



Vlaanderen
is wetenschap

Tijarm



17_079_1
WL rapporten

Zeeschelde – Tijarm Zwijnaarde

Hydraulische impact oeverherstelling en
dimensionering oeverbescherming

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Zeeschelde - Tijarm Zwijnaarde

Hydraulische impact oeverherstelling en dimensionering oeverbescherming

Verelst, K.; Vanderkimpen, P.; Visser, K.P.; 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 2018
D/2018/3241/012

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; Vanderkimpem, P.; Visser, K.P.; Mostaert, F. (2018). Zeeschelde - Tijarm Zwijnaarde: Hydraulische impact oeverherstelling en dimensionering oeverbescherming. Versie 5.0. WL Rapporten, 17_079_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

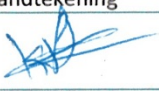
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg nv, afdeling Zeeschelde	Ref.:	WL2018R17_079_1
Keywords (3-5):	Tijarm zwijnaarde, opstuwing, oeverbekleding, dimensionering		
Tekst (p.):	11	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Verelst, K.; Vanderkimpem, P.
-----------	-------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Visser, K.P.	
Projectleider:	Verelst, K.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	--



Abstract

Aan de rechteroever van de Tijarm van de Schelde te Zwijnaarde is een acute verzakking van de oever waargenomen ter hoogte van de bebouwing. De huidige verdediging met (te kleine) breuksteen is grotendeels weggespoeld waardoor het geotextiel zichtbaar is. Op deze locatie is momenteel geen binnenvaart aanwezig, maar doen zich wel af en toe piekdebieten voor in de richting van de Ringvaart/Zeeschelde.

Afdeling Zeeschelde van De Vlaamse Waterweg nv heeft reeds een ontwerp gemaakt voor een herstelling van de betreffende oever. Deze herstelling bestaat uit een zandaanvulling met daarop een breuksteenbekleding. Echter de herstellende oever neemt een belangrijk deel van de dwarsdoorsnede van de tijarm in.

Dit rapport onderzoekt de hydraulische impact met betrekking tot opstuwing en stroomsnelheid in de tijarm van de voorgestelde herstelling en gaat na welke oeverbescherming uit breuksteen nodig is om nieuwe beschadigingen te voorkomen. De opstuwing ten gevolge van de voorgestelde oeverherstelling bedraagt minder dan 1 cm. De maximale stroomsnelheid doorheen de herstellende secties bedraagt 2.3 m/s. Uit de dimensionering van de oeverbescherming volgt dat de in het ontwerp voorgestelde breuksteensortering 10 – 60 kg voldoet.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Controle mogelijke opstuwing en berekening stroomsnelheden in tijarm.....	3
2.1 Methodologie	3
2.2 Resultaten.....	5
3 Dimensionering oeverbescherming	7
3.1 Methodologie	7
3.2 Resultaten.....	9
4 Conclusies	10
5 Referenties	11

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Beschouwde breuksteensorteringen.....	8
Tabel 2 – Dimensionering oeverbekleding aan de hand van formulering volgens Pilarczyk.....	9

