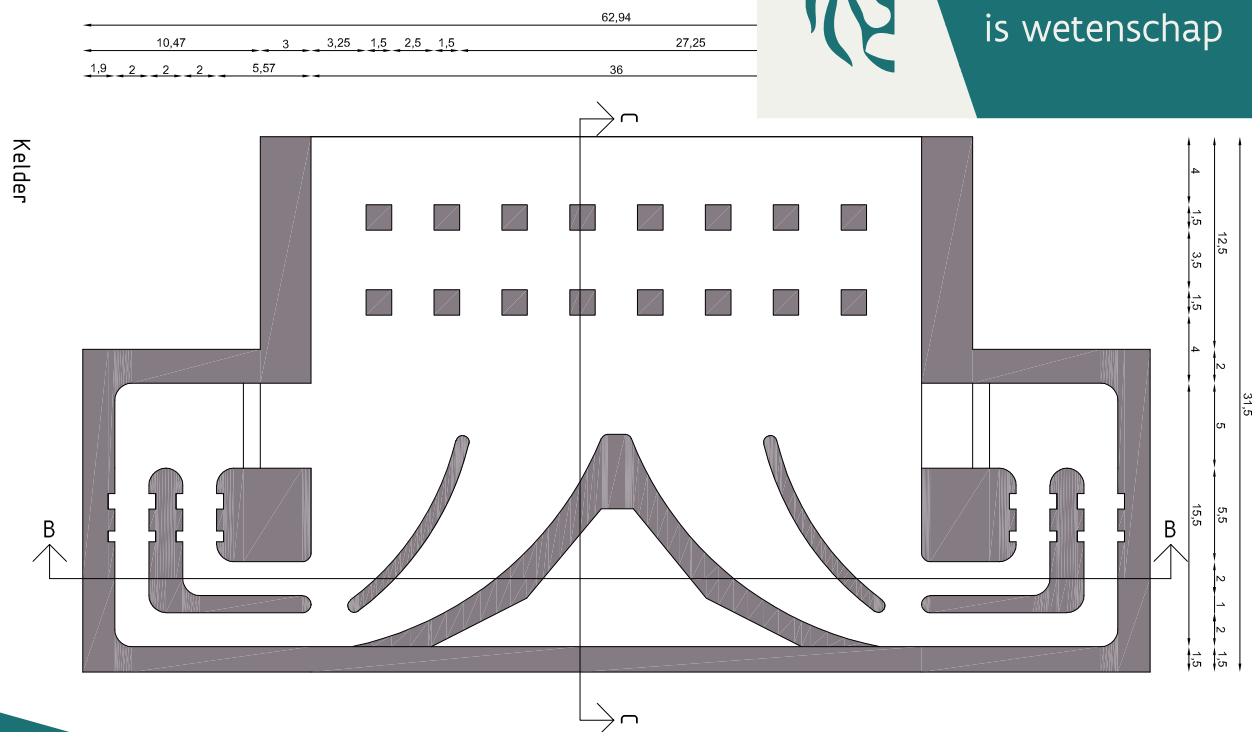




Vlaanderen
is wetenschap



18_056_1
WL rapporten

Haven Antwerpen Renovatie Royerssluis

Haalbaarheidsstudie nivelleersysteem met
woelkelder in het bovenhoofd

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Haven Antwerpen – Renovatie Royerssluis

Haalbaarheidsstudie nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/035

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2019). Haven Antwerpen – Renovatie Royerssluis: Haalbaarheidsstudie nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd. Versie 3.0. WL Rapporten, 18_056_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2019R18_056_1
Keywords (3-5):	lock, filling system, short culverts		
Tekst (p.):	29	Bijlagen (p.):	7
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Vercruysse, J.
-----------	----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	Getekend door: Kristof Verelst (Signature) Getekend op: 2019-03-21 10:48:22 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Kristof Verelst</i>
Projectleider:	Vercruysse, J.	Getekend door: Jeroen Vercruysse (Signature) Getekend op: 2019-03-21 13:43:25 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Vercruysse</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-03-22 08:00:38 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	--



Abstract

De Royerssluis is een van de 7 sluizen die de Schelde verbindt met het havengebied van de haven van Antwerpen. De Royerssluis is gelegen op de rechteroever van de Schelde. De bestaande Royerssluis heeft een breedte van 22 m en een lengte van 180 m. Een grondige aanpassing van de bestaande Royerssluis met een (symmetrische) verbreding en verlenging (naar Schelde toe) wordt vooropgesteld.

