



Vlaanderen
is wetenschap

22_031.1
WL rapporten

Randvoorwaarden bij studie overstromingsmaatregelen kaaien Montgomerydok

Update 2026

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Randvoorwaarden bij studie overstromingsmaatregelen kaaien Montgomerydok

Update 2026

Willems, M.; Vanneste, D.

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 2026
D/2026/3241/098

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Willems, M.; Vanneste, D. (2026). Randvoorwaarden bij studie overstromingsmaatregelen kaaien Montgomerydok: Update 2026. Versie 4.0. WL Rapporten, 22_031_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

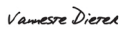
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	MDK-aKust	Ref.:	WL2026R22_031_1
Trefwoorden (3-5):	Kustbescherming; golfoverslag; golfindringing, Oostende		
Kennisdomeinen:	Kustbescherming > Kustveiligheid bij extreme stormen > Constructies in havens > Schaalmodelproeven Kustbescherming > Kustveiligheid bij extreme stormen > Hydrometeoklimaat extreme stormen > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	15	Bijlagen (p.):	31
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Willems, M.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vanneste, D.	Signed by:Vanneste Dieter Frans A Signed at:2026-09-29 10:32:13 +02:00 Reason:Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Willems, M.	Signed by:Willems Marc Leon Signed at:2026-09-29 10:47:21 +02:00 Reason:Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Signed by:Bellafkih Abdelkarim Signed at:2026-09-29 11:37:16 +02:00 Reason:Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	--

Abstract

Op vraag van Afdeling Kust (MDK) maakt het Waterbouwkundig Laboratorium een overzicht op van de ontwerprandvoorwaarden voor overstromingsmaatregelen rondom het Montgomerydok van Oostende. Deze ontwerprandvoorwaarden zullen gebruikt worden voor een conceptstudie voor de realisatie van overstromingsmaatregelen op de kaaien rondom het Montgomerydok (bestek 16EH/21/07, dossiernummer 221.030; uitgeschreven door afdeling Kust).

Deze randvoorwaarden, zowel de hydraulische randvoorwaarden als de kruinpeilen, vloeien voort uit vorige studies en modelleringen uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium. Ze worden aangevuld met enkele aandachtspunten en achtergrondinformatie, en geüpdatet voor geactualiseerde waterstanden bij zeespiegelstijging.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Hydraulische randvoorwaarden voor ontwerp overstromingsmaatregelen	2
2.1 Bestek 16EH/21/07	2
2.2 Update waterstand	2
2.3 Overzicht golfparameters	2
3 Kruinpeilen voor ontwerp overstromingsmaatregelen.....	4
3.1 Memo WL2020M18_066_7	4
3.2 Ingang Montgomerydok.....	5
3.2.1 Breedte	5
3.2.2 Oriëntatie.....	8
3.3 Diepte Montgomerydok.....	8
3.4 Stormmuur Churchillkaai	8
3.5 Kaai RNSYC	10
3.6 Montgomerykaai.....	10
3.7 Update kruinpeilen	11
3.7.1 Anno 2020.....	12
3.7.2 Anno 2070.....	12
3.7.3 Anno 2120.....	13
4 Besluit	14
Referenties	15
Bijlage 1: memo WL2020M18_066_7	B1
Bijlage 2: memo WL2019M18_066_2	B16

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Golfhoogte H_{m0} in het Montgomerydok.	3
Tabel 2 – Dataset model 18_066: proeven met 20 en 22 m brede ingang Montgomerydok.	6
Tabel 3 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +6.88 m TAW in de huidige configuratie T0 (ingang 45 m) met de bestaande stormmuren op de Visserskaai.	B4
Tabel 4 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +7.29 m TAW in de huidige configuratie T0 (ingang 45 m) met verschillende stormmuren.	B5
Tabel 5 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +7.29 m TAW in configuratie T1 (ingang 20 m) met verschillende stormmuren.	B5
Tabel 6 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +7.87 m TAW in configuratie T1 (ingang 20 m) met verschillende stormmuren.	B6
Tabel 7 – Gemiddelde overtoppingsdebieten Visserskaai voor waterstand +7.29 m TAW.	B7
Tabel 8 – Gemiddelde overtoppingsdebieten Visserskaai voor waterstand +7.87 m TAW.	B8
Tabel 9 – Berekening overstromingsdebiet op Montgomerykaai.	B12

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Nummering zones in schaalmodel 18_066.	1
Figuur 2 – Ontwerpgolfhoogtes voor de zones RNSYC, ingang & Churchillkaai (1000-jarige storm met zeespiegelstijging +100 jaar, waterstand +7.87 m TAW).	3
Figuur 3 – Montgomerydok in schaalmodel 18_066.....	6
Figuur 4 –Versmalling ingang Montgomerydok in schaalmodel 18_066.	6
Figuur 5 – Nummering zones en stormmuren in het schaalmodel.	6
Figuur 6 –Schets ingang Montgomerydok.....	7
Figuur 7 – Luchtfoto Churchillkaai en Montgomerydok.....	8
Figuur 8 – Luchtfoto Montgomerykaai.....	10
Figuur 9 – Kruinhoogte stormmuren rondom Montgomerydok om een storm met waterpeil +7.00 m TAW te keren.....	12
Figuur 10 – Kruinhoogte stormmuren rondom Montgomerydok om een storm met waterpeil +7.38 m TAW te keren.	12
Figuur 11 – Kruinhoogte stormmuren rondom Montgomerydok om een storm met waterpeil +8.00 m TAW te keren.	13
Figuur 12 – Schaalmodel Montgomerydok.	B1
Figuur 13 – Nummering zones en stormmuren in het schaalmodel.	B4
Figuur 14 – Modellerings Visserskaai zonder trappen noch hellingen.	B9
Figuur 15 – Ligging Montgomerykaai tussen Montgomerydok, Klein Strand en Zeeheldenplein.	B10
Figuur 16 – Zeedijk met negatieve vrijboord: golfovertopping en overstroming.	B11

1 Inleiding

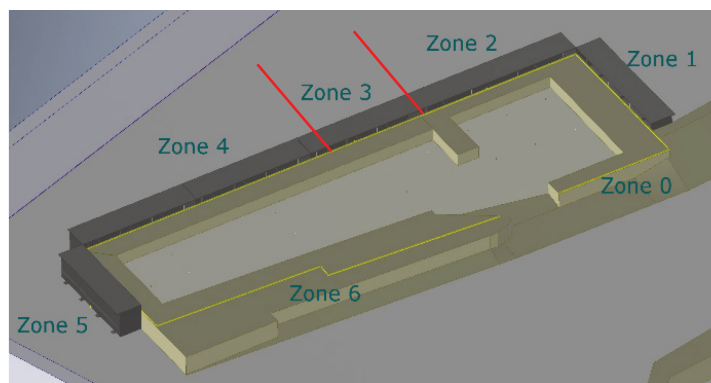
Afdeling Kust (MDK) vraagt ondersteuning van het Waterbouwkundig Laboratorium in het kader van een uitbestede conceptstudie voor de realisatie van overstromingsmaatregelen op de kaaien rondom het Montgomerydok van Oostende (bestek 16EH/21/07, dossiernummer 221.030; uitgeschreven door afdeling Kust).

In dit rapport wordt een overzicht gemaakt van de gekende ontwerprandvoorwaarden voor de overstromingsmaatregelen, aangevuld met enkele aandachtspunten en achtergrondinformatie. Deze randvoorwaarden, zowel de hydraulische randvoorwaarden als de kruinpeilen, vloeien voort uit vorige studies en modelleringen uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium.

De kaaimuren rondom het Montgomerydok werden in schaalmodel 18_066 opgedeeld in verschillende zones. In het bijzonder werd de Visserskaai opgedeeld in 3 zones: (Figuur 1)

- ZONE 0 = RNSYC, tussen ingang dok en Montgomerykaai,
- ZONE 1 = Montgomerykaai,
- ZONE 2 = Visserskaai van Montgomerykaai tot en met vistrap,
- ZONE 3 = Visserskaai van vistrap tot en met aquarium,
- ZONE 4 = Visserskaai van aquarium tot ZW-hoek dok,
- ZONE 5 = zuidelijke kaai naast de toegang naar de Mercatorsluis (toegang zelf niet gemodelleerd),
- ZONE 6 = Churchillkaai, tussen Montgomerydok en havengeul.

Deze opdeling wordt overgenomen in dit rapport.



Figuur 1 – Nummering zones in schaalmodel 18_066.

2 Hydraulische randvoorwaarden voor ontwerp overstromingsmaatregelen

In bestek 16EH/21/07 (blz. 47-48, hoofdstuk 7) werden de hydraulische randvoorwaarden bij benadering omschreven. Hieronder worden ze overgenomen en geüpdatet.

2.1 Bestek 16EH/21/07

Kopie van blz. 47-48, hoofdstuk 7.

H7. Afstemming van de hydraulische randvoorwaarden en onderzoek adaptiviteit integratie Kustvisie

Uit fysische modelproeven uitgevoerd door het WL volgt dat voor een waterstand van +7,87mTAW (1000-jarige storm met circa 90cm zeespiegelstijging) een verhoging tot +8,50 TAW noodzakelijk is bij een versmalling van het dok tot 20m. Ook uit stap 1 van kustvisie (1m zeespiegelstijging) volgt eenzelfde grootteorde van verhoging.

Uit de besprekingen gevoerd in het kader van de tijdelijke vernauwing van het Montgomerydok, volgde echter dat het wenselijk is om het dok slechts tot 24m (ipv 20) te versmallen. Intussen werden de hydraulische randvoorwaarden ook aangepast:

HRVW in huidige situatie:

- HRVW2020 met T1000 = **+7.00 m TAW**
- ZSS 50j (2070): 38cm en T1000 = **+7.38 m TAW**
- ~~ZSS 100j (2120): 96cm en T1000 = +7.96 m TAW~~ (→ zie update hieronder)

De effectieve benodigde hoogte conform de hydraulische randvoorwaarden uit het masterplan zal dus iets hoger zijn, orde +8,75mTAW. Dit wordt bij het begin van de opdracht bepaald door AK in overleg met het WL.

2.2 Update waterstand

Er is slechts 4 cm verschil tussen de berekende zeespiegelstijging in 2120 en stap 1 van kustvisie. Logischerwijze worden deze 2 gealigneerd tot 1 conditie waardoor volgende waterstanden worden opgelegd:

- HRVW2020 met T1000 = **+7.00 m TAW** (Vuik et al., 2020)
- ZSS 50j (2070): 38cm en T1000 = **+7.38 m TAW**
- ZSS 100j (2120): 100cm en T1000 = **+8.00 m TAW**

2.3 Overzicht golfparameters

De golfcondities in WL2019R18_066_1 (Willems et al., 2019)) zijn voor een 1000-jarige storm uit richting -37° N. Bij zeespiegelstijging is de golfhoogte aan de haveningang aangepast aan de gewijzigde waterdiepte. Tabel 1 geeft een overzicht van de significante golfhoogten in het Montgomerydok, opgedeeld per zone (kopie van tabel 16 in WL2019R18_066_1).

Tabel 1 – Golfhoogte H_{m0} in het Montgomerydok.

waterstand:	+7.29 m TAW	+7.87 m TAW
ingang dok:	20 m	20 m
locatie	H_{m0} [m]	H_{m0} [m]
zone 1	0.75	0.85
zone 2	0.85	0.85
zone 3	0.70	0.75
zone 4	0.55	0.75
zone 5	0.35	0.75

De golfcondities voor zone 0 (RNSYC) en zone 6 (Churchillkaai) in de vaargeul van de haven, buiten het Montgomerydok, zijn weergegeven in Figuur 2 (kopie van figuur 37 in WL2020R18_066_2 (Willems et al., 2020)) voor een 1000-jarige storm met 100 jaar zeespiegelstijging. In WL2020R18_066_2 was de beschouwde waterstand +7.87 m TAW maar de golfhoogten zijn evenzeer geldig voor waterstand +8.00 m TAW. Bij 50 jaar zeespiegelstijging zijn de golfhoogten in deze zones 5 à 10 cm kleiner dan bij 100 jaar zeespiegelstijging.

De golfpiekperiode T_p is 10.87 s en vast voor elke waterstand.



Figuur 2 – Ontwerpgolfhoogtes voor de zones RNSYC, ingang & Churchillkaai (1000-jarige storm met zeespiegelstijging +100 jaar, waterstand +7.87 m TAW).

3 Kruinpeilen voor ontwerp overstromingsmaatregelen

3.1 Memo WL2020M18_066_7

Het vertrekpunt voor de kruinpeilen rond het Montgomerydok zijn de resultaten van schaalmodelonderzoek 18_066 van het Waterbouwkundig Laboratorium. In Willems & Suzuki (2020) worden de resultaten van onderzoek 18_066 gekaderd in de context ten behoeve van het maken van een keuze van overstromingsmaatregelen rondom het Montgomerydok.

Deze memo wordt bijgevoegd als *Bijlage 1: memo WL2020M18_066_7* en het besluit wordt hieronder overgenomen.

Kopie van blz. 14, hoofdstuk 3.

H3. Besluit van de evaluatie van het veiligheidscriterium

Binnen het kader van voornoemde context kan het besluit van het modelonderzoek als volgt worden bijgesteld:

1. Voor een **1000-jarige storm vandaag (waterstand +6.88 m TAW)** voldoet de **huidige lay-out** van het Montgomerydok en de bestaande stormmuur (kruinpeil +7.75 m TAW) op de Visserskaai aan het veiligheidscriterium (1 l/s/m) indien:
 - de stormmuur in het noorden aansluit op de stormmuur van het Zeeheldenplein;
 - de stormmuur in het zuiden aansluit op voldoende hoge sluisdeuren van de Mercatorsluis en verder op de stormmuren in de zone station.

Op de Churchillkaai, de kaai van de RNSYC en de Montgomerykaai zijn geen stormmuren noodzakelijk. Op de Montgomerykaai mogen geen constructies de afvloeiing van overlopend water belemmeren.
2. De **huidige lay-out** van het Montgomerydok en de bestaande stormmuur op de Visserskaai leiden in de toekomst tot te grote overloppingsdebieten op de Visserskaai als gevolg van de zeespiegelstijging.
3. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 50 jaar (waterstand +7.29 m TAW)** kunnen de overloppingsdebieten op de Visserskaai met de bestaande stormmuur (kruinpeil +7.75 m TAW) beperkt worden tot het veiligheidscriterium (1 l/s/m) indien:
 - de ingang van het dok versmald wordt van 45 m naar 20 m;
 - de stormmuur in het noorden aansluit op de stormmuur van het Zeeheldenplein en de stormmuur in het zuiden aansluit op voldoende hoge sluisdeuren van de Mercatorsluis en verder op de stormmuren in de zone station.

Op de Churchillkaai, de kaai van de RNSYC en de Montgomerykaai zijn geen stormmuren noodzakelijk. Op de Montgomerykaai mogen geen constructies de afvloeiing van overlopend water belemmeren.
4. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 100 jaar (waterstand +7.87 m TAW)** kunnen de overloppingsdebieten op de Visserskaai, ten gevolge van golfindringing door de havengeul, beperkt worden tot het veiligheidscriterium (1 l/s/m) indien bovenop de maatregelen uit punt 3:
 - de stormmuren op de Visserskaai en in de zone Mercatorsluis (incl. sluisdeur) verhoogd worden met 0.50 à 0.75 m tot kruinpeil +8.25 m TAW à +8.50 m TAW;

- de stormmuur in het noorden aansluit op de stormmuur van het Zeeheldenplein en de stormmuur in het zuiden aansluit op de stormmuren in de zone station;
- bijkomende stormmuren gebouwd worden ter hoogte van de RNSYC en Churchillkaai met kruinpeil +8.50 m TAW.

De golfovertopping over de Montgomerykaai en de mogelijke invloed ervan op de overtoppingsdebieten op de Visserskaai kunnen op heden niet beoordeeld worden. Over enkele decennia, met verbeterde voorspellingen van de zeespiegelstijging, zal een passende beoordeling aangewezen zijn om na te gaan of aanpassingen aan de Montgomerykaai noodzakelijk zijn.

Dit besluit dient geüpdatet te worden voor de studie-opdracht i.k.v. bestek 16EH/21/07 wegens gewijzigde waterstanden. Hierbij wordt rekening gehouden met enkele aandachtspunten m.b.t. de ingang en de diepte van het dok, de Churchillkaai en de Montgomerykaai.

3.2 Ingang Montgomerydok

Eind 2024 werd een tijdelijke vernauwing geplaatst aan de ingang van het Montgomerydok. Voor deze vernauwing dient een definitief ontwerp opgemaakt te worden. Er zijn enkele belangrijke parameters / gevoeligheden voor de vormgeving van de vernauwing. In dit hoofdstuk wordt de scope beperkt tot de parameters die een invloed hebben op de golfindringing en golfoverslag in het Montgomerydok, en dit zijn de breedte en de oriëntatie van de opening van het Montgomerydok.

Dit vraagstuk stelde zich ook al in 2019 en vroeger. In Willems (2019) werd een overzicht opgemaakt van de toenmalige bestaande modelleringen om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van deze parameters. Voor de volledigheid wordt deze memo bijgevoegd als *Bijlage 2: memo WL2019M18_066_2*.