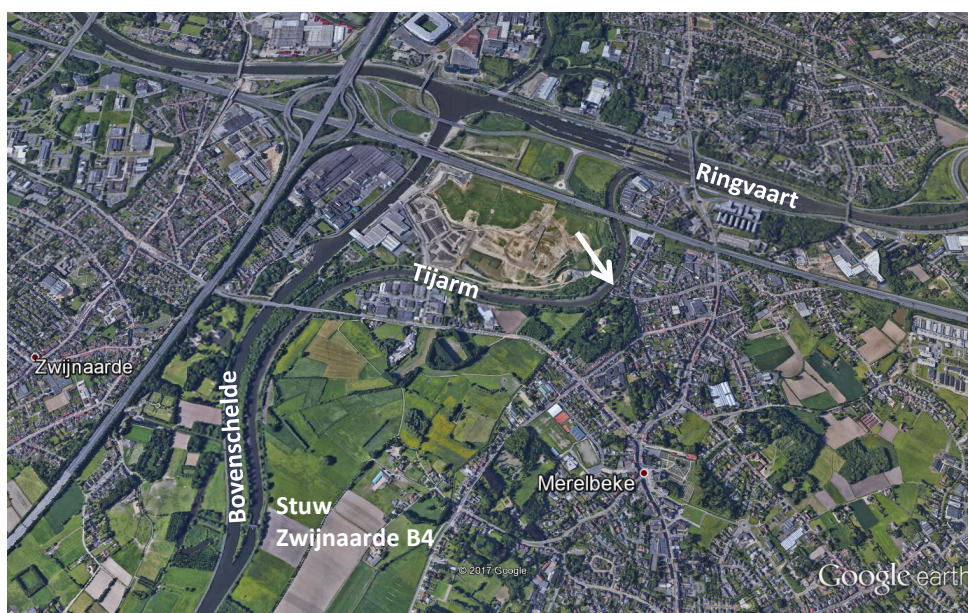
Lijst van de figuren

Figuur 1 – Situering verzakking oever in de tijarm van de Zeeschelde te Zwijnaarde	1
Figuur 2 – Herstelling oeverbescherming tijarm Zwijnaarde	1
Figuur 3 – Model Tijarm Zwijnaarde.....	3
Figuur 4 – Bovendebieten Zeeschelde te Melle (IMDC <i>et al.</i> , 2003).....	4
Figuur 5 – Verschil in waterpeil in de tijarm ten gevolge van de aanleg van de nieuwe oeververdediging.....	5
Figuur 6 – Sectiegemiddelde stroomsnelheden in de tijarm.	6

1 Inleiding

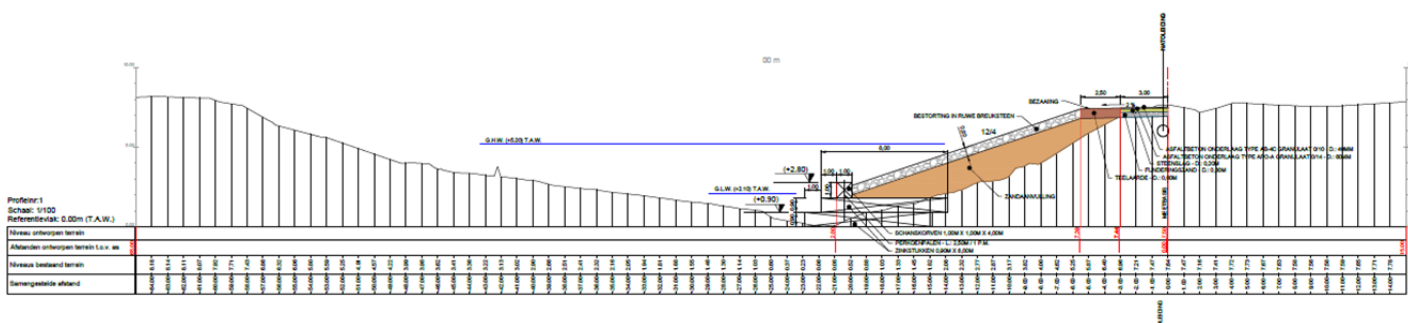
Het beheer van de tijarm van de Zeeschelde te Zwijnaarde is recent overgegaan van afdeling Bovenschelde naar afdeling Zeeschelde van De Vlaamse Waterweg nv. Aan de rechteroever van deze tijarm is een acute verzakking waargenomen van de oever ter hoogte van de bebouwing (in Figuur 1 aangeduid met een witte pijl). De huidige oeververdediging met (te kleine) breuksteen is grotendeels weggespoeld waardoor het geotextiel zichtbaar is.

Figuur 1 – Situering verzakking oever in de tijarm van de Zeeschelde te Zwijnaarde



Op dit gedeelte van de tijarm is momenteel geen binnenvaart aanwezig, maar doen zich wel af en toe piekdebieten voor richting Ringvaart/Zeeschelde. Afdeling Zeeschelde heeft een structurele herstelling van de oeverbescherming voorgesteld bestaande uit een zandaanvulling met breuksteenbekleding (Figuur 2). Voor de herstelling wordt een breuksteen sortering 10-60 kg onder een helling 12/4 voorgesteld.

Figuur 2 – Herstelling oeverbescherming tijarm Zwijnaarde



Bron: W&Z afdeling Zeeschelde (2017).

De herstelde oever neemt echter een belangrijk deel van de dwarsdoorsnede van de tijarm in. Om die reden vraagt afdeling Zeeschelde (contactpersoon: Michael De Beukelaer-Dossche) advies met betrekking tot het volgende:

- Controle of het voorliggende ontwerp geen al te grote opstuwing geeft wegens de vernauwing van de sectie.
- Nagaan of de voorgestelde standaard breuksteensortering 10-60 kg in het voorliggend ontwerp voldoet om te weerstaan aan de optredende stroomsnelheden.