Voor het vullen en ledigen van de vernieuwde Royerssluis heeft WL reeds een hydraulisch ontwerp uitgevoerd voor een nivelleersysteem met openingen in de deur en een nivelleersysteem met korte omloopriolen. Bij het verder uitwerken van het constructief ontwerp werd de vraag gesteld of een vulsysteem met woelkelder economisch voordeliger is. In het kader hiervan vraagt Afdeling Maritieme Toegang aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) om een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar een nivelleersysteem met een woelkelder in het bovenhoofd van de vernieuwde Royerssluis.

Hiervoor werd een beknopte analyse uitgevoerd van de bij WL gekende sluizen met nivelleersysteem met woelkelder in Vlaanderen, Wallonië en Nederland. Uit deze analyse volgde dat de sluis te Zemst op het Zeekanaal Brussel-Schelde, de duwvaartsluis te Wijnegem op het Albertkanaal, het ontwerp van de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville op de Maas en de sluizen te Maasbracht en Born op het Julianakanaal relevant zijn voor het ontwerp van de vernieuwde Royerssluis. Uit de analyse van de plannen, de ervaringen in situ en de ontwerprapporten volgt dat het belangrijk is om een goede spreiding van de stroming in de breedte te voorzien. Om de stroming te spreiden over de kolkbreedte worden verschillende hydraulische ingrepen toegepast zoals een divergerende bocht met geleidingsschoepen, dissipatiekolommen of een driehoekige splitter in combinatie met een halvering van de woelkelderhoogte. Voor uitstroming in de kolk worden vervolgens ook nog rechte schotten, schuin opstaande schoepen, dissipatiepalen en/of een geleidelijke toename van de woelkelderhoogte toegepast.

Uit de analyse volgt dat een nivelleersysteem met woelkelder geschikt is voor vullingen via het bovenhoofd tot een verval ca. 12.0 m. De bijhorende nivelleertijden liggen tussen 6 min en 12 min.

Op basis van de specifieke karakteristieke randvoorwaarden voor de vernieuwde Royerssluis beveelt WL aan om te kiezen voor symmetrische inlaatopeningen, om de stroming in de woelkelder te spreiden door middel van een divergerende bocht met tussenschoep of een driehoekige splitter in combinatie met een halvering van de hoogte van de woelkelder en om dissipatiepalen te gebruiken.

Op basis hiervan werd door Witteveen & Bos nv een eerste voorontwerp uitgewerkt. Uit een verdere constructieve analyse door de Afdeling Maritieme Toegang volgde echter dat de keuze voor een nivelleersysteem met woelkelder een beperkt financieel voordeel heeft in vergelijking met een nivelleersysteem met korte omloopriolen. Gelet op de beperkte beschikbare tijd voor het hydraulisch en constructief ontwerp werd om die reden door de Afdeling Maritieme Toegang besloten om een nivelleersysteem met woelkelder niet te weerhouden.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Voortraject.....	2
3 Analyse sluizen met nivelleersysteem met woelkelder	4
3.1 Sluis Zemst.....	5
3.2 Wijnegem.....	7
3.3 Vulsystemen met hefdeur	11
3.4 Sluis Ampsin-Neuville	13
3.5 Sluis Maasbracht en Born	16
3.6 Conclusies	20
4 Toepasbaarheid voor vernieuwde Royerssluis.....	21
5 Voorontwerp Witteveen & Bos	24
6 Conclusies	26
7 Referenties	27
Bijlage: Voorontwerp Witteveen & Bos vulsysteem met woelkelder voor vernieuwde Royerssluis.....	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – sluizen met hefdeur	11
Tabel 2 – Karakteristieke afmetingen voor ontwerp woelkelder voor de vernieuwde Royerssluis	21
Tabel 3 – Vergelijking karakteristieke sluizen met woelkelder	22