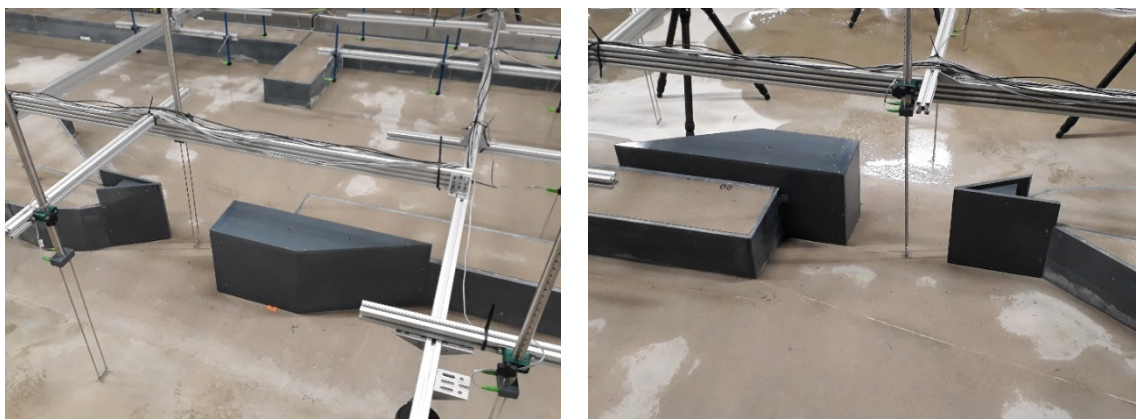
3.2.1 Breedte

Met de huidige tijdelijke vernauwing is de breedte van de ingang 22 m [HYE, 2026; zie Figuur 6]. Dit is de netto breedte tussen de buispalen die as-op-as 23.05 m uit elkaar staan. Voor de definitieve versmalling wordt ook een ingang van 24 m breed overwogen.

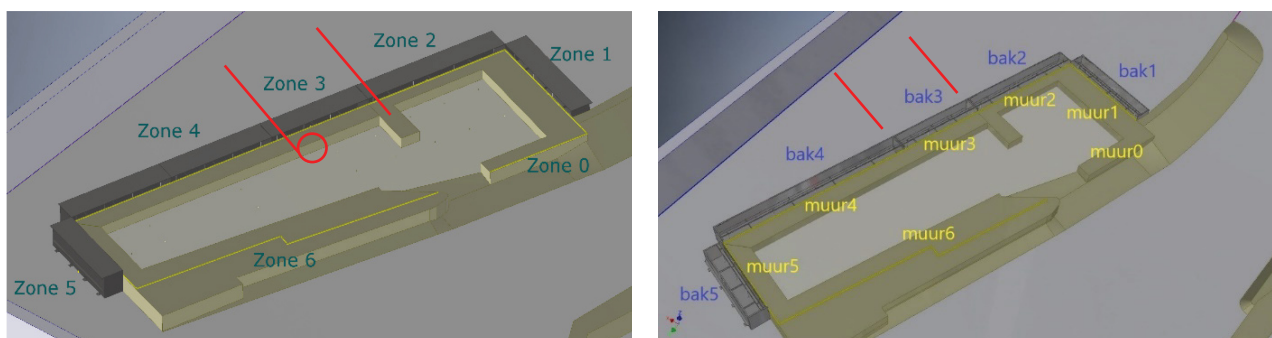
Er zijn geen modelresultaten beschikbaar voor een ingang van 24 m breed. Om inzicht te krijgen in de invloed van 2 m breder/smaller, wordt teruggegrepen naar de schaalmodelproeven van het Waterbouwkundig Laboratorium (project 18_066) waarin de meeste proeven werden uitgevoerd met een breedte van 20 m en enkele proeven met een breedte van 22 m. Het verschil in breedte werd gerealiseerd door een verschillende lengte van de noordelijke combiwand (kant NSYC). Zie Figuur 3 en Figuur 4.



Figuur 3 – Montgomerydok in schaalmodel 18_066.



Figuur 4 –Versmalling ingang Montgomerydok in schaalmodel 18_066.



(a) Het Noordzeeaquarium is niet gemodelleerd (rode cirkel).

Figuur 5 – Nummering zones en stormmuren in het schaalmodel.

Uit de dataset werden proeven geselecteerd met een ingang van 22 m breed en de overeenkomstige proeven met een ingang van 20 m breed. Per set van 2 overeenkomstige proeven is de ingang de enige verschillende parameter in de lay-out en zijn de stormmuren rondom het Montgomerydok identiek. Tabel 2 geeft de golfoverslag weer rondom het Montgomerydok (zie Figuur 5 voor de nummering van de zones) en het gemiddeld overslagdebiet voor de Visserskaai (zie laatste kolom), gegroepeerd per 2 overeenkomstige proeven met een verschillende ingang.

Tabel 2 – Dataset model 18_066: proeven met 20 en 22 m brede ingang Montgomerydok.

proefnaam	TEST SET-UP					TEST RESULTATEN						
	PROTOTYPE					Overtopping natuur						
	ingang MTG	muren OT	muren O/6	waterstand	Hm0	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5	Q_z2+z3	Q_Visserskaai
[-]	[m]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[m]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
MTG014	20	7.75	0	7.29	3.50	2.4	1.3	0.5	0.1	0.4	1.0	0.6
MTG017	22	7.75	0	7.29	3.50	2.2	1.7	0.5	0.0	0.4	1.2	0.7

proefnaam	TEST SET-UP					TEST RESULTATEN						
	PROTOTYPE					Overtopping natuur						
	ingang MTG	muren OT	muren 0/6	waterstand	Hm0	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5	Q_z2+z3	Q_Visserskaai
[]	[m]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[m]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
MTG056	20	8.50+8.25	8.50+7.75	7.62	3.50	1.0	0.4	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2
MTG058	22	8.50+8.25	8.50+7.75	7.62	3.50	1.3	0.6	0.3	0.1	0.2	0.5	0.3

proefnaam	TEST SET-UP					TEST RESULTATEN						
	PROTOTYPE					Overtopping natuur						
	ingang MTG	muren OT	muren 0/6	waterstand	Hm0	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5	Q_z2+z3	Q_Visserskaai
[]	[m]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[m]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
MTG031	20	8.75	9.60	7.87	3.50	1.5	0.5	0.2	0.0	0.0	0.4	0.2
MTG034	22	8.75	9.60	7.87	3.50	1.6	0.7	0.3	0.0	0.0	0.6	0.3

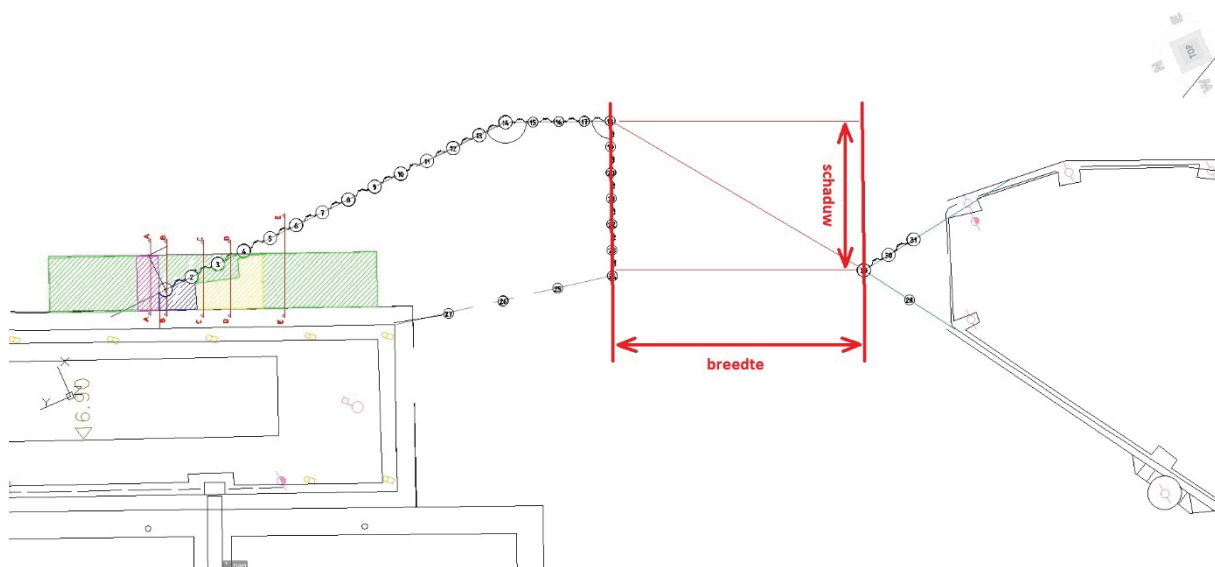
proefnaam	TEST SET-UP					TEST RESULTATEN						
	PROTOTYPE					Overtopping natuur						
	ingang MTG	muren OT	muren 0/6	waterstand	Hm0	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5	Q_z2+z3	Q_Visserskaai
[]	[m]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[m]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
MTG055c	20	8.50+8.25	8.50+7.75	7.87	3.50	4.2	2.4	1.6	1.9	2.3	2.1	2.0
MTG057	22	8.50+8.25	8.50+7.75	7.87	3.50	4.6	2.8	2.1	2.3	2.6	2.5	2.4

(noot: "ingang MTG" = breedte versmalde ingang ; "muren OT" = stormmuren in zones 1 t.e.m. 5 ; "muren 0/6" = stormmuren in zone 0 resp. zone 6 ; Q_z2+z3 = gemiddelde van zone 2 en zone 3 ; Q_Visserskaai = gemiddelde van zone 2, zone 3 en zone 4.)

Algemeen kan vastgesteld worden dat golfoverslag licht toeneemt bij een 2 m bredere ingang. De toename in golfoverslag is afhankelijk van de waterstand, vrijboord en golfhoogte. De dataset is te klein om hierover een onderbouwde kwantitatieve uitspraak te doen. Op basis van bovenstaande beperkte gegevens wordt ingeschat dat de toename van het overslagdebiet op de Visserskaai, ten gevolge van een 2 m bredere ingang, grootteorde 0.2 l/s/m bedraagt bij condities met een gemiddeld overslagdebiet van ongeveer 1 l/s/m.

Voor de beperkte set van proeven werd ook de invloed van een 2 m bredere ingang op het golfklimaat in het Montgomerydok geanalyseerd in de dataset. De verandering in golfhoogte verschilt licht bij verschillende waterstanden en kruinpeilen van stormmuren maar algemeen kan geschat worden:

- in zone 1 wordt H_{m0} 3% groter bij een 2 m bredere ingang;
- in zone 2 wordt H_{m0} 7% groter bij een 2 m bredere ingang;
- in zone 3 wordt H_{m0} 7% groter bij een 2 m bredere ingang;
- in zone 4 wordt H_{m0} 7% groter bij een 2 m bredere ingang;
- in zone 5 wordt H_{m0} 4% groter bij een 2 m bredere ingang.



Figuur 6 –Schets ingang Montgomerydok.

3.2.2 Oriëntatie

Naast de breedte is ook de oriëntatie van de opening van belang. De oriëntatie wordt bepaald door het diffractiepunt van de noordelijke combiwand (buispaal 18) en het uiterste punt van de zuidelijke combiwand (buispaal 29). Het is van groot belang dat het zuidelijke punt voldoende ver in de schaduwzone van de noordelijke combiwand gelegen is (Figuur 6).

Volgens het as-built plan van de huidige vernauwing [HYE, 2026] ligt het zuidelijke punt 14 m in de schaduw van de noordelijke combiwand (gemeten tussen de assen van de 2 buispalen). In vroeger onderzoek (schaalmodel 18_066) was dit 12 m. Alle gerapporteerde cijfers zijn geldig voor 12 m, en 12 m is de minimumafstand voor het zuidelijke punt in de schaduw van de noordelijke combiwand.

3.3 Diepte Montgomerydok

In schaalmodel 18_066 werd het Montgomerydok gemodelleerd met een uniform bodempeil op -3.00 m TAW. De waterdiepte in het Montgomerydok is dus grootteorde 10 m à 11 m.

Indien het dok zou verdiept worden (grootteorde 0.5 m à 1.5 m extra), heeft dit geen invloed op de golfhoogte in het dok omdat de golven niet dieptegelimiteerd zijn, en dus ook niet op de overstromingsmaatregelen rondom het dok.

3.4 Stormmuur Churchillkaai

De Churchillkaai bevindt zich tussen de havengeul en het Montgomerydok. Het kruinpeil van de Churchillkaai (kademuren K101 + K102) en stormmuren op het kaaivlak kunnen een invloed hebben op het golfklimaat in het Montgomerydok, en daardoor ook een invloed op de golfoverslag op de Visserskaai. Bij zeer hoge waterstanden kunnen golven over de Churchillkaai gaan en het Montgomerydok bereiken, waardoor de golfagitatie in het Montgomerydok toeneemt. Stormmuren op de Churchillkaai kunnen dit fenomeen tegengaan, waarbij die stormmuren niet moeten voldoen aan het veiligheids criterium van 1 l/s/m omdat er geen veiligheidslijn ligt.



Figuur 7 – Luchtfoto Churchillkaai en Montgomerydok.

In de studies van project 18_066 van het Waterbouwkundig Laboratorium werd de Churchillkaai gemodelleerd volgens de huidige lay-out, m.a.w. zonder de aanpassingen die gepland zijn voor K101. Daarbij werd aangenomen dat het volledige kaaivlak gelegen is op +6.70 m TAW (= peil van huidige kaaimuren) zonder obstakels of gebouwen. In werkelijkheid varieert het kaaivlak tussen +6.70 m TAW en +6.89 m TAW.

Paragraaf 3.1 bevat het besluit van voorgaande studie, met opgave van eventuele aanpassingen op de Churchillkaai. De achterliggende cijfers zijn terug te vinden in de tabellen in paragraaf 2.1 van *Bijlage 1: memo WL2020M18_066_7*.

1. Voor een **1000-jarige storm vandaag (waterstand +6.88 m TAW)** voldoet de huidige lay-out van het Montgomerydok, zelfs zonder versmalde ingang, zonder stormmuur op de Churchillkaai.
2. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging tot waterstand +7.29 m TAW** voldoet de huidige lay-out van het Montgomerydok mét versmalde ingang (20m), zonder stormmuur op de Churchillkaai.
3. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging tot waterstand +7.87 m TAW** kunnen de overtoppingsdebieten op de Visserskaai beperkt worden tot het veiligheids criterium (1 l/s/m) indien, naast andere maatregelen, bijkomende stormmuren gebouwd worden op de Churchillkaai met kruinpeil +8.50 m TAW.

Zoals vermeld in paragraaf 2.2 zijn de waterstanden in de uit te voeren studie 9 à 13 cm hoger dan deze in bovenstaande besluiten.

Voor tijdshorizon 50 jaar kan geoordeeld worden dat ook voor waterstand +7.38 m TAW geen stormmuur op de Churchillkaai nodig is indien de stormmuur op de Visserskaai wel 9 cm extra verhoogd wordt om dezelfde vrijboord te bekomen. Immers, de resultaten tonen aan dat er nog enige marge is voor de golfoverslag op de Visserskaai die niet in het gedrang zal komen door een 9 cm grotere waterdiepte op de Churchillkaai (waardoor de golftransmissie over de Churchillkaai beperkt groter zal zijn). Bovendien ligt het kaaivlak in werkelijkheid lokaal tot 19 cm hoger dan in het schaalmodel zodat de waterdiepte niet overal 9 cm groter is dan in de modellering.

Voor tijdshorizon 100 jaar met waterstand +8.00 m TAW kan een gelijkaardige beoordeling gemaakt worden en is op de Churchillkaai een stormmuur met kruinpeil +8.63 m TAW nodig om een vrijboord van 63 cm te behouden. Daarnaast moet de stormmuur op de Visserskaai eveneens 13 cm extra verhoogd worden om dezelfde vrijboord te bekomen als in de studie. Het golfoverslagdebiet op de Visserskaai zal dan quasi hetzelfde zijn als in de studie. Het enige verschil is de 13 cm grotere waterdiepte op het kaaivlak van de Churchillkaai met een minieme invloed op de golfhoogte, maar de kleine toename in golfoverslag op de Churchillkaai zal echter een beperkte invloed hebben op het golfklimaat in het Montgomerydok. Omdat er nog enige marge is voor de golfoverslag op de Visserskaai (vooral in zone 3 en zone 4 gelegen tegenover de Churchillkaai), zal het veiligheids criterium van 1 l/s/m nog steeds gehaald worden op de Visserskaai.

Voor tijdshorizon 100 jaar is het onrealistisch om op de Visserskaai aan het veiligheids criterium van 1 l/s/m te voldoen zonder extra maatregelen op de Churchillkaai. De stormmuur op de Visserskaai zou dan nog veel hoger moeten zijn wat niet meer realistisch lijkt; bovendien zou dit ook extra aanpassingen aan de sluisdeuren van de Mercatorsluis noodzakelijk kunnen maken. Anderzijds zouden nog hogere stormmuren op de Churchillkaai tot iets lagere stormmuren op de Visserskaai kunnen leiden, maar deze winst is beperkt aangezien een significant deel van de golfagitatie in het Montgomerydok afkomstig is van de golfindringing door de ingang van het dok.

