de oevers met typeprofiel 17 en deze met typeprofiel 27 beschouwd worden. Voor deze beide oeverprofielen wordt de bepaling van de stabiliteit van de oevers beschreven in paragraaf 3.2 (oever met typeprofiel 27) en paragraaf 3.3 (oever met typeprofiel 17). Op vraag van de opdrachtgever zijn in deze paragrafen de resultaten voor de oevers met deze typeprofielen ook toegepast op een aantal andere oevers van het kruispunt met gelijkaardige opbouw of gelijkaardige hydraulische belastingen.

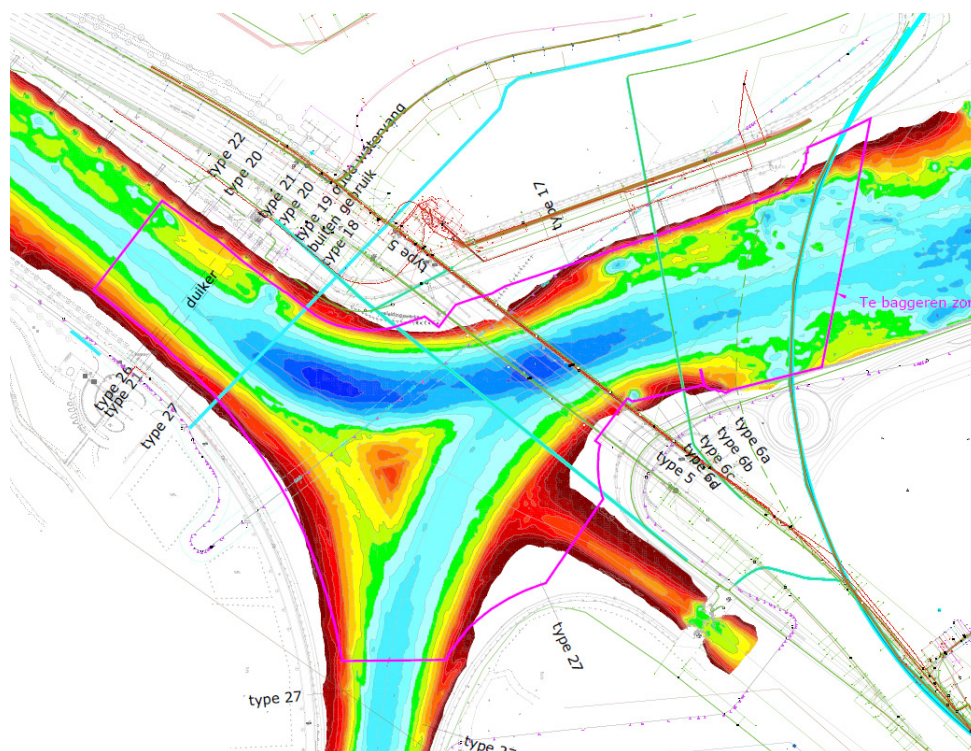
Figuur 7 – Cases voor bepaling stabiliteit oevers bij renovatie van het brugdeel aan rechteroever.



Blauwe, groene en rode streeplijn: positie schip voor definitie cases; rode puntlijn: oever hoofdzakelijk belast door stroming hoofdschroef schip; blauwe puntlijn: oever hoofdzakelijk belast door stroming boegschroef schip; groene puntlijn: oever hoofdzakelijk belast door stroming hoofdschroef en boegschroef schip.

Figuur 8 toont de afbakening van de te baggeren zone door middel van een paarse lijn. De versteviging van de oevers ter plaatse van het kruispunt van het Kanaal Gent-Oostende met de Ringvaart in deze studie worden voorgesteld omdat schepen tijdens de beide fasen van de renovatie van de Nieuwekalebrug dicht tegen de oever zullen varen dan gebruikelijk is. Zowel in het kanaal Gent-Oostende, in de Ringvaart als in de toegangseul naar de sluis van Evergem is de grens van de baggerzone gelegen op een locatie waar schepen ongeveer in het midden van de vaargeul varen. Voorbij deze grens is bijgevolg geen bijkomende versteviging van de oever meer nodig.

Figuur 8 – Afbakening te baggeren zone (in paars)

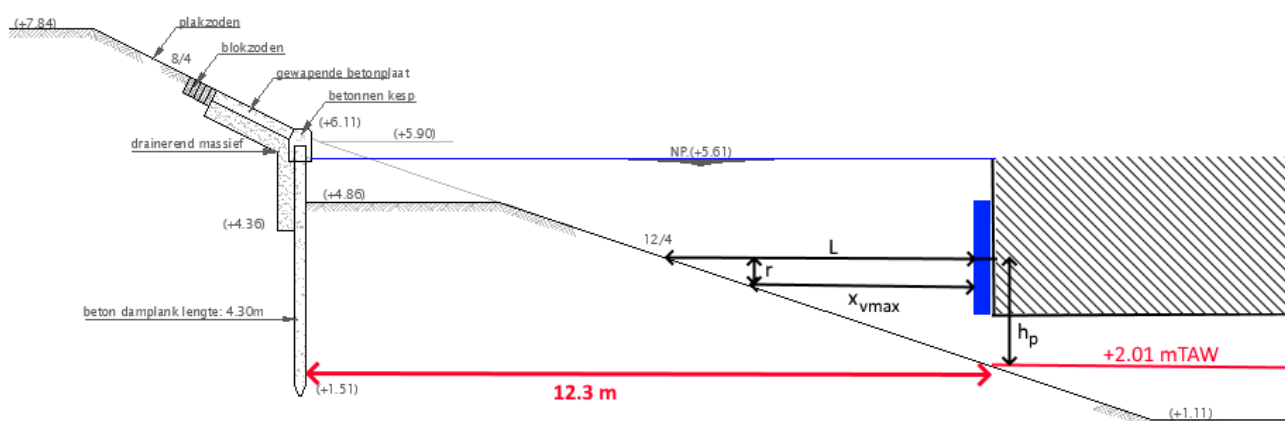


Bron: De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde (2020)

3.2 Stabiliteit oever met typeprofiel 27

Uit paragraaf 3.1 volgt dat de oever met typeprofiel 27 zowel belast wordt door de hoofdschroef als door de boegschroef van het schip. Voor het bepalen van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van deze hydraulische belastingen geeft Figuur 9 een prinscheschets waarop de ligging van het schip afgebeeld is samen met de definitie van de verschillende afstanden die in de hieronder beschreven formuleringen zijn toegepast.

Figuur 9 – Prinscheschets bepaling stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef voor oever met typeprofiel 27



Opmerking: figuur geeft een voorstelling voor de hoofdschroef. Voor de boegschroef geldt een analoge redenering.