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Locatie Royerssluis in het Antwerps havengebied	1
Figuur 2 – Principeschets nivelleersysteem Antwerpse Zeesluizen (Boudewijns sluis (1959) t.e.m. Kieldrecht sluis (2016)) omloopriolen (blauw), hefschuiven (rood), roldeuren (grijs).....	3
Figuur 3 – Sluis Zemst – plan bovenhoofd.....	5
Figuur 4 – 16 m sluis-Wijnegem – Bovenhoofd met woelkelder	8
Figuur 5 – Duwvaartsluis Wijnegem – geometrie bovenhoofd.....	9
Figuur 6 – Geometrie schaalmodelproeven	10
Figuur 7 – Oude sluis Harelbeke, en sluis Sint-Baafs-Vijve – geometrie bovenhoofd.....	12
Figuur 8 – Doorsnede nivelleersysteem sluis Dendermonde.....	12
Figuur 9 – Doorsnede bovenhoofd hydraulisch ontwerp Merelbeke	13
Figuur 10 – Nieuwe sluis Ampsin-Neuville – op schaalmodel bestudeerde configuraties kolkbreedte 12.5 m	14
Figuur 11 - Nieuwe sluis Ampsin-Neuville – nivelleersysteem voor kolkbreedte 25.0 m	15
Figuur 12 – Nieuwe sluis Ampsin-Neuville – op schaalmodel bestudeerde configuraties voor de kolkbreedte 25.0 m.....	15
Figuur 13 – Sluis Maasbracht.....	17
Figuur 14 – Sluis Born	18
Figuur 15 – Voorontwerp nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd voor vernieuwde Royerssluis	24

1 Inleiding

De Royerssluis is een van de 7⁽¹⁾ sluizen die de Schelde verbindt met het havengebied van de haven van Antwerpen, zie Figuur 1. De Royerssluis is gelegen op de rechteroever van de Schelde. De bestaande Royerssluis heeft een breedte van 22 m en een lengte van 180 m. Een grondige aanpassing van de bestaande Royerssluis met een (symmetrische) verbreding en verlenging (naar Schelde toe) wordt vooropgesteld.

Figuur 1 – Locatie Royerssluis in het Antwerps havengebied



Afdeling Maritieme Toegang (aMT, contactpersonen: W. De Cock en S. Nullens) heeft aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) gevraagd om een voorstudie uit te voeren naar de haalbaarheid van een nivelleersysteem met een woelkelder in het bovenhoofd voor de vernieuwde Royerssluis. Een dergelijk nivelleersysteem is mogelijks financieel voordeliger in vergelijking met het oorspronkelijk ontwerp met korte omloopriolen.

Onderhavig rapport is als volgt opgebouwd:

Voor de vernieuwde Royerssluis heeft WL reeds enkele studies uitgevoerd, deze worden overlopen in hoofdstuk 2. Om na te gaan of een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd toepasbaar is voor de vernieuwde Royerssluis werd informatie verzameld over sluizen met een nivelleersysteem met woelkelder in Vlaanderen, Wallonië en Nederland. De resultaten hiervan worden samengevat in hoofdstuk 3. Op basis hiervan wordt in hoofdstuk 4 een oordeel gevormd over de toepasbaarheid van een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd voor de vernieuwde Royerssluis. Door het studiebureau Witteveen & Bos werd voor de vernieuwde Royerssluis een voorontwerp van een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd uitgewerkt, dit wordt besproken in hoofdstuk 5. De conclusies worden samengevat in hoofdstuk 6.

¹ De 7 sluizen in volgorde van constructie zijn de Kattendijksluis, de Royerssluis, de Van Cauwelaertsluis, de Boudewijnsdijk, de Zandvlietdijk, de Kallosluis, de Berendrechtsluis en de Kieldrechtsluis.