3.5 Kaai RNSYC

Voor tijdshorizon 100 jaar is een stormmuur met kruinpeil +8.63 m TAW op de kaai van RNSYC noodzakelijk (zone 0). Op deze locatie ligt geen veiligheidslijn maar deze extra muur dient, net zoals op de Churchillkaai, om de golftransmissie over de kaai te beperken om een milder golfklimaat in het Montgomerydok te bekomen. Deze verhoging loopt idealiter zo ver mogelijk door langs de vaargeul (richting westerstaketsel) om zo veel mogelijk golfenergie tegen te houden. Aandachtspunt hierbij is de afwatering van de Montgomerykaai (zie paragraaf 3.6) indien dit nodig zou zijn in de gekozen configuratie voor 2120.

3.6 Montgomerykaai

De Montgomerykaai bevindt zich tussen het Klein Strand en het Montgomerydok. De kaaimuur van het Montgomerydok ligt ongeveer op +6.45 m TAW, het kaaivlak heeft een verloop tussen +6.40 m TAW aan de kant van de vaargeul en +7.50 m TAW aan de kant van de Visserskaai (Figuur 8).



(terreinligging: punt A = +7.50mTAW , punt B = +7.00mTAW , punt C = +6.40mTAW; rode lijn = projectzone)

Figuur 8 – Luchtfoto Montgomerykaai.

Bij een 1000-jarige storm en golfoverslag kan water op de Montgomerykaai komen van meerdere kanten:

- vanuit het Montgomerydok;
- vanover het Klein Strand;
- overtollig water op het Zeeheldenplein kan door de (mobiele) stormmuur op de Albert I-promenade afgeleid worden richting Montgomerykaai.

De Montgomerykaai ligt buiten de veiligheidslijn en helt af richting havengeul. Strikt genomen dient het overslagdebiet in deze zone niet beperkt te worden tot 1 l/s/m. Een stormmuur is op heden niet nodig voor een waterstand van +7.00 m TAW:

- de golfoverslag vanuit het Montgomerydok op de Montgomerykaai is klein en heeft geen invloed op de veiligheidslijn;
- de golven op het Klein Strand zijn dieptegelimiteerd en de overslag wordt gekenmerkt door gebroken golven. De helft van de Montgomerykaai ligt boven water, de andere helft onder water. Het water dat terechtkomt in het Montgomerydok zal niet leiden tot een waterstandsverhoging omdat het water kan wegstromen via de ingang van het dok. De golfenergie richting het dok is beperkt en zorgt niet voor een significante verhoging van de golfoverslag op de Visserskaai. Bovendien is er nog voldoende marge t.o.v. het veiligheidscriterium;
- de mobiele stormmuur aan het rond punt heeft als functie het water dat door de stormmuur aan het einde van het Zeeheldenplein gekeerd wordt, verder te geleiden in de richting van het Montgomerydok, Klein Strand en/of vaargeul mits het maaiveld afhelt in deze richting. Daarbij is het van belang dat er geen obstakels zijn die de afvloeiing van het water in ernstige mate kunnen hinderen waardoor het water er zich zou kunnen ophopen (bv. door het voorzien van voldoende doorstroomopeningen tussen/onder de bestaande zitbanken). (Vanneste et al., 2018)

Deze laatste functie is noodzakelijk gedurende de levensduur van het Zeeheldenplein. De watergeleidingsmuur tussen het Zeeheldenplein en de Albert-I-promenade heeft kruinpeil +8.60 m TAW met de zeedijk aan de voet ervan op +8.23 m TAW; de landwaartse stormmuur van het Zeeheldenplein heeft kruinpeil +9.20 m TAW (GIS databank MOW, zie Vanneste et al. (2018)).

Op heden ontbreekt een passende beoordeling met golfoverslagmodellering voor het kruinpeil van de Montgomerykaai, om de invloed te kennen op de golftransmissie naar het Montgomerydok en op de golfoverslag op de veiligheidslijn. Voor tijdshorizon 50 jaar¹ en 100 jaar, met waterstanden +7.38 m TAW resp. +8.00 m TAW, moet de Montgomerykaai geëvalueerd worden en zullen aanpassingen nodig zijn om de golfoverslag te beperken. Deze maatregelen zouden kunnen bestaan uit een kruinpeilverhoging (kaaiverhoging en/of stormmuur), aanpassingen van het strand om de golven te reduceren (bv. duin voor dijk) of een hybride oplossing.

3.7 Update kruinpeilen

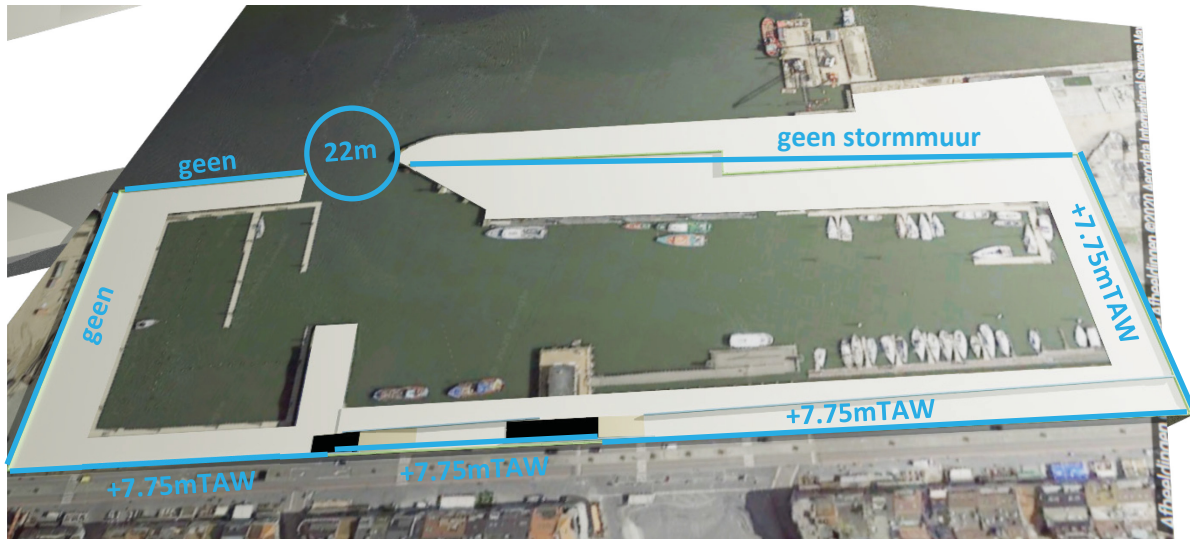
De geüpdatete waterstanden in paragraaf 2.2 zijn 9 à 13 cm hoger dan deze beschouwd in memo WL2020M18_066_7 (Willems & Suzuki, 2020). Bij golfoverslag over een constructie is de vrijboord van de constructie een belangrijke maatgevende parameter. De conclusies uit 2020 blijven geldig bij gelijke vrijboord, m.a.w. wanneer het kruinpeil van de kaaiwand/stormmuur eveneens 9 à 13 cm wordt verhoogd zoals de waterstand. Een wijziging in golfhoogte, ten gevolge van een iets grotere waterdiepte, is procentueel klein en voor de op te maken voorstudie verwaarloosbaar voor de bepaling van golfoverslag.

Hieronder worden de kruinpeilen voor de verschillende waterstanden geüpdatet rekening houdend met alle vermelde aandachtspunten. Alle opgegeven kruinpeilen zijn minimumpeilen.

¹ Voor tijdshorizon 50 jaar met waterstand +7.38 m TAW is een modellering nodig om de invloed op het Montgomerydok te kunnen beoordelen. Het is niet mogelijk om met expert judgement het huidige kruinpeil van de Montgomerykaai te beoordelen. Het expert judgement van memo WL2020M18_066_7 wordt hiermee herroepen.

3.7.1 Anno 2020

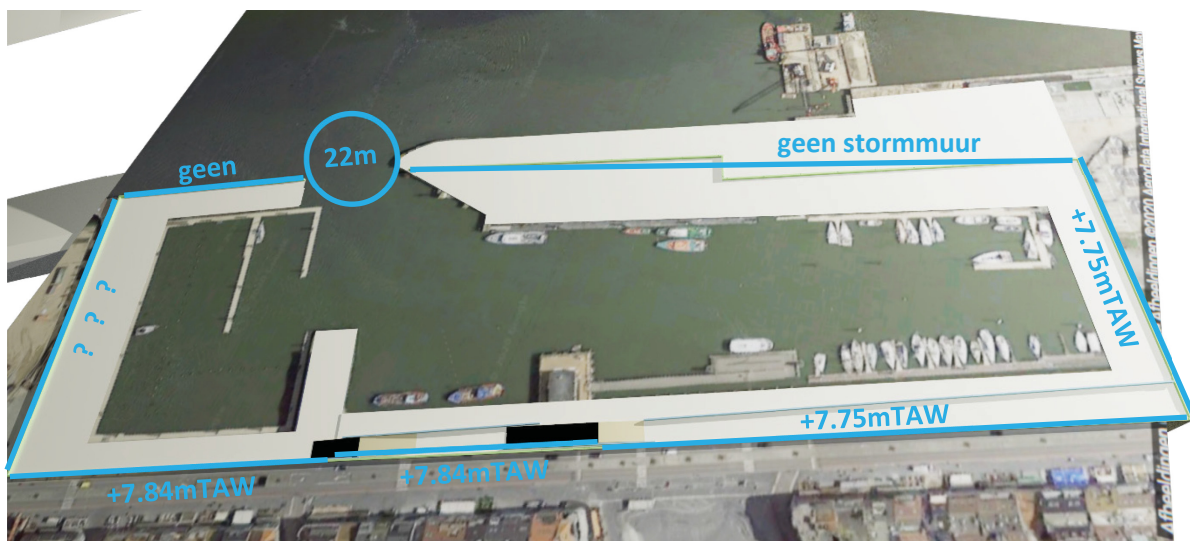
Voor de situatie anno 2020 kan besluit 1 uit memo WL2020M18_066_7 echter behouden blijven. De huidige kaaimuur/stormmuur hoeft geen 12 cm te verhogen omdat er voldoende marge is voor het veiligheidscriterium van 1 l/s/m over de volledige lengte van de Visserskaai (zone 2 + zone 3 + zone 4). Dit is zeker het geval bij een versmalde ingang van het Montgomerydok (dat niet voorzien was in besluit 1 in memo WL2020M18_066_7).



Figuur 9 – Kruinhoogte stormmuren rondom Montgomerydok om een storm met waterpeil +7.00 m TAW te keren.

3.7.2 Anno 2070

Voor de situatie anno 2070 moet het kruinpeil 9 cm hoger zijn dan in besluit 3 uit memo WL2020M18_066_7, m.a.w. op de Visserskaai is een kruinpeil van +7.84 m TAW nodig om het veiligheidscriterium te bereiken. Wegens het beperkte overslagdebiet in zone 4 en zone 5 kan het kruinpeil van +7.75 m TAW hier behouden blijven. Deze kruinpeilen zijn geldig in combinatie met een versmalde ingang van 22 m. Voor de Montgomerykaai ontbreekt een passende beoordeling.



Figuur 10 – Kruinhoogte stormmuren rondom Montgomerydok om een storm met waterpeil +7.38 m TAW te keren.

3.7.3 Anno 2120

Voor de situatie anno 2120 moet het kruinpeil 13 cm hoger zijn dan in besluit 4 uit memo WL2020M18_066_7, m.a.w. alle stormmuren rondom het Montgomerydok moeten 13 cm extra verhoogd worden tot kruinpeilen +8.38 m TAW à +8.63 m TAW. Voor de Montgomerykaai ontbreekt een passende beoordeling.



Figuur 11 – Kruinhoogte stormmuren rondom Montgomerydok om een storm met waterpeil +8.00 m TAW te keren.

4 Besluit

Voor het conceptueel ontwerp van overstromingsmaatregelen op de kaaien rondom het Montgomerydok van Oostende worden de ontwerpcondities geüpdatet en aangevuld met aandachtspunten en achtergrondinformatie. De randvoorwaarden houden rekening met een zeespiegelstijging over 50 jaar (38 cm) en over 100 jaar (100 cm).

De hydraulische randvoorwaarden, zowel waterstand als golven, zijn opgesteld in paragraaf 2.2 respectievelijk paragraaf 2.3.

De minimum kruinpeilen rondom het Montgomerydok voor heden, 2070 en 2120 zijn weergegeven op de overzichtsfoto's in Figuur 9, Figuur 10 respectievelijk Figuur 11 in paragraaf 3.7.

Referenties

HYE, 2026. U1121 Vernauwing Montgomerydok Oostende, as-built plan inplanting combiwand, derde uitgave 05/02/2026.

Vanneste, D.; Willems, M.; Mostaert, F. (2018). Overstromingsmaatregelen haven Oostende: Advies muurhoogte overgangszone Zeeheldenplein – Visserskaai. Versie 5.0. WL Rapporten, 16_125_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vuik, V.; Kuijper, B.; Geerse, C.P.M.; Strijker, B.; Gautier, C.; Trouw, K.; Vanneste, D.; Suzuki, T.; Nossent, J.; Thoon, D.; De Roo, S.; Mostaert, F. (2020). Het hydraulisch randvoorwaardenboek (2020). Rapport. WL Rapporten. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://www.vlaanderen.be/publicaties/het-hydraulisch-randvoorwaardenboek-2020-achtergrondrapport> [date of retrieval: 05/01/2026]

Willems, M. (2019). Ingang Montgomerydok. WL Memo's, 18_066_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Willems, M.; Suzuki, T.; Mostaert, F. (2019). Oostende schaalmodel golfovertopping bij zeer schuine golven: Deelrapport 1 – Montgomerydok. Versie 2.0. WL Rapporten, 18_066_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Willems, M.; Suzuki, T.; Mostaert, F. (2020). Oostende schaalmodel golfovertopping bij zeer schuine golven: Deelrapport 2 – Rechte kaaimuur. Versie 2.0. WL Rapporten, 18_066_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Willems, M.; Suzuki, T. (2020). Oostende Montgomerydok: golfovertopping. Versie 1.0. WL Memo's, 18_066_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Inhoudstafel

Inhoudstafel.....	2
1 Schaalmodelonderzoek Montgomerydok	3
1.1 Samenvatting schaalmodelonderzoek	3
1.2 Golfovertopping Montgomerydok	4
2 Interpretatie veiligheids criterium	7
2.1 Impact globale of lokale toepassing van het veiligheids criterium ter hoogte van de Visserskaai	7
2.2 Impact van de bestaande trappenpartij op de Visserskaai	8
2.3 Impact van golfovertopping over de Montgomerykaai	9
2.3.1 Situatieschets.....	9
2.3.2 Bespreking	11
3 Besluit van de evaluatie van het veiligheids criterium	14
4 Referenties	15

1 Schaalmodelonderzoek Montgomerydok

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de resultaten van het schaalmodelonderzoek zoals gerapporteerd in Willems et al. (2019).

1.1 Samenvatting schaalmodelonderzoek²

Afdeling Kust voert een actualisatie uit van de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) voor de overstromingsmaatregelen in de zone Montgomerydok en de zone station in de haven van Oostende. In dit kader is het van belang om een goede inschatting te hebben van de maatregelen die nodig zijn om overstromingen te voorkomen bij een 1000-jarige storm rekening houdend met een zeespiegelstijging over 100 jaar. Afdeling Kust doet een beroep op het Waterbouwkundig Laboratorium om de maatregelen te dimensioneren.

Als overstromingsmaatregelen wordt gedacht aan stormmuren op de kaaivlakken en een gehele of gedeeltelijke afsluiting van de ingang van het Montgomerydok. De situatie in de haven van Oostende, vlak naast het stadscentrum, is kritiek door de relatief lage kaaipeilen in combinatie met extreem hoge waterstanden. Dit maakt dat de te bestuderen maatregelen afwijken van gebruikelijke configuraties omdat de waterstanden hoger zijn dan de kaaipeilen. Bovendien vallen golven zeer schuin in op de kaaivlakken, wat de bepaling van het overtoppingsdebiet nog complexer maakt. Dit alles leidt ertoe dat een fysisch model van het Montgomerydok nodig is om de complexe situatie te simuleren en een verbeterde inschatting van golfovertopping over en golfimpact op de stormmuren te kunnen maken. De bestaande formules in de wetenschappelijke literatuur zijn immers niet geschikt om dit met voldoende betrouwbaarheid uit te voeren.

Het Waterbouwkundig Laboratorium voert metingen uit op een driedimensionaal schaalmodel in de golftank om het minimale kruinpeil van de stormmuren langs de Visserskaai, de RNSYC, de Churchillkaai en langs de achterzijde van het station te bepalen dat voldoet aan het veiligheids criterium zoals vastgelegd in het Masterplan Kustveiligheid (overtoppingsdebiet < 1 l/s/m).

Deze metingen leiden tot volgende besluiten:

1. De **huidige lay-out** van het Montgomerydok en de bestaande stormmuur op de Visserskaai leidt tot te grote overtoppingsdebieten, zelfs in geval van een zeespiegelstijging over slechts 50 jaar.
2. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 50 jaar** (waterstand +7.29 m TAW) kunnen de overtoppingsdebieten op de Visserskaai met de bestaande stormmuur (kruinpeil +7.75 m TAW) beperkt worden tot het veiligheids criterium (1 l/s/m) indien de ingang van het dok versmald wordt van 45 m naar 20 m en bijkomende stormmuren gebouwd worden waar er op heden geen staan (i.e. RNSYC, Montgomerykaai, Mercatorsluis, Churchillkaai).
3. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 100 jaar** (waterstand +7.87 m TAW) moeten bovendien de stormmuren op de Visserskaai verhoogd worden met 0.5 à 1 m tot kruinpeil +8.25 m TAW à +8.75 m TAW om het veiligheids criterium te halen.

Ook de bijhorende horizontale krachten ten gevolge van de golfimpact op de beschouwde stormmuren zijn berekend in deze studie.

² Overgenomen uit het abstract in rapport Willems et al. (2019).

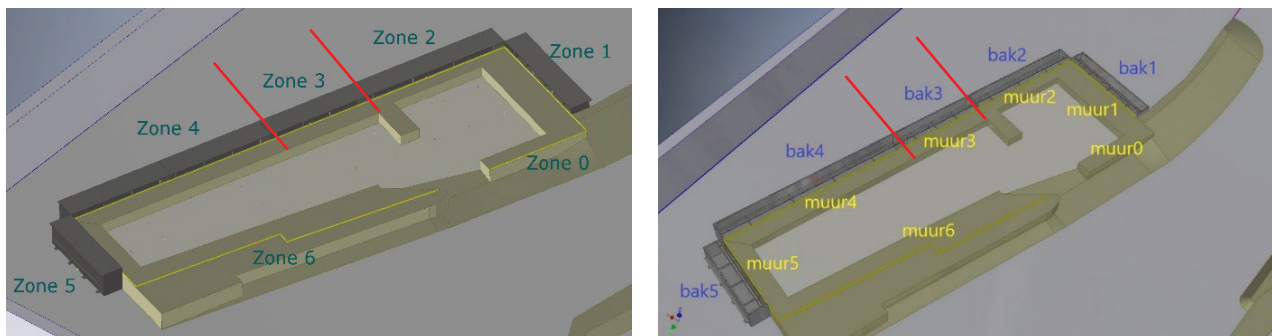
1.2 Golfovertopping Montgomerydok

Bij de besluiten van het schaalmodelonderzoek is het veiligheidscriterium van 1 l/s/m strikt toegepast voor elke zone die in het model gedefinieerd was. Dit wil zeggen dat elke zone werd geoptimaliseerd totdat elk overtopingsdebiet kleiner was dan 1 l/s/m.

De kaaimuren rondom het Montgomerydok werden opgedeeld in verschillende zones. In het bijzonder werd de Visserskaai opgedeeld in 3 zones: (Figuur 5)

- ZONE 0 = RNSYC, tussen ingang dok en Montgomerykaai,
- ZONE 1 = Montgomerykaai,
- ZONE 2 = Visserskaai van Montgomerykaai tot en met vistrap,
- ZONE 3 = Visserskaai van vistrap tot en met aquarium,
- ZONE 4 = Visserskaai van aquarium tot ZW-hoek dok,
- ZONE 5 = zuidelijke kaai naast de toegang naar de Mercatorsluis (toegang zelf niet gemodelleerd),
- ZONE 6 = Churchillkaai, tussen Montgomerydok en havengeul.

Figuur 13 – Nummering zones en stormmuren in het schaalmodel.



Als referentie werd de bestaande situatie getest. De huidige configuratie van het Montgomerydok heeft een ingang van 45 m breed en stormmuren met kruinpeil +7.75 m TAW langs de Visserskaai (*muur 2 + muur 3 + muur 4*). Op de aansluitende kaaien in het noorden en zuiden worden ook stormmuren met hetzelfde kruinpeil verondersteld (*muur 1 + muur 5*) omdat het water op de kaaivlakken staat. Langs de kant van de havengeul staan geen stormmuren (*muur 0 + muur 6*). Als hydrodynamische randvoorwaarde wordt de 1000-jarige storm zonder zeespiegelstijging aangenomen.

Het overtopingsdebiet bij deze referentiesituatie wordt voorgesteld in Tabel 3. Het debiet in zone 3 is net groter dan 1 l/s/m maar de naburige zones hebben kleinere debieten. Er kan gesteld worden dat in de huidige situatie een 1000-jarige storm net veilig is.

Tabel 3 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +6.88 m TAW
in de huidige configuratie T0 (ingang 45 m) met de bestaande stormmuren op de Visserskaai.

muur 0	muur 1	muur 2	muur 3	muur 4	muur 5	muur 6	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5
[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
0	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	0	0.6	0.6	1.2	0.3	0.1

Tabel 4, Tabel 5 en Tabel 6 ³ hernemen de resultaten van het schaalmodelonderzoek, en staven de 3 besluiten vermeld in §1. De rood omcirkelde cijfers in Tabel 4 tonen aan dat de huidige configuratie niet veilig is voor een 1000-jarige storm met 50 jaar zeespiegelstijging, zelfs niet met extra stormmuren langs de kant van de havengeul (*muur 0 + muur 6*). De groen omcirkelde cijfers in Tabel 5 tonen aan dat dezelfde stormmuren de debieten wel kunnen beperken indien de ingang van het dok versmald wordt tot 20 m. Tenslotte tonen de groen omcirkelde cijfers in Tabel 6 aan dat hogere stormmuren nodig zijn om een 1000-jarige storm met 100 jaar zeespiegelstijging veilig te keren. De groen omcirkelde kruinpeilen zijn dus nodig om strikt te voldoen aan het veiligheidscriterium van 1 l/s/m.

Tabel 4 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +7.29 m TAW
in de huidige configuratie T0 (ingang 45 m) met verschillende stormmuren.

muur 0	muur 1	muur 2	muur 3	muur 4	muur 5	muur 6	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5
[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
0	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	0	1.8	5.0	7.6	1.5	0.5
7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	2.2	4.7	7.5	1.5	0.1
9.60	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	9.60	1.0	4.0	7.1	1.5	0.1

Tabel 5 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +7.29 m TAW
in configuratie T1 (ingang 20 m) met verschillende stormmuren.

muur 0	muur 1	muur 2	muur 3	muur 4	muur 5	muur 6	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5
[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
0	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	0	2.4	1.3	0.5	0.1	0.4
7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	/	/	/	/	/
9.60	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	9.60	1.1	0.8	0.1	0.0	0.0
8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	0	/	/	/	/	/
8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	7.75	/	/	/	/	/
8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	/	/	/	/	/
9.60	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	9.60	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	7.75	/	/	/	/	/
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	8.50	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8.50	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.50	/	/	/	/	/
9.60	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	9.60	/	/	/	/	/

³ Dit zijn Tabel 13, Tabel 14 en Tabel 15 in rapport Willems et al. (2019).

Tabel 6 – Overtoppingsdebieten voor waterstand +7.87 m TAW
in configuratie T1 (ingang 20 m) met verschillende stormmuren.

muur 0	muur 1	muur 2	muur 3	muur 4	muur 5	muur 6	Q_zone1	Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_zone5
[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
0	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	0	/	/	/	/	/
7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	/	/	/	/	/
9.60	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	9.60	/	/	/	/	/
8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	0	8.5	5.1	4.9	3.5	4.8
8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	7.75	8.8	5.9	5.6	1.5	1.9
8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	9.1	5.8	4.1	0.5	0.4
9.60	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	9.60	7.1	4.7	2.9	0.3	0.1
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	0	4.4	2.4	1.9	4.5	6.0
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	7.75	4.3	2.7	1.6	1.9	2.3
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	8.50	3.2	1.6	0.6	0.2	0.1
8.50	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.50	1.9	0.9	0.5	0.0	0.0
9.60	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	9.60	1.5	0.5	0.2	0.0	0.0

2 Interpretatie veiligheids criterium

Bij het evalueren van de resultaten van het schaalmodelonderzoek van het Montgomerydok kan de strikte toepassing van het veiligheids criterium van 1 l/s/m in vraag worden gesteld. In dit hoofdstuk worden enkele bemerkingen op de resultaten van het schaalmodel geformuleerd, welke al dan niet een impact hebben op de overtopping.

2.1 Impact globale of lokale toepassing van het veiligheids criterium ter hoogte van de Visserskaai

Bij de interpretatie van het veiligheids criterium moet beoordeeld worden hoe lokaal of globaal het criterium wordt getoetst. Concreet kan de Visserskaai getoetst worden per zone (lengte resp. 134 m, 94 m en 195 m), per 2 zones of over de volledige lengte van het Montgomerydok (423 m). De opdeling per zone is immers enkel gemaakt in functie van de vorm van het dok en heeft geen verband met de straten achter de veiligheidslijn.

Een (te) kleine zone kan als gevolg hebben dat lokaal het veiligheids criterium niet gehaald wordt zonder dat dit tot ernstige problemen zou leiden omdat in naburige zones het overtoppingsdebiet wel beperkt is. Anderzijds kan een (te) grote zone het gemiddeld overtoppingsdebiet te sterk uitmiddelen waardoor lokale problemen niet vastgesteld worden. Een zone van ongeveer 100 m is relatief klein, en voor het ontwerp van veiligheidsmaatregelen kan een grotere zone beschouwd worden.

Voor een evaluatie van de Visserskaai worden de resultaten van het schaalmodel globaal beoordeeld. Voor het Montgomerydok met een versmalde ingang van 20 m worden de gerapporteerde debieten (Tabel 5 en Tabel 6) beschouwd in volgende zones:

- Q gemiddeld in zone 2 en zone 3 (lengte 228 m);
- Q gemiddeld over de ganse Visserskaai (lengte 423 m).

De resultaten worden voorgesteld in Tabel 7 voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 50 jaar** (waterstand +7.29 m TAW), en in Tabel 8 voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 100 jaar** (waterstand +7.87 m TAW).

Tabel 7 – Gemiddelde overtoppingsdebieten Visserskaai voor waterstand +7.29 m TAW.

muur 0	muur 1	muur 2	muur 3	muur 4	muur 5	muur 6		Q zone2	Q zone3	Q zone4	Q_z2+z3	Q_Visserskaai
[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]		[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
0	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	0		1.3	0.5	0.1	1.0	0.6
7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75		/	/	/		
9.60	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	9.60		0.8	0.1	0.0	0.5	0.3

(a) Q_z2+z3 = gemiddelde van zone 2 en zone 3 ; Q_Visserskaai = gemiddelde van zone 2, zone 3 en zone 4.

Tabel 8 – Gemiddelde overtoppingsdebieten Visserskaai voor waterstand +7.87 m TAW.

muur 0	muur 1	muur 2	muur 3	muur 4	muur 5	muur 6		Q_zone2	Q_zone3	Q_zone4	Q_z2+z3	Q_Visserskaai
[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]	[mTAW]		[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]	[l/s/m_nat]
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	0		2.4	1.9	4.5	2.2	3.3
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	7.75		2.7	1.6	1.9	2.2	2.1
8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	8.50		1.6	0.6	0.2	1.2	0.7
8.50	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.50		0.9	0.5	0.0	0.7	0.4
9.60	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	9.60		0.5	0.2	0.0	0.4	0.2

(b) Q_z2+z3 = gemiddelde van zone 2 en zone 3 ; Q_Visserskaai = gemiddelde van zone 2, zone 3 en zone 4.

Bij een **waterstand van +7.29 m TAW** is voor beide evaluaties het gemiddeld debiet kleiner dan 1 l/s/m in geval van een stormmuur met **kruinpeil +7.75 m TAW op de Visserskaai (de bestaande stormmuur) (muur 2 + muur 3 + muur 4) en zonder stormmuur bij RNSYC en op de Churchillkaai (muur 0 + muur 6)**.

Bij een **waterstand van +7.87 m TAW** is het gemiddeld debiet op de volledige Visserskaai kleiner dan 1 l/s/m in geval van een stormmuur met **kruinpeil +8.25 m TAW en +8.50 m TAW op de Visserskaai (muur 2 + muur 3 + muur 4) en een stormmuur met kruinpeil van +8.50 m TAW bij RNSYC en op de Churchillkaai (muur 0 + muur 6)**. Bij de evaluatie van het gemiddeld debiet in zone 2 en zone 3 is het resultaat nipt hoger dan 1 l/s/m.

Hierbij wordt nogmaals herhaald dat de extreme waterstanden, hoger dan het kaaipeil, enkel kunnen gekeerd worden indien er een ononderbroken muur met gepast kruinpeil rondom de havendokken gebouwd wordt. Voor de Visserskaai betekent dit concreet dat de stormmuur in het noorden moet aansluiten op de stormmuur van het Zeeheldenplein en dat de stormmuur in het zuiden moet aansluiten op de sluisdeuren van de Mercatorsluis en verder op de muren in zone station.

2.2 Impact van de bestaande trappenpartij op de Visserskaai

Zone 2 (Visserskaai van Montgomerykaai tot en met vistrap) werd in het schaalmodel gemodelleerd zonder de bestaande trappenpartij. Deze trappenpartij kan beschouwd worden als een vorm van 'kaaivlakverhoging'. Uit andere schaalmodelmodellering⁴ heeft het WL afgeleid dat dergelijke 'kaaivlakverhoging' geen significante invloed heeft op de overtopping wanneer het kaaivlak zo smal is als in zone 2 (+/-10m).

⁴ Tweede schaalmodel van project 18_066.

Figuur 14 – Modelleren Visserskaai zonder trappen noch hellingen.



(c) Blauwe stormmuur en trappen = bestaande toestand, groene stormmuur = schaalmodel.

2.3 Impact van golfovertopping over de Montgomerykaai

Zone 1 (Montgomerykaai) is gelegen tussen het Montgomerydok en het Klein Strand. De in deze zone gerapporteerde overtopping (van het Montgomerydok naar het Klein Strand) is niet relevant vermits er geen veiligheidslijn loopt. Deze overtopping zal ook geen bijdrage leveren ter plaatse van de veiligheidslijn op de Visserskaai of het Zeeheldenplein.

Op de Montgomerykaai kan in min of meerdere mate golven / water komen:

1. vanuit het Montgomerydok,
2. vanuit de havengeul (ter hoogte van aanzet berm westerstaketsel),
3. vanaf het Klein Strand,
4. vanaf het Zeeheldenplein (afvloeiing van overlopend water).

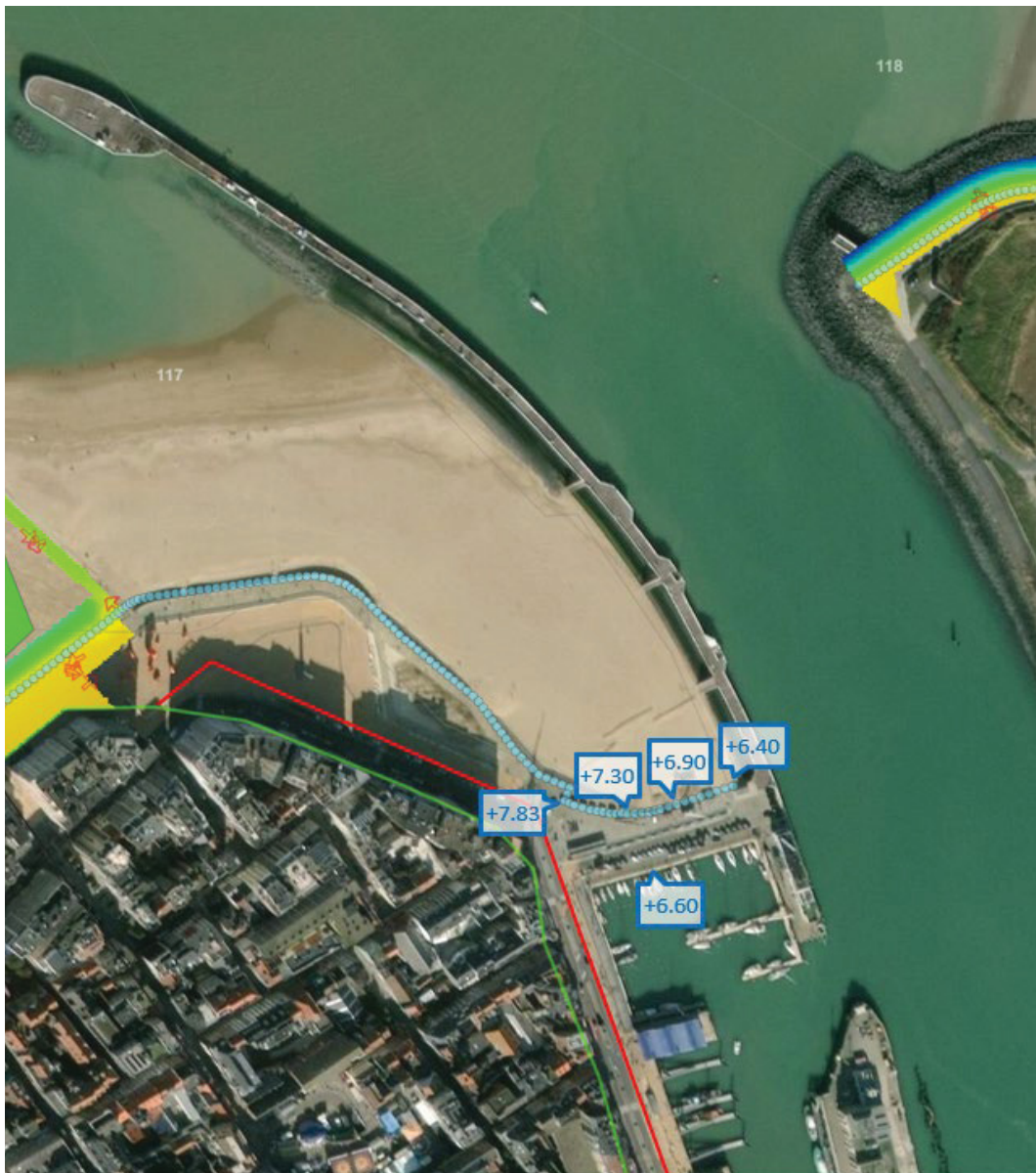
(1) en (2) werden gemodelleerd in het schaalmodel en zitten dus vervat in de resultaten. (4) werd behandeld in Vanneste et al. (2018).