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

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

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

met:

- | | | |
|-------------------------------------|--|----------------------|
| - u_p ; v_p | Stroomsnelheid juist achter de hoofdschroef, respectievelijk boegschroef | [m/s] |
| - $P_{schroef,h}$; $P_{schroef,b}$ | Vermogen geleverd door de hoofdschroef, respectievelijk boegschroef | [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] |
| - ζ | Energieverliesfactor boegschroef (= 0.9 voor kanalsystemen met uitstroming langs de zijkant) | [-] |

Voor gehelde kaaimuren of oevers vermeldt het PIANC rapport 180 (MarCom Working Group 180, 2015) volgende formulering voor de bepaling van de afstand tussen de boegschroef en de kaaimuur waar zich de maximale stroomsnelheid voordoet:

$$\frac{x_{Vmax}}{L} = K \left(\sqrt{1 + \frac{2}{K}} - 1 \right)$$

$$K = \frac{b}{a (\cotg(\alpha))^2}$$

met:

-	x_{Vmax}	X-coördinaat van de locatie op de helling waar de maximale stroomsnelheid aan de bodem zich voordoet.	[m]
-	L	Afstand langs as van jet tussen helling en de uitstroomopening van de hoofdschroef, respectievelijk boegschroef	[m]
-	K	Parameter	[-]
-	a	Parameter (= 1)	[-]
-	b	Parameter (= 15.4)	[-]
-	α	Taludhelling	[°]

Met behulp van deze waarde van x_{Vmax} wordt de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef, respectievelijk de boegschroef berekend aan de hand van volgende formulering voor de stroomsnelheid ten gevolge van een jet met vrije uitstroming:

$$u_{bp} = A u_p \left(\frac{D_0}{x_{Vmax}} \right) \exp \left(-15.4 \frac{r^2}{x_{Vmax}^2} \right)$$

$$v_{bp} = A v_p \left(\frac{D_0}{x_{Vmax}} \right) \exp \left(-15.4 \frac{r^2}{x_{Vmax}^2} \right)$$

met:

-	u_{bp}, v_{bp}	Maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef, respectievelijk boegschroef	[m/s]
-	u_p, v_p	Stroomsnelheid uittredende straal hoofdschroef, respectievelijk boegschroef	[m/s]
-	D_0	Effectieve diameter van de Schroef	[m]
-	x_{Vmax}	X-coördinaat van de locatie op de helling waar de maximale stroomsnelheid aan de bodem zich voordoet.	[m]
-	r	Afstand tussen as van jet en locatie op de helling waar de maximale stroomsnelheid aan de bodem zich voordoet (= $(L - x_{Vmax}) \tan(\alpha)$)	[m]
-	L	Afstand langs as van jet tussen helling en de uitstroomopening van de Schroef	[m]
-	α	Taludhelling	[°]

Voor twee schroeven vermeldt het PIANC rapport 180 (MarCom Working Group 180, 2015), verwijzend naar Blokland (1997) volgende formulering:

$$u_{bpn} = u_{bp} \sqrt{2} \quad \frac{h_p}{y_p} > 1$$

$$u_{bpn} = u_{bp} \left(2 \frac{h_p}{r_p} \right) \quad 0.578 < \frac{h_p}{y_p} < 1$$

$$u_{bpn} = u_{bp} \quad 0.578 < \frac{h_p}{y_p}$$

met:

- U_{bpn}	Maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef voor meerdere schroeven	[m/s]
- U_{bp}	Maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef	[m/s]
- h_p	Afstand tussen as van de schroef en de bodem	[m]
- y_p	Afstand tussen de as van de schroef en de as van het schip ($= a_p/2$)	[m]
- a_p	Afstand tussen de as van de twee schroeven	[m]
- r_p	$\sqrt{h_p^2 + y_p^2}$	[m]

Bij deze laatste formulering wordt het volgende opgemerkt:

- Voor boegschroeven dient in de bovenstaande formulering de stroomsnelheid u vervangen te worden door v . De afstand h_p betreft dan de afstand tussen de as van de boegschroef en de bodem en de afstand y_p betreft dan de helft van de afstand tussen de assen van de twee boegschroeven.
- Deze formulering geldt eigenlijk voor de maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef bij een vlakke bodem. In dit rapport wordt deze formulering analoog toegepast voor een gehelde bodem, waarbij voor h_p de afstand tussen de schroef en de bodem wordt beschouwd en niet de afstand r tussen de as van de jet en de locatie op de helling waar de maximale stroomsnelheid zich voordoet.

Aan de hand van deze formuleringen wordt zowel voor het schip CEMT klasse Va, als voor het schip CEMT klasse Va+ de maximale waarde van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van hoofdschroef en boegschroef berekend. Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- Voor beide scheepstypes wordt voor de hoofdschroef een schroef zonder straalbuis verondersteld en voor de boegschroef een schroef in een straalbuis.
- Bij aanmeren aan een kaaimuur beveelt het PIANC rapport 180 (MarCom Working Group 180, 2015) aan om voor binnenvaartschepen 50 à 100 % van het geïnstalleerd vermogen van de hoofdschroef toe te passen. Bij manoeuvreren op het kruispunt tussen Ringvaart en kanaal Gent-Oostende zal vermoedelijk niet 100 % van het vermogen van de hoofdschroef toegepast worden. Om die reden wordt de bepaling van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef zowel 50 % als 75 % van het geïnstalleerd vermogen toegepast.
- Voor de boegschroef wordt 100 % van het geïnstalleerd vermogen toegepast. Zoals vermeld in paragraaf 2.3 wordt voor de boegschroef het toegepast vermogen uit Tabel 2 beschouwd en bij wijze van gevoeligheidsanalyse ook de helft van dit toegepast vermogen.

Voor deze beide scheepstypes geeft Tabel 3, respectievelijk Tabel 4 de berekening van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef, respectievelijk boegschroef.

Tabel 3 – Berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van hoofdschroef bij oever met typeprofiel 27 voor schip CEMT klasse Va en schip CEMT klasse Va+

	Symbol	Eenheid	CEMT klasse Va		CEMT klasse Va+	
Geïnstalleerd motorvermogen	P_{motor}	kW	1800	1800	2200	2200
% toegepast motorvermogen		%	50	75	50	75
Aantal schroeven	n	-	1	1	2	2
Vermogen geleverd door de schroef	P_{schroef}	kW	900	1350	550	825
Echte diameter schroef	D_0	m	2.0	2.0	2.0	2.0
Effectieve diameter van de schroef	D_p	m	1.4	1.4	1.4	1.4
Stroomsnelheid juist achter de schroef	u_p	m/s	8.87	10.16	7.53	8.62
Waterpeil	H	mTAW	5.61	5.61	5.61	5.61
Bodempeil	Z	mTAW	2.01	2.01	2.01	2.01
Diepgang schip	T	m	2.8	2.8	2.8	2.8
Horizontale afstand van de as van de schroef tot helling	L	m	5.4	5.4	5.4	5.4
Parameter	a	-	1	1	1	1
Parameter	b	-	15.4	15.4	15.4	15.4
Taludhelling	α	°	18	18	18	18
Parameter	K	-	1.71	1.71	1.71	1.71
Horizontale afstand van de schroef tot plaats met maximale stroomsnelheid aan bodem	X_{vmax}	m	4.37	4.37	4.37	4.37
Verticale afstand van de as van de schroef tot plaats met maximale stroomsnelheid aan bodem	r	m	0.34	0.34	0.34	0.34
Maximale stroomsnelheid boven de bodem voor 1 hoofdschroef	u_{bp}	m/s	5.04	5.77	4.28	4.90
Afstand tussen as van schroef en bodem	h_p	m	n.v.t.	n.v.t.	1.8	1.8
Halve afstand tussen as van beide schroeven	y_p	m	n.v.t.	n.v.t.	2.85	2.85
Verhouding tussen h_p en y_p	h_p/y_p	-	n.v.t.	n.v.t.	0.63	0.63
Parameter	r_p	m	n.v.t.	n.v.t.	3.37	3.37
Maximale stroomsnelheid boven de bodem voor meerdere hoofdschroeven	u_{bpn}	m/s	n.v.t.	n.v.t.	4.57	5.23

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 4 – Berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van boegschroef bij oever met typeprofiel 27 voor schip CEMT klasse Va en schip CEMT klasse Va+

	Symbol	Eenheid	CEMT klasse Va		CEMT klasse Va+	
Geïnstalleerd motorvermogen	P_{motor}	kW	450	225	840	420
% toegepast motorvermogen		%	100	100	100	100
Aantal schroeven	n	-	1	1	2	2
Vermogen geleverd door de schroef	P_{schroef}	kW	450	225	420	210
Echte diameter schroef	D_0	m	1.2	1.2	1.2	1.2
Effectieve diameter van de schroef	D_p	m	1.2	1.2	1.2	1.2
Stroomsnelheid juist achter de schroef	v_p	m/s	7.02	5.57	6.86	5.45
Waterpeil	H	mTAW	5.61	5.61	5.61	5.61
Bodempeil	Z	mTAW	2.01	2.01	2.01	2.01
Diepgang schip	T	m	2.8	2.8	2.8	2.8
Horizontale afstand van de as van de schroef tot helling	L	m	4.2	4.2	4.2	4.2
Parameter	a	-	1	1	1	1
Parameter	b	-	15.4	15.4	15.4	15.4
Taludhelling	α	°	18	18	18	18
Parameter	K	-	1.71	1.71	1.71	1.71
Horizontale afstand van de schroef tot plaats met maximale stroomsnelheid aan bodem	$x_{v\text{max}}$	m	3.40	3.40	3.40	3.40
Verticale afstand van de as van de schroef tot plaats met maximale stroomsnelheid aan bodem	r	m	0.27	0.27	0.27	0.27
Maximale stroomsnelheid boven de bodem voor 1 schroef	v_{bp}	m/s	6.31	6.01	6.17	4.90
Afstand tussen as van schroef en bodem	h_p	m	n.v.t.	n.v.t.	1.4	1.4
Halve afstand tussen as van beide schroeven	y_p	m	n.v.t.	n.v.t.	0.6	0.6
Verhouding tussen h_p en y_p	h_p/y_p	-	n.v.t.	n.v.t.	2.33	2.33
Maximale stroomsnelheid boven de bodem voor meerdere boegschroeven	v_{bpn}	m/s	n.v.t.	n.v.t.	8.73	6.93

n.v.t. = niet van toepassing

Uit Tabel 3 en Tabel 4 volgt een maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef tussen 4.57 m/s en 5.77 m/s en een maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de boegschroef tussen 6.01 m/s en 8.73 m/s. Het toepassen van de helft van het beschikbare vermogen van de boegschroef verlaagt de maximale stroomsnelheid aan de bodem eerder beperkt (van 6.31 m/s naar 6.01 m/s bij het schip CEMT klasse Va en van 8.73 m/s naar 6.93 m/s bij het schip CEMT klasse Va+).

Wanneer de stroomsnelheid aan de bodem gekend is, wordt voor de bepaling van de benodigde breuksteensortering de Shields-formulering aangepast voor stralen uit “Ontwerp van Schutsluizen” (Beem *et al.*, 2000) toegepast:

$$D_{n50} = \left[\frac{0.8}{\Delta h^{1/3}} \cdot \frac{(u_b(1+3r))^2}{2g} \right]^{3/2}$$

met:

-	D_{n50}	Nominale breuksteendiameter	[m]
-	Δ	Relatieve dichtheid van de stenen ($\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$)	[-]
-	ρ_s	Dichtheid breuksteen (= 2650 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	ρ_w	Dichtheid water (= 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	u_b	Stroomsnelheid boven de bodem	[m/s]
-	h	Waterdiepte	[m]
-	r	Turbulentie-intensiteit	[-]
-	g	Valversnelling (= 9.81 m/s ²)	[m/s ²]

Voor de turbulentie-intensiteit r worden hierbij volgende waarden toegepast:

- $r = 0.40$ voor stroming ten gevolge van de hoofdschroef
- $r = 0.35$ voor stroming ten gevolge van de boegschroef
- $r = 0.25$ voor retourstroming
- $r = 0.10$ voor normale turbulentie in rivieren

Echter bij deze formulering is het niet mogelijk om rekening te houden met de helling van het breuksteentalud. Om deze helling in rekening te brengen wordt bij de bepaling van de breuksteensortering de formulering volgens Pilarczyk (Pilarczyk, 1990, 1998) toegepast:

$$\Delta D_{n50} = 0.035 \frac{\Phi}{\Psi} \frac{K_T K_H}{K_S} \frac{u_{cr}^2}{2g}$$

met:

-	D_{n50}	Nominale breuksteendiameter	[m]
-	Δ	Relatieve dichtheid van de stenen ($\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$)	[-]
-	ρ_s	Dichtheid breuksteen (= 2650 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	ρ_w	Dichtheid water (= 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	K_T	Turbulentiefactor $K_T = ((1 + 3r)/1.3)^2$	[-]
-	r	Turbulentie-intensiteit	[-]
-	K_h	Diepte – (of snelheidsprofiel) factor	[-]
	$K_h = \left(\frac{h}{D_{n50}} \right)^{-0.2}$ <i>niet volledig ontwikkeld snelheidsprofiel</i>		
-	h	Waterdiepte	[m]
-	K_s	Hellingfactor	[-]
	$K_s = \sin(\theta - \alpha) / \sin \theta$ voor een stroming die een talud op of afloopt		
-	α	Helling talud	[°]
-	θ	Hoek van inwendige wrijving van de stenen (= 40°)	[°]
-	Ψ	Kritische schuifspanningsparameter (= 0.035 voor breuksteen)	[-]
-	Φ	Stabiliteitsfactor voor stroming (= 1.00)	[-]
-	u_{cr}	Dieptegemiddelde stroomsnelheid	[m/s]

Bij deze formulering dient het volgende opgemerkt te worden:

- Eigenlijk is deze formulering enkel geldig wanneer een dieptegemiddelde stroming gekend is. Algemeen beveelt het PIANC rapport 180 (MarCom Working Group 180, 2015) bij een stroming aan de bodem ten gevolge van schroefstraalwerking aan om voor de parameter K_h een waarde gelijk aan 1.0 toe te passen. Dit wordt ook in dit rapport toegepast.
- Het PIANC rapport 180 beveelt bij een continue breuksteenbekleding aan om voor de stabiliteitsfactor Φ een waarde toe te passen tussen 0.75 en 1.00. In dit rapport wordt voor deze factor de waarde 1.00 toegepast.