2 Voortraject

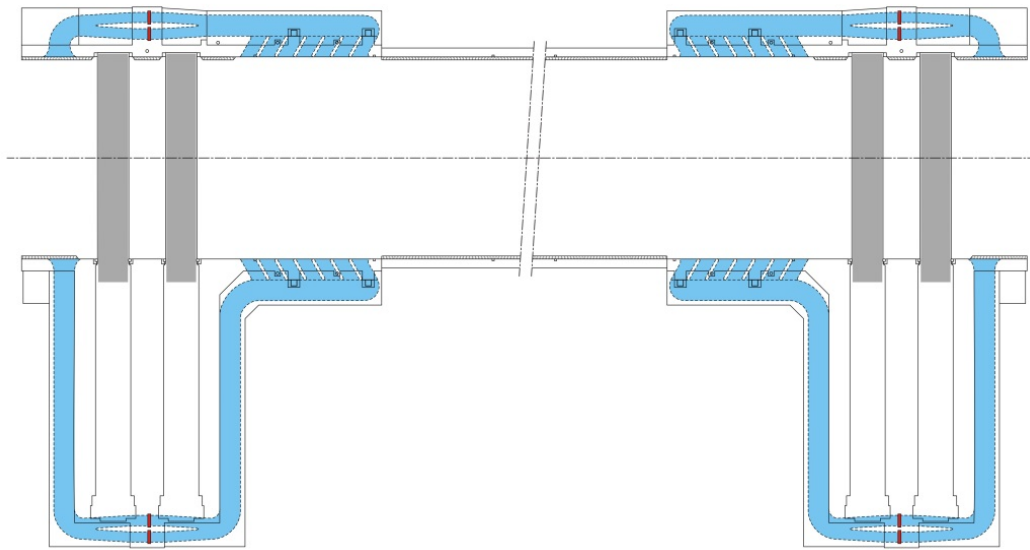
Met betrekking tot de vernieuwing van de Royerssluis werd door WL reeds een nautische simulatiestudie uitgevoerd om het ontwerp van de voorhaven te onderzoeken (Verwilligen *et al.*, 2012). Hierbij werden voornamelijk de gewenste geleidingswerken en staketsels beoordeeld om een veilige toegang van de vernieuwde sluis te garanderen.

Voor het nivelleersysteem heeft WL|Delft Hydraulics (nu: Deltares) in 2002 een eerste ontwerp opgemaakt (Schwanenberg & Jongeling, 2003). In de in 2002 uitgevoerde studie bleven de afmetingen van de huidige sluis behouden en was het de bedoeling dat het nivelleersysteem ingebouwd werd in de roldeuren van de bestaande sluis. Door middel van simulaties met het programma LOCKFILL (ontwikkeld door Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat) werden een aantal varianten met hefschuiven en een aantal varianten met vlinderkleppen onderzocht.

In 2012-2013 werd door WL een ontwerp opgemaakt voor een nivelleersysteem met openingen in de deur (Verelst *et al.*, 2013). De simulaties werden uitgevoerd voor een kolk met breedte 36.0 m en lengte tussen de buitenste roldeuren van 250 m. Het bodempeil van de huidige kolk, op -6.41 m TAW, werd niet gewijzigd. De hydraulische simulaties werden uitgevoerd met het WL programma VUL_SLUIS. Uit deze hydraulische simulaties werd besloten dat bij een Scheldepeil -1.0 m TAW en een dokpeil 4.17 m TAW met het maatgevend schip in de kolk een nivelleertijd lager dan 15 min bekomen wordt met een nivelleersysteem bestaande uit 13 cirkelvormige openingen met diameter 1.80 m afgesloten met vlinderkleppen (totale doorstroomsectie: 33.08 m²) of met een nivelleersysteem waarbij over de volledige breedte van de sluisdeur wordt genivelleerd (analoog aan de Kaisersluis in Hamburg). Tijdens het verder uitwerken van het technisch ontwerp van een nivelleersysteem met openingen in de roldeur werd door aMT besloten dat een dergelijk groot aantal openingen met grote doorsnede zowel de prijs als het onderhoud van het nivelleersysteem duur maakt. Om deze reden is een nivelleersysteem met openingen in de roldeur niet weerhouden voor de vernieuwde Royerssluis. Daarnaast werd een nivelleersysteem waarbij over de volledige breedte van de sluisdeur wordt genivelleerd ook niet meer verder beschouwd.

Omwille van bovenstaande redenen heeft aMT eind 2013 aan WL gevraagd om een nivelleersysteem te ontwerpen op basis van korte omloopriolen. Een illustratie van een dergelijk nivelleersysteem wordt gegeven in Figuur 2.