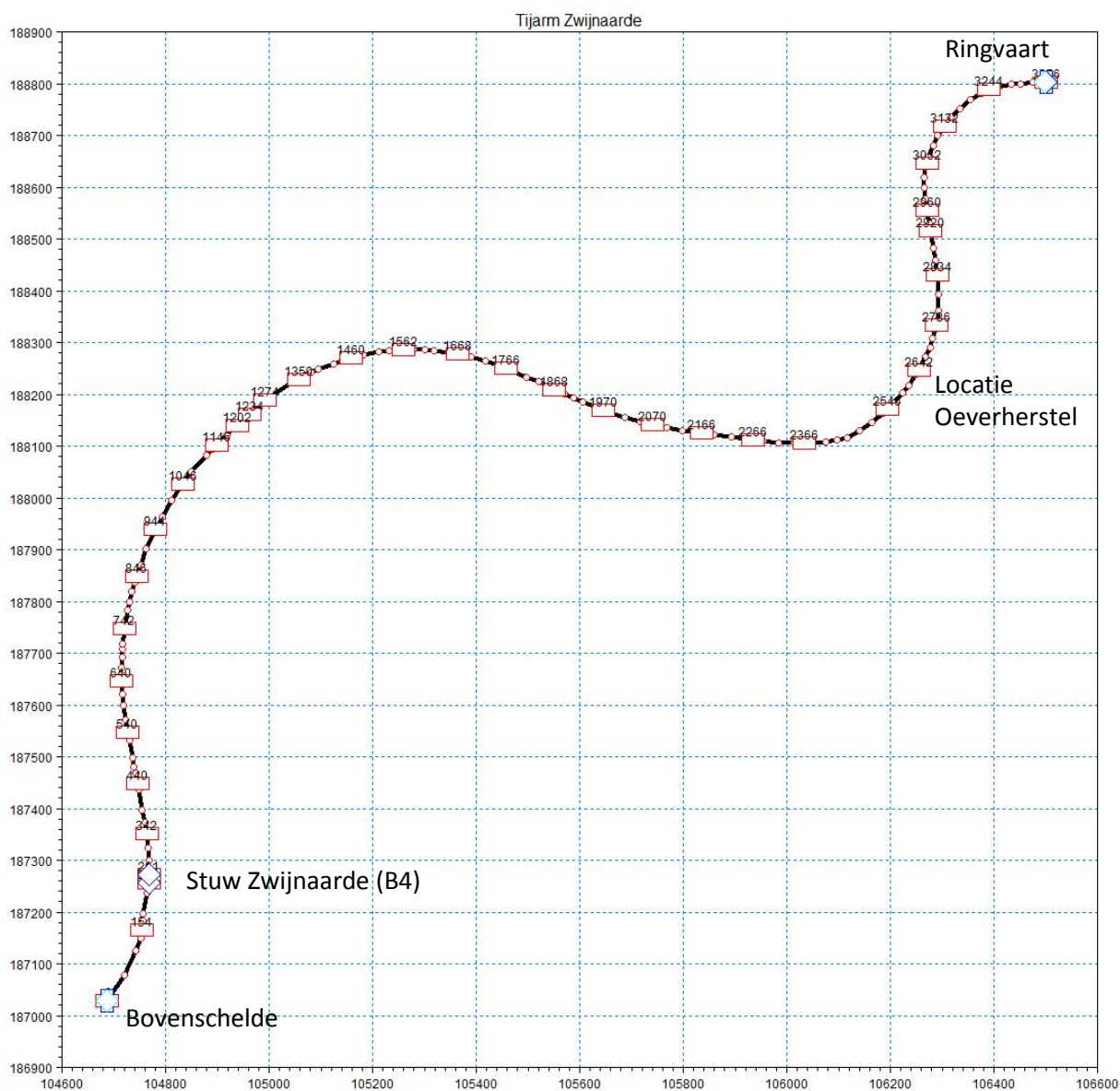
Hoofdstuk 2 van dit advies omvat de controle van de invloed van de vernauwing van de sectie op de opstuwing en de bepaling van de optredende stroomsnelheden in de tijarm. In hoofdstuk 3 wordt op basis van deze resultaten de dimensionering van de oeverbescherming uit breuksteen uitgevoerd en wordt de bekomen breuksteensortering vergeleken met de voorgestelde sortering 10-60 kg. Hoofdstuk 4 vat de conclusies van dit advies samen.

2 Controle mogelijke opstuwing en berekening stroomsnelheden in tijarm

2.1 Methodologie

De controle van de mogelijke opstuwing en de berekening van de stroomsnelheden ter plaatse van de oeverbekleding in de tijarm zijn uitgevoerd met behulp van een hydrodynamisch model van de tijarm. Dit model werd opgebouwd met het softwarepakket Mike11 (versie 2012, SP3), ontwikkeld en verdeeld door DHI. De layout van het model wordt getoond in Figuur 3. De dwarssecties zijn gebaseerd op bathymetrische opmetingen uitgevoerd in 2009.

Figuur 3 – Model Tijarm Zwijnaarde

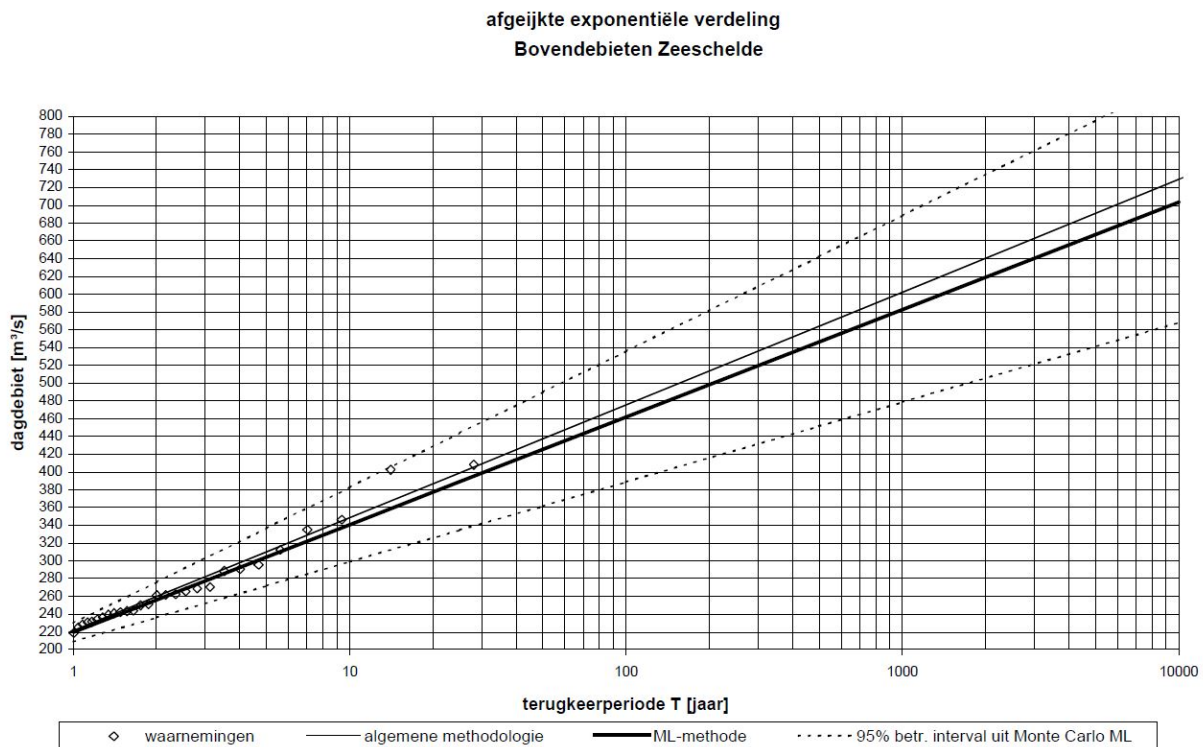


Vooreerst zijn simulaties uitgevoerd voor :

- Waterstanden en debieten overeenkomend met de was van november 2010.
- Ontwerpdebieten 150 m³/s, 200 m³/s en 250 m³/s in de tijarm te Zwijnaarde.

De ontwerpdebieten 150 m³/s, 200 m³/s en 250 m³/s zijn afgeleid gebruik makend van de bovendebieten van de Zeeschelde te Melle (Figuur 4 uit IMDC *et al.* (2003)).

Figuur 4 – Bovendebieten Zeeschelde te Melle (IMDC *et al.*, 2003)



Het bovendebiet van de Zeeschelde te Melle bestaat uit het debiet door de tijarm te Zwijnaarde en het debiet dat via de stuwen in Merelbeke in de Zeeschelde komt. Bij was wordt echter ook sluis 2 van het sluizencomplex te Merelbeke gebruikt voor waterafvoer. Rekening houdend met de breedte van de stuwen te Zwijnaarde (2 stuwen met een breedte van 12.5 m), de breedte van de stuwen te Merelbeke (2 stuwen met een breedte van 12.5 m) en de breedte van de sluis te Merelbeke (18.0 m) wordt aangenomen dat de piekafvoer via de tijarm te Zwijnaarde ca. 1/3 is van de piekafvoer te Melle. Aan de hand van deze aanname zijn de debieten van 150 m³/s, 200 m³/s en 250 m³/s afgeleid uit de bovendebieten van de Zeeschelde te Melle in Figuur 4.

Uit de analyse van simulatieresultaten van november 2010 blijkt dat de pieksnelheden niet noodzakelijk optreden tijdens de piekafvoer. In november 2010 traden de pieksnelheden in de tijarm op toen de stuw te Zwijnaarde geopend werd tijdens laag water. Daarom is een bijkomende controle nodig om na te gaan welke kortstondige snelheidspieken kunnen optreden wanneer de stuw plots geopend wordt bij laag water. Hiervoor is een simulatie uitgevoerd met maximaal peil opwaarts van de stuwen te Zwijnaarde (+ 5.80 m TAW) en een minimaal peil in de tijarm (+ 2.45 m TAW). Dit minimaal peil in de tijarm is gelijk aan het gemiddeld laagwater te Melle in de periode 2001-2010.

Samengevat zijn voor de controle van de opstuwing in de tijarm en het bepalen van de stroomsnelheden ter plaatse van de nieuwe oeverbescherming simulaties met het hydrodynamisch model uitgevoerd voor:

- Waterstanden en debieten overeenkomend met de was van november 2010. In het vervolg van dit rapport aangeduid met *nov2010*.
- Ontwerpdebieten 150 m³/s, 200 m³/s en 250 m³/s in de tijarm te Zwijnaarde. In het vervolg van dit rapport worden deze simulaties aangeduid met *QXXX*, waarbij *XXX* overeenkomt met het ontwerpdebiet voor de tijarm.
- Een maximaal peil opwaarts van de stuwen te Zwijnaarde (+ 5.80 m TAW) en een minimaal peil in de tijarm (+ 2.45 m TAW). In het vervolg van dit rapport aangeduid met *H580*.

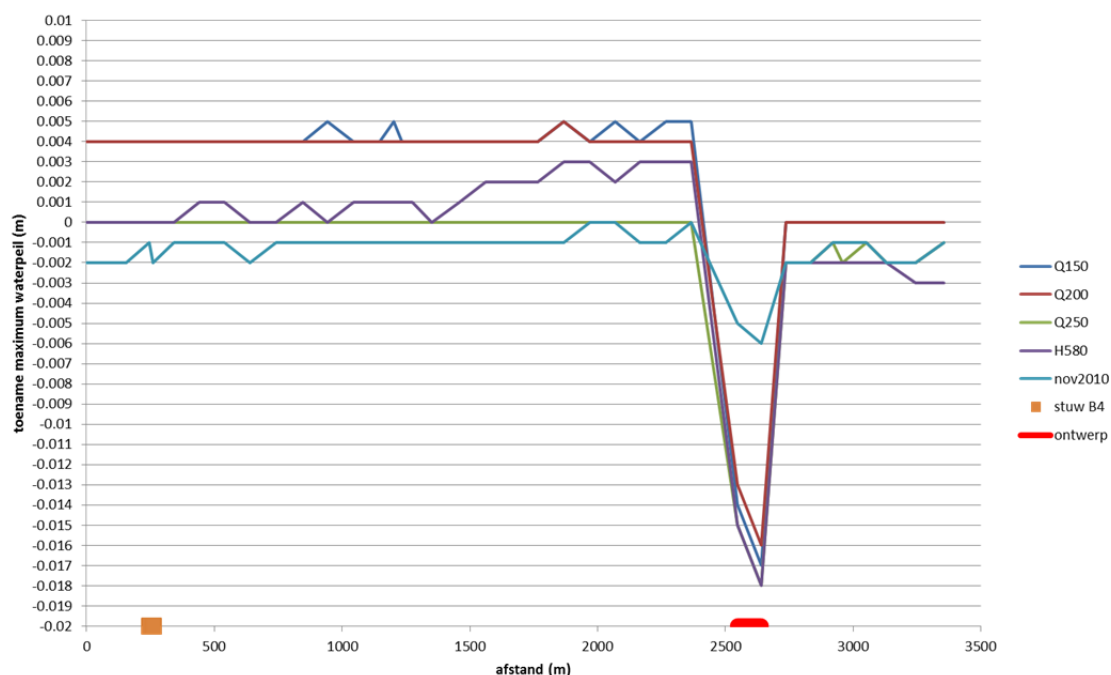
Alle berekeningen werden twee maal uitgevoerd: éénmaal voor de bestaande toestand en éénmaal voor de ontworpen toestand. De vernauwing in de ontworpen toestand werd in rekening gebracht door twee opeenvolgende dwarssecties (2642 en 2546) te versmallen op basis van het ontwerp uit Figuur 2. De bodemruwheid werd hierbij niet gewijzigd.

2.2 Resultaten

Voor de 5 uitgevoerde simulaties geeft Figuur 5 een grafische voorstelling van het verschil in waterpeil in de tijarm ten gevolge van de aanleg van de nieuwe oeververdediging. Dit verschil wordt bepaald door het waterpeil in de tijarm uit de simulatie met het nieuwe ontwerp af te trekken van het waterpeil in de tijarm uit de simulaties voor de huidige toestand.

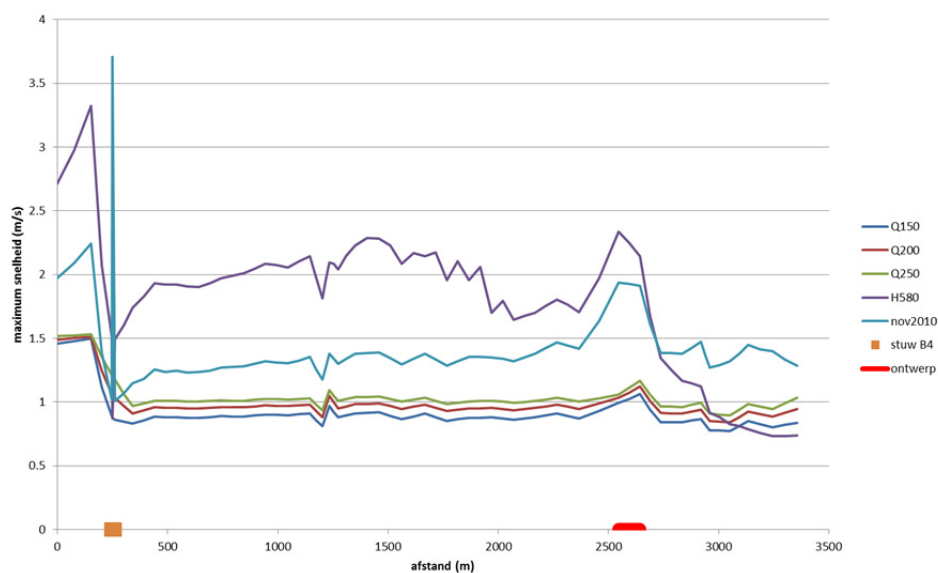
Uit deze figuur volgt dat opwaarts van de nieuwe oeververdediging een opstuwing plaatsvindt van maximaal 0.5 cm. Deze opstuwing is verwaarloosbaar klein. Ter plaatse van de nieuwe oeververdediging doet zich tevens een verlaging van het waterpeil voor van maximaal 2.0 cm.

Figuur 5 – Verschil in waterpeil in de tijarm ten gevolge van de aanleg van de nieuwe oeververdediging.



Figuur 6 geeft voor elke uitgevoerde simulatie een grafische voorstelling van de sectiegemiddelde stroomsnelheden in de volledige tijarm.

Figuur 6 – Sectiegemiddelde stroomsnelheden in de tijarm.



Uit Figuur 6 volgt dat ten gevolge van de afvoer van water in de tijarm stroomsnelheden tot 2.3 m/s kunnen voorkomen ter plaatse van de nieuwe oeverbescherming.

3 Dimensionering oeverbescherming

3.1 Methodologie

De dimensionering van de oeverbekleding wordt uitgevoerd aan de hand van volgende formulering volgens Pilarczyk (Pilarczyk, 1990, 1998):

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

Met:

- D_{n50} Mediaan breuksteendiameter [m]
- Δ Specifieke dichtheid breuksteen (= 1.65) [-]
- U Stroomsnelheid [m/s]
- K_T Turbulentiefactor [-]

Waarden:	1.0	Normale turbulentie (rivieren, brugpijlers)
	1.5	Verhoogde turbulentie (bochten)
	2.0	Hevige turbulentie (watersprong)
	3.0 (tot 4.0)	Schroefstraalstroming
- K_h Diepte- (of snelheidsprofiel) factor [-]

$K_h = \left(\frac{h}{D_{n50}}\right)^{-0.2}$ *Niet volledig ontwikkeld snelheidsprofiel*

Deze factor kan verwaarloosd worden bij $h/D_n \leq 5$. Voor breuksteen wordt K_h gewoonlijk gelijk genomen aan 2 tot 5 maal D_{n50} .
- h Waterdiepte [m]
- K_S Hellingfactor [-]

Voor stroming parallel aan de oever gelijk aan:

$$K_S = \cos(\alpha) \sqrt{1 - \left(\frac{\tan(\alpha)}{\tan(\theta)}\right)^2}$$
- α Helling van de oever (18 ° voor de oever van de tijarm) [°]
- θ Hoek van inwendige wrijving (40° voor breuksteen) [°]
- Ψ Kritische schuifspanningsparameter (= 0.035 voor breuksteen) [-]
- Φ Stabiliteitsfactor voor stroming [-]

Voor breuksteen vermeldt het rapport van PIANC werkgroep 180 (MarCom Working Group 180, 2015) een waarde 0.75 à 1.00 voor een continue bekleding en een waarde 1.50 voor hoeken en overgangen.

Op basis van deze benodigde mediaan breuksteendiameter wordt het gemiddeld breuksteengewicht M_{50} ($M_{50} = \rho_s (D_{n50})^3$; met $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$) berekend, dewelke gebruikt wordt om de breuksteensortering te selecteren.

Voor het selecteren van een breuksteensortering worden de verschillende klassen voor breuksteen uit Tabel 1 beschouwd.

Tabel 1 – Beschouwde breuksteensorteringen.

Sortering	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]	Laagdikte [m]
5 – 40 kg	14 – 28	0.17 - 0.21	0.42
10 – 60 kg	27 – 47	0.21 – 0.26	0.52
15 -120 kg	45 - 78	0.26 – 0.31	0.62
40 – 200 kg	101 – 152	0.32 – 0.37	0.74
60 – 300 kg	149 – 236	0.38 – 0.43	0.86
15 – 300 kg	70 – 211	0.30 – 0.43	0.86

Bron: NBN EN 13383 (BIN, 2002);

M₅₀: Mediaan breuksteengewicht; D_{n50}: Mediaan breuksteendiameter

Bij deze breuksteensorteringen moet het volgende opgemerkt worden:

- De breuksteensorteringen uit het standaardbestek 260 voor de waterbouw zijn dezelfde als vermeld in de norm voor waterbouwsteen NBN EN 13383 (BIN, 2002). Aan de norm voor waterbouwsteen NBN EN 13383 zal in de toekomst de breuksteensortering 15 – 120 kg (45 kg < M₅₀ < 78 kg) toegevoegd worden. Waar nodig zal ook deze verdeling in deze studie reeds toegepast worden. De breuksteensortering uit Tabel 1 worden gekarakteriseerd door een gemiddeld breuksteengewicht. Om de laagdikte te bepalen, is dit gemiddeld breuksteengewicht omgerekend naar de bijbehorende gemiddelde breuksteendiameter.
- Voor elke sortering wordt in Tabel 1 een laagdikte van de breuksteensortering vermeld. Deze is berekend als het maximum van de volgende 3 voorwaarden (CIRIA; CUR, 2007; De Rouck, s.d.):

$$t = 1.25 D_{n50}$$

$$t = n \cdot k_t \cdot D_{n50}$$

$$t \geq 0.30$$

met:

- t	Theoretisch orthogonale laagdikte (laagdikte gemeten loodrecht op de bodem)	[m]
- D _{n50}	Mediaan nominale breuksteendiameter	[m]
- N	Aantal lagen (n = 2, De Rouck (n.d.))	[-]
- k _t	Laagdiktecoëfficiënt (k _t = 1.00)	[-]

Bij de berekening van de laagdikte moet het volgende opgemerkt worden:

- Voor de diameter D_{n50} wordt de maximale D_{n50} van de breuksteensortering beschouwd.
- De 3^e voorwaarde wordt enkel vermeld in De Rouck (n.d.) verwijzend naar de vorige editie van de Rock Manual (CIRIA; CUR, 1991). De Rouck (n.d.) vermeldt echter, om constructieve redenen, voor rivieren een minimale laagdikte van 0.50 m. In deze studie is een minimale laagdikte van 0.30 m gebruikt.
- De Rouck (n.d.) vermeldt dat voor rivieren “a standard double layer thickness” wordt toegepast. Dit betekent dat de laagdikte van de breuksteen standaard gelijk genomen wordt aan 2 maal de nominale breuksteendiameter (n=2).
- In De Rouck (n.d.) worden voor de laagdiktecoëfficiënt k_t bij een standaarduitvoering in één laag, waarvan de laagdikte gelijk is aan 2 maal de nominale diameter, waarden tussen 0.87 en 0.96 vermeld. In deze studie zal voor k_t als conservatieve benadering, de waarde 1.00 beschouwd worden.

3.2 Resultaten

Uit hoofdstuk 2 volgt een maximale sectiegemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de nieuwe oeverbekleding gelijk aan 2.3 m/s. Ter vergelijking: Peeters *et al.* (2009) vermelden voor de zone Uitbergen-Gentbrugge een maximale dwarsgemiddelde stroomsnelheid gelijk aan 2.5 m/s. De in hoofdstuk 2 begrootte stroomsnelheid in de tijarm is slechts beperkt lager dan de waarde uit Peeters *et al.* (2009). Om die reden wordt een sectiegemiddelde stroomsnelheid gelijk aan 2.5 m/s beschouwd voor de dimensionering van de oeverbescherming.

De dimensionering van de oeverbescherming wordt uitgevoerd aan de hand van de formulering van Pilarczyk voor:

- Een sectiegemiddelde stroomsnelheid gelijk aan 2.5 m/s
- Een waterpeil gelijk aan gemiddeld laagwater (+ 2.45 mTAW)
- Bij een waarde $\phi = 1.00$ voor een continue bekleding en een waarde $K_T = 1.5$ (stroming in een bocht) in de formulering volgens Pilarczyk.

Tabel 2 geeft de op deze wijze bekomen resultaten van de dimensionering van de oeverbekleding.

Tabel 2 – Dimensionering oeverbekleding aan de hand van formulering volgens Pilarczyk

U	m/s	2.5
Ψ	-	0.035
ϕ	-	1.0
K_t	-	1.5
Bodempeil	mTAW	0.90
Waterpeil	mTAW	2.45
Waterdiepte	m	1.55
α	°	18
Δ	-	1.65
D_{n50}	m	0.23
M_{50}	kg	31.0

Uit Tabel 2 volgt een mediaan breuksteengewicht M_{50} van 31 kg voor een continue bekleding. Vergelijken van deze waarde met de diameters van de breuksteensorteringen uit Tabel 1 leert dat een breuksteensortering 10-60 kg volstaat om te weerstaan aan de stroming in de tijarm voor de continue bekleding. Hieruit volgt dat de voorgestelde breuksteensortering 10 – 60 kg bijgevolg voldoet.

4 Conclusies

Aan de rechteroever van de tijarm van de Zeeschelde te Zwijnaarde is een acute verzakking waargenomen van de oever ter hoogte van de bebouwing. De huidige oeververdediging met (te kleine) breuksteen is grotendeels weggespoeld waardoor het geotextiel zichtbaar is. Op dit gedeelte van de tijarm is momenteel geen binnenvaart aanwezig, maar doen zich wel af en toe piekdebieten voor richting Ringvaart/Zeeschelde.

Afdeling Zeeschelde van De Vlaamse Waterweg nv (contactpersoon: Michael De Beukelaer-Dossche) heeft een structurele herstelling van de oeverbescherming voorgesteld, bestaande uit een zandaanvulling met breuksteenbekleding. Voor de herstelling wordt een breuksteensortering 10-60 kg onder een helling 12/4 voorgesteld. De herstellende oever neemt echter een belangrijk deel van de dwarsdoorsnede van de tijarm in. Om die reden vraagt afdeling Zeeschelde advies met betrekking tot het volgende:

- Controle of het voorliggende ontwerp geen al te grote opstuwing geeft wegens de vernauwing van de sectie.
- Nagaan of de voorgestelde standaard breuksteensortering 10-60 kg in het voorliggend ontwerp voldoet om te weerstaan aan de optredende stroomsnelheden.

Met behulp van een hydrodynamisch model van de tijarm in MIKE11 zijn eerst simulaties uitgevoerd voor de controle van de opstuwing in de tijarm en voor het bepalen van de stroomsnelheden ter plaatse van de nieuwe oeverbescherming. Simulaties zijn uitgevoerd voor:

- Waterstanden en debieten overeenkomend met de was van november 2010.
- Ontwerpdebieten 150 m³/s, 200 m³/s en 250 m³/s in de tijarm te Zwijnaarde.
- Een maximaal peil opwaarts van de stuwen te Zwijnaarde (+ 5.80 m TAW) en een minimaal peil in de tijarm (+ 2.45 m TAW).

Alle berekeningen werden twee maal uitgevoerd: éénmaal voor de bestaande toestand en éénmaal voor de ontworpen toestand. Uit de simulaties volgt dat de opstuwing ten gevolge van de voorgestelde oeverherstelling minder dan 1 cm bedraagt en dat de maximale stroomsnelheid doorheen de herstellende secties 2.3 m/s bedraagt.

Op basis van de maximale stroomsnelheid ter plaatse van de herstelling is een dimensionering van de benodigde oeverbescherming uitgevoerd aan de hand van de formulering van Pilarczyk. Uit deze dimensionering volgt dat een breuksteensortering 10-60 kg volstaat om te weerstaan aan de stroming in de tijarm voor de continue bekleding. Hieruit volgt dat de in het ontwerp voorgestelde breuksteensortering 10 – 60 kg bijgevolg voldoet.

5 Referenties

- Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN).** (2002). NBN EN 13383-1. Waterbouwsteen – Deel 1: Specificatie.: Brussel, Belgium
- CIRIA; CUR.** (1991). Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering. *CUR-Publicatie*, 154: Gouda. ISBN 0-86017-326-7
- 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
- International Marine and Dredging Consultants; Belgroma; Soresma; Haecon; Resource Analysis; Technum.** (2003). Actualisatie van het Sigmaplan. Integrale verkenning Scheldebekken. Integrale verkenning Rupelbekken. Planstudie rivierherstelproject Durme: deelopdracht 3. Hydrologische en hydraulische modellen: volume 1a. Statistiek Scheldebekken. *versie 2.0*: Antwerpen, België
- 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
- Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F.** (2009). Studie ten behoeve van aanleg van overstromingsgebieden en natuurgebieden in het kader van het Sigmaplan: hydraulische randvoorwaarden voor toetsen op en ontwerpen naar veiligheid. *WL Rapporten*, 713_15a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- 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
- W&Z afdeling Zeeschelde.** (2017). Zeeschelde R.O. (Tijarm) Afschuiven talud. Plan nr. C4 9446-ONT 02

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