Toepassen van de formulering volgens Pilarczyk geeft aanleiding tot onrealistisch grote breuksteendiameters, wat laat besluiten dat de berekende stroomsnelheden beduidend hoger zijn dan de toelaatbare stroomsnelheden voor breuksteen. Om erosie van de taluds tegen te gaan dienen deze bijgevolg beschermd te worden met breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton.

Wat betreft penetratie met colloïdaal beton zijn de auteurs van dit rapport geen formuleringen of aanbevelingen bekend voor de bepaling van de breuksteendiameter die bij grouting dienen toegepast te worden. Om die reden worden hiervoor de twee kleinste breuksteensorteringen uit standaardbestek 260 voor de waterbouw beschouwd. Tabel 5 geeft een overzicht van het mediaan breuksteengewicht M_{50} voor deze sorteringen. Op basis hiervan is de mediaan breuksteendiameter D_{n50} en de minimale laagdikte voor het aanbrengen van deze sortering berekend en vermeld in de laatste kolom van de tabel.

Tabel 5 – Breuksteensortering vòòr grouting

Sortering	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	Laagdikte [m]
5 – 40 kg	14 - 28	0.17-0.22	0.44 m
10 – 60 kg	27 - 47	0.22-0.26	0.52 m

Naast de pijlers van de brug zelf wordt de oever gekarakteriseerd door typeprofiel 5. Dit typeprofiel heeft dezelfde bodemhelling als dit van typeprofiel 27. Indien schepen in werkelijkheid juist naast de pijler te varen, geldt dat de principeschets uit Figuur 9 ook geldig is voor het gedeelte van het geheld talud naast de brugpijler. Voor dit gedeelte worden bijgevolg dezelfde stroomsnelheden berekend als voor de oevers met het typeprofiel 27 uit deze paragraaf. Bijgevolg is ook voor dit profiel breuksteen niet toepasbaar om erosie van dit talud tegen te gaan en is breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton aangewezen.

Als alternatief voor een oeverbekleding uit breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton heeft de opdrachtgever gevraagd welke dikte nodig is voor een oeverbekleding uit schanskorven. De dikte van schanskorven kan bepaald worden aan de hand van volgende formuleringen:

1. Formulerings volgens Pilarczyk (Pilarczyk, 1990, 1998)

$$\Delta D = 0.035 \frac{\Phi}{\Psi} \frac{K_T K_H}{K_S} \frac{u_{cr}^2}{2g}$$

Met:

- D Dikte schanskorven [m]
- Δ_m Specifieke dichtheid schanskorven [-]
- K_T Turbulentiefactor [-]
- Waarden: 1.0 Normale turbulentie
- 1.5 Verhoogde turbulentie
- 2.0 Hevige turbulentie (watersprong)
- 3.0 (tot 4.0) Schroefstraalstroming
- K_h Diepte- (of snelheidsprofiel) factor [-]
- Voor schroefstraalstroming beveelt het PIANC rapport 180 (MarCom Working Group 180, 2015) aan om de waarde $K_h = 1$ toe te passen.
- h Waterdiepte [m]
- K_s Hellingfactor [-]

Voor stroming over een (gehelde) oever of bodem wordt deze factor :

$$K_s = \cos(\alpha)$$

- α Helling bodem [°]
- Ψ Kritische schuifspanningsparameter (= 0.07 voor schanskorven) [-]
- Φ Stabiliteitsfactor voor stroming [-]
- Voor schanskorven wordt een waarde 0.5 beschouwd bij een continue bekleding en 1.0 voor hoeken en overgangen. In dit rapport wordt de waarde $\Phi = 0.5$ toegepast.

2. Izbash (De Rouck, s.d.)

$$\frac{U^2}{2g \Delta D} = \phi$$

Met :

- D Dikte schanskorven [m]
- Δ_m Specifieke dichtheid schanskorven [-]
- U Stroomsnelheid [m/s]
- ϕ Parameter [-]

Waarden: 0.7 voor relatief zwaar aangevallen bodemmateriaal.

1.4 voor materiaal dat relatief beschermd is.

Analoog als bij de formulering volgens Pilarczyk kan door toevoeging van de parameter K_s (formulering zie hierboven) bij deze formulering als volgt rekening gehouden worden met de helling van de bodem of de oever (CIRIA; CUR, 2007):

$$\frac{U^2}{2g \Delta D K_s} = \phi$$

Voor schanskorven vermeldt Beekx (2006) dat voor dimensionering van schanskorven een factor γ (= 1.26 voor schanskorven) dient toegevoegd te worden. Op deze wijze wordt volgende formulering bekomen:

$$\frac{U^2}{2g \Delta D K_S \gamma} = \phi$$

Hierbij wordt opgemerkt dat aan de hand van de formulering volgens Izbash over het algemeen beduidend conservatievere waarden berekend worden voor de dikte van schanskorven.

In bovenstaande formuleringen is de relatieve dichtheid Δ aanwezig. Voor schanskorven dient hierbij als volgt rekening gehouden te worden met het poriënvolume n (= 0.40) van de schanskorven:

$$\begin{aligned} \Delta_m &= (1 - n) \Delta \\ &= (1 - n) \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}. \end{aligned}$$

Met:

- Δ_m Specifieke dichtheid schanskorven [-]
- Δ Specifieke dichtheid breuksteen [-]
- ρ_s Specifieke dichtheid breuksteen (= 2650 kg/m³) [kg/m³]
- ρ_w Specifieke dichtheid water (= 1000 kg/m³) [kg/m³]

Deze formuleringen voor de dimensionering van schanskorven zijn toegepast voor de stroming van hoofdschroef en de stroming van boegschroef op de oever met typeprofiel 27. Tabel 6 geeft een overzicht van de op deze wijze berekende dikte van schanskorven. Uit deze tabel volgt dat aan de hand van de formulering volgens Izbash een dikte van schanskorven berekend wordt die varieert tussen 0.87 m en 3.81 m. Aan de hand van de formulering volgens Pilarczyk wordt voor de schanskorven een dikte berekend tussen 0.59 m en 2.15 m. Zoals hoger vermeldt geeft het toepassen van de formulering volgens Izbash algemeen conservatievere resultaten. Om die reden worden deze resultaten verder niet beschouwd. Het toepassen van penetratie (met bijvoorbeeld colloïdaal beton) van schanskorven maakt dat deze kunnen weerstaan aan beduidend hogere stroomsnelheden. Echter hiervoor zijn bij de auteurs van dit rapport geen formuleringen bekend, waarbij de penetratiegraad van de schanskorven in rekening gebracht kan worden bij de bepaling van de dikte.

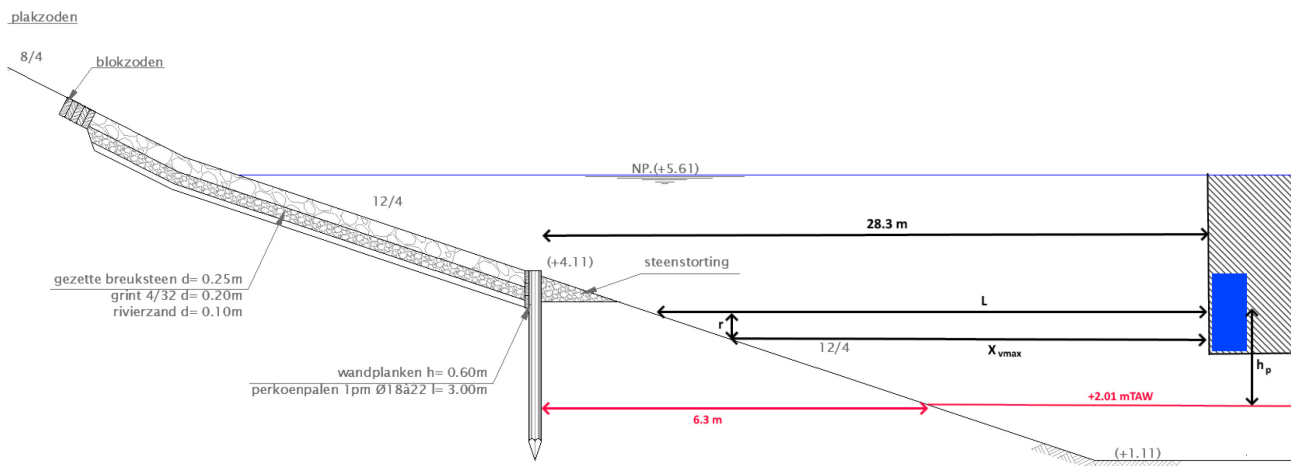
Tabel 6 – Resultaat bepaling dikte schanskorven voor oever met typeprofiel 27

	Stroomsnelheid	Dikte schanskorven	
		Formulering volgens Izbash	Formulering volgens Pilarczyk
Stroming hoofdschroef	4.57 m/s	0.87 m	0.59 m
	5.77 m/s	1.39 m	0.94 m
Stroming boegschroef	6.31 m/s	1.67 m	1.12 m
	8.73 m/s	3.19 m	2.15 m

3.3 Stabiliteit oever met typeprofiel 17

Uit paragraaf 3.1 volgt dat de oever met typeprofiel 17 voornamelijk belast wordt door de boegschroef van het schip. Voor het bepalen van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van deze hydraulische belastingen geeft Figuur 10 een principeschets, waarop de ligging van het schip afgebeeld is samen met de definitie van de afstanden dewelke in de formuleringen toegepast worden.

Figuur 10 – Principeschets bepaling stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van boegschroef voor oever met typeprofiel 17



Aan de hand van de formuleringen uit paragraaf 3.2 wordt zowel voor het schip CEMT klasse Va, als voor het schip CEMT klasse Va+, de maximale waarde van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van boegschroef berekend. Hierbij wordt voor de boegschroef 100 % van het geïnstalleerd vermogen toegepast. Analoog als voor typeprofiel 27 wordt zowel het toegepast vermogen uit Tabel 2 beschouwd als (bij wijze van gevoeligheidsanalyse) de helft van het toegepast vermogen. Tabel 7 geeft voor de beide scheepstypes de berekening van de stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de boegschroef.

Tabel 7 – Berekening stroomsnelheid aan bodem ten gevolge van boegschroef bij oever met typeprofiel 17 voor schip CEMT klasse Va en schip CEMT klasse Va+

	Symbol	Eenheid	CEMT klasse Va		CEMT klasse Va+	
Geïnstalleerd motorvermogen	P_{motor}	kW	450	225	840	420
% toegepast motorvermogen		%	100	100	100	100
Aantal schroeven	n	-	1	1	2	2
Vermogen geleverd door de schroef	P_{schroef}	kW	450	225	420	420
Echte diameter schroef	D_0	m	1.2	1.2	1.2	1.2
Effectieve diameter van de schroef	D_p	m	1.2	1.2	1.2	1.2
Stroomsnelheid juist achter de schroef	v_p	m/s	7.02	5.57	6.86	5.45
Waterpeil	H	mTAW	5.61	5.61	5.61	5.61
Bodempeil	Z	mTAW	2.01	2.01	2.01	2.01
Diepgang schip	T	m	2.8	2.8	2.8	2.8
Horizontale afstand van de as van de schroef tot helling	L	m	26.21	26.21	26.21	26.21
Parameter	a	-	1	1	1	1
Parameter	b	-	15.4	15.4	15.4	15.4
Taludhelling	α	°	18	18	18	18
Parameter	K	-	1.71	1.71	1.71	1.71
Horizontale afstand van de schroef tot plaats met maximale stroomsnelheid aan bodem	$x_{v\text{max}}$	m	21.20	21.20	21.20	21.20
Verticale afstand van de as van de schroef tot plaats met maximale stroomsnelheid aan bodem	r	m	1.67	1.67	1.67	1.67
Maximale stroomsnelheid boven de bodem voor 1 schroef	v_{bp}	m/s	1.01	0.80	0.99	0.78
Afstand tussen as van schroef en bodem	h_p	m	n.v.t.	n.v.t.	1.4	1.4
Halve afstand tussen as van beide schroeven	y_p	m	n.v.t.	n.v.t.	0.6	0.6
Verhouding tussen h_p en y_p	h_p/y_p	-	n.v.t.	n.v.t.	2.33	2.33
Maximale stroomsnelheid boven de bodem voor meerdere boegschroeven	v_{bpn}	m/s	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.11

n.v.t. = niet van toepassing

Uit Tabel 7 volgt een maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de boegschroef tussen 0.80 m/s en 1.40 m/s. Analoog als voor de oever met typeprofiel 17 wordt voor de bepaling van de benodigde breuksteensortering de formulering volgens Pilarczyk toegepast (formulering zie paragraaf 3.2). Toepassen van deze formulering leert dat breuksteen met een nominale breuksteendiameter van 0.02 m à 0.07 m nodig is (of breuksteensortering 32/90 mm uit NBN EN 13383 (BIN, 2002)) om te weerstaan aan de stroming ten gevolge van de boegschroef. Dit betreft een relatief kleine breuksteensortering, dewelke ook weggelaten kan worden. Hieruit volgt dat voor dit type oever geen oeverbescherming nodig is.

Aan rechteroever van het kanaal Gent-Oostende is een oever met typeprofiel 18 aanwezig, gekenmerkt door een steilere helling dan deze met typeprofiel 17. De steilere helling van het typeprofiel 18 is nadeliger voor de stabiliteit van de oever. Bij aanhouden van dezelfde afstanden tot de oever als bij typeprofiel 17, zal bij dit oevertype een iets groter breuksteendiameter berekend worden. Mogelijk is voor dit type oever wel een oeverbescherming uit breuksteen nodig. Dit is sterk afhankelijk van de afstand dewelke de schepen tot de oever aanhouden. De opdrachtgever voorziet voor de oever met dit typeprofiel breuksteen met dezelfde sortering als bij de oever met typeprofiel 27, wat volstaat om te weerstaan aan de optredende hydraulische belastingen op deze oever.

Analoog als bij de oever met typeprofiel 27 heeft de opdrachtgever ook gevraagd om de dikte van schanskorven te bepalen voor de oever met typeprofiel 18. Hiervoor is verondersteld dat de schepen op dezelfde afstand van deze oever varen als bij de oever met typeprofiel 17. De helling van de oever is steiler dan deze van de oever met typeprofiel 27 en deze van de oever met typeprofiel 17, maar is echter niet aangeduid in Figuur 6 in paragraaf 2.2. Voor de bepaling van de dikte van schanskorven is voor de oever met typeprofiel 18 een taludhelling 6/4 verondersteld. De toename van de helling heeft een eerder beperkte invloed op de maximale stroomsnelheden die ten gevolge van de boegschroef op deze oever voorkomen. De stroomsnelheden nemen met maximaal 0.01 m/s toe, wat verwaarloosbaar is. De bepaling van de dikte van schanskorven is, analoog als in paragraaf 3.2 uitgevoerd aan de hand van de formulering volgens Izbash en aan de hand van de formulering volgens Pilarczyk voor de minimale en maximale waarde van de stroomsnelheid aan de bodem uit Tabel 7. Uit deze tabel volgt dat met de formulering volgens Izbash een dikte van schanskorven tussen 0.05 m en 0.15 m berekend wordt voor de oever met typeprofiel 18 en met de formulering volgens Pilarczyk een dikte van de schanskorven tussen 0.03 m en 0.10 m. Analoog als in paragraaf 3.2 worden ook hier enkel de resultaten berekend met de formulering volgens Pilarczyk beschouwd. Deze berekende diktes zijn beduidend kleiner dan de gebruikelijke (minimale) afmetingen van schanskorven (0.30 m à 0.50 m).

Tabel 8 – Resultaat bepaling dikte schanskorven voor oever met typeprofiel 18

Stroomsnelheid	Dikte schanskorven	
	Formulering volgens Izbash	Formulering volgens Pilarczyk
0.80 m/s	0.05 m	0.03 m
1.40 m/s	0.15 m	0.10 m

De opdrachtgever heeft de vraag gesteld of de oevers achter het geleidewerk ook verstevigd dienen te worden. Uit Figuur 2 volgt dat het bodempeil achter het geleidewerk zich tussen +4.11 mTAW en +4.61 mTAW bevindt. Door de opdrachtgever wordt voorgesteld om achter het geleidewerk niet te baggeren. Aangezien het bodempeil achter het geleidewerk hoger gelegen is dan het baggerpeil +2.01 mTAW, ontstaat op deze wijze na baggeren ter plaatse van het geleidewerk een verticale wand met een hoogte van 2.1 à 2.5 m. Om erosie van de bodem achter het geleidewerk tegen te gaan moet de versteviging van de oever eigenlijk op deze locatie aangebracht worden.

4 Conclusie

Voor de renovatiewerken aan de Nieuwekalebrug W16 over de Ringvaart, vlakbij het kruispunt Ringvaart Gent en Kanaal Gent-Oostende zal er onder de brug een stelling gebouwd moeten worden. De renovatiewerken aan de brug zouden in twee fasen uitgevoerd worden zodat telkens de helft van de doorvaartbreedte beschikbaar blijft voor één schip CEMT klasse Va. Door de Vlaamse Waterweg nv regio West werd aan het WL reeds nautisch advies gevraagd om te onderzoeken of het beschikbaar zijn van de halve doorvaartbreedte voor een schip CEMT klasse Va een probleem vormt om zowel naar de sluis te Evergem te varen, als komende van de sluis te Evergem richting Kanaal Gent-Oostende of de Ringvaart te varen.

Gedurende de twee tijdelijke fasen bij de renovatie van de brug zullen de schepen echter dichter tegen de bestaande oevers varen dan nu het geval is. Om die reden vraagt de Vlaamse Waterweg nv regio West (contactpersoon: Caroline Bytebier) aan WL advies in verband met de stabiliteit van de oevers. Hierbij worden niet enkel de oevers van de Ringvaart beschouwd juist onder de Nieuwekalebrug, maar ook de oevers van het volledige kruispunt tussen de Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende.

Voor de bepaling van de stabiliteit van de oevers van het kruispunt tussen de Ringvaart en het Kanaal Gent-Oostende zijn eerst de hydraulische belastingen op de bodem bepaald. Hiervoor zijn volgende twee types oevers beschouwd (zie ook Figuur 11):

- Oever met typeprofiel 27 (aangeduid met rode en groene puntlijn), dewelke aanwezig is in het zuidelijk gedeelte van het kruispunt tussen kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart.
- Oever met typeprofiel 17 (aangeduid met blauwe puntlijn), dewelke aanwezig is aan linkeroever tussen de Nieuwekalebrug en de toegangsgeul naar de sluis van Evergem.

De oevers van de toegangsgeul naar de sluis van Evergem worden niet beschouwd, aangezien deze voorzien zijn van voldoende oeverbescherming. Aan linkeroever van de toegangsgeul is een aanlegsteiger aanwezig. De bodem en oevers ter plaatse van deze aanlegsteiger zijn voorzien van een breuksteenbekleding (met dikte 0.30 m). Aan rechteroever is ter plaatse van typedwarsprofiel 6 een oeverbescherming uit beton aanwezig en meer in de richting van de sluis van Evergem een verticale oever uit damplanken, dewelke tot en diepte -7.00 mTAW of -8.00 mTAW zijn aangebracht.

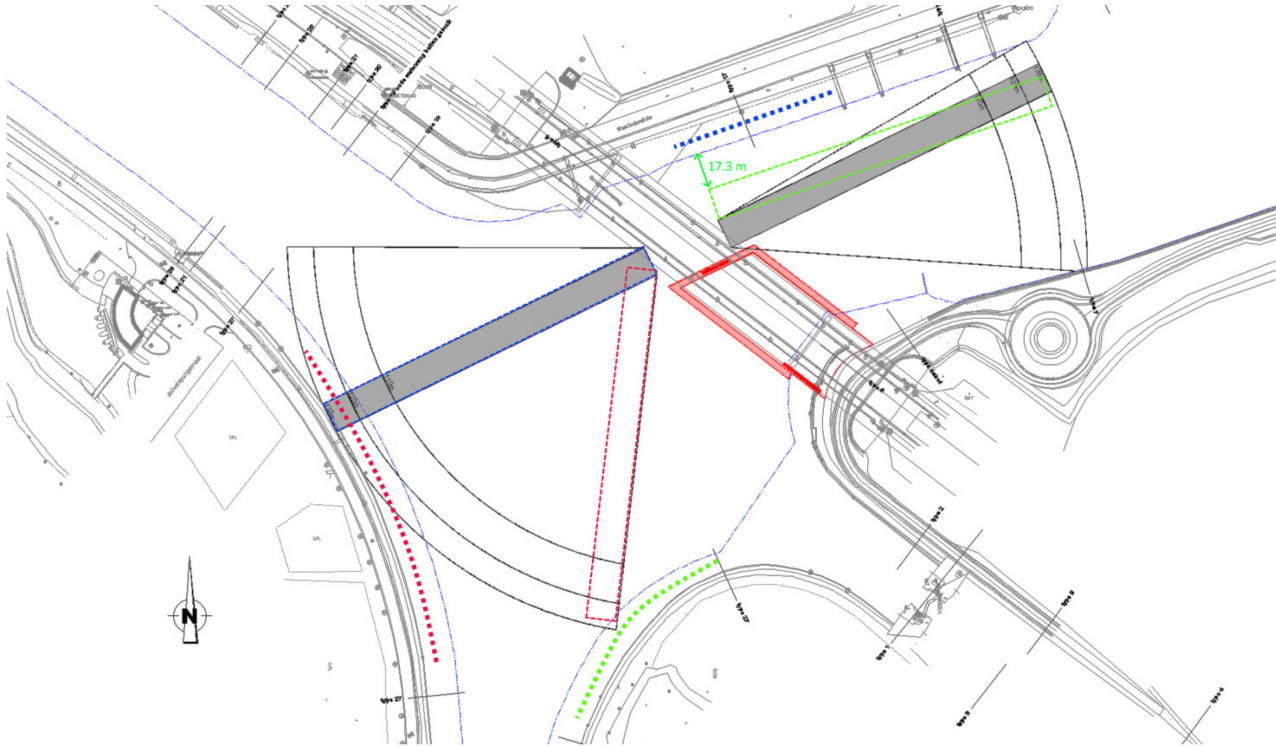
Voor de bepaling van de hydraulische belasting op de bodem zijn enkel de stroming ten gevolge van hoofdschroef en de stroming ten gevolge van de boegschroef beschouwd. Indien schepen dichtbij de oever varen zijn deze belastingen algemeen maatgevend ten opzichte van stroming ten gevolge van afvoer van water, golfklap ten gevolge van scheepsgolven en windgolven en retourstroming van scheepvaart.

Voor de oever met typeprofiel 27 (aangeduid met rode en groene puntlijn in Figuur 11) zijn stroming ten gevolge van hoofdschroef en stroming ten gevolge van boegschroef van belang. Uit de berekening van de stroomsnelheid aan de bodem voor deze hydraulische belastingen volgt een maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef tussen 4.57 m/s en 5.77 m/s en een maximale stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de boegschroef tussen 6.01 m/s en 8.73 m/s. Deze stroomsnelheden zijn beduidend hoger dan de toelaatbare stroomsnelheden voor breuksteen. Om erosie van de oever taluds tegen te gaan dient de breuksteen daarom gepenetreerd te worden met colloïdaal beton. Voor breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton worden de twee kleinste breuksteensorteringen uit standaardbestek 260 voor de waterbouw beschouwd, i.e. sortering 5-40 kg (laagdikte 0.44 m) of sortering 10-60 kg (laagdikte 0.52 m). Vanuit hydraulisch oogpunt is er geen voorkeur tussen deze beide sorteringen.

Als alternatief voor breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton is door de opdrachtgever gevraagd om de benodigde dikte van een oeverbekleding uit schanskorven te bepalen. Om te weerstaan aan de hoge optredende stroomsnelheden aan de bodem zijn schanskorven nodig met een dikte tussen 0.59 m en 2.15 m. Door schanskorven net als de breuksteen te penetreren met beton kunnen deze weerstaan aan

beduidend hogere stroomsnelheden en zijn dus ook kleinere diktes mogelijk. Echter hiervoor zijn bij de auteurs van dit rapport geen formuleringen bekend, waarbij de penetratiegraad van de schanskorven in rekening gebracht kan worden bij de bepaling van de dikte.

Figuur 11 – Cases voor bepaling stabiliteit oevers bij renovatie van het brugdeel aan linkeroever



Blauwe, groene en rode streeplijn: positie schip voor definitie cases; rode puntlijn: oever hoofdzakelijk belast door stroming hoofdschroef schip; blauwe puntlijn: oever hoofdzakelijk belast door stroming boegschroef schip; groene puntlijn: oever hoofdzakelijk belast door stroming hoofdschroef en boegschroef schip.

Voor de oever met typeprofiel 17 (aangeduid met blauwe puntlijn in Figuur 11) is de stroming ten gevolge van de boegschroef van belang. De berekening van de stroomsnelheid aan de bodem geeft hiervoor een maximale stroomsnelheid aan de bodem tussen 0.80 m/s en 1.40 m/s. Om te weerstaan aan deze stroomsnelheden is in dit gedeelte geen bijkomende oeverbescherming nodig.

Aan rechteroever van het kanaal Gent-Oostende is een oever met typeprofiel 18 aanwezig, gekenmerkt door een steilere helling dan deze met typeprofiel 17. De steilere helling van het typeprofiel 18 is nadeliger voor de stabiliteit van de oever. Bij aanhouden van dezelfde afstanden tot de oever als bij typeprofiel 17, zal bij dit oevertype een iets grotere breuksteendiameter berekend worden. Mogelijk is voor dit type oever wel een oeverbescherming uit breuksteen nodig. Dit is sterk afhankelijk van de afstand dewelke de schepen tot de oever aanhouden. Bijgevolg volstaat een oeverbekleding uit breuksteen met dezelfde sortering als bij de oever met typeprofiel 27 om te weerstaan aan de optredende hydraulische belastingen op deze oever. Alternatief kan ook een oeverbekleding uit schanskorven beschouwd worden. Hiervoor wordt een dikte van de schanskorven tussen 0.03 m en 0.10 m berekend, wat beduidend kleiner is dan de gebruikelijke diktes van schanskorven van 0.30 m à 0.50 m. Achter het geleidewerk is de bodem gesedimenteerd tot een peil tussen +4.11 mTAW en +4.61 mTAW. De opdrachtgever opteert om het slib achter dit geleidewerk niet te baggeren. Bijgevolg ontstaat door het baggeren tot +2.01 mTAW een “verticale oever” ter plaatse van het geleidewerk. Om erosie van de bodem achter het geleidewerk tegen te gaan moet de “verticale oever” op deze locatie verstevigd worden.