Figuur 2 – Principeschets nivelleersysteem Antwerpse Zeesluizen (Boudewijnsluis (1959) t.e.m. Kieldrechtsluis (2016)) omloopriolen (blauw), hefschuiven (rood), roldeuren (grijs)



Voor dit nivelleersysteem werd door WL een hydraulisch ontwerp uitgevoerd (Vercruysse *et al.*, 2016, 2017a). De kolk had hierbij een lengte van 250 m, een breedte van 36.0 m en het bodempeil bedroeg –6.41 m TAW. Op basis van een vergelijking met de bestaande sluizen met korte omloopriolen in de haven van Antwerpen werd een rioolsectie 4 m x 4 m bekomen voor de korte en lange omloopriool. Ook de uitstroomconstructie werd gebaseerd op de bestaande sluizen in de haven van Antwerpen. De stroming, verliezen en debietverdeling uit de uitstroomconstructie werden, door het studie bureau Actiflow, gesimuleerd door middel van Computational Fluid Dynamics (CFD) (Actiflow, 2014, 2015). Voor het simuleren van de nivelleertijd, nivelleerkromme, variatie van het kolkpeil in de tijd, langskrachten op het schip en de openingswet werden simulaties met LOCKSIM uitgevoerd (een 1D hydraulisch netwerkmodel). Op basis van de simulaties werd besloten dat het nivelleren van de kolk bij een Scheldepeil –1.0 m TAW en een dokpeil 4.17 m TAW met het maatgevend schip in de kolk ca. 13 min duurt. Deze waarde benadert de door aMT vooropgestelde nivelleertijd van 12 min.

3 Analyse sluizen met nivelleersysteem met woelkelder

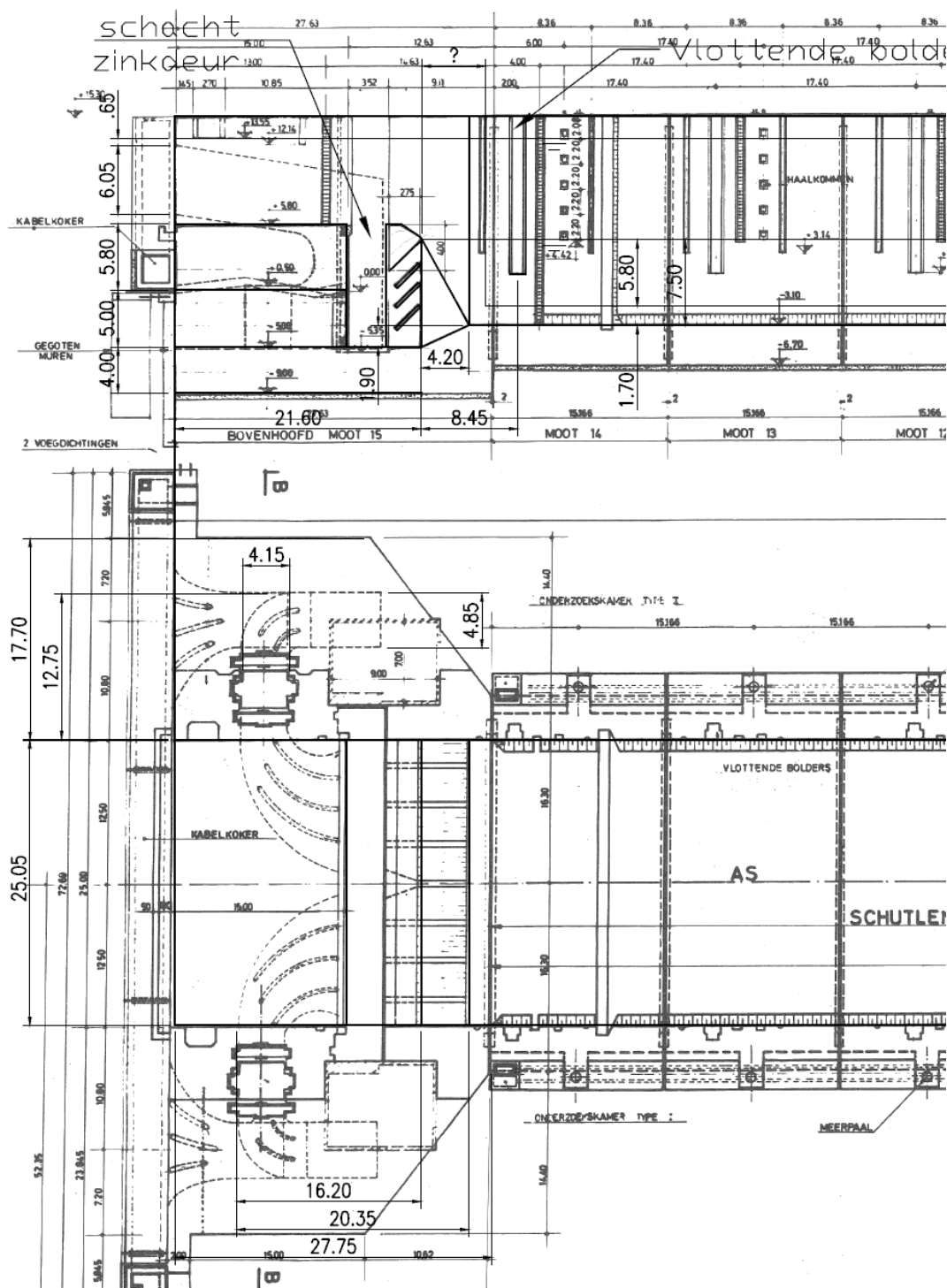
In Vlaanderen zijn de sluis te Zemst op het Zeekanaal Brussel Schelde (paragraaf 3.1), de 16 m-sluis en de duwvaartsluis te Wijnegem op het Albertkanaal (paragraaf 3.2) voorzien van een nivelleersysteem met korte omloopriolen aangesloten op een woelkelder. Daarnaast zijn er ook een aantal sluizen waarbij afwaarts van een hefdeur een woelkelder aanwezig is (paragraaf 3.3). Dit zijn de sluis te Dendermonde op de Dender, te Evergem op de ringvaart en te Harelbeke (oude sluis) en Sint-Baafs-Vijve op de Leie. Voor de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville op de Maas werd door Service Public de Wallonië (SPW) een ontwerp gemaakt van een nivelleersysteem met woelkelder (paragraaf 3.4). In het kader van de verlenging van de sluizen met een nivelleersysteem met woelkelder te Born en Maasbracht op het Julianakanaal werd door WL|Delft Hydraulics een analyse uitgevoerd. Deze analyse werd ter beschikking gesteld door Rijkswaterstaat (RWS; paragraaf 3.5).

Merk op dat dit adviesrapport beperkt is tot een korte beschrijving van de sluizen op basis van de voor WL beschikbare gegevens. Voor uitgebreidere informatie dienen de referenties geraadpleegd te worden en/of dient bijkomende informatie opgevraagd te worden. Bemerk dat hier de bij WL gekende sluizen met een nivelleersysteem met woelkelder besproken worden. Het is niet uit te sluiten dat er nog andere sluizen met woelkelder bestaan. Ook verdient het aanbeveling om bij vervolgonderzoek ook de sluizen met woelkelder in Duitsland en Frankrijk te beschouwen.

3.1 Sluis Zemst

Een doorsnede en bovenaanzicht van het nivelleersysteem in het bovenhoofd van de sluis te Zemst wordt gegeven in Figuur 3. Dit betreft een ingescand plan uit een brochure (N.V. Zeekanaal en haveninrichtingen van Brussel, 1967). Voor de analyse werd dit plan ingelezen en verschaald in autocad en vervolgens bemaat. Merk op dat de weergegeven afmetingen deels gebaseerd zijn op afgelezen afmetingen en deels opgemeten zijn op het verschaalde ingescande plan. De weergegeven afmetingen dienen dus beschouwd te worden als een benaderende waarde.

Figuur 3 – Sluis Zemst – plan bovenhoofd



De inlaatopeningen zijn geplaatst in de kopmuur van de kolk. Na de inlaatopening maken de omloopriolen een bocht van 180 ° in het verticale vlak, waarna het bodempeil van de riolen overeenkomt met het bodempeil van de woelkelder, