



**Port of
Antwerp**

RAPPORT

Havenbedrijf Antwerpen nv

Afdeling Infrastructuur

**Onderzoek Slibreducerende
Maatregelen**

Quick Scan

29 maart 2019 - versie 2.0

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Van Immerseelstraat 66, 2018 Antwerp, Belgium

: + 32 3 270 92 95

: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Titel	Quick Scan
Project	Onderzoek Slibreducerende Maatregelen
Opdrachtgever	Havenbedrijf Antwerpen nv - Afdeling Infrastructuur
Documentref	I/RA/11543/18.122/GVH
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11543_P011981 - ECA SFD Bouwstenen\10-Rap\DO-2 Quick Scan\RA18122_QuickScan Slibreducerende Maatregelen\RA18122_QuickScan Slibreducerende Maatregelen_v2.0.docx

Revisies

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	18/09/2018	Concept	G. van Holland K. Delecluyse M. Rynders	G. van Holland P. Van Der Biest	M. Sas
2.0	29/03/2019	Finaal rapport	G. van Holland K. Delecluyse M. Rynders	G. van Holland P. Van Der Biest	M. Sas

Goedkeuring

Auteur	KDL	Kevin Delecluyse (Signature)	Digitally signed by Kevin Delecluyse (Signature) Date: 2019.04.02 12:21:08 +02'00'
Nazicht	GVH	Gijsbert van Holland (Signature)	Digitally signed by Gijsbert van Holland (Signature) Date: 2019.03.29 17:25:15 +01'00'
Goedgekeurd	MSA	Marc Sas (Signature)	Digitally signed by Marc Sas (Signature) Date: 2019.04.02 16:31:36 +02'00'

Verdeellijst



Digitaal

Manu Vandamme (Havenbedrijf Antwerpen)

Contactpersoon IMDC

Contactpersoon	Gijsbert van Holland
Telefoonnummer	+32 3 270 92 23
E-mail	gijsbert.van.holland@imdc.be

Abstract

In de voorliggende studie worden een aantal vaak genoemde maatregelen die een afname van de aanslibbing van een getijdedok beogen, onderzocht op hun technische en financiële haalbaarheid, o.a. roldeuren, segmentdeuren, een balgstuw, een beweegbare drempel en een bellenscherm.

Inhoudstafel

1. INLEIDING	1
1.1 DE OPDRACHT	1
1.2 DOEL VAN HET RAPPORT	1
1.3 LEESWIJZER	2
2. SLIBWERENDE CONSTRUCTIES	3
2.1 OVERZICHT MOGELIJKE CONSTRUCTIES	3
2.1.1 Roldeuren	3
2.1.2 Segmentdeuren	4
2.1.3 Opklapbare elementen	4
2.1.4 Balgstuw	5
2.1.5 Draaibare segmentdeuren (op horizontale as)	6
2.1.6 Bellenscherm	7
2.2 FUNCTIONELE KLASSEINDELING MAATREGELEN	9
2.2.1 Functionele eisen	10
2.3 RANDVOORWAARDEN	10
2.3.1 Referentievariant getijdok	10
2.3.2 Omgevingscondities	13
2.3.3 Verwachte aantal schepen per dag (bedieningsscenario's)	24
3. HYDRODYNAMICA EN SEDIMENTATIE	26
3.1 INLEIDING NUMERIEK MODEL	26
3.1.1 Het gereduceerde SCALDIS model	26
3.1.2 Methodiek sedimentatie en onderhoud getijdokken	28
3.2 GEDEELTELIJKE VERSMALLING	29
3.2.1 Model aanpassingen	29
3.2.2 Effecten op de lokale hydrodynamica	30
3.2.3 Krachtwerking op de structuur	34
3.2.4 Effect op aanslibbing in het dok	35
3.3 VERHOOGDE DREMPEL	38
3.3.1 Model aanpassingen	38
3.3.2 Effecten op de lokale hydrodynamica	39
3.3.3 Krachtwerking op de structuur	40
3.3.4 Effect op aanslibbing in het dok	40
3.4 BELLENSCHERM	43
3.4.1 Berekening theoretisch luchtdebiet	43
3.4.2 Effect op aanslibbing in het dok	49

3.5	ONDERHOUDSBAGGERVOLUME.....	50
3.5.1	<i>Permanente inzet maatregelen</i>	50
3.5.2	<i>Onderhoudsbaggervolume</i>	51
3.6	KOSTEN ONDERHOUDSBAGGERWERKEN.....	52
3.6.1	<i>Uitvoeringsmethode</i>	52
3.6.2	<i>Productiebepaling</i>	53
3.6.3	<i>Kostprijsberekening</i>	53
4.	TECHNISCHE UITVOERING MAATREGELEN	57
4.1	OVERZICHT SLIBKERINGEN	57
4.1.1	<i>Afwezigheid van slibkeringen ("nul-variante")</i>	57
4.1.2	<i>Niet-overvaarbare slibkeringen</i>	59
4.1.3	<i>Overvaarbare slibkeringen</i>	60
4.1.4	<i>Doorvaarbare slibkeringen</i>	62
4.2	ROLDEUREN: UITVOERINGSDETAILS	62
4.2.1	<i>Referentie-ontwerpen</i>	62
4.2.2	<i>Slibkering met roldeuren</i>	66
4.2.3	<i>Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp</i>	68
4.2.4	<i>Ontwerp voor het 2° getijdedok</i>	69
4.2.5	<i>Variante met vlottende pontons en rolgordijnen</i>	71
4.3	ROLDEUREN: TECHNISCHE HAALBAARHEID	72
4.3.1	<i>Bouw samen met toegang naar het 2° getijdedok</i>	72
4.3.2	<i>Bouw na afwerking van de toegang naar het 2° getijdedok</i>	72
4.4	ROLDEUREN: OPERATIONELE HAALBAARHEID	73
4.4.1	<i>Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden</i>	73
4.4.2	<i>Inschatting van de bedrijfszekerheid, als klassieke roldeur (1)</i>	73
4.4.3	<i>Inschatting van de bedrijfszekerheid, bij uitvoering met meerdere elementen (2)</i> 76	
4.4.4	<i>Operationeel onderhoud</i>	76
4.5	SEGMENTDEUREN: UITVOERINGSDETAILS.....	77
4.5.1	<i>Referentie-ontwerpen</i>	77
4.5.2	<i>Slibkering met segmentdeuren</i>	80
4.5.3	<i>Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp</i>	81
4.5.4	<i>Ontwerp voor het 2° getijdedok</i>	82
4.6	SEGMENTDEUREN: TECHNISCHE HAALBAARHEID	83
4.6.1	<i>Bouw samen met toegang naar het 2° getijdedok</i>	83
4.6.2	<i>Bouw na afwerking van de toegang naar het 2° getijdedok</i>	84
4.7	SEGMENTDEUREN: OPERATIONELE HAALBAARHEID	84

4.7.1	<i>Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden</i>	84
4.7.2	<i>Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering</i>	85
4.7.3	<i>Operationeel onderhoud</i>	85
4.8	KLEPKERING: UITVOERINGSDETAILS	85
4.8.1	<i>Referentie-ontwerpen</i>	85
4.8.2	<i>Slibkering met opklapbare elementen</i>	87
4.8.3	<i>Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp</i>	88
4.8.4	<i>Ontwerp voor het 2^o getijdedok</i>	90
4.8.5	<i>Variante met draaibare segmentdeuren op horizontale as</i>	91
4.9	KLEPKERING: TECHNISCHE HAALBAARHEID	93
4.9.1	<i>Bouw samen met toegang naar het 2^o getijdedok</i>	93
4.9.2	<i>Bouw na afwerking van de toegang naar het 2^o getijdedok</i>	93
4.10	KLEPKERING: OPERATIONELE HAALBAARHEID	94
4.10.1	<i>Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden</i>	94
4.10.2	<i>Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering</i>	94
4.10.3	<i>Operationeel onderhoud</i>	97
4.11	SLIBKERING MET OPBLAASBARE BALGEN: UITVOERINGSDETAILS	97
4.11.1	<i>Referentie-ontwerpen</i>	97
4.11.2	<i>Slibkering met opblaasbare balgen</i>	100
4.11.3	<i>Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp</i>	101
4.11.4	<i>Ontwerp voor het 2^o getijdedok</i>	101
4.12	BALGSTUWKERING: TECHNISCHE HAALBAARHEID	103
4.12.1	<i>Bouw samen met toegang naar het 2^o getijdedok</i>	103
4.12.2	<i>Bouw na afwerking van de toegang naar het 2^o getijdedok</i>	103
4.13	BALGSTUWKERING: OPERATIONELE HAALBAARHEID	104
4.13.1	<i>Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden</i>	104
4.13.2	<i>Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering</i>	104
4.13.3	<i>Operationeel onderhoud</i>	105
4.14	BELLENSCHERM-KERING: UITVOERINGSDETAILS	105
4.14.1	<i>Referentie-ontwerpen</i>	105
4.14.2	<i>Slibkering met bellenscherm</i>	105
4.14.3	<i>Driedimensionale conceptueel schetsontwerp</i>	106
4.14.4	<i>Ontwerp voor het 2^o getijdedok</i>	107
4.15	BELLENSCHERM-KERING: TECHNISCHE HAALBAARHEID	108
4.15.1	<i>Bouw samen met toegang naar het 2^o getijdedok</i>	108
4.15.2	<i>Bouw na afwerking van toegang naar het 2^o getijdedok</i>	108
4.16	BELLENSCHERM-KERING: OPERATIONELE HAAL-BAARHEID	108

4.16.1	<i>Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden</i>	108
4.16.2	<i>Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering</i>	109
4.16.3	<i>Operationeel onderhoud</i>	109
4.17	OVERZICHT VAN DE ANALYSE VAN MOGELIJKE SLIBKERINGEN	109
5.	FINANCIELE AFWEGING	111
5.1	INLEIDING	111
5.1.1	<i>Aanpak</i>	111
5.1.2	<i>Methode</i>	111
5.2	GEEN SLIBKERING ("NULVARIANTE")	113
5.2.1	<i>Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang</i>	113
5.2.2	<i>Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie</i>	113
5.2.3	<i>Afbraak</i>	113
5.2.4	<i>Exploitatie- en baggerkosten</i>	113
5.2.5	<i>Tabel met kostenraming</i>	113
5.3	SLIBKERING MET ROLDEUREN: FINANCIËLE HAALBAARHEID	115
5.3.1	<i>Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang</i>	115
5.3.2	<i>Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie</i>	115
5.3.3	<i>Afbraak</i>	115
5.3.4	<i>Exploitatie- en baggerkosten</i>	115
5.3.5	<i>Tabel met kostenraming</i>	115
5.4	SLIBKERING MET SEGMENTDEUREN: FINANCIËLE HAALBAARHEID	117
5.4.1	<i>Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang</i>	117
5.4.2	<i>Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie</i>	117
5.4.3	<i>Afbraak</i>	117
5.4.4	<i>Exploitatie- en baggerkosten</i>	117
5.4.5	<i>Tabel met kostenraming</i>	117
5.5	SLIBKERING MET KLEPPEN: FINANCIËLE HAALBAARHEID	119
5.5.1	<i>Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang</i>	119
5.5.2	<i>Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie</i>	119
5.5.3	<i>Afbraak</i>	119
5.5.4	<i>Exploitatie- en baggerkosten</i>	119
5.5.5	<i>Tabel met kostenraming</i>	119
5.6	SLIBKERING MET OPBLAASBARE BALGEN: FINANCIËLE HAALBAARHEID	121
5.6.1	<i>Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang</i>	121
5.6.2	<i>Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie</i>	121
5.6.3	<i>Afbraak</i>	121
5.6.4	<i>Exploitatie- en baggerkosten</i>	121

5.6.5	<i>Tabel met kostenraming</i>	121
5.7	SLIBKERING MET BELLENSCHERM: FINANCIËLE HAALBAARHEID	123
5.7.1	<i>Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang</i>	123
5.7.2	<i>Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie</i>	123
5.7.3	<i>Afbraak</i>	123
5.7.4	<i>Exploitatie- en baggerkosten</i>	123
5.7.5	<i>Tabel met kostenraming</i>	123
5.8	SLIBKERINGEN: OVERZICHTSTABEL	126
6.	CONCLUSIES	127
6.1	OVERZICHT	127
6.2	EFFECTIVITEIT VAN DE SLIBKERING	127
6.3	TECHNISCHE EN OPERATIONELE HAALBAARHEID	129
6.3.1	<i>Bouw bij aanvang, of in een latere fase?</i>	129
6.3.2	<i>Technische en operationele haalbaarheid per variante</i>	129
6.4	FINANCIËLE HAALBAARHEID	130
6.4.1	<i>Nul-variante</i>	130
6.4.2	<i>Variante: "roldeur-kering"</i>	130
6.4.3	<i>Variante: "segmentdeur-kering"</i>	131
6.4.4	<i>Variante: "klepdeur-kering"</i>	131
6.4.5	<i>Variante: "balg-kering"</i>	132
6.4.6	<i>Variante: "bellenscherm-kering"</i>	132
6.5	OVERZICHT VAN DE VARIANTEN	133
6.5.1	<i>Tabel</i>	133
6.5.2	<i>Bespreking</i>	134
6.5.3	<i>Conclusie</i>	135
6.6	EINDCONCLUSIE	136
7.	REFERENTIES	137

Bijlagen

BIJLAGE A	DRIEDIMENSIONALE VOORSTELLINGEN	139
A.1	ROLDEUR-KERING	140
A.2	SEGMENTDEUR-KERING	142
A.3	KLEPDEUR-KERING	144
A.4	BALG-KERING	145
A.5	BELLENSCHERM-KERING	146
BIJLAGE B	OVERZICHTSTABEL KOSTEN	147

Lijst van tabellen

TABEL 2-1: INPUT EN RESULTATEN BEREKENING GOLFHOOGTE EN -PERIODE	20
TABEL 2-2: PROGNOSE AANTAL ZEESCHEPEN IN HET DOK PER JAAR.....	24
TABEL 3-1: AANSLIBBING IN NIEUWE GETIJDOD (MTDS/JAAR) VAN MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERNAUWING', OPGESPLITST IN COMPONENTEN TEN GEVOLGE VAN GETIJVULLING, NEERVORMING EN DENSITEITSSTROMING, RAAI OVER DE MAATREGEL (ZIE FIGUUR 2-9).....	38
TABEL 3-2: AANSLIBBING IN NIEUWE GETIJDOD (MTDS/JAAR) VAN MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERNAUWING', OPGESPLITST IN COMPONENTEN TEN GEVOLGE VAN GETIJVULLING, NEERVORMING EN DENSITEITSSTROMING, RAAI OVER DE LIGGING VAN DE HUIDIGE DIJK (ZIE FIGUUR 2-9)	38
TABEL 3-3: EFFECT OP AANSLIBBING IN DOK VAN MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERHOOGING', OPGESPLITST IN COMPONENTEN TEN GEVOLGE VAN GETIJVULLING, NEERVORMING EN DENSITEITSSTROMING, RAAI OVER DE MAATREGEL (ZIE FIGUUR 2-9).....	42
TABEL 3-4: EFFECT OP AANSLIBBING IN DOK VAN MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERHOOGING', OPGESPLITST IN COMPONENTEN TEN GEVOLGE VAN GETIJVULLING, NEERVORMING EN DENSITEITSSTROMING, RAAI OVER DE LIGGING VAN DE HUIDIGE DIJK (ZIE FIGUUR 2-9)	42
TABEL 3-5: RAMING BENODIGD LUCHTDEBIET (Q_{AIR} IN M ³ /S AAN DE BODEM) VOOR MOGELIJKE DENSITEITSVERSCHILLEN (ε , RIVIER VERSUS DOK) EN BEOOGDE REDUCTIE VAN ZOET-ZOUT UITWISSELING	45
TABEL 3-6: RAMING BENODIGD LUCHTDEBIET (Q_{AIR} IN M ³ /HR AAN DE BODEM) VOOR MOGELIJKE DENSITEITSVERSCHILLEN (ε , RIVIER VERSUS DOK) EN BEOOGDE REDUCTIE VAN ZOET-ZOUT UITWISSELING	45
TABEL 3-7: RAMING EFFECT OP AANSLIBBING IN DOK VAN MAATREGEL 'BELLENSCHERM', OPGESPLITST IN COMPONENTEN TEN GEVOLGE VAN GETIJVULLING, NEERVORMING EN DENSITEITSSTROMING, RAAI OVER DE MAATREGEL (ZIE FIGUUR 2-9).....	49
TABEL 3-8: RAMING REDUCTIE VAN AANSLIBBING TOV DE REFERENTIESIMULATIE BIJ CONTINUE TOEPASSING VAN DE MAATREGEL, TER HOOGTE VAN EEN RAAI OVER DE MAATREGEL (INGANG DOK)	51
TABEL 3-9: AANSLIBBING IN NIEUWE GETIJDOD (MTDS/JAAR) VOOR VERSCHILLENDE OPERATIONELE ALTERNATIEVEN (EN REDUCTIE TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIESITUATIE) – BESTE INSCHATTING.	52
TABEL 3-10: AANSLIBBING IN NIEUWE GETIJDOD (MTDS/JAAR) VOOR VERSCHILLENDE OPERATIONELE ALTERNATIEVEN (EN REDUCTIE TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIESITUATIE) – BOVENGRENS.....	52
TABEL 3-11: RAMING TOTALE ONDERHOUDSKOST (SLIB) VOOR DE HUIDIGE SITUATIE, VARIANT P5-2 EN DE VERSCHILLENDE OPERATIONELE ALTERNATIEVEN MET SLIBREDUCERENDE MAATREGEL	55
TABEL 3-12: RAMING TOTALE ONDERHOUDSKOST (SLIB) VOOR DE HUIDIGE SITUATIE, VARIANT P5-2 EN VERSCHILLENDE OPERATIONELE ALTERNATIEVEN MET SLIBREDUCERENDE MAATREGEL (BOVENGRENS)	56
TABEL 4-1: OVERZICHT ALTERNATIEVE SLIBKERINGEN	109
TABEL 5-1: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR NUL-VARIANTE.....	114

TABEL 5-2: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR ROLDEURVARIANTE (GESCHAKELDE UITVOERING), VERGELEKEN MET NUL-VARIANTE	116
TABEL 5-3: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR SEGMENTDEURVARIANTE, VERGELEKEN MET NUL-VARIANTE	118
TABEL 5-4: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR KLEPVARIANTE, VERGELEKEN MET NUL-VARIANTE.....	120
TABEL 5-5: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR BALGVARIANTE, VERGELEKEN MET NUL-VARIANTE.....	122
TABEL 5-6: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR BELLENSCHERMVARIANTE, GEBOUWD IN HET DROGE, VERGELEKEN MET NUL-VARIANTE	124
TABEL 5-7: KOSTEN EN OPBRENGSTEN VOOR BELLENSCHERMVARIANTE, GEBOUWD IN HET NATTE, VERGELEKEN MET NUL-VARIANTE	125
TABEL 5-8: OVERZICHTSTABEL KOSTEN VOOR DIVERSE VARIANTEN	126
TABEL 6-1: OVERZICHTSTABEL HAALBAARHEID VOOR DIVERSE VARIANTEN	133

Lijst van figuren

FIGUUR 2-1: ILLUSTRATIE VAN ROLDEUREN	3
FIGUUR 2-2: ILLUSTRATIE VAN DE SEGMENTDEUREN VAN DE MAESLANTKERING IN ROTTERDAM	4
FIGUUR 2-3: ILLUSTRATIE VAN OPKLAPBARE ELEMENTEN	5
FIGUUR 2-4: ILLUSTRATIE VAN EEN BALGSTUW IN RAMSPOL, NEDERLAND	6
FIGUUR 2-5: ILLUSTRATIE VAN HORIZONTALE SEGMENTDEUREN OP DE EEMS, DUITSLAND	6
FIGUUR 2-6: VOORBEELD VAN DE WERKING VAN EEN TRADITIONEEL BELLENSCHERM IN EEN SLUIS (BRON: BEELDBANK RIJKSWATERSTAAT).....	7
FIGUUR 2-7: TOEPASSING VAN INNOVATIEF BELLENSCHERM IN DE KRAMMERSLUIZEN (BRON: BEELDBANK RIJKSWATERSTAAT)	8
FIGUUR 2-8: VARIANT P5 – 2: BASISVORM MET EEN ZWAAIZONE (600M) IN HET DOK.	12
FIGUUR 2-9: LOCATIE VOOR DE BEPALING VAN DE WATER- EN SEDIMENTUITWISSELING, LINKS: RAAI TER HOOGTE VAN BESTAANDE DIJK LANGS DE RIVIER; RECHTS: RAAI TER HOOGTE VAN DE OVERGANG NAAR DE VERDIEPTE ZONE	12
FIGUUR 2-10: DIEPTEGEMIDDELDE STROOMSNELHEID VOOR VARIANT P5-2 ROND MAXIMUM VLOEDSTROMING, GEMIDDELD TIJ	13
FIGUUR 2-11: VERLOOP VAN HET GETIJ [M] AAN DE INGANG VAN 2 ^E GETIJDODOK OVER EEN PERIODE VAN 16 DAGEN	14
FIGUUR 2-12: BEREKENDE VARIATIE VAN DE SALINITEIT (MAXIMALE, MINIMALE EN GEMIDDELDE (MEAN) LANGSHEEN DE TALWEG VAN HET ESTUARIUM VOOR EEN GEMIDDELD TIJ	15
FIGUUR 2-13: OOSTERWEEL (-2,3 METER TAW). MAXIMALE EN MINIMALE SALINITEIT PER GETIJ EN BOVENDEBIET TE SCHELLE, APRIL 2012 – MAART 2014 (IMDC, 2016A)	16
FIGUUR 2-14: OOSTERWEEL (-2,3 METER TAW) SALINITEITS- EN TIJVERSCHIL TE OOSTERWEEL, APRIL 2012 – MAART 2014 (IMDC, 2016A)	16

FIGUUR 2-15: BOEI84 (-5,6 METER TAW). MAXIMALE EN MINIMALE SALINITEIT PER GETIJ EN BOVENDEBIET TE SCHELLE, APRIL 2012 – MAART 2014 (IMDC, 2016A)	17
FIGUUR 2-16: BOEI84 (-5,6 METER TAW) SALINITEITS- EN TIJVERSCHIL TE OOSTERWEEL, APRIL 2012 – MAART 2014 (IMDC, 2016A)	17
FIGUUR 2-17: PROSPERPOLDER (-1,5 METER TAW) MAXIMALE EN MINIMALE SALINITEIT PER GETIJ EN DAGGEMIDDELD BOVENDEBIET TE SCHELLE, APRIL 2012 – MAART 2014 (IMDC, 2016A).....	18
FIGUUR 2-18: PROSPERPOLDER (-1,5 METER TAW) SALINITEITS- EN TIJVERSCHIL TE PROSPERPOLDER, APRIL 2012 – MAART 2014 (IMDC, 2016A).....	18
FIGUUR 2-19: EXTREME WAARDEN ANALYSE VAN DE WINDDATA TE WOENSDRECHT VOOR DE WINDRICHTING 10°-60° (N-NE)	21
FIGUUR 2-20: EXTREME WAARDEN ANALYSE VAN DE WINDDATA TE WOENSDRECHT VOOR DE WINDRICHTING 210°-250°	22
FIGUUR 2-21: WINDROOS VOOR DE GEREGEREESTREERDE WINDSNELHEID TE WOENSDRECHT [M/S]	23
FIGUUR 2-22: INDICATIE VAN DOOR WIND OPGEWekte GOLVEN	23
FIGUUR 3-1: BODEMLIGGING VAN HET GEREDUCEERDE SCALDIS MODEL.....	27
FIGUUR 3-2: OVERZICHT VAN DE DRIE UITWISSELINGSCOMPONENTEN VOLGENS (VANLEDE EN DUJARDIN, 2014).....	28
FIGUUR 3-3: IMPLEMENTATIE TIJDELIJKE VERNAUWING IN HET NUMERIEKE REKENROOSTER. BOVEN: BATHYMETRIE [M], ONDER: DETAIL VAN DE OBSTRUCTIES (ZWARTE OMKADERING)	30
FIGUUR 3-4: SNELHEIDSMAGNITUDE [M/S] OP MOMENT VAN HW (NORMAAL GETIJ) VOOR HET SCENARIO ZONDER SLIBREDUCERENDE MAATREGEL. BOVEN: GEMIDDELTE STROMING IN BOVENSTE HELFT WATERKOLOM, ONDER: GEMIDDELTE STROMING IN ONDERSTE HELFT WATERKOLOM.....	31
FIGUUR 3-5: SNELHEIDSMAGNITUDE [M/S] OP MOMENT VAN HW (NORMAAL GETIJ) VOOR HET SCENARIO MET TIJDELIJKE VERNAUWING. BOVEN: GEMIDDELTE STROMING IN BOVENSTE HELFT WATERKOLOM, ONDER: GEMIDDELTE STROMING IN ONDERSTE HELFT WATERKOLOM.	32
FIGUUR 3-6: BEELD VAN HET WATERPEIL IN DE ONMIDDELLIJKE OMGEVING VAN DE SLIBREDUCERENDE MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERNAUWING' BIJ MAXIMAAL WATERSTANDSVerschil (= 2 CM). OP DE FIGUUR IS EVENEENS DE LOCATIE VAN DE PUNTEN NORTH CENTER AANGEDUID.....	33
FIGUUR 3-7: WATERPEIL (IN MTAW, BLAUWE CURVE) EN Verschil IN WATERPEIL OPWAARTS EN AFWAARTS VAN DE MAATREGEL (IN CENTIMETERS, RODE CURVE).....	33
FIGUUR 3-8: DETAILBEELD VAN WATERNIVEAU ROND SPRINGTIJ. TIJDSTIP MAXIMAAL WATERNIVEAU = 16:30 U, TIJDSTIP MAXIMAAL Verschil = 17:15 U. WATERPEIL (IN MTAW, BLAUWE CURVE) EN Verschil IN WATERPEIL OPWAARTS EN AFWAARTS VAN DE MAATREGEL (IN CENTIMETERS, RODE CURVE).....	34
FIGUUR 3-9: AANSLIBBING IN HET DOK DOOR DENSITEITSSTROMING (BOVEN, [KG DROGE STOF]), DIEPTEGEMIDDELTE SALINITEIT IN DE RIVIER EN HET DOK (MIDDEN, [PSU]) EN WATERNIVEAU IN HET MIDDEN VAN DE INGANG NAAR HET DOK (ONDER, [M]) VOOR DE REFERENTIESIMULATIE	37
FIGUUR 3-10: AANSLIBBING IN HET DOK DOOR DENSITEITSSTROMING (BOVEN, [KG DROGE STOF]), DIEPTEGEMIDDELTE SALINITEIT IN DE RIVIER EN HET DOK (MIDDEN, [PSU]) EN	

WATERNIVEAU IN HET MIDDEN VAN INGANG NAAR HET DOK (ONDER, [M]) VOOR DE MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERNAUWING'	37
FIGUUR 3-11: IMPLEMENTATIE TIJDELIJKE VERHOOGING (ORANJE ZONE TUSSEN DE DOORSTROOMOPENING).....	39
FIGUUR 3-12: SNELHEIDSMAGNITUDE [M/S] OP MOMENT VAN MAXIMUM SNELHEID VOOR HET SCENARIO MET TIJDELIJKE VERHOOGING. BOVEN: GEMIDDELDE STROMING IN BOVENSTE HELFT WATERKOLOM, ONDER: GEMIDDELDE STROMING IN ONDERSTE HELFT WATERKOLOM.	40
FIGUUR 3-13: AANSLIBBING IN HET DOK DOOR DE DENSITEITSSTROMING (BOVEN, [KG DROGE STOF]), DIEPTEGEMIDDELDE SALINITEIT IN DE RIVIER EN HET DOK (MIDDEN, [PSU]) EN WATERNIVEAU IN HET MIDDEN VAN DE INGANG NAAR HET DOK (ONDER, [M]) VOOR DE MAATREGEL 'TIJDELIJKE VERHOOGING'	42
FIGUUR 3-14: THEORETISCHE WERKING VAN EEN BELLENSCHERM (KERSTMA ET AL., 1994)	43
FIGUUR 3-15: REDUCTIE VAN ZOET-ZOUT WATERUITWISSELING BIJ GEBRUIK VAN BELLENSCHERMEN (KERSTMA ET AL., 1994)	44
FIGUUR 4-1: OVERZICHT VAN 2 ^E GETIJDODOK, NUL -VARIANTE "P5-2", MET VERNAUWDE TOEGANG AAN SCHELDEZIJDE. DE LIGPLAATS VOOR BINNENSCHEPEN IS OP DE LINKEROEVER VAN DE SCHELDE, AAN DE ZUIDZIJDE VAN DE TOEGANG NAAR HET 2 ^E GETIJDODOK.	57
FIGUUR 4-2: 3D-MODEL VAN EEN NIEUWE ROLDEUR VOOR DE SLUIS VAN IJMUIDEN. DE LUCHTKIST BEVINDT ZICH OP HALVE HOOGTE. ER IS EEN WATERKERENDE PLAAT AAN WEERSZIJDEN VAN DE STRUCTUUR	63
FIGUUR 4-3: CONCEPT VOOR ONDERROLWAGEN, VOOR NIEUWE SLUISDEUR IN IJMUIDEN	64
FIGUUR 4-4: CONCEPT VOOR RAIL VAN ONDERROLWAGEN, VOOR NIEUWE SLUISDEUR IN IJMUIDEN.....	64
FIGUUR 4-5: CONCEPT VOOR OPHANGING VAN ROLDEUR AAN BOVENROLWAGEN, MET ZIJDELIJSE GELEIDINGSWIELEN, MET CONCEPT VOOR AANDRIJVING (MOTORREDUCTOREN, INGRIJPEND OP HORIZONTALE TANDLATTEN, NAAST DE LOOPRAILS VAN DE BOVENROLWAGEN. PROJECT VOOR NIEUWE SLUISDEUR IN IJMUIDEN.....	65
FIGUUR 4-6: CONCEPT VOOR AANDRIJVING VAN ROLDEUR MET 2 REDUNDANTE LIERWERKEN, OPGESTELD AAN WEERSZIJDEN VAN DE DEURKAMER. DE ROLDEUR BEVINDT ZICH LINKS OP DE SCHETS, IN GESLOTEN STAND. VARIANTE AANDRIJVING VOOR NIEUWE SLUISDEUR IN IJMUIDEN	65
FIGUUR 4-7: TRANSPORT VAN EEN NIEUWE ROLDEUR VOOR HET PANAMA-KANAAL. DE LUCHTKIST BEVINDT ZICH ONDERAAN. ER IS EEN WATERKERENDE PLAAT AAN WEERSZIJDEN VAN DE STRUCTUUR (LINKS EN RECHTS OP DE FOTO).....	66
FIGUUR 4-8: 3D-ZICHTEN VANUIT SCHELDE EN DOK OP SLIBKERING (ROLDEUR-TYPE)	68
FIGUUR 4-9: OPSTELLING ROLWAGEN-SYSTEEM IN DOORVAART. ZICHT VANUIT DOK OP SLIBKERING.....	68
FIGUUR 4-10: DETAILZICHT VAN ROLWAGEN-ELEMENTEN (CONCEPT)	69
FIGUUR 4-11: MAESLANTKERING ROTTERDAM.....	78
FIGUUR 4-12: 3D-ZICHTEN VANUIT SCHELDE EN DOK OP SLIBKERING (SEGMENTDEUR- TYPE)	81

FIGUUR 4-13: WERKINGSPRINCIPE BIJ OPRICHTEN VAN DE KERING. LUCHT WORDT INGEBLAZEN VOORAAN (BOVENIN) DE KLEP, TERWIJL HET WATER ONDERAAN UITSTROOMT (LINKS) OPGERICHTE STAND VAN DE KLEP (RECHTS).	86
FIGUUR 4-14: 3D-ZICHT VANUIT SCHELDE OP SLIBKERING (KLEPDEUR-TYPE) MET ACHTERLIGGEND HET 2 ^E GETIJDOK	89
FIGUUR 4-15: 3D-ZICHTEN VANUIT OP SLIBKERING (KLEPDEUR-TYPE)	90
FIGUUR 4-16: HOOGWATERKERING OP DE EEMS. DE “MAIN SHIPPING OPENING” MEET 60 M, EN IS UITGERUST MET EEN SEGMENTDEUR MET EEN HORIZONTALE AS.....	91
FIGUUR 4-17: KERING MET SEGMENTDEUREN MET HORIZONTALE AS, OP DE THEEMS. 1 SEGMENTDEUR BEVINDT ZICH IN DE ONDERHOUDSPOSITIE (VOLLEDIG NAAR BOVEN GEDRAAI) TUSSEN 2 PIJLERS. GROOTSTE DOORVAARTOPENING = 200 FT (61 M). BRON: WIKIPEDIA.....	92
FIGUUR 4-18: KERING IN RAMSPOL, IN GESLOTEN STAND.....	98
FIGUUR 4-19: VERBAND TUSSEN BREEDTE ONDERAAN, STRAAL EN HOOGTE VAN DE BALG	99
FIGUUR 4-20: DOORSNEDE VAN RAMSPOL-KERING.....	99
FIGUUR 4-21: 3D-ZICHT VANUIT SCHELDE OP SLIBKERING (BALG-TYPE) MET ACHTERLIGGEND HET 2 ^E GETIJDOK	101
FIGUUR 4-22: 3D-ZICHT VANUIT DOK NAAR SLIBKERING (BALG-TYPE). DOORSNEDE MET FIGURATIE VAN TOEGANGSTUNNEL ONDER DE SLIBKERING	101
FIGUUR 4-23: PROJECT MET BALGSTUW IN MEERDERE ELEMENTEN, ZONDER TUSSENLIJGGE CONSTRUCTIES	102
FIGUUR 4-24: 3D-ZICHT VANUIT SCHELDE OP SLIBKERING (BELLENSCHERM-TYPE) MET ACHTERLIGGEND HET 2 ^E GETIJDOK	106
FIGUUR 4-25: 3D-VOORSTELLING VAN DE BELLENSCHERM UITVOERING (PRINCIPE)	106

1. INLEIDING

1.1 DE OPDRACHT

Als onderdeel van de zoektocht naar extra containercapaciteit voor de haven van Antwerpen wordt een strategische Milieu Effecten Rapportage (s-MER) opgesteld. Ter ondersteuning van dit proces werd door de afdeling Maritieme Toegang van de Vlaamse Overheid een bestelling geplaatst voor “het opstellen van een aantal rapporten waarin inzicht wordt gegeven betreffende de aanpassingen die relevant kunnen zijn aan de vaargeul naar de Scheldehavens in relatie tot de realisatie van bijkomende containercapaciteit of andere capaciteiten voor het versterken van de concurrentiepositie van de haven van Antwerpen”. In het kader van deze opdracht zijn volgende rapporten opgeleverd:

- Technisch Rapport modellering (I/RA/11498/17.062/ABR) (IMDC, 2018a);
- Interpretatie Rapport (I/RA/11498/17.085/DDP) (IMDC, 2018b).

Aanvullend aan deze opdracht werden aan IMDC door Afdeling Maritieme Toegang en door het Havenbedrijf Antwerpen bijkomende analyses van varianten op het 2^e getijdedok zoals in de hierboven vermelde studie gevraagd. De analyse betrof de effecten van varianten van het getijdedok op de hydrodynamica en de uitwisselingsvolumes van water en sediment in deze dokken. In het kader van de aanvullende (gecombineerde) opdracht werd het volgende rapport opgeleverd:

- Aanvullend Onderzoek Getijdedok Varianten (I/RA/11543/18.030/VBA) (IMDC, 2018c).

De voorliggende rapportage kadert in deze zoektocht en betreft een Quick Scan Slibwerende constructies aan de ingang van een nieuw getijdedok. De vraag voor een dergelijke studie werd aan IMDC gericht door Havenbedrijf Antwerpen NV binnen de context van de reeds uitgevoerde simulaties en onderzoeken ten behoeve van de ECA studie. De studie werd uitgevoerd in samenwerking met Tractebel Engineering.

1.2 DOEL VAN HET RAPPORT

Op het actorenoverleg van 28/2/2018 werd in de workshop het idee naar voren gebracht om een nieuw getijdendok te voorzien van slibwerende constructies nabij de ingang. Dit om het benodigde onderhoudsbaggerwerk en de daaruit voortvloeiende effecten zoveel mogelijk te mitigeren.

De maatregel komt in een insteek vanuit de Schelde en moet toestaan dat:

- Binnenvaart ongehinderd door de opening kan varen over het volledig getij;
- De grootste containerschepen kunnen binnenvaren (l=430m, b=63m, diepgang = 14m).

Hierbij werd gedacht aan volgende slibwerende constructies: roldeuren, segmentdeuren, opklapbare elementen, balgstuw, draaibare segmentdeuren (op horizontale as) (momenteel niet weerhouden, zie verder), alsook het gebruik van een bellenscherm.

De Quick Scan heeft als doel om zowel de technische, financiële als operationele haalbaarheid van dergelijke maatregelen te onderzoeken. Het onderzoek heeft betrekking op de volgende aspecten:

Technische haalbaarheid:

1. Op welke sedimentatieprocessen kan ingespeeld worden?
2. Verwachte reductie in sedimentatie / onderhoud;
3. Inschatting dimensies.

Financiële haalbaarheid:

4. Ruwe raming van grootte-orde van kostprijs voor aanleg, onderhoud en exploitatie;
5. Verschil impact tussen aanleg bij aanvang en aanleg tijdens exploitatie;
6. Besparing in onderhoudsbaggerwerk.

Operationele haalbaarheid:

7. Bedrijfszekerheid? Risico op uitval en gevolgen daarvan;
8. Frequentie van beweging;
9. Openings- en sluitingstijden.

1.3 LEESWIJZER

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van verschillende mogelijke maatregelen om de slib-import in een getijdedok tegen te gaan. Gezien hun aard worden die opgedeeld in een drietal types, met elk hun eigen functionele eisen. Tevens wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van de fysische randvoorwaarden in de rivier en operationele randvoorwaarden in de vorm van scenario's van het aantal verwachte schepen.

Voor de drie verschillende functionele type maatregelen wordt in Hoofdstuk 3 ingegaan op het effect op hydrodynamica en sedimentuitwisseling. Hierbij wordt onder andere gebruik gemaakt van een numeriek stromingsmodel. Voor de drie type maatregelen wordt (de reductie op) het onderhoudsvolume geschat, en de daarmee geassocieerde kosten.

In Hoofdstuk 4 worden de mogelijke maatregelen technisch uitgewerkt, waarbij vanuit een bestaande referentie-uitvoering wordt nagegaan hoe deze kan toegepast worden voor de slibkering van het 2^e getijdedok.

In Hoofdstuk 5 wordt voor de diverse varianten een raming voorgesteld voor de bouwkosten bij gelijktijdige uitvoering met het 2^e getijdedok, en voor een eventuele latere toevoeging. Per variatie wordt de aanvankelijke investering vergeleken met de verwachte jaarlijkse besparingen op de baggerkosten, na aftrek van de exploitatiekosten van de kering.

In Hoofdstuk 6 worden de resultaten van de analyse in de voorgaande hoofdstukken samengevat, en wordt uiteindelijk een eindconclusie gepresenteerd.

2. SLIBWERENDE CONSTRUCTIES

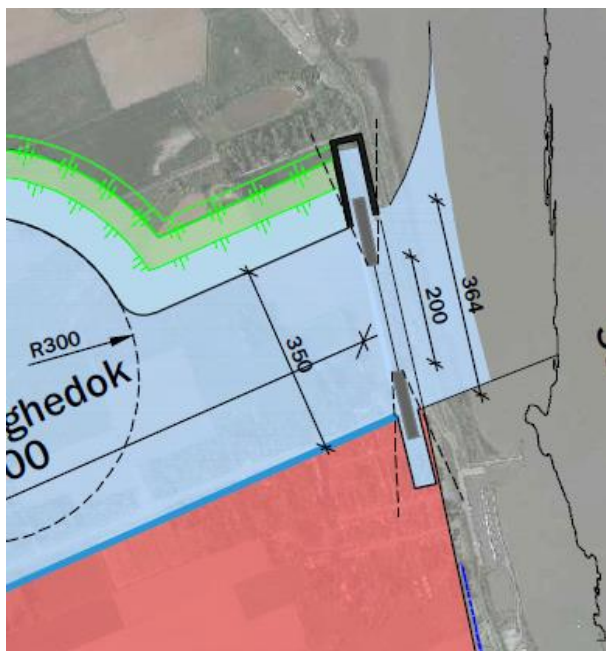
2.1 OVERZICHT MOGELIJKE CONSTRUCTIES

In deze paragraaf worden de verschillende mogelijke constructies die voorwerp zijn van het voorliggend onderzoek beschreven.

2.1.1 Roldeuren

Een voor de hand liggende oplossing is het voorzien van deuren nabij de ingang die de opening tussen rivier en dok versmallen, zodanig dat de binnenvaart permanent kan binnen- en buitenvaren, en die bij aankomst van een (groot) zeeschip volledig geopend worden.

De vaste constructies laten een opening van 300m breed, na sluiting van de bewegende constructie blijft een restopening van minimaal 80-120 m (wenselijk, afhankelijk van haalbaarheid). De afsluiting kan gebeuren met behulp van roldeuren of segmentdeuren (zie volgende paragraaf). Bij roldeuren wordt gedacht aan een type deur vergelijkbaar met de sluisdeuren in de haven van Antwerpen. Deze deuren worden in tegenstelling tot de sluisen, aan beide zijden van het dok geplaatst en overspannen circa één derde van de dokbreedte (zie figuur hieronder). Streefdoel is om de deuren te openen, te sluiten in maximaal 15 minuten.



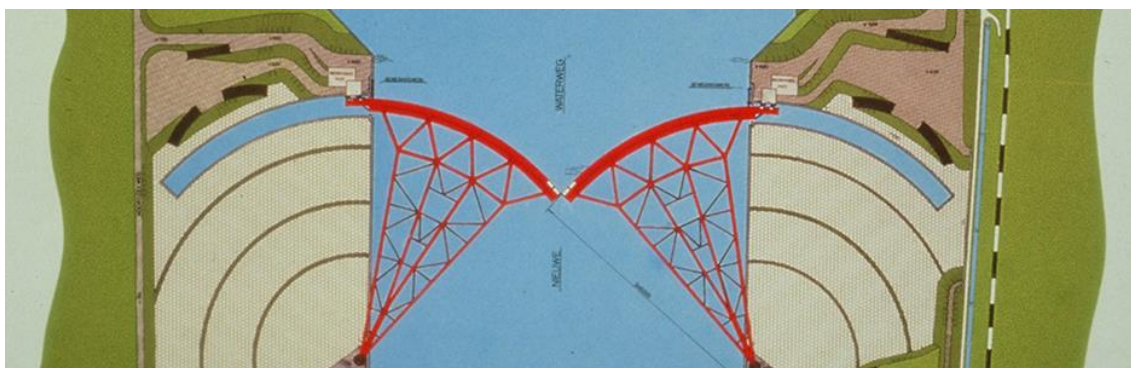
Figuur 2-1: Illustratie van roldeuren

Door het versmallen van de opening kan direct worden ingegrepen op de uitwisselingsprocessen van water en slib. In de verschillende onderzochte varianten van het getijdedok, en ook bij het Deurganckdok (vóór de aanleg van de Current Deflection Wall), draagt de neervorming in sterke mate bij aan de aanslibbing in het dok. De neervorming hangt sterk samen met de breedte van de opening. Door de opening te versmallen zou ook de import van slib door neervorming aanzienlijk kunnen afnemen. Tevens wordt er een effect

verwacht op de uitwisseling die plaats vindt door dichtheidsstroming (uitwisseling van zoet en zout water). Deze vindt plaats over de gehele breedte van het dok. Een versmalling doet deze uitwisseling enerzijds afnemen, anderzijds wordt de uitwisseling in de zone die niet wordt afgesloten versterkt. Door de maatregel wordt uiteraard niet ingegrepen in het getijvolume van het dok, en de daaraan gerelateerde uitwisseling.

2.1.2 Segmentdeuren

Segmentdeuren zijn drijvende deuren die rond een as of een bolscharnier vanuit een kamer de rivier (of in dit geval het getijdedok) op draaien, en vervolgens op een drempel worden geplaatst. Qua vormgeving kan hierbij gedacht worden aan de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg in Rotterdam (Maeslantkering).



Figuur 2-2: Illustratie van de segmentdeuren van de Maeslantkering in Rotterdam

Opnieuw is het de bedoeling de deuren niet volledig te sluiten, zodanig dat door de resterende opening binnenvaart permanent kan binnen- en buitenvaren. Bij aankomst van een (groot) zeeschip worden de deuren volledig geopend. De vaste constructies laten een opening van 300 m breed; na sluiting van de bewegende constructie blijft een restopening van minimaal 80-120 m (wenselijk, afhankelijk van haalbaarheid). Streefdoel is om de deuren te openen, te sluiten in maximaal 15 minuten.

De werking van de segmentdeuren, ten aanzien van de reductie van de uitwisselingsprocessen verantwoordelijk voor de aanslibbing, is gelijkaardig aan de roldeuren (zie hierboven).

2.1.3 Opklapbare elementen

In plaats van de opening horizontaal af te sluiten kan overwogen worden om de opening (gedeeltelijk) af te sluiten door opklapbare elementen, een systeem zoals toegepast in Venetië (zie figuur). De vaste constructies laten een opening van 300 m breed die aan de bodem normaliter wordt afgesloten door de opklapbare elementen. Deze elementen blijven ook in gesloten toestand beweegbaar; ze worden niet vastgezet. De maximale hoogte van de kleppen onder laagwater is circa 6m om doorvaart van binnenschepen te garanderen, die dan over de gesloten deuren kunnen heenvaren. Streefdoel is om de kleppen te openen, te sluiten in maximaal 15 minuten.



Figuur 2-3: Illustratie van opklapbare elementen

Door het verhogen van de drempel kan direct worden ingegrepen op de uitwisselingsprocessen van water en slib en dan in het bijzonder op de dichtheidstroming. Aan het begin van de vloedfase is het dok deels of volledig gevuld met zoet water en stroomt er zoutwater in de Schelde. Hierdoor treden er dichtheidsverschillen op tussen dok en rivier, waardoor zoutwater langs de bodem het dok zal instromen en zoet water het dok langs de bovenzijde verlaat. Tijdens eb fase vindt het omgekeerde proces plaats en stroomt zoet water langs het oppervlakte het dok in en stroomt zoutwater langs de bodem naar de rivier. Het water dat het dok in stroomt, neemt sediment mee (afhankelijk van de verticale menging meestal meer aan de bodem dan aan het oppervlakte). In het dok krijgt het sediment de gelegenheid om te bezinken, en blijft het dus achter in het dok.

Door de drempel te verhogen wordt enerzijds de hoogte waarop de dichtheidsstroming kan plaatsvinden verkleind, maar worden ook de hydrostatische drukverschillen verkleind die de drijvende kracht zijn voor dit uitwisselingsproces. Er zal minder water worden uitgewisseld. Ook wordt er een effect verwacht op de uitwisseling die plaats vindt door neervorming. Ook deze vindt plaats over een gereduceerde hoogte, waardoor het volume van het uitgewisselde water zal afnemen. Tevens worden de waterlagen die typisch meer sediment bevatten (aan de bodem) door deze verhoogde drempel geblokkeerd. Door de maatregel wordt uiteraard niet ingegrepen in het getijvolume van het dok, maar door de (verlaagde) concentratie van het naar binnen stromende water mogelijk wel op de daaraan gerelateerde uitwisseling.

2.1.4 Balgstuw

Deze oplossing voorziet in een opblaasbare balgstuw (conform de stuw van Ramspol, bij Kampen in Nederland) die over de volledige breedte van 300 m de opening gedeeltelijk verticaal kan afsluiten. Een balgstuw is een rubberen zak welke met zowel water als lucht wordt gevuld. In geopende toestand bevindt de zak zich in een kamer onder het niveau van de rivierbodem. In het geval van Ramspol komt de structuur in gesloten toestand boven water. In de hier voorziene toepassing is de maximale hoogte van de stuw circa 6 m onder laagwater.



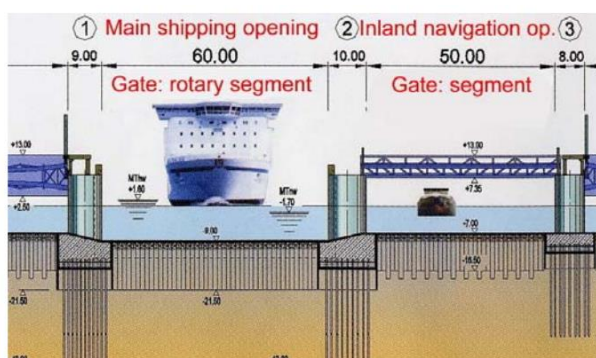
Figuur 2-4: Illustratie van een balgstuw in Ramspol, Nederland

De werking van de balgstuw, ten aanzien van de reductie van de uitwisselingsprocessen verantwoordelijk voor de aanslibbing, is gelijkaardig aan de opklapbare elementen (zie hierboven).

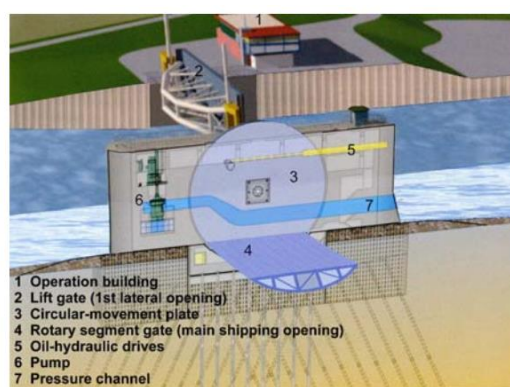
2.1.5 Draaibare segmentdeuren (op horizontale as)

Thans worden andere systemen/oplossingen zoals onder meer de draaibare segmentdeuren die toegepast zijn in de kering op de Eems en hieronder schetsmatig weergegeven niet weerhouden voor onderzoek. De werking van dit type segmentdeuren, ten aanzien van de reductie van de uitwisselingsprocessen verantwoordelijk voor de aanslibbing, is gelijkaardig aan de opklapbare elementen (zie hierboven). In het geval van de horizontale segmentdeuren zoals hieronder weergegeven, levert de afstand tussen de structuren te grote beperkingen op voor de scheepvaart.

Nota: De technische (on)haalbaarheid van deze variante wordt in Hoofdstuk 4 behandeld in de paragrafen over de opklapbare elementen (klepkering).



View of the main shipping and inland navigation opening from West; water and structure levels



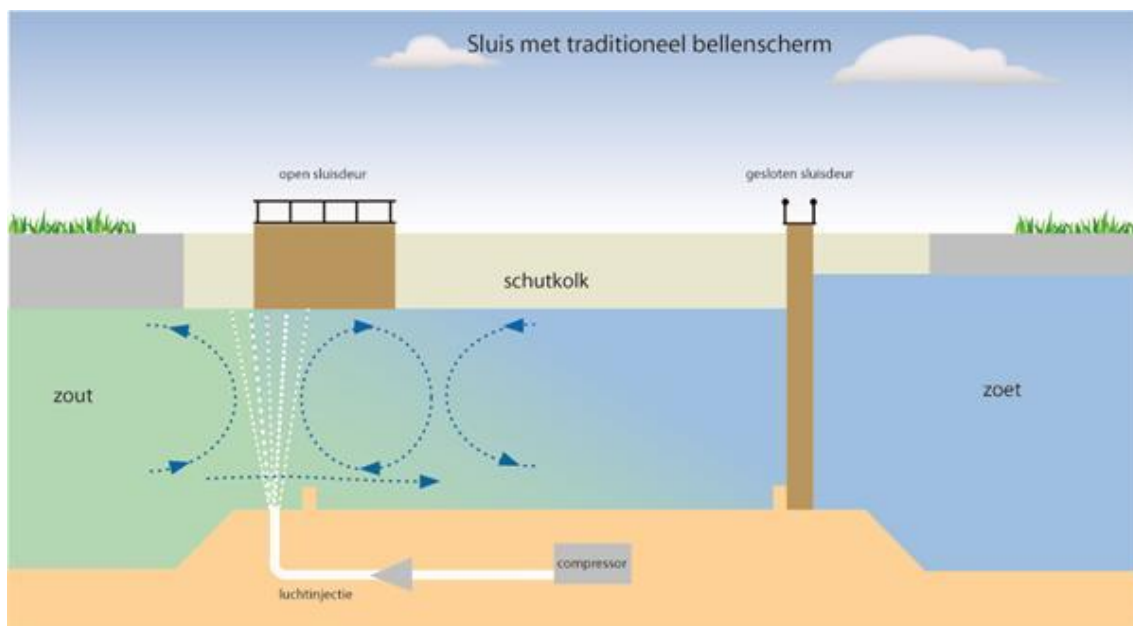
Cross section rotary segment gate

Figuur 2-5: Illustratie van horizontale segmentdeuren op de Eems, Duitsland

2.1.6 Bellenscherm

Een bellenscherm wordt over het algemeen toegepast als maatregel om de indringing van zout water in een gebied met zoet water te vertragen, bijvoorbeeld onmiddellijk achter de deuren van een zeesluis die het zoute water achter de sluis scheidt van het zoete water in de sluis.

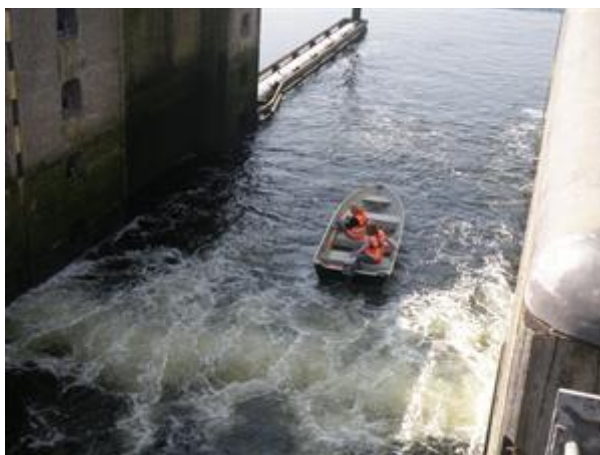
Een bellenscherm wordt gecreëerd door, na het openen van de sluisdeuren, vanuit de bodem van de locatie die in beschouwing wordt genomen een continue stroom luchtbellen aan het water toe te voegen over de volledige breedte van de zone waar indringing van zoet water dient voorkomen te worden (zie Figuur 2-6). Door het luchtdebiet danig te regelen, kan aldus een mengzone ter hoogte van het bellenscherm ontstaan met dezelfde dichtheid als het zoete water. De uitwisseling van zout en zoet water gebeurt dan uitsluitend in deze zone, waarbij de dichtheid van de mengzone in stand wordt gehouden door het toevoegen van de luchtbellen. Er wordt opgemerkt dat van een volledige blokkade van het zoute water geen sprake is, maar dat de maatregel vertragend werkt gedurende de (relatieve korte) periode dat de sluisdeuren geopend zijn.