Er dient echter ook bekeken te worden of er over de Montgomerykaai significante overtopping kan optreden van het Klein Strand naar het Montgomerydok die de hydrodynamica in het Montgomerydok en de overtopping op de Visserskaai negatief kan beïnvloeden.

2.3.1 Situatieschets

Figuur 15 toont een overzicht van de ligging van de Montgomerykaai, met aanduiding van kaaipeilen.

Figuur 15 – Ligging Montgomerykaai tussen Montgomerydok, Klein Strand en Zeeheldenplein.



(d) Bron: <https://zeewering-ti.vlaanderen.be> . Groene lijn = veiligheidslijn, rode lijn = stormmuur, blauwe lijn = rand zeedijk.

Om de overtopping van het Klein Strand op de Montgomerykaai te beoordelen, worden alle relevante parameters op het Klein Strand opgelijst (Vanneste et al., 2018):

- Op het Klein Strand ligt het strandpeil aan de teen van de dijk op ca. +6.00 m TAW na afslag door een 1000-jarige storm.
- De invallende golven zijn dieptegelimiteerd en golfoverslag wordt gekenmerkt door gebroken golven.
- Op een afstand van ca. 25 m voor de teen van de dijk is de significante golfhoogte ongeveer 0.63 m bij waterstand +7.20 m TAW.
- De stormmuur van het Zeeheldenplein zal verbonden worden met de stormmuur van de Visserskaai. Deze muur leidt het water dat zich op de uitloper van het Zeeheldenplein bevindt, af naar het Montgomerydok. Bij de inrichting van deze zone mogen constructies deze afvloeiing niet belemmeren.

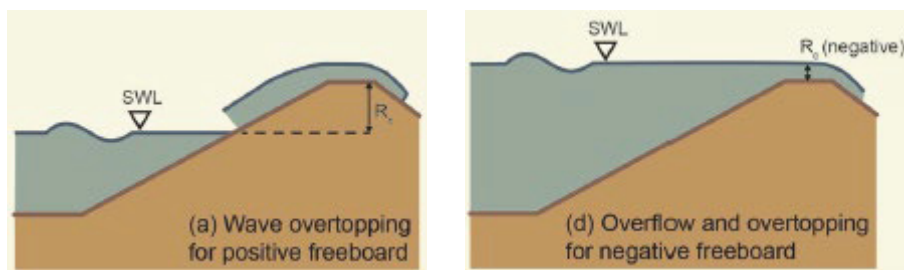
2.3.2 Bespreking

Bij een 1000-jarige storm staat het water deels of helemaal op de Montgomerykaai. Figuur 15 geeft een indicatie van de hoogtepelen van de blauwe steen ten opzichte van de te beschouwen waterstanden +6.88 / +7.29 / +7.87 m TAW.

Om de vraag van overtopping vanaf het Klein Strand te beantwoorden, bestaan geen formules die in deze specifieke configuratie kunnen toegepast worden. Op basis van de EurOtop Manual (Allsop et al., 2016) wordt hieronder een bovengrens afgeschat.

Wanneer de waterstand hoger is dan het kruinpeil van de zeedijk, is de vrijboord R_c negatief. Naast golfovertopping stroomt het water in dit geval ook over de kruin (Figuur 16). Dit laatste zal op de Montgomerykaai echter **niet** optreden aangezien aan de achterzijde (= Montgomerydok) het water even hoog staat.

Figuur 16 – Zeedijk met negatieve vrijboord: golfovertopping en overstroming.



(e) Bron: EurOtop Manual, figuur 5.20.

Om de golfovertopping af te schatten, wordt toch gebruik gemaakt van de denkbeeldige overstroming. Volgens de EurOtop Manual is het debiet door golfovertopping verwaarloosbaar klein ten opzichte van het debiet door overstroming indien

$$R_c / H_{m0} < -0.3$$

en kan het debiet door overstroming berekend worden met de formule voor een brede overlaat⁵

$$q_{overstroming} = 0.54 * \sqrt{g * |-R_c^3|}$$

In Tabel 9 wordt het denkbeeldig overstromingsdebiet berekend voor de grenswaarde $R_c = -0.3 * H_{m0}$. Er mag aangenomen worden dat **het debiet door golfovertopping significant kleiner is**.

⁵ De coëfficiënt 0.54 hangt af van de vorm en breedte van de kruin, maar kan gebruikt worden voor de afschatting die hier gemaakt wordt.

Tabel 9 – Berekening overstromingsdebiet op Montgomerykaai.

	1000-jarige storm zonder zeespiegelstijging	1000-jarige storm met 50 jaar zeespiegelstijging	1000-jarige storm met 100 jaar zeespiegelstijging
waterstand [m TAW]	+6.88	+7.29	+7.87
golfhoogte H_{m0} [m]	0.50	0.65	0.90
R_c / H_{m0} [-]	-0.3	-0.3	-0.3
vrijboord R_c [m]	-0.15	-0.20	-0.27
debiet $q_{\text{overstroming}}$ [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$]	0.100	0.150	0.240
lengte Montgomerykaai [m]	140	140	140
debiet $q_{\text{overstroming}}$ [m^3/s]	14	20	33
oppervlakte Montgomerydok [m^2]	39000	39000	39000
breedte ingang Montgomerydok [m]	45	20	20
diepte ingang Montgomerydok [m]	10	10	10
stijgsnelheid waterstand in Montgomerydok [cm/min]	2.1	3.1	5.1
uitstroomsnelheid door ingang Montgomerydok [m/s]	0.03	0.10	0.17

Bij een 1000-jarige storm zonder zeespiegelstijging (+6.88 m TAW) ligt 1/3de van de Montgomerykaai lager dan de waterstand en 2/3de hoger (Figuur 15). Over een lengte van ongeveer 50 m varieert de waterdiepte tussen 0 en 48 cm. Bij de aansluiting met het Zeeheldenplein ligt de rand van de zeedijk ongeveer 95 cm boven water. Op het Klein Strand voor de Montgomerykaai zijn de golven gebroken met een significante golfhoogte van ongeveer 0.50 m.

Op basis van de berekeningen in Tabel 9 valt af te leiden dat het debiet door golfovertopping significant kleiner is dan 100 l/s/m indien er 15 cm water op de dijk staat. Indien er een gemiddelde overtopping van 100 l/s/m over de ganse lengte van de Montgomerykaai zou optreden, zou de waterstand in het Montgomerydok niet significant stijgen omdat het water voldoende kan wegstromen via de ingang van het dok. En de golven na golfovertopping zijn klein in verhouding tot de golfindringing door de ingang en bovendien parallel aan de Visserkaai.

Met expert judgement wordt geoordeeld dat deze golfovertopping over de Montgomerykaai **geen significante toename van het overtoppingsdebiet op de Visserkaai** veroorzaakt. Immers, de zeedijk ligt voor 2/3de boven water en het overtoppende watervolume kan wegvloeien uit het dok door de ingang van 45 m (of 20 m). Deze golfovertopping heeft ook **geen invloed op de overtopping in de zone van de Mercatorsluis**.

In deze situatie is dus **geen stormmuur op de Montgomerykaai** noodzakelijk om overstromingen op de veiligheidslijn te voorkomen. Bovendien mogen bij de inrichting van de Montgomerykaai geen constructies de afvloeiing van water belemmeren, om te voorkomen dat er zich een waterlaag opbouwt op de uitloper van het Zeeheldenplein waardoor de muurhoogte er ontoereikend zou worden.

Bij een 1000-jarige storm met 50 jaar zeespiegelstijging (+7.29 m TAW) ligt 2/3de van de Montgomerykaai lager dan de waterstand en 1/3de hoger (Figuur 15). Over een lengte van ongeveer 90 m varieert de waterdiepte tussen 0 en 89 cm. Bij de aansluiting met het Zeeheldenplein ligt de rand van de zeedijk ongeveer 0.54 m boven water. Op het Klein Strand voor de Montgomerykaai zijn de golven gebroken met een significante golfhoogte van ongeveer 0.65 m.

Op basis van de berekeningen in Tabel 9 valt af te leiden dat het debiet door golfovertopping significant kleiner is dan 150 l/s/m indien er 20 cm water op de dijk staat. Indien er een gemiddelde overtopping van 150 l/s/m over de ganse lengte van de Montgomerykaai zou optreden, zou de waterstand in het Montgomerydok niet significant stijgen omdat het water voldoende kan wegstromen via de ingang van het dok. En de golven na golfovertopping zijn klein in verhouding tot de golfindringing door de ingang en bovendien parallel aan de Visserskaai.

Met expert judgement wordt geoordeeld dat er veel golfovertopping zal optreden richting Montgomerydok maar dat deze golfovertopping **geen significante toename van het overtoppingsdebiet op de Visserskaai** veroorzaakt. Immers, de zeedijk ligt voor 1/3de boven water en het overtoppende watervolume kan wegvloeien uit het dok door de ingang van 20 m. Indien de opbouw van Tabel 7 bestaat, kan het water eveneens wegstromen over de kaaivlakken van RNSYC en Churchillkaai omdat er geen stormmuren staan. De golfovertopping heeft ook **geen invloed op de overtopping in de zone van de Mercatorsluis**.

Ook in deze situatie is dus **op de Montgomerykaai geen stormmuur nodig** om overstromingen op de veiligheidslijn te voorkomen. Net zoals in de vorige situatie mogen er op de Montgomerykaai geen constructies de afvloeiing van water belemmeren, om te voorkomen dat er zich een waterlaag opbouwt op de uitloper van het Zeeheldenplein waardoor de muurhoogte er ontoereikend zou worden.

Bij een 1000-jarige storm met 100 jaar zeespiegelstijging (+7.87 m TAW) ligt de volledige Montgomerykaai lager dan de waterstand (Figuur 15). De waterdiepte varieert tussen 4 cm nabij het Zeeheldenplein en 1.47 m nabij het westerstaketsel. Op het Klein Strand voor de Montgomerykaai zijn de golven gebroken met een significante golfhoogte van grootteorde 0.90 m.

Op basis van de berekeningen in Tabel 9 valt af te leiden dat het debiet door golfovertopping significant kleiner is dan 240 l/s/m indien er 27 cm water op de dijk staat. Dit is slechts het geval voor enkele tientallen meter dijk. Indien er een gemiddelde overtopping van 240 l/s/m over de ganse lengte van de Montgomerykaai zou optreden, zou de waterstand in het Montgomerydok niet significant stijgen indien het water via de ingang van het dok kan wegstromen met een gemiddelde stroomsnelheid van 0.17 m/s.

Met expert judgement kunnen hieraan **geen conclusies** verbonden worden. Er wordt wel op gewezen dat de onzekerheid op de voorspelde zeespiegelstijging over 100 jaar groot is, en dus ook op de overtopping over de Montgomerykaai die sterk afhankelijk is van de waterstand. Aangezien hierboven is vastgesteld dat voor deze zone voor de eerstvolgende 50 jaar geen maatregelen nodig zijn die nieuwe constructies vereisen met een levensduur van grootteorde 100 jaar, wordt aanbevolen om de zeespiegelstijging in de komende decennia verder op te volgen en te gepasten tijde **met verbeterde voorspellingen de golfovertopping over de Montgomerykaai te beoordelen**.

3 Besluit van de evaluatie van het veiligheids criterium

Binnen het kader van voornoemde context kan het besluit van het modelonderzoek als volgt worden bijgesteld:

5. Voor een **1000-jarige storm vandaag** (waterstand +6.88 m TAW) voldoet de **huidige lay-out** van het Montgomerydok en de bestaande stormmuur (kruinpeil +7.75 m TAW) op de Visserskaai aan het veiligheids criterium (1 l/s/m) indien:
 - de stormmuur in het noorden aansluit op de stormmuur van het Zeeheldenplein;
 - de stormmuur in het zuiden aansluit op voldoende hoge sluisdeuren van de Mercatorsluis en verder op de stormmuren in de zone station.

Op de Churchillkaai, de kaai van de RNSYC en de Montgomerykaai zijn geen stormmuren noodzakelijk. Op de Montgomerykaai mogen geen constructies de afvloeiing van overtoppend water belemmeren.

6. De **huidige lay-out** van het Montgomerydok en de bestaande stormmuur op de Visserskaai leiden in de toekomst tot te grote overtoppingsdebieten op de Visserskaai als gevolg van de zeespiegelstijging.
7. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 50 jaar** (waterstand +7.29 m TAW) kunnen de overtoppingsdebieten op de Visserskaai met de bestaande stormmuur (kruinpeil +7.75 m TAW) beperkt worden tot het veiligheids criterium (1 l/s/m) indien:
 - de ingang van het dok versmald wordt van 45 m naar 20 m;
 - de stormmuur in het noorden aansluit op de stormmuur van het Zeeheldenplein en de stormmuur in het zuiden aansluit op voldoende hoge sluisdeuren van de Mercatorsluis en verder op de stormmuren in de zone station.

Op de Churchillkaai, de kaai van de RNSYC en de Montgomerykaai zijn geen stormmuren noodzakelijk. Op de Montgomerykaai mogen geen constructies de afvloeiing van overtoppend water belemmeren.

8. Voor een **1000-jarige storm met een zeespiegelstijging van 100 jaar** (waterstand +7.87 m TAW) kunnen de overtoppingsdebieten op de Visserskaai, ten gevolge van golfindringing door de havengeul, beperkt worden tot het veiligheids criterium (1 l/s/m) indien bovenop de maatregelen uit punt 3:
 - de stormmuren op de Visserskaai en in de zone Mercatorsluis (incl. sluisdeur) verhoogd worden met 0.50 à 0.75 m tot kruinpeil +8.25 m TAW à +8.50 m TAW;
 - de stormmuur in het noorden aansluit op de stormmuur van het Zeeheldenplein en de stormmuur in het zuiden aansluit op de stormmuren in de zone station;
 - bijkomende stormmuren gebouwd worden ter hoogte van de RNSYC en Churchillkaai met kruinpeil +8.50 m TAW.

De golfovertopping over de Montgomerykaai en de mogelijke invloed ervan op de overtoppingsdebieten op de Visserskaai kunnen op heden niet beoordeeld worden. Over enkele decennia, met verbeterde voorspellingen van de zeespiegelstijging, zal een passende beoordeling aangewezen zijn om na te gaan of aanpassingen aan de Montgomerykaai noodzakelijk zijn.

4 Referenties

Allsop, N.W.H.; Bruce, T.; De Rouck, J.; Kortenhaus, A.; Pullen, T.; Schüttrumpf, H.; Troch, P.; Zanuttigh, B. (2016). EurOtop II Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Second edition. HR Wallingford: Wallingford. ix, 252 pp.

Vanneste, D.; Willems, M.; Mostaert, F. (2018). Overstromingsmaatregelen haven Oostende: Advies muurhoogte overgangszone Zeeheldenplein – Visserskaai. Versie 5.0. WL Rapporten, 16_125_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Willems, M.; Suzuki, T.; Mostaert, F. (2019). Oostende schaalmodel golfovertopping bij zeer schuine golven: Deelrapport 1 – Montgomerydok. Versie 2.0. WL Rapporten, 18_066_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

1 Probleemstelling

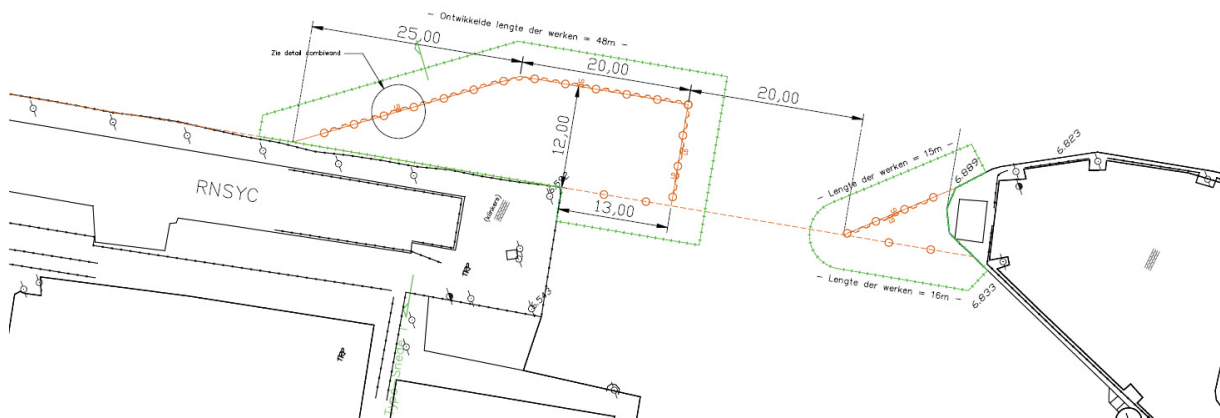
Op onderstaande foto zijn de afmetingen van de huidige ingang en de zone voor de ingang van het Montgomerydok aangeduid.



De huidige ingang is ongeveer 45 m breed. Door deze ingang komen de golven vanuit de haventoeegang het dok binnen. Tussen de ingang en de vistrap is ongeveer 80 m ruimte die gebruikt wordt door de schepen.

Een versmalling van de ingang heeft als onmiddellijk gevolg dat de golfindringing in het dok afneemt. Vanzelfsprekend is dit gunstig voor de kustveiligheid vermits lagere golven leiden tot minder overtopping, of andersom dat op de kaaivlakken minder maatregelen (lagere muurtjes) nodig zijn om een bepaald overtoppingsdebiet te behalen.

In 2007 was er nood aan tijdelijke golfreducerende maatregelen om de nieuwe haventoeegang van Oostende te kunnen realiseren. Aan de ingang van het Montgomerydok werden toen 2 combiwanden geplaatst (de zogenaamde “neus” en “vinger”) met onderstaande afmetingen. De doorvaarbreedte was 20 m. [ref.: Afdeling Maritieme Toegang, plan aanvraag stedenbouwkundige vergunning, plan nr. OJM.0003st dd. 12/03/2007]. Deze neus en vinger werden verwijderd in mei-juni 2015.



De tijdelijke versmalling werd toen gunstig beoordeeld op het vlak van golfindringing. De drijvende structuren in het dok werden minder beschadigd omwille van de kleinere golven.

Een nieuwe versmalling kan natuurlijk verschillend zijn qua afmetingen, positie, doorvaarbreedte en oriëntatie van de opening.

Bij een versmalling spelen ook volgende aspecten een rol :

- toegankelijkheid voor schepen van/naar Montgomerydok en Mercatorsluis, in het bijzonder de Mercator (lengte loa 78 m, breedte 11 m) ;
- gewijzigde getijstrooming door de opening ;
- een uitbouw vóór de kaaimuur aan het RNSYC-gebouw versmalt de havengeul, terwijl de verbreding van de Halve Maan het tegenovergestelde beoogt ;
- golfreflectie op de structuur naar de havengeul ;
- morfologie van het Montgomerydok en rondom de constructie.

In het kader van schaalmodelonderzoek 18_066 (en hiermee samenhangend project 18_038) is de primaire vraag wat de breedte van de opening mag zijn, als een compromis tussen nog voldoende groot voor de schepen en toch zo klein mogelijk om de golfindringing te verminderen. De oriëntatie van de opening kan bijkomend de golfindringing beïnvloeden. De andere opgelijste aspecten vallen buiten de scope van het huidige onderzoek.

2 Eerder onderzoek

In 2007 en 2010 werd de golfreductie bij een versmalling van de ingang van het Montgomerydok onderzocht op een schaalmodel (WL) en in een numeriek model (UGent).

Opmerking : alle onderzoek beschreven in dit hoofdstuk, werd uitgevoerd met ‘onoverstroombare’ kaaivlakken (dus geen golfovertopping mogelijk).

2.1 Schaalmodel golfindringing

In 2007 werden enkele verkennende proeven uitgevoerd op het schaalmodel van Oostende in het kader van het onderzoek voor het ontwerp van de nieuwe havendammen. De resultaten zijn terug te vinden in volgende nota :

Willems, M. “Haven Oostende Golfindringing (model 627/5): Fysische modellering van reducerende maatregelen nabij de ingang van het Montgomerydok (nota 3bis)”. Nota aan Technische Werkgroep Oostende. 14/02/2007.

Enkele scenario’s met een ingang van 20 m en 25 m breed werden beproefd, waarbij ook de oriëntatie van de ingang (met name de afstand van de uitbouw vóór de noordelijke kaaimuur) werd gevarieerd. In alle scenario’s werd de versmalling bekomen door een uitbouw aan de noordzijde van de ingang zonder extra constructie aan de zuidzijde.

De metingen op het schaalmodel gaven een indicatie van een golfreductie van de grootte-orde 20 à 30%. Voorzichtigheid is geboden bij dit cijfer : de reductie is sterk verschillend op verschillende plaatsen in het dok. Uit de metingen bleek ook dat een smallere ingang en een meer in uurwijzerzin gedraaide ingang tot minder golfindringing leidt.

De configuratie die hierboven weergegeven is, werd niet beproefd in het model maar staat in de nota als suggestie voor verdere optimalisatie van de versmalling. Door een deel van de versmalling te realiseren met een extra constructie aan de zuidzijde (de ‘vinger’), wordt de ingang nog verder in uurwijzerzin gedraaid waardoor de tip van de vinger nog verder in de schaduwzone achter de noordelijke constructie gelegen is.

2.2 Numeriek model golfindringing

In 2010 werden numerieke simulaties uitgevoerd met vele verschillende vormen van versmallingen, bijna allemaal met een doorvaarbreedte van 20 m. De resultaten zijn terug te vinden in volgend rapport :

Stratigaki, V.; Troch, P. “Design of Oostende Harbour: Numerical Simulation of Wave Diffraction through the gap at Montgomery dok using the mild slope wave propagation model MILDwave”. DBO107/97, 19/03/2010.

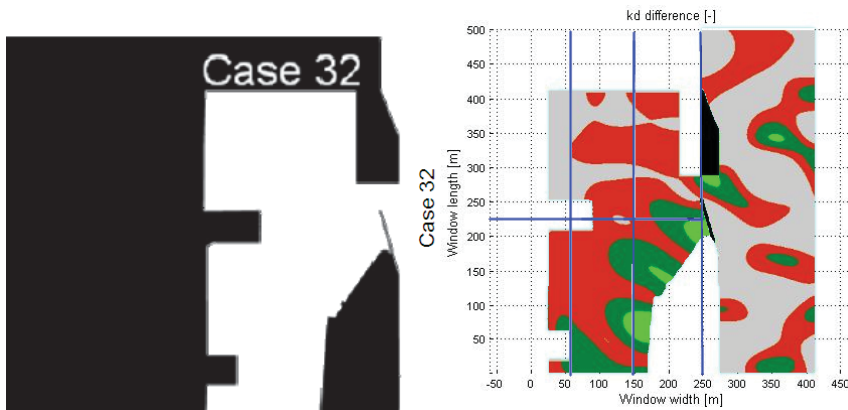
De resultaten zijn in aflopende volgorde gerangschikt in bijlage. Voor details over de ‘score’ wordt verwezen naar het rapport zelf.

Het is duidelijk dat scenario’s met een ‘vinger’ die ver in de schaduwzone van de noordelijke kaaimuur ligt goed scoren. In deze scenario’s is de doorvaarbreedte tussen de vistrap en de vinger veel kleiner dan in de huidige toestand, dus minder gewenst vanuit nautisch oogpunt voor de grootste schepen (Mercator).

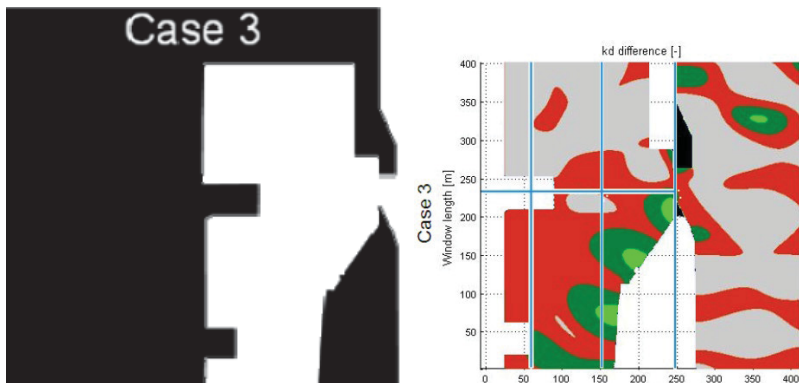
Indien we, omwille van nautische redenen, de huidige doorvaarbreedte (± 80 m) tussen de vistrap en de vinger willen behouden, mag de vinger niet verder in het Montgomerydok gebouwd worden dan de virtuele verlenging van de zeewaartse zijde van de bestaande noordelijke kaaimuur. De best gerangschikte scenario’s

die hieraan voldoen, zijn case 32, case 3, case 5, case 2 en case 7 (zie hieronder). In case 32 is de ingang 18.36 m breed, in alle andere scenario's 20 m. Case 3 is de lay-out zoals in 2007 tijdelijk uitgevoerd (zie §1). Case 32 scoort een beetje beter dan de andere, voornamelijk in het noordelijk deel van het dok, maar heeft dus een smallere ingang. De andere scenario's scoren min of meer gelijk, maar case 3 scoort toch net iets beter.

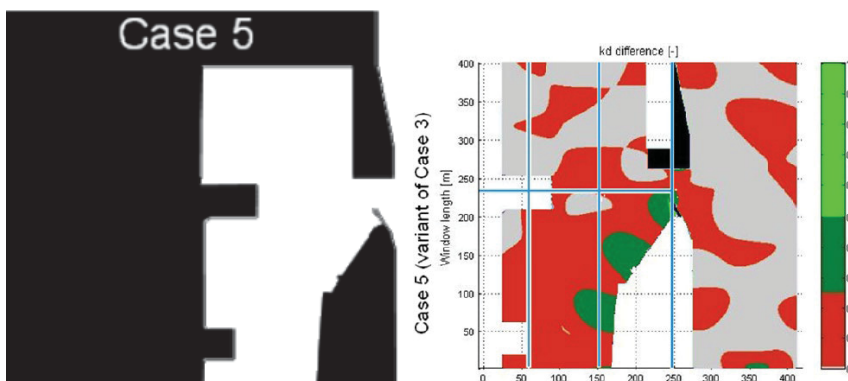
Case 32 (score 105) *



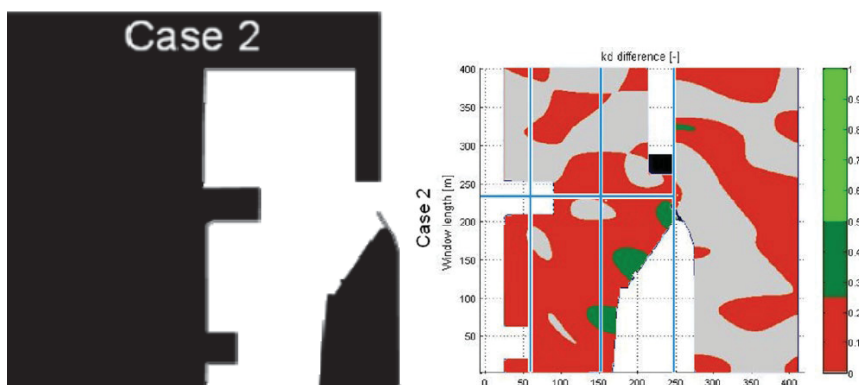
Case 3 (score 72.5) *



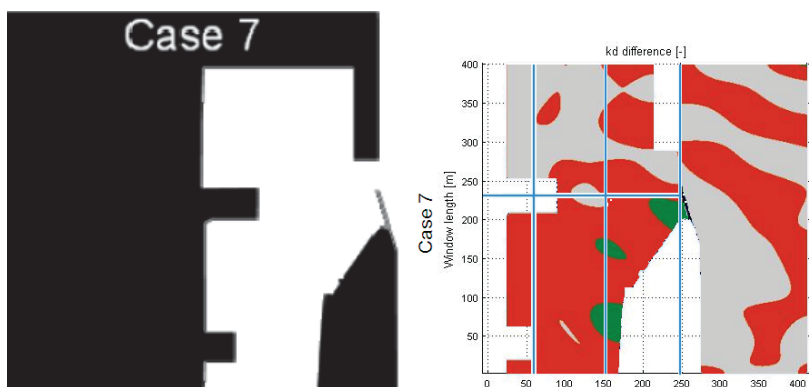
Case 5 (score 70) *



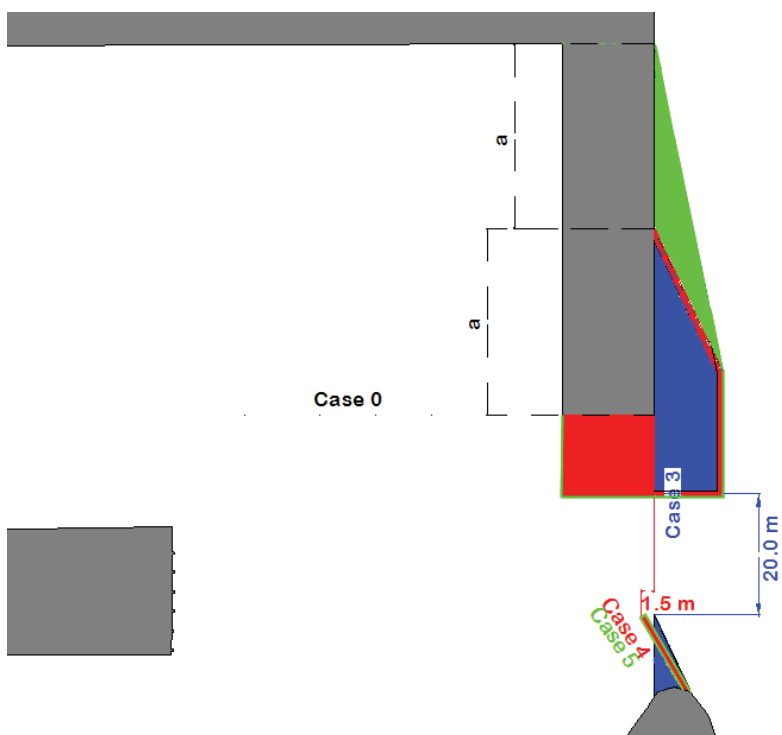
Case 2 (score 62.5) *



Case 7 (score 62.5) *



Lay-out van case 3 in detail :

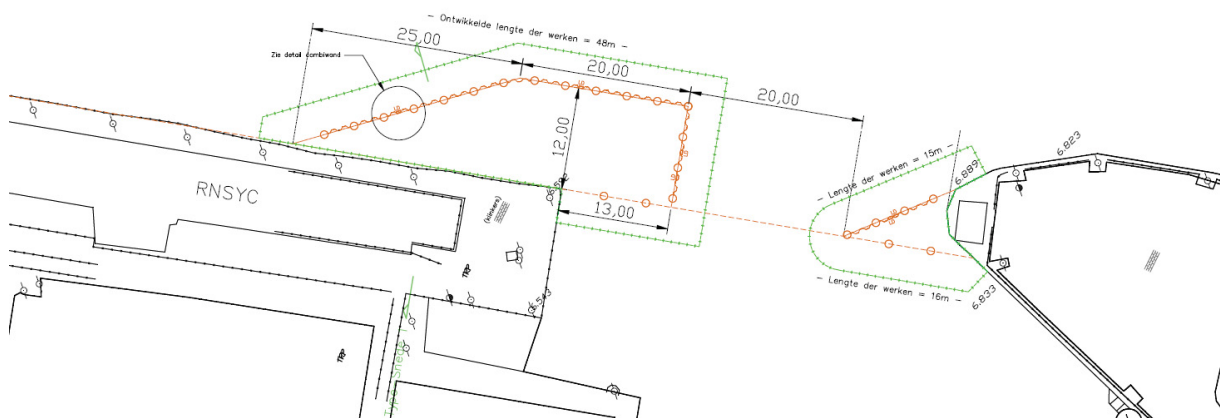


3 Besluit

In het kader van schaalmodelonderzoek 18_066 moet gezocht worden naar overtoppingsreducerende maatregelen voor het Montgomerydok. Een significante bijdrage kan geleverd worden door een versmalling van de ingang van het dok waardoor de golfindringing vermindert.

Op basis van de ervaring van de tijdelijke versmalling in 2007-2015 en de resultaten van eerder onderzoek, en rekening houdend met nautische randvoorwaarden, lijkt een keuze van een breedte van 20 m het meest aangewezen om het overtoppingsonderzoek verder uit te voeren. Bij de keuze van de lay-out wordt ervoor gekozen om de bestaande breedte van het dok ter hoogte van de vistrap (± 80 m) te behouden.

Op basis van deze overwegingen wordt als beste keuze de lay-out van 2007-2015 voorgesteld. Verdere optimalisatie van de ingang om de golfovertopping in het Montgomerydok te reduceren, valt buiten de scope van het huidige project 18_066.



Bijlage: resultaten rapport DBO107/97 (UGent)

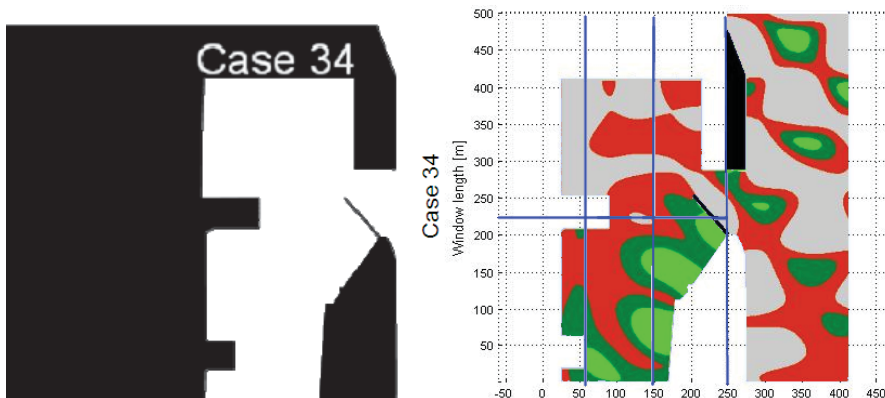
Overzicht van de beste lay-outs met de minste golfindringing in het Montgomerydok :

Table 6.5: Cases which appear to have a “score” > 100 according to the applied evaluation method (regular waves)

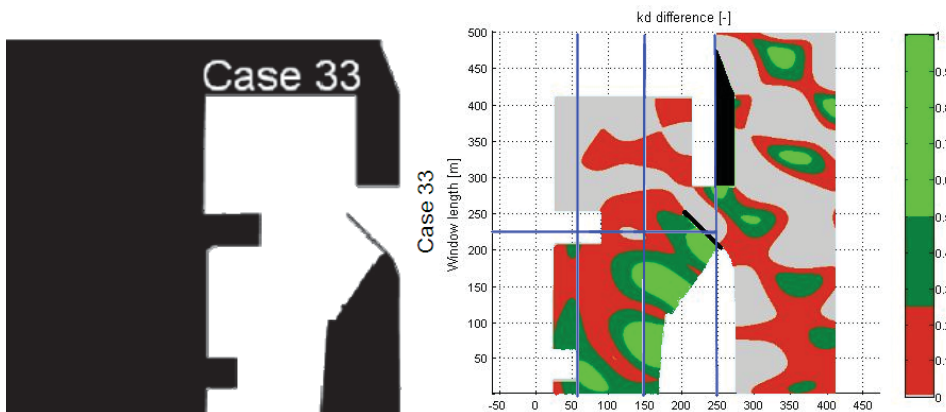
Case #	Total (sum)	Case #	Total (sum)
Case 27	100	Case 26	117.5
Case 21	102.5	Case 12	120
Case 9	105	Case 31	125
Case 32	105	Case 15	127.5
Case 19	107.5	Case 23	130
Case 28	107.5	Case 29	130
Case 20	110	Case 30	130
Case 24	110	Case 16	132.5
Case 17	112.5	Case 33	135
Case 18	115	Case 34	135

Overzicht van de lay-outs opgenomen in bovenstaande tabel :

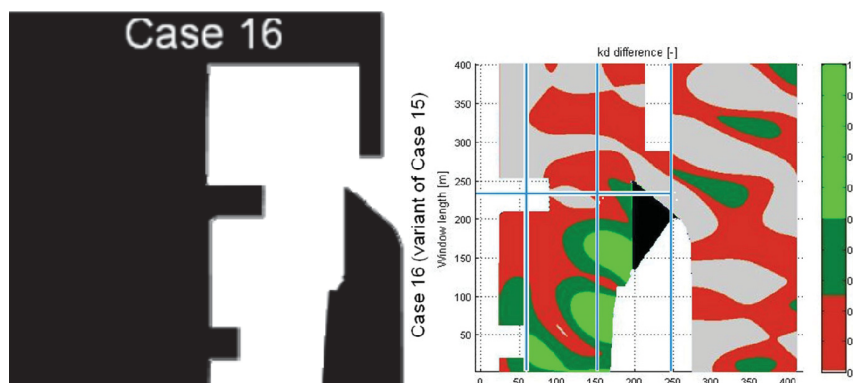
Case 34 (score 135)



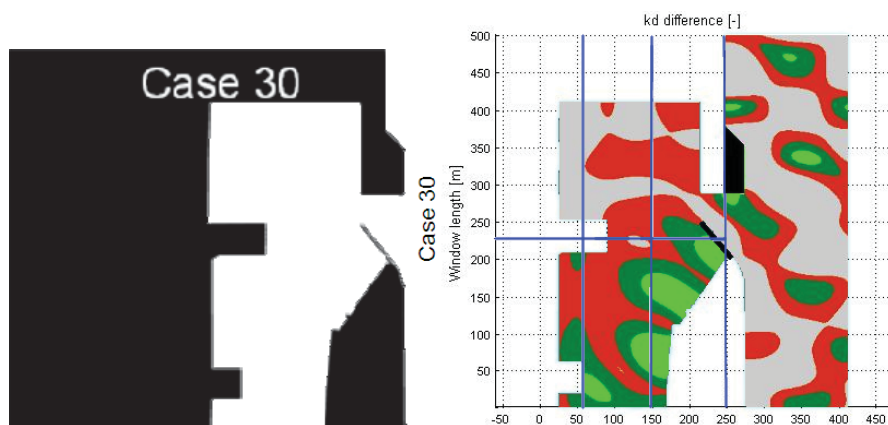
Case 33 (score 135)



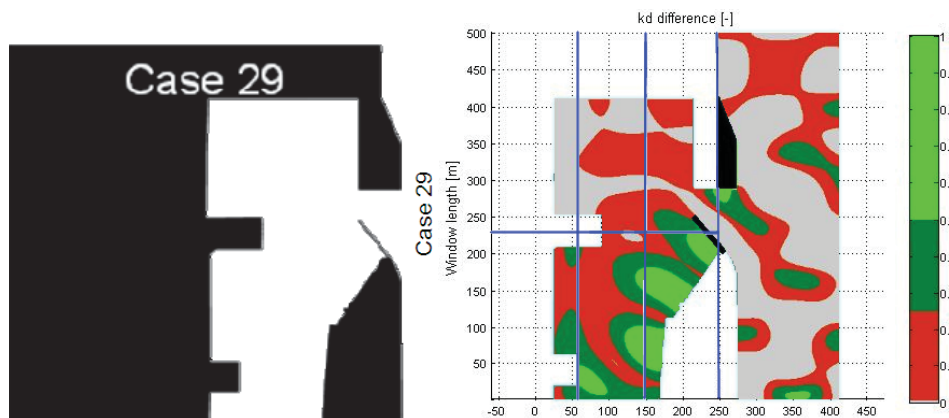
Case 16 (score 132.5)



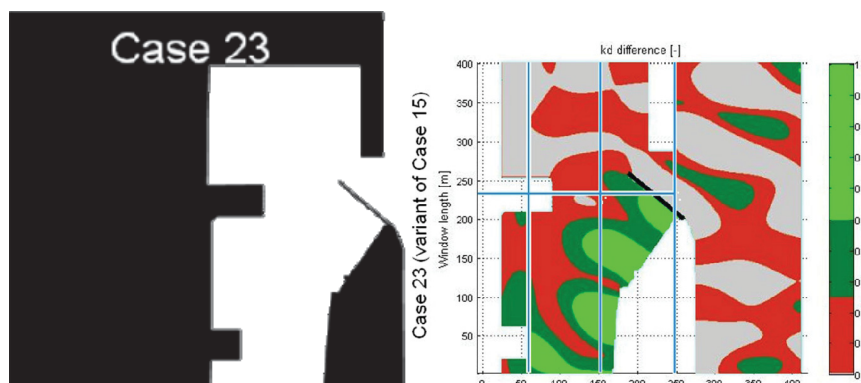
Case 30 (score 130)



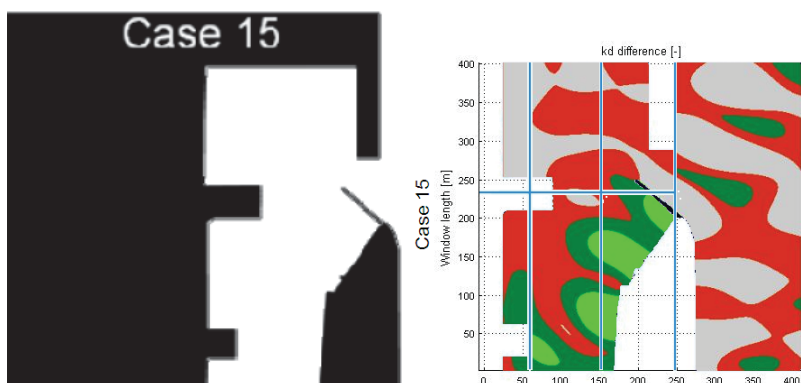
Case 29 (score 130)



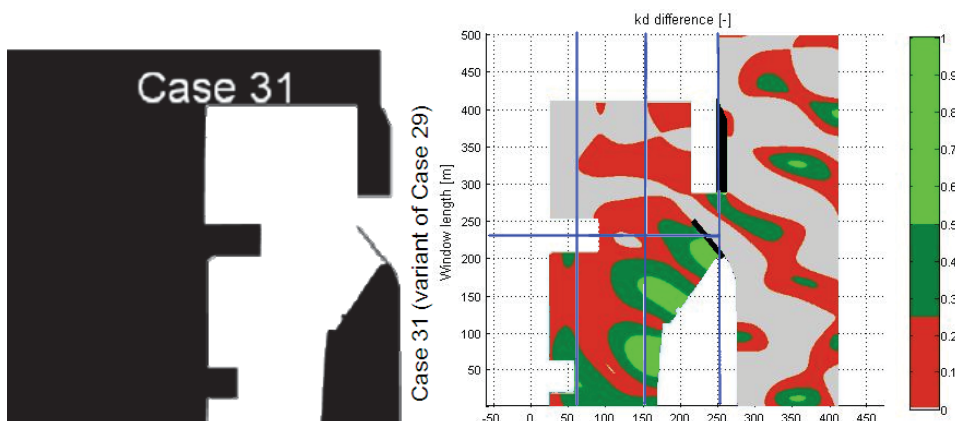
Case 23 (score 130)



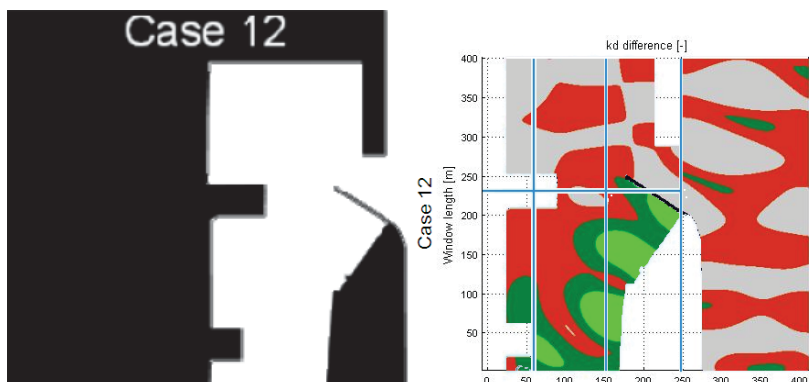
Case 15 (score 127.5)



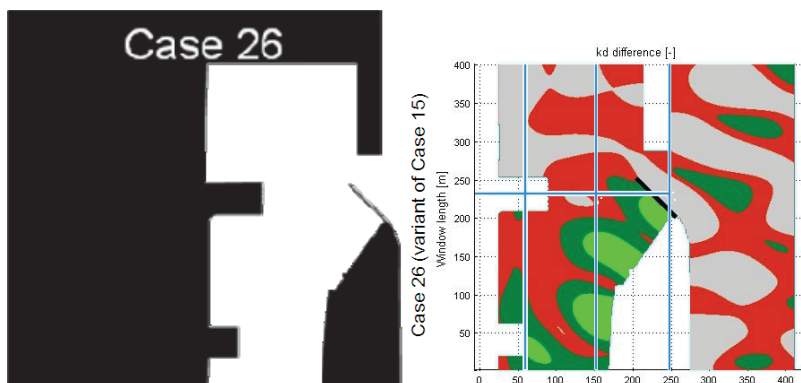
Case 31 (score 125)



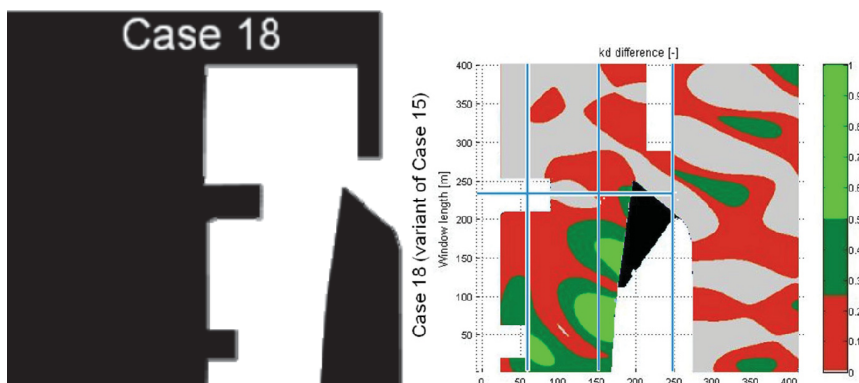
Case 12 (score 120)



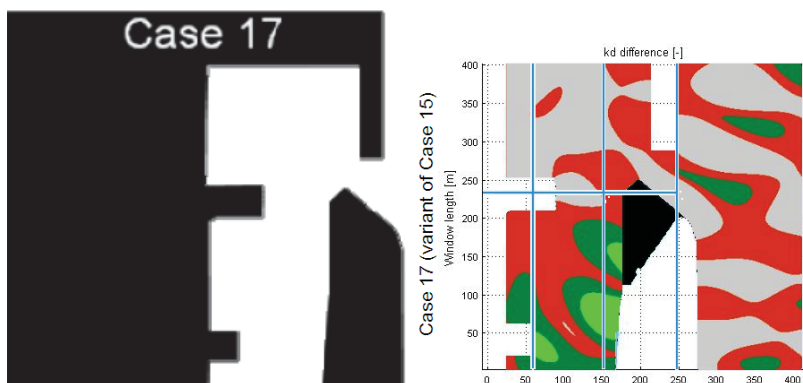
Case 26 (score 117.5)



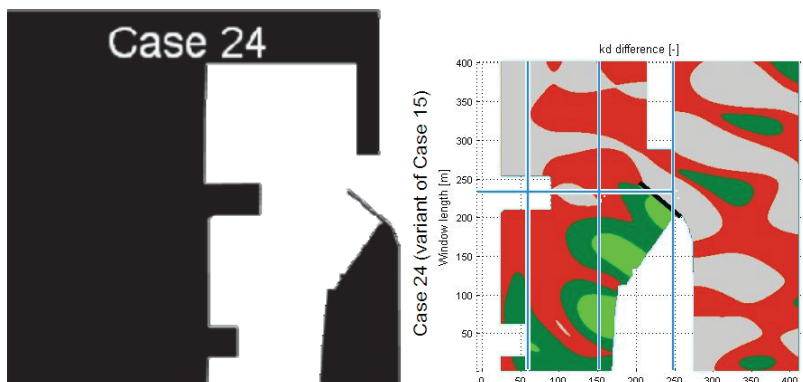
Case 18 (score 115)



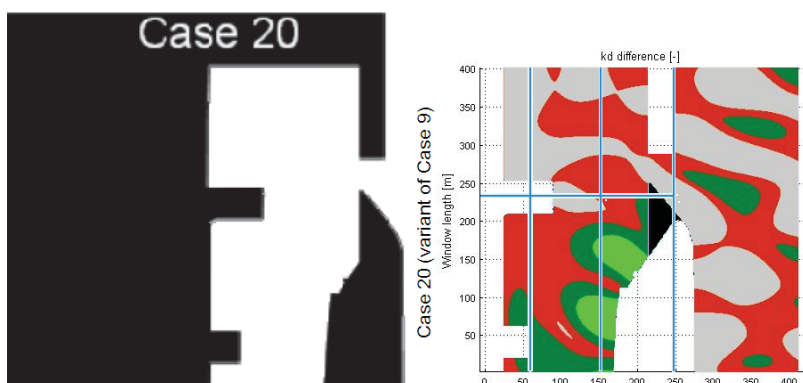
Case 17 (score 112.5)



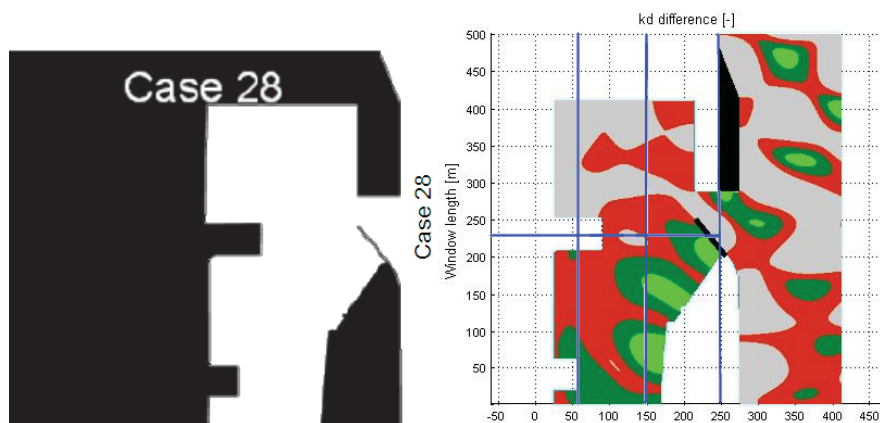
Case 24 (score 110)



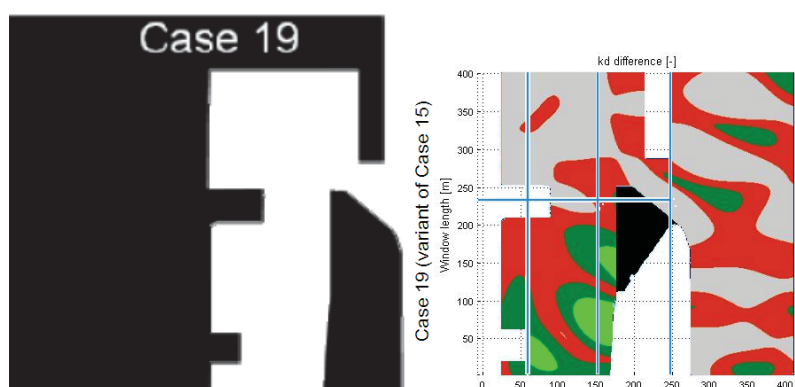
Case 20 (score 110)



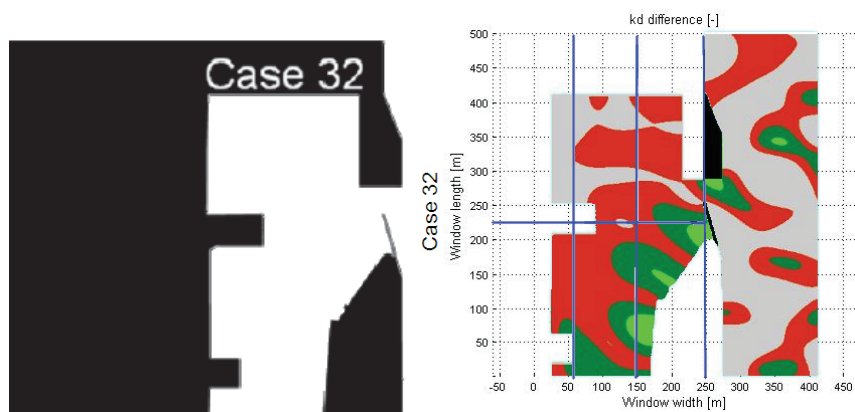
Case 28 (score 107.5)



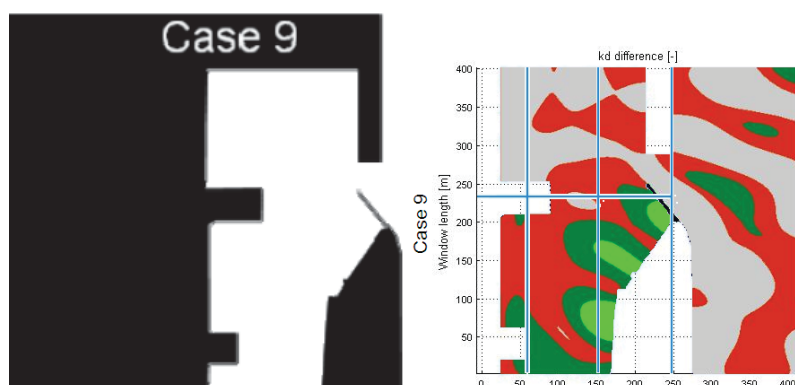
Case 19 (score 107.5)



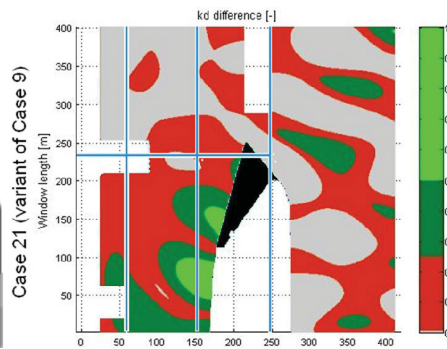
Case 32 (score 105) *



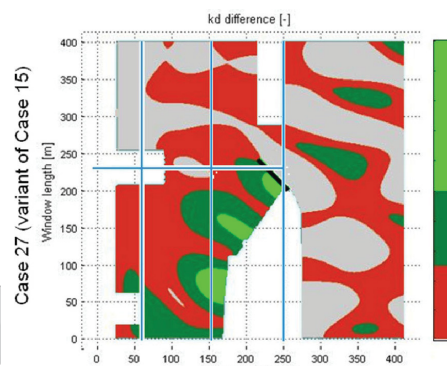
Case 9 (score 105)



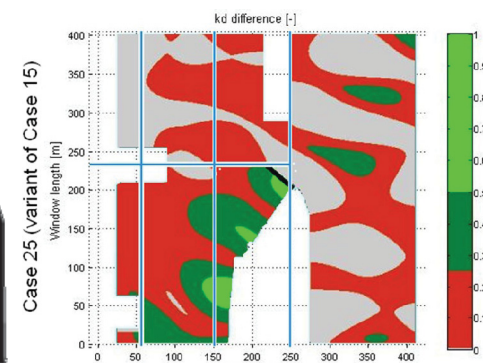
Case 21 (score 102.5)



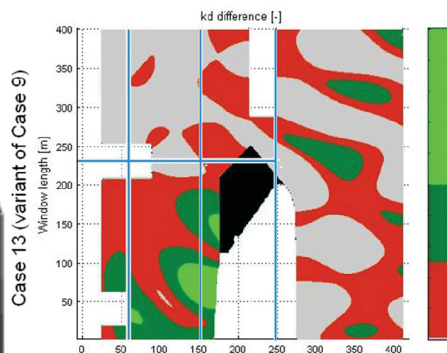
Case 27 (score 100)



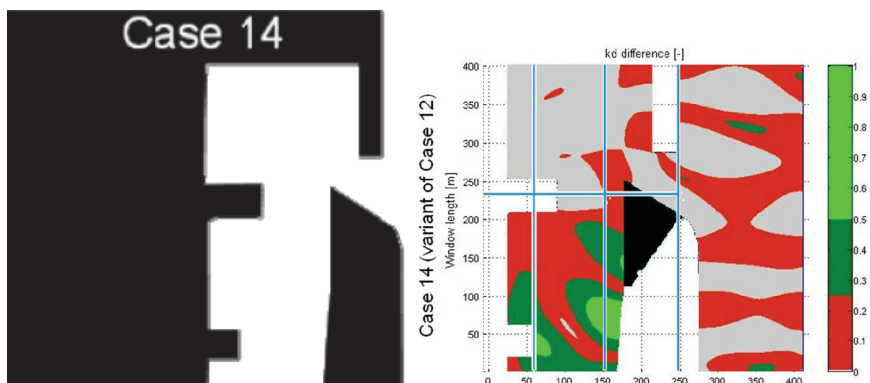
Case 25 (score 95)



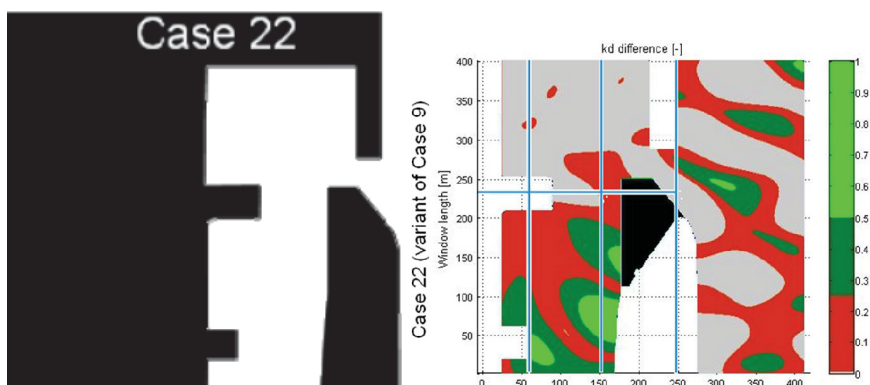
Case 13 (score 87.5)



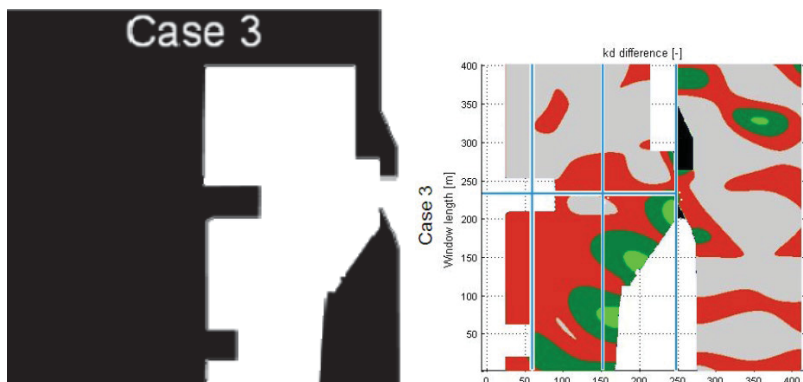
Case 14 (score 87.5)



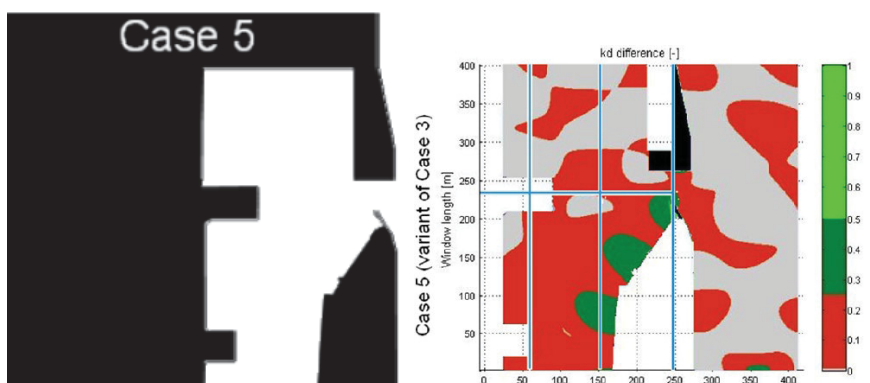
Case 22 (score 87.5)



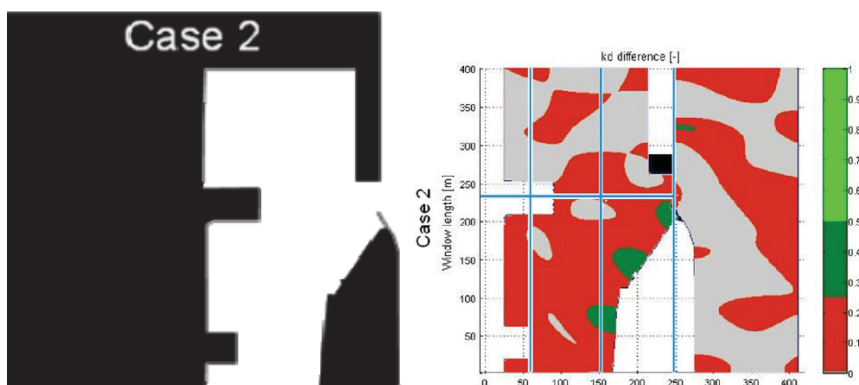
Case 3 (score 72.5) *



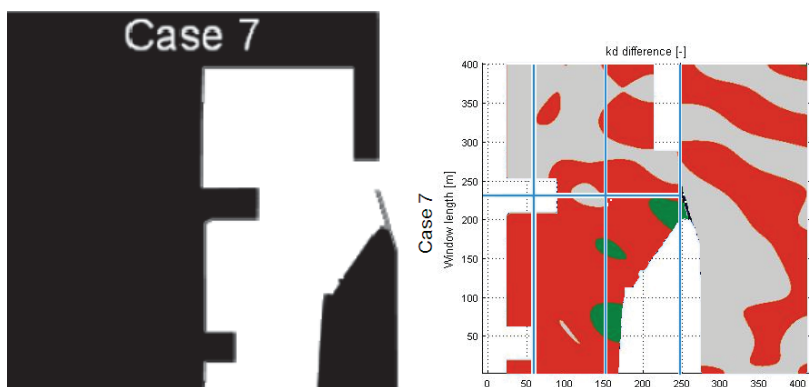
Case 5 (score 70) *



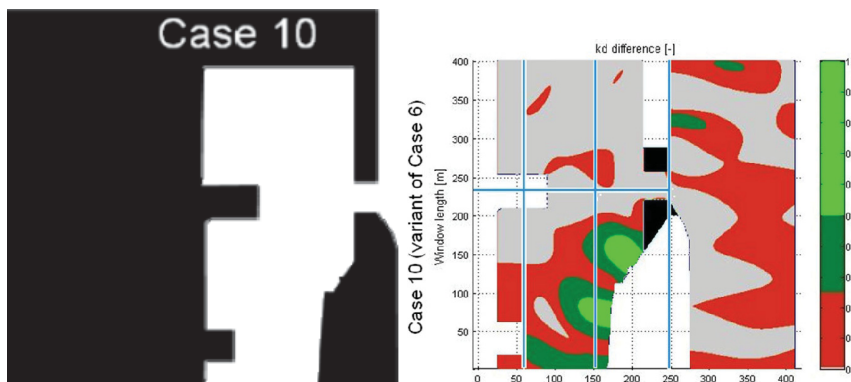
Case 2 (score 62.5) *



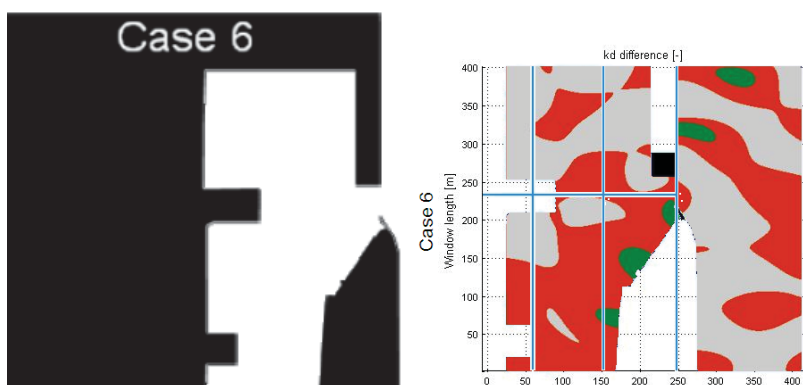
Case 7 (score 62.5) *



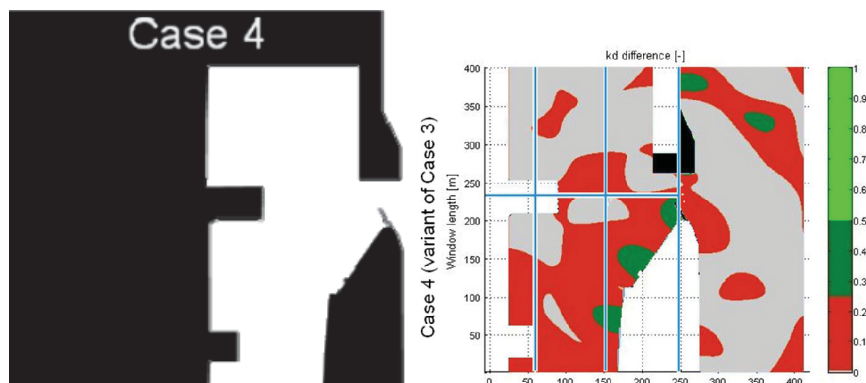
Case 10 (score 60)



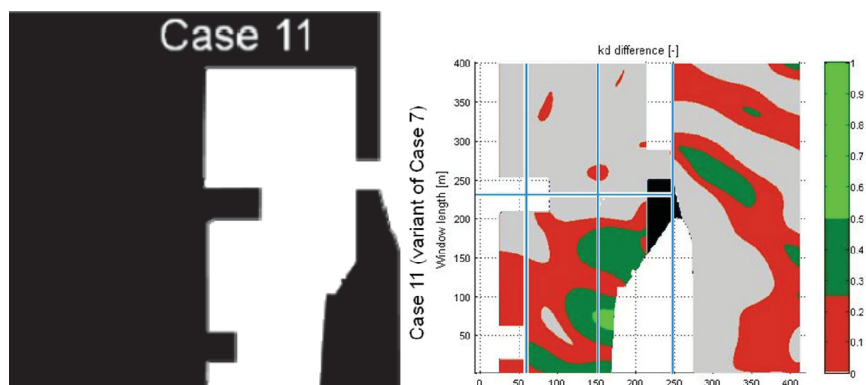
Case 6 (score 55) *



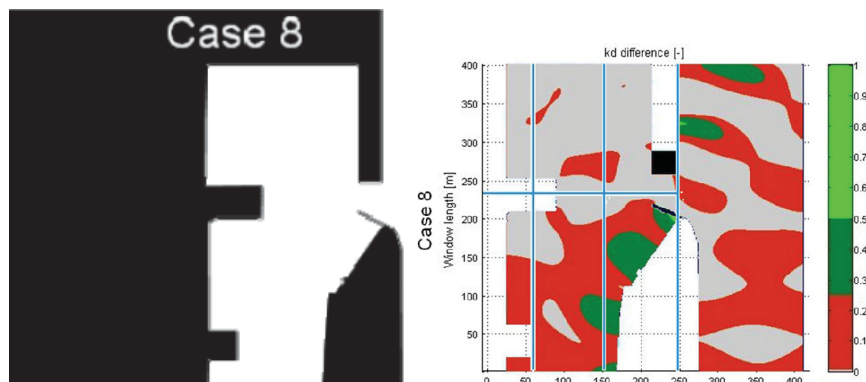
Case 4 (score 50) *



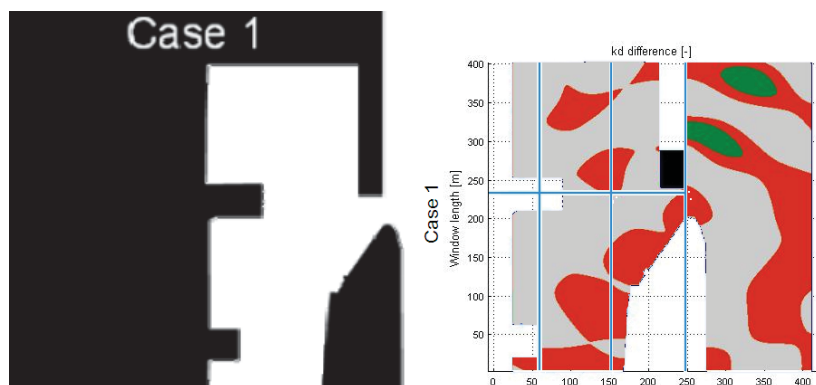
Case 11 (score 50)



Case 8 (score 40)



Case 1 (score 32.5)



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