Bij deze resultaten wordt het volgende opgemerkt:

- Met het oog op de renovatie van de Nieuwekalebrug is in dit rapport een eerste bepaling van de stabiliteit van de oevers van het kruispunt tussen het kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart uitgevoerd. Hiervoor zijn enkel een aantal kenmerkende oevertypes beschouwd en de voor deze oevertypes maatgevende belastingen.
- De peilingen in Figuur 2 uit paragraaf 2.1 tonen aan zuidelijke zijde van het kruispunt tussen het kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart een driehoekige zone met sedimentatie. De aanwezigheid van deze zone met sedimentatie duidt op het feit dat de schepen bij normale passage van het kruispunt niet in deze zone varen. In de normale toestand is bijgevolg geen bescherming van deze oevers nodig. De oeverbescherming met gepenetreerde breuksteen is enkel nodig om te weerstaan aan de hogere belastingen door het dicht tegen de oever varen van de schepen tijdens de renovatie van de Nieuwekalebrug.
- De oeverbescherming dient aangebracht te worden in het gedeelte van de oever tussen de bodem, i.e. het peil +2.01 mTAW na uitbaggeren van de bodem of een lager peil indien dit lagere bodempeil op dit ogenblik al aanwezig is, en de waterlijn of het horizontaal gedeelte juist onder de waterlijn van het grondmassief naast de betonnen damplanken.
- De versteviging van de oevers ter plaatse van het kruispunt van het Kanaal Gent-Oostende met de Ringvaart in deze studie worden voorzien omdat schepen tijdens de beide fasen van de renovatie van de Nieuwekalebrug dicht tegen de oever zullen varen dan gebruikelijk is. Zowel in het kanaal Gent-Oostende, in de Ringvaart als in de toegangsgeul naar de sluis van Evergem is de grens van de te baggeren zone gelegen op een locatie waar schepen ongeveer in het midden van de vaargeul varen, zoals nu gebruikelijk is. Buiten de grens van de te baggeren zone is bijgevolg geen bijkomende versteviging van de oever meer nodig.
- In deze studie is penetratie van breuksteen of schanskorven met colloïdaal beton voorgesteld. Hierbij wordt gesloten colloïdaal beton beschouwd. Persoonlijke communicatie met de Bundesanstalt für Wasserbau (Dr.-ing. Jan Kayser, Afdeling Geotechniek van BAW) leert dat breuksteen gepenetreerd met open colloïdaal beton niet goed kan weerstaan aan invloed van vorst, maar ook niet goed kan weerstaan aan hoge stroomsnelheden ten gevolge van scheepvaart. Daarnaast wordt opgemerkt dat bij penetratie met (gesloten) colloïdaal beton in feite een gesloten niet doorlatende constructie bekomen wordt.
- Mogelijk kan het aanbrengen van een oeverbescherming aan de oevers van het kruispunt ook nodig zijn voor de toegankelijkheid van het kruispunt tussen het kanaal Gent-Oostende en de Ringvaart voor grotere schepen (tot CEMT-klasse Vb) in de toekomst. Deze scheepstypes en de vaarposities van deze schepen zijn in dit rapport echter niet beschouwd.

5 Referenties

Beekx R.P.H.A. (2006). Gabion stability. Master of Science thesis.

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

Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN). (2002). NBN EN 13383-1. Waterbouwsteen – Deel 1: Specificatie.: Brussel, Belgium

Blokland, T. (1997). Bodembescherming belast door schroefstralen. Huidige ontwerpmethode. rapport 61.00-R96.089: Rotterdam

CIRIA; CUR. (2007). Manual on the use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)

De Rouck, J. (S.d.). Rivieren, kanalen en sluizen. Partim: rivieren en kanalen [CURSUS]. Universiteit Gent. Faculteit Ingenieurswetenschappen: Gent

De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde. (2011). Samenvloeiing KGO-RV. Project: Preferentiële sedimentatie PS2 - Type profielen. Evergem. plan B3-11990 2011 PS2 dd. 16/08/2011.

De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde. (2019a). Renovatie Nieuwekalebrug W16. Werkplan. Fase 1 - Rechteroever. Peiling 08/05/2019. Plan nr. D3_100_575_WP_01. dd. 12/07/2019

De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde. (2019b). Renovatie Nieuwekalebrug W16. Werkplan. Fase 2 - Linkeroever. Peiling 08/05/2019. Plan nr. D3_100_575_WP_02. dd. 12/07/2019

De Vlaamse Waterweg nv. Afdeling Bovenschelde. (2020). Ringvaart om Gent. Renovatie Nieuwekalebrug W16 te Evergem. Aanbesteding baggerzone. Plan nr. D3_100 620_ABP_06

Eloot, K.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2019). Kanaal Gent-Oostende: Renovatie Nieuwekalebrug: Nautisch advies: Deelrapport 1 - Desktopstudie. *versie 1.0*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Geerts, S.; Verwerft, B.; Vantorre, M.; Delefortrie, G.; Mostaert, F. (2011). Modelproeven voorspelling manoeuvreergedrag binnenvaart: deelrapport A.I - Achtergrondstudie binnenvaart: binnenvaartuigen en binnenvaartwegen. *WL Rapporten*, 809_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Pilarczyk, K.W. (1990). Proceedings of the short course on coastal protection, Delft University of Technology / 30 June-1 July 1990. Balkema: Rotterdam. ISBN 90-6191-127-3

Pilarczyk, K.W. (1998). Dikes and revetments: design, maintenance and safety assessment. Balkema: Rotterdam. ISBN 90-5410-455-4

ten Hove, D. (2010). Scheepskarakteristieken van nieuwe grote schepen. Rapport nr. 24032.600/2. 10/02/2010. MARIN: Wageningen: Nederland

Verelst, K.; Vercruysse, J.B.; Taverniers, E.; De Mulder, T.; Verwilligen, J.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016). Ondersteuning ontwerp klasse Vb-sluis te Sint-Baafs-Vijve: deelrapport 4. Dimensionering bodembescherming stuwsluis. versie 11.. *WL Rapporten*, 12_142_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XII, 63 + 51 p. bijlagen pp.

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