*Figuur 2-6: Voorbeeld van de werking van een traditioneel bellenscherm in een sluis
(Bron: Beeldbank Rijkswaterstaat)*

Toepassing van of onderzoek naar dergelijke schermen worden genoemd voor de Volkeraksluis (onderzoek), de Krammersluis (pilot, zie Figuur 2-7), de Stevinluis (pilot), de Lorentzsluizen en de sluizen van IJmuiden (Kerstma *et al.*, 1994; Boeters *et al.*, 2011; Weber, 2012). Details zijn echter niet bekend. In recente innovaties zijn dergelijke systemen uitgebreid met een zoetwaterinjectie, om de zoutwaterintrusie verder tegen te gaan en de dichtheidsverschillen aan weerszijde van het bellenscherm te verkleinen.

Een andere genoemde toepassing betreft het tegengaan van zoutintrusie op de Nieuwe Waterweg in Rotterdam, waar het bellenscherm zou moeten zorgen voor een betere menging van de waterkolom en daarmee het voorkomen van een zouttong.



*Figuur 2-7: Toepassing van innovatief bellenscherm in de Krammersluizen
(Bron: Beeldbank Rijkswaterstaat)*

De relevante tijdschaal wordt bepaald door de tijd die nodig is om het zoete water in de sluiskolk te vervangen door zoutwater. Dit hangt dus samen met de snelheid waarmee het zoutfront zich door de sluiskolk verplaatst en de lengte van de sluiskolk (of het uitwisselingsdebiet en het volume van de sluiskolk). Voor een sluis dient de tijdschaal beschouwd te worden in relatie tot de duur waarover de deuren geopend zijn.

Met de toepassing in het getijdedok wordt hetzelfde beoogd, namelijk het vertragen van de uitwisseling van zoet en zoutwater en daarmee de sedimentuitwisseling tussen rivier en het dok door het ingrijpen op de dichtheidsverschillen tussen de rivier en het dok. De relevante tijdschaal voor een getijdedok dient vergeleken te worden met de duur tussen HW- en LW-kentering (en vice versa). Verschillen met een sluis zijn vooral de breedte van de huidige toepassing (300m), het volume van het dok (de tijdschaal), en de dichtheidsverschillen tussen rivier en dok (eerder kleiner).

Ook andere toepassingen worden beschreven in de literatuur, bijvoorbeeld voor het dempen van geluid of om de verspreiding van olielekken tegen te gaan. Ook in de baggerindustrie worden bellenschermen (air curtains) gebruikt om verspreiding van fijn sediment tegen te gaan buiten een stortzone (Cutroneo *et al.*, 2014). Over het algemeen betreft het een toepassing over beperkte breedte en diepte, met relatief kalme hydrodynamische condities, om de ontwikkeling van de lucht-waterstroom niet te verstoren (Royal Boskalis Westminster NV, s.d.). Details over de lokale omstandigheden en de set-up van het luchtscherm worden in de geraadpleegde literatuur niet gegeven.

In het verleden werden reeds bellenschermen ingezet om sedimentatie (depositie) in een haven te voorkomen. In bepaalde gevallen wordt het bellenscherm niet ingezet om sedimentimport te blokkeren, maar om sedimentatie (het uitzakken van sediment) te voorkomen (John E. Chapman, P.E. and W. Scott Douglas, s.d.).

In Vorhafen, Hamburg (PIANC, 2008) werd als alternatief voor een CDW een luchtbellenscherm getest met als doel 1/ om lokaal de viscositeit van het water, en daarmee de kracht van de neer te verminderen, en 2/ om slib in suspensie te houden, zodanig dat hij tijdens kentering niet zou uitzakken en eb terug naar de rivier zou stromen. In 1991 en 1992 werd een test uitgevoerd, waarbij over een deel van de toegang (100 m) tijdens vloed een

bellenscherm werd voorzien met een luchtdebiet van $110 \text{ m}^3/\text{s}^1$ (met een totaal vermogen compressoren van 1100 kW en een geschatte operationele kost van 1,2 mio Euro/jaar). Hoewel de neervorming merkbaar werd beïnvloed, werd er geen afname van de aanslibbing waargenomen, vermoedelijk vanwege flocculatie (hogere valsnelheden) en een toename van turbulentie aan de bodem.

Ook in de Rotterdamse haven werden experimenten uitgevoerd (PIANC, 2008). Doel was om in de 2^e Petroleumhaven de sterke aanslibbing als gevolg van de dichtheidsstroming te verminderen. Over de volledige breedte van het dok (250m) werden twee buizen geplaatst, met een elk een luchtdebiet (in de buis) van $160 \text{ m}^3/\text{minuut}$ (dus in totaal $19.200 \text{ m}^3/\text{uur}$). Het luchtbellenscherm was actief van 2u voor tot 3u na HW. De diepte van de haven bedroeg 12 m, met een getijverschil van 1,5 m en een variatie in saliniteit van circa 10 ppt. De oppervlakte van het havenbasin bedraagt 56 ha. De test liet zien dat de dichtheidsgedreven uitwisseling met 20% verminderde (slechts 7% op de totaal aanslibbing). De geschatte kost bedroeg 0,5 mio Euro/jaar. Er wordt vermeld dat het scherm zeker 4x per jaar beschadigd raakte door scheepsankers en verwijderd moest worden voor onderhoudsbaggerwerken. Ook bij testen in Antwerpen, in de Van Cauwelaertsluizen, bleek het systeem onpraktisch en de testen werden gestaakt vanwege ankerschade.

In (PIANC, 2008) wordt geconcludeerd dat een luchtbellenscherm de uitwisseling ten gevolge van de dichtheidsverschillen kan verminderen en dat de efficiëntie toeneemt bij hogere debieten. Finaal wordt in het PIANC rapport geconcludeerd dat de operationele kosten en onderhoudskosten van een bellenscherm relatief hoog zijn, en enkel te verantwoorden in het geval de baggerkosten reeds hoog zouden zijn.

De aard van de maatregel zoals die in deze Quick Scan bestudeerd is, is een bellenscherm dat ingrijpt op de dichtheidsuitwisseling, met als doel deze te vertragen en zo de import van sediment te reduceren. De andere uitwisselingsprocessen profiteren hier niet van mee, eerder omgekeerd, zullen de werking van de maatregel verstoren. Rendement van de maatregel hangt zeer sterk samen met het gekozen luchtdebiet en is in een getijdesituatie bij continue werking onbekend. In Paragraaf 3.4 wordt op basis van in de literatuur beschikbare relaties voor het tegengaan van zoutindringing in (zee)sluizen bepaald wat het optimale luchtdebiet is voor een bellenscherm in de voorliggende toepassing.

2.2 FUNCTIONELE KLASSEINDELING MAATREGELEN

Ten aanzien van de functionele werking van de maatregelen op de uitwisselingsprocessen worden drie types onderscheiden:

- Tijdelijke vernauwing van de opening dok;
- Tijdelijke verhoging van de drempel dok;
- Bellenscherm.

Onder de tijdelijke vernauwing van het dok vallen de rol- en segmentdeuren. Deze maatregelen grijpen in de eerste plaats in op de neervorming, en in tweede instantie op de dichtheidsstroming. Onder de tijdelijke verhoging van de drempel vallen de opklapbare

¹ Mede gezien het genoemde vermogen wordt vermoed dat in de referentie de eenheid foutief vermeld staat en het $110 \text{ m}^3/\text{minuut}$ betreft.

elementen, de balgstuw en de draaibare segmentdeuren (om de horizontale as). Deze maatregelen zijn vooral gericht op het (deels) blokkeren van de dichtheidsstroming maar hebben ook een reducerend effect op de uitwisseling ten gevolge van de neer. Het bellenscherm ten slotte heeft als primair doel de dichtheidsuitwisseling te vertragen. Dit effect wordt vermoedelijk eerder verstoord door de aanwezige neervorming en getijdeuitwisseling.

De technische en financiële haalbaarheid zal telkens in gaan op de afzonderlijke constructies, waarvoor een voorlopig ontwerp en kosteninschatting wordt gemaakt. Om de aanslibbingsreductie te bepalen wordt de modellering uitgevoerd voor de functionele groepen. Hierbij worden de vernauwing van de opening en de verhoging van de drempel in permanent gesloten toestand doorgerekend met het model. Op basis van het verwachte aantal doorvaarten wordt de efficiëntie van de maatregel verder aangepast. Voor het bellenscherm is het niet mogelijk om een schematisatie uit te voeren in het hydrodynamische model. Hier wordt op basis van *expert judgement* een uitspraak gedaan van de mogelijk te verwachten reductie op aanslibbing.

2.2.1 Functionele eisen

Voor de structuren worden eisen gesteld aan de beschikbare doorvaartopening in gesloten toestand. Immers, in gesloten toestand is het de bedoeling dat binnenvaartschepen te allen tijde (het volledige getij) ongehinderd het dok in en uit kunnen varen. Hiertoe is op basis van eisen die normaal gezien aan een vaarweg worden gesteld, bepaald wat de minimale beschikbaar breedte en diepgang zouden moeten zijn:

- Minimale diepte in gesloten toestand: 6 m onder laag water. Rekening houdend met het verschil tussen LAT en TAW werd een diepte van een tijdelijke structuur gekozen van -7 m TAW.
- Minimale breedte in gesloten toestand: 100 m.

Streefdoel is om de structuur te openen ofwel te sluiten in maximaal 15 minuten. Uit de analyse moet blijken of dit haalbaar is, of met welke richttijd rekening gehouden moet worden.

2.3 RANDVOORWAARDEN

2.3.1 Referentievariant getijdok

De gekozen referentievariant van het getijdok P5-2 (IMDC, 2018c) is gelegen ter hoogte van Doel en is gebaseerd op een alternatieve basisvorm die bestaat uit volgende elementen: Het dok maakt een hoek met de rivier van -16° ten opzichte van een haaks dok. Er zijn 3 ligplaatsen of een kaailengte van 1400 m waarbij enkel de zuidzijde van het dok ontwikkeld is en de noordzijde als talud (16/4) is ingericht (zie Figuur 2-8). Het dok versmalt naar achter toe en heeft aan de bodem een breedte van 350 m nabij de ingang en 250 m achter in het dok. De toegang is versmald door muren waardoor de ingangsbreedte effectief 300 m is. De diepte in het dok is -18.8 m TAW, de drempelzone tussen de toegang en de rivier ligt op -15.2 m TAW. De overgang naar de rivierdiepte wordt in de toegang tot het dok gerealiseerd met een helling van 30/4. Een binnenvaartterminal is toegevoegd langs de rivier (een kade tussen 2^e getijdok en Deurganckdok). In het dok zelf is een zwaaizone met een breedte van 600 meter ingevoegd.

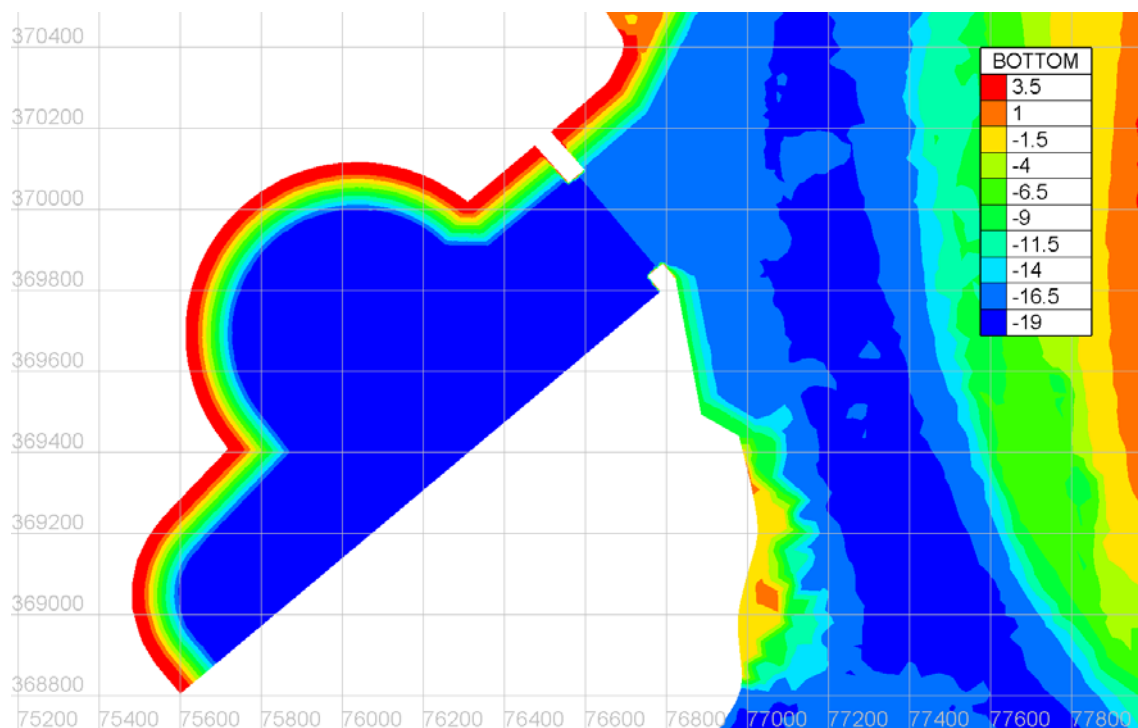
Door de oriëntatie van de mond van het dok en een versmalling van de mond door middel van muurtjes aan weerszijde van de opening, heeft deze variant reeds een verminderde aanslibbing. Doordat de mond van het dok enigszins terug gelegen is ten opzichte van de rivier, valt de neer reeds grotendeels buiten de mond en het dok zelf.

De zone aan de rivierzijde van de mond heeft een diepte die overeenkomt met de gegarandeerde diepte voor getijonafhankelijke toegang (-15,2 mTAW). Ook deze gereduceerde diepte (ten opzichte van het dok) zorgt voor een afname van de sterkte van de neer. Onderstaande Figuur 2-10 duidt de ligging van de neer waarbinnen sedimentatie verwacht kan worden.

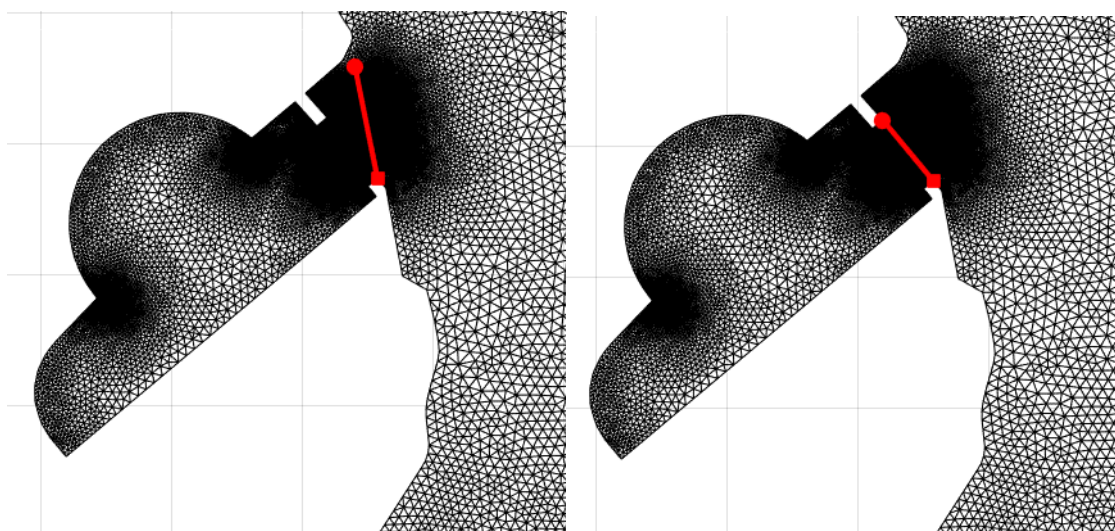
In deze variant is voorzien dat het dok wordt onderhouden door een combinatie van *sweep beam* en *hopper* (TSHD); de zone tussen de mond en de rivier zal enkel door middel van *sweep beam* worden onderhouden, waarbij het slib - indien mogelijk - naar de rivier gesleept zal worden. Op deze wijze draagt het niet bij aan het gebaggerde volume dat met de hopper gestort moet worden op de stortzones bij Oosterweel.

De resultaten van deze variant staan beschreven in het rapport "Extra Containercapaciteit Antwerpen - Aanvullend onderzoek Getijdedok Varianten" (IMDC, 2018c).

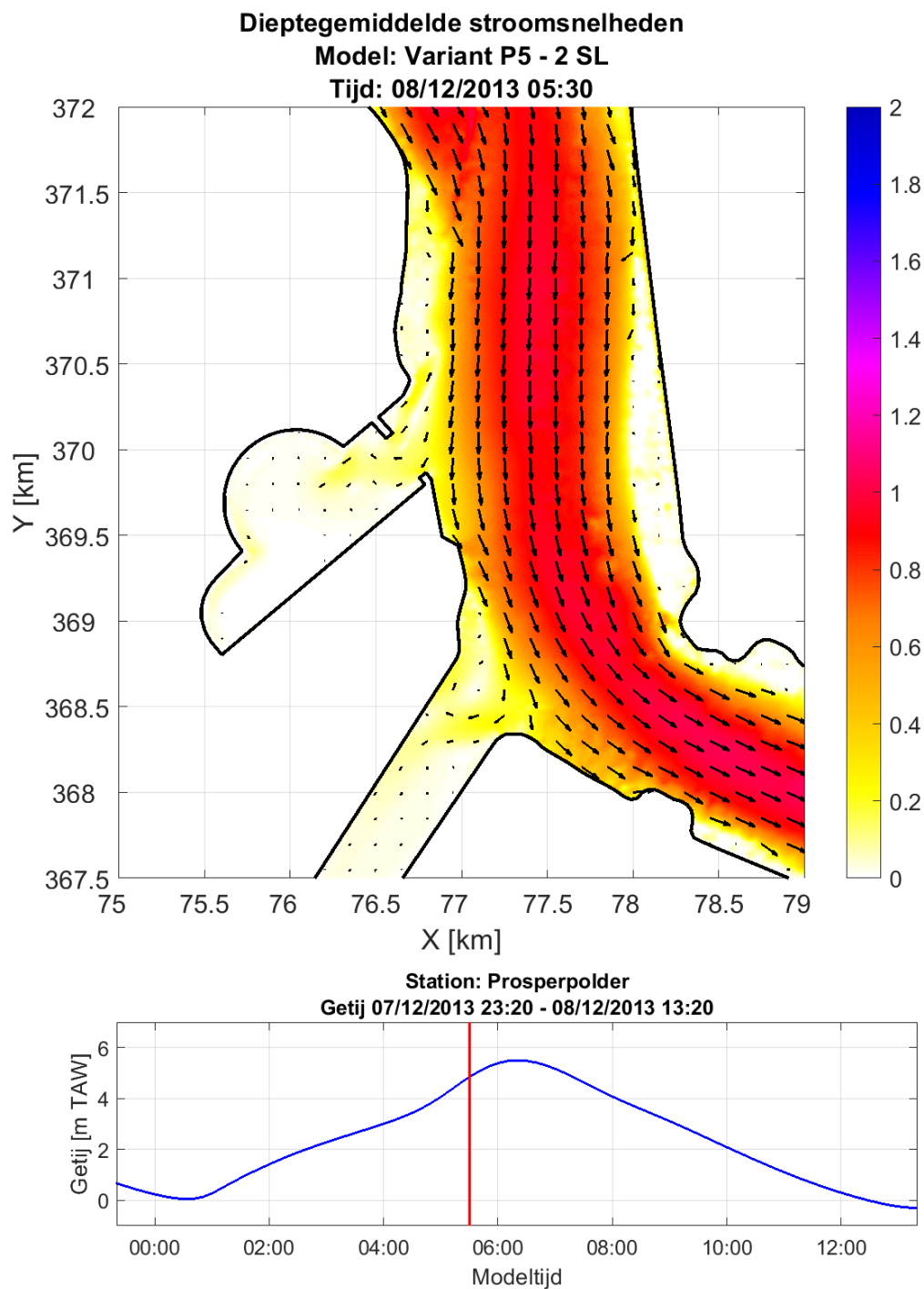
Om de berekende aanslibbing met de andere varianten op deze locatie te vergelijken wordt de import van sediment bepaald door twee raaien (zie Figuur 2-9): 1/ door een raai ter hoogte van de huidige dijk langs de rivier, 2/ door een ter hoogte van de overgang naar de verdiepte zone. De tweede raai geeft de import/aanslibbing van het nieuwe dok. De eerste zone markeert mogelijk de zone waarbij de aanslibbing niet met een sweep beam naar de rivier gebracht kan worden, in verband met de te grote afstand, en een alternatieve onderhoudsmethode toegepast dient te worden.



Figuur 2-8: Variant P5 – 2: Basisvorm met een zwaaizone (600m) in het dok.



Figuur 2-9: Locatie voor de bepaling van de water- en sedimentuitwisseling, links: raai ter hoogte van bestaande dijk langs de rivier; rechts: raai ter hoogte van de overgang naar de verdiepte zone



Figuur 2-10: Dieptegemiddelde stroomsnelheid voor variant P5-2 rond maximum vloedstroming, gemiddeld tij

2.3.2 Omgevingscondities

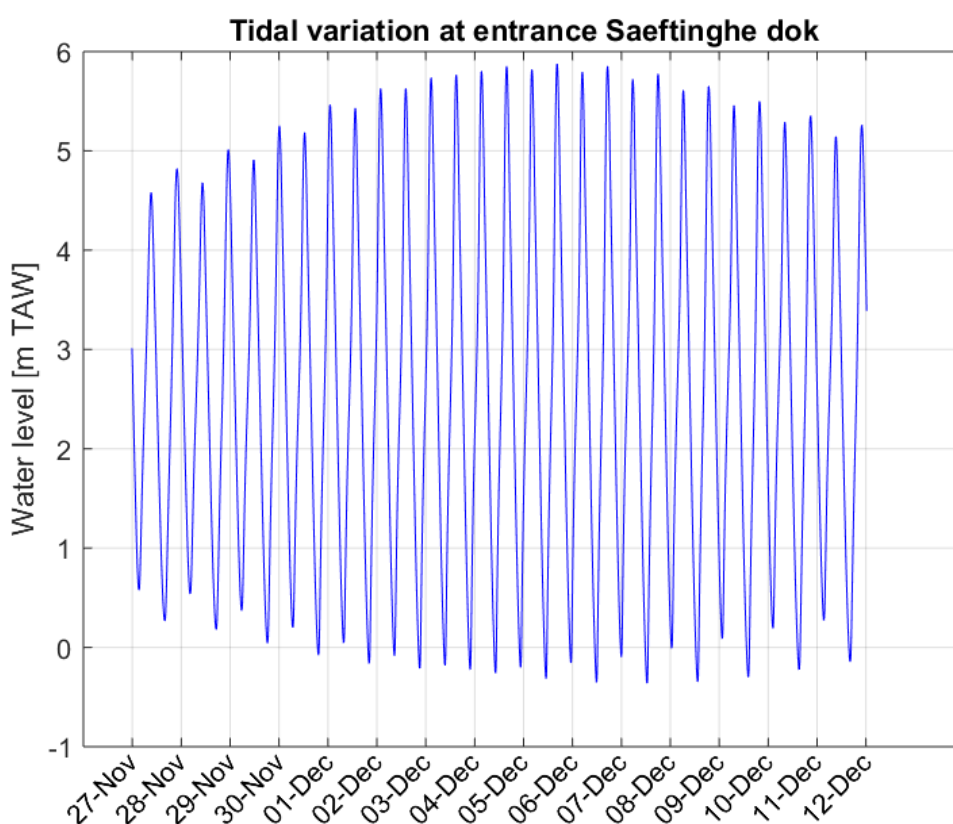
Getijhoogte

Figuur 2-11 illustreert het getij ter hoogte van de ingang van nieuwe getijdedok over een doottij-springtij periode van 16 dagen (simulatie met numeriek model, cf. paragraaf 3.1.1). Het getij fluctueert in de gesimuleerde periode tussen een minimale waarde van -0.36 m

TAW en 5.88 m TAW (springtij). Voor de kerende hoogte van de te ontwerpen maatregelen dient daarom rekening gehouden te worden met een waterdiepte van minimaal 21.1 m (ten opzichte van 15,2 m TAW ter hoogte van de toegang). De maximale waterdiepte volgens de getoonde getijkromme in het dok is 24,7 m.

Door meteorologische invloeden kan de waterstand nog verder toenemen. Hierin is in deze Quick Scan voorlopig geen rekening gehouden.

Merk op dat de voorgestelde maatregelen (i.c. de deuren) geen waterkerende functie (c.f. het Sigmaplan) zullen hebben. In extreme omstandigheden mag het water over de deuren stromen. Omdat de deuren niet volledig sluiten, zal het water voor en achter de deuren steeds op hetzelfde niveau staan en dus niet bijdragen aan de krachtswerking. De extra kost om de kering nog hoger te maken, wordt niet gerechtvaardigd door een mogelijke winst op de slibvangst.



Figuur 2-11: Verloop van het getij [m] aan de ingang van 2^e getijdedok over een periode van 16 dagen

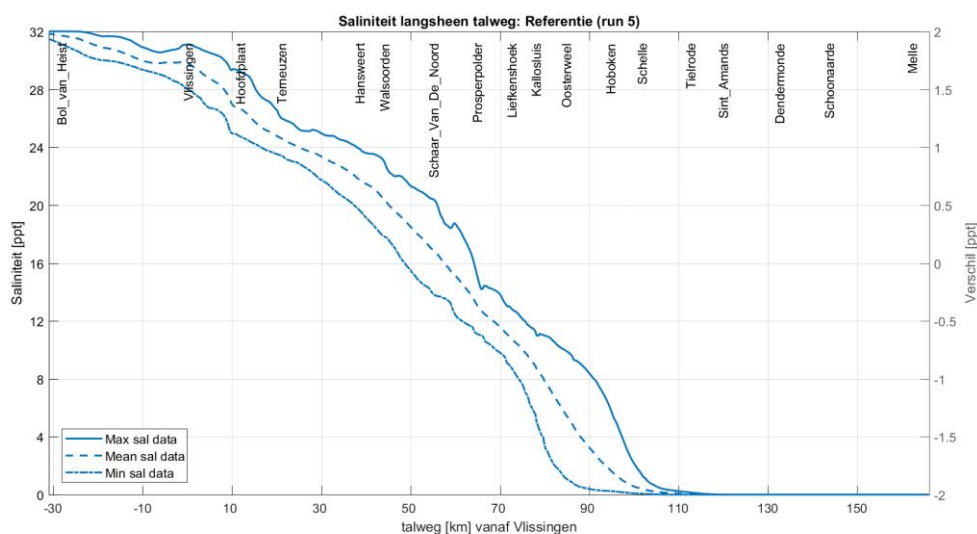
Saliniteit

De dichtheidsstroming tussen het dok en de rivier wordt aangedreven door het verschil in saliniteit in beide waterlichamen. Op de rivier verandert de saliniteit met het getij en met de bovenafvoer. Onderstaande figuren voor Oosterweel (Figuur 2-13 en Figuur 2-14), Boei84 (Figuur 2-15 en Figuur 2-16) en Prosperpolder (Figuur 2-17 en Figuur 2-18) illustreren de variatie in saliniteit in de rivier. Voor een gemiddeld getij (en een gemiddeld afvoerscenario) werden tevens de resultaten van het numerieke model (van de referentieberekening) opgenomen, waaruit ook de saliniteitsamplitude ter hoogte van het projectgebied blijkt

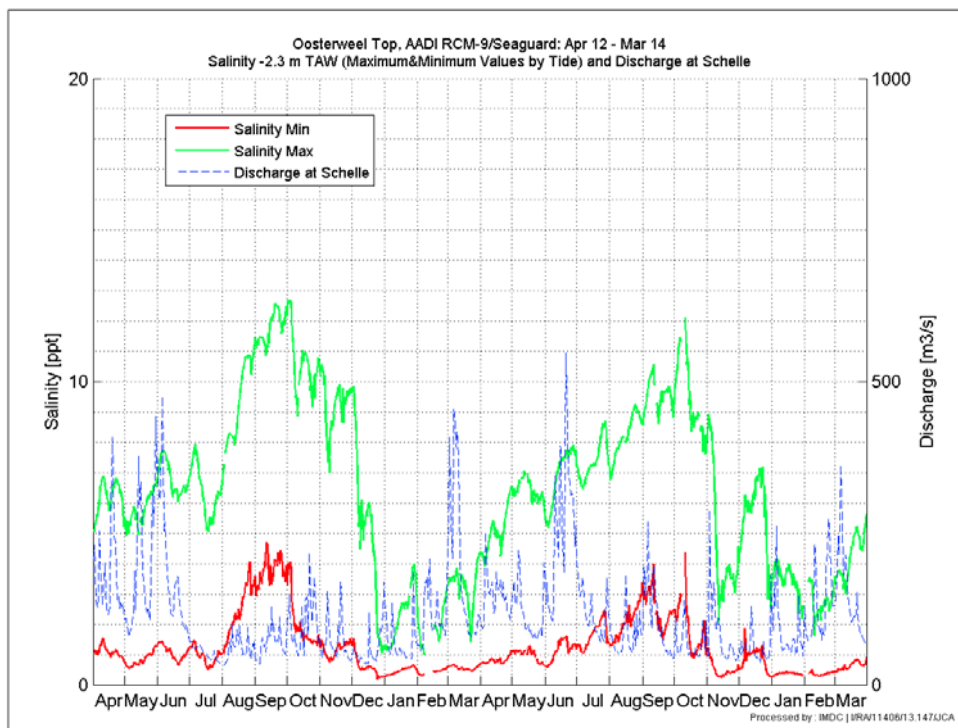
(Figuur 2-12). Uit de figuur blijkt ook de hogere waarde voor Oosterweel, zoals die volgt uit de andere in deze paragraaf getoonde figuren.

Afhankelijk van de getijfase – doottij, gemiddeld tij of springtij – kan geconcludeerd worden dat de saliniteitsamplitude op de rivier ter hoogte van het nieuwe getijdendok tussen 2 en 4 ppt zal variëren. De variatie door de bovenafvoer kan mogelijk zorgen voor grotere verschillen, tot 5 ppt voor Prosperpolder, of tot 9 ppt in Oosterweel. Ter hoogte van het dok kan worden uitgegaan van een variatie tot 5 ppt.

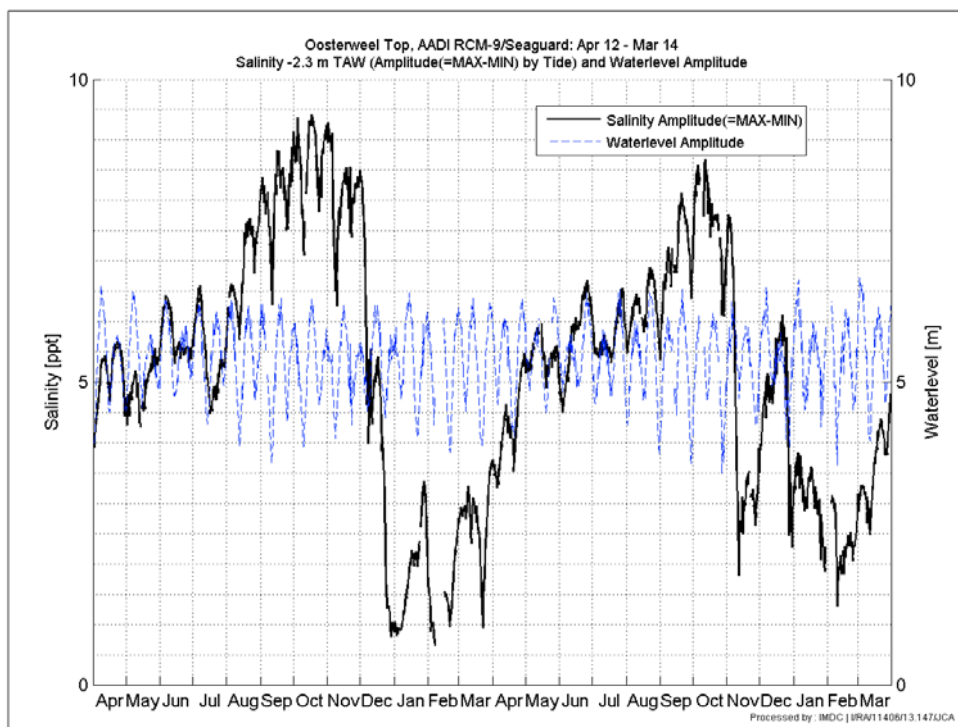
In het dok volgt de saliniteit de waarde op de rivier, maar zal (gemiddeld) minder variëren, aangezien in de tijd tussen HW en LW het dok nooit volledig wordt 'ververst'.



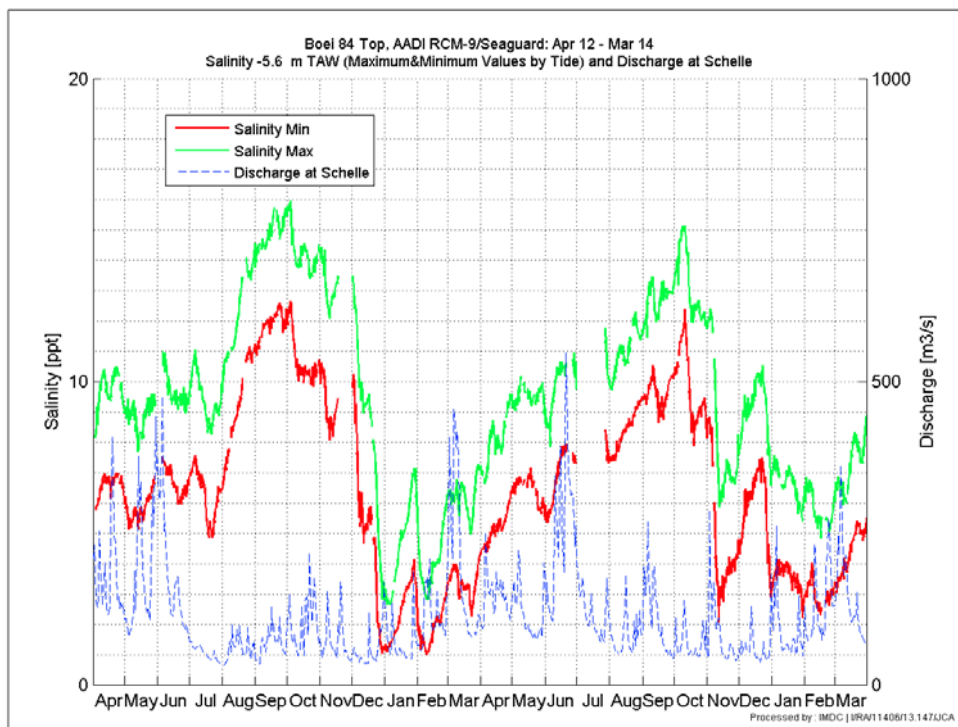
Figuur 2-12: Berekende variatie van de saliniteit (maximale, minimale en gemiddelde (mean) langsheen de talweg van het estuarium voor een gemiddeld tij



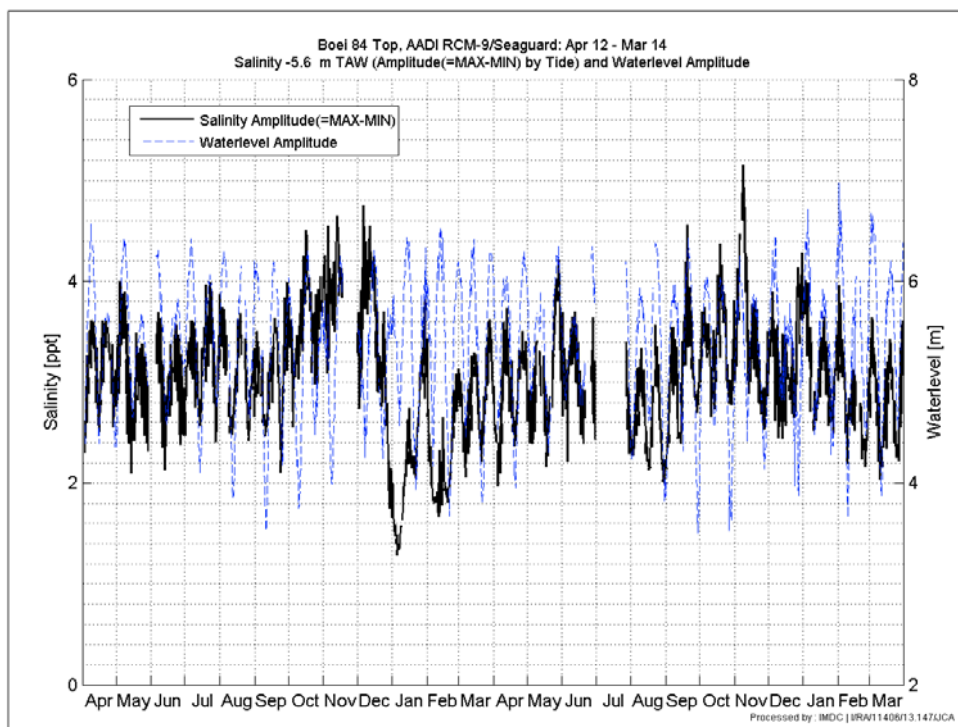
Figuur 2-13: Oosterweel (-2,3 meter TAW). Maximale en minimale saliniteit per getij en bovendebiet te Schelle, april 2012 – maart 2014 (IMDC, 2016a)



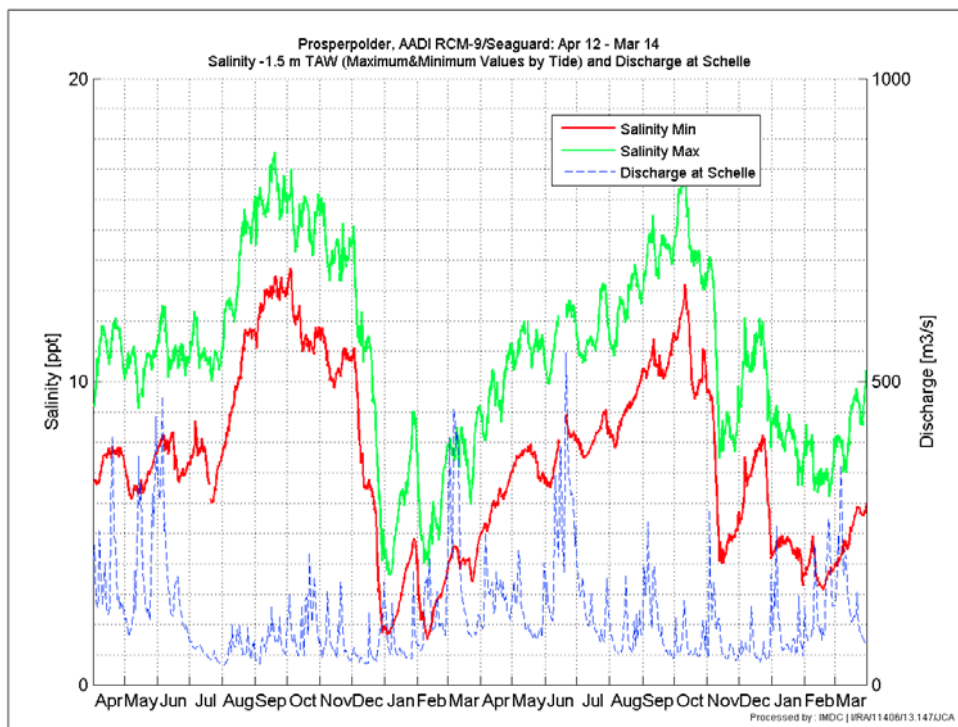
Figuur 2-14: Oosterweel (-2,3 meter TAW) Saliniteits- en tijverschil te Oosterweel, april 2012 – maart 2014 (IMDC, 2016a)



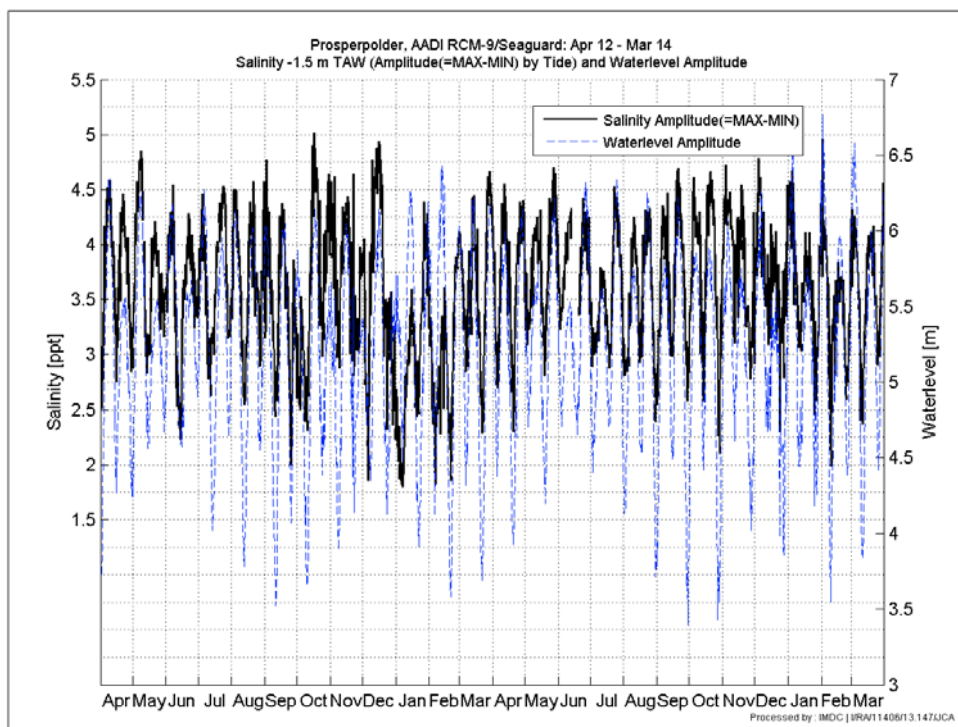
Figuur 2-15: Boei84 (-5,6 meter TAW). Maximale en minimale saliniteit per getij en bovendebiet te Schelle, april 2012 – maart 2014 (IMDC, 2016a)



Figuur 2-16: Boei84 (-5,6 meter TAW) Saliniteits- en tijverschil te Oosterweel, april 2012 – maart 2014 (IMDC, 2016a)



Figuur 2-17: Prosperpolder (-1,5 meter TAW) Maximale en minimale saliniteit per getij en daggemiddeld bovendebiet te Schelle, april 2012 – maart 2014 (IMDC, 2016a)



Figuur 2-18: Prosperpolder (-1,5 meter TAW) Saliniteits- en tijverschil te Prosperpolder, april 2012 – maart 2014 (IMDC, 2016a)

Windsnelheid en golfhoogte

Om een inschatting te maken van de hoogte van door wind opgewekte golven, werd een directionele extreme waarde analyse (EVA) uitgevoerd op een tijdreeks van uurgemiddelde windsnelheden en -richtingen in het meetstation Woensdrecht (beschikbaar voor een periode van 01/04/1993 tot en met 27/05/2018). Voor de analyse werden zowel golven uit de richting van de rivier richting dok (i.e. meer bepaald de locatie van de slibreducerende maatregel), als uit de omgekeerde richting beschouwd. Gezien de dimensies en vorm van het dok en de ligging van de rivier, werd voor de eerste situatie in de analyse rekening gehouden met golven uit windrichtingen tussen 10° en 60° (N-NE) en voor de tweede situatie met golven uit windrichtingen tussen 210° en 250° (zie Figuur 2-22). De windroos in Figuur 2-21 geeft een compleet overzicht van de directionele spreiding van de geregistreerde golven. De resultaten van de directionele extreme waarden analyse worden weergegeven in Figuur 2-19 en Figuur 2-20.

Zoals weergegeven in Figuur 2-19 en Figuur 2-20 (tabel rechtsonder), wordt in wat volgt rekening gehouden met de volgende T100 (= retourperiode van 100 jaar) windsnelheden:

- T100 Windsnelheid NNE: 13 m/s
- T100 Windsnelheid uit dok: 19.4 m/s.

Om deze windsnelheden om te rekenen naar significante golfhoogte en -periode wordt gebruik gemaakt van de golfgroei-krommen van Bretschneider (Bretschneider, 1964) zoals vertaald naar onderstaande formules uit de Shore Protection Manual (Coastal Engineering Research Center, 1984):

Significante golfhoogte:

$$H_s = 0.283 \frac{U^2}{g} C_1 C_2$$

waarin

$$C_1 = \tanh \left[0.53 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{0.75} \right]$$

$$C_2 = \tanh \left[\frac{0.0125 \left(\frac{gL}{U^2} \right)^{0.42}}{C_1} \right]$$

en

g = de valversnelling = 9.81 m/s²

D = de waterdiepte in m

L = de strijklengte in m

U = de windsnelheid in m/s

Significante golfperiode:

$$T_s = 1.2 \frac{U}{g} 2\pi C_3 C_4$$

waarin

$$C_3 = \tanh \left[0.833 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{0.375} \right]$$

$$C_4 = \tanh \left[\frac{0.0077 \left(\frac{gL}{U^2} \right)^{0.25}}{C_3} \right]$$

De strijklengte werd bepaald door de afstand te bepalen van de constructie tot de punten waar de meest bepalende golf vermoedelijk vandaan komt. Deze afstanden zijn via lijnen aangeduid op Figuur 2-22. Input en resultaten van de berekening worden weergegeven in onderstaande Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Input en resultaten berekening golfhoogte en -periode

	Rivierzijde (golven uit NNE)	Dokzijde (golven uit WZW)
Strijklengte	3000 m	1500 m
T100 Windsnelheid (uit EVA)	13 m/s	19,4 m/s
Waterdiepte (bodempligging + hoogwaterstand)	20,2 m (15,2 m + 5 m)	23,8 m (18,8 m + 5 m)
T100 Significante golfhoogte	0,52 m	0,39 m
T100 Golfperiode	2,7 s	2,3 s

Woensdrecht

Cond. Weibull distribution

$$cdf : 1 - Pr(x > u + y | x > u) = 1 - \exp(-\lambda(x - u)^\tau)$$

$$\tau = 1.2599$$

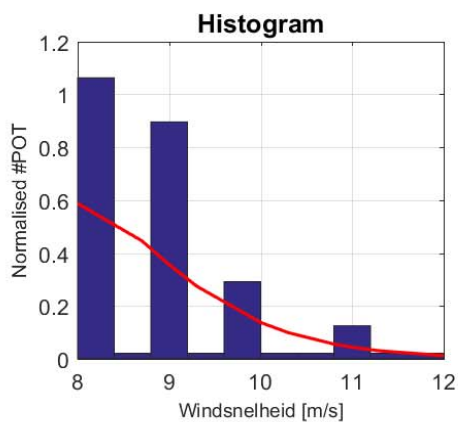
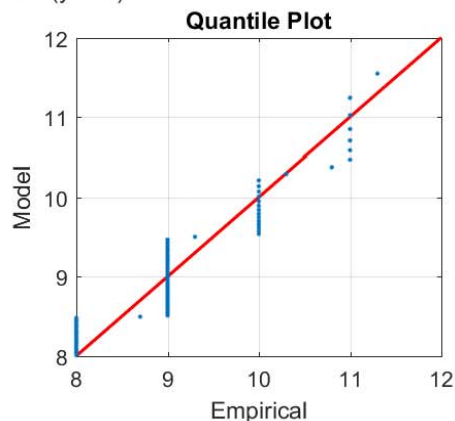
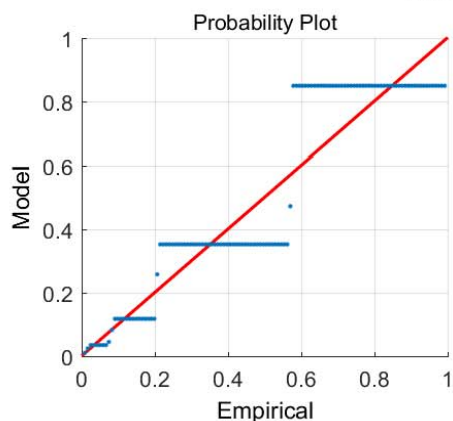
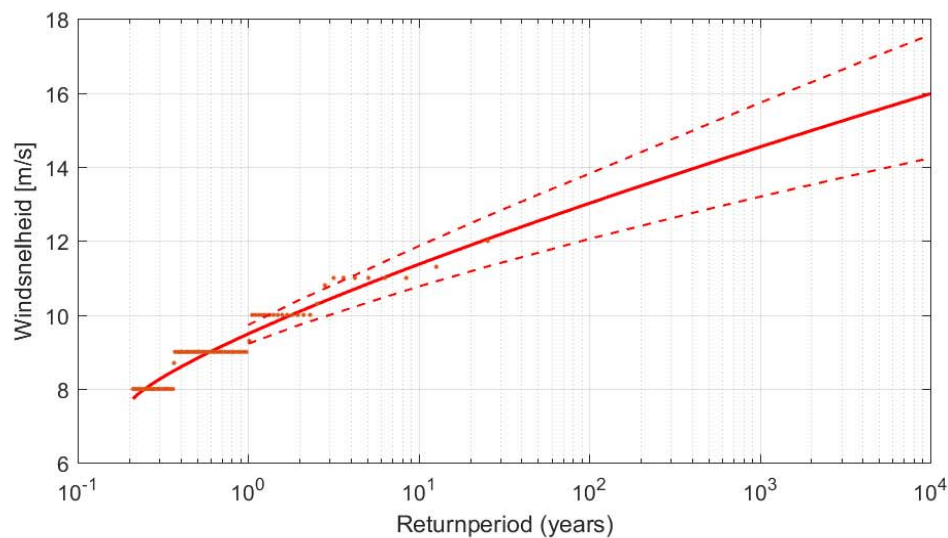
$$\lambda = 0.75176$$

$$u = 7.7$$

$$A = 25.1558$$

$$k = 120$$

$$Returnlevel : X = u + (\frac{1}{\lambda} \log(\frac{T+k}{A}))^{1/\tau}$$



T	X	UPCI	LOCI
1.00e+00	9.49e+00	9.73e+00	9.22e+00
2.00e+00	1.01e+01	1.04e+01	9.73e+00
5.00e+00	1.08e+01	1.12e+01	1.03e+01
1.00e+01	1.14e+01	1.19e+01	1.08e+01
2.50e+01	1.20e+01	1.27e+01	1.13e+01
5.00e+01	1.25e+01	1.32e+01	1.17e+01
1.00e+02	1.30e+01	1.38e+01	1.21e+01
5.00e+02	1.41e+01	1.52e+01	1.29e+01
1.00e+03	1.45e+01	1.57e+01	1.32e+01
2.50e+03	1.51e+01	1.65e+01	1.36e+01
4.00e+03	1.54e+01	1.68e+01	1.38e+01
1.00e+04	1.60e+01	1.76e+01	1.42e+01

Figuur 2-19: Extreme waarden analyse van de winddata te Woensdrecht voor de windrichting 10°-60° (N-NE)

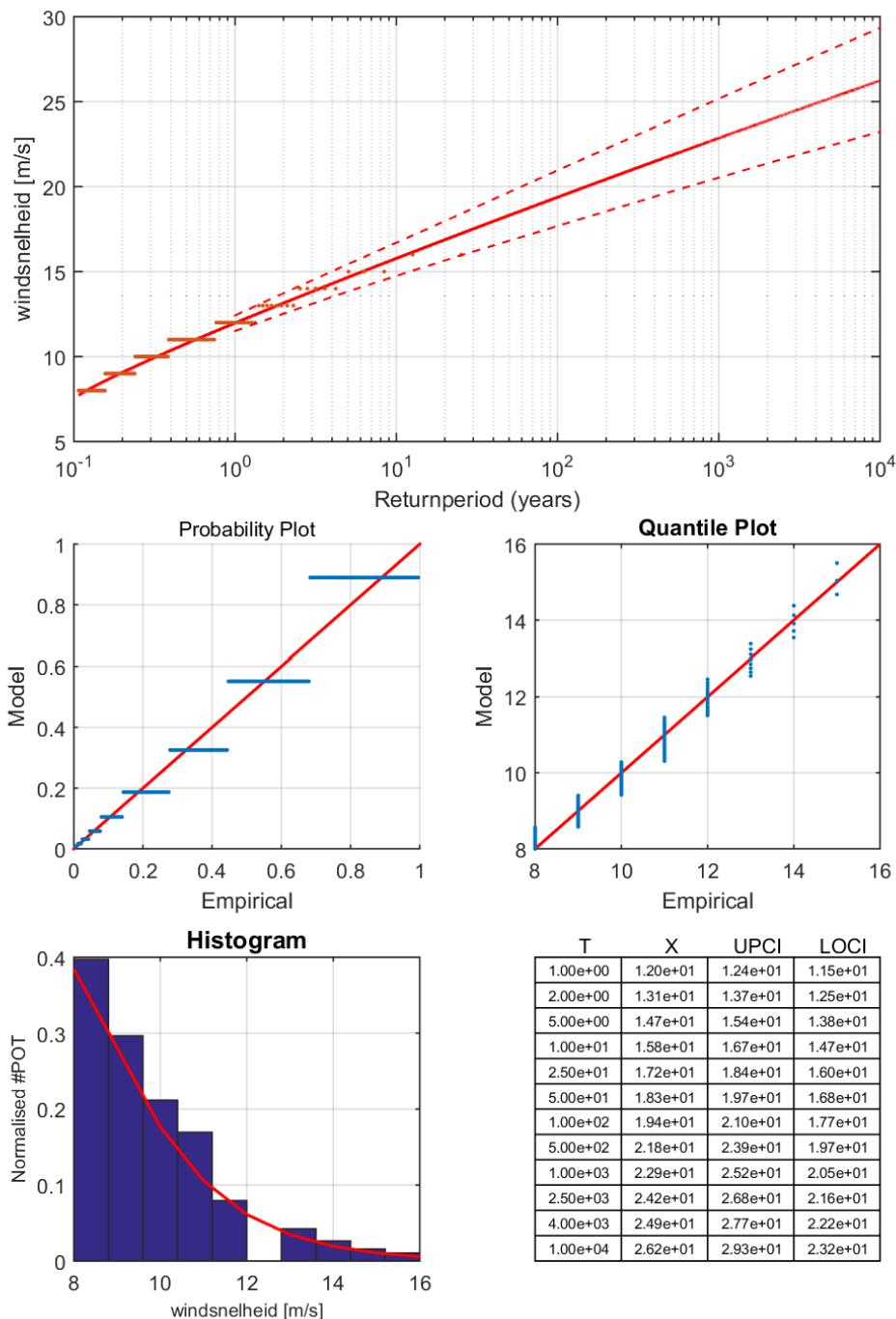
Woensdrecht

Cond. Weibull distribution

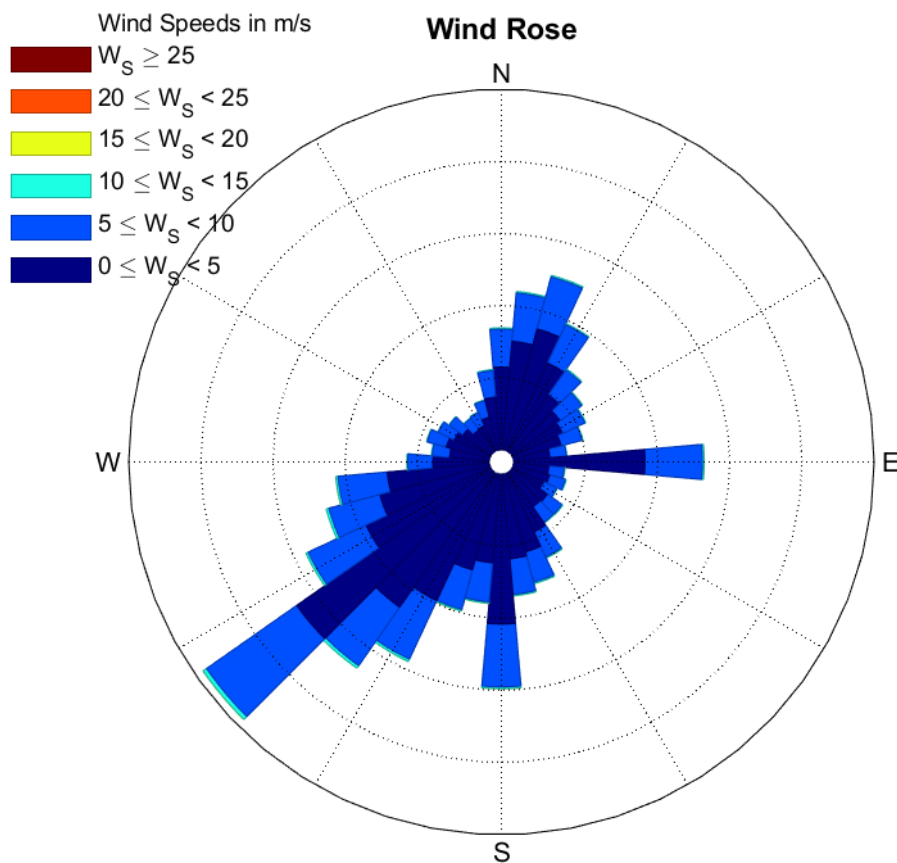
$$cdf : 1 - Pr(x > u + y | x > u) = 1 - \exp(-\lambda(x - u)^\tau)$$

$$Returnlevel : X = u + (\frac{1}{\lambda} \log(\frac{T+k}{A}))^{1/\tau}$$

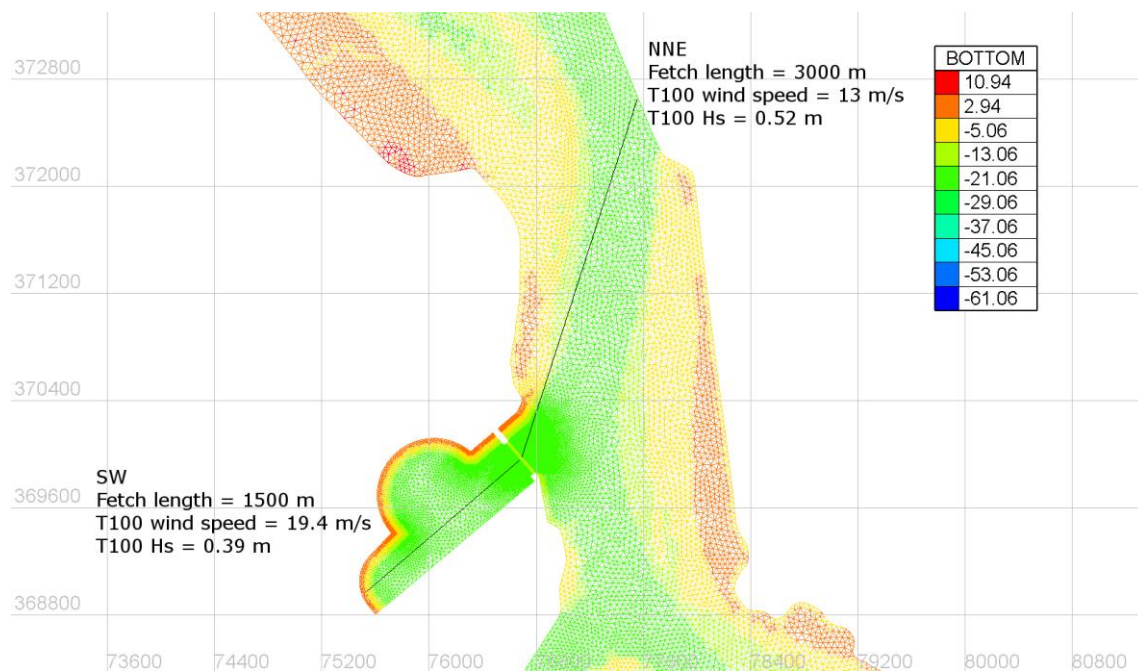
$$\begin{aligned}\tau &= 1.1124 \\ \lambda &= 0.44467 \\ u &= 7.7 \\ A &= 25.1558 \\ k &= 236\end{aligned}$$



Figuur 2-20: Extreme waarden analyse van de winddata te Woensdrecht voor de windrichting 210°-250°



Figuur 2-21: Windroos voor de geregistreeerde windsnelheid te Woensdrecht [m/s]



Figuur 2-22: Indicatie van door wind opgewekte golven

2.3.3 Verwachte aantal schepen per dag (bedieningsscenario's)

Om een inschatting te maken van het verwachte aantal zeeschepen dat per dag het dok zal aandoen, wordt verwezen naar de prognoses uit de capaciteitsanalyse (TBA, 2018). In deze prognose wordt onderscheid gemaakt naar drie lengteklassen. Voor elk van deze klassen wordt het percentage aangegeven van de schepen met een uitgaande diepgang groter dan 13.1 meter (Tabel 2-2). Deze schepen zijn tij-gebonden en kunnen dus enkel gedurende een bepaalde fase van het getij de volledig reis afleggen. Er wordt verondersteld dat al de schepen uit de tabel niet over een verhoogde drempel in het dok kunnen varen.

Tabel 2-2: Prognose aantal zeeschepen in het dok per jaar

klasse	LOA	Aantal schepen	Tijafhankelijk (%)
DS 1	< 200 m	261	0 (0%)
DS 2	200 < 300 m	435	44 (10%)
DS 3	>= 300 m	261	117 (45%)
totaal		957	161

Gemiddeld gezien kan op basis van bovenstaande prognose verwacht worden dat er per dag ongeveer één beweging (in of uit) van een tijgebonden zeeschip zal plaatsvinden. In totaal kunnen er gemiddeld gezien per dag circa 5 à 6 scheepsbewegingen verwacht worden. Gezien de totale capaciteit van het dok zou het werkelijke aantal bewegingen tijdens een dag hoger kunnen liggen (en op andere dagen lager).

Voor een optimale werking van de slibwerende constructie valt het aan te bevelen de scheepvaartbewegingen zoveel mogelijk te concentreren, zodat de kering zo lang mogelijk in gesloten toestand actief kan zijn. Doordat het aanbod aan schepen die de haven aanlopen of verlaten gespreid is in de tijd – wat wenselijk is voor een vlotte en veilige afhandeling van de scheepvaart - is een sterke concentratie in de tijd in de praktijk onmogelijk. Er dient dus tevens rekening gehouden te worden met een zekere spreiding van de schepen over de dag:

Bij de bediening van de kering dient met een aantal operationele aspecten rekening te worden gehouden:

- Het moment van het getij (ten opzichte van hoogwater) waarop de kering geopend zou moeten worden, is verschillend voor een op- of afgaand schip;
- Niet tij-gebonden schepen bieden zich verspreid over de dag aan;
- Om de veiligheid tegen aanvaringen van de kering te garanderen, dient voldoende lead-time voor doorvaart te worden voorzien waarbij de kering geopend is;
- Om de veiligheid tegen aanvaren van een ander op- of afgaand schip te garanderen, dient voldoende tijd tussen afzonderlijke vaarbewegingen te worden voorzien, waarbij aangenomen wordt dat de kering geopend is.

Ten einde een inschatting van de grootte-orde van de aanslibbingsreductie te maken, wordt in deze studie een pragmatische aanpak gevolgd, waarbij rekening wordt gehouden met een tweetal sterk geschematiseerde bedieningsscenario's. In het eerste bedieningsscenario wordt uitgegaan van een in de tijd geconcentreerd aanbod van schepen, waardoor de kering

effectief circa 10 tot 20% van de tijd niet in werking is en dus open staat. In het tweede bedieningsscenario wordt ervan uitgegaan dat het aanbod van de zeeschepen niet in de tijd geconcentreerd is. Hierdoor is de kering effectief circa 50% van de tijd niet in werking en dus geopend. Het werkelijke aanbod zal vermoedelijk eerder tussen beide scenario's in liggen, waardoor we verwachten dat het eerste leidt tot een overschatting van de beperking van de slibimport en het tweede tot een onderschatting.

3. HYDRODYNAMICA EN SEDIMENTATIE

3.1 INLEIDING NUMERIEK MODEL

De hydrodynamische modelberekeningen in deze studie zijn analoog uitgevoerd als voor de scenario's gerapporteerd in het technische rapport van de sMER ECA (IMDC, 2018a). Verder zijn de resultaten verwerkt naar inschattingen van de uitwisselingsvolumes en sedimentatiehoeveelheden in getijdendokken identiek aan de methodiek beschreven in het interpretatierapport van de sMER ECA (IMDC, 2017c).

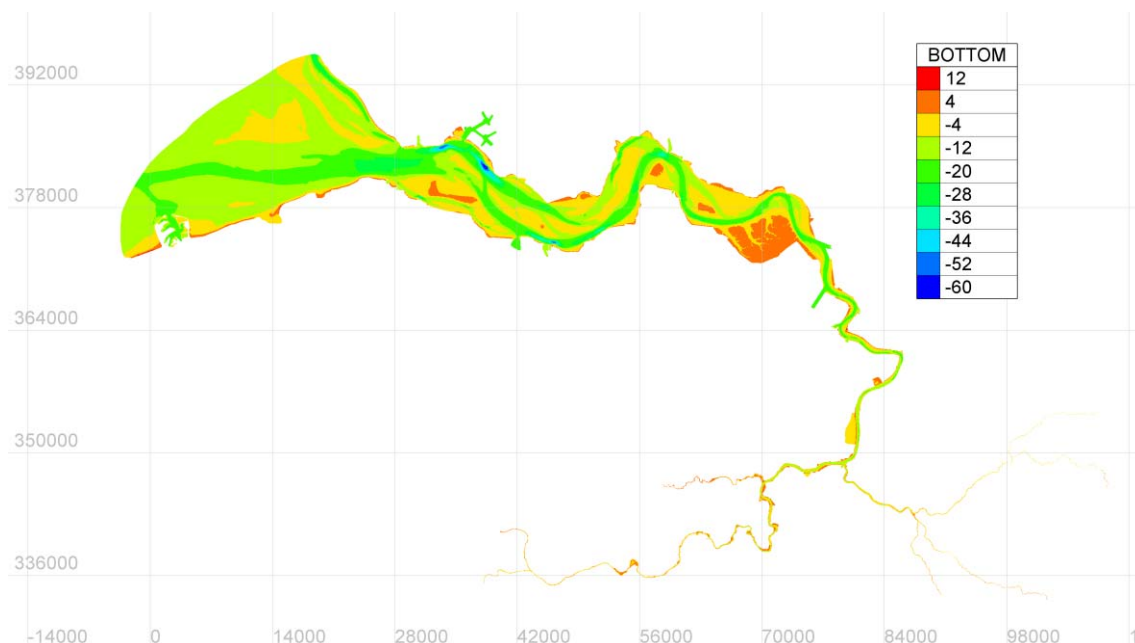
Referentie wordt gemaakt naar (IMDC, 2018a) en (IMDC, 2017c) voor een gedetailleerde beschrijving van modelinstrumentarium en methodiek. Een korte samenvatting wordt hieronder gegeven.

3.1.1 Het gereduceerde SCALDIS model

Voor deze studie is een aangepaste versie gebruikt van het numeriek hydrodynamisch SCALDIS model dat ontwikkeld is door het Waterbouwkundig Laboratorium (Smolders *et al.*, 2015). Het originele SCALDIS model is uitgebreid gekalibreerd en geeft nauwkeurige resultaten voor de waterstanden en snelheden in het gehele estuarium (Smolders *et al.*, 2015). Van het aangepaste model zijn twee varianten gebruikt:

- **Het gereduceerde SCALDIS model:** Dit model beslaat het gehele Schelde estuarium, inclusief een klein gedeelte van de Belgische kustzone in de monding van de Westerschelde (Figuur 3-1). Het is een 3D model met 5 verticale rekenpunten. Het verschil met het originele SCALDIS model is dat het gereduceerde SCALDIS model een kleiner gebied beslaat, een substantieel lagere resolutie heeft buiten het projectgebied, terwijl de resolutie in het projectgebied verhoogd is. Door deze wijzigingen is het gereduceerde model ongeveer drie keer sneller dan het originele model wat toelaat dat een groot aantal simulaties op relatief korte tijd kan worden gerealiseerd.
- **Het gereduceerde SCALDIS model met 20 lagen (het meerlagen SCALDIS model):** Dit model is qua domein, bodemschematisatie en randvoorwaarden identiek aan het bovengenoemde gereduceerde SCALDIS model. In dit model worden 20 verticale rekenpunten gebruikt. Deze hogere verticale resolutie is specifiek bedoeld om de uitwisselingsprocessen in de verschillende dokopeningen nauwkeurig te kunnen berekenen.

Uit het gevoeligheidsonderzoek in IMDC (2017a) is gebleken dat met de viscositeitsinstellingen van het oorspronkelijke SCALDIS model de uitwisselingsprocessen aan de ingang van het Deurganckdok niet voldoende nauwkeurig benaderd werden. Zonder verdere kalibratie werden daarom de viscositeitsparameters in het meerlagen SCALDIS model aangepast naar meer gangbare waarden, waardoor de overeenkomst met eerder studiewerk naar het Deurganckdok verbeterde (IMDC, 2018a).



Figuur 3-1: Bodemligging van het gereduceerde SCALDIS model

Alle berekeningen werden uitgevoerd met TELEMAC-3D v7p2. TELEMAC is een eindige elementen model, dat de driedimensionale ondiepwatervergelijkingen oplost op een rekenrooster opgebouwd uit prisma's met een driehoekige bodem. Tevens wordt een advectie-diffusievergelijking opgelost om de saliniteit in het estuarium te berekenen.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor één springtij-doodtij cyclus, die loopt van 26 november 2013 tot 12 december 2013. Deze periode is geselecteerd omdat de getijamplitude en saliniteitsamplitude in deze periode goed overeenkomen met de langdurig gemiddelde waarden. De randvoorwaarden op de zeerand zijn berekend met een grootschalig getijmodel, waarbij enkel de getij-invloed in rekening is gebracht zonder de invloed van de wind en luchtdruk in rekening te brengen. Dit is gedaan om een zo objectief mogelijke vergelijking van de verschillende alternatieven te kunnen doen, waarin de stochastische invloed van de meteorologische condities de vergelijking niet beïnvloedt. Voor de bovenstroomse randvoorwaarden werden tijdseries van de dagelijkse debieten gebruikt.

De parameters en instellingen zijn zoveel mogelijk dezelfde gehouden als in het oorspronkelijk SCALDIS model. Enkel werd in het projectgebied (Beneden-Zeeschelde) een opfrissing uitgevoerd van de gebruikte bathymetrie in het model met de gemeten bathymetrie van 2016. Een uitgebreide vergelijking van de resultaten van het gereduceerde SCALDIS model is uitgevoerd en deze geeft aan dat de berekende waterstanden, snelheden en saliniteit van het nieuwe model dicht in de buurt van het oorspronkelijke model liggen. Een uitgebreide beschrijving van de gebruikte modellen en hun resultaten is te vinden in IMDC (2017a).

Er wordt opgemerkt dat het gereduceerde SCALDIS-model en het meerlagen SCALDIS-model niet rechtstreeks gekalibreerd werden aan metingen. In IMDC (2017a) wordt zoals gezegd aangetoond dat het model een redelijke overeenkomst geeft met het oorspronkelijke SCALDIS model waardoor het model voor deze fase als voldoende betrouwbaar wordt geacht. Er wordt ingeschat dat een kalibratie van het gereduceerde SCALDIS-model de

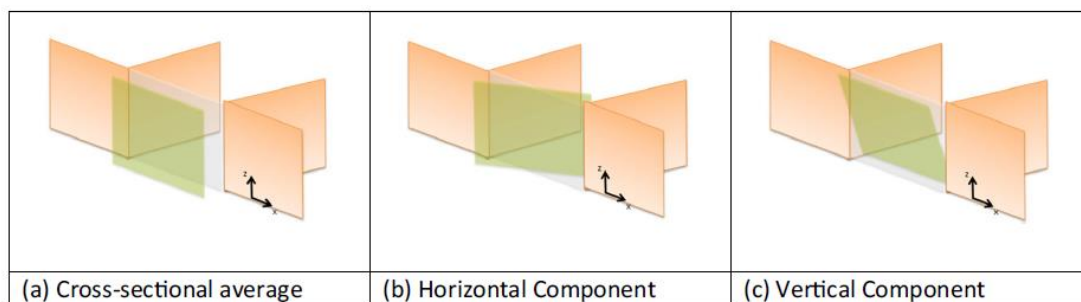
kwantitatieve conclusies van het voorliggend onderzoek niet zal wijzigen. Een kalibratie werd daarom niet voorzien in de opdracht.

3.1.2 Methodiek sedimentatie en onderhoud getijdokken

Bijkomend aan de modelberekeningen zoals uitgevoerd met het gereduceerd SCALDIS model, werd het meerlagen SCALDIS model ingezet om de uitwisselingsvolumes aan de getijdendokken te berekenen analoog aan de methodiek uit (IMDC, 2018a). Vervolgens zijn op basis van de uitwisselingsvolumes en een empirisch sedimentatiemodel de sedimentatie- en onderhoudshoeveelheden in getijdendokken afgeleid. Dezelfde methodiek als toegepast in het interpretatierapport van de sMER ECA werd daarvoor ingezet (IMDC, 2017c).

Uitwisselingsvolumes

De uitwisselingsvolumes in de dokken zijn berekend aan de hand van het meerlagen SCALDIS model met behulp van de ontledingstechniek die wordt gepresenteerd in (Vanlede en Dujardin, 2014). In deze techniek worden drie verschillende componenten berekend: de totale volume-uitwisseling door getijvulling, een horizontale component die wordt bepaald uit de dieptegemiddelde snelheden en een verticaal onderdeel bepaald uit het laterale gemiddelde; (Figuur 3-2).



Figuur 3-2: Overzicht van de drie uitwisselingscomponenten volgens (Vanlede en Dujardin, 2014)

In dit rapport wordt het horizontale onderdeel beschouwd als de uitwisseling door neerwerking en de verticale component beschouwd als de dichtheidsstroom, omdat er typisch een sterke correlatie bestaat tussen het horizontale uitwisselingscomponent en de neren die worden gevormd aan de ingang van het dok en ook tussen de verticale uitwisselingscomponent en de dichtheidsstromen aan de ingang.

Merk op dat de ontledingmethode niet exact is als gevolg van de gelijktijdige aanwezigheid van verschillende mechanismen. Ook wordt een restterm berekend die niet aan één van de mechanismen kan worden toegeschreven. Daarom kunnen kleine verschillen of onnauwkeurigheden in de berekende uitwisselingsvolumes worden verwacht.

Onderhoudshoeveelheden

Voor de bouwstenen waarin een getijdok wordt aangelegd, zal de bijkomende sedimentatie van slib in het dok een effect hebben op de slibbalans in de omgeving van het dok. De sedimentatie in het dok is voorspeld aan de hand van het analytisch of empirisch model dat door IMDC en Deltares werd ontwikkeld om het aanslibbingvolume in het Deurganckdok te berekenen zoals toegepast in onder andere (IMDC, 2013) en (IMDC, 2016b).

Het empirische sedimentatiemodel veronderstelt dat de sedimentatie in het getijdok te voorspellen is op basis van de sediment influx en depositie te wijten aan drie uitwisselingsprocessen aan de ingang van het dok, namelijk getijvulling, densiteitsstroming en neerwerking. De sedimentatie is dan gelijk aan $\alpha_{set,uitw} \cdot V_{uitw} \cdot c$, met

- V_{uitw} het uitwisselingsvolume per proces zoals berekend op basis van het meerlagen SCALDIS model en de ontledingstechniek hierboven beschreven;
- Vang-efficiëntie coëfficiënten per proces $\alpha_{set,uitw}$. Op basis van data-assimilatie voor gegevens van Deurganckdok zijn de empirische coëfficiënten $\alpha_{set,uitw}$ afgeleid die de verhouding van het uitgewisseld volume ten opzichte van het afgezet sedimentvolume bepalen (vangefficiëntie);
- c de getijgemiddelde sedimentconcentratie (doodtij, gemiddeld tij en springtij), gebaseerd op mediaanwaarden van een representatief meetstation ter hoogte van Deurganckdok en gelijk gesteld voor alle locaties waarvoor de sedimentatie werd bepaald (IMDC, 2017c).

Het totale slibonderhoud kan dan bepaald worden voor elke variant als de som van de onderhoudshoeveelheid in Deurganckdok, de hoeveelheid in het nieuwe getijdendok en het onderhoud in de overige zones. Deze laatste onderhoudshoeveelheid in de overige zones wordt constant verondersteld en is bepaald op basis van het gemiddelde slibonderhoud (2012-2015) min de onderhoudshoeveelheid in Deurganckdok zoals die door de referentiesituatie is berekend.

Voor meer details wordt verwezen naar (IMDC, 2017c).

In wat volgt worden de resultaten van twee simulaties vergeleken met de referentiesituatie P5-2. Voor de derde functionele klasseindeling 'bellenscherm' werd geen simulatie uitgevoerd.

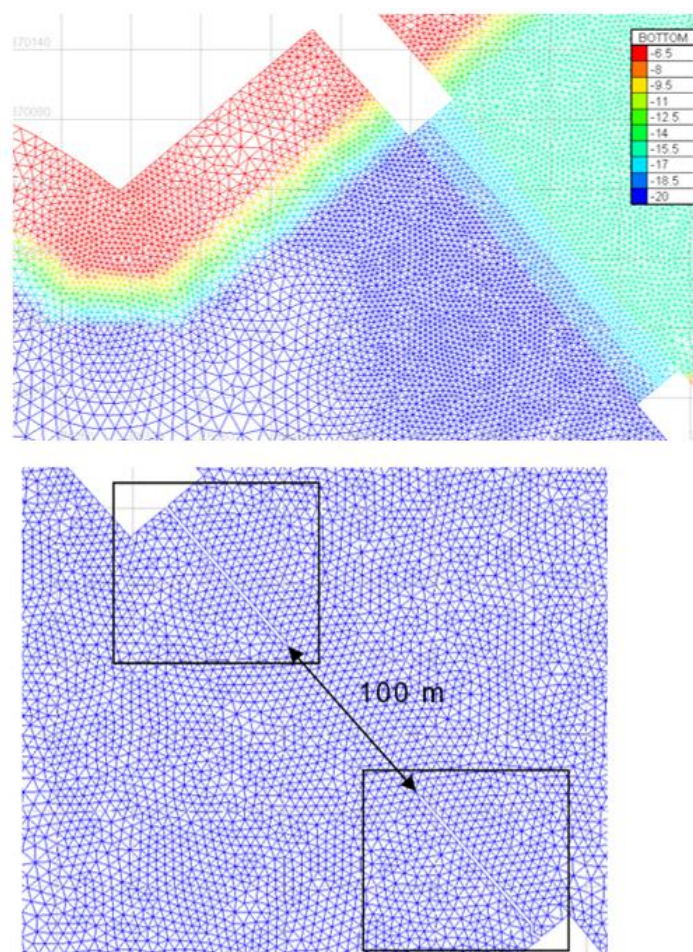
3.2 GEDEELTELIJKE VERSMALLING

3.2.1 Model aanpassingen

Voor de simulaties werden wijzigingen aan het model aangebracht overeenkomstig de eerste twee functionele klasseindelingen, i.e. 'tijdelijke vernauwing' en 'tijdelijke verhoging' (paragraaf 3.3).

Om de 'tijdelijke vernauwing' te realiseren, werd het numerieke rekenrooster van het referentiemodel aangepast zoals aangegeven in Figuur 3-3. Door de twee zijdelingse obstructies uit het rooster te verwijderen wordt de doorstroomopening van 300 m gereduceerd tot 100 m (zie paragraaf 2.2). De diepteligging in de omgeving van de vernauwing wordt niet aangepast.

In de simulatie is de vernauwing permanent gesloten. Deze situatie kan zich in werkelijkheid enkel voordoen als er gedurende een getijperiode geen grote zeeschepen passeren.



*Figuur 3-3: Implementatie tijdelijke vernauwing in het numerieke rekenrooster.
Boven: bathymetrie [m], onder: detail van de obstructies (zwarte omkadering)*

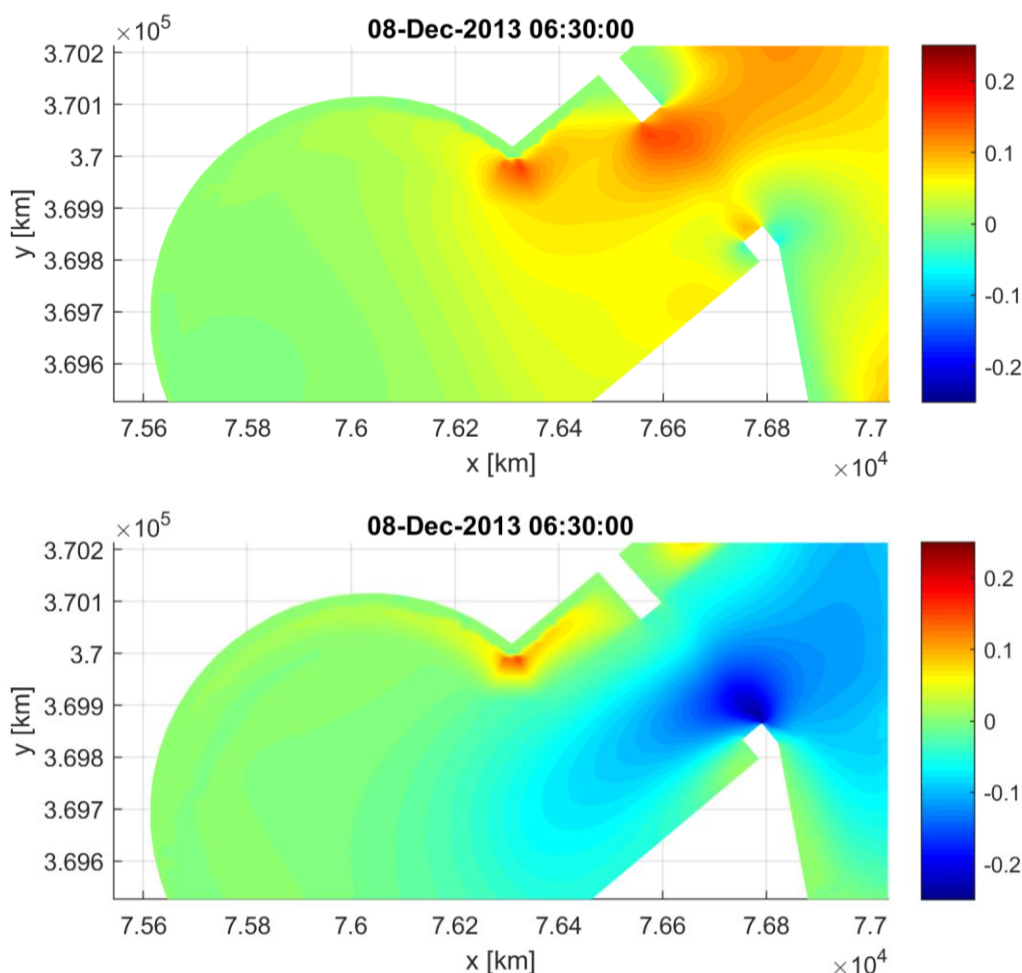
3.2.2 Effecten op de lokale hydrodynamica

De mechanismes van sedimenttransport zijn nauw verbonden met de hydrodynamica in een systeem. Het bestuderen van de effecten van de twee functionele klasseindelingen 'tijdelijke vernauwing' en 'tijdelijke verhoging' op de lokale hydrodynamica werpt dus een eerste licht op de te verwachten wijzigingen in de aanslibbing in het dok. Daarenboven kan op die manier geverifieerd worden dat de simulaties resulteren in realistische wijzigingen van de fysica. Twee effecten worden bekeken, namelijk een effect op de snelheidsverdeling en een effect op de waterstanden.

Effect op snelheden

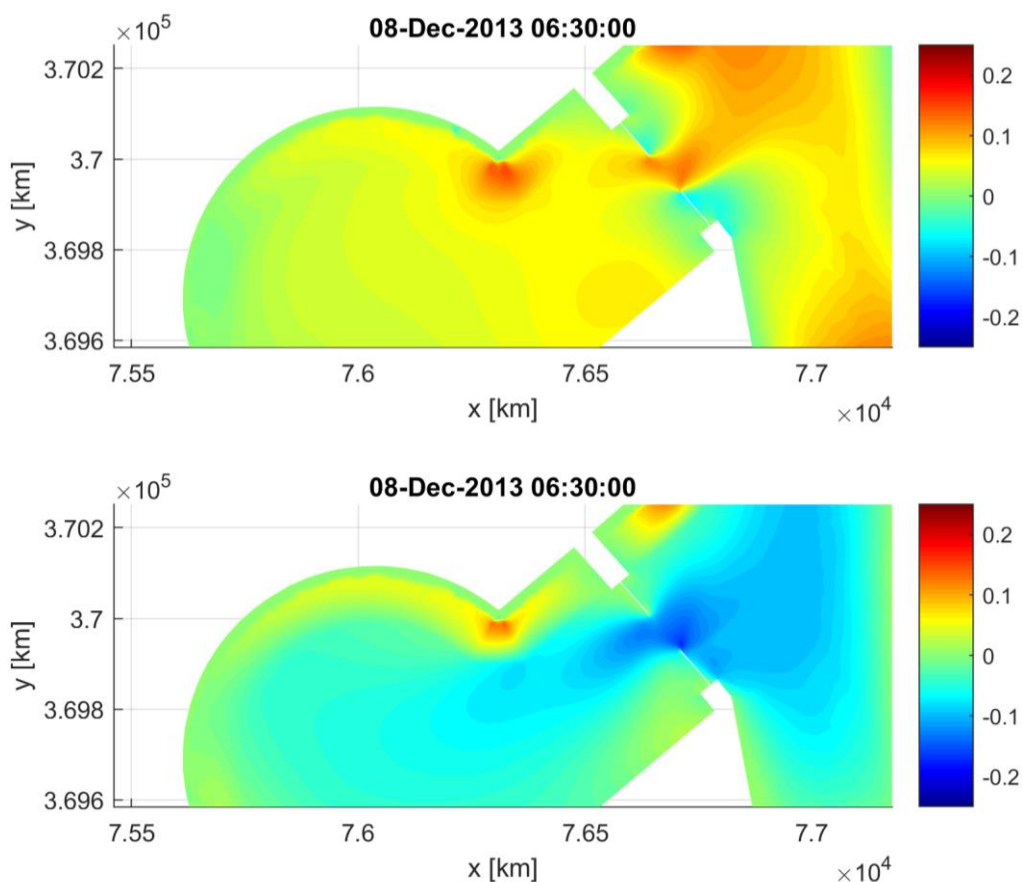
In wat volgt wordt voor elke simulatie het stromingsbeeld getoond op het tijdstip van hoogwater voor een normaal getij (08/12/2013 06:30 uit de simulatie). Dit is tevens het tijdstip waarop de densiteitsstroming veroorzaakt door het saliniteitsverschil tussen de rivier en het dok het grootst is. Doordat het water in de rivier zouter is dan in het dok, stroomt zout water in de onderste helft van de waterkolom het dok binnen, en stroomt zoet water in de bovenste helft van de waterkolom het dok uit.

Dit snelheidsbeeld wordt in Figuur 3-4 getoond voor de referentiesimulatie. Het bovenste beeld toont de gemiddelde stroming in de bovenste helft van de waterkolom, en het onderste beeld toont de gemiddelde stroming in de onderste helft van de waterkolom. Negatieve snelheden zijn gericht naar het dok, positieve snelheden zijn gericht naar de rivier. De figuur bevestigt de theorie van de densiteitsstroming die hierboven werd geschetst.



Figuur 3-4: Snelheidsmagnitude [m/s] op moment van HW (normaal getij) voor het scenario zonder slibreducerende maatregel. Boven: gemiddelde stroming in bovenste helft waterkolom, onder: gemiddelde stroming in onderste helft waterkolom.

Figuur 3-5 toont eenzelfde beeld – op hetzelfde moment – van een simulatie met gedeeltelijke vernauwing. Het water dat het dok in en uit wil stromen, doet dit nu door de vernauwde opening. Hierdoor ontstaan er aan de rivierzijde in de onmiddellijke omgeving van de versmallende constructies – waar de stroming wordt afgebogen naar de doorstroomopening – dode zones voor de stroming. De gemiddelde snelheidsmagnitude over de doorstroomopening in de bovenste en onderste helft van de waterkolom is in de beide simulaties vergelijkbaar. Bij gelijkblijvende waterhoogte (zie ‘effect op de waterstanden’ in volgende sectie) betekent dit dat het debiet dat per tijdseenheid het dok in – uitstroomt veel kleiner is in het geval van de ‘tijdelijke vernauwing’, wat leidt tot een verminderde aanslibbing ten gevolge van de densiteitsstroming.

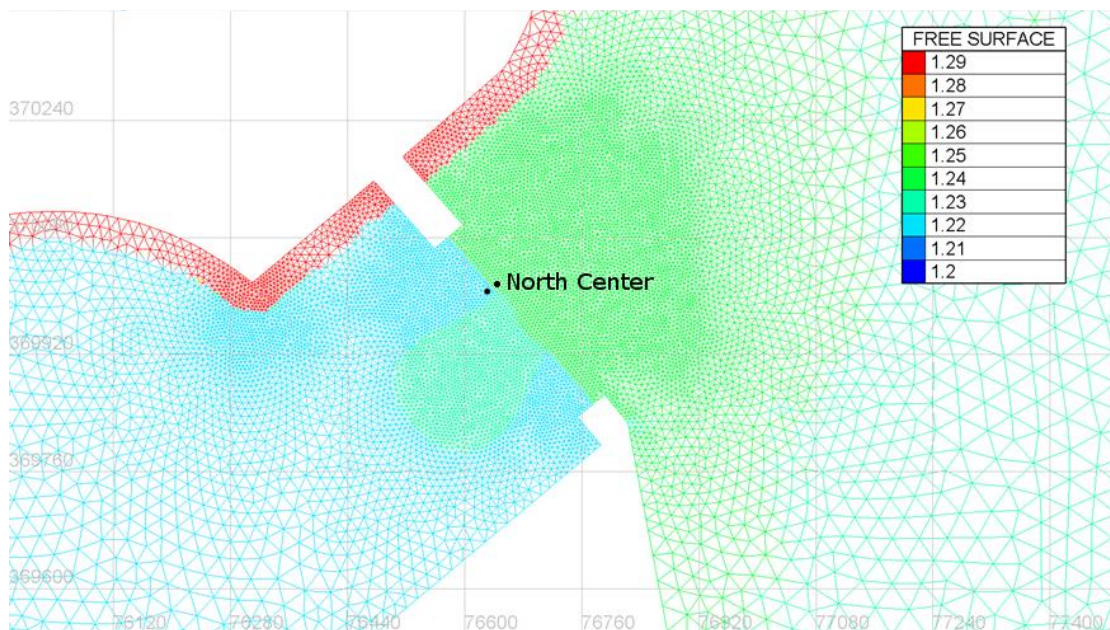


Figuur 3-5: Snelheidsmagnitude [m/s] op moment van HW (normaal getij) voor het scenario met tijdelijke vernauwing. Boven: gemiddelde stroming in bovenste helft waterkolom, onder: gemiddelde stroming in onderste helft waterkolom.

Effect op waterstanden

Figuur 3-6 toont een beeld van het waterpeil in de onmiddellijke omgeving van de maatregel 'tijdelijke vernauwing' op het moment dat het verschil in waterniveau maximaal is geworden.

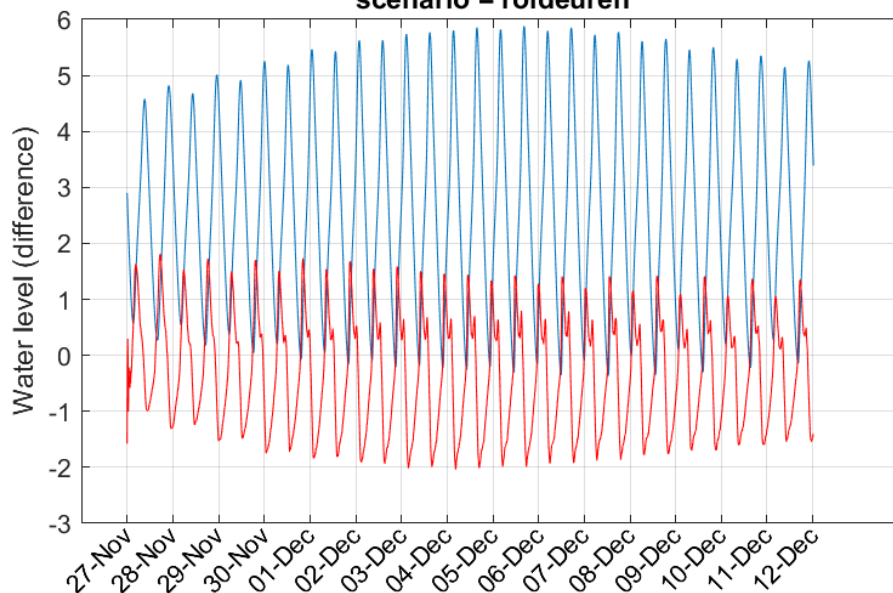
Figuur 3-7 toont zowel het waterniveau opwaarts van de noordelijke vernauwende constructie als het waterstandsverschil op- en afwaarts van dezelfde constructie voor de volledige duur van de simulatie. De figuur toont dat het niveauverschil nooit groter wordt dan ca. 2 cm. Figuur 3-7 toont een detailbeeld rond het moment waarop het maximaal waterpeil wordt bereikt, i.e. rond springtij (4/12/2013 15:30 in de simulatie). Merk op dat het moment van maximaal waterstandsverschil niet overeenkomt met het moment van maximale waterstand. Het maximale verschil treedt op rond 17:15 in Figuur 3-8, wanneer het waterniveau +5m TAW bedraagt.



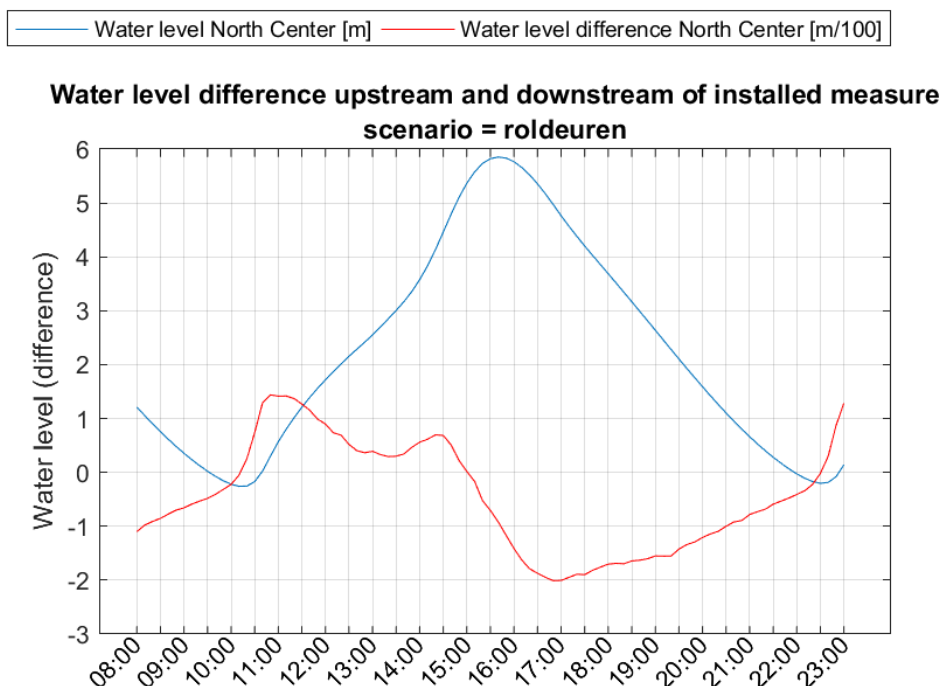
Figuur 3-6: Beeld van het waterpeil in de onmiddellijke omgeving van de slibreducerende maatregel 'tijdelijke vernauwing' bij maximaal waterstandsverschil (= 2 cm). Op de figuur is eveneens de locatie van de punten North Center aangeduid.



**Water level difference upstream and downstream of installed measure
scenario = roldeuren**



Figuur 3-7: Waterpeil (in mTAW, blauwe curve) en verschil in waterpeil opwaarts en afwaarts van de maatregel (in centimeters, rode curve).



Figuur 3-8: Detailbeeld van waterniveau rond springtij. Tijdstip maximaal waterniveau = 16:30 u, tijdstip maximaal verschil = 17:15 u. Waterpeil (in mTAW, blauwe curve) en verschil in waterpeil opwaarts en afwaarts van de maatregel (in centimeters, rode curve).

3.2.3 Krachtwerking op de structuur

Voor de klasseindeling 'tijdelijke vernauwing' werd de krachtwerking op de structuur bekeken, daar de structuur verankerd is in de omwalling van getijdedok en de krachtwerking dus maatgevend is voor de dimensies die de structuur dient aan te nemen.

Hydrostatische kracht ten gevolge van maximaal niveauverschil

Wanneer wordt aangenomen dat de saliniteit onmiddellijk op- en afwaarts van de constructie – en zo dus ook de densiteit van het water – gelijk is, dan kunnen we de maximale hydrostatische kracht per lopende meter F_h op elk van de vernauwende constructies ten gevolge van het maximaal waterstandsverschil begroten als:

$$F_h = p H = \rho g \Delta H H$$

Met

H = de waterhoogte = 15.2 m (bodempcil) + 5 m (waterpeil bij grootste verschil) = 20.2 m

ρ = 1025 kg/m³

g = de valversnelling = 9.81 m/s²

ΔH = maximale waterstandsverschil = 0.02 m

De (maximale) kracht wordt zo gelijk aan ca. 4062 N, of ~4 kN per lopende meter constructie.

Dynamische kracht ten gevolge van windgolven

De golven oefenen een dynamische kracht uit op de structuur met een cyclisch karakter. Door reflecties van de golf op de structuur zal een staande golf ontstaan, met typisch een superpositie van inkomende en gereflecteerde golf. De golfhoogte verdubbeld hierdoor. Gezien de geringe golfhoogte (en golflengte) wordt de golf aanzien als een diepwatergolf. De golfkrachten op de structuur hebben daardoor een sinusvorming verloop, positief en negatief, dat bij de hydrostatische kracht ten gevolge van de gemiddelde waterstand opgeteld dient te worden.

De druk die door de staande golf op de structuur wordt uitgeoefend, wordt bepaald als:

$$p_g = \rho g a e^{kz} \sin \theta$$

Met

a = maximale golfamplitude = $0,5 \times 0,52 \text{ m} = 0,26 \text{ m}$

L = golflengte = $g/2\pi T^2 = 11,4 \text{ m}$

k = golfgetal = $2\pi/L = 0,55 \text{ m}^{-1}$

$\sin(\theta)$ = fase van staande golf $[-1,1]$

De maximale dynamische golfkracht per lopende meter (met $\sin(\theta) = 1$ of -1) ten opzichte van de hydrostatische kracht, volgt uit een integratie van de golfdrukken over de hoogte:

$$F_g = \int_{H \rightarrow -\infty}^a p_g dz = \frac{\rho g a}{k} e^{ka}$$

De maximale berekende golfhoogte (T100, zie paragraaf 2.3.2) leidt volgens deze berekening tot een dynamische (cyclische) golfkracht van 5 467 N, of ~5,5 kN per lopende meter constructie.

3.2.4 Effect op aanslibbing in het dok

Er zijn drie mechanismes die aanleiding geven tot aanslibbing in het dok. Een eerste mechanisme is de getijdevulling van het dok. Een tweede mechanisme is de neervorming aan de ingang van nieuwe getijdedok, waarbij afhankelijk van de getijfase afwisselend water binnenstroomt langs de noordelijke helft van de doorstroomopening (en dit over de volledige hoogte van de waterkolom) en water buiten stroomt langs de zuidelijke kant van de doorstroomopening, en vice versa. Het derde mechanisme is de reeds vermelde densiteitsstroming, waarbij er afwisselend water binnenstroomt langs de onderste of de bovenste helft van de waterkolom, afhankelijk van het teken van de saliniteitsgradiënt tussen het dok en de rivier.

Bij de maatregel 'tijdelijke vernauwing' worden twee mechanismes beïnvloed: de laterale vernauwing zal zowel een deel van de laterale neer als een deel van de densiteitsstroming

blokkeren, dit omdat voor beide mechanismes de doorstroomoppervlakte van het debiet wordt verkleind.

De omvang van de reductie ten gevolge van de maatregel 'tijdelijke vernauwing' over een periode van een jaar wordt cijfermatig weergegeven in Tabel 3-1 voor de raai over de ingang van het dok, ter hoogte van de maatregel. Door de ingreep neemt de totale aanslibbing in het getijdedok af van 0,97 MTDS/jaar naar 0,65 MTDS/jaar, oftewel een afname van 33%.

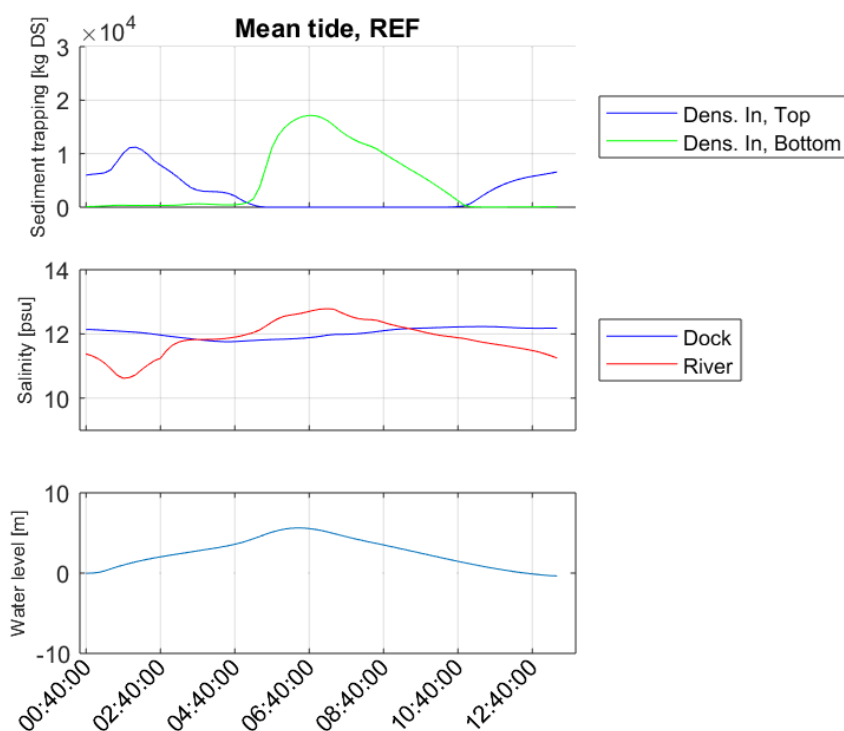
De aanslibbing ten gevolge van de neer wordt gereduceerd, maar deze component was reeds significant gereduceerd door reeds getroffen maatregelen die onderdeel uitmaken van het referentiealternatief. Hierdoor is de winst op dit uitwisselingsproces beperkt (van 0,08 MTDS/jaar naar 0,01 MTDS/jaar). Het is duidelijk dat de grootste reductie wordt bekomen door het blokkeren van de dichtheidsstroming (van 0,42 MTDS/jaar naar 0,16 MTDS/jaar). De aanslibbing ten gevolge van de getijvulling blijft onveranderd, wat gezien het gelijkblijvende getijvolume logisch is.

Wordt er ook rekening gehouden met het onderhoud van de drempelzone dat mogelijks niet door middel van de sweep beam naar de rivier getransporteerd kan worden (zie paragraaf 2.3.1), dan zijn de resultaten minder voordelig. In Tabel 3-2 staan de resultaten weergegeven van het berekende transport over een raai ter hoogte van de bestaande dijk. Ondanks de ingreep blijft de totale aanslibbing inclusief de drempelzone tot aan de ligging van de huidige dijk ongeveer gelijk: een afname van 1,09 MTDS/jaar naar 1,04 MTDS/jaar, oftewel een afname van 4%. Er is sprake van een beperkte afname van de dichtheidsuitwisseling (afname 18%); de uitwisseling door de neer blijft in de drempelzone ongeveer gelijk (van 0,10 MTDS/jaar naar 0,12 MTDS/jaar, is lichte toename).

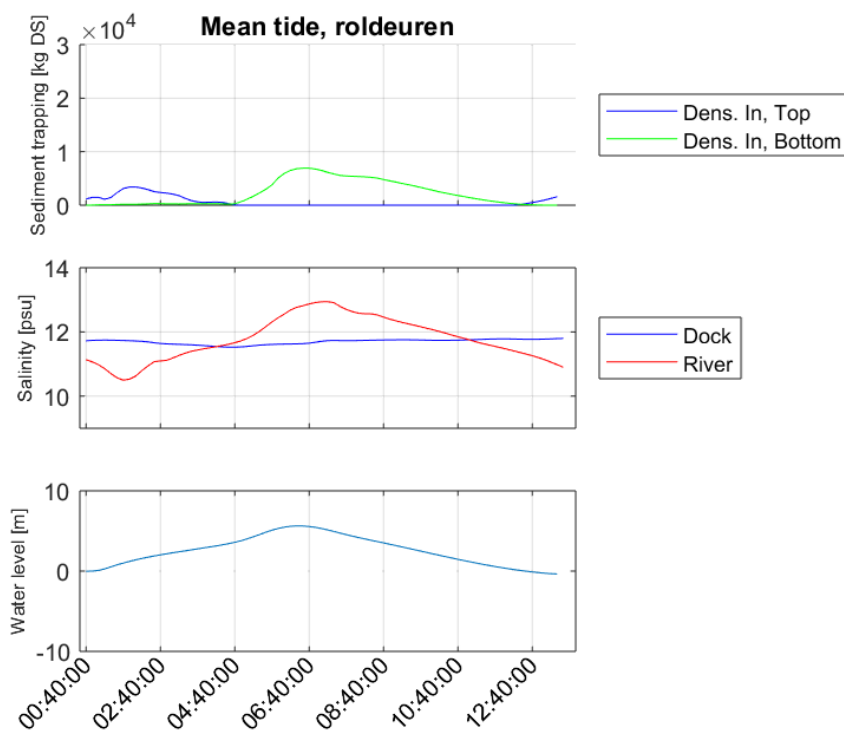
Om te illustreren hoe de bijdrage door de dichtheidsuitwisseling wijzigt, wordt het verloop van dit proces in de tijd gevisualiseerd. Voor de referentiesimulatie wordt in Figuur 3-9 de aanslibbing in het dok ten gevolge van de dichtheidsstroming, de saliniteit binnen en buiten het dok en het waterniveau ter plaatse van de doorstroomopening weergegeven. Deze figuur illustreert bij benadering het mechanisme van de dichtheidsstroming. Wanneer de saliniteit in het dok lager is dan in de rivier, dan stroomt in de onderste helft van de waterkolom het zoutere water het dok binnen en in de bovenste helft van de waterkolom het zoetere water uit het dok naar de rivier. Is de saliniteit in het dok hoger dan in de rivier, dan is het net andersom. Het moment waarop de stroming omkeert, valt samen met het moment waarop de saliniteitsbalans omslaat en het voorheen zoetere milieu nu het zoutere milieu is geworden en vice versa.

Door de gereduceerde breedte van de opening is de flux door de dichtheidsstroming verminderd. Figuur 3-10 illustreert dezelfde grootheden, maar dan voor de maatregel 'tijdelijke vernauwing'. De figuur toont aan dat het mechanisme van de dichtheidsstroming onveranderd blijft, maar dat de magnitude ervan flink gereduceerd is.

In de toegepaste methode veronderstelt dat het sediment op de rivier goed over de waterkolom gemengd is. Hieruit volgt dat zowel de eb- als de vloedfase bijdragen aan de aanslibbing van het dok. Gezien het natuurlijk sedimentgedrag mag evenwel verondersteld worden dat slib zich in een grotere dichtheid nabij de bodem bevindt. Hierdoor is het aannemelijk dat de fase waarin de dichtheidsstroming langs de bodem het dok instroomt, de aanslibbing domineert. Dit gegeven dient bij de interpretatie van de resultaten in rekening te worden gebracht.



Figuur 3-9: Aanslibbing in het dok door densiteitsstroming (boven, [kg droge stof]), dieptegemiddelde saliniteit in de rivier en het dok (midden, [psu]) en waterniveau in het midden van de ingang naar het dok (onder, [m]) voor de referentiesimulatie



Figuur 3-10: Aanslibbing in het dok door densiteitsstroming (boven, [kg droge stof]), dieptegemiddelde saliniteit in de rivier en het dok (midden, [psu]) en waterniveau in het midden van ingang naar het dok (onder, [m]) voor de maatregel 'tijdelijke vernauwing'

Tabel 3-1: Aanslibbing in nieuwe getijdedok (MTDS/jaar) van maatregel 'tijdelijke vernauwing', opgesplitst in componenten ten gevolge van getijvulling, neervorming en dichtheitsstroming, raai over de maatregel (zie Figuur 2-9)

Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie tov REF
Densiteit	0.42	0.16	61 %
Neer	0.08	0.01	81 %
Getij	0.47	0.47	~0%
Totaal	0.97	0.65	33 %

Tabel 3-2: Aanslibbing in nieuwe getijdedok (MTDS/jaar) van maatregel 'tijdelijke vernauwing', opgesplitst in componenten ten gevolge van getijvulling, neervorming en dichtheitsstroming, raai over de ligging van de huidige dijk (zie Figuur 2-9)

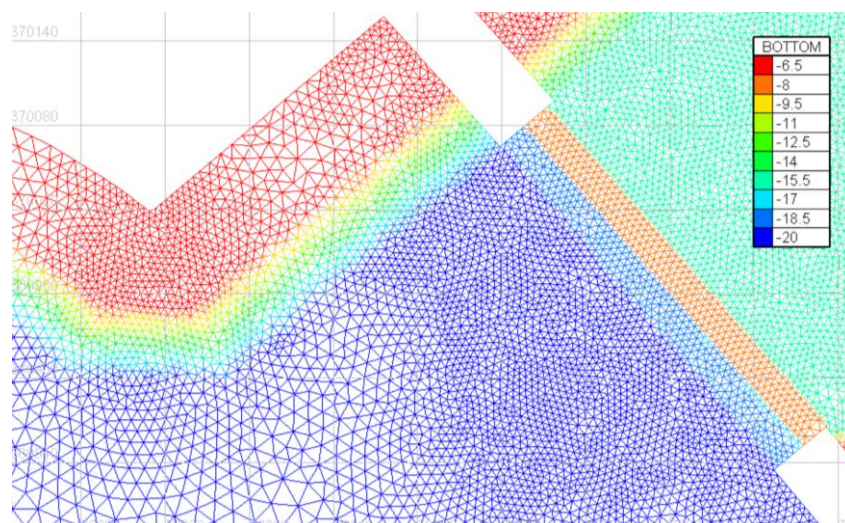
Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie tov REF
Densiteit	0,47	0,39	18 %
Neer	0,10	0,12	-30 %
Getij	0,52	0,53	~0%
Totaal	1,09	1,04	4 %

3.3 VERHOOGDE DREMPEL

3.3.1 Model aanpassingen

Ook voor de maatregel 'tijdelijke verhoging' werden wijzigingen aan het model aangebracht overeenkomstig deze functionele klasseindeling. De 'tijdelijke verhoging' werd verwezenlijkt door de bathymetrie in het referentiemodel ter plaatse van de doorstroomopening te verhogen tot een hoogte van circa -7 m TAW (zie paragraaf 2.2). Deze verhoging is aangegeven in Figuur 3-11.

In de simulatie is de verhoging permanent aanwezig. Deze situatie kan zich in werkelijkheid enkel voordoen als er gedurende een getijperiode geen grote (diepstekende) zeeschepen passeren.

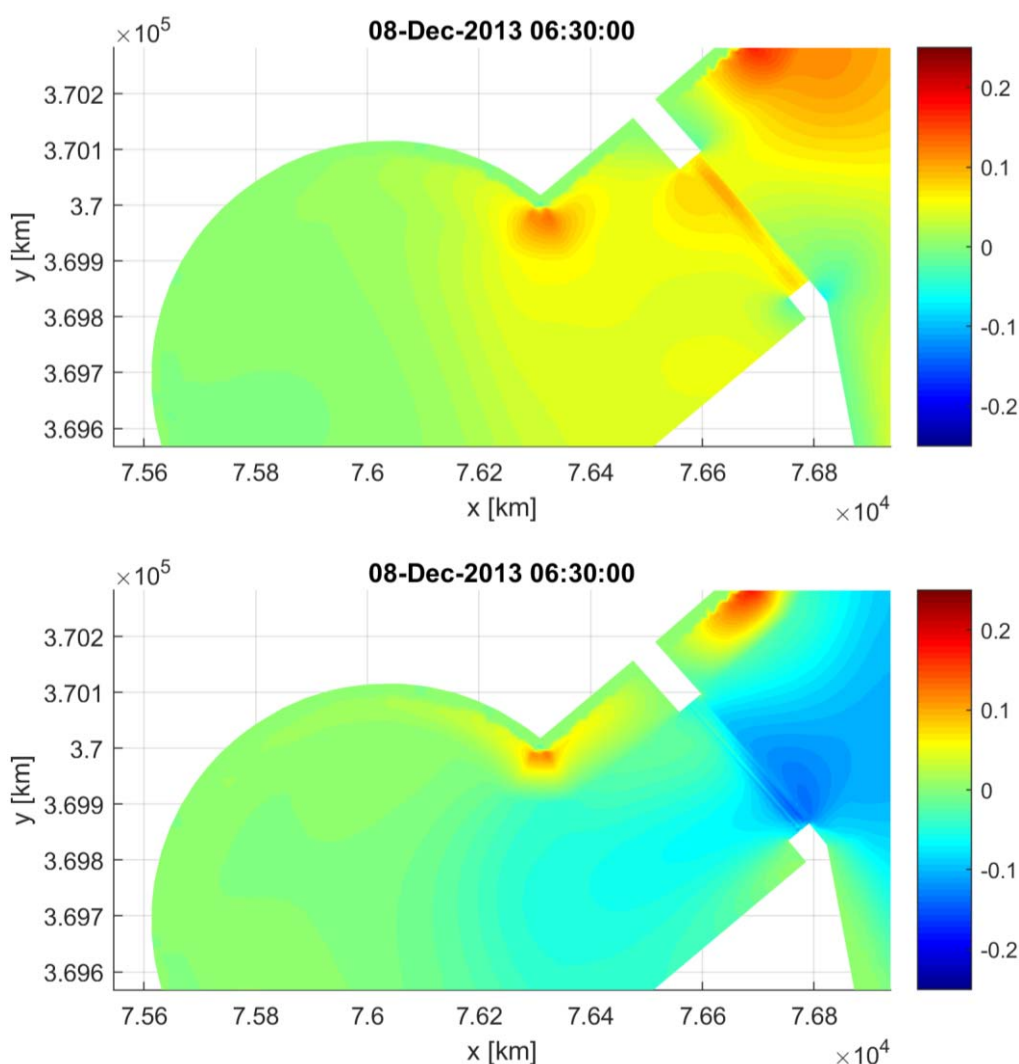


Figuur 3-11: Implementatie tijdelijke verhoging (oranje zone tussen de doorstroomopening)

3.3.2 Effecten op de lokale hydrodynamica

Analoog aan de analyse in sectie 3.2.2, wordt in Figuur 3-12 een beeld geschetst van de snelheidsmagnitudes voor de simulatie voor de klasseindeling 'tijdelijke verhoging', met op de bovenste en onderste helft van de figuur de gemiddelde stroming in de bovenste en onderste helft van de waterkolom. Gezien de aard van de afscherming is het effect op de waterstand niet aanwezig; enkel het effect op de (maximale) snelheid wordt besproken.

De waarden van de maximale snelheid liggen iets lager dan die in de referentiesimulatie. Bovendien zorgt de verhoging voor een scheiding tussen rivier en dok: waar het gemiddelde stromingsbeeld in de referentiesimulatie nog geleidelijk overloopt tussen dok en rivier, is er in de simulatie met de 'tijdelijke verhoging' sprake van een zone in het dok, de verhoging, en een zone in de rivier. Doordat de hoogte van de waterkolom flink is toegenomen ter hoogte van de 'tijdelijke' verhoging maar de snelheidsmagnitude niet is gestegen (en zelfs licht is gedaald), zal het debiet dat per tijdseenheid het dok in- en uitstroomt net als bij de maatregel 'tijdelijke vernauwing' lager liggen dan in de referentiesimulatie.



Figuur 3-12: Snelheidsmagnitude [m/s] op moment van maximum snelheid voor het scenario met tijdelijke verhoging. Boven: gemiddelde stroming in bovenste helft waterkolom, onder: gemiddelde stroming in onderste helft waterkolom.

3.3.3 Krachtwerking op de structuur

Vermits de structuren van het type 'tijdelijke verhoging' vrij kunnen bewegen ten opzichte van de rest van het dok, werken er geen resulterende hydrostatische krachten in op de structuren. De krachten ten gevolge van de stroming die op de maatregel inwerken, kunnen met het toegepaste model niet bepaald worden.

3.3.4 Effect op aanslibbing in het dok

Het doel van de maatregel 'tijdelijke verhoging' is om de dichtheidsstroming gedeeltelijk te blokkeren en de aanslibbing ten gevolge van dat mechanisme te reduceren.

De reductie van de aanslibbing ten gevolge van de maatregel is cijfermatig geïllustreerd in Tabel 3-3 voor de raai over de ingang van het dok, ter hoogte van de maatregel. Door de

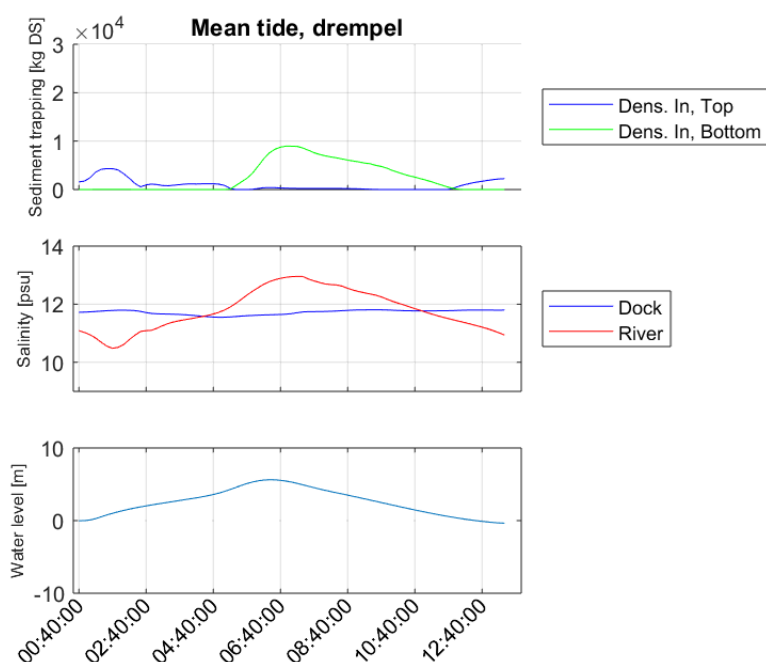
ingreep wordt een afname van de totale aanslibbing in het getijdedok berekend van 0,97 MTDS/jaar naar 0,72 MTDS/jaar, oftewel een afname van 25%.

Uit de resultaten volgt een reductie in aanslibbing ten gevolge van de densiteitsstroming ten opzichte van de referentiesimulatie (van 0,42 MTDS/jaar naar 0,19 MTDS/jaar), al is deze niet zo uitgesproken als voor de maatregel 'tijdelijke vernauwing'. Ook de aanslibbing ten gevolge van de neercomponent neemt af, wat logisch is aangezien dit mechanisme werkzaam is over de volledige hoogte van de waterkolom en juist de hoogte waterkolom wordt gereduceerd. De aanslibbing ten gevolge van de neer bedraagt evenwel nog steeds de helft van die in de referentiesimulatie (afname van 0,08 MTDS/jaar naar 0,04 MTDS/jaar). Hoewel de tijdelijke verhoging dus een stuk van de neer reduceert door de waterkolom in hoogte te laten afnemen, kan de neer zich nog steeds in de bovenste helft van de waterkolom doorzetten.

Er dient opgemerkt te worden dat er in de analyse geen rekening is gehouden met een lagere gemiddelde sedimentconcentratie in de lagen boven de (tijdelijke) verhoging. Normaal gezien treedt in de waterlagen juist boven de bodem, die door de (tijdelijke) verhoging worden geblokkeerd, een hogere concentratie op dan bovenin de waterkolom. Hierdoor zal in het geval van een (tijdelijke) drempel de concentratie van het water dat door de verschillende uitwisselingsprocessen het dok instroomt, en hierdoor ook de totale aanslibbing, lager uit vallen. Anderzijds is het ook waarschijnlijk dat door de aanwezigheid van de (tijdelijke) verhoging de trappingefficiëntie zal toenemen, immers, de dynamiek in de zone achter de drempel zal afnemen en materiaal zal efficiënter uitzakken, en minder gelegenheid krijgen om terug te stromen naar de rivier. Om deze verschillende effecten integraal te bestuderen, wordt echter een gedetailleerd sedimenttransport model aanbevolen.

Wordt er ook rekening gehouden met het onderhoud van de drempelzone dat mogelijks niet door middel van de sweep beam naar de rivier getransporteerd kan worden (zie paragraaf 2.3.1), dan zijn de resultaten minder voordelig. In Tabel 3-4 staan de resultaten weergegeven van het berekende transport over een raai ter hoogte van de bestaande dijk. Door de ingreep neemt de totale aanslibbing inclusief de drempelzone tot aan de ligging van de huidige dijk af met circa 10%: een afname van 1,09 MTDS/jaar naar 0,99 MTDS/jaar. Deze valt toe te schrijven aan een afname van de dichtheidsuitwisseling (afname 23%); de uitwisseling door de neer blijft in de drempelzone ongeveer gelijk (van 0,10 MTDS/jaar naar 0,11 MTDS/jaar).

Net als werd gedaan voor de maatregel 'tijdelijke vernauwing' illustreert Figuur 3-13 de mechanismes en magnitude van de densiteitsstroming.



Figuur 3-13: Aanslibbing in het dok door de densiteitsstroming (boven, [kg droge stof]), dieptegemiddelde saliniteit in de rivier en het dok (midden, [psu]) en waterniveau in het midden van de ingang naar het dok (onder, [m]) voor de maatregel 'tijdelijke verhoging'

Tabel 3-3: Effect op aanslibbing in dok van maatregel 'tijdelijke verhoging', opgesplitst in componenten ten gevolge van getijvulling, neervorming en densiteitsstroming, raai over de maatregel (zie Figuur 2-9)

Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie
Densiteit	0.42	0.19	54 %
Neer	0.08	0.04	45 %
Getij	0.47	0.49	~0 %
Totaal	0.97	0.72	26 %

Tabel 3-4: Effect op aanslibbing in dok van maatregel 'tijdelijke verhoging', opgesplitst in componenten ten gevolge van getijvulling, neervorming en densiteitsstroming, raai over de ligging van de huidige dijk (zie Figuur 2-9)

Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie
Densiteit	0,47	0,36	23 %
Neer	0,10	0,11	-10 %
Getij	0,52	0,52	~0 %

Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie
Totaal	1,09	0,99	9 %

3.4 BELLENSCHERM

De werking van de bellenschermen wordt onderzocht door toepassing van de formule van (Kerstma *et al.*, 1994). Deze formules werden ontwikkeld voor de toepassing in sluizen en de scheiding van zoet- en zoutwater. Formules voor de toepassing voor het voorkomen van de uitwisseling van (fijn) sediment wordt in de literatuur niet vermeld. In deze Quick Scan wordt beschouwd hoe een dergelijk systeem toegepast in een getijdendok gedimensioneerd zou moeten worden om zoet/zout uitwisseling te vertragen. Het idee is dat door het reduceren van de door dichtheidsverschillen geïnduceerde stroming ook de import van sediment, dat in die waterstroom wordt meegevoerd, kan worden gereduceerd. Echter, doorvertaling van de resultaten uit deze paragraaf naar sediment is speculatief.

Er werden voor deze maatregel geen simulaties met het Telemac model uitgevoerd; hiervoor ontbreken in het model de nodige tools.

3.4.1 Berekening theoretisch luchtdebiet

Het principe van het bellenscherm wordt geschetst in Figuur 3-14. Het theoretische luchtdebiet $q_{air,0}$ dat moet geleverd worden aan de bodem om scheiding van zoet en zout water over de volledige hoogte te bekomen, wordt berekend als:

$$q_{air,0} = \frac{1}{4} \varepsilon h \sqrt{\varepsilon g h} \left[1 + \frac{2u_{ri}}{\sqrt{\varepsilon g h}} \right]$$

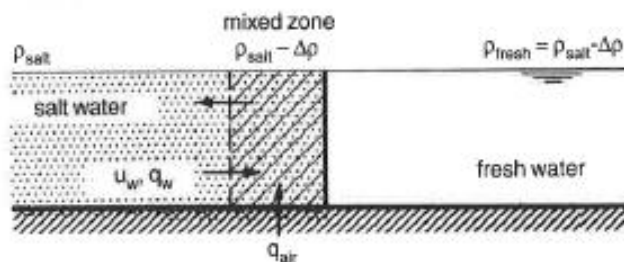
waarin

ε = het relatieve dichtheidsverschil van het water in de verschillende zones

h = de hoogte van de waterkolom

g = de valversnelling = 9.81 m/s²

u_{ri} = de opstijgsnelheid van de luchtbellen



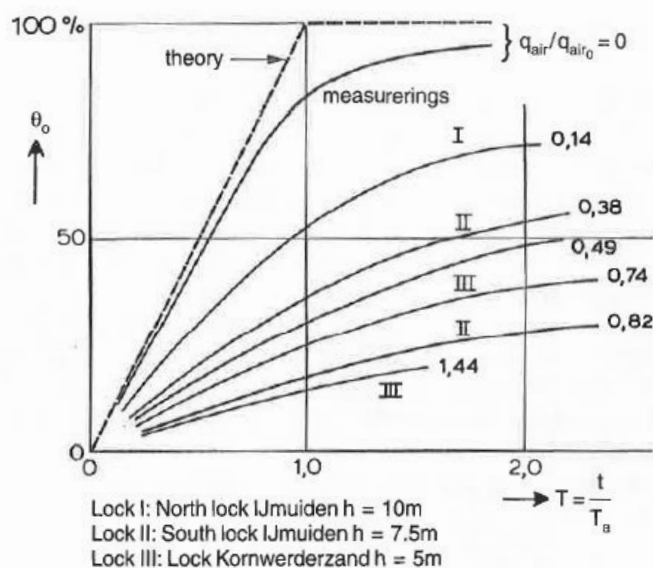
Figuur 3-14: Theoretische werking van een bellenscherm (Kerstma *et al.*, 1994)

Op basis van bovenstaande formule wordt een theoretisch luchtdebiet berekend voor de beschouwde toepassing in het getijdendok (zie onderste lijnen in Tabel 3-5 en Tabel 3-6) voor verschillende waarden van het relatieve dichtheidsverschil (tussen binnen en buiten), en gegeven een theoretische opstijgsnelheid van 0,3 m/s (Kerstma *et al.*, 1994). Naarmate het dichtheidsverschil tussen binnen en buiten toeneemt, is meer lucht nodig om de beoogde mengzone in te stellen.

Merk op dat het theoretisch luchtdebiet aan de bodem wordt berekend. In het geval van een waterdiepte van 20m bedraagt het volume van de lucht aan de bodem circa 1/3^e. Om het luchtdebiet aan normale of atmosferische druk te verkrijgen, dienen deze getallen met 3 te worden vermenigvuldigd.

Efficiëntie

Er wordt onderstreept dat de maatregel bedoeld is om de uitwisseling van zoet en zoutwater te vertragen en dat een 100% efficiëntie, dat wil zeggen een reductie van het uitwisselingsdebiet (of doorlaatfractie) tot nul, niet haalbaar is. Er wordt daarom over het algemeen een praktische keuze gemaakt voor een zekere efficiëntie en bijbehorend te installeren luchtdebiet. Dit wordt ook gedemonstreerd door Figuur 3-15 waarin voor verschillende geïnstalleerde bellenschermen de efficiëntie (de zoutintrusie in functie van een tijdschaal) wordt getoond. Telkens wordt aangegeven wat de verhouding is tussen het geïnstalleerde debiet en het theoretische luchtdebiet. Uit de figuur blijkt dat het volledig blokkeren van de uitwisseling onrealistisch is.



Figuur 3-15: Reductie van zoet-zout wateruitwisseling bij gebruik van bellenschermen (Kerstma *et al.*, 1994)

In onderstaande tabellen (Tabel 3-5 en Tabel 3-6) wordt daarom voor verschillende efficiënties (doorlaatfractie, of beoogde reductie van de zoutuitwisseling) het benodigde luchtdebiet van het bellenscherm vergeleken, voor verschillende relatieve dichtheidsverschillen tussen de rivier en het dok.

Tabel 3-5: Raming benodigd luchtdebiet (q_{air} in m^3/s aan de bodem) voor mogelijke densiteitsverschillen (ε , rivier versus dok) en beoogde reductie van zoet-zout uitwisseling

Efficiëntie	q_{air}/q_{air_0}	0,0019 [-] (dS = 2 ppt)	0,0038 [-] (dS = 3,5 ppt)	0,0077 [-] (dS = 4,8 ppt)	0,0125 [-] (dS = 6 ppt)
50%	0.55	1,5	3,0	4,5	20,3
60%	0.75	2,0	4,1	6,1	8,2
75%	1.00	2,7	5,4	8,1	10,9

Tabel 3-6: Raming benodigd luchtdebiet (q_{air} in m^3/hr aan de bodem) voor mogelijke densiteitsverschillen (ε , rivier versus dok) en beoogde reductie van zoet-zout uitwisseling

Efficiëntie	q_{air}/q_{air_0}	0,0019 [-] (dS = 2 ppt)	0,0038 [-] (dS = 3,5 ppt)	0,0077 [-] (dS = 4,8 ppt)	0,0125 [-] (dS = 6 ppt)
50%	0.55	5310	10730	16098	21518
60%	0.75	7241	14632	21952	29343
75%	1.0	9655	19510	29269	39124

Tijdschaal

Zoals aangehaald in Hoofdstuk 2 is in sluizen het bellenscherm slechts operationeel gedurende de korte periode dat de deuren open staan. Zonder bellenscherm vindt in die periode uitwisseling plaats, waardoor de (zoete) inhoud van sluiskolk door zoutwater wordt vervangen. De uitwisseling is volledig (doorlaatfractie 100%) wanneer de deuren langer open staan dan de tijd nodig om de complete inhoud van de kolk te vervangen door zout water (zonder bellenscherm). Deze tijdschaal wordt als volgt berekend:

$$T_a = \frac{2L}{u_a}$$

waarin:

L = de lengte van de sluiskolk (of het bassin)

u_a = de stroomsnelheid van de dichtheidsstroming, berekend als $u_a = 0,5\sqrt{\varepsilon gh}$ met:

ε = het relatieve densiteitsverschil van het water in de verschillende zones

g = de valversnelling = 9.81 m^2/s

h = de waterdiepte

Voor een typische zeesluis met een lengte van 400m, een waterdiepte van 15m, en een relatief dichtheidsverschil van 2,5% (32ppt saliniteitsverschil) bedraagt de theoretische tijdschaal circa 15 minuten. In werkelijkheid loopt het proces niet perfect, wat ook blijkt uit de bovenste lijn uit Figuur 3-15, en is bij $t / T_a = 1$ eerder 80% van het zoute water vervangen, en zelfs na 2x deze tijdschaal is de uitwisseling nog niet 100%. Wel vertraagt door de afgenomen dichtheidsverschillen het uitwisselingsproces; het stopt wanneer de hele kolk zout is.

Door het bellenscherm vertraagt de uitwisseling met de sluiskolk, maar dat heeft dus enkel zin wanneer de sluisdeuren niet te lang openstaan. Anders wordt alsnog alles zout en stopt het uitwisselingsproces.

Voor het getijdedok werd eveneens de tijdschaal bepaald. Hierbij wordt uitgegaan van een lengte van het getijdedok van circa 1450 m, een waterdiepte van 20,2 m (op basis van de diepte boven de drempelzone) en een relatief dichtheidsverschil van 0,15% (het meest gunstige saliniteitsverschil van slechts 2 ppt). De aldus berekende tijdschaal bedraagt 180 minuten, of 3 uur. In werkelijkheid zal de tijd benodigd voor de dichtheidsstroming om het dok volledig te doen omslaan van zoet naar zout groter zijn dan de (theoretische) tijdschaal. Dit blijkt ook uit Figuur 3-9, dat laat zien dat zowel gedurende de gehele vloed- als gedurende de gehele eb fase de dichtheidsstroming actief is (circa 4 tot 6 uur). Wel neemt de uitwisseling in kracht toe en af, in functie van de dichtheidsverschillen tussen dok en rivier. Bij grotere verschillen in dichtheid tussen dok en rivier verloopt het proces sneller.

Dat de dichtheidsstroming quasi continu actief is, wil zeggen dat vertraging van de uitwisseling door een bellenscherm een gunstig effect kan hebben op de sedimentatie. Immers, als de tijdschaal waarop de dichtheidsstroming actief is veel kleiner zou zijn dan de duur van bijvoorbeeld de vloedfase, dan zou een vertraging niet tot een vermindering van het totaal uitgewisselde volume leiden, en dus niet tot een afname van de sedimentimport.

Variatie in dichtheidsverschil tussen dok en rivier

Het succes van de maatregel hangt samen met de keuze van het luchtdebiet en de lek (van zout of sediment) die onder extremere condities wordt toegestaan (zie paragraaf 2.3.2). Wanneer de zoutwaarde op de rivier enkel zou variëren met het getij, zou het voldoende zijn een kleiner luchtdebiet te selecteren. Het dok zou een gemiddelde saliniteit aannemen en het saliniteitsverschil met de rivier varieert dan tussen nul en maximaal 5 ppt. Uitgaande van 2,5 tot 4 ppt bedraagt het theoretisch luchtdebiet (aan de bodem) dan 12.500 m³/uur tot 25.000 m³/uur. Afhankelijk van de tijdschaal wordt maximaal een efficiëntie van circa 75% bereikt, dat wil zeggen dat een belangrijk deel van de zoutuitwisseling kan worden gestopt.

Echter, er dient rekening gehouden te worden met schommelingen in de zoutwaarde op de rivier, die veel groter zijn dan de variatie door het getij. Variaties tot 10 ppt zijn hierbij niet onrealistisch, maar treden enkel kortstondig op. Om deze variaties ook met het bellenscherm op te vangen zijn hogere luchtdebieten nodig. Voor een saliniteitsverschil van circa 10 ppt bedraagt het theoretisch luchtdebiet (bij circa 75% efficiëntie) circa 75.000 m³/uur (aan de bodem). Een dergelijke luchtdebiet zou onder normale, enkel door getijvariatie veroorzaakte variaties in zoutgehalte, veel te groot zijn. Een variatie in luchtdebiet zou daarom wenselijk zijn om (extreme) schommelingen in zoutgehalte, als gevolg van bijvoorbeeld variaties in bovenafvoer, op te vangen.

Lucht wordt van één of beide zijden van doktoegang ingebracht via een reeks ventielen en aanvoerleidingen. Speciale spuitmonden (diffusors) zorgen voor bellen met de gewenste diameter (3 tot 6 mm). Er zijn (gepatenteerde) systemen beschikbaar die zorgen voor een constant debiet, onafhankelijk van de druk, waarmee het mogelijk is om een uniform debiet te verkrijgen over de breedte van het dok. Afhankelijk van het benodigde luchtdebiet kunnen meerdere aanvoerleidingen met diffusors worden voorzien. Elk van deze leidingen heeft een eigen compressor en een vast debiet. Variatie in het luchtdebiet zou daardoor mogelijk zijn door één of meerdere van de aanvoerleidingen en compressors af te koppelen, beschikbaar te houden voor redundantie en in te zetten tijdens extremere schommelingen in zoutgehalte.

Bedenkingen

Vermits een bellenscherm zoals beschreven in dit rapport, specifiek is ontwikkeld om menging van zoet en zout water tegen te gaan, zal het scherm voornamelijk een effect hebben op de dichtheidsstroming die ontstaat ten gevolge van het saliniteitsverschil tussen rivier en dok. Er wordt verwacht dat de neer en de getijvulling de goede werking van het bellenscherm eerder verstoren. Sediment in suspensie draagt ook bij aan de dichtheid van het slib-watmengsel. Hierdoor zal de efficiëntie van de maatregel bij de aanwezigheid van slib in suspensie lager zijn dan zonder slib. Bijkomend zal het bellenscherm ook zorgen voor een opmenging van slib. Dit kan een effect hebben op het netto transport van slib, alsook op het onderhoud van de drempelzone.

De indruk bestaat dat voor het opwoelen van sediment kleinere luchtdebieten volstaan, dan om de hydrostatische druk tegen te werken, die wordt veroorzaakt door de dichtheidsverschillen tussen rivier en dok. Wanneer enkel zou worden ingezet op het opwoelen van sediment (voorkomen suspensie) kan dit zowel tot een toename van de export (transport uit het dok) als van de import (transport verder het dok in) van sediment kunnen leiden, en het zou onderzocht moeten worden of dit zou leiden tot een afname van de aanslibbing. Gezien de diepere ligging van het dok lijkt het echter meer aangewezen te voorkomen (vertragen) dat slib het dok in wordt getransporteerd.

Hoewel het scherm in theorie een belangrijke afname van de dichtheidsstroming zou veroorzaken, en daarmee mogelijk ook de indringing van sediment in het dok, is het werkelijke effect op sediment niet gekend en hangt de effectiviteit waarmee het bellenscherm de dichtheidsstroming kan blokkeren af van vele factoren:

- De toegepaste relaties werden afgeleid voor (relatief) kleine sluizen en voor een toepassing gedurende enkele minuten ter overbrugging van de periode dat de sluisdeuren geopend zijn. De hier voorgestelde toepassing wijkt daarvan sterk af, en het is de vraag of de gebruikte relaties op deze wijze geëxtrapoleerd kunnen worden.
- Er wordt opgemerkt dat de maatregel bij sluizen ingezet worden om de zoutuitwisseling te vertragen en dus geen 100% scheiding van zoet en zoutwater beogen. Aangezien hier de maatregel (quasi) permanent operationeel zou zijn, is het de vraag of en hoeveel uitwisseling door de maatregel wordt voorkomen.
- Ook de waterdiepte is veel hoger dan de cases waarop de formule gebaseerd is. Rekening houdend met de waterdruk neemt het luchtvolume van de bellen aan de bodem sterk af. (1 m³ lucht (*free air delivery*) is op 5m diepte 0,67 m³, en op 20m diepte 0,33 m³). Het is onbekend wat het berekende luchtdebiet voor een effect heeft op de dichtheid van het lucht/watmengsel aan het oppervlak en de daar passerende (kleinere) schepen.
- De opstijgsnelheid van de bellen is niet goed gekend en blijkt een gevoelige parameter te zijn. Een foutieve inschatting kan zorgen voor een fout van 200% en meer op de berekende waarde van het luchtdebiet.
- De vervorming van het bellenscherm ten gevolge van de stroming kan de effectiviteit doen dalen. Gezien de geringe snelheden ter hoogte van de ingang van het dok zal dit evenwel geen groot probleem vormen.
- Het debiet wordt berekend met de veronderstelling dat de waterstand (en het dichtheidsverschil) gelijk blijft. Dit is bij sluizen benaderend wel het geval,

aangezien de sluisdeuren meestal slechts korte tijd openblijven en het bellenscherm slechts gedurende die tijd actief moet zijn. In de huidige toepassing blijft het bellenscherm quasi continu geactiveerd, zodat er gedurende de werking een grote variatie in waterstand (en dichtheidsverschillen) optreedt. De wisselende waterstand zorgt enerzijds voor een verstoring van de mengzone, en dus een imperfecte werking van het bellenscherm. Anderzijds kan het debiet van het bellenscherm geoptimaliseerd worden in functie van waterdiepte en dichtheidsverschil.

- Wanneer het debiet van het bellenscherm niet te allen tijde kan gewaarborgd zijn, of het geïnstalleerde debiet afwijkt van het theoretisch benodigde debiet, neemt de effectiviteit af.
- Het effect van sediment op de drukverdeling in het water en op de efficiëntie van het bellenscherm werd niet bepaald.
- Het bellenscherm zal het dichtheidsverschil tussen de rivier en het dok beïnvloeden. Door het scherm zal de zoutvariatie in het dok kleiner zijn, en daarmee ook de dichtheidsverschillen met de rivier. Wel worden de dichtheidsverschillen door het bellenscherm (langer) in stand gehouden. Mogelijk beïnvloedt dit het benodigde luchtdebiet. Bij het bepalen van het benodigde luchtdebiet wordt een conservatieve waarde van het benodigde luchtdebiet gebruikt (zie hieronder).

Er worden in de literatuur verschillende opties voor verbetering van het bellenscherm ter voorkoming van de uitwisseling van zoet- en zoutwater in sluiskolken beschreven die verder onderzocht zouden kunnen worden, waaronder:

- De keuze en opstelling van diffusors op de aanvoerleidingen
- De afstand tussen de aanvoerleidingen met diffusors
- De combinatie met een waterscherm
- De combinatie met een beweegbare (balg)drempel

Besluit

Op basis van bovenstaande analyses wordt gekozen voor bellenscherm dat een maximale efficiëntie beoogt, dus met een debiet gelijk aan het theoretisch luchtdebiet. Er wordt ingezet op een relatief dichtheidsverschil van ongeveer 0,4% (circa 5 ppt). Dit komt overeen met de normale variatie in zoutwaarde ten gevolge van het getij. Tevens zit daarin enige marge, aangezien de zoutwaarde in het dok traag mee varieert met de zoutwaarde op de rivier en dus een kleinere variatie kent, waardoor de dichtheidsverschillen kleiner zijn dan de maximale variatie op de rivier. De marge dient tevens om grotere dichtheidsverschillen die kunnen opdoen tijdens wijzigingen in de bovenafvoer, mee op te vangen. Verdere optimalisatie van het luchtdebiet in functie van het aanwezig dichtheidsverschil tussen het dok en de rivier is naar verwachting zeker mogelijk.

Er wordt aangenomen dat de efficiëntie van het bellenscherm 50% is, dat wil zeggen dat het de dichtheidsuitwisseling met 50% kan reduceren. Deze gereduceerde efficiëntie neemt in rekening dat de neervorming en getijvulling de bellenstroom verstoren, én het mogelijk effect van sediment op het bellenscherm. Gezien de ervaringen in de 2^e Petroleum haven in Rotterdam (paragraaf 2.1) lijkt een dergelijke reductie optimistisch en is het waarschijnlijk dat de werkelijke efficiëntie lager uitvalt.

Het bijbehorend luchtdebiet aan de bodem bedraagt bij deze aannames circa 8 m³/s of 30.000 m³/uur. Om het debiet bij normale of atmosferische druk te verkrijgen, moet rekening gehouden worden met de waterdiepte tijdens vloed. We gingen in de voorliggende berekening uit van een waterdiepte van circa 20 m; hieruit volgt een toename van de druk met 2 bar. Het luchtdebiet aan normale atmosferische druk dat hieruit volgt, bedraagt 24 m³/s of 90.000 m³/uur. Dit is een zeer groot debiet, maar qua orde-grootte vergelijkbaar met de voorbeelden genoemd in Paragraaf 2.1.6.

Wanneer de dichtheid binnen en buiten gelijk is, hoeft het bellenscherm niet actief te zijn; hierdoor is het mogelijk het energieverbruik te reduceren. Wanneer tijdens elke kenteringsperiode het bellenscherm inactief is, kan het aantal operationele uren met circa 30% gereduceerd worden.

3.4.2 Effect op aanslibbing in het dok

Gezien het belang van de densiteitsstroming in de totale aanslibbing in het dok en het feit dat het bellenscherm voornamelijk op deze component inwerkt, maakt het een (theoretisch) veelbelovende maatregel. Al de redenen hierboven leiden er echter toe dat er te veel onzekerheden zijn om op dit moment een betrouwbare inschatting te maken van de slibreductie zoals werd gedaan voor de overige maatregelen. Het enige dat is geweten is dat de reductie enkel inwerkt op de densiteitsstroming, en dat de theoretische reductie aldus in dat licht moet worden beschouwd.

Er kan worden gesteld dat onder gunstige condities (kleine variaties in bovendebiet en relatief constante saliniteit in het dok) een bellensysteem een belangrijke vertraging (en dus reductie) van de uitwisseling tussen zout en zoet water moet kunnen bewerkstelligen. Onder omstandigheden waarbij de dichtheidsstroming sterker is, bij grotere schommelingen in zoutwaarde door veranderende bovenafvoer, zal de efficiëntie eerder lager zijn. Ook zal de getijvulling en de neerwerking ervoor zorgen dat de bellenstroom zich niet ideaal kan ontwikkelen. Voor vergelijking van de totale aanslibbing in het getijdendok met de andere maatregelen wordt aangenomen dat de gemiddelde bijdrage van de dichtheidsuitwisseling reduceert met 50%. De totale aanslibbing in het dok neemt hierdoor met circa 20% af, van 0,97 MTDS/jaar naar 0,76 MTDS/jaar (zie Tabel 3-7).

Wat het effect van het bellenscherm zal zijn op de drempelzone aan de rivierzijde van het scherm, werd niet onderzocht. Er wordt aangenomen dat de aanslibbing hier niet verandert ten opzichte van de referentiesituatie.

Tabel 3-7: Raming effect op aanslibbing in dok van maatregel 'bellenscherm', opgesplitst in componenten ten gevolge van getijvulling, neervorming en densiteitsstroming, raai over de maatregel (zie Figuur 2-9)

Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie
Densiteit	0.42	0.21	50 %
Neer	0.08	0.08*	~0 %*
Getij	0.47	0.47	~0 %

Component	Referentie [MTDS/jaar]	Maatregel [MTDS/jaar]	Percentage reductie
Totaal	0.97	0.76	22 %

* Effect maatregel bellenscherm op de neervorming is onbekend

De keuze van de uiteindelijke installatie (en bijbehorende efficiëntie) is uiteraard een kostenafweging tussen de besparing op het onderhoud en de kosten van de installatie en de operationele kosten van een dergelijk bellenscherm.

3.5 ONDERHOUDSBAGGERVOLUME

3.5.1 Permanente inzet maatregelen

Tabel 3-8 geeft een samenvatting van ramingen voor de reductie van de aanslibbing in het dok bij continue werking van de maatregelen in de klasseindelingen 'tijdelijke vernauwing', 'tijdelijke verhoging' en 'bellenscherm'. Voor het bellenscherm is de raming gebaseerd op een aanname: er wordt verondersteld dat de ramingen van de efficiëntie van het bellenscherm voor de reductie van de uitwisseling van zoet- en zoutwater in sluiskolken toepasbaar zijn op sediment.

De tijdelijke vernauwing heeft een groter effect op de dichtheidsstroming én de neervorming dan de tijdelijke verhoging. Bij permanente toepassing wordt een reductie van maximaal 33 % op de totale aanslibbing van het dok gerealiseerd. Het eventuele effect van de maatregelen op het onderhoud van de drempelzone tussen de maatregel (ter hoogte van de dokingang) en de rivier wordt in deze vergelijking buiten beschouwing gelaten.

Bij het bepalen van de aanslibbing in het geval van een tijdelijke verhoging, werd geen rekening gehouden met de lagere gemiddelde concentratie die mogelijk van toepassing is op de wateruitwisseling boven de verhoging. Hierdoor zou de efficiëntie van deze maatregel groter kunnen zijn (zie ook Paragraaf 3.3.4). Ook werden er geen aanpassingen gedaan aan de trapping-efficiëntie die door de maatregelen zou kunnen toenemen, waardoor meer van het sediment in het dok zou kunnen achterblijven. Er wordt aanbevolen om in een later stadium een gedetailleerd sedimenttransport model in te zetten om deze processen integraal te berekenen.

Tabel 3-8: Raming reductie van aanslibbing tov de referentiesimulatie bij continue toepassing van de maatregel, ter hoogte van een raai over de maatregel (ingang dok)

Maatregel	Densiteit	Neer	Getij	Totaal
Tijdelijke vernauwing	62 %	88 %	~0 %	33 %
Tijdelijke verhoging	55 %	45 %	~0 %	26 %
Bellenscherm*	50 %*	~0 %*	~0 %	20 %*

* Effect maatregel bellenscherm op aanslibbing is onbekend, getallen betreffen aanname.

De gedeeltelijke vernauwing en verhoging kunnen echter niet permanent worden ingezet, aangezien dan de grote, diepstekende zeeschepen de haven niet binnen kunnen varen. Om een realistische schatting te maken van de mogelijke reductie op de aanslibbing, worden de gedefinieerde bedieningsscenario's uit paragraaf 2.3.3 toegepast welke de op- en afvaarten van de zeeschepen in rekening brengen.

3.5.2 Onderhoudsbagervolume

Om te komen tot een representatieve jaarlijkse aanslibbing voor de situatie met aanslibbingsreducerende maatregelen, wordt een gemiddelde waarde bepaald voor de reductie van de verschillende bedieningsscenario's (zie paragraaf 2.3.3). Er worden twee operationele alternatieven onderscheiden (zie Tabel 3-9):

- Buiten de geconcentreerde periode van op- en afvaart zijn de slibreducerende maatregelen gesloten (actief), en
- Door de spreiding van de op- en afvaarten gedurende de dag zijn de slibreducerende maatregelen afwisselend gesloten en geopend.

Er wordt benadrukt dat de toegepaste methode voor de bepaling van de onderhoudsvolumes een benadering is omgeven door de nodige onzekerheden. De resultaten van de twee bedieningsscenario's geven een mogelijke spreiding van de afname van het onderhoud die kan worden behaald.

De verschillen in onderhoudskosten zullen worden bepaald op het deel van het onderhoud dat zich in het dok afspeelt en dat door de maatregelen direct wordt beïnvloed. Er wordt in de kostenoverweging aangenomen dat het onderhoud van de drempelzone de kosten van het onderhoud voor de in deze nota bestudeerde varianten niet significant zal veranderen². Dit deel van het onderhoud wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

Er wordt rekening gehouden met een (jaarlijkse) variatie op het onderhoud. Om deze variatie te bepalen werden in (IMDC, 2017c) de baggerstatistieken van de afgelopen jaren geanalyseerd, en werd de variatie in het totale onderhoud in verhouding geplaatst met het gemiddelde onderhoud van het Deurganckdok. De argumentatie is dat een nieuw (getijde)dok op termijn ook effect heeft op het onderhoud van de overige zones, en dat dit

² Dit is anders voor de verschillende lay-outs van het getijdendok die eerder werden onderzocht. Hierbij speelt de grootte en vormgeving van de drempelzone wel een rol in de afweging tussen de verschillende varianten.

gezamenlijke effect beschouwd moet worden in de kostenanalyse. Dit leidt bij benadering tot een bandbreedte voor de mogelijke (extra) toename van het onderhoud met 100% van het extra onderhoud. Zie het Interpretatierapport SMER_ECA (IMDC, 2017c) voor details.

Tabel 3-9: Aanslibbing in nieuwe getijdedok (MTDS/jaar) voor verschillende operationele alternatieven (en reductie ten opzichte van de referentiesituatie) – beste inschatting.

Maatregel	Permanent	Maximaal actief	Gespreid actief
Tijdelijke vernauwing	0,65 (-33%)	0,69 (-29%)	0,83 (-14%)
Tijdelijke verhoging	0,72 (-26%)	0,76 (-22%)	0,87 (-10%)
Bellenscherm	0,76 (-22%)	0,76 (-22%)	0,81 (-15%)

Tabel 3-10: Aanslibbing in nieuwe getijdedok (MTDS/jaar) voor verschillende operationele alternatieven (en reductie ten opzichte van de referentiesituatie) – bovengrens.

Maatregel	Permanent	Maximaal actief	Gespreid actief
Tijdelijke vernauwing	1,30 (-33%)	1,38 (-29%)	1,66 (-14%)
Tijdelijke verhoging	1,44 (-26%)	1,52 (-22%)	1,74 (-10%)
Bellenscherm	1,52 (-22%)	1,52 (-22%)	1,62 (-15%)

3.6 KOSTEN ONDERHOUDSBAGGERWERKEN

Aanslibbing in het dok wordt verwacht, zowel langs de kaaïen als in het centrale deel van het getijdedok. In analogie met het huidige Deurganckdok zal de meeste sedimentatie plaats vinden in een zone nabij de ingang, maar ook in de andere zones van het dok wordt aanslibbing verwacht. Deze sedimentatie dient verwijderd te worden om de capaciteit van de kaai te garanderen. Om een inschatting van de besparing op het onderhoud te maken, wordt de dezelfde berekeningswijze toegepast als beschreven in het Interpretatierapport Watersysteem en Slibhuishouding, Bijlage E (IMDC, 2017c).

3.6.1 Uitvoeringsmethode

Voor het onderhoud van het getijdedok wordt een combinatie voorzien van een *sweep beam dredger*, die het slib van de kade naar het centrale deel sleept, en een *hopper dredger* (TSHD) die het slib in het centrale deel baggert en naar de daarvoor aangewezen stortplaats voor slibrijke specie transporteert (omgeving Plaat van Boomke). De aanpak komt overeen met de huidige praktijk in het Deurganckdok.

Deze aanpak creëert slechts een minimale hinder voor de scheepvaart (geen drijvende leiding), maar vergt het continu opzuigen van slib met een relatief lage densiteit door een sleephopperzuiger. Bijkomend voordeel is dat de baggerwerken met een sleepzuiger beperkt zijn tot het centrale deel en mogelijke impact op de erosiebescherming langs de kaaimuur vermeden wordt.

Wanneer in het centrale deel een sleuf wordt voorzien, zou het slib kunnen consolideren tot een hogere in-situ densiteit, wat een gunstig effect heeft op de efficiëntie van de baggerwerken (kleiner gebaggerd volume en lager kostprijs) met de sleepzuiger.

De drempelzone wordt voor zover mogelijk onderhouden door middel van de sweep beam, waarbij het slib binnen een maximaal haalbare afstand in (de stroming van) de rivier wordt gesleept.

3.6.2 Productiebepaling

Voor het bepalen van de producties en overeenkomstige eenheidsprijzen werd gebruik gemaakt van informatie van de onderhoudsafdeling van Maritieme Toegang (aMT) om de calculaties voor het huidige onderhoud zo nauw mogelijk te laten aansluiten bij de realiteit (IMDC, 2017c).

Er wordt aangenomen dat de sweepbeam gedurende eenzelfde tijd in de dokken aanwezig zal zijn als de sleephopperzuiger. Hierdoor zal er steeds een sweepbeam de sleephopperzuiger 'feeden'. Dit is een conservatieve benadering.

De uren besteed aan het onderhoud aan de drempelzone worden niet verder gedetailleerd maar er wordt ervan uitgegaan dat de sweepbeam tijdens het onderhoud, ook de drempelzone mee zal onderhouden. Dit wil zeggen dat er voor de drempelzone met deze aannames geen extra kost in rekening gebracht wordt, maar dat deze inbegrepen is in de sweepbeam kosten van het dok.

De productie in het getijdedok wordt geraamd op 196 000 TDS per week.

3.6.3 Kostprijsberekening

Voor het bepalen van de OPEX, dient er gekeken te worden naar de hoeveelheid jaarlijkse sedimentatie, de productie van het uitvoeringsschip en de gerelateerde eenheidsprijs.

De eenheidsprijs werd berekend op basis van de CIRIA guidelines (CIRIA, 2009) en worden geïndexeerd naar 2017. Overige aannames overeenkomstig met het Interpretatierapport ECA (IMDC, 2017c):

- Voor de sleephopperzuiger voor de dokken wordt een 'medium' sleephopperzuiger voorzien. (11 000 m³ beuninhoud). Een overeenkomstige weekprijs van € 792 000 is van toepassing in het getijdedok;
- Sweepbeam (Type 2) wordt voorzien om de sleephopper te feeden tijdens de baggerwerken in de dokken. Het sweepbeam-type dat courant gebruikt wordt in de haven van Antwerpen heeft een weekprijs van € 90 000 per week.

De eenheidsprijzen zijn onafhankelijk van de producties. Er wordt geen mobilisatiekost in rekening gebracht omdat de baggertuigen permanent worden ingezet.

Door de volumes (beste inschatting en bovengrens) te delen door de producties, bekomt men het benodigde aantal weken baggerwerken. Deze tijdsduur wordt vermenigvuldigd met de weekprijs van het baggertuig om de totale kostprijs per alternatief te bepalen.

Tabel 3-11 en Tabel 3-12 geven de totale kostprijs van de werkzaamheden per gesimuleerde operationele alternatief weer voor de beste inschatting en voor de bovengrens van de

verwachte onderhoudstoename. Ter indicatie worden ook de kosten voor de huidige situatie en de variant P5-2 zonder extra maatregelen getoond. De maximale kostenreductie wordt verkregen wanneer de slibreducerende maatregelen permanent worden ingezet. Voor de vernauwing en de verhoging van de toegang is dit uiteraard geen realistische optie. Het is wel een indicatie voor de maximale kostenreductie die kan worden verkregen.

Uit de tabellen blijkt dat een realistische kostenreductie voor de verschillende varianten ligt tussen de 1 en 2,5 MEuro per jaar. De variant die er in deze Quick Scan het voordeligste uitkomt qua reductie op onderhoudskosten is de 'tijdelijke vernauwing' (1,25 tot 2,5 MEuro). Het 'bellenscherm' en de 'tijdelijke verhoging' hebben beide een vergelijkbare besparing tot gevolg van de onderhoudskost (0,95 tot 1,9 MEuro).

Bij de berekening worden nog een aantal aanvullende opmerkingen gemaakt:

- Eventuele veranderingen in aanslibbing van de overige onderhoudszones werd in de analyse niet beschouwd;
- Onderhoud van de drempelzone werd ten behoeve van de voorliggende vergelijking tussen de onderhoudsbeperkende maatregelen buiten beschouwing gelaten;
- Voor het onderhoud van de Noordzeeterminal wordt geen extra kost in rekening wordt gebracht, maar wordt verondersteld dat deze inbegrepen is in de sweepbeam kosten van de reeds bestaande dokken;
- Het enkel activeren van de maatregel tijdens (een deel van) de vloedfase, leidt volgens de analyses niet tot een besparing. Deze conclusie hangt sterk samen met de gekozen berekeningsmethode.

De toegepaste methode is identiek aan die toegepast in het ECA project (IMDC, 2017c). In dat project werd gekozen voor een data-gedreven, pragmatische methode, die aansloot bij het tijdschema en de informatiebehoefte van de s-MER. Meer gedetailleerd onderzoek, met in het bijzonder de inzet van een gedetailleerd slibverspreidingsmodel, wordt aanbevolen voor een volgende fase en om de ramingen uit de voorliggende rapportage te verfijnen.

Tabel 3-11: Raming totale onderhoudskost (slib) voor de huidige situatie, variant P5-2 en de verschillende operationele alternatieven met slibreducerende maatregel

	Totale Sedimentatie dokken (MTDS/jaar)	Uitvoeringstermijn in onderhoudswerken in dokken [weken]	Sweepbeam kosten in dokken [€]	Kostprijs onderhoud van dokken [€]	Totaal kost [€]	Toename kostprijs onderhoud van de dokken [€]	Besparing tov Referentie Variant [€]
Huidige situatie	4,65	23,7	2 135 204	18 789 796	20 925 000	-	-
Variant P5-2 (Referentie)	5,62	28,7	2 580 612	22 709 388	25 290 000	4 365 000	-
Vernauwing - permanent	5,30	27,0	2 433 673	21 416 327	23 850 000	2 925 000	1 440 000
Vernauwing - maximaal	5,34	27,2	2 452 041	21 577 959	24 030 000	3 105 000	1 260 000
Vernauwing - enkel eb	5,48	28,0	2 516 327	22 143 673	24 660 000	3 735 000	630 000
Verhoging - permanent	5,37	27,4	2 465 816	21 699 184	24 165 000	3 240 000	1 125 000
Verhoging - maximaal	5,41	27,6	2 484 184	21 860 816	24 345 000	3 420 000	945 000
Verhoging - enkel eb	5,52	28,2	2 534 694	22 305 306	24 840 000	3 915 000	450 000
Bellenscherm - permanent	5,41	27,6	2 484 184	21 860 816	24 345 000	3 420 000	945 000
Bellenscherm - enkel eb	5,46	27,9	2 507 143	22 062 857	24 570 000	3 645 000	720 000

Tabel 3-12: Raming totale onderhoudskost (slib) voor de huidige situatie, variant P5-2 en verschillende operationele alternatieven met slibreducerende maatregel (bovengrens)

	Totale Sedimentatie dokken (MTDS/jaar)	Uitvoeringstermijn onderhoudswerken in dokken [weken]	Sweepbeam kosten in dokken [€]	Kostprijs onderhoud van dokken [€]	Totaal kost [€]	Toename kostprijs onderhoud van de dokken [€]	Besparing tov Referentie Variant [€]
Huidige situatie	4,65	23,7	2 135 204	18 789 796	20 925 000	-	-
Variant P5-2 (Referentie)	6,59	33,6	3 026 020	26 628 980	29 655 000	8 730 000	-
Vernauwing - permanent	5,95	30,4	2 732 143	24 042 857	26 775 000	5 850 000	2 880 000
Vernauwing - maximaal	6,03	30,8	2 768 878	24 366 122	27 135 000	6 210 000	2 520 000
Vernauwing - enkel eb	6,31	32,2	2 897 449	25 497 551	28 395 000	7 470 000	1 260 000
Verhoging - permanent	6,09	31,1	2 796 429	24 608 571	27 405 000	6 480 000	2 250 000
Verhoging - maximaal	6,17	31,5	2 833 163	24 931 837	27 765 000	6 840 000	1 890 000
Verhoging - enkel eb	6,39	32,6	2 934 184	25 820 816	28 755 000	7 830 000	900 000
Bellenscherm - permanent	6,17	31,5	2 833 163	24 931 837	27 765 000	6 840 000	1 890 000
Bellenscherm - enkel eb	6,27	32,0	2 879 082	25 335 918	28 215 000	7 290 000	1 440 000

4. TECHNISCHE UITVOERING MAATREGELEN

In dit hoofdstuk worden een aantal mogelijke varianten in meer detail besproken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van technische gegevens en ervaringen met reeds gebouwde referentie-ontwerpen.

De eerste paragrafen van dit hoofdstuk zijn inleidend, en hernemen deels uitgangspunten die in vorige hoofdstukken al meer uitgebreid aan bod gekomen zijn.

4.1 OVERZICHT SLIBKERINGEN

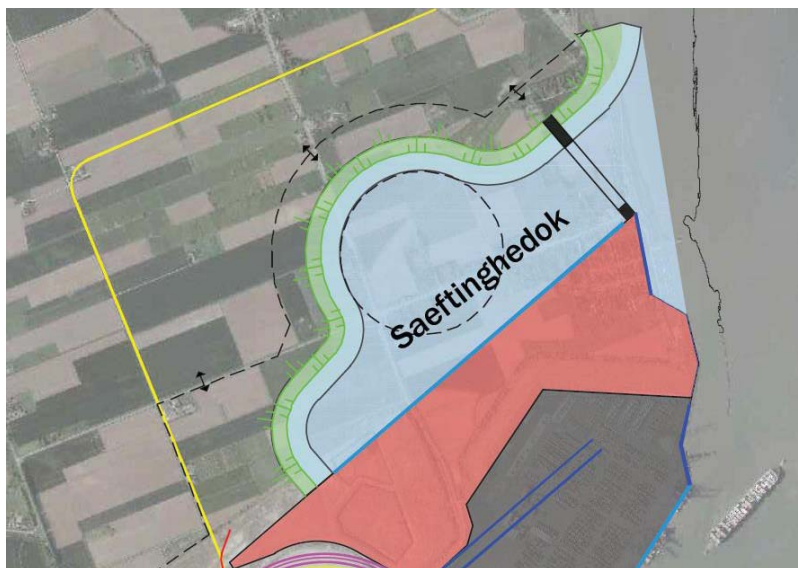
De ingang naar een nieuw getijde dok komt in een insteek vanuit de Schelde. Deze insteek moet toelaten dat de grootste containerschepen kunnen binnenvaren bij “open” slibkering.

De slibkerende voorzieningen kunnen ingedeeld worden naar de wijze waarop de binnenvaart kan passeren bij een “gesloten” (of “actieve”) slibkering.

4.1.1 Afwezigheid van slibkeringen (“nul-variante”)

4.1.1.1 Beschrijving

Alle varianten van mogelijke slibkeringen worden uiteindelijk onderling vergeleken. Om de vergelijking compleet te maken, wordt ook de afwezigheid van slibkeringen beschouwd. De nul-variante is de versmalde ingang naar het 2^e getijdedok, nabij de Schelde. In dit geval is er steeds een doorvaart voor binnenvaart en voor zeeschepen beschikbaar over de volle breedte en hoogte van het toegangskanaal.



*Figuur 4-1: Overzicht van 2^e getijdedok, **nul**-variante “P5-2”, met vernauwde toegang aan Scheldezijde. De ligplaats voor binnenschepen is op de linkeroever van de Schelde, aan de zuidzijde van de toegang naar het 2^e getijdedok.*

- Doorvaartbreedte: 300 m

4.1.1.2 Nul-variante: beschikbare waterdiepte

De omgevingscondities ter hoogte van het toekomstig 2^e getijdedok zijn als volgt:

- Maximaal getij-niveau dat ter plaatse verwacht kan worden: + 6 m TAW (=“hoogwaterpeil”)
- Minimaal getij-niveau dat ter plaatse verwacht kan worden: -1 m TAW (=“laagwaterpeil”)
- Niveau van de drempel bij de ingang van het dok: -15,2 m TAW.

Dit drempelniveau komt overeen met een getij-onafhankelijke doorvaart voor zeeschepen op de Schelde.

Merk op dat door meteorologische invloeden de waterstand nog verder kan toenemen. Hierin is in deze Quick Scan voorlopig geen rekening gehouden.

Afgeleide waarden in verband met waterdiepte:

- waterdiepte bij hoogwaterpeil: $+ 6 + 15,2 = 21,2$ m
- waterdiepte bij laagwaterpeil: $- 1 + 15,2 = 14,2$ m

4.1.1.3 Nul-variante: beperkingen voor zeevaart

De maximale beschouwde afmetingen van de zeevaart zijn:

- lengte: 430 m
- breedte: 63 m
- diepgang: 14 m

Afgeleide waarden in verband met kielspeling van zeevaart ten opzichte van drempel:

- kielspeling bij hoogwaterpeil: $21,2 - 14 = 7,2$ m
- kielspeling bij laagwaterpeil: $14,2 - 14 = 0,2$ m

Het containerschip met maximale diepgang kan bij laagwaterpeil de drempel niet veilig passeren. De passage van containerschepen met grote diepgang zal daarom moeten gebeuren bij hogere waterpeilen (cf. het tijvenster of tijpoort).

4.1.1.4 Nul-variante: beperkingen voor binnenvaart

Aanname voor maximale afmetingen van de binnenvaart:

- diepgang: 4 m

Afgeleide waarden in verband met kielspeling van binnenvaart ten opzichte van drempel:

- kielspeling bij hoogwaterpeil: $21,2 - 4 = 17,2$ m
- kielspeling bij laagwaterpeil: $14,2 - 4 = 10,2$ m

Ook bij laagwaterpeil is er een zeer grote kielspeling voor de binnenvaart. De passage van binnenvaart is dus altijd mogelijk.

4.1.2 Niet-overvaarbare slibkeringen

4.1.2.1 Beschrijving

4.1.2.1.1 Gesloten (actieve) stand

Een niet-overvaarbare slibkering laat een doorvaart-opening van minimaal 100 m voor binnenschepen. Deze doorvaartbreedte laat toe dat twee binnenvaartschepen elkaar kruisen, met de nodige tussenruimte en met zijdelingse ruimte tot de slibkering.

Bij deze varianten is er in de doorvaartopening nooit een slibkering aanwezig. Over de rest van de breedte van het toegangskanaal is de slibkering dicht over de volledige hoogte, en is er geen doorvaart van binnenschepen mogelijk. Door de centrale doorvaart-opening kan altijd slib in- of uitstromen, met de volledige waterdiepte.

De hoogte van de slibkering is voldoende om steeds boven hoogwater uit te komen. Als praktische waarde wordt aangenomen dat het bovenniveau van deze kering overeenkomt met het niveau van de kademuren van het 2^e getijdedok. Dit geeft ook een gemakkelijke toegang te voet boven op de gesloten kering.

4.1.2.1.2 Open stand

Om zeevaart te kunnen laten passeren, wordt in de open stand van de slibkering de doorvaartopening groter gemaakt, tot de volle breedte van 300 m. Er is dan geen enkel slibkerend effect meer beschikbaar.

4.1.2.2 Technische mogelijkheden

- (1) Roldeuren die zijdelings in- en uitrijden (in een rechtlijnige beweging)
- (2) Segmentdeuren met een verticale as, die zijdelings in- en uitrijden (in een draaiende beweging).

Bij (1) en (2) zijn bij de gesloten stand (actieve kering) de deuren uitgereden, in de open stand (niet-actieve kering) zijn ze ingereden in de parkeerpositie in de oevers.

- (3) Vlottende pontons die zijdelings in- en uitvaren (in een rechtlijnige beweging). Als de pontons ter plaatse zijn in de doorvaart, worden “gordijnen” afgerold tot op de bodem, die dan voor de eigenlijke slibkering zorgen.

Nota's:

Bij (1) en (2) kunnen de deuren al-dan-niet geheel of gedeeltelijk vloten. Zie details in volgende paragrafen.

De deuren moeten omwille van aanvaar-veiligheid opgebouwd worden tot boven het hoogwaterpeil, zodat ze in alle omstandigheden zichtbaar zijn voor de binnenvaart. De slibkering kan dan werkzaam zijn over de volledige hoogte, of enkel onderaan (het deel dat bovenaan in het water zit, heeft dan een open structuur).

In Hoofdstuk 3 werd afgeleid dat de krachtswerkingen op de deuren (1) en (2) ten gevolge van de getijdestroming en golven relatief klein zijn in vergelijking met krachtswerkingen op gesloten sluisdeuren en stormkeringen. De deuren (1) en (2) kunnen daarom lichter van constructie zijn dan de referentie-voorbeelden.

Merk op dat de slibkering geen waterkerende functie (c.f. het Sigmaplan) heeft. In extreme omstandigheden mag het water over de kering stromen. Omdat de kering niet volledig sluit, zal het water voor en achter de kering steeds op hetzelfde niveau staan en dus niet bijdragen aan de krachtswerking. De extra kost om de kering nog hoger te maken, wordt niet gerechtvaardigd door een mogelijke winst op de slibvangst.

Een gordijnkering (3) kan ter plaatse blijven als er geen zee-scheepvaart moet passeren. De gordijnen kunnen opgerold worden bij aflopend tij, om de uitstroom van slib toe te laten.

Drempelniveau: zoals bij de nul-variante.

Getijhoogten: zoals bij de nul-variante

Afmetingen van zee- en binnenvaart: zoals bij de nul-variante

4.1.2.3 Afgeleide waarden in verband met waterdiepte bij gesloten, niet-overvaarbare kering

- waterdiepte bij hoogwaterpeil: $6 + 15,2 = 21,2$ m;
breedte 100 m,
open sectie = $21,2 * 100 = 2.120$ m² (= 33%);
gesloten sectie = $21,2 * 200 = 4.240$ m² (= 67%)
- waterdiepte bij laagwaterpeil: $-1 + 15,2 = 14,2$ m;
breedte 100 m,
open sectie = $14,2 * 100 = 1.420$ m² (= 33%);
gesloten sectie = $14,2 * 200 = 2.840$ m² (= 67%)

4.1.2.4 Duur van een beweging

Dit betreft de inschatting van de verwachte duur van de openings- en sluitingstijden.

Streefdoel is om de slibkering te openen of te sluiten optimaal in 15 minuten, om het effect op de slibkering te beperken. Een openings- of sluitingstijd van 30 minuten wordt nog als aanvaardbaar beschouwd.

4.1.3 Overvaarbare slibkeringen

4.1.3.1 Beschrijving

Een overvaarbare slibkering is in gesloten (actieve) stand over de volle breedte en bij elk getijniveau overvaarbaar voor binnenschepen.

Deze slibkeringen moeten omwille van aanvaar-veiligheid beneden een minimum niveau blijven in de gesloten stand, omdat ze niet zichtbaar zijn voor de binnenvaart, en de binnenvaart niet mogen hinderen.

Een maximaal constructiepeil van -7 m TAW laat toe dat binnenschepen met de nodige reserve bij laagwaterpeil over de gesloten slibkering kunnen varen.

Nota: Dit niveau is afgeleid van een vrije ruimte van 6 m gerekend vanaf laagwaterniveau van -1 m TAW.

In de gesloten stand van de slibkering is er dan een opening over de volledige breedte van het toegangskanaal, maar met een verminderde hoogte. Het slib kan dan in- of uitstromen over de slibkering heen.

Om zeevaart te kunnen laten passeren, wordt in de open stand van de slibkering de waterdiepte (of de doorvaarthoogte) groter gemaakt, tot op het drempelniveau.

4.1.3.2 Technische mogelijkheden

- Opklapbare stijve constructie-elementen, in staal of ander materiaal. In de gesloten “actieve” stand worden deze elementen opgetrokken of opgevlot, in de open stand worden ze neergelaten.
- Opblaasbare soepele constructie-elementen, zoals een balgstuw. In de gesloten “actieve” stand worden deze opgeblazen of opgepompt, in de open stand worden ze dan leeg gemaakt, en zinken ze terug in de drempel.

Nota: Roldeuren of segmentdeuren met een centrale doorvaartopening van 100m kunnen ook als overvaarbaar worden uitgevoerd. Dit alternatief werd in deze studie niet verder onderzocht, gezien de lagere slibweringsefficiëntie.

Getijhoogten: zoals bij de nul-variante

Afmetingen van zee- en binnenvaart: zoals bij de nul-variante

Duur van een beweging: zoals bij de niet-overvaarbare slibkeringen

4.1.3.3 Afgeleide waarden in verband met waterdiepte ten opzichte van gesloten overvaarbare slibkering

- waterdiepte bij hoogwaterpeil: $6 + 7 = 13$ m
breedte = 300 m
open sectie = $13 * 300 = 3.900 \text{ m}^2$ (= 61%)
gesloten sectie = $8,2 * 300 = 2.460 \text{ m}^2$ (= 39 %)
- waterdiepte bij laagwaterpeil: $-1 + 7 = 6$ m.
breedte = 300 m
open sectie = $6 * 300 = 1.800 \text{ m}^2$ (= 42%)
gesloten sectie = $8,2 * 300 = 2.460 \text{ m}^2$ (= 58 %)

Nota: Uit de bovenstaande getallen blijkt dat, in vergelijking met de niet-overvaarbare slibkeringen, de “open sectie” hier telkens groter is, vooral bij het hoogwaterpeil.

Omdat de overvaarbare kerende elementen zich gemiddeld dicht bij de bodem bevinden, kan het slibkerend effect relatief groter zijn dan wat uit de “gesloten sectie” volgt.

Zie hiervoor de bespreking in Hoofdstuk 2.

4.1.4 Doorvaarbare slibkeringen

4.1.4.1 Beschrijving

Een gesloten slibkerende constructie is doorvaarbaar voor binnenvaart over de volle breedte en de volle hoogte van het toegangskanaal. Er zijn dan geen geometrische beperkingen.

In de praktijk is dit type slibkering een “bellenscherm”, watergordijn of een gelijkaardige constructie.

Belangrijke opmerking

Een bellenscherm, zoals ook gebruikt wordt voor een zoet/zout-kering bij sluizen, is mogelijk maar beperkt doorvaarbaar voor kleine boten of pleziervaart, als het in werking is.

Dit zal ook afhangen van het gebruikte luchtdebiet, en de afmetingen van het wateroppervlak dat hierdoor verstoord wordt.

Getijhoogten: zoals bij de nul-variante

Afmetingen van zee- en binnenvaart: zoals bij de nul-variante

Duur van een beweging: niet van toepassing

4.1.4.2 Afgeleide waarden in verband met waterdiepte bij gesloten, doorvaarbare kering

- waterdiepte bij hoogwaterpeil: $6 + 15,2 = 21,2$ m.
breedte = 300 m,
volledig sectie = $21,2 * 300 = 6.360$ m².
- waterdiepte bij laagwaterpeil: $-1 + 15,2 = 14,2$ m.
breedte = 300 m,
volledige sectie = $14,2 * 300 = 4.260$ m².

Deze waarden komen overeen met die voor de nul-variante.

4.2 ROLDEUREN: UITVOERINGSDETAILS

4.2.1 Referentie-ontwerpen

Bij een keuze voor het roldeur-type kan gebruik gemaakt worden van gegevens vanuit referentie-ontwerpen, voor volgende onderdelen:

- kerende constructie:
 - roldeur (klassieke uitvoering, met 2-zijdige beplating);
 - aangepaste roldeur, met 1-zijdige beplating;
- parking-positie voor kerende constructie: deurkamer met afsluitcaisson;
- ondersteuning van kerende constructie op drempel: onderrolwagen, steunrails;
- ondersteuning van kerende constructie in deurkamer: bovenrolwagen, steunrails, geleidewielen, geleiderails;

- bewegingsmechanisme van kerende constructie:
 - variante: lierwerk in deurkamer;
 - variante: tandlat-aandrijving in deurkamer.

Ter vergelijking, de roldeuren van de nieuwe sluis in IJmuiden hebben een hoogte van circa **20 m** (deurlengte 72 m, deurdikte 10 m). Bron: *voorontwerp Tractebel in opdracht van aannemerscombinatie bij voorbereiding offerte*.

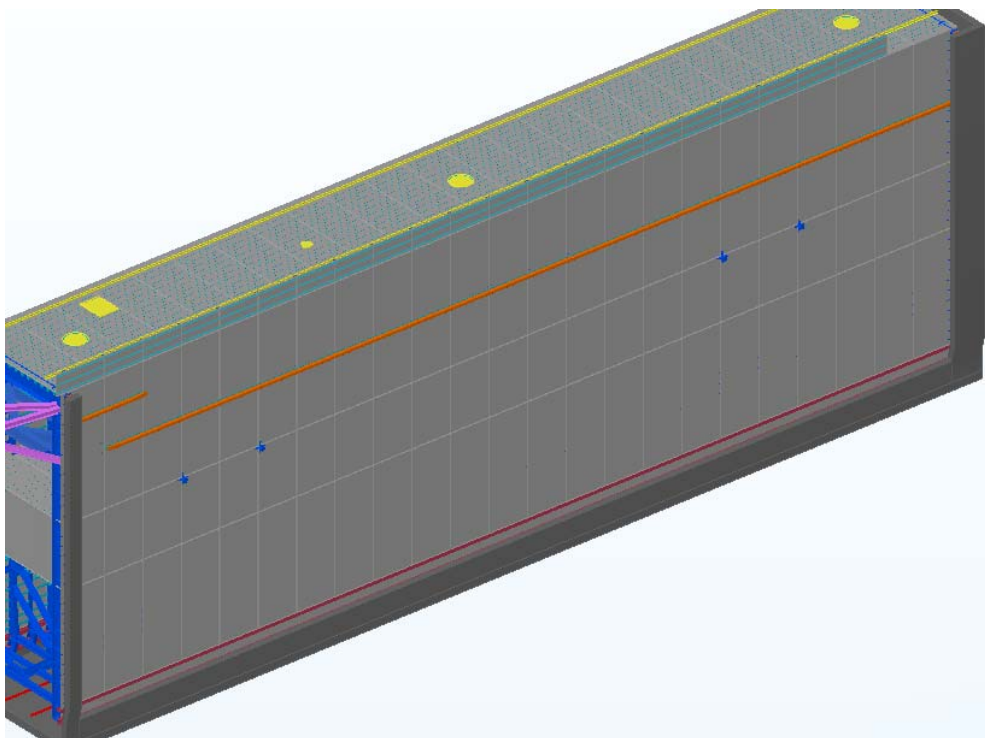
Bij de roldeuren van de nieuwe sluizen in Panama is de bouwhoogte **30 m** (deurlengte 57 m, deurdikte 10 m). Bron: *Wikipedia*.

Conclusie: De constructieve hoogte van de deuren voor de slibkering is dus niet extreem.

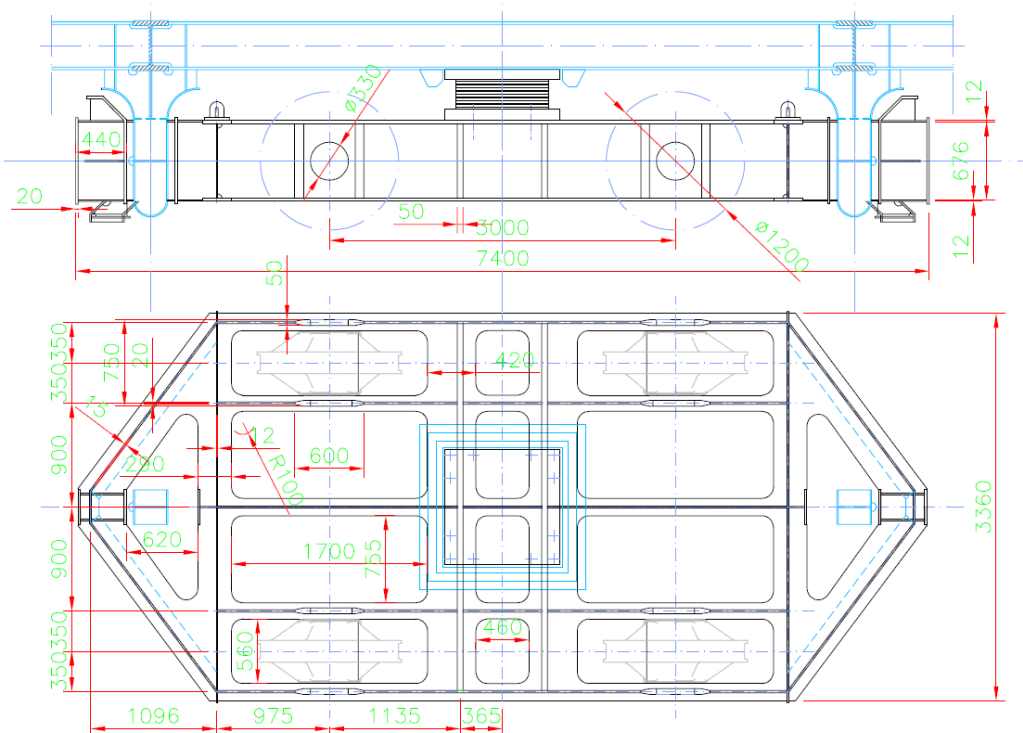
4.2.1.1 Roldeuren IJmuiden

Gegevens

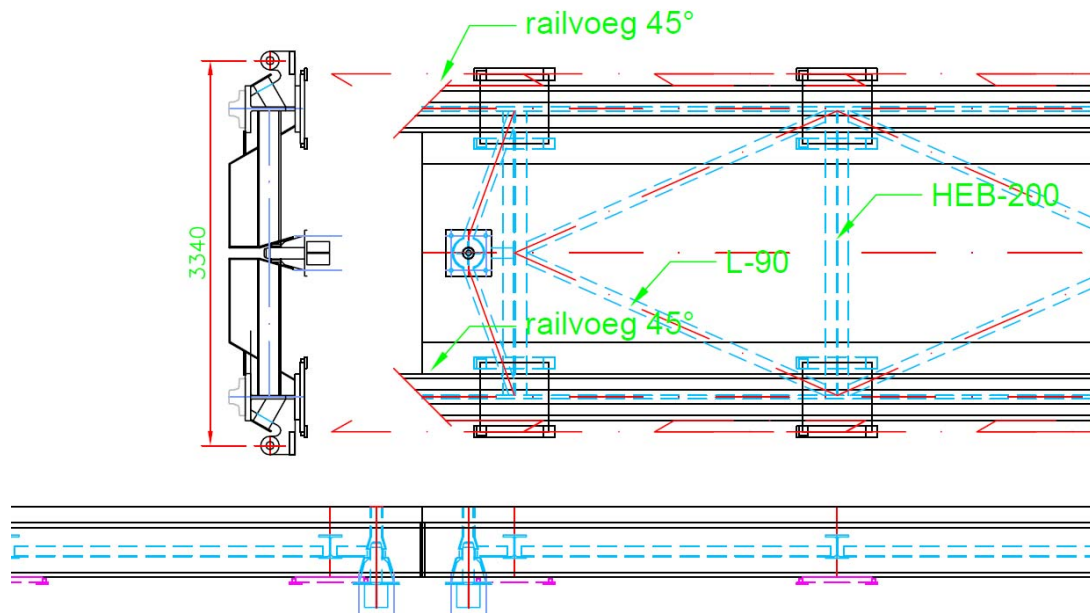
- gewicht per roldeur (project IJmuiden, zonder nivellering door de deuren, zonder toebehoren zoals rolwagens): 2.993 ton;
- geraamde kostprijs staalstructuur (samenlassen, conservering, transport, montage op bouwplaats): 13,24 miljoen Euro = 4,4 EUR / kg (jaar: 2015).



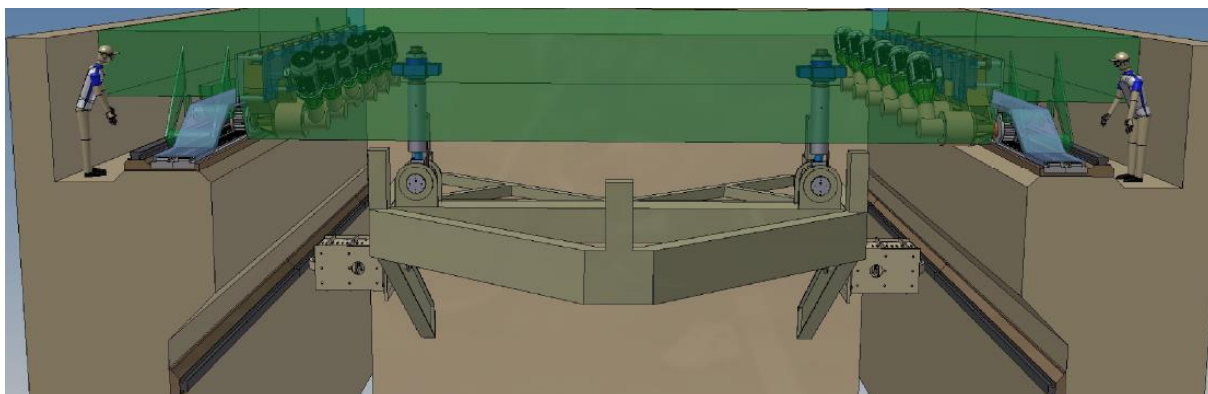
Figuur 4-2: 3D-model van een nieuwe roldeur voor de sluis van IJmuiden. De luchtkist bevindt zich op halve hoogte. Er is een waterkerende plaat aan weerszijden van de structuur



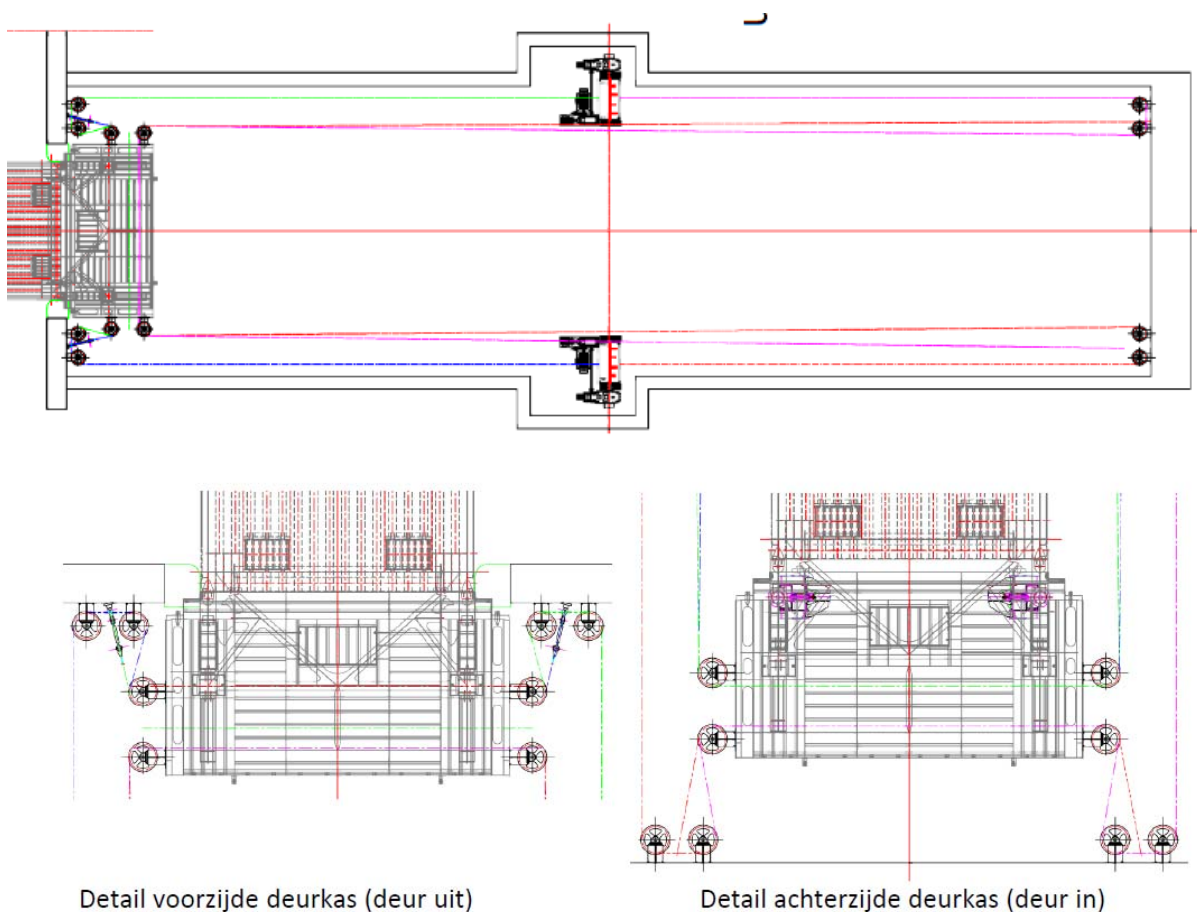
Figuur 4-3: Concept voor onderrolwagen, voor nieuwe sluisdeur in IJmuiden



Figuur 4-4: Concept voor rail van onderrolwagen, voor nieuwe sluisdeur in IJmuiden



Figuur 4-5: Concept voor ophanging van roldeur aan bovenrolwagen, met zijdelingse geleidingswielen, met concept voor aandrijving (motorreductoren, ingrijpend op horizontale tandlatten, naast de looprails van de bovenrolwagen. Project voor nieuwe sluisdeur in IJmuiden



Figuur 4-6: Concept voor aandrijving van roldeur met 2 redundante lierwerken, opgesteld aan weerszijden van de deurkamer. De roldeur bevindt zich links op de schets, in gesloten stand. Variante aandrijving voor nieuwe sluisdeur in IJmuiden

4.2.1.2 Roldeuren Panamakanaal



Figuur 4-7: Transport van een nieuwe roldeur voor het Panama-kanaal. De luchtkist bevindt zich onderaan. Er is een waterkerende plaat aan weerszijden van de structuur (links en rechts op de foto)

4.2.1.3 Roldeuren Zeebrugge (“Ship”)

Raming voor sluishoofden excl riolen (voor vijf sluisdeuren), inclusief looprails voor boven- en onderrolwagen: 32,627 miljoen EURO. Nota: Dit bedrag is exclusief grondwerken.

Afgeleide raming voor één deurkamer met één roldeur, incl grondwerken: 40,0 M.EURO / 4 = 10,0 M.EURO.

4.2.2 Slibkering met roldeuren

4.2.2.1 Algemeen

Bij dit type slibkering worden twee deuren voorzien nabij de ingang. Bij de gesloten stand versmallen deze deuren de opening tussen rivier en dok tot 100 m, zodanig dat de binnenvaart permanent kan binnen- en buitenvaren. Bij de open stand laten de deuren de passage van een (groot) zeeschip toe, met een beschikbare opening van 300 m breed. volledig geopend worden.

4.2.2.2 Toepassing als slibkering voor het 2^e getijdedok

klassieke roldeuren

De gedeeltelijke afsluiting kan gebeuren met behulp van roldeuren, die qua concept gelijkaardig zijn aan bijvoorbeeld sluisdeuren van de Berendrechtsluis in de Antwerpse haven op rechteroever.

Elke roldeur wordt ondersteund aan de beide uiteinden:

- kant doorvaart: door een onderrolwagen (ORW).
De deur steunt af boven op de ORW.
- kant deurkamer: door een bovenrolwagen (BRW).
Bij de klassieke uitvoering hangt de deur onder de BRW door middel van een pendelsysteem aan een uitkragende arm van de deur. Bij een alternatieve uitvoering kan de deur door middel van een uitkragende arm opgelegd worden op de BRW, die dan de vorm heeft van een “wiege”; deze alternatieve uitvoering laat een snellere (de-) montage toe.

Lichte uitvoering

Het detailontwerp van de roldeur kan afwijken van de klassieke sluisdeur, omdat de kerende hoogte hier verwaarloosbaar is. Een uitvoering met één waterkerende plaat (aan Schelde-zijde), met verstijvers aan dokzijde, is mogelijk lichter.

Ook is een uitvoering mogelijk waarbij aan elke zijde van de doorvaart meerdere elementen aan elkaar geschakeld zijn (in “treinvorm”), met tussenruimten. Dit heeft voordelen qua bouwbaarheid en onderhoud.

Elk treinelement wordt onderaan ondersteund door twee onderrolwagens. Bovenaan zijn de treinelementen met elkaar verbonden met stangen, die de vereiste aandrijfkrachten kunnen overbrengen. Er zijn geen bovenrolwagens nodig, dus ook geen bovenliggend spoor in de deurkamer. Het eerste treinelement aan de kant van de deurkamer wordt voorzien van een uitkragende arm, waaraan met kabels kan getrokken worden. Het aandrijfmechanisme kan bovenop de deurkamer geplaatst worden.

4.2.2.3 Inschatting dimensies bij toepassing voor het 2^e getijdedok

lengte van de roldeuren

Uitvoering met centrale opening.

Kerende breedte per roldeur: $200 / 2 = 100$ m. De bouwlengte van een roldeur, zonder de uitkragende achterarm, is dan circa 105 m (met 5 m overlapping met de deurkamer bij de gesloten stand van de slibkering).

Nota: de roldeuren van de nieuwe sluis in IJmuiden hebben een lengte van circa 70 m. De bouwlengte van de roldeuren voor de slibkering is beduidend groter dan wat ooit al gebouwd is!

Hoogte van de roldeuren

Bovenpeil van de kering: 6 m TAW + 1 m opbouwhoogte = 7 m TAW.

Constructieve hoogte van de kering (zonder bouwhoogte onder drempelniveau): $15,2 + 7 = 22,2$ m. Totale hoogte **circa 24 m**.

afmetingen voor de lichte uitvoering

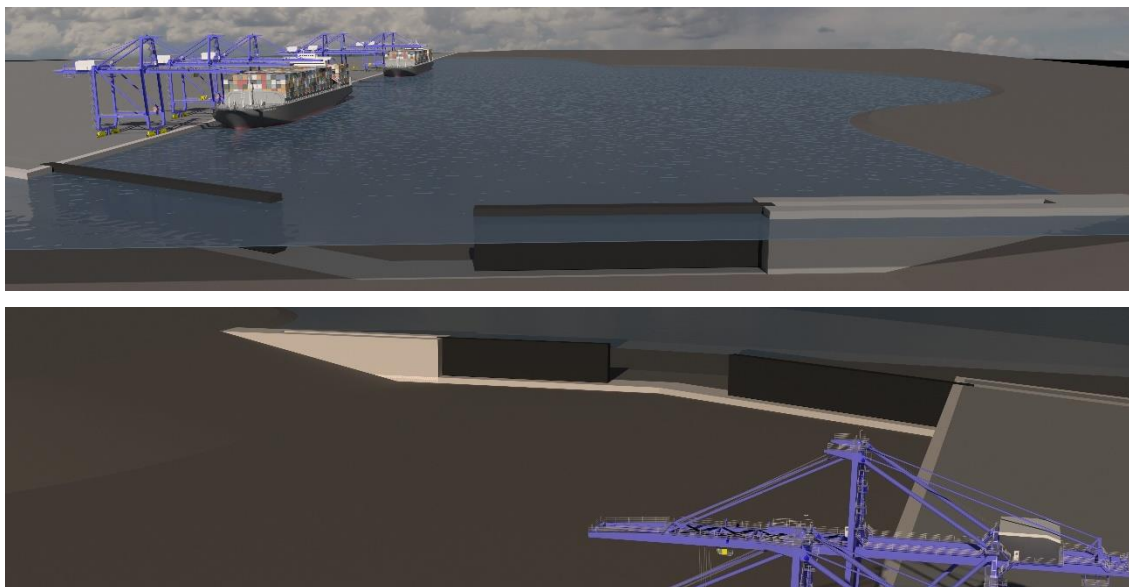
Voor de lichte roldeuren in treinvorm is dezelfde totale lengte en hoogte nodig als voor de uitvoering als klassieke roldeur.

4.2.3 Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp

4.2.3.1 Uitvoering met klassieke roldeur

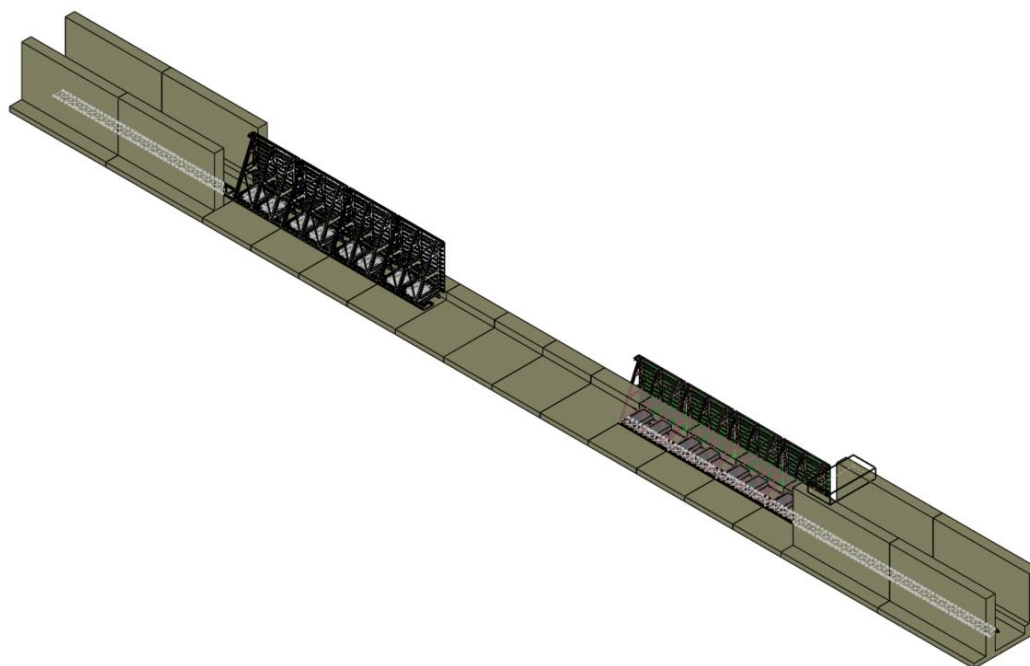
Zie tekeningen.

Hierin wordt aangegeven hoe het concept wordt toegepast voor de 2^e getijdedok- case, en wat dit betekent op gebied van afmetingen en beperkingen.



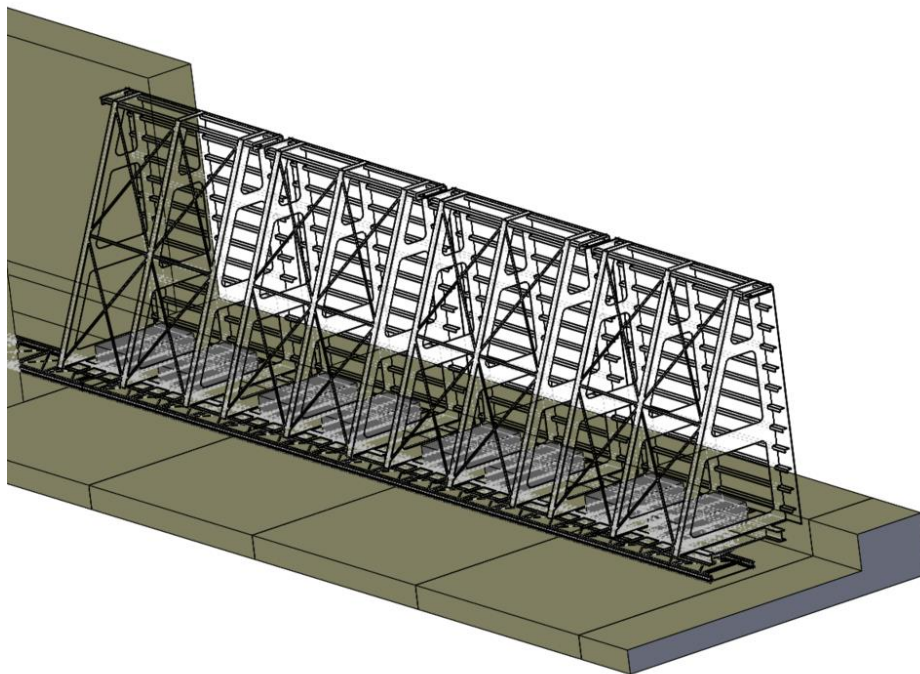
Figuur 4-8: 3D-zichten vanuit Schelde en dok op slibkering (roldeur-type)

4.2.3.2 Uitvoering met lichte elementen



Figuur 4-9: Opstelling rolwagen-systeem in doorvaart. Zicht vanuit dok op slibkering

- op linker- en rechteroever: deurkamer met bovenliggende aandrijving.
- aansluitend: drempel met 4 kerende elementen, totale lengte 100 m per oever
- centrale doorvaart



Figuur 4-10: Detailzicht van rolwagen-elementen (concept)

- aan Scheldezijde: waterkerende plaat.
- achterliggend: verstijvers en steunbalken.
- verzwaard met 2 betonblokken per kerend element.
- onderaan rolwagens in uitsparing van drempel.

Het niveau van de drempel vooraan komt overeen met dat van de Schelde, het niveau van de drempel achteraan komt overeen met dat van het 2^e getijdedok.

4.2.4 Ontwerp voor het 2^e getijdedok

4.2.4.1 Inplanting

Zoals zichtbaar op de 3D-schetsen, worden de 2 roldeuren opgesteld in een V-vorm, en dus niet precies in elkaars verlengde. Aan de zuidzijde van de ingang van het 2^e getijdedok ligt de deurkamer evenwijdig aan de Schelde (meer precies: evenwijdig aan de kaai voor binnenvaart langs de rivier). Aan de noordzijde ligt de deurkamer haaks op de kade van de ingang van het 2^e getijdedok, omdat ze deel uitmaakt van de dwarse muur die de ingang vernauwt tot 300 m. Deze inplanting minimaliseert de kade-oppervlakte aan beide oevers, die nodig is om de deurkamers te kunnen bouwen.

4.2.4.2 Dwarse stabiliteit van de gesloten roldeur

De gesloten roldeur moet stabiel blijven staan, niettegenstaande de kantelende werking van:

- drukverschil over de roldeur, ten gevolge van de instromende of uitstromende watermassa;
- drukverschil over de roldeur, ten gevolge van het statisch effect van de wind(golven) (opstuwing tegen de deur);
- drukverschil over de roldeur, ten gevolge van het dynamisch effect van de windgolven (wisselende golfhoogte tegen de buitenzijde van de roldeur).

4.2.4.3 Uitvoering als klassieke roldeur

Het statisch evenwicht van de roldeur kan verwezenlijkt worden op volgende wijzen:

Door combinatie van een dwars geleidingswiel achteraan op de roldeur (in de deurkas), en constructiegewicht van de roldeur (verdeeld over 2 evenwijdige looprails onderaan).

Dit is de uitvoering van de klassieke roldeur voor sluizen.

Zonder dwarse geleidingswielen achteraan; enkel met het constructiegewicht van de roldeur (verdeeld over 2 evenwijdige looprails onderaan). Indien het constructiegewicht op zich onvoldoende is, kan de railafstand vergroot worden, en/of ballastgewicht (vb. beton) toegevoegd worden.

Met beveiligingssysteem tegen kantelen, zoals tegenloopwielen (die onderaan tegen een rail lopen); haaksystemen enz.

4.2.4.4 Uitvoering in meerdere elementen

Een uitvoering in meerdere elementen (in plaats van één lange roldeur van meer dan 100 m) heeft constructieve voordelen, is eenvoudiger qua onderhoud, en heeft voordelen bij de faalkansanalyse (zie verder).

De “roldeur” is dan een samenstelling van meerdere elementen, die op een gemeenschappelijk spoor rijden (met twee rails), en aan elkaar verbonden zijn om aandrijving mogelijk te maken. Uiteindelijk wordt de “roldeur” dan een treintje, met aandrijving achteraan. Het is dan niet mogelijk om de dwarse stabiliteit te verzekeren door middel van geleidingswielen.

Een uitvoering met tegenloopwielen vraagt meer onderhoud, en is gevoelig voor aanslibben. Daarom wordt een uitvoering verkozen waarbij de stabiliteit verzekerd wordt door eigen gewicht alleen (met als beveiliging haken, die bij normaal gebruik niet raken).

Elk element van de roldeur bestaat dan uit volgende elementen:

- een onderstel met 4 loopwielen (“rolwagen”), voorzien van veiligheidshaken tegen omkantelen
- een opbouw bestaande uit één quasi-verticale kerende plaat (aan Scheldezijde), met daarachter een ondersteunend vakwerk
- ballastblokken uit beton, die op de rolwagen gelegd worden.

De rolwagens worden met elkaar verbonden door middel van elastische trekkers en elastische stootblokken, analoog aan de verbinding tussen een bovenrolwagen en een klassieke roldeur.

4.2.4.5 Gebruik van luchtkisten

Het is in principe mogelijk om de klassieke roldeur te voorzien van luchtkisten. Hiermee kan de deur dan opgevlot worden in de deurkamer, en dan neergelaten worden op steunen. Bij gebruik als slibkering zijn de luchtkisten dan gevuld, om de stabiliteit te verzekeren.

Voor de uitvoering met afzonderlijke rolwagens lijkt het gebruik van luchtkisten niet aangewezen. De rolwagens kunnen voor onderhoud, indien nodig, opgevijseld worden in de deurkamers.

4.2.4.6 Voorzieningen tegen aanslibbing

Als hulpmiddel tegen het aanslibben van de rolbaan voor de rolwagens, kan een installatie voorzien worden die door middel van perslucht vooraan op de eerste rolwagen het slib kan opwoelen tijdens de sluitbeweging van de roldeur. Er zijn dan flexibele leidingen nodig, en een persluchtinstallatie in de achterste rolwagen of in de deur. Er hoeft dan enkel elektrische voeding naar de bovenrolwagen gebracht te worden; dit kan bijvoorbeeld met een kabelrups-systeem, en/ of met sleepcontacten.

4.2.5 Variante met vlottende pontons en rolgordijnen

4.2.5.1 Algemeen

Bij dit type slibkering worden aan weerszijden van de doorgang een serie gekoppelde pontons voorzien. Op elk ponton staat een rol met daarop een “gordijn” of “schort” (bijvoorbeeld een rubberen doek zoals gebruikt bij balgstuwen). Bij de gesloten stand versmallen deze pontons de doorvaartopening tussen rivier en dok tot 100 m, zodanig dat de binnenvaart nog permanent kan binnen- en buitenvaren. Bij de open stand laten de pontons de passage van een (groot) zeeschip toe, met een beschikbare opening van 300 m breed. De slibkering is pas actief als de rolgordijnen tot op de bodem zijn neergelaten.

4.2.5.2 Toepassing als slibkering voor het 2^e getijdedok

Bij dit type slibkering zijn er 2 functies die moeten aangedreven worden:

- het in- en uitvaren van de pontons
- het oprollen resp. afrollen van de rolgordijnen.

Door het relatief groot getijverschil ter plaatse van het 2^e getijdedok, is het niet evident om een geschikt mechanisme te vinden om de pontons te laten in- en uitvaren. Eventueel zou dit kunnen door de uiterste pontons te voorzien van scheepsschroeven. Een lierwerk om de pontons in- en uit te trekken, zoals bij een roldeur, moet vlottend opgesteld kunnen worden. Al bij al lijkt deze variante voor deze toepassing moeilijk haalbaar, in vergelijking met andere. Dit wordt daarom niet verder in detail onderzocht.

4.2.5.3 Inschatting dimensies bij toepassing voor het 2^e getijdedok

Zie variante met roldeuren.

4.3 ROLDEUREN: TECHNISCHE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of de bouw van dit type slibkering, gelijktijdig met de bouw van de toegang naar het 2^e getijdedok of later, specifieke technische problemen stelt.

Nota: In deze paragraaf worden beide sub-varianten beschouwd, nl. (1) de klassieke uitvoering en (2) de uitvoering met geschakelde elementen. Waar er een significant verschil is, wordt dit aangegeven.

4.3.1 Bouw samen met toegang naar het 2^e getijdedok

Volgende hoofddelen moeten gebouwd worden:

- op beide oevers: deurkamer met toebehoren (zoals lokalen voor aandrijfmechanisme);
- ter plaatse van de drempel in de doorvaart (ingewerkt of bovenop geplaatst): rijbanen voor onderrolwagen, resp. voor rolwagens van de roldeur uit meerdere elementen;
- in werkhuis:
 - ofwel (1): stalen roldeur ; onderrolwagen met toebehoren ;
 - ofwel (2): rolwagen-elementen van roldeur ;
 - bovenrolwagen met toebehoren, enkel voor klassieke roldeur (1);
 - afsluitcaisson voor deurkamer, voor onderhoud roldeur (1) (2).

De stalen roldeur (1) moet ter plaatse in de deurkamer gebracht kunnen worden. Ofwel moet dit in het droge gebeuren (zoals toegepast bij de nieuwe roldeuren van het Panamakanaal), ofwel pas in latere fase, door invaren. De rolwagen-elementen (2) kunnen met behulp van mobiele kranen in de droge deurkamer geplaatst worden, en daar gekoppeld.

Nota:

De onderrolwagens en de rijbanen ervan kunnen vooraf in het droge geplaatst worden. Uiteindelijk volgt dan het aankoppelen van de aandrijving en het afregelen en testen van het geheel.

Besluit:

De gelijktijdige bouw van de slibkering en de toegang naar het 2^e getijdedok moet haalbaar zijn.

4.3.2 Bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok

Uitgangspunt is hierbij dat het 2e getijdedok al een zekere tijd in gebruik is, zowel voor binnenvaart als voor zeeschepen, en dat bij latere toevoeging van een slibkering de scheepvaarthinder beperkt moet blijven in de tijd.

De werken die uitgevoerd moeten worden op beide oevers en ter plaatse van de drempel in de doorvaart geven aanleiding tot belangrijke hinder van de zeescheepvaart, namelijk een vernauwing van de doorvaart tot minder dan 200 m. Om deze werken op een kwaliteitsvolle manier te kunnen uitvoeren, moet in het droge gewerkt worden. Dit vereist dan de aanleg

van een bouwput (eerst aan de éne oever, dan aan de andere) met behulp van bijvoorbeeld damplanken. Dit impliceert extra kosten en ook een langere uitvoeringstermijn.

De plaatsing van de rijbanen voor de onderrolwagen en van de onderrolwagens zelf kan gebeuren met behulp van een vlotkraan, opgesteld naast de bouwput. Uiteindelijk volgt dan de plaatsing van de roldeuren (1) door invaren, het aankoppelen van de aandrijving en het afregelen en testen van het geheel. Bij een uitvoering met meerdere rolwagens (2) blijft het mogelijk om de elementen over de weg aan te voeren, en met een grote kraan in de droge deurkamer te plaatsen.

Besluit: de bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok is theoretisch wel mogelijk, maar praktisch niet haalbaar.

4.4 ROLDEUREN: OPERATIONELE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of er voor dit type slibkering specifieke problemen zijn aangaande het openen en sluiten, de bedrijfszekerheid, en het onderhoud. De analyse geldt voor de beide sub-varianten, de klassieke roldeur (1) en de uitvoering in gekoppelde elementen (2), tenzij anders aangegeven.

4.4.1 Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden

- Af te leggen weg bij één openings- of sluitbeweging: 100 m;
- Een duurtijd van 15 minuten per beweging is dan $15 \cdot 60 = 900$ s.

De rijsnelheid wordt dan $100 \text{ m} / 900 \text{ s} = 0,11 \text{ m/s}$. In vergelijking met een sluisdeur is dit relatief traag. De kleine rijsnelheid laat toe om het te installeren aandrijfvermogen te beperken. Ook zijn de dynamische weerstanden kleiner bij lage rijsnelheid, dus ook gunstig.

Besluit: de bediening van de roldeuren kan binnen een beperkte tijd van 15 minuten uitgevoerd worden. Dit geldt zowel voor de klassieke roldeur-uitvoering (1), als voor de uitvoering in gekoppelde elementen (2).

4.4.2 Inschatting van de bedrijfszekerheid, als klassieke roldeur (1)

Uitgangspunt is dat de slibkering in deze uitvoering bestaat uit 2 elementen met elk een kerende breedte van 100 m, die onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen en aangestuurd worden.

4.4.2.1 Slibkering wordt aangevaren

Beschrijving: Een zeeschip komt in aanvaring met de slibkering, terwijl één of meerdere elementen van de kering niet volledig geopend zijn.

Andere mogelijke oorzaak: een binnenschip vaart tegen een gesloten roldeur, buiten de centrale vaarzone van 100 m.

Het aangevaren element van de slibkering is beschadigd, kan nog wel slib keren, maar belemmert de doorvaart voor zeevaart.

Oorzaak: Fout in de sturing (de kering wordt als volledig open beschouwd, terwijl dit niet zo is), of niet-geautoriseerde passage van zeeschip (bij nog gesloten kering), of een stuurfout bij passage van een binnenschip.

Kans: Deze kans wordt als “relatief klein” beschouwd. De gesloten deur is zichtbaar voor passerende schepen (mits verlichting enz 's nachts en bij mist), maar menselijke fouten zijn niet uitgesloten.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart:

- Passage bij laagwaterpeil: beperkt mogelijk, door de centrale opening van 100 m, en de naastliggende opening van 100 m van de niet-aangevaren deur, mits diepgang van schip dit toelaat;
- Passage bij hoogwaterpeil: mogelijk door de opening van 200 m.

Gevolgen voor slibkering: De slibkering is weinig verstoord ten opzichte van de normaal gesloten kering

Duur: Dit falen duurt voort totdat het aangevaren element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als lang ingeschat (grootte-orde: maanden), met hoge bijhorende kosten.

4.4.2.2 Slibkering blijft volledig dicht

Beschrijving: Bij volledige onbeschikbaarheid van de slibkering blijft de kering gesloten.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van beide roldeuren.

Kans: Deze kans wordt als “erg klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart:

- Passage bij laagwaterpeil: beperkt mogelijk, door de centrale opening van 100 m, mits diepgang van schip dit toelaat;
- Passage bij hoogwaterpeil: beperkt mogelijk door de opening van 100 m.

Het schip dat niet kan passeren moet dan naar een andere aanlegplaats, of wachten tot de slibkering geheel of gedeeltelijk hersteld is.

Gevolgen voor slibkering: De slibkering blijft behouden zoals voor een volledig gesloten kering

Duur: Dit falen duurt voort totdat minstens één element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.4.2.3 Slibkering blijft gedeeltelijk dicht (als opening gewenst is)

Beschrijving: Bij gedeeltelijke onbeschikbaarheid van de slibkering blijft één deur-element van de kering gesloten, terwijl het andere deur-element van de kering wel open gaat.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van één deur-element.

Kans: Deze kans wordt als “klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart: zoals voor aanvaring, er blijft een opening van 200 m.

Gevolgen voor slibkering: De slibkering blijft behouden zoals voor een volledig gesloten kering

Duur: Dit falen duurt voort totdat het falende deur-element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.4.2.4 Slibkering blijft volledig open

Beschrijving: Bij volledige onbeschikbaarheid van de slibkering blijft de kering open.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van beide deur-elementen van de kering.

Kans: Deze kans wordt als “erg klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart: De zeevaart kan vrij passeren zoals bij functionele kering

Gevolgen voor slibkering: Géén slibkering

Duur: Dit falen duurt voort totdat minstens één element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.4.2.5 Slibkering blijft gedeeltelijk open (als sluiting gewenst is)

Beschrijving: Bij gedeeltelijke onbeschikbaarheid van de slibkering blijft de kering gedeeltelijk open, dwz één deur is dicht, de andere blijft open.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van één deur-element van de kering.

Kans: Deze kans wordt als “klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart: De zeevaart kan vrij passeren zoals bij functionele kering

Gevolgen voor slibkering: Slibkering werkt maar gedeeltelijk.

Duur: Dit falen duurt voort totdat alle elementen van de slibkering weer operationeel zijn. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.4.2.6 Conclusies

Het risico (kans*gevolg) van een aangevaren kering is belangrijk. Het nadelig gevolg is zowel een verstoring van de scheepvaart, als een tijdelijk grotere instroom van slib in het dok. Deze storing kan lang aanhouden.

Het risico (kans*gevolg) van een geheel of gedeeltelijk open kering is beperkt. Het nadelig gevolg is een tijdelijk grotere instroom van slib in het dok.

Het risico (kans*gevolg) van een geheel of gedeeltelijk gesloten kering is belangrijk, wegens de impact op de zeevaart, gedurende een nog te bepalen tijd. Schade door aanvaringen met zee- of binnenschepen is mogelijk.

4.4.3 Inschatting van de bedrijfszekerheid, bij uitvoering met meerdere elementen (2)

Uitgangspunt is dat de slibkering in deze uitvoering bestaat uit 2 samengestelde roldeuren, elk met 4 elementen met een kerende breedte van 25 m. Elk van beide samengestelde roldeuren kan dan onafhankelijk van de andere bewogen en aangestuurd worden.

4.4.3.1 Falen van de slibkering om technische redenen

De inschatting is dat de faalkans om technische redenen gelijkaardig is als voor de uitvoering met roldeuren uit 1 element.

4.4.3.2 Falen van de slibkering door aanvaringen

De inschatting is dat de kans op aanvaringen gelijkaardig is als voor de uitvoering met roldeuren uit 1 element.

Bij een uitvoering met meerdere elementen is het echter eenvoudiger om één beschadigd element weg te nemen in de vaargeul. De ballastblokken kunnen met een vlotkraan worden weggenomen; daarna kan een element losgekoppeld worden van de andere, en uitgehesen. De overige elementen worden dan tot één (korter) treintje gekoppeld, en kunnen verder werken (bij beperkte schade aan rest van de installatie). De gevolgen van aanvaringen zijn daardoor minder kritisch in de tijd.

4.4.3.3 Conclusies

Het risico (kans*gevolg) van een aangevaren kering is beperkt. Het nadelig gevolg betreft zowel een verstoring van de scheepvaart, als een tijdelijk grotere instroom van slib in het dok. Deze storing kan relatief snel verholpen worden.

Het risico (kans*gevolg) van een geheel of gedeeltelijk open kering is beperkt. Het nadelig gevolg is een tijdelijk grotere instroom van slib in het dok.

De globale bedrijfszekerheid van de uitvoering in meerdere elementen is daarom beter dan voor de klassieke roldeur.

4.4.4 Operationeel onderhoud

4.4.4.1 Operationeel onderhoud voor roldeur in klassieke uitvoering

De roldeuren en de rolwagens kunnen onderhouden worden in de deurkamers, zonder hinder voor de scheepvaart.

De 2 rolbanen op de drempel (dus links en rechts van de doorvaart) kunnen geïnspecteerd worden door middel van duikers. Om een rolbaan in het droge te kunnen inspecteren, zijn er diverse mogelijkheden:

- Gebruik van een horizontale caisson, met toegang via verticale schacht in de deurkamer. Dit wordt zo al toegepast voor de rolbanen van de sluisdeuren in Antwerpen. De diepte van de doorvaart is dan wel plaatselijk beperkt.
- Elementen van de rolbaan ophijsen door middel van een drijvende bok. De elementen worden dan vervangen door andere (wisseldelen) of teruggeplaatst na onderhoud.

Hiertoe moeten op de drempel pennen voorzien worden die een snelle uitwisseling toelaten.

De overige onderdelen van de roldeuren, zoals de bovenrolwagen en de aandrijving staan droog opgesteld op de landhoofden, en zijn altijd toegankelijk voor inspectie en onderhoud.

4.4.4.2 Operationeel onderhoud voor roldeur in meerdere elementen (2)

Het onderhoud van de elementen van de roldeur en van de onderrolwagens in de deurkamer, en van het spoor op de drempel, kan uitgevoerd worden zoals bij de klassieke uitvoering.

De uitvoering in meerdere elementen laat toe dat een beschadigd element in de doorvaart kan uitgelicht worden door middel van een drijvende bok, en afgevoerd naar een werkhuis. Dit is dus een meer flexibele oplossing.

4.5 SEGMENTDEUREN: UITVOERINGSDETAILS

4.5.1 Referentie-ontwerpen

4.5.1.1 Verzamelde info

De Maeslantkering in Rotterdam wordt gebruikt als referentie-ontwerp.

“Factsheet Rijkswaterstaat Maeslantkering_tcm21-65750.PDF”

Bij sluiting van de kering worden de twee segmentdeuren eerst in positie gedraaid. Hierbij steunen ze niet op de bodem; ze worden geleid door een centraal bolscharnier, en blijven drijven dankzij luchtkisten. Als de deuren in de gesloten positie zijn, dan lopen de luchtkisten vol water, en zinken de deuren af naar de bodem. De afgesloten opening is 360 m breed.

- Openen of sluiten van de kering duurt 2,5 uur = 150 minuten (nota: elders 2 uur).
- Proefsluiting éénmaal per jaar.

De deuren zijn 22 m hoog en 210 m lang (gemeten langs het cirkelsegment).

aanvullende informatie: bron Wikipedia

De deuren worden in de open stand in deurkamers geplaatst, die drooggezet worden, om corrosie tegen te gaan.

De deuren zijn centraal gelagerd op kogelgewrichten met een diameter van 10 m. Deze scharnierpunten laten toe dat de deuren omhoog en omlaag kunnen gaan.

De draaibeweging wordt uitgevoerd met behulp van redundante 5-cilinder-oliedrukmotoren (“hydraulische motoren”), die ingrijpen op een tandradbaan bovenaan de deur.

Ingebruikname op 10 mei 1997. Totale bouwkost 450 miljoen Euro.



Figuur 4-11: Maeslantkering Rotterdam

"Factsheet Rijkswaterstaat Maeslantkering_tcm21-65750.PDF"

4.5.1.2 Aanvullende informatie op basis van plaatsbezoek en interview

Ter gelegenheid van een plaatsbezoek op 6-6-2018 aan de Maeslantkering werd nog volgende informatie verzameld.

Centraal gewrichtslager

Het centrale gewrichtslager is (nu, na aanpassing) opgebouwd uit glijplaten voorzien van cirkelvormige UHMWPE-inserts. Deze zijn inspecteerbaar bij de open stand van de kering, na het opkrikken van het uiteinde van de reactie-arm.

De UHMWPE-inserts werden getest in het labo van U.Gent. De nieuwe uitvoering is nu 10 jaar in dienst.

Nota: de vroegere uitvoering was voorzien van een glijlaag, die elk jaar opnieuw moest aangebracht worden. Dit is nu niet meer nodig.

Reactie-arm

In de open stand van de kering (en ook nog voor het afzinken, zoals zichtbaar op de voorgaande foto), ligt de arm volledig boven het waterniveau. De arm is dan toegankelijk vanaf het kade-plateau, dat bij normale waterstanden droog ligt (2x per maand komt het wel onder water te staan).

De onderste buizen van de armen zijn voorzien van openingen onderaan (om water in te laten) en bovenaan (om de lucht te laten ontsnappen). Hierdoor kunnen de onderste buizen van de armen het afzinken van de deuren niet tegenwerken.

Deze buizen zijn toegankelijk voor inspectie en onderhoud (oa bijschilderen van de conservering).

De reactie-arm is in meerdere delen aangevoerd, en op de werf samengebouwd.

Segmentdeur

De eigenlijke segmentdeur is opgebouwd uit meerdere waterdichte compartimenten. Er is geen niveaumeting (waterinhoud) per compartiment. Bovenaan in de deur is er gang, die doorloopt over de volledige lengte van de deur, en toegang geeft tot de compartimenten.

De transformator-elementen staan opgesteld in de deur zelf, er is een stroomtoevoer via het draaipunt achteraan en dan via de reactie-armen (in bovenste buis).

De compartimenten kunnen onder water gezet worden door vlinderkleppen te openen. Openen is hydraulisch, sluiten is met veerkracht.

Aandrijving

De aandrijving gebeurt door middel van een hydraulisch rack-and-pinion systeem, met 6 identieke hydromotoren, met elk 5 radiale cilinders. De tandbaan op de segmentdeur is samengesteld uit cilindervormige pennen.

De hydraulische aandrijfgroep (van Bosch-Rexroth) steunt af op de segmentdeur door middel van loopwielen, en kan zich verticaal verplaatsen ten opzichte van een geleidingstoren. De geleidingstoren dient als vast punt waartegen de aandrijving zich afzet.

Drempel

De bodem van de doorvaart is voorzien van een betonnen drempel, die de kromming van de roldeur volgt. Op deze drempel kan zich slib verzamelen; dit is echter geen probleem voor de goede werking, zie verder.

Afzinkprocedure

Bij het afzinken wordt door middel van afsluiters water toegelaten in een aantal waterdichte compartimenten. Dit moet op een symmetrische wijze gebeuren, om uiteindelijk een gelijkmatig contact met de drempel te krijgen.

Op een korte afstand van de drempel wordt de segmentdeur een bepaalde tijd in positie gehouden. Er is dan een waterstroming onder de segmentdeur (bij stijgend waterpeil op zee), die het slib verwijdert dan nog op de drempel ligt. Pas als het slib weg is, wordt de deur volledig afgezonken.

De deuren sluiten niet aan, om onderliggende contactkrachten te vermijden. Er is ook een lekkage aan de landzijde van de kering (taluds). De globale lekkage is circa 2%.

Deurkamer

Elke segmentdeur bevindt zich in de open stand volledig binnen een deurkamer. De deurkamer is afgesloten met een afsluitcaisson, zoals bij een klassieke sluisdeur, en kan door middel van pompen drooggezet worden. Waterinlaat via kleppen.

De segmentdeur steunt in de deurkamer af op oplegsteunen, dus niet direct op de bodem van de deurkamer.

De deurkamer is opgebouwd uit een combiwand (buizen en damplanken), met onderin een betonvloer, en bovenop een rand (kesp) uit beton.

Testbewegingen

De Maeslantkering wordt 1x per jaar gepland volledig gesloten (volgende: 15 september 2018). Hierbij worden de deuren afgezonken.

Een echte nood-sluiting is nog nooit uitgevoerd, wegens ontbreken van echt hoog water.

Maandelijks worden de systemen getest op de aandrijving, door korte bewegingen uit te voeren binnen de deurkamers zelf.

Onderhoud

De deuren zijn recent herschilderd door IRIS. Hierbij is eerst de oude verf (2 mm dikte) verwijderd door verhitting, dan stralen met grit. Er was vooral herschilderwerk nodig op de reactie-armen, door de UV-straling op de witte verf.

4.5.2 Slibkering met segmentdeuren

4.5.2.1 Algemeen

Bij dit type slibkering worden 2 segmentdeuren voorzien nabij de ingang. Bij de gesloten stand versmallen deze deuren de doorvaartopening tussen rivier en dok tot 100 m, zodanig dat de binnenvaart nog permanent kan binnen- en buitenvaren. Bij de open stand laten de deuren de passage van een (groot) zeeschip toe, met een beschikbare opening van 300 m breed.

De gedeeltelijke afsluiting kan gebeuren met behulp van segmentdeuren, die qua concept gelijkaardig zijn aan de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg in de haven van Rotterdam, de zogenaamde “Maeslantkering”.

4.5.2.2 Toepassing als slibkering voor het 2^e getijdedok

Bij een eventueel detailontwerp hiervan (in een latere fase) kan nog een keuze gemaakt worden tussen een (gedeeltelijk) drijvende uitvoering, al dan niet gecombineerd met een ondersteuning met behulp van rolwagens (zoals bij een roldeur).

Ook kan overwogen worden of een verticale as mogelijk is, in plaats van een ondersteuning met bolscharnier zoals in Rotterdam. Dit lijkt enkel mogelijk als de deuren niet drijven tijdens hun beweging.

Een mogelijke uitvoering is als volgt:

- kant doorvaart: de deur wordt ondersteund door een onderrolwagen, die op een cirkelvormige baan loopt. De deur steunt af boven op de ORW.
- walkant deurkamer: de deur wordt ondersteund door een bovenrolwagen, die op een cirkelvormige baan loopt. De deur steunt dan af boven op de BRW.

De ORW en/ of de BRW kunnen uitgerust worden met een bogie-systeem (zoals bijvoorbeeld toegepast wordt voor containerkranen). Dit laat toe om meerdere wielen per steunpunt te voorzien, die dan toch gelijk belast worden.

Het detailontwerp van de deur kan afwijken van de klassieke sluisdeur, omdat de kerende hoogte hier verwaarloosbaar is. Een uitvoering met één waterkerende plaat (aan Scheldezijde), met verstijvers aan dokzijde, is mogelijk lichter.

Bij gesloten kering kan het binnenkomen van slib belet worden over de een breedte van $300 - 100 = 200$ m, en over de volledige hoogte van de kering.

Er zijn nog varianten mogelijk i.v.m. de vorm die de gesloten kering in bovenzicht aanneemt. Naargelang de opstelling van de deur (positie van het draaipunt), en de keuze van de straal, kan een V-vorm (trechter) gevormd worden met de opening naar Scheldezijde of naar dokzijde.

Naargelang van de aangenomen vorm van de gesloten kering, zal deze minder of meer effectief zijn voor het keren van slib.

4.5.2.3 Inschatting dimensies bij toepassing voor het 2^e getijdedok

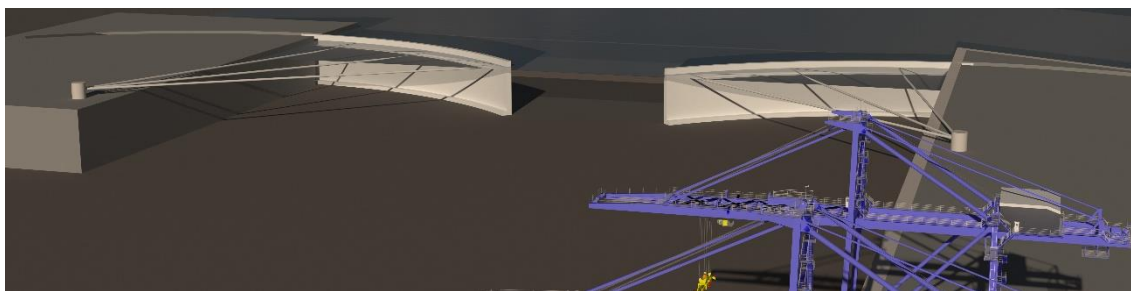
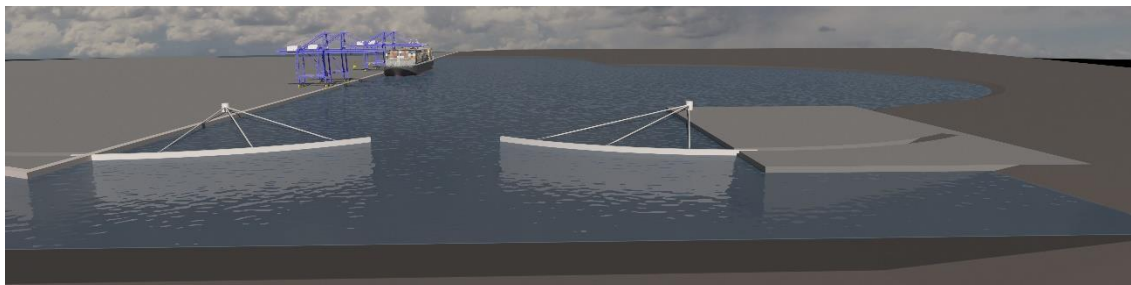
Zie variatie met roldeuren.

Uitvoering met centrale opening.

- Kerende breedte per roldeur: $200 / 2 = 100$ m.
- Bovenpeil van de kering: 6 m TAW + 1 m opbouwhoogte = 7 m TAW
- Constructieve hoogte van de kering (zonder bouwhoogte onder drempelniveau): $15,2 + 7 = 22,2$ m.

4.5.3 Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp

Zie tekeningen. Hierin wordt aangegeven hoe het concept wordt toegepast voor de 2^e getijdedok-case, en wat dit betekent op gebied van afmetingen en beperkingen.



Figuur 4-12: 3D-zichten vanuit Schelde en dok op slibkering (segmentdeur-type)

4.5.4 Ontwerp voor het 2^e getijdedok

4.5.4.1 Probleemstelling

De gesloten segmentdeur moet stabiel blijven staan, niettegenstaande de kantelende werking van:

- drukverschil over de deur, ten gevolge van de instromende of uitstromende watermassa;
- drukverschil over de deur, ten gevolge van het statisch effect van de windgolven (opstuwing tegen de deur);
- drukverschil over de deur, ten gevolge van het dynamisch effect van de windgolven (wisselende golfhoogte tegen de buitenzijde van de roldeur).

4.5.4.2 Mogelijke uitvoeringen

Het typische kenmerk van de segmentdeur-kering is de reactiearm met het centrale scharnierpunt, die de stabiliteit verzekert, door de verbinding van de deur (via de arm) naar een centraal bolscharnier. Het centraal bolscharnier neemt een langse horizontale drukkracht op, die het gevolg is van de waterdruk. Het centraal bolscharnier kan ook een langse horizontale trekkracht opnemen, en ook een verticale (neerwaartse) drukkracht, afkomstig van het gewicht van de verbindingsarm. Het gewicht van de segmentdeur zelf steunt af op de bodem.

Mogelijke uitvoeringen zijn:

- vlottende uitvoering, met centraal bolscharnier;
- rijdende uitvoering, met centrale verticale as.

4.5.4.3 Gekozen uitvoering

Het neerlaten, resp. het opvloten van de segmentdeur neemt relatief veel tijd in beslag. Bij een uitvoering als gekromde roldeur, die op sporen loopt, geldt dit bezwaar niet meer. Nadeel is dan wel dat de reactiearm bij elk hoogtij gedeeltelijk onder water komt te staan. Afhankelijk van de uitvoering van het scharnierpunt, geldt dit dan ook voor delen van het scharnierpunt.

Elk van beide elementen van de segmentdeur-kering bestaat dan uit volgende onderdelen:

- minimum 2 onderstellen met 4 loopwielen ("rolwagens"),
- één opbouw bestaande uit één quasi-verticale kerende plaat (aan Scheldezijde), met daarachter een ondersteunend vakwerk, met een segment-vorm

Nota: dit is vergelijkbaar met wat voor de roldeur-variante beschreven is. Dit kan veel lichter zijn dan bij de Maeslantkering.

- één hydraulisch aandrijfsysteem (met meerdere aandrijvingen als back-up), type Maeslantkering;
- één reactiearm (kan bestaan uit meerdere liggers zoals bij de Maeslantkering);
- één centrale verticale as, met 2 gewrichtslagers (om vervormingen te kunnen opvangen).

De centrale verticale as, en ook de reactiearm, moeten hier quasi geen drukkracht kunnen opvangen, het betreft enkel een stabiliteitsvoorziening. De uitvoering hiervan kan daarom veel lichter zijn dan bij de Maeslantkering.

Luchtkisten

Het is mogelijk om de segmentdeuren te voorzien van luchtkisten, om het gewicht (deels) te compenseren van de segmentdeur zelf, en van de reactie-armen. Bij deze toepassing is er geen drukkracht nodig op de rails om het evenwicht te verzekeren, in tegenstelling tot de klassieke roldeuren. Daarentegen, bij opvloten van de segmentdeur met luchtkisten, moet er een centraal bolgewricht gebruikt worden in plaats van een verticale as, wat constructief moeilijker is. Bij onderhoud van de segmentdeur in de deurkamer kan desnoods lokaal opgevijzeld worden, net voldoende om de rolwagen te ontlasten en weg te nemen.

Het mogelijk nut van het gebruik van luchtkisten kan onderzocht worden in een latere fase.

Opstelling

Zoals uit de foto van de Maeslantkering blijkt, is er veel ruimtebeslag aan weerszijden van de doorvaart, om de deuren met bijhorende armen en centraal scharnierpunt kwijt te raken in de open stand. Gezien de doorvaartopening relatief dicht bij de Schelde ligt, is het waarschijnlijk niet mogelijk om de armen naar de Schelde toe te keren. Met armen die gericht zijn naar het 2^e getijdedok, is er ruimteverlies aan beide zijden van de doorvaart. Zie tekeningen.

4.5.4.4 Voorzieningen tegen aanslibbing

Als hulpmiddel tegen het aanslibben van de rolbaan voor de rolwagens, kan een installatie voorzien worden die door middel van perslucht vooraan op de eerste rolwagen het slib kan opwoelen tijdens de sluitbeweging van de roldeur. Er zijn dan flexibele leidingen nodig, en een persluchtinstallatie die bovenop de segmentdeur kan opgesteld worden, nabij het aandrijfsysteem. Er hoeft dan enkel elektrische voeding naar de bovenrolwagen gebracht te worden; dit kan bijvoorbeeld met een kabelrups-systeem en/ of met sleepcontacten.

4.6 SEGMENTDEUREN: TECHNISCHE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of de bouw van dit type slibkering, gelijktijdig met de bouw van de toegang naar het 2^e getijdedok of later, specifieke technische problemen stelt.

4.6.1 Bouw samen met toegang naar het 2^e getijdedok

Volgende hoofddelen moeten gebouwd worden:

- op beide oevers: deurkamer met toebehoren (zoals geleidingstoren, en lokalen voor aandrijfmechanisme);
- ter plaatse van de drempel in de doorvaart (ingewerkt of bovenop geplaatst): rijbanen voor onderrolwagen;
- in werkhuis: stalen segmentroldeur met rolwagens; reactiearm; centrale as met steun; aandrijfelementen.

De stalen segmentdeur moet ter plaatse in de deurkamer gebracht kunnen worden. Ofwel moet in het droge gebeuren (zoals toegepast bij de nieuwe roldeuren van het Panamakanaal), ofwel door invaren na toelaten van water in de toegangsgeul. De reactie-armen worden afzonderlijk aangevoerd, en ter plaatse samengebouwd met de segmentdeur-elementen (bouten en/of lassen). Uiteindelijk volgt dan het aankoppelen van de aandrijving en het afregelen en testen van het geheel.

Nota: De onderrolwagens en de rijbanen ervan kunnen vooraf in het droge geplaatst worden.

4.6.2 Bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok

Uitgangspunt is hierbij dat het 2^e getijdedok al een zekere tijd in gebruik is, zowel voor binnenvaart als voor zeeschepen, en dat bij latere toevoeging van een slibkering de scheepvaarthinder beperkt moet blijven in de tijd.

De werken die uitgevoerd moeten worden op beide oevers en ter plaatse van de drempel in de doorvaart geven aanleiding tot belangrijke hinder van de zeescheepvaart, namelijk een vernauwing van de doorvaart tot minder dan 200 m. Om deze werken op een kwaliteitsvolle manier te kunnen uitvoeren, moet in het droge gewerkt worden. Dit vereist dan de aanleg van een bouwput (eerst aan de éne oever, dan aan de andere) met behulp van bijvoorbeeld damplanken. Dit impliceert extra kosten en ook een langere uitvoeringstermijn.

Nota: In vergelijking met de roldeur zal de bouwput die moet drooggemaakt worden veel groter zijn van afmetingen, om ook de reactie-armen te kunnen opnemen. Dit lijkt niet realistisch.

De plaatsing van de rijbanen voor de onderrolwagen en van de onderrolwagens zelf kan gebeuren met behulp van een vlotkraan, opgesteld naast de bouwput. Na verwijdering van de bouwput volgt dan de plaatsing van de deuren door invaren, het aankoppelen van de reactie-armen, van de aandrijving en het afregelen en testen van het geheel.

Besluit: de bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok is theoretisch wel mogelijk, maar praktisch niet haalbaar.

4.7 SEGMENTDEUREN: OPERATIONELE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of er voor dit type slibkering specifieke problemen zijn aangaande het openen en sluiten, de bedrijfszekerheid, en het onderhoud.

4.7.1 Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden

Met een uitvoering met onderrolwagens op een spoor, zonder manipulatie met ballastkisten, moet een bewegingstijd van 15 minuten haalbaar zijn. De slibkering met segment-deuren wordt dan eerder een kering met gekromde roldeuren, met een vergelijkbare bewegingstijd.

4.7.2 Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering

In grote lijnen is de bedrijfszekerheid van de slibkering met segment-deuren op onderrolwagens gelijk aan die van de slibkering met roldeuren. Dit betreft dan aspecten zoals gevaar op aanvaringen door zee- en binnenvaart, en de mogelijke gevolgen ervan. Door de aanwezigheid van een centrale lagering, en door de rolbeweging op een gekromd in plaats van een recht spoor, wordt de faalkans van de mechanische uitrusting iets hoger ingeschat dan voor rechte roldeuren.

Tussentijdse opmerking: als de segmentdeur qua bouw duurder is dan de roldeur-variante, dan is de roldeur-variante zeker interessanter, gezien de overige nadelen van de segmentdeur-variante (groter ruimtebeslag, lagere bedrijfszekerheid).

4.7.3 Operationeel onderhoud

De segmentdeuren kunnen onderhouden worden in de deurkamers, zonder hinder voor de scheepvaart.

De twee gekromde rolbanen op de drempel (dus links en rechts van de doorvaart) kunnen geïnspecteerd worden door middel van duikers. Om een rolbaan in het droge te kunnen inspecteren, zijn er diverse mogelijkheden:

Gebruik van een horizontale caisson, met toegang via verticale schacht in de deurkamer. Dit wordt zo al toegepast voor de rolbanen van de sluisdeuren in Antwerpen. Voor de gekromde rolbaan moeten dan wel speciale elementen gemaakt worden. De diepte van de doorvaart is dan wel plaatselijk beperkt.

Elementen van de rolbaan ophijsen door middel van een drijvende bok. De elementen worden dan vervangen door andere (wisseldelen) of teruggeplaatst na onderhoud. Hiertoe moeten op de drempel pennen voorzien worden die een snelle uitwisseling toelaten.

De overige onderdelen van de segmentdeuren, zoals de scharnieras en de aandrijving staan droog opgesteld op de landhoofden of op de deur zelf, en zijn altijd toegankelijk voor inspectie en onderhoud.

4.8 KLEPKERING: UITVOERINGSDETAILS

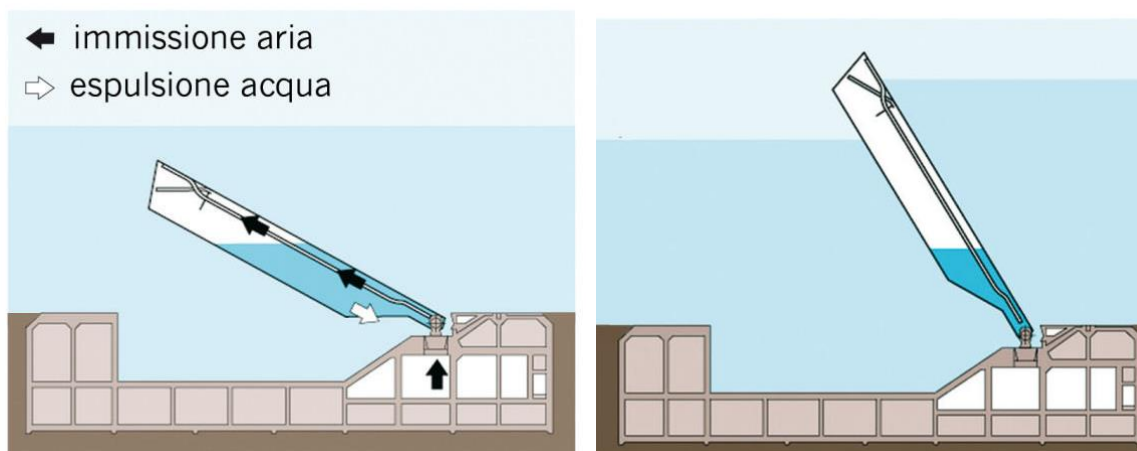
4.8.1 Referentie-ontwerpen

4.8.1.1 Verzamelde informatie

De klepkering in Venetië wordt gebruikt als referentie-ontwerp, ook al is deze nog niet volledig operationeel. Er zijn al wel ervaringsgegevens bekend op basis van test-operaties. Het MOSE-project zal volledig klaar zijn in 2022. Momenteel is zowat 85% uitgevoerd. De testfase begint in januari 2019.

- totaal aantal kleppen: 78, verdeeld over 4 groepen van naast elkaar gelegen kleppen (21 + 20 + 19 + 18);
- hoogte van elke klep: 20 m;

- lengte van de kleppen: variabel tussen 18,5 en 29 m;
- totale lengte van de kleppen: 1.600 m.



Figuur 4-13: Werkingsprincipe bij oprichten van de kering. Lucht wordt ingeblazen vooraan (bovenin) de klep, terwijl het water onderaan uitstroomt (links) opgerichte stand van de klep (rechts).

Nota: Op de figuur is er een niveauverschil tussen zee (rechts, Schelde) en lagune (links, dok), dus waterkerende werking. Bij de toepassing als slibkering bij het 2^e getijdedok is er geen niveauverschil links-rechts, omdat de klep steeds volledig onder water blijft (overvaarbaar voor binnenvaart, ook in de opgerichte stand).

4.8.1.2 Aanvullende informatie op basis van interview

Interview met persverantwoordelijke van MOSE-kering op 4-6-2016

Bouw

De steun-elementen werden eerst in droogdok gemaakt, daarna vlottend versleept naar de bouwplaats, en dan afgezonken. Deze werkwijze is gelijkaardig aan de werkwijze die toegepast wordt voor afgezonken tunnel-elementen, zoals bij de Kennedy-tunnel in Antwerpen.

Bijzonderheden

Voorzien voor opstelling in zout water, met onder meer “anode-protection”.

Functie

Kering tot 3 m waterverschil. Opstellingsdiepte 8 à 12 m.

Stand uitvoering

Er zijn vier groepen van klep-keringen voorzien. Hiervan zijn drie groepen afgewerkt en getest.

Onderhoudsaspecten

Via de tunnel in de steun-elementen is het mogelijk om elke klep van onderen uit te bereiken. De leidingen naar de kleppen lopen via de scharnierpunten (twee scharnieren per klep).

Een willekeurige klep kan vanuit de tunnel losgemaakt worden, en dan met een vlotkraan uitgehesen worden. Hermontage gebeurt op analoge wijze. Dit is voorzien om de vijf jaar.

Testsluitingen

1 x per jaar

Toepassing voor het 2^e getijdedok

De kering is geschikt om 2 x per dag geopend en gesloten te kunnen worden (dit is dus in functie van het getij).

Bezoeken zijn mogelijk, op afspraak.

4.8.2 Slibkering met opklapbare elementen

4.8.2.1 Algemeen

De slibkering bestaat uit meerdere afzonderlijke elementen, die bij de open stand op de bodem rusten, en bij de gesloten “actieve” stand van de kering opgericht worden.

Er zijn diverse mogelijkheden om de kleppen op te richten, zoals:

- mechanische aandrijvingen;
- uitvoering met aanliggende opblaasbare balg;
- opvlottende elementen.

Een uitvoering met mechanische aandrijvingen kan enkel gebruikt worden bij kleppen die in hun opgerichte stand deels boven water komen, en die tussen zijstructuren draaien (zoals bij rivierstuwen, of bij klapdeuren van sluizen). Voor onderwaterliggende kleppen is dit systeem niet geschikt.

Een uitvoering met een (relatief kleine) opblaasbare balg, die de kleppen omhoog duwt, is ook denkbaar. Om het aantal onderdelen van de slibkering te beperken, wordt enkel een volledige (relatief grote) balg beschouwd, zonder aanliggende klep. Zie de betreffende paragrafen.

Een uitvoering met opvlottende elementen wordt momenteel gebouwd als stormvloedkering in Venetië. De opklapbare elementen worden daarbij opgericht (“opgevlot”) door het inblazen van lucht in compartimenten van de stalen klep, waardoor het aanwezige water verdreven wordt.

4.8.2.2 Toepassing als slibkering voor het 2^e getijdedok

Een klepstuw als slibkering voor het 2^e getijdedok kan uitgevoerd worden volgens de principes van de opvlottende elementen.

De slibwerende (vlakke) kant van de kering moet gericht zijn naar de Schelde toe, om te vermijden dat slib zich zou verzamelen onder de klep, wat het sluiten zou bemoeilijken.

Het verdringen van water uit de klep kan vereenvoudigd worden door in de klep zelf één of meerdere opblaasbare balgen te voorzien, die dan met perslucht kunnen gevuld worden.

4.8.2.3 Inschatting dimensies bij toepassing voor het 2^e getijdedok

Hoogte van de slibkering

- Bij gesloten stand: bovenpeil van de kering: -7 m TAW
- Bij open stand: bovenpeil van de kering: -15,2 m TAW

Constructieve hoogte van de kering (zonder bouwhoogte onder drempelniveau): $15,2 - 7 = 8,2$ m. Deze hoogte is verticaal gemeten, terwijl de kleppen in de gesloten stand van de kering niet volledig verticaal staan. Er is dus een overlengte nodig; in een eerste benadering wordt aangenomen dat de lengte van 10 m bij MOSE hiervoor volstaat.

Breedte van de slibkering

- totale breedte van de kering: 300 m.
- breedte per klep: 25 m
- aantal kleppen in de kering: $300 \text{ m} / 25 \text{ m} = 12$ stuks.

Nota: eventueel kan het aantal kleppen verminderd worden naar 10 stuks. De breedte (lengte) per klep is dan $300 \text{ m} / 10 = 30 \text{ m}$.

Bij defect van 1 klep, die omhoog blijft staan, is er dan nog minimaal een doorvaart beschikbaar van $5 * 30 \text{ m} = 150 \text{ m}$. De verdeling van de kleppen is dan:

- 4 werkende kleppen = $4 * 30 \text{ m} = 120 \text{ m}$ vrije doorvaart
- 1 niet-werkende klep = $1 * 30 \text{ m} = 30 \text{ m}$ onderbroken
- 5 werkende kleppen = $5 * 30 \text{ m} = 150 \text{ m}$ vrije doorvaart.

4.8.3 Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp

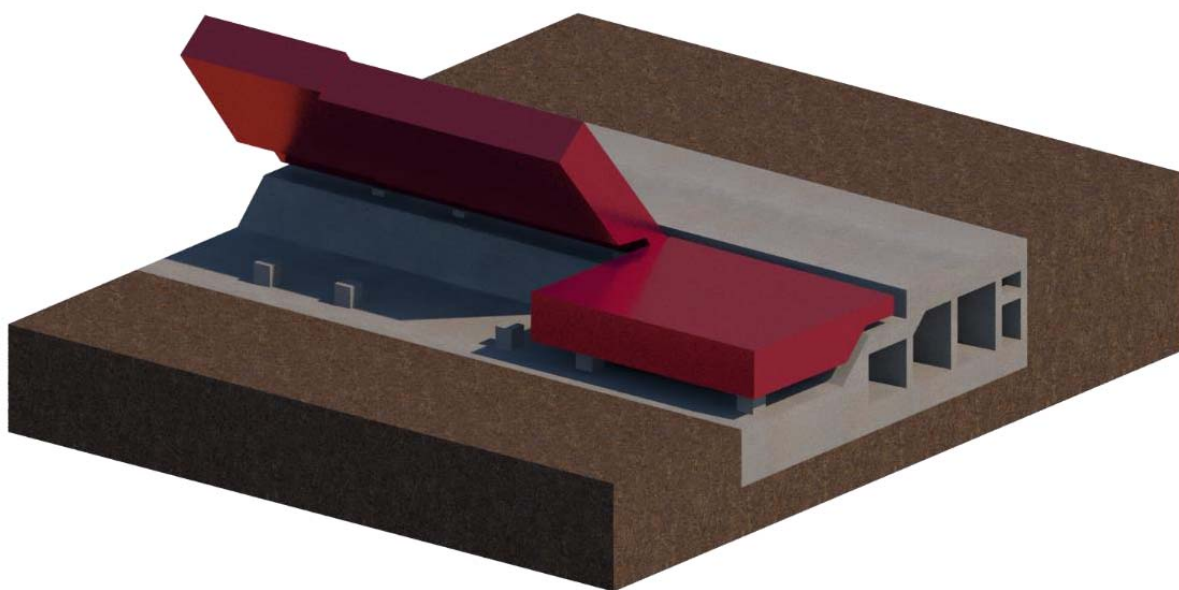
Zie tekeningen.

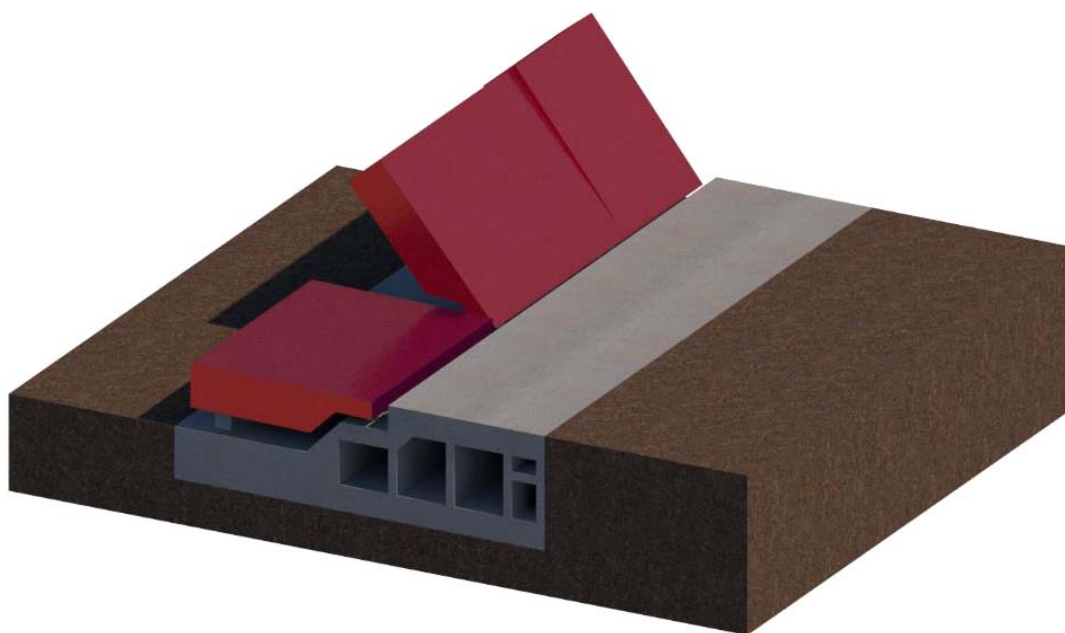
Hierin wordt aangegeven hoe het concept wordt toegepast voor de 2^e getijdedok-case, en wat dit betekent op gebied van afmetingen en beperkingen.





Figuur 4-14: 3D-zicht vanuit Schelde op slibkering (klepdeur-type) met achterliggend het 2^o getijdedok





Figuur 4-15: 3D-zichten vanuit op slibkering (klepdeur-type)

Laag drempelniveau= dokniveau, hoog drempelniveau = Scheldeniveau. Drempel-elementen met tunnel en toegangsruimte naar scharnierpunten. Oplegsteunen voor neergelaten klep op de dokbodem.

4.8.4 Ontwerp voor het 2^e getijdedok

4.8.4.1 Vergelijking stuw Venetië – slibkering 2^e getijdedok met kleppen

De afmetingen qua lengte per klep en qua hoogte zijn goed vergelijkbaar. Omdat de kleppen hier niet waterkerend moeten zijn, kunnen ze lichter uitgevoerd worden.

Het vlotvolume kan geleverd worden door een opblaasbare balg vast te maken onderaan aan de klep. Om te vloten, resp. om neer te laten, volstaat het dan om lucht in te blazen, of uit te laten.

De klepkering zal wel veel frequenter moeten werken.

4.8.4.2 Beschrijving slibkering 2^e getijdedok met kleppen

De slibkering voor het 2^e getijdedok op basis van kleppen is opgebouwd als volgt:

- Op elk van beide oevers: technisch gebouw met installaties voor bediening (compressoren), met sturing (elektrische borden enz).
- 10 à 20 klep-elementen, elk bestaande uit:
- betonnen steun-element, lengte tussen 15 m en 30 m per stuk
- klep met vlotlichaam, opgerichte hoogte 8,2 m
- 2 scharnierpunten op het steun-element
- toegangstunnel vanuit landhoofden, met leidingwerk, in de steun-elementen

4.8.4.3 Voorzieningen tegen aanslibbing

Er kan zich slib verzamelen rondom de kleppen, zowel bij de opgerichte stand (voor en achter) als bij de neergelaten stand (boven op de kleppen zelf). De hoeveelheid slib die hiermee gepaard gaat is moeilijk in te schatten. De lokale aanslibbing rondom de kleppen is een belangrijk probleem, dat, met het gevaar voor beschadiging van de kleppen, niet eenvoudigweg met baggeren op te lossen is. Hiervoor moet een specifieke oplossing gezocht worden, wat een belangrijk nadeel is voor dit type oplossing.

Nota: Het gebruik van een bellenscherm op lokale aanslibbing te voorkomen rondom de kleppen lijkt weinig zinvol. Er kan dan beter een bellenscherm geplaatst worden zonder balgen. Zie hiervoor de betreffende paragrafen

4.8.5 Variante met draaibare segmentdeuren op horizontale as

4.8.5.1 Algemeen

Er bestaan uitvoeringen van waterkeringen en ook sluisdeuren waarbij een segmentvormige klep bij open stand onder water ligt, en dan bij gesloten stand wordt opgetrokken met behulp van een aandrijfmechanisme met oleohydraulische vijkels (of een equivalente elektromechanische uitvoering).

Bij waterkeringen en sluisdeuren ligt bij gesloten stand het bovenste niveau van de klep dan boven het waterniveau; bij gebruik als slibkering hoeft dit niet zo te zijn.

De klep draait dan rond een horizontale as, de aandrijving staat aan weerszijden van de klep opgesteld.

Dit type waterkering lijkt sterk op de waterkering met opvlotbare kleppen zoals het MOSE-project: horizontale as, overvaarbaar bij neergelaten stand. Het verschil zit in de technische uitvoering van de scharnieren en de vorm van het kleplichaam, en vooral in de wijze van aandrijven.

4.8.5.2 Details



Segment gate of the inland navigation opening in upper position

Figuur 4-16: Hoogwaterkering op de Eems. De “main shipping opening” meet 60 m, en is uitgerust met een segmentdeur met een horizontale as

Bron: "WG26 PIANC - Project Review - by W. Meinhold. Ems-Barrrier, Federal State Lower Saxony (Niedersachsen), Germany"

Gegevens voor deze segmentdeur:

- lengte: 60 m
- hoogte van de deur: 17,7 m
- staalgewicht: 857 ton



Figuur 4-17: Kering met segmentdeuren met horizontale as, op de Theems. 1 segmentdeur bevindt zicht in de onderhoudspositie (volledig naar boven gedraaid) tussen 2 pijlers. Grootste doorvaartopening = 200 ft (61 m). Bron: Wikipedia

4.8.5.3 Bespreking

Principieel zijn er twee mogelijkheden voor beweegbare slibkeringen: de slibkering is ofwel overvaarbaar, ofwel niet overvaarbaar voor binnenvaart. Voor beide varianten bij segmentdeuren met horizontale as geldt dat aan de beide uiteinden van de kering een verticaal bouwwerk nodig is, waarvan het bovenpeil moet overeen komen (of eventueel nog hoger zijn) dan de het bovenpeil van de gesloten kering.

4.8.5.4 Niet-overvaarbare variante

Indien de kering niet overvaarbaar is voor binnenvaart, is er een (centrale) opening van 100 m nodig die altijd moet open blijven. Aan weerszijden van deze opening moet dan een verticaal bouwwerk komen, dat ter plaatse blijft als de kering geopend wordt. Dit bouwwerk gaat dan tot een niveau van (minstens) + 6m TAW. De vereiste doorvaart van 300 m op volle diepte voor zeeschepen, bij open kering, is dan niet mogelijk.

4.8.5.5 Overvaarbare variante

Indien de kering overvaarbaar is, moet ze bij gesloten stand onder het niveau van -7 m TAW blijven. Om bij open stand een doorvaart van 300 m op volle diepte voor zeeschepen toe te laten, mogen er geen intermediaire vaste bouwwerken aanwezig zijn. Dit betekent dan dat de klep de volle breedte van 300 m moet hebben, met enkel steunconstructies naast de doorvaart.

De constructie, transport, montage, enz van een dergelijke gigantische klep aan redelijke kosten, is niet realistisch. Ook het bewegingsmechanisme van een dergelijke klep is niet haalbaar.

4.8.5.6 Besluit

De variante “segmentdeuren met horizontale as” wordt niet verder onderzocht, wegens niet technisch haalbaar.

4.9 KLEPKERING: TECHNISCHE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of de bouw van dit type slibkering, gelijktijdig met de bouw van de toegang naar het 2^e getijdedok of later, specifieke technische problemen stelt.

4.9.1 Bouw samen met toegang naar het 2^e getijdedok

Volgende hoofddelen moeten gebouwd worden:

- op beide oevers: technische ruimte met compressoren en bedieningselementen (elektrische borden);
- ter plaatse van de drempel in de doorvaart (ingewerkt): steunelementen met toegangstunnel;
- in werkhuis: stalen klepdeuren met steunpunten.

De stalen klepdeuren moeten ter plaatse in de steunelementen gebracht kunnen worden. Ofwel kan in het droge gebeuren (voorkeur) ofwel door invaren na toelaten van water in de toegangsgeul. Uiteindelijk volgt dan het aankoppelen van de aandrijving en het afregelen en testen van het geheel.

4.9.2 Bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok

Uitgangspunt is hierbij dat het 2^e getijdedok al een zekere tijd in gebruik is, zowel voor binnenvaart als voor zeeschepen, en dat bij latere toevoeging van een slibkering de scheepvaarthinder beperkt moet blijven in de tijd.

De werken die uitgevoerd moeten worden op beide oevers en ter plaatse van de drempel in de doorvaart geven aanleiding tot belangrijke hinder van de zeescheepvaart, namelijk een vernauwing van de doorvaart tot minder dan 150 m (halve breedte van de doorvaart). Hierbij wordt uitgegaan van het aanleggen in gedeelten. Om deze werken op een kwaliteitsvolle manier te kunnen uitvoeren, moet in het droge gewerkt worden. Dit vereist dan de aanleg van een bouwput (eerst aan de éne oever, dan aan de andere) met behulp van bijvoorbeeld damplanken. Dit impliceert extra kosten en ook een langere uitvoeringstermijn.

De klepdeuren worden dan in de bouwputten geplaatst (voorkeur) of later door invaren.

Alternatief kunnen de elementen als prefab gebouwd worden, ter plaatse gevaren en dan afgezonken in een voorbereide sleuf. De onderlinge aankoppeling van de elementen van de klepkering is een complex zaak, waarbij een afweging gemaakt moet worden tussen relatief

korte elementen (die eenvoudiger af te zinken zijn maar meer koppelingen vragen) en relatief lange elementen.

Voor de kostprijsberekening “in het natte” van Hoofdstuk 5 is het afzinken van tien elementen van 30 m lengte beschouwd.

Besluit: de bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok is theoretisch wel mogelijk, maar praktisch niet aangewezen. Installatie van klep/fundatie-elementen in het water is een optie, maar impliceert een aanzienlijke meerkost voor een complexe technische uitvoering.

4.10 KLEPKERING: OPERATIONELE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of er voor dit type slibkering specifieke problemen zijn aangaande het openen en sluiten, de bedrijfszekerheid, en het onderhoud.

4.10.1 Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden

De bewegingstijden voor het MOSE-project zijn:

- sluiten van de kering (kleppen op): 30 minuten;
- openen van de kering (kleppen neer): 15 minuten.

Een bewegingstijd van 15 minuten bij sluiten moet haalbaar zijn, mits de installatie van het nodige vermogen. Vraag is of dit nodig is: tijdens de sluitbeweging is er al een slibwerend effect van bij het begin van het stijgen van de klep.

De goede werking van het bewegingsmechanisme van het referentie-project (inblazen resp. uitlaten van samengeperste lucht) moet nog aangetoond worden. Mogelijk kan hier een meer eenvoudige uitvoering ontwikkeld worden.

4.10.2 Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering

Uitgangspunt is dat de slibkering in deze uitvoering bestaat uit meerdere elementen (minimum 3, mogelijk veel meer), die onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen en aangestuurd worden.

4.10.2.1 Slibkering wordt aangevaren

Beschrijving: Een zeeschip komt vaart over de slibkering, terwijl één of meerdere elementen van de kering niet gesloten zijn.

Het aangevaren element van de slibkering is beschadigd, kan niet meer keren, maar belemmert nog de doorvaart voor zeevaart.

Oorzaak: Fout in de sturing (de kering wordt als open beschouwd, terwijl dit niet zo is), of niet-geautoriseerde passage van zeeschip (bij nog gesloten kering).

Kans: Deze kans wordt als “klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart:

- Passage bij laagwaterpeil: niet mogelijk
- Passage bij hoogwaterpeil: afhankelijk van de diepgang van het betrokken schip.

Het schip dat niet kan passeren moet dan naar een andere aanlegplaats, of wachten tot de slibkering geheel of gedeeltelijk hersteld is.

Gevolgen voor slibkering: De slibkering is gedeeltelijk verstoord.

Duur: Dit falen duurt voort totdat het aangevaren element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als lang ingeschat (grootte-orde: maanden), met hoge bijhorende kosten.

4.10.2.2 Slibkering blijft volledig dicht

Beschrijving: Bij volledige onbeschikbaarheid van de slibkering blijft de kering gesloten.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van alle elementen van de kering.

Kans: Deze kans wordt als “erg klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart:

- Passage bij laagwaterpeil: niet mogelijk
- Passage bij hoogwaterpeil: afhankelijk van de diepgang van het betrokken schip.

Het schip dat niet kan passeren moet dan naar een andere aanlegplaats, of wachten tot de slibkering geheel of gedeeltelijk hersteld is.

Gevolgen voor slibkering: De slibkering blijft behouden zoals voor een volledig gesloten kering

Duur: Dit falen duurt voort totdat minstens één element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.10.2.3 Slibkering blijft gedeeltelijk dicht

Beschrijving: Bij gedeeltelijke onbeschikbaarheid van de slibkering blijven één of meerdere elementen van de kering gesloten, terwijl één of meerdere elementen van de kering wel open gaan.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van één of meerdere elementen van de kering.

Kans: Deze kans wordt als “klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart:

- Passage bij laagwaterpeil: beperkt mogelijk, door de vrije doorvaart
- Passage bij hoogwaterpeil: beperkt mogelijk (afhankelijk van de diepgang van het betrokken schip, en beschikbare breedte)

Het schip dat niet kan passeren moet dan naar een andere aanlegplaats, of wachten tot de slibkering geheel of gedeeltelijk hersteld is.

Gevolgen voor slibkering: De slibkering blijft behouden zoals voor een volledig gesloten kering

Duur: Dit falen duurt voort totdat de falende elementen van de slibkering weer operationeel zijn. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.10.2.4 Slibkering blijft volledig open

Beschrijving: Bij volledige onbeschikbaarheid van de slibkering blijft de kering open.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van alle elementen van de kering.

Kans: Deze kans wordt als “erg klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart: De zeevaart kan vrij passeren zoals bij functionele kering

Gevolgen voor slibkering: Geen slibkering

Duur: Dit falen duurt voort totdat minstens één element van de slibkering weer operationeel is. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.10.2.5 Slibkering blijft gedeeltelijk open

Beschrijving: Bij gedeeltelijke onbeschikbaarheid van de slibkering blijft de kering gedeeltelijk open.

Oorzaak: Een mogelijke oorzaak is het gelijktijdig falen van het bewegingssysteem of het aandrijfsysteem van één of meerdere (maar niet alle) elementen van de kering.

Kans: Deze kans wordt als “klein” beschouwd.

Gevolgen voor binnenvaart: De binnenvaart kan zoals steeds vrij passeren.

Gevolgen voor zeevaart: De zeevaart kan vrij passeren zoals bij functionele kering

Gevolgen voor slibkering: Slibkering werkt maar gedeeltelijk.

Duur: Dit falen duurt voort totdat alle elementen van de slibkering weer operationeel zijn. Deze duur wordt als beperkt ingeschat (grootte-orde: 24 uur).

4.10.2.6 Conclusies

Het risico (kans*gevolg) van een aangevaren kering is belangrijk. Het nadelig gevolg is zowel een verstoring van de scheepvaart, als een tijdelijk grotere instroom van slib in het dok. Deze storing kan lang aanhouden.

Het risico (kans*gevolg) van een geheel of gedeeltelijk open kering is beperkt. Het nadelig gevolg is een tijdelijk grotere instroom van slib in het dok.

Het risico (kans*gevolg) van een geheel of gedeeltelijk gesloten kering is belangrijk, wegens de impact op de zeevaart, gedurende een nog te bepalen tijd.

Het risico (kans*gevolg) van een geheel of gedeeltelijk gesloten kering is belangrijk, wegens de impact op de zeevaart, gedurende een nog te bepalen tijd. Schade door aanvaringen met zeeschepen is mogelijk, als een klep omhoog blijft staan.

4.10.3 Operationeel onderhoud

De klepdeuren kunnen uitgewisseld worden door middel van een drijvende bok. Dergelijke operatie vraagt wel een zekere hoeveelheid montagewerk door middel van duikers. Ook een vervanging van een klep kan eventueel in natte (ondergedompelde) toestand gebeuren. De haalbaarheid hiervan is evenwel afhankelijk van de grootte van de individuele klep.

De overige machine-uitrusting voor de klep-kering staan droog opgesteld op de landhoofden of in de tunnel, en zijn altijd toegankelijk voor inspectie en onderhoud.

4.11 SLIBKERING MET OPBLAASBARE BALGEN: UITVOERINGSDETAILS

4.11.1 Referentie-ontwerpen

4.11.1.1 Verzamelde informatie

De stormvloedkering in Ramspol wordt gebruikt als referentie-ontwerp.

info volgens website van Rijkswaterstaat

<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/stormvloedkeringen/stormvloedkering-ramspol.aspx>

bijkomend document van Rijkswaterstaat: "Factsheet Ramspol_tcm21-65752.pdf"

De stormvloedkering in Ramspol bestaat uit 3 balgen van elk 80 m lang.

De gesloten stuw heeft een hoogte van 10 m. De totale inhoud van 1 balgen is 7 miljoen liter = 7.000 m³, voor de helft water en voor de helft lucht.

Volgens de website is de balgstuw te Ramspol de grootste ter wereld, en de enige die als stormvloedkering dienst doet. Twee balgen zijn naast elkaar geplaatst, de derde bevindt zich in een naastgelegen kanaal. De kering wordt éénmaal per jaar als test gesloten, het aantal bedrijfscycli is dus beperkt.



Figuur 4-18: Kering in Ramspol, in gesloten stand

Aanvullende info volgens Wikipedia

- in werking gesteld: 2002
- kostprijs: 100 miljoen Euro
- lengte beneden: 60 m, boven 80 m
- drempelbreedte: 15,4 m
- lengte doek: 24,3 m
- dikte doek: 1,6 centimeter
- gewicht doek: 19,3 kg/m²
- gewicht balg: 33 ton
- minimale levensduur doek: 25 jaar
- sluitingstijd balgstuw: max. 60 min.
- leeglooptijd balgstuw: max. 180 min.

Afgeleide waarden

Volume per lopende meter, in gesloten stand: $7.000 \text{ m}^3 / 80 \text{ m} = 87,5 \text{ m}^3 / \text{m}$ dit is dan ook de oppervlakte van een verticale sectie door de balg

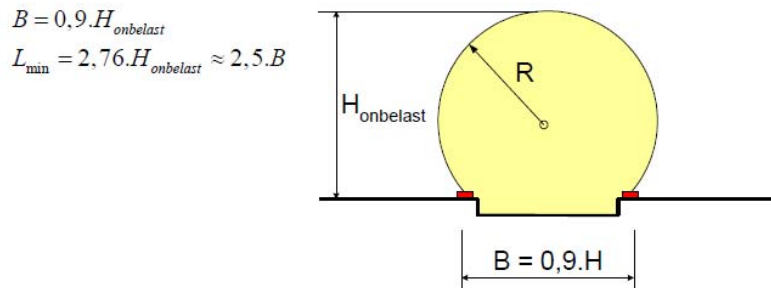
Met hoogte van 10 m geeft dit een gemiddelde breedte van $87,5 \text{ m}^2 / 10 \text{ m} = 8,75 \text{ m}$

Indien de sectie een perfecte halve cirkel zou zijn, is de diameter (dus de breedte onderaan) gelijk aan 20 m. De omtrek van de halve cirkel is dan 31,4 m.

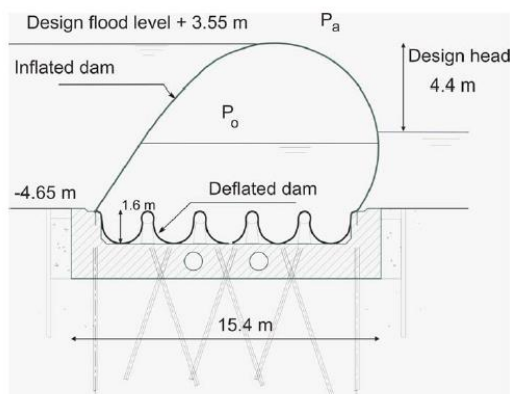
De vorm is dus eerder rechthoekig in plaats van een halve cirkel. De drempelbreedte van 15,4 m omvat mogelijk ook de wanden van de betonnen kuip waarin het doek zich bevindt.

Principe-dwarsdoorsnede

Bron: "hydraulische aspecten van balgstuwen en balgkeringen – Uitgave Bouwdienst Rijkswaterstaat en WL | Delft Hydraulics - december 2005"



Figuur 4-19: Verband tussen breedte onderaan, straal en hoogte van de balg



Figuur 3-21 Hoogwaterkering Ramspol, ontwerp BAM - Bridgestone

Figuur 4-20: Doorsnede van Ramspol-kering

4.11.1.2 Bijkomende input van uitbater stuw

Volgens interview met uitbater op 02-06-2018.

Functionering

Bij sluiten van de stuw worden de balgen opgepompt met lucht, het water loopt er dan in door drukverschil.

Bij aflaten van de balgen wordt het water uitgepompt, en stroomt de lucht zijdelings weg.

De kering wordt éénmaal per jaar als test gesloten, en ook nog gemiddeld éénmaal per jaar functioneel gesloten (met hoge waterstand).

Bouwdetails

Een constructieve lengte van 300 m is principieel mogelijk; vraag is of dit wel interessant is in vergelijking met een uitvoering met meerdere naast elkaar gelegen balgen, zoals in Ramspol.

Belangrijke bijkomende uitrusting: steunrollen in de "betonbak" ter hoogte van de drempel. Deze steunrollen laten toe om de overlength van de balg op te vangen (het doek hangt dan

in plooiën). De uitvoering van de steunrollen moet met zorg uitgevoerd worden, om te vermijden dat het doek wordt beschadigd bij het aflaten van de balg.

Bij de balgstuw in Ramspol loopt de balg aan de uiteinden op (talud). Dit stelt specifieke problemen qua vormgeving van het doek. Bij aflaten van de balg kunnen “valse” plooiën optreden, waardoor het doek sneller slijt.

Balgfabrikant: Bridgestone. Nota: zij maken dit niet meer.

Onderhoud - slijtage

Bij het functioneren werd schade vastgesteld aan het balgdoek ten gevolge van uitvoering van de steunrollen; nadien aangepast.

Onderhoud: door afdeling van ENGIE uit Arnhem.

Toepassing voor het 2^e getijdedok

Een frequentie van openen en sluiten van 2x per dag (dus 1x per getijdecyclus) moet mogelijk zijn; er is geen nood aan dagelijkse inspecties.

Bezoeken zijn beperkt mogelijk; in principe enkel voor andere overheden / uitbaters van stuwen en dergelijke.

4.11.2 Slibkering met opblaasbare balgen

4.11.2.1 Algemeen

De slibkering bestaat uit opblaasbare elementen, gelijkaardig aan de opblaasbare balgstuw van Ramspol, die de opening van 300 m gedeeltelijk verticaal kunnen afsluiten.

4.11.2.2 Toepassing als slibkering voor het 2^e getijdedok

De balgstuw-kering wordt opgebouwd uit meerdere, naast elkaar opgestelde, identieke elementen.

4.11.2.3 Inschatting van dimensies bij toepassing voor het 2^e getijdedok

Totale breedte van de kering: 300 m.

Bij gesloten stand: bovenpeil van de kering: -7 m TAW (dit is circa 6 m onder het laagwaterpeil).

Bij open stand: bovenpeil van de kering: -15,2 m TAW.

Constructieve hoogte van de kering (zonder bouwhoogte onder drempelniveau): $15,2 - 7 = 8,2$ m.

Om de doorvaart van 300 m te overbruggen, kan hierbij gedacht worden aan 4 secties van 75 meter constructielengte. Bij defect van één element (dat dan omhoog blijft), is er minimaal een aaneengesloten doorvaartbreedte van $2 * 75 \text{ m} = 150 \text{ m}$ beschikbaar; dit is dan bij een opstelling:

- 2 werkende stuwen: $2 * 75 \text{ m} = 150 \text{ m}$ beschikbaar
- 1 defecte stuw: $1 * 75 \text{ m} = 75 \text{ m}$ niet beschikbaar
- 1 werkend stuw: $1 * 75 \text{ m} = 75 \text{ m}$ beschikbaar.

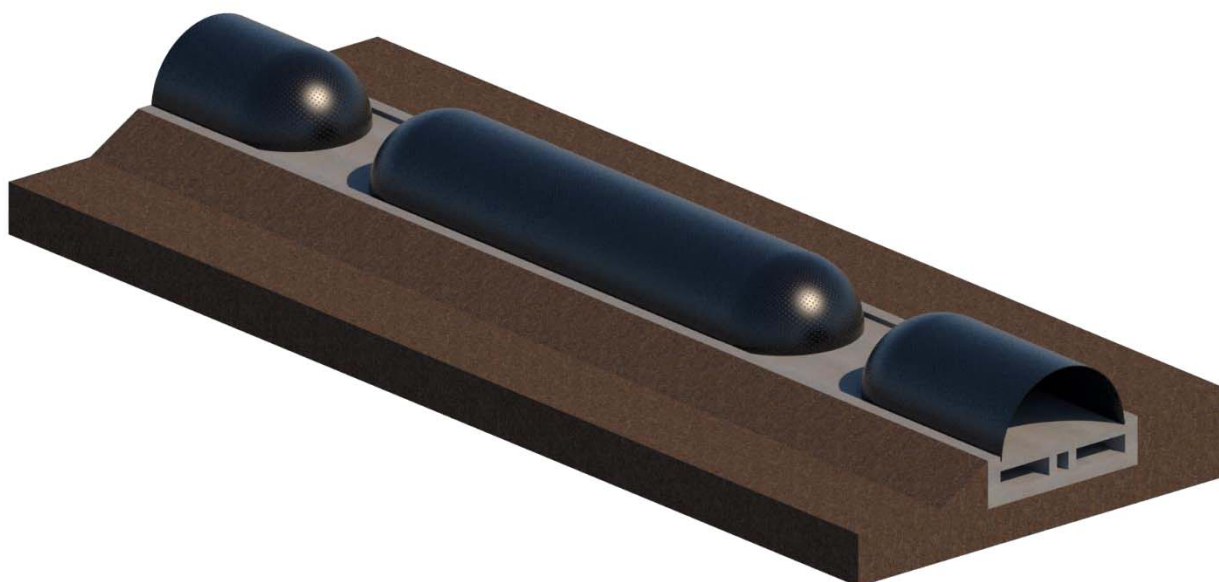
4.11.3 Driedimensionaal conceptueel schetsontwerp

Zie onderstaande tekeningen.

Hierin wordt aangegeven hoe het concept wordt toegepast voor de 2^e getijdedok-case, en wat dit betekent op gebied van afmetingen en beperkingen.



Figuur 4-21: 3D-zicht vanuit Schelde op slibkering (balg-type) met achterliggend het 2^e getijdedok



Figuur 4-22: 3D-zicht vanuit dok naar slibkering (balg-type). Doorsnede met figuratie van toegangstunnel onder de slibkering

4.11.4 Ontwerp voor het 2^e getijdedok

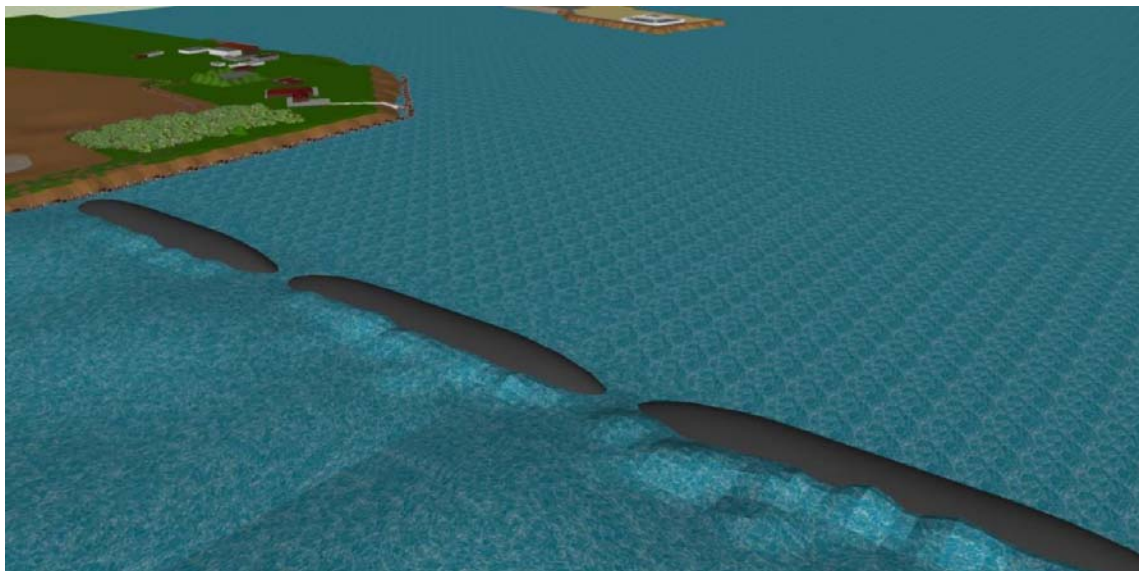
4.11.4.1 Vergelijking stuw Ramspol - slibkering 2^e getijdedok met balgen

De afmetingen qua lengte per balg (80 resp. 75 m) en qua hoogte (10 m resp. 8,2 m) zijn goed vergelijkbaar.

Volgens contacten met de verantwoordelijke voor de Ramspol-kering, en uit literatuurstudie, is het niet absoluut nodig om tussenliggende zijconstructies te voorzien. Bij de Ramspol-kering zijn deze aangebracht om een waterdichte aansluiting te krijgen, wat voor de slibkering geen absolute vereiste is.

Aan de twee oevers moeten wel pompinstallaties voorzien worden, die door middel van bodemleidingen (te integreren in de beton-bakken van de balgen) naar de balgen lopen, om het vullen (opblazen) resp. het ledigen (aflaten) te kunnen verwezenlijken.

Door meerdere niet aansluitende elementen te voorzien, kan vermeden worden om één lange balg van 300 m te moeten gebruiken, die qua fabricatie, onderhoud en bedrijfszekerheid problemen zou stellen.



Figuur 4-23: Project met balgstuw in meerdere elementen, zonder tussenliggende constructies

Referentie: “Improvement and scale enlargement of the inflatable rubber barrier concept- A case study applicable to the Bolivar Roads barrier, Texas, USA” – masterthesis Marjolein van Breukelen

Opmerking

Het lijkt niet eenvoudig om bij dit type balgkering de balg volledig af te laten, omdat de lucht hier niet langs de zijkanen kan ontsnappen, wat wel het geval is bij de balgkering met zijelementen.

Indien de balg niet volledig in de betonkuip terechtkomt, kan hij mogelijk scheuren, en is hij ook gevoeliger voor beschadiging door overvarende zeeschepen.

De klassieke “balgkeringen” worden niet overvaren door schepen, er is steeds een naastliggende sluis waarlangs de scheepvaart kan passeren. De propulsie van binnenvaartschepen boven een balg kan een extra risico tot balgbeschadiging betekenen.

4.11.4.2 Beschrijving slibkering 2^e getijdedok met balgen

De slibkering voor het 2^e getijdedok op basis van balgen is opgebouwd als volgt:

- Op elk van beide oevers: technisch gebouw met installaties voor bediening (pompen, compressoren), met sturing (elektrische borden enz).
- 4 balg-elementen, elk bestaande uit:
 - betonkuip, lengte circa 75 m

- balg bevestigd met flenzen rondom de kuip, opgeblazen hoogte 8,2 m
- steunrollen in de kuip
- toegangstunnel vanuit landhoofden, met leidingwerk.

4.11.4.3 Voorzieningen tegen aanslibbing

Er kan zich slib verzamelen rondom de balgen, zowel bij de opgeblazen stand (voor en achter) als bij de neergelaten stand (boven op de balgen zelf). De hoeveelheid slib die hiermee gepaard gaat is moeilijk in te schatten. Er zal lokaal ook moeten gebaggerd worden, met gevaar voor beschadiging van de balgen.

Nota: Het gebruik van een bellenscherm op lokale aanslibbing te voorkomen rondom de balgen lijkt weinig zinvol. Er kan dan beter een bellenscherm geplaatst worden zonder balgen. Zie hiervoor de betreffende paragrafen.

4.12 BALGSTUWKERING: TECHNISCHE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of de bouw van dit type slibkering, gelijktijdig met de bouw van de toegang naar het 2^e getijdedok of later, specifieke technische problemen stelt.

4.12.1 Bouw samen met toegang naar het 2^e getijdedok

Volgende hoofddelen moeten gebouwd worden:

- op beide oevers: technische ruimte met pompen, compressoren en bedienings-elementen (elektrische borden);
- ter plaatse van de drempel in de doorvaart (ingewerkt): steunelementen met toegangstunnel;
- in werkhuis: balgen; steunrollen.

De balgen moeten ter plaatse in de steunelementen gebracht kunnen worden. Dit kan enkel in het droge gebeuren. Uiteindelijk volgt dan het aankoppelen van de “aandrijving” en het afregelen en testen van het geheel.

4.12.2 Bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok

Uitgangspunt is hierbij dat het 2^e getijdedok al een zekere tijd in gebruik is, zowel voor binnenvaart als voor zeeschepen, en dat bij latere toevoeging van een slibkering de scheepvaarthinder beperkt moet blijven in de tijd.

De werken die uitgevoerd moeten worden op beide oevers en ter plaatse van de drempel in de doorvaart geven aanleiding tot belangrijke hinder van de zeescheepvaart, namelijk een vernauwing van de doorvaart tot minder dan 150 m (halve breedte van de doorvaart). Hierbij wordt uitgegaan van het aanleggen in gedeelten. Om deze werken op een kwaliteitsvolle manier te kunnen uitvoeren, moet in het droge gewerkt worden. Dit vereist dan de aanleg van een bouwput (eerst aan de éne oever, dan aan de andere) met behulp van bijvoorbeeld damplanken. Dit impliceert extra kosten en ook een langere uitvoeringstermijn.

De balgen worden dan in de droge bouwputten geplaatst.

Alternatief kunnen de elementen als prefab gebouwd worden, ter plaatse gevaren en dan afgezonken in een voorbereide sleuf. De onderlinge aankoppeling van de elementen van de balgkering is een complex zaak, waarbij een afweging gemaakt moet worden tussen relatief korte elementen (die eenvoudiger af te zinken zijn maar meer koppelingen vragen) en relatief lange elementen.

Voor de kostprijsberekening “in het natte” van Hoofdstuk 5 is het afzinken van vier elementen van 75 m lengte beschouwd.

Besluit: de bouw na afwerking van de toegang naar het 2^e getijdedok is theoretisch wel mogelijk, maar praktisch niet haalbaar.

4.13 BALGSTUWKERING: OPERATIONELE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of er voor dit type slibkering specifieke problemen zijn aangaande het openen en sluiten, de bedrijfszekerheid, en het onderhoud.

4.13.1 Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden

Streefdoel is om de balgstuw te openen, te sluiten in maximaal 15 minuten (tenminste indien haalbaar, zo niet zal de richttijd begroot te worden).

Bij de balgstuw in Ramspol is de bedrijfstijd beduidend groter, namelijk (*bron: Wikipedia*):

- sluitingstijd balgstuw: max. 60 min;
- leeglooptijd balgstuw: max. 180 min.

De sluitingstijd wordt bepaald door het geïnstalleerde vermogen om de balg op te blazen en op te pompen. Bij gebruik als stormstuw is 60 min toelaatbaar, bij gebruik als slibkering kan dit een bezwaar zijn.

De leeglooptijd van de balgstuw is beduidend langer. De balgen hebben een groot volume dat dient te worden leeggepompt op heel korte tijd. De leegpomptijd van 30 minuten blijkt daarbij niet realistisch. Het ontluichten van een balg vormt een bijkomend probleem aangezien hiervoor een kleppensysteem of leidingsysteem moet voorzien worden dat mee bovenaan opvlot in de balg. Dit probleem stelt zich niet bij de referentie-installatie waar de balg zijdelings altijd boven water blijft en langs die weg kan worden ontluicht.

Indien de slibkering 2 maal per dag open en dicht gaat, is een iets langere bedrijfstijd nog toelaatbaar, maar de tijd om de slibkering te openen of te sluiten moet zeker gereduceerd worden, anders wordt het problematisch om zeescheepvaart tijdig te laten passeren bij hoogwaterpeil.

4.13.2 Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering

Uitgangspunt is dat de slibkering in deze uitvoering bestaat uit **meerdere elementen** (4 * 75 m), die onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen en aangestuurd worden, en volledig overvaarbaar zijn.

De risico-inschatting is in grote lijnen identiek aan de kering met meerdere klep-elementen. Zie hiervoor het vorige hoofdstuk. Door de gebruiksfrequentie van de balg (2x per dag opblazen/leeglaten) wordt deze echter frequent opgevouwen en opgeplooid, wat een verkorting van de levensduur zal betekenen.

4.13.3 Operationeel onderhoud

De balgen zijn inwendig toegankelijk via een luchtsas (als ze opgeblazen zijn, enkel met lucht). Om veiligheidsredenen dient het scheepvaartverkeer over de balg dan onderbroken te worden.

Uitwendige inspectie van de balgen kan gebeuren met duikers.

Het belangrijkste probleem is de balgvervanging die moeilijk kan worden uitgevoerd onder water, wat problematisch is voor herstellingswerken (vervanging) achteraf. Voor de referentie installatie (Ramspol) kan de balg voor herstellingswerken droog worden gezet.

4.14 BELLENSCHERM-KERING: UITVOERINGSDETAILS

4.14.1 Referentie-ontwerpen

Zie toelichtingen in Hoofdstuk 2 en 3.

4.14.2 Slibkering met bellenscherm

4.14.2.1 Algemeen

In grote lijnen bestaat een bellenscherm-kering uit volgende onderdelen:

- op beide landhoofden: technisch gebouw met compressoren en stuur-eenheid;
- aaneengesloten drempel-elementen, met:
 - naast elkaar liggende buizen op steuntjes;
 - onderaan de buizen: spuitmonden voor uittredende lucht.

De uitstromende lucht zorgt ervoor dat de buizen en de spuitmonden vrij blijven van slib, en dat de slibaccumulatie rondom de buizen beperkt blijft.

Nota: slibuiming rondom de installatie zal nodig blijven; hierbij is er risico voor beschadiging van de installatie.

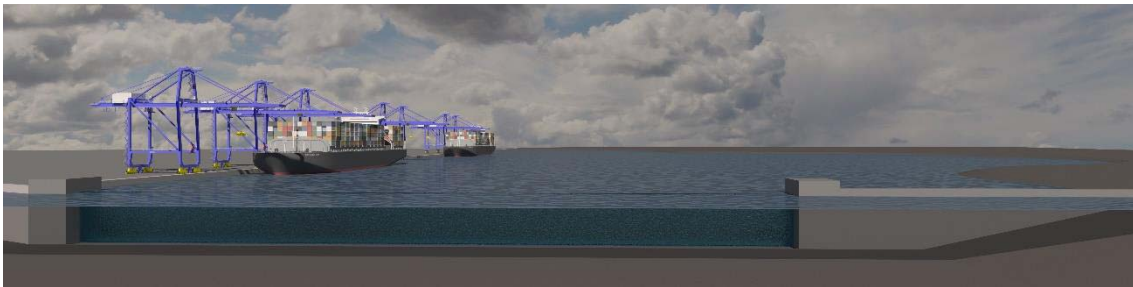
4.14.2.2 Werkingstijd

In hoeverre dit systeem gedurende de gehele getijperiode, dan wel enkel bij eb moet blijven werken, hangt sterk samen met de lokale slibdynamiek en de precieze invloed van het bellenscherm hierop; dit is momenteel nog niet volledig duidelijk. Zoals aangegeven in Hoofdstuk 3, kan zowel een continue werking als een onderbroken werking beschouwd worden.

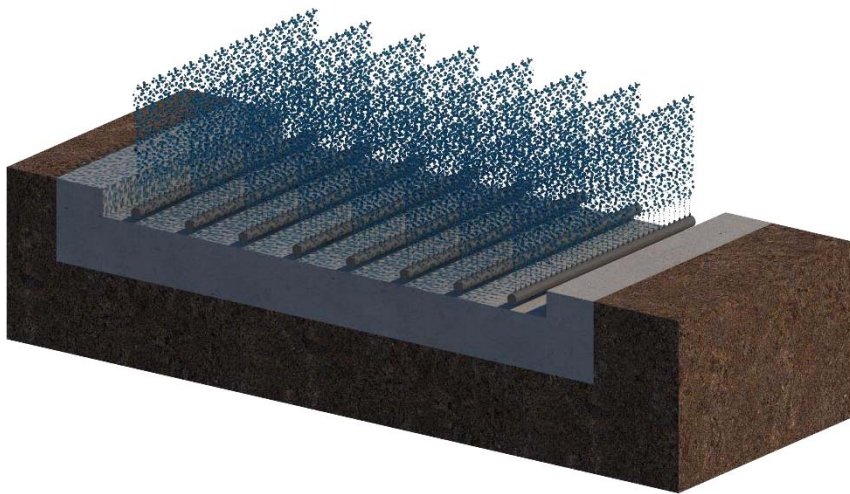
Bij de onderbroken werking wordt het bellenscherm in functie van de getijden in de Schelde tijdelijk stilgelegd, om energie te besparen. Deze energiebesparing moet dan afgewogen worden tegen de bijkomende kosten door extra baggerwerk.

In de analyse wordt voor de onderbroken werking een totale gebruiksduur per dag van 16 in plaats van 24 uur beschouwd.

4.14.3 Driedimensionale conceptueel schetsontwerp



Figuur 4-24: 3D-zicht vanuit Schelde op slibkering (bellenscherm-type) met achterliggend het 2^e getijdedok



Figuur 4-25: 3D-voorstelling van de bellenscherm uitvoering (principe)

Toelichting: Dit is een type-dwarssectie van het bellenscherm

- rechts op figuur: kant Schelde, top van betonelement op gelijk niveau met drempel;
- centraal: naast elkaar liggende buizen, met opborrelende luchtbellen;
- rechts op figuur: kant 2^e getijdedok. Hier kan de top van het betonelement lager gelegd worden, tot het niveau van het dok zelf.

4.14.4 Ontwerp voor het 2^e getijdedok

4.14.4.1 Inschatting dimensies bij toepassing voor het 2^e getijdedok

Er wordt uitgegaan van een drempelstructuur die gelijkaardig is aan die voor de klepkering.

Hiermee wordt bedoeld:

- aanleg door afzinkbare betonelementen van circa 30 m lengte, in een uitgegraven of gebaggerde sleuf (naargelang tijdstip van bouw);
- grondbescherming van aansluitende zones;
- leidingwerk geïntegreerd in de betonelementen, met koppelingen tussen de delen.

De details hiervan moeten in een latere fase bepaald worden.

Ook de nodige inplantingsruimte volgens de lengterichting van de doorvaart zal volgen uit de detailstudie.

4.14.4.2 Technische uitvoering

De compressor-installaties worden opgesteld aan weerszijden van de doorvaart, om de lengte van de toevoerbuizen van de samengeperste lucht te beperken (voeding van linkerhelft van de doorvaart vanuit de linkeroever; voeding van rechterhelft van de doorvaart vanuit de rechteroever).

In de drempel worden een aantal evenwijdig lopende toevoerbuizen ingewerkt, voorzien van injectie-nozzles op een regelmatige, nog te bepalen afstand. Naar het midden van de doorvaart toe kan de diameter van de toevoerbuizen kleiner uitgevoerd worden.

4.14.4.3 Machines voor werking van bellenscherm

Voor de optie bellenscherm wordt een luchtdebiet voorgesteld van ca 90.000 Nm³/h. Dit komt overeen met 25 m³ atmosferische lucht per seconde die moet gecomprimeerd worden.

Hiervoor worden 10 machines geïnstalleerd van elk 9.000 Nm³/h (5 machines per oever).

De nodige opvoerhoogte bedraagt dan:

- 21 m statische waterkolom bij max hoogtij;
- plus circa 3 m waterkolom voor het dynamisch verlies in de leidingen, afsluiters en nozzles);
- totaal wordt dan 2,4 “barg” (= overdruk ten opzichte van atmosferische druk).

Het vereiste machine-type is een tweetraps centrifugaalcompressor, 2.4 barg is een te hoog drukverschil voor ééntrapscompressie.

Geïnstalleerd vermogen per machine: 500 kW (= 0,5 megaW). Het opgenomen vermogen voor 10 machines in bedrijf is dan $0,45 \cdot 10 = 4,5$ MW.

4.15 BELLENSCHERMKERING: TECHNISCHE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of de bouw van dit type slibkering, gelijktijdig met de bouw van de toegang naar het 2^e getijdedok of later, specifieke technische problemen stelt.

4.15.1 Bouw samen met toegang naar het 2^e getijdedok

Volgende hoofddelen moeten gebouwd worden:

- op beide oevers: technische ruimte met compressoren en bedieningselementen (elektrische borden);
- ter plaatse van de drempel in de doorvaart (ingewerkt): pijpen met spuitmonden.

De pijpen moeten ter plaatse in de drempel aangebracht worden. Dit kan enkel in het droge gebeuren. Uiteindelijk volgt dan het aankoppelen van de “aandrijving” en het afregelen en testen van het geheel.

4.15.2 Bouw na afwerking van toegang naar het 2^e getijdedok

In principe mogelijk, door afzinken van volledig uitgeruste elementen in een te baggeren sleuf. De buizensystemen in de elementen moeten dan na afzinken aan elkaar gekoppeld worden. Hier is wel een verschil in installatiekosten, zie Hoofdstuk 5.

4.16 BELLENSCHERM-KERING: OPERATIONELE HAALBAARHEID

In deze paragraaf wordt nagegaan of er voor dit type slibkering specifieke problemen zijn aangaande het openen en sluiten, de bedrijfszekerheid, en het onderhoud.

4.16.1 Inschatting van de verwachte openings- en sluitingstijden

Bij deze variatie betreft het hier de tijd die nodig is om de installatie op te starten resp. af te schakelen. Alhoewel dit niet ogenblikkelijk zal zijn, vb. door de verschillende compressoren getrapt in te schakelen, kan dit zeker op korte tijd, dus in minder dan 15 minuten. Mogelijk moet hierbij ook een waarschuwings- en signalisatie-tijd in acht genomen worden, om scheepvaarthinder te voorkomen bij het opstarten. Bij een continue werking zijn de opstarttijden uiteraard niet van belang.

De “onderbroken werking” kan op 2 manieren opgevat worden, namelijk:

- (1) Alle compressoren (behalve de reserve-units) worden tegelijk (eventueel getrapt) in- of uitgeschakeld. Er zijn dan meerdere periodes van enkele uren dat de installatie niet werkt.
- (2) Er zijn altijd enkele compressoren actief. Gedurende de periodes dat er meer slibvorming is, in functie van het getij, worden de overige compressoren bijgeschakeld.

Bij uitvoering kan dan geoptimaliseerd worden tussen de energie- en de baggerkosten.

4.16.2 Inschatting van de bedrijfszekerheid van de slibkering

Door het voorzien van redundantie in de installatie, zoals:

- opstelling van eenheden links en rechts;
- meerdere compressoren;
- meerdere leidingen naast elkaar;

wordt de kans dat de installatie volledig buiten dienst is aanzienlijk verkleind.

Het geheel of gedeeltelijk buiten-werking-zijn van de slibkering heeft geen nadelig effect op de scheepvaart, enkel zal er op termijn meer slibaccumulatie optreden.

4.16.3 Operationeel onderhoud

Uitwendige inspectie van de slibkering (leidingwerk, spuitmonden, aanslibbing) kan gebeuren met duikers. De installatie op de bodem bestaat voornamelijk uit statisch leidingwerk wat in principe weinig onderhoudsinterventies vraagt. De slibreiniging rond het leidingsysteem vraagt echter de nodige aandacht.

4.17 OVERZICHT VAN DE ANALYSE VAN MOGELIJKE SLIBKERINGEN

Op basis van de bovenstaande tekst, en van ontvangen ervaringsgegevens van bestaande referentie-projecten, wordt hier een samenvatting van de technische analyse van de beschouwde varianten gegeven.

Dit wordt verder uitgewerkt in het volgende hoofdstuk, samen met de financiële haalbaarheid.

Tabel 4-1: Overzicht alternatieve slibkeringen

type slibkering	referentie	beschouwde variante	technische haalbaarheid	operationele haalbaarheid
nul-variante	geen	enkel vernauwing tot 300 m	OK (droog)	OK
roldeur	sluisdeuren IJmuiden, Panamakanaal	lichte uitvoering met 4 elementen van 25m	OK (droog)	beperkt risico voor scheepvaart
segmentdeur (verticale as)	stormstuw Maeslantkering	lichte uitvoering, niet vlottend	OK (droog)	beperkt risico voor scheepvaart
pontons met gordijn	geen	<i>niet verder te beschouwen</i>	nvt	nvt
opvlotbare kleppen	stormstuw Venetië (in bouw)	10 elementen van 30 m	OK (droog / nat)	beperkt risico voor scheepvaart

type slibkering	referentie	beschouwde variante	technische haalbaarheid	operationele haalbaarheid
segmentdeur (horizontale as met mech. aandrijving)	stormstuw Eems; Londen	<i>niet verder te beschouwen</i>	nvt	nvt
balgstuw	stormstuw Ramspol	4 elementen van 75 m	problematisch: beperkte levensduur (droog / nat)	problematisch: lange bedieningstijd, onderhoud
bellenscherm	zoutschermen bij sluizen	10 elementen van 30 m	OK (droog / nat)	luchtdebiet en werkingstijd te optimaliseren

5. FINANCIËLE AFWEGING

5.1 INLEIDING

5.1.1 Aanpak

Zoals al beschreven in Hoofdstuk 1, is het doel van de slibkerende voorzieningen om de toevoer van slib naar het 2^e getijdedok te verminderen in vergelijking met een situatie zonder slibkering ("nul-variante").

Afhankelijk van de eigenschappen van de beschouwde slibkerende voorziening (bijvoorbeeld het slibkerend oppervlak in open resp. in gesloten stand), en het relatief tijdsaandeel van de open resp. de gesloten stand van de slibkering tijdens de getijdencyclus (omwille van de scheepvaartseisen), zal de slibkering meer of minder effectief zijn. Dit is uitgewerkt in Hoofdstuk 2 en 3.

In Hoofdstuk 4 werden diverse mogelijke varianten verder uitgewerkt, wat ook toelaat om hiervoor een raming van de bouwkosten te maken.

In het voorliggende hoofdstuk wordt de kostenbesparing door beperking van de onderhoudsbaggerwerken in balans gelegd worden met de kostenverhoging door de bouw en de exploitatie (incl. onderhoud) van de slibkering. Variantes met een hoge totale kost (bouw en exploitatie) enerzijds, en een beperkte slibkering in volume anderzijds, zijn hierbij minder interessant dan andere.

Nota: Bij de eindbeoordeling dienen ook de mogelijke risico's bij exploitatie en onderhoud beschouwd te worden (besproken in Hoofdstuk 4), die financieel moeilijk in te schatten zijn.

5.1.2 Methode

Voor elke variatie wordt een financiële afweging gemaakt, op basis van ruwe ramingen voor:

- kosten voor aanleg bij aanvang ("in het droge").

Dit is de aanleg gelijktijdig met bouw van het 2^e getijdedok, voorafgaand aan ingebruikname door scheepvaart.

Meegenomen worden volgende kosten:

- grondwerken (afgraven en aanvullen);
- civiele constructiewerken voor drempel en landhoofden (met eventuele deurkamers, en met dam in talud aan noordzijde);
- hulpmiddelen voor constructiewerken: aanleggen van sleuven, gebruik van damplanken, gebruik van caissons, enz;
- staalconstructies (roldeuren, segmentdeuren, klepdeuren);
- mechanische uitrusting (rolwagens, sporen, aandrijving, scharnierpunten, enz);
- pompen, compressoren, leidingwerk;
- instrumentatie (met elektrische uitrusting, dienstgebouw enz);
- engineering, algemene kosten;
- forfaitair bedrag voor onvoorziene werken;
- kosten voor latere aanleg ("in het natte").

Dit is de aanleg na ingebruikname door de scheepvaart. Enkel indien praktisch haalbaar. Voor de roldeur-kering en de segmentdeur-kering wordt dit niet als haalbaar beschouwd, dus hiervoor is geen raming gemaakt.

Beschouwde kosten:

- kosten zoals voor de aanleg “in het droge”, met bijkomende hulpmiddelen
- indirecte kosten door scheepvaarthinder zijn niet inbegrepen.
- kosten voor courante exploitatie.

Dit betreft de operationele kosten, zonder het onderhoud.

Dit zijn voornamelijk de energiekosten om de kering te openen en te sluiten, overige energiekosten verbonden aan de installatie, mens-uren voor de bediening, enz.

- kosten voor onderhoudsbaggerwerken

Eender welke slibkering zal slechts een gedeelte van het slib kunnen tegenhouden. Er zijn dus nog steeds baggerwerken nodig in het dok en in de toegang, en ook rondom de slibkering zelf.

- kosten voor overig onderhoud
 - courant onderhoud en inspecties;
 - interventies bij storingen;
 - herstellingen ten gevolge van slijtage, aanvaring, enz;
 - groot onderhoud: kuisen van elementen van de kering; herschilderen van stalen elementen, enz.
 - vervangen van slijtende delen in de loop van de levensduur van de kering
- vergelijking van de alternatieven:

Voor elke variante wordt een jaarlijkse totale kost geraamd, waarbij de aanlegkost afgeschreven wordt over een termijn van 50 jaar. Samen met de overige kosten (exploitatie, baggeren, onderhoud) wordt dan een vergelijking gemaakt van de diverse slibkeringen met de nul-variante.

Ook wordt per variante bepaald wat de verhouding is van de jaarlijkse kostenbesparingen (exclusief afschrijvingen) ten opzichte van de meer-investering. Hieruit kan dan de terugbetalingstermijn bepaald worden (berekend zonder intresten). Een opbrengst van bijvoorbeeld 4% per jaar komt dan overeen met een terugbetalingstermijn van $1/0,04 = 25$ jaar.

Indien er geen jaarlijkse kostenbesparing is (excl. afschrijvingen), wordt de berekende waarde van de terugbetalingstermijn negatief.

Nota: kosten voor afbraak.

Dit betreft de kosten die gemaakt moeten worden aan het einde van de levensduur van de slibkering.

De afbraakkosten worden in de raming niet meegenomen, wegens de lange tijdshorizon, ver voorbij de afschrijvingstermijn van 50 jaar die voor de bouwkosten beschouwd werd.

5.2 GEEN SLIBKERING (“NULVARIANTE”)

5.2.1 Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang

Zie detail in tabel met kostenraming.

Deze raming betreft enkel de kost voor de bouw van de dwarse muren aan weerszijden van de doorvaart, om deze te beperken tot 300 m, evenals de aanleg van de drempel tussen de beide muren.

Bij de andere varianten worden de dwarse muren en de drempel in min of meerdere mate aangepast, en wordt hiervoor de bijhorende totale bouwkost geraamd.

5.2.2 Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie

Niet van toepassing. Als deze variante gekozen wordt, wordt ze bij aanvang gebouwd.

5.2.3 Afbraak

Niet van toepassing. Uitgangspunt is dat de versmalling definitief is.

5.2.4 Exploitatie- en baggerkosten

Zie Hoofdstuk 3. Het betreft hier de component “baggerkosten” die nodig zijn om het 2^e getijdedok inclusief de toegang op jaarbasis uit te baggeren, in het geval er géén bijkomende slibkering gebouwd wordt.

5.2.5 Tabel met kostenraming

Zie volgende bladzijde. Deze tabel wordt herhaald bij de diverse varianten, om de vergelijking te kunnen maken tussen de kosten van deze variante en de kosten van de nul-variante.

item	omschrijving	eenheid	nulvariante
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0
1.1.3	kost damplanken drempel	EUR	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0
1.4.1	kost pompen	EUR	0
1.4.2	kost compressoren	EUR	0
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0
1.4.4	kost piping	EUR	0
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/

Tabel 5-1: kosten en opbrengsten voor nul-variante

5.3 SLIBKERING MET ROLDEUREN: FINANCIËLE HAALBAARHEID

5.3.1 Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang

Zie detail in tabel met kostenraming. Deze betreft de variante met de aan-elkaar-gekoppelde wagentjes met opstaand scherm.

5.3.2 Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie

Gezien de te verwachten hinder voor de zeescheepvaart, is deze optie niet realistisch. Deze optie is daarom niet verder uitgewerkt.

5.3.3 Afbraak

De roldeuren zelf worden uitgevaren en verschroot. De drempel met rijbanen voor de onderrolwagen wordt verwijderd (dit kan eventueel in het natte uitgevoerd worden).

De deurkamers blijven ter plaatse, maar worden opgevuld en dichtgemaakt.

5.3.4 Exploitatie- en baggerkosten

Zie Hoofdstuk 3. Hier wordt uitgegaan van de maximale sluiting van de kering (dwz enkel geopend om zeeschepen te laten passeren).

5.3.5 Tabel met kostenraming

Zie volgende bladzijde.

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	roldeur droog
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	675.768
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	700.000
1.1.3	kost dampplanken drempel	EUR	0	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	0
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	1.046.250
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	17.202.500
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	17.202.500
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	/
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	36.827.018
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	6.992.000
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	2.189.600
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	9.181.600
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	2.100.000
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	1.800.000
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	/
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0	/
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	/
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	3.900.000
1.4.1	kost pompen	EUR	0	132.000
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	248.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	200.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	1.300.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0	1.880.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	140.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	300.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	1.244.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	/
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.684.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	3.329.120
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	7.365.404
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0	1.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	3.329.120
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	15.023.644
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	1.040.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	69.536.262
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	1.390.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	330.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	36.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.105.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	4.861.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	894.000
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-1.090.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	-196.000
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	1,6%
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/	61

Tabel 5-2: Kosten en opbrengsten voor roldeurvariante (geschakelde uitvoering),
vergeleken met nul-variante

5.4 SLIBKERING MET SEGMENTDEUREN: FINANCIËLE HAALBAARHEID

5.4.1 Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang

Zie detail in tabel met kostenraming. Deze raming is afgeleid van de raming voor de rechte roldeur (variante met de aan-elkaar-gekoppelde wagentjes met opstaand scherm), met extra gewicht en ruimtebeslag voor onder meer de armen en de gekromde looprails.

5.4.2 Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie

Een uitvoering met onderrolwagens in de doorvaart, zoals beschreven hierboven, is in een latere fase niet haalbaar, omwille van scheepvaartstremming. Deze optie is daarom niet verder uitgewerkt.

5.4.3 Afbraak

De segmentdeuren zelf worden uitgevaren en verschroot. De drempel met rijbanen voor de onderrolwagen wordt verwijderd (dit kan eventueel in het natte uitgevoerd worden).

De deurkamers blijven ter plaatse, maar worden opgevuld en dichtgemaakt.

5.4.4 Exploitatie- en baggerkosten

Zie Hoofdstuk 3. Hier wordt uitgegaan van de maximale sluiting van de kering (dwz enkel geopend om zeeschepen te laten passeren).

5.4.5 Tabel met kostenraming

Zie volgende bladzijde.

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	segmentdeur droog
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	3.150.000
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	1.680.000
1.1.3	kost dampplanken drempel	EUR	0	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	0
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	30.981.250
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	30.981.250
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	/
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	66.792.500
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	10.488.000
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	3.284.400
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	13.772.400
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	2.520.000
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	2.160.000
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	/
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0	/
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	/
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	4.680.000
1.4.1	kost pompen	EUR	0	132.000
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	248.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	200.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	1.300.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0	1.880.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	140.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	300.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	1.400.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	/
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.840.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	4.434.480
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	13.358.500
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0	1.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	4.434.480
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	23.227.460
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	8.000.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	120.192.360
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	2.400.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	440.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	54.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.105.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	5.999.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	766.000
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-2.100.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	-1.334.000
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	0,7%
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/	137

Tabel 5-3: Kosten en opbrengsten voor segmentdeurvariante, vergeleken met nul-variante

5.5 SLIBKERING MET KLEPPEN: FINANCIËLE HAALBAARHEID

5.5.1 Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang

Zie details in kostentabel.

5.5.2 Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie

Uitvoerbaar door middel van systeem met afgezonken elementen. De prijsraming is meegenomen in de tabel.

5.5.3 Afbraak

De klepdeuren zelf worden opgevlot, losgemaakt en verschroot. De drempel-elementen worden verwijderd (dit kan eventueel in het natte uitgevoerd worden).

De zijconstructies kunnen deels ter plaatse blijven. Machinehuizen worden afgebroken.

5.5.4 Exploitatie- en baggerkosten

Zie Hoofdstuk 3. Hier wordt uitgegaan van de maximale sluiting van de kering (dwz enkel geopend om zeeschepen te laten passeren).

5.5.5 Tabel met kostenraming

Zie volgende bladzijde.

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	klepkering droog	klepkering nat
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	1.114.956	4.170.675
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	3.998.700	0
1.1.3	kost damplanken drempel	EUR	0	1.152.000	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	0	15.000.000
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	/	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	1.200.000	1.950.000
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	11.250.000	12.937.500
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	/	3.500.000
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	18.715.656	37.558.175
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	3.990.000	3.990.000
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	1.249.500	1.249.500
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	5.239.500	5.239.500
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	/	/
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	/	/
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	1.400.000	1.400.000
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0	/	/
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	/	/
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	1.400.000	1.400.000
1.4.1	kost pompen	EUR	0	0	0
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	480.000	480.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	100.000	100.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	1.400.000	1.400.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0	1.980.000	1.980.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	200.000	200.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	400.000	400.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	796.000	796.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	150.000	150.000
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.546.000	1.546.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	2.033.100	2.033.100
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	3.743.131	7.511.635
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0	2.000.000	2.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	2.033.100	2.033.100
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	9.809.331	13.577.835
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	180.000	180.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	38.870.487	61.481.510
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	780.000	1.230.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	200.000	200.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	10.800	10.800
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.420.000	3.420.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	4.410.800	4.860.800
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	734.200	734.200
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-480.000	-930.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	254.200	-195.800
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	3,1%	1,6%
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/	32	63

Tabel 5-4: Kosten en opbrengsten voor klepvariante, vergeleken met nul-variante

5.6 SLIBKERING MET OPBLAASBARE BALGEN: FINANCIËLE HAALBAARHEID

5.6.1 Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang

Zie details in kostentabel.

5.6.2 Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie

Uitvoerbaar door middel van systeem met afgezonken elementen. De prijsraming is meegenomen in de tabel.

5.6.3 Afbraak

De balgen worden samen met de drempel-elementen verwijderd, met behulp van zwaar hijsmateriaal (dit kan eventueel deels in het natte uitgevoerd worden).

De zijconstructies kunnen deels ter plaatse blijven. Machinehuizen worden afgebroken.

5.6.4 Exploitatie- en baggerkosten

Zie Hoofdstuk 3. Hier wordt uitgegaan van de maximale sluiting van de kering (dwz enkel geopend om zeeschepen te laten passeren).

5.6.5 Tabel met kostenraming

Zie volgende bladzijde.

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	balgkering droog	balgkering nat
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	1.143.900	3.697.644
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	2.311.920	0
1.1.3	kost damplanken drempel	EUR	0	0	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	0	12.750.000
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	/	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	1.200.000	1.950.000
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	10.602.000	12.937.500
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	/	3.500.000
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	15.257.820	34.835.144
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	/	/
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	/	/
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	0	0
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	/	/
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	/	/
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	/	/
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0	2.540.000	2.540.000
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	1.400.000	1.400.000
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	3.940.000	3.940.000
1.4.1	kost pompen	EUR	0	1.080.000	1.080.000
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	1.980.000	1.980.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	400.000	400.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	3.200.000	3.200.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0	6.660.000	6.660.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	200.000	200.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	400.000	400.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	1.960.000	1.960.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	150.000	150.000
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	2.710.000	2.710.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	2.662.000	2.662.000
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	3.051.564	6.967.029
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0	2.000.000	2.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	2.662.000	2.662.000
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	10.375.564	14.291.029
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	180.000	180.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	39.123.384	62.616.173
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	780.000	1.250.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	270.000	270.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	270.000	270.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.420.000	3.420.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	4.740.000	5.210.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	405.000	405.000
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-480.000	-950.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	-75.000	-545.000
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	1,7%	0,9%
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/	59	117

Tabel 5-5: Kosten en opbrengsten voor balgvariante, vergeleken met nul-variante

5.7 SLIBKERING MET BELLENSCHERM: FINANCIËLE HAALBAARHEID

5.7.1 Ruwe raming van kostprijs voor aanleg bij aanvang

Zie details in kostentabel.

5.7.2 Ruwe raming van kostprijs voor latere bouw van de constructie

Uitvoerbaar door middel van systeem met afgezonken elementen. De prijsraming is meegenomen in de tabel.

5.7.3 Afbraak

De drempel-elementen met piping worden verwijderd (dit kan eventueel in het natte uitgevoerd worden).

De zijconstructies kunnen deels ter plaatse blijven. Machinehuizen worden afgebroken.

5.7.4 Exploitatie- en baggerkosten

Zie Hoofdstuk 3. Hier wordt uitgegaan van de twee varianten, nl. zowel de continue werking, als een onderbroken werking om energiekosten te sparen.

5.7.5 Tabel met kostenraming

Zie volgende bladzijden:

- bouw in het droge, voltijdse resp. deeltijdse werking
- bouw in het natte, voltijdse resp. deeltijdse werking

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	bellenkering droog - permanent	bellenkering droog - deeltijds
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	978.300	978.300
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	1.542.000	1.542.000
1.1.3	kost damplanken drempel	EUR	0	0	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	0	0
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	/	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	1.200.000	1.200.000
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	10.890.000	10.890.000
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	/	/
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	14.610.300	14.610.300
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	/	/
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	/	/
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	0	0
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	/	/
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	/	/
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	/	/
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0	/	/
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	/	/
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	0	0
1.4.1	kost pompen	EUR	0	0	0
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	2.050.000	2.050.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	140.000	140.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	3.000.000	3.000.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0	5.190.000	5.190.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	45.000	45.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	400.000	400.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	1.127.000	1.127.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	150.000	150.000
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.722.000	1.722.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	1.382.400	1.382.400
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	2.922.060	2.922.060
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0	2.000.000	2.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	1.382.400	1.382.400
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	7.686.860	7.686.860
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	180.000	180.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	29.389.160	29.389.160
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	590.000	590.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	140.000	140.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	3.456.000	2.304.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.420.000	3.645.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	7.606.000	6.679.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	-2.651.000	-1.724.000
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-290.000	-290.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	-2.941.000	-2.014.000
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	-18,6%	-12,1%
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/	-5	-8

Tabel 5-6: Kosten en opbrengsten voor bellenschermvariante, gebouwd in het droge, vergeleken met nul-variante

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	bellenkering nat - permanent	bellenkering nat - deeltijds
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	3.389.700	3.389.700
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	0	0
1.1.3	kost damplanken drempel	EUR	0	0	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	10.500.000	10.500.000
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	/	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	1.950.000	1.950.000
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	12.937.500	12.937.500
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	3.500.000	3.500.000
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	32.277.200	32.277.200
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	/	/
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	/	/
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	0	0
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	/	/
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	/	/
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	/	/
1.3.4	kost balgen met steunrollen en sas, eerste installatie	EUR	0	/	/
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	/	/
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	0	0
1.4.1	kost pompen	EUR	0	0	0
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	2.050.000	2.050.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	140.000	140.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	3.000.000	3.000.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pipir	EUR	0	5.190.000	5.190.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	45.000	45.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	400.000	400.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	1.127.000	1.127.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	150.000	150.000
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.722.000	1.722.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	1.382.400	1.382.400
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	6.455.440	6.455.440
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaisson	EUR	0	2.000.000	2.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	1.382.400	1.382.400
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	11.220.240	11.220.240
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	180.000	180.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	50.589.440	50.589.440
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	1.010.000	1.010.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	140.000	140.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	3.456.000	2.304.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.420.000	3.645.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	8.026.000	7.099.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	-2.651.000	-1.724.000
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-710.000	-710.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	-3.361.000	-2.434.000
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	-7,5%	-4,9%
5	terugbetalingstermijn investering	jaar	/	-13	-21

Tabel 5-7: Kosten en opbrengsten voor bellenschermvariante, gebouwd in het natte, vergeleken met nul-variante

5.8 SLIBKERINGEN: OVERZICHTSTABEL

In bijlage wordt een meer uitgebreide versie van de kostentabel gegeven. Hieronder volgt een samenvatting, voor de diverse varianten.

item	omschrijving	eenheid	nul-variante	roldeur droog	segmentdeur droog	klepkering droog	klepkering nat	balgkering droog	balgkering nat	bellenkering droog - permanent	bellenkering droog - deeltijds	bellenkering nat - permanent	bellenkering nat - deeltijds
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	36.827.018	66.792.500	18.715.656	37.558.175	15.257.820	34.835.144	14.610.300	14.610.300	32.277.200	32.277.200
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	9.181.600	13.772.400	5.239.500	5.239.500	0	0	0	0	0	0
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	3.900.000	4.680.000	1.400.000	1.400.000	3.940.000	3.940.000	0	0	0	0
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren	EUR	0	1.880.000	1.880.000	1.980.000	1.980.000	6.660.000	6.660.000	5.190.000	5.190.000	5.190.000	5.190.000
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.684.000	1.840.000	1.546.000	1.546.000	2.710.000	2.710.000	1.722.000	1.722.000	1.722.000	1.722.000
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	15.023.644	23.227.460	9.809.331	13.577.835	10.375.564	14.291.029	7.686.860	7.686.860	11.220.240	11.220.240
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	1.040.000	8.000.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
1	totaal bouwkosten	EUR	15.120.000	69.536.262	120.192.360	38.870.487	61.481.510	39.123.384	62.616.173	29.389.160	29.389.160	50.589.440	50.589.440
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	1.390.000	2.400.000	780.000	1.230.000	780.000	1.250.000	590.000	590.000	1.010.000	1.010.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	330.000	440.000	200.000	200.000	270.000	270.000	140.000	140.000	140.000	140.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	36.000	54.000	10.800	10.800	270.000	270.000	3.456.000	2.304.000	3.456.000	2.304.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.105.000	3.105.000	3.420.000	3.420.000	3.420.000	3.420.000	3.420.000	3.645.000	3.420.000	3.645.000
2	totaal kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	4.861.000	5.999.000	4.410.800	4.860.800	4.740.000	5.210.000	7.606.000	6.679.000	8.026.000	7.099.000
3.1	meerkost bouw en exploitatie excl. baggeren	EUR/jaar	-	1.456.000	2.594.000	690.800	1.140.800	1.020.000	1.490.000	3.886.000	2.734.000	4.306.000	3.154.000
3.2	besparing op baggerwerk	EUR/jaar	-	-1.260.000	-1.260.000	-945.000	-945.000	-945.000	-945.000	-945.000	-720.000	-945.000	-720.000
3	verschil tov nulvariante	EUR/jaar	-	196.000	1.334.000	-254.200	195.800	75.000	545.000	2.941.000	2.014.000	3.361.000	2.434.000

Tabel 5-8: overzichtstabel kosten voor diverse varianten

6. CONCLUSIES

6.1 OVERZICHT

In de quick-scan werden vijf variërende uitvoeringen voor slibkeringen nader beschouwd (op basis van een concept-design, zoals toegelicht in Hoofdstuk 4), met volgende benamingen: “roldeur-kering”, “segmentdeur-kering”, “klep-kering”, “balgstuw-kering”, “bellenscherm-kering”.

De quick-scan heeft betrekking op de volgende aspecten:

- effectiviteit van de slibkering (behandeld in Hoofdstuk 3);
- technische en operationele haalbaarheid (behandeld in Hoofdstuk 4);
- financiële haalbaarheid (behandeld in Hoofdstuk 5).

Deze aspecten worden in de volgende paragrafen samengevat voor de diverse varianten, waarna uiteindelijk een eindconclusie wordt voorgesteld.

6.2 EFFECTIVITEIT VAN DE SLIBKERING

In theorie grijpen de verschillende type slibkeringen elk op een andere wijze in op het slibtransport. Een slibkering die in een lokale versmalling van de stroombreedte voorziet (rol- of segmentdeur), zorgt voor een afname van de neervorming en de slibuitwisseling die hiermee gepaard gaat. Een slibkering die in een lokale verhoging van het bodemniveau voorziet (klep- of balgstuw), grijpt vooral in op de uitwisseling van sediment langs de bodem, veroorzaakt door dichtheidsverschillen. Uit de analyses blijkt dat beide type kering op zowel de neervorming als de dichtheidsgedreven uitwisseling ingrijpen.

Doordat in het geval van een tijdelijke versmalling (niet-overvaarbare slibkering) het geblokkeerde oppervlakte toeneemt bij toenemende waterstand, wordt voor dit type de grootste afname (circa 30%) op aanslibbing verkregen. Voor een tijdelijke verhoging van de drempel (overvaarbare kering) neemt de afgesloten sectie (relatief) juist af met toenemende waterstand. De maatregel is door het grote tijverskil voor de beschouwde toepassing daarom minder efficiënt (afname circa 20%).

Echter, een belangrijke succesfactor hangt samen met de verticale verdeling van sediment over de waterkolom. Typische sedimentconcentratieprofielen geven aan dat de hoogste waarden nabij de bodem optreden. Metingen ter plaatse van het Deurganckdok laten echter zien dat hoge waarden ook (in wolken) aan het oppervlakte kunnen voorkomen. In de bepaling van de reductie in aanslibbing ten gevolge van de tijdelijke verhoging werd geen rekening gehouden met de lagere gemiddelde concentratie in de zone waarin de uitwisseling plaats vindt. Hierdoor neemt mogelijk in realiteit de import van slib meer af dan volgt uit de berekeningen. Anderzijds wordt ook geen veranderingen in de trapping-efficiëntie voorzien. Voor meer inzicht in deze processen en een meer gedetailleerd onderzoek wordt aanbevolen om bij voortzetting van het onderzoek naar slibreducerende maatregelen een gedetailleerd sedimenttransport model in te zetten.

Meer inzicht in de lokale processen zal toestaan om een betere schatting te maken van de efficiëntie van de voorgestelde maatregelen, en de bedieningsschema's te optimaliseren.

Door de slibkering te sluiten kan immers voorkomen worden dat slib het dok instroomt, maar wordt wellicht ook verhinderd dat slib vanuit het dok terug naar de rivier kan stromen. De inzet van een gedetailleerde slibmodel wordt aanbevolen om de uitwisseling van slib, en de invloed van de voorgestelde maatregelen hierop in detail te bestuderen.

Een slibkering hoeft niet absoluut slib- of waterdicht te zijn, terwijl voor een sluisdeur of een waterkering wel gevraagd wordt dat ze “waterdicht” is, op lekkage na. Diverse varianten voor de slibkering laten een deel van de breedte, resp. een deel van de waterdiepte vrij. Dus de slibstroom wordt bij actieve kering slechts gedeeltelijk gestremd.

Omwille van constructieve beperkingen, kan het nodig of nuttig zijn om de slibkeringen in meerdere kleinere elementen onder te verdelen. Tussen deze elementen kan dan nog een opening aanwezig zijn, waardoor er lokaal een slibindringing mogelijk blijft.

Geen enkele van de mogelijke slibkeringen kan 100% effectief zijn, omdat een actieve slibkering de sectie niet volledig kan afsluiten, en omdat een slibkering niet altijd actief kan zijn omwille van scheepvaart-eisen.

Nota: een bellenscherm kan wel continu actief zijn, maar dit gaat gepaard met hoge energiekosten. Bij de variante “bellenscherm” worden daarom twee exploitatiewijzen beschouwd, nl. “continu” en “onderbroken”, terwijl bij de overige slibkeringen wordt uitgegaan van “maximaal mogelijke sluiting.” Merk op dat bij de overige slibkeringen er sprake is van mogelijk meerdere malen openen & sluiten van de slibkering per getij. Het moment waarop deze opening of sluiting plaatsvindt (ten opzichte van de getijfase) kan, evenals bij het bellenscherm, nog geoptimaliseerd worden, in functie van de slibdynamiek.

Samengevat: Eender welke slibkering kan wel de aanslibbing verminderen maar niet geheel uitsluiten, zodat onderhoudsbaggerwerk nog steeds nodig zal zijn, maar in mindere mate dan bij de nul-variante.

Nota: Merk op dat de nul-variante reeds een voor aanslibbing geoptimaliseerde lay-out betreft. Het is mogelijk dat voor minder geoptimaliseerde varianten van het getijdok een grotere besparing op het onderhoudsbaggerwerk kan worden bereikt, door inzet van de in dit rapport besproken maatregelen.

6.3 TECHNISCHE EN OPERATIONELE HAALBAARHEID

De vijf beschouwde varianten zijn in meer of mindere mate technisch en operationeel haalbaar.

Dit wordt hieronder verder toegelicht, op basis van de resultaten van Hoofdstuk 4.

6.3.1 Bouw bij aanvang, of in een latere fase?

Bij sommige varianten wordt qua bouw een onderscheid gemaakt tussen “bouw bij aanvang” (in het droge) en “latere bouw” (in het natte). Zoals aangegeven bij de diverse variantes, is het naderhand toevoegen van een slibkering een kostelijke zaak, die gepaard kan gaan met al dan niet grote hinder voor de scheepvaart. Een latere bouw van een slibkering wordt daarom niet beschouwd voor de roldeur- en de segmentdeur-kering, wel nog voor de klep-kering, de balg-kering en het bellenscherm.

6.3.2 Technische en operationele haalbaarheid per variante

- a) De “nul-variante” vereist enkel onderhoudsbaggerwerk, en wordt daarom als technische en operationeel haalbaar beschouwd.
- b) De variante “roldeur-kering” is technisch haalbaar, want afgeleid van bestaande roldeuren die voor sluiscomplexen gebruikt worden. Gezien de beperkte krachtswerking op de roldeuren kunnen deze wel lichter uitgevoerd worden in vergelijking tot sluisdeuren. De lengte van een roldeur is wel groter dan wat ooit gemaakt is. Daarom kan de roldeur-kering ook opgebouwd worden uit meerdere elementen; deze alternatieve uitvoering is meegenomen in de raming. De noodzakelijke deurkamer op de zuidelijke oever is mogelijk problematisch voor de invulling van de binnenvaartkade langs de rivier.
- c) De variante “segmentdeur-kering met verticale as” is technisch haalbaar, met een aangepaste uitvoering voor de centrale as. De segmentdeuren kunnen lichter en eenvoudiger uitgevoerd worden dan in het referentie-project. Het segmentprincipe impliceert echter een hoge kost, terwijl het weinig bijdraagt tot de slibkering. Dit principe is meer geschikt als stormvloedkering. De noodzakelijke deurkamers, scharnier en armen nemen een aanzienlijke ruimte in die niet nuttig gebruikt kan worden.
- d) De variante “klep-kering” is mogelijk technisch haalbaar. Voorzichtigheid is hier geboden, omdat het referentie-project in Venetië nog niet operationeel is. Er is dus weinig REX (“return of experience”). De bedrijfszekerheid en operationele kost zijn wellicht controleerbaar.
- e) De variante “deursegment-kering met horizontale as” is technisch niet haalbaar. Bij de referentie-uitvoeringen komen de zijconstructies hoog boven het drempelniveau uit, en zijn dus niet overvaarbaar. Een alternatieve uitvoering met één enkele klep van 300 m lang is technisch ook niet haalbaar.
- f) De variante “balg-kering” is mogelijk technisch haalbaar. Deze variante lijkt echter geen geschikte oplossing, om volgende reden:

- Bij de Ramspol-uitvoering komen de zij-constructies hoog boven het drempelniveau uit, en zijn daardoor niet overvaarbaar voor zeeschepen. Bij andere projecten zijn er geen zijconstructies voorzien, maar van deze projecten zijn geen ervaringsgegevens bekend.
 - De balg dient op grotere diepte te worden geïnstalleerd wat extra technische uitdagingen met zich meebrengt.
 - De intensieve gebruiksfrequentie van de balg kan mogelijk een kortere levensduur betekenen.
 - Vervanging of onderhoud van een balg in natte toestand is vermoedelijk een uiterst moeilijke operatie.
 - Openings- en sluitingstijden kunnen niet voldoen aan de vooropgestelde randvoorwaarden.
- g) De variante “bellenscherm” heeft nog grote onbekenden bij gebrek aan relevante praktijkvoorbeelden. De efficiëntie van de slibwering in functie van de toegepaste luchtdebieten is hierbij de belangrijkste onbekende.
- Het nu ingeschatte benodigde elektrisch vermogen lijkt excessief, maar dit is gekoppeld aan het ingeschatte hoge luchtdebiet op grotere diepte. Dit betekent onmiddellijk een hoge operationele kost tegenover de relatief lage investeringskost.
- h) Voor de verschillende variantes geldt dat er bij exploitatie een mogelijke hinder voor de zeescheepvaart kan ontstaan, ten gevolge van aanvaringen of defecten in de installatie.

6.4 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De vijf variante slibkeringen worden vergeleken met de nul-variante (geen extra slibkering), zodat er in totaal voor zes varianten een kostenraming gemaakt moet worden. Zie hiervoor Hoofdstuk 5.

6.4.1 Nul-variante

De “nul-variante” (geen slibkering) vraagt een beperkte investeringskost (enkel de vernauwing). Hier is de kost van het baggerwerk bepalend.

- De afschrijving van de investeringskost voor de nul-variante bedraagt **0,30 M.EUR per jaar**
- De jaarlijkse baggerkosten voor de nul-variante bedragen **4,37 M.EUR per jaar**
- Totale jaarlijkse kost voor de nul-variante: **4,67 M.EUR per jaar**

6.4.2 Variante: “roldeur-kering”

Voor uitvoering met gekoppelde elementen, gebouwd in het droge. Twee “treintjes” van elk vier elementen van 25m. Zie technische details in Hoofdstuk 4 en kostenbepaling in Hoofdstuk 5.

Tabelwaarden:

- Investeringskost van afgerond **69,5 M.EUR** (af te schrijven over 50 jaar, dus 1,39 M.EUR per jaar)
- Meerkost voor bouw en exploitatie per jaar: **1,46 M.EUR per jaar**.
- Besparing op jaarlijkse baggerkost: **1,26 M.EUR per jaar**
- Verschil met nul-variante: netto **meerkost van 0,20 M.EUR per jaar**

Conclusie: netto jaarlijkse kost iets hoger dan voor nul-variante. Dus geen significante netto-besparing te verwachten.

6.4.3 Variante: “segmentdeur-kering”

Voor lichte, niet-vlottende uitvoering, gebouwd in het droge. Eén element per oever.
Zie technische details in Hoofdstuk 4 en kostenbepaling in Hoofdstuk 5.

Tabelwaarden:

- Investeringskost van afgerond **120,2 M.EUR** (af te schrijven over 50 jaar, dus 2,40 M.EUR per jaar)
- Meerkost voor bouw en exploitatie per jaar: **2,59 M.EUR per jaar**
- Besparing op jaarlijkse baggerkost: **1,26 M.EUR per jaar**
- Verschil met nul-variante: netto **meerkost van 1,33 M.EUR per jaar**.

Conclusie: netto jaarlijkse kost beduidend hoger dan voor nul-variante, ten gevolge van de grote bouwkosten. Dus zeker geen netto-besparing te verwachten.

6.4.4 Variante: “klepdeur-kering”

Voor lichte, opvlootende uitvoering, gebouwd in het droge. Tien elementen van 30 m.
Zie technische details in Hoofdstuk 4 en kostenbepaling in Hoofdstuk 5.

Tabelwaarden:

- Investeringskost van afgerond **38,9 M.EUR** (af te schrijven over 50 jaar, dus 0,78 M.EUR per jaar)
- Meerkost voor bouw en exploitatie per jaar: **0,69 M.EUR per jaar**
- Besparing op jaarlijkse baggerkost: **0,95 M.EUR per jaar**
- Verschil met nul-variante: netto **besparing van 0,25 M.EUR per jaar**.

Conclusie: netto jaarlijkse iets kleiner dan voor nul-variante, door relatief lage bouw- en exploitatiekosten. Hier is mogelijk een (kleine) netto-besparing te verwachten.

6.4.5 Variante: “balg-kering”

Voor uitvoering volgens type Ramspol, maar ondergedompeld; gebouwd in het droge. Vier elementen van 75m. Zie technische details in Hoofdstuk 4 en kostenbepaling in Hoofdstuk 5.

Tabelwaarden:

- Investeringskost van afgerond **39,1 M.EUR** (af te schrijven over 50 jaar, dus 0,78 M.EUR per jaar)
- Meerkost voor bouw en exploitatie per jaar: **1,02 M.EUR per jaar**
- Besparing op jaarlijkse baggerkost: **0,95 M.EUR per jaar**
- Verschil met nul-variante: netto **meerkost van 0,08 M.EUR per jaar**.

Conclusie: netto jaarlijkse kost iets hoger dan voor nul-variante, met relatief lage bouwkosten, maar grotere energiekosten. Dus geen significante netto-besparing te verwachten.

6.4.6 Variante: “bellenscherm-kering”

Voor uitvoering met pijpen ingebouwd in drempel, gebouwd in het droge. Tien elementen van 30m. Optie met deeltijdse werking, om te besparen op energiekosten. Zie technische details in Hoofdstuk 4 en kostenbepaling in Hoofdstuk 5.

Tabelwaarden:

- Investeringskost van afgerond **29,4 M.EUR** (af te schrijven over 50 jaar, dus 0,59 M.EUR per jaar)
- Meerkost voor bouw en exploitatie per jaar: **2,73 M.EUR per jaar**
- Besparing op jaarlijkse baggerkost: **0,72 M.EUR per jaar**
- Verschil met nul-variante: netto **meerkost van 2,01 M.EUR per jaar**.

Conclusie: netto jaarlijkse kost veel hoger dan voor nul-variante. Er zijn wel relatief lage bouwkosten, maar de energiekosten van de beschouwde installatie zijn hier zeer hoog. Met deze parameters is er dus geen significante netto-besparing te verwachten.

6.5 OVERZICHT VAN DE VARIANTEN

6.5.1 Tabel

type slibkering	technische en operationele haalbaarheid	bouwkosten	exploitatiekosten incl. baggeren	totaalkost incl. afschrijving
nul-variante (geen kering)	OK	laag	= referentie	= referentie
roldeur in lichte uitvoering (2 * 4 * 25m)	OK	gemiddeld	besparing tov nul-variante	iets duurder dan nulvariante
segmentdeur+verticale as, niet opvlotbaar (2 deuren)	OK	hoog	besparing tov nul-variante	veel duurder wegens bouwkosten
opvlotbare kleppen (10 * 30m)	OK	eerder laag	besparing tov nul-variante	iets goedkoper dan nulvariante
balgstuw (4* 75m)	beperkte levensduur, moeilijk onderhoud, traag openen&sluiten	eerder laag	kleine besparing tov nul-variante	iets duurder dan nulvariante
bellenscherm (10 * 30m)	gebrek aan referenties, te optimaliseren	eerder laag	meerkost tov nul-variante	veel duurder wegens energiekosten

Tabel 6-1: overzichtstabel haalbaarheid voor diverse varianten

Nota: Alle beschouwde varianten in deze tabel zijn “gebouwd in het droge”. De kosten worden vergeleken met de nul-variante. De waarden voor het “bellenscherm” zijn volgens de huidige inschatting, en kunnen mogelijk nog geoptimaliseerd worden.

6.5.2 Bespreking

Uit de overzichtstabel blijkt dat volgende varianten minder interessant zijn:

- de segmentdeur met verticale as, wegens veel duurder in bouw dan de roldeur, terwijl de operationele kosten incl. baggerwerk vergelijkbaar zijn;
- de balgstuw, wegens grote vraagtekens bij omschaling van de referentie-toepassing in Ramspol naar het 2^e getijdedok, aangaande onder meer de levensduur;
- het bellenscherm, wegens de hoge exploitatiekosten volgens de huidige inschatting (energie), en het gebrek aan referenties.

Volgende varianten blijven dan nog over:

- nul-variante: zonder risico's in verband met bouw en exploitatie; baggerkost is haalbaar;
- roldeur-variante (in lichte bouwvorm): de mogelijke besparingen op de baggerkosten zijn van dezelfde orde van grootte als de afschrijving van de extra bouwkosten, gecombineerd met de beperkte overige exploitatie-kost;
- klepdeur-variante (met opvlottende elementen): de mogelijke besparingen op de baggerkosten zijn van dezelfde orde van grootte als de afschrijving van de extra bouwkosten, gecombineerd met de beperkte overige exploitatie-kost.

Zowel voor de roldeur- als voor de klepdeur-variante geldt dat er bij exploitatie een mogelijke hinder voor de zeescheepvaart kan ontstaan, ten gevolge van aanvaringen of defecten in de installatie. Indien de hinder van langere duur zou zijn, wordt de mogelijke winst in baggerkosten hierdoor vernietigd.

Voor de roldeur-variante (alsook de segmentdeur met verticale as) geldt dat er sprake is van een ruimtebeslag door de aanwezigheid van noodzakelijke deurkasten. Op de zuidzijde geeft deze mogelijk een beperking aan de invulling van de binnenvaartkade langs de rivier die in de referentie variante voorzien is.

Voor de roldeur-variante zijn er meer referenties dan voor de klepdeur-variante; daarentegen is de geraamde totaalcost voor de roldeur-variante hoger, wegens de grotere investering.

Voor de klepdeur-variante geldt dat de reductie in aanslibbing (de besparing) mogelijk onderschat werd. Voor een meer precieze bepaling van de besparing in een volgende fase wordt een gedetailleerd sedimenttransport model aanbevolen.

Haalbaarheid en efficiëntie voor andere varianten dan de gekozen basis variant

De nul-variante van het voorliggende onderzoek betreft reeds een voor aanslibbing geoptimaliseerde lay-out. Het is mogelijk dat voor minder geoptimaliseerde varianten van het getijdok een grotere besparing op het onderhoudsbaggerwerk kan worden bereikt, door de inzet van de in dit rapport besproken maatregelen.

Afhankelijk van de locatie en lokale stromingscondities zullen de beschreven maatregelen minder of meer effectief zijn. Elke maatregel grijpt anders in op de uitwisselingsprocessen en afhankelijk van de locatie zijn bepaalde uitwisselingsprocessen sterker aanwezig. Echter, in algemene zin wordt verwacht dat de conclusies van dit onderzoek ook toegepast kunnen worden op andere varianten of locaties in de haven. Uiteraard wordt nader onderzoek aanbevolen wanneer dergelijke maatregelen voor een ander getijdedok worden overwogen.

Voor de praktische inpassing van de maatregelen of uitvoering ervan dient onderzocht te worden of voldoende ruimte voor de constructie beschikbaar is (i.c. roldeur of segmentdeur) en of de hinder tijdens de uitvoering acceptabel is (alle maatregelen). Beide aspecten kunnen consequenties hebben voor de uitvoeringswijze van de maatregel en de daaraan gerelateerde aanlegkosten.

6.5.3 Conclusie

- Qua totale jaarlijkse kost is de variante “klepkering – gebouwd in het droge” de meest voordelige variante. Deze geeft een besparing ten opzichte van de nul-variante van 254.200 EUR per jaar (tabelwaarde, inclusief afschrijving over 50 jaar).

Nota: De uiteindelijke besparing die berekend werd voor de variante “klepkering droog” is een relatief klein getal, dat verkregen werd door het verschil te nemen van twee relatief grote getallen, dus met grote foutenmarge. Met kleine wijzigingen aan de uitgangspunten, kan het uiteindelijk resultaat negatief worden in plaats van positief.

Voorzichtigheid is geboden, wegens onder meer:

- Gebrek aan ervaringsgegevens voor slibkeringen. De referentie-keringen betreffen niet-ondergedompelde waterkeringen, en geen slibkeringen;
- De effectieve levensduur van ondergedompelde overvaarbare slibkeringen is een risico-punt. Dit geldt zeker voor de balg-kering, in mindere mate voor de klepkering en het bellenscherm;
- Het verband tussen de effectiviteit van het bellenscherm (slibkering) en het toegevoerde luchtdebiet is onvoldoende bekend. Indien het bellenscherm goed kan werken met (veel) kleinere luchtvolumes, dan kan deze variante mogelijk toch interessant worden;
- Onderhoudskosten (incl grote herstellingen ten gevolge van aanvaringen; slijtage ten gevolge van werking in slib-omgeving, enz) zijn moeilijk in te schatten voor de diverse varianten;
- Directe en indirecte kosten bij het falen van slibkeringen (zie risico-analyse in Hoofdstuk 4) zijn moeilijk in te schatten voor de diverse varianten;
- Besparingen aan baggerwerken zijn moeilijk in te schatten. De diverse slibkeringen vereisen ook nog baggerwerken, waaronder baggerwerken ter plaatse van de kering zelf.

6.6 EINDCONCLUSIE

- *De opstelling van een slibkering gelijktijdig met de bouw van het toegangskanaal naar het 2^e getijdedok heeft economisch gezien een laag rendement: de (hoge) investeringskost wordt onvoldoende terugbetaald door de eerder beperkte netto-besparingen op de baggerkosten. Hierbij komen nog onbekende directe en indirecte kosten bij mogelijk falen van de slibkering (onder meer door aanvaringen).*
- *Het is mogelijk dat voor minder geoptimaliseerde varianten van het getijdok dan de beschouwde nul-variante een grotere besparing op het onderhoudsbaggerwerk kan worden bereikt, door inzet van de in dit rapport besproken maatregelen.*
- *Het bellenscherm heeft de meest gunstigste investeringskost. Volgens de huidige inschatting voor het bellenscherm wegen de mogelijke besparingen op de baggerkosten echter niet op tegen de hoge energiekosten. Er dient nader onderzocht te worden (bijvoorbeeld door een praktijkproef) welke luchthoeveelheden moeten geleverd worden in functie van de getijdecyclus, om een significante reductie van de aanslibbing te bekomen.*
- *Een latere opstelling van een slibkering is technisch haalbaar voor de klepkering-variante en voor het bellenscherm. De bouwkosten worden dan beduidend hoger dan voor de gelijktijdige bouw, waardoor dit economisch minder verantwoord is.*

Opmerking: De besparing op de baggerkost is bepaald op basis van een vereenvoudigde modelleringsmethodiek die aansluit bij het gevraagde detail van de studie. De inzet van een gedetailleerd slibvoorspellingsmodel wordt geadviseerd om het effect van de verschillende type slibkeringen op het slibtransport en de aanslibbing in het dok in detail te onderzoeken.

7. REFERENTIES

Boeters R., van Pagee H., Bos P., Uittenbogaard R., Cornelisse J., Nolte A. & van der Veen M. (2011). Innovatieve zoet-zout scheiding in de Volkeraksluizen. *Rijkswaterstaat Zeeland, Civiele Techniek*(nummer 4).

Bretschneider C.L. (1964). Generation of waves by wind: state of the art. International Summer Course Lunteren, The Netherlands.

CIRIA (2009). A guide to cost standards for dredging equipment 2009. Publication C684.

Coastal Engineering Research Center (1984). Shore Protection Manual 4th dr. US Government Printing Office, Washington DC.

Cutroneo L., van der Goot F., Roels A. & Castellano M. (2014). A check on the efficiency of an air-bubble screen using acoustic measurements and an artificial tracer. *Journal of Soils and Sediments*.

IMDC (2013). Evaluation of the external effects on siltation in Deurganckdok (2009 - 2012). Report 1.8: Analysis of external effects on siltation processes and factors. I/RA/11354/10.105/MBO, in opdracht van Flemish Government, Department of Mobility and Public Works, Maritime Access Division.

IMDC (2016a). Evaluation of the external effects on siltation in Deurganckdok (2012 - 2014). Report 1.15: Analysis of the boundary conditions in survey years 7 and 8: April 2012 - March 2014. I/RA/11406/13.147/JCA, in opdracht van Flemish Government, Department of Mobility and Public Works, Maritime Access Division.

IMDC (2016b). Evaluation of the external effects on siltation in Deurganckdok (2012 - 2014). Report 1.16: Analysis of external effects on siltation processes and factors. IMDC, I/RA/11406/13.148/JCA, in opdracht van Flemish Government, Department of Mobility and Public Works, Maritime Access Division.

IMDC (2018a). Vaarwegbeheer 2016-2021 - Analyse impact ECA bouwstenen en varianten op vaarwegbeheer. Technisch rapport modellering. I/RA/11498/17.062/ABR.

IMDC (2018b). Vaarwegbeheer 2016-2021 - Analyse impact ECA bouwstenen en varianten op vaarwegbeheer. Interpretatierapport. I/RA/11498/17.085/DDP/.

IMDC (2018c). Extra Containercapaciteit Antwerpen - Aanvullend onderzoek Getijdedok Varianten. I/RA/11543/18.030/VBA/.

John E. Chapman, P.E. and W. Scott Douglas (s.d.). Evaluation of a berth sedimentation control technology in the Kill van Kull: the airguard pneumatic barrier system.

Kerstma, Kolkman, Regeling & Venis (1994). Water Quality Control at Ship Locks. A.A.Balkema;Rotterdam;Brookfield.

PIANC (2008). Minimising harbour siltation.

Royal Boskalis Westminster NV (s.d.). Capability Sheet, Environmental Mitigation Measure, Air Bubble Screen.

Smolders S., Maximova T., Vanlede J., Verwaest T. & Mostaert F. (2015). Integraal Plan Bovenzeeschede: Subreport 1 - 3D Hydrodynamisch model Zeeschede en Westerschede. Version 1.0. WL Rapporten, 13_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

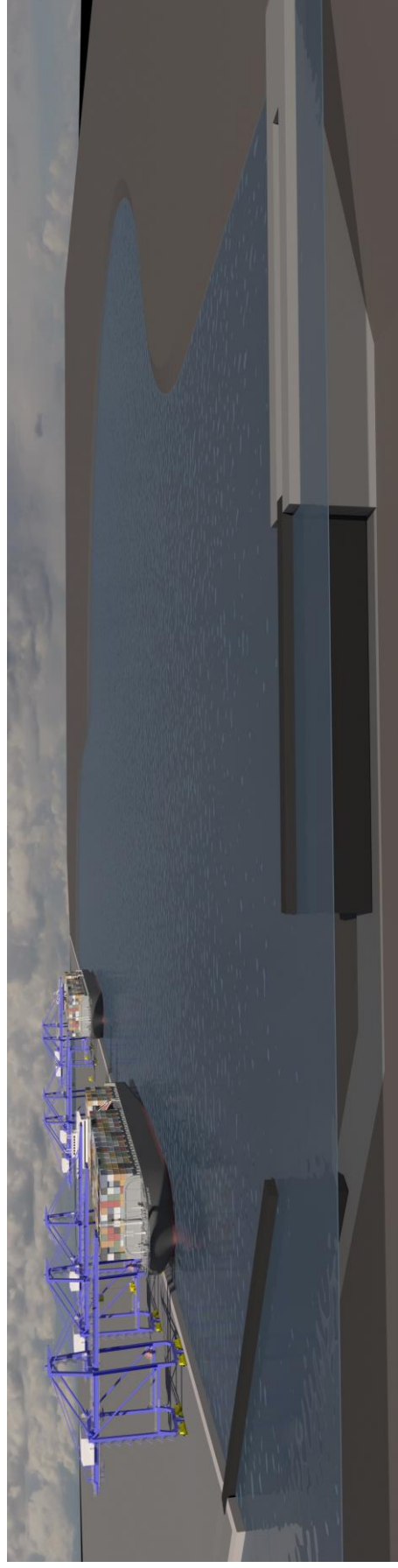
TBA (2018). Complex Project Extra Containercapaciteit Antwerpen - Capaciteitsanalyse en operationaliteitsonderzoek - V002.

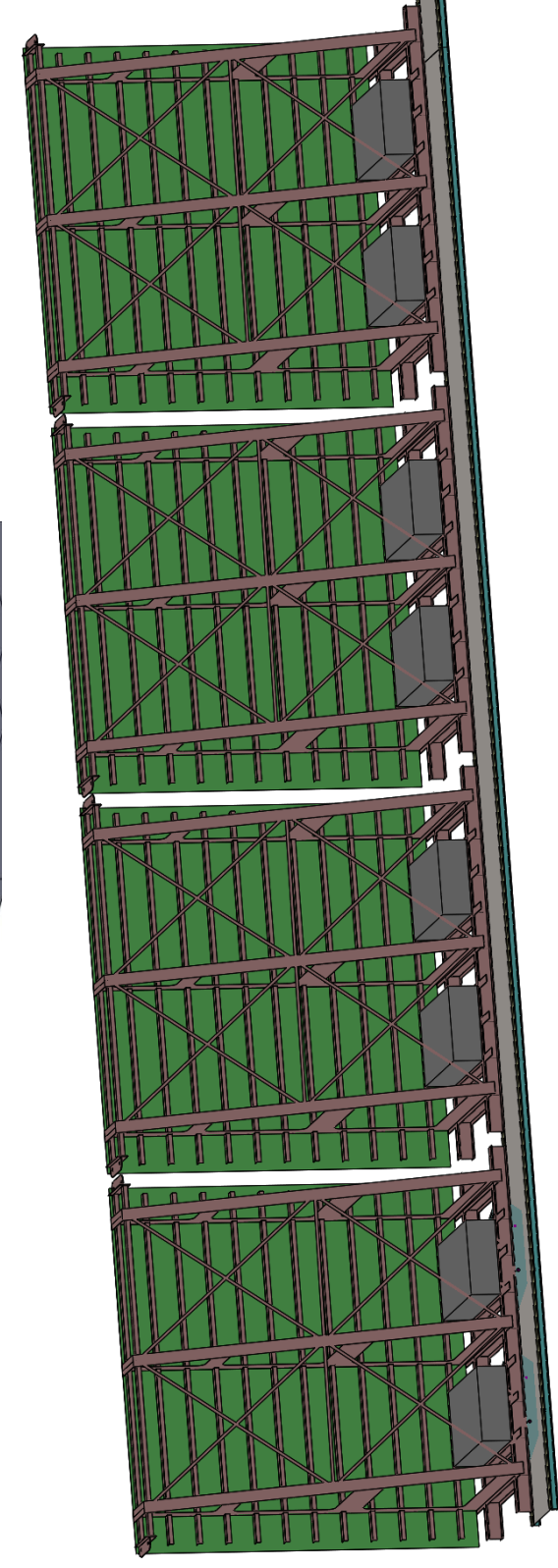
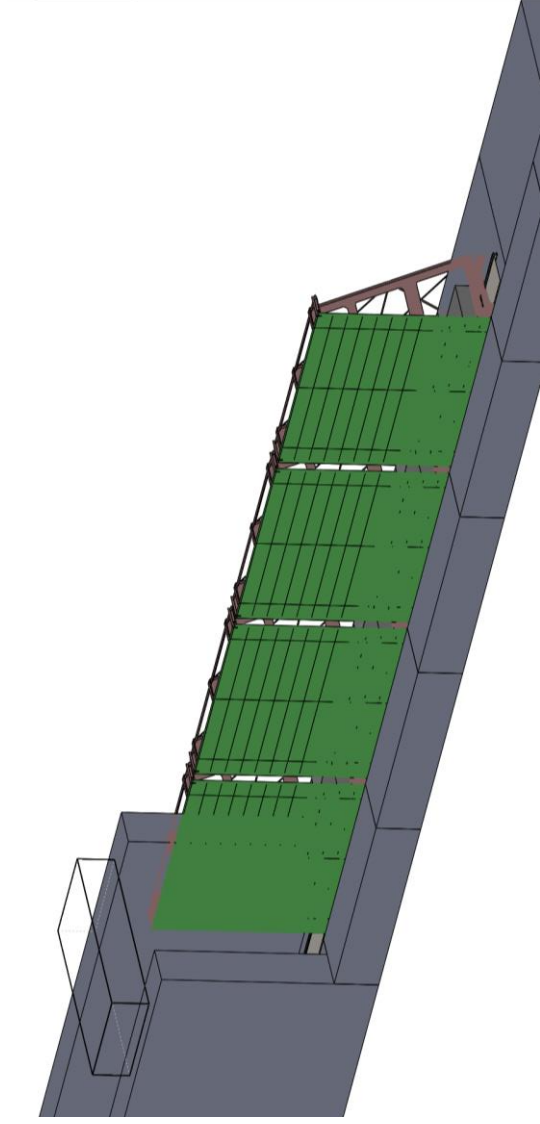
Vanlede J. & Dujardin A. (2014). A geometric method to study water and sediment exchange in tidal harbors. *Ocean Dyn.*, 64(11), 1631–1641.

Weber J.F. (2012). Stand van zaken maatregelen zoutindringing via de Nieuwe Waterweg.

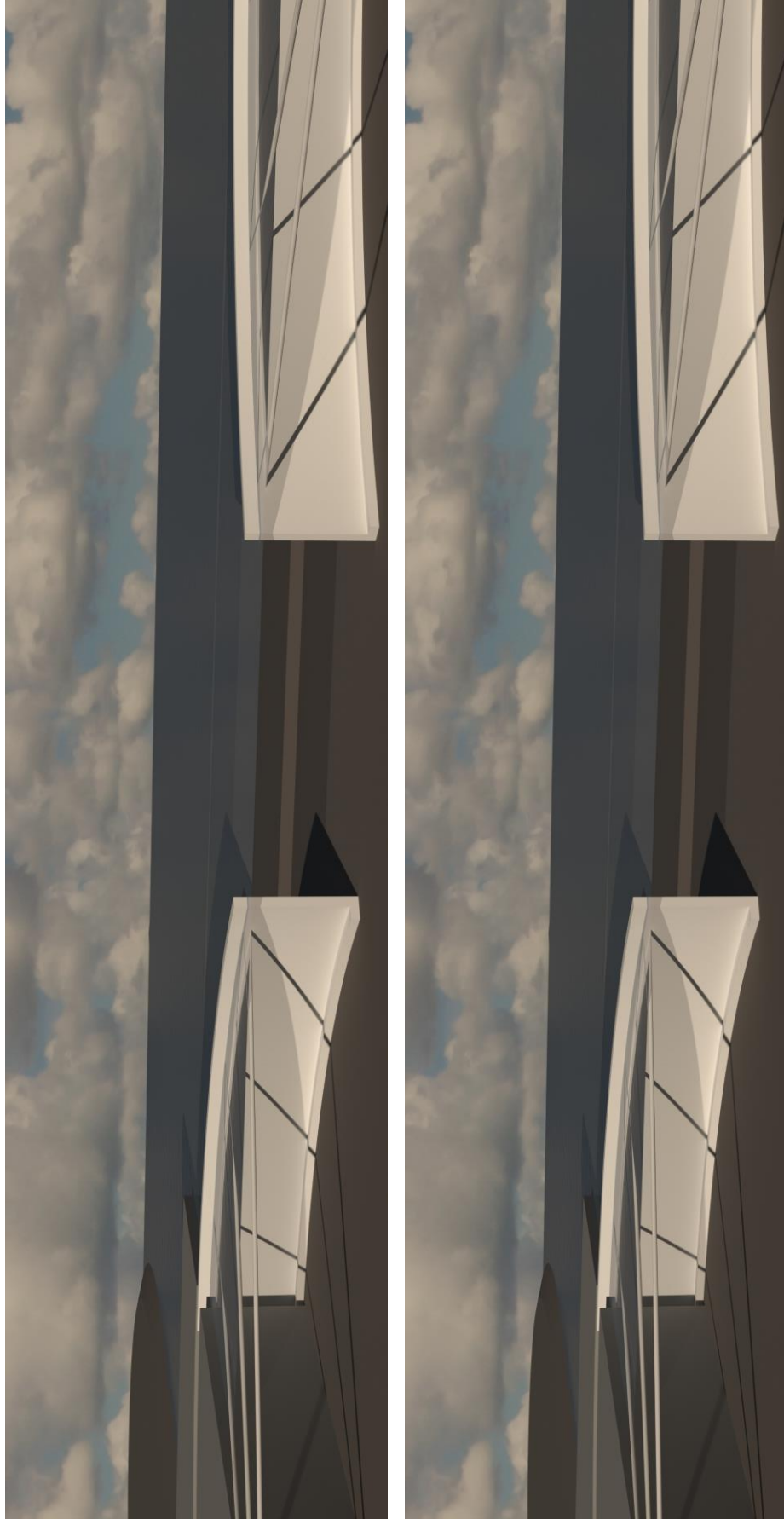
Bijlage A Driedimensionale voorstellingen

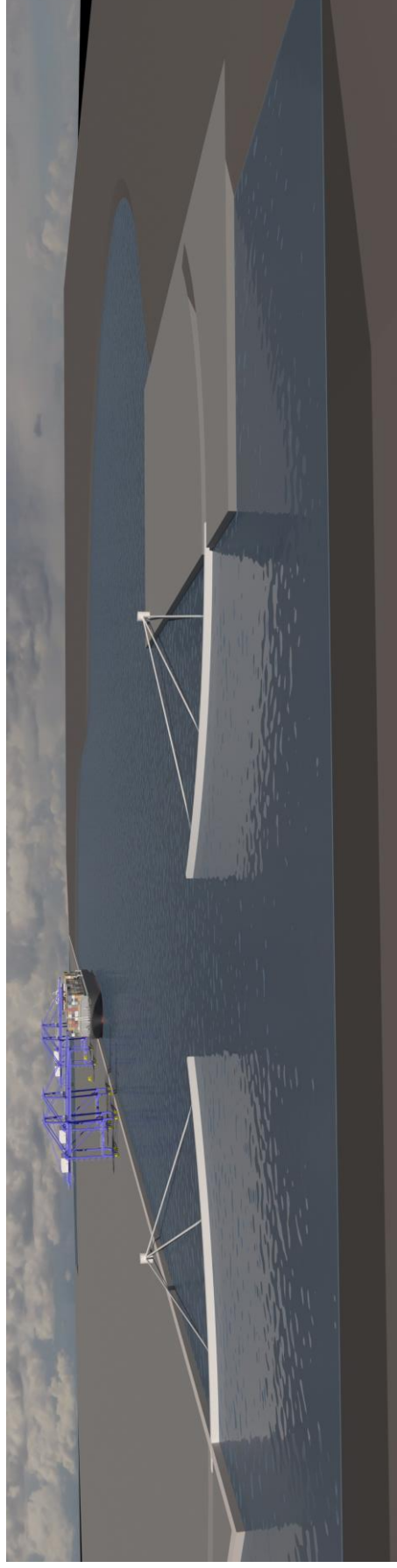
A.1 Roldeur-kering



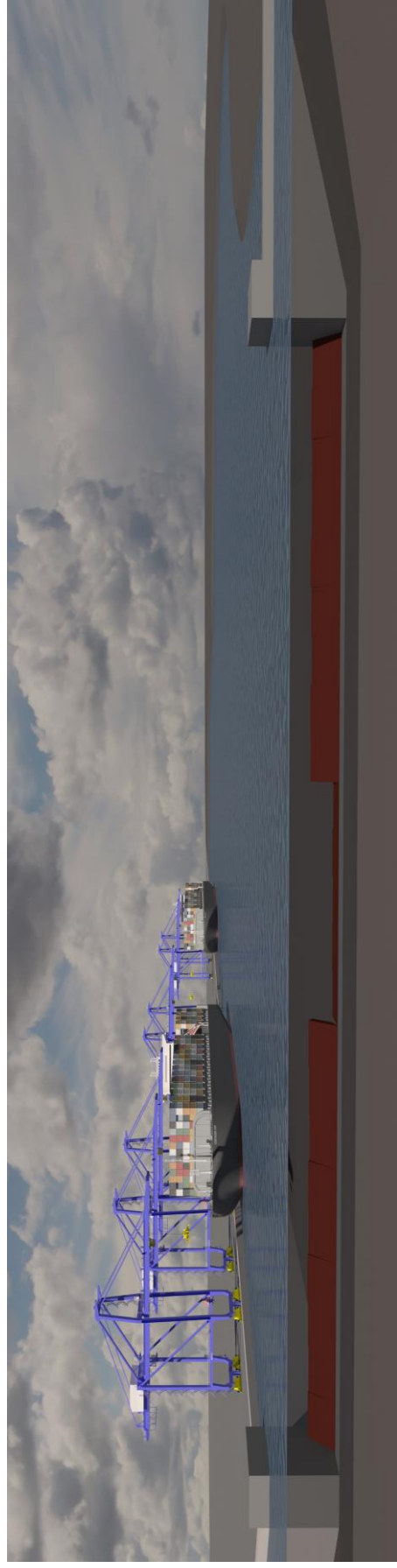
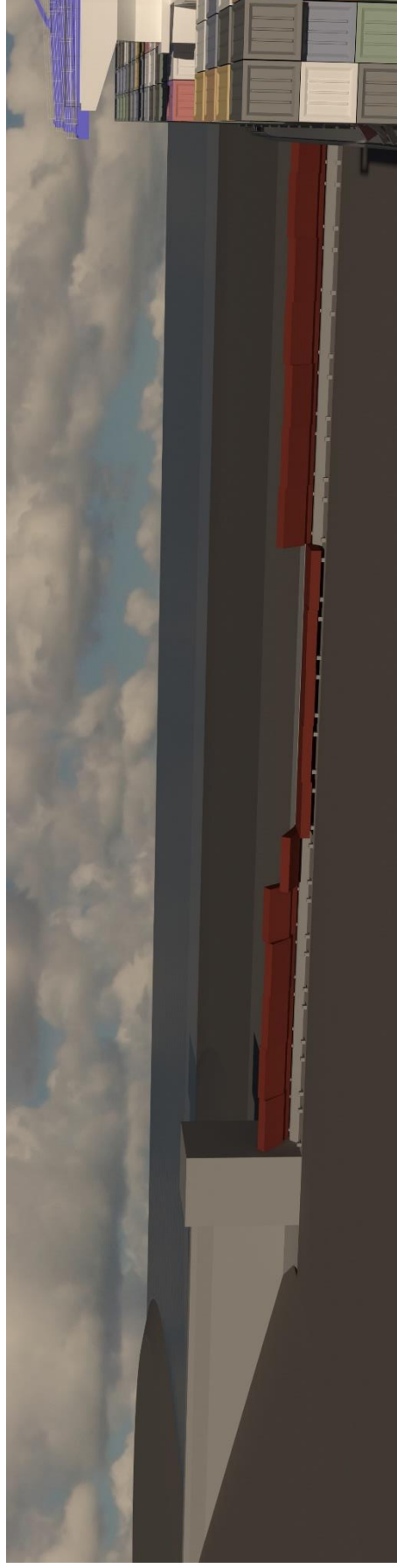


A.2 Segmentdeur-kering

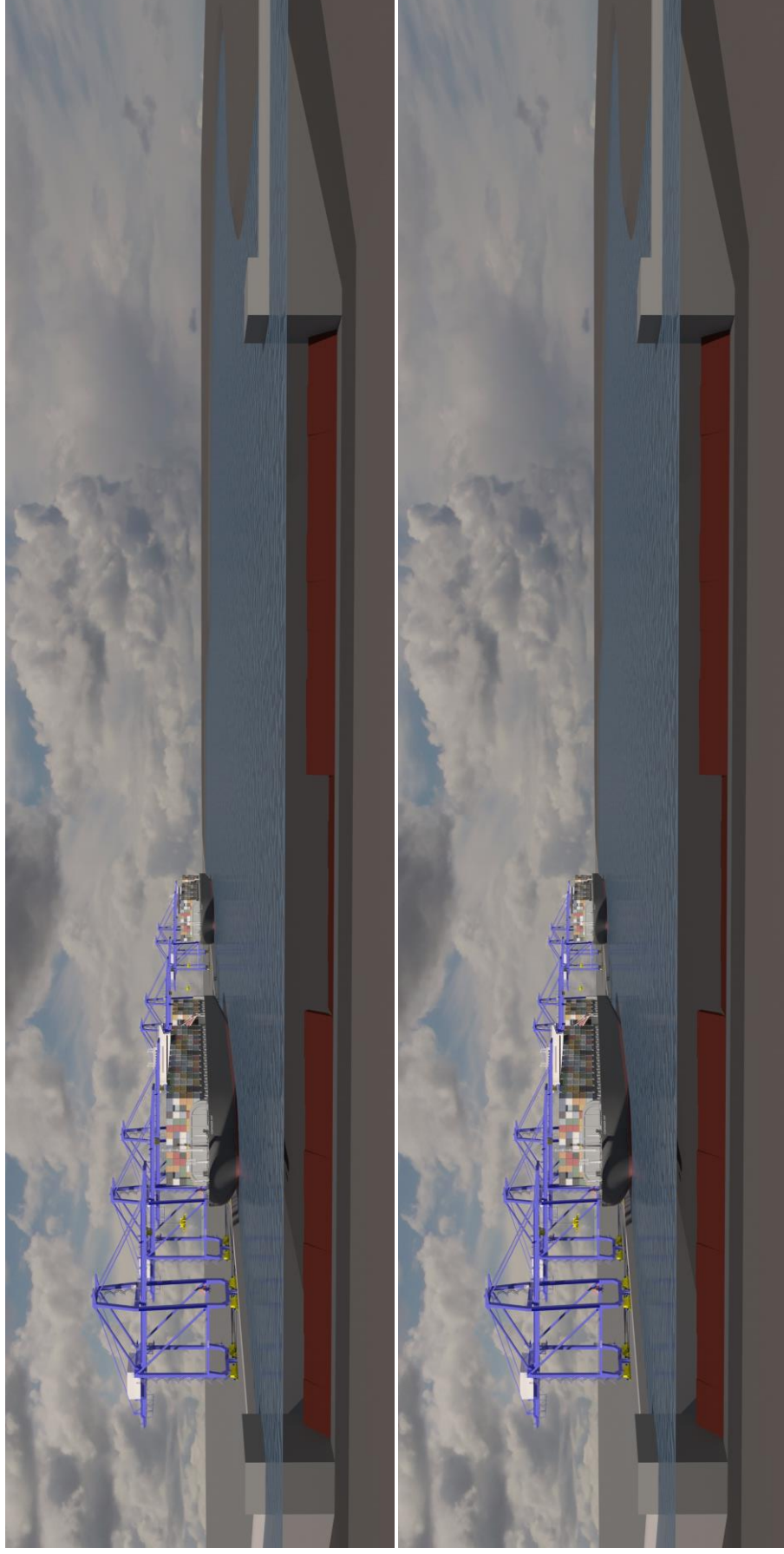




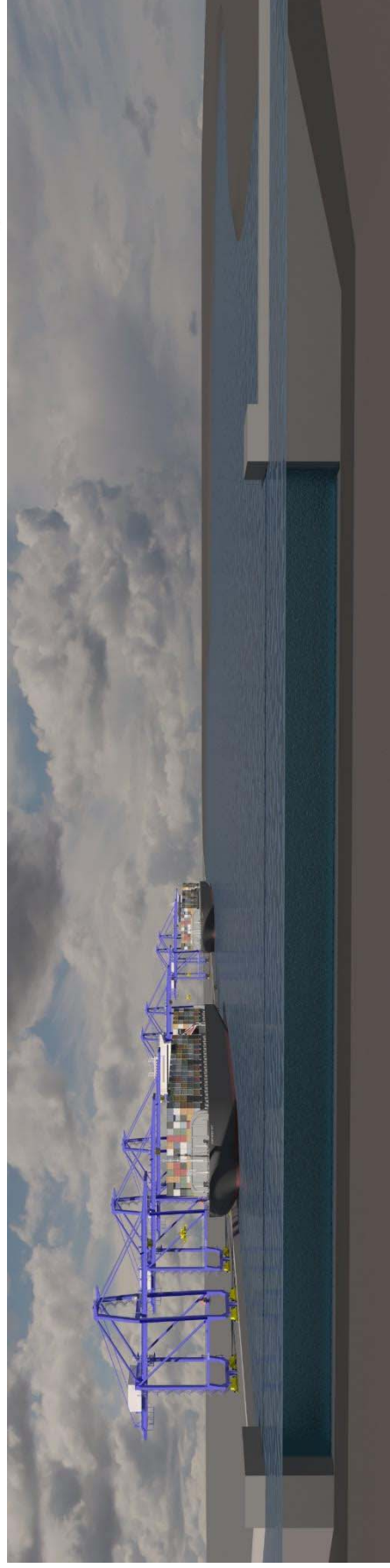
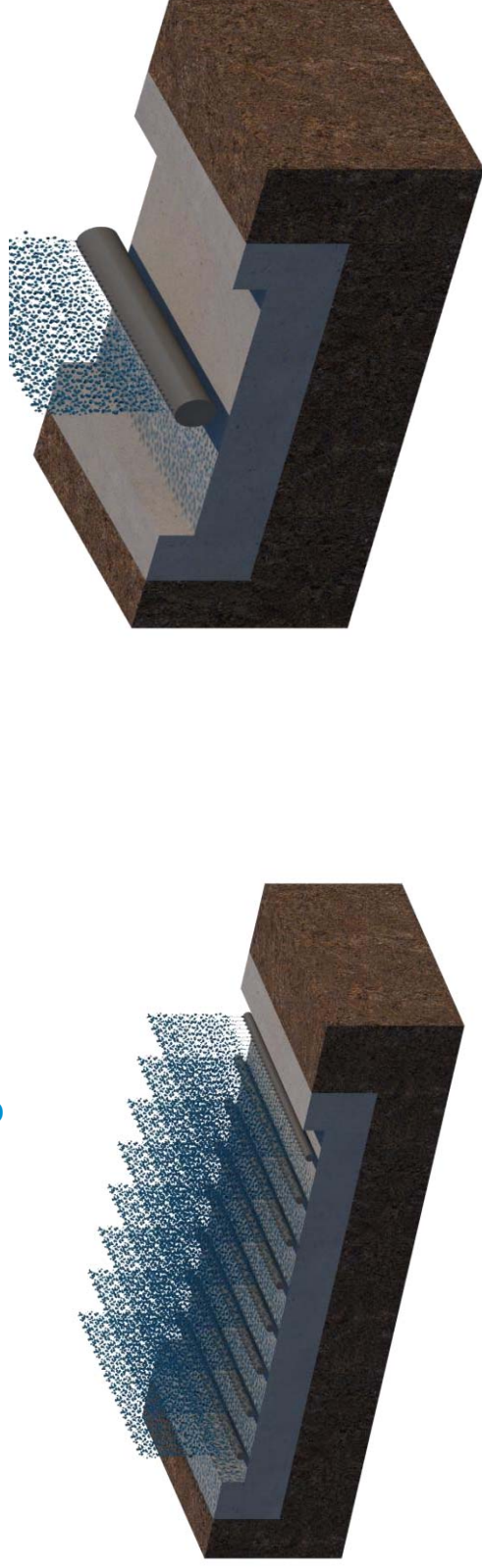
A.3 Klepdeur-kering



A.4 Balg-kering



A.5 Bellenscherm-kering



Bijlage B Overzichtstabel kosten

item	omschrijving	eenheid	nulvariante	roldeur droog	segmentdeur droog	klepkering droog	klepkering nat	balgkering droog	balgkering nat	bellenkering droog - permanent	bellenkering droog - deeltds	bellenkering nat - permanent	bellenkering nat - deeltds
1.1.1	kost uitgravingen drempel	EUR	0	675.768	3.150.000	1.114.956	4.170.675	1.143.900	3.697.644	978.300	978.300	3.389.700	3.389.700
1.1.2	kost beton drempel	EUR	0	700.000	1.680.000	3.998.700	0	2.311.920	0	1.542.000	1.542.000	0	0
1.1.3	kost damplanken drempel	EUR	0	0	0	1.152.000	0	0	0	0	0	0	0
1.1.4	kost constructie en installatie drempel	EUR	0	0	0	0	15.000.000	0	12.750.000	0	0	10.500.000	10.500.000
1.1.5	kost uitgravingen landhoofden	EUR	/	1.046.250	/	/	/	/	/	/	/	/	/
1.1.6	kost landhoofd resp. deurkamer Zuid	EUR	1.200.000	17.202.500	30.981.250	1.200.000	1.950.000	1.200.000	1.950.000	1.200.000	1.200.000	1.950.000	1.950.000
1.1.7	kost landhoofd resp. deurkamer Noord	EUR	11.250.000	17.202.500	30.981.250	11.250.000	12.937.500	10.602.000	12.937.500	10.890.000	10.890.000	12.937.500	12.937.500
1.1.8	kost mobilisatie CSD Small	EUR	/	/	/	/	3.500.000	/	3.500.000	/	/	3.500.000	3.500.000
1.1	totaal bouwkosten onderbouw	EUR	12.450.000	36.827.018	66.792.500	18.715.656	37.558.175	15.257.820	34.835.144	14.610.300	14.610.300	32.277.200	32.277.200
1.2.1	kost kerende elementen - structuur	EUR	0	6.992.000	10.488.000	3.990.000	3.990.000	/	/	/	/	/	/
1.2.2	kost kerende elementen - conservering	EUR	0	2.189.600	3.284.400	1.249.500	1.249.500	/	/	/	/	/	/
1.2	totaal bouwkosten staalstructuur	EUR	0	9.181.600	13.772.400	5.239.500	5.239.500	0	0	0	0	0	0
1.3.1	kost aandrijving deuren	EUR	0	2.100.000	2.520.000	/	/	/	/	/	/	/	/
1.3.2	kost rolwagens en railsysteem	EUR	0	1.800.000	2.160.000	/	/	/	/	/	/	/	/
1.3.3	kost scharnierpunten stuwkleppen	EUR	0	/	/	1.400.000	1.400.000	/	/	/	/	/	/
1.3.4	kost balgen met staunollen en sas, eerste installatie	EUR	0	/	/	/	/	2.540.000	2.540.000	/	/	/	/
1.3.5	kost balgen, vervanging na 25 jaar	EUR	0	/	/	/	/	1.400.000	1.400.000	/	/	/	/
1.3	totaal bouwkosten toebehoren	EUR	0	3.900.000	4.680.000	1.400.000	1.400.000	3.940.000	3.940.000	0	0	0	0
1.4.1	kost pompen	EUR	0	132.000	132.000	0	0	1.080.000	1.080.000	0	0	0	0
1.4.2	kost compressoren	EUR	0	248.000	248.000	480.000	480.000	1.980.000	1.980.000	2.050.000	2.050.000	2.050.000	2.050.000
1.4.3	kost uitrusting	EUR	0	200.000	200.000	100.000	100.000	400.000	400.000	140.000	140.000	140.000	140.000
1.4.4	kost piping	EUR	0	1.300.000	1.300.000	1.400.000	1.400.000	3.200.000	3.200.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000
1.4	totaal bouwkosten pompen, compressoren, pij	EUR	0	1.880.000	1.880.000	1.980.000	1.980.000	6.660.000	6.660.000	5.190.000	5.190.000	5.190.000	5.190.000
1.5.1	kost instrumentatie kerend element	EUR	0	140.000	140.000	200.000	200.000	200.000	200.000	45.000	45.000	45.000	45.000
1.5.2	kost technische gebouwen beide oevers	EUR	0	300.000	300.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000
1.5.3	kost elektrische installatie	EUR	/	1.244.000	1.400.000	796.000	796.000	1.960.000	1.960.000	1.127.000	1.127.000	1.127.000	1.127.000
1.5.4	kost uitrusting tunnel in kering	EUR	/	/	/	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
1.5	totaal bouwkosten instrumentatie	EUR	0	1.684.000	1.840.000	1.546.000	1.546.000	2.710.000	2.710.000	1.722.000	1.722.000	1.722.000	1.722.000
1.6.1	engineering staal en EM	EUR	0	3.329.120	4.434.480	2.033.100	2.033.100	2.662.000	2.662.000	1.382.400	1.382.400	1.382.400	1.382.400
1.6.2	algemene kosten en onvoorziene: onderbouw	EUR	2.490.000	7.365.404	13.358.500	3.743.131	7.511.635	3.051.564	6.967.029	2.922.060	2.922.060	6.455.440	6.455.440
1.6.3	kost afsluitcaisson deurkamer resp. onderhoudscaiss	EUR	0	1.000.000	1.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000
1.6.4	algemene kosten en onvoorziene: staal en EM	EUR	0	3.329.120	4.434.480	2.033.100	2.033.100	2.662.000	2.662.000	1.382.400	1.382.400	1.382.400	1.382.400
1.6	totaal algemene kosten	EUR	2.490.000	15.023.644	23.227.460	9.809.331	13.577.835	10.375.564	14.291.029	7.686.860	7.686.860	11.220.240	11.220.240
1.7	kosten voor ruimtebeslag aan beide oevers	EUR	180.000	1.040.000	8.000.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
1	totale bouwkosten	EUR	15.120.000	69.536.262	120.192.360	38.870.487	61.481.510	39.123.384	62.616.173	29.389.160	29.389.160	50.589.440	50.589.440
2.1	afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	300.000	1.390.000	2.400.000	780.000	1.230.000	780.000	1.250.000	590.000	590.000	1.010.000	1.010.000
2.2	onderhoudskost per jaar	EUR/jaar	0	330.000	440.000	200.000	200.000	270.000	270.000	140.000	140.000	140.000	140.000
2.3	energiekost per jaar	EUR/jaar	0	36.000	54.000	10.800	10.800	270.000	270.000	3.456.000	2.304.000	3.456.000	2.304.000
2.4	baggerkost per jaar	EUR/jaar	4.365.000	3.105.000	3.105.000	3.420.000	3.420.000	3.420.000	3.420.000	3.645.000	3.645.000	3.645.000	3.645.000
2	totale kost per jaar	EUR/jaar	4.665.000	4.861.000	5.999.000	4.410.800	4.860.800	4.740.000	5.210.000	7.606.000	6.679.000	8.026.000	7.099.000
3.1	besparing op exploitatie excl. afschrijving	EUR/jaar	0	894.000	766.000	734.200	734.200	405.000	405.000	-2.651.000	-1.724.000	-2.651.000	-1.724.000
3.2	meer-afschrijving bouwkosten per jaar (op 50 jaar)	EUR/jaar	0	-1.090.000	-2.100.000	-480.000	-930.000	-480.000	-950.000	-290.000	-710.000	-290.000	-710.000
3	globale besparing tov nulvariante	EUR/jaar	0	-196.000	-1.334.000	254.200	-195.800	-75.000	-545.000	-2.941.000	-2.014.000	-3.361.000	-2.434.000
4	besparing excl. afschrijving tov netto-investering	% per jaar	/	1,6%	0,7%	3,1%	1,6%	1,7%	0,9%	-18,6%	-12,1%	-7,5%	-4,9%
5	teugbetalingstermijn investering	jaar	/	61	137	32	63	59	117	-5	-8	-13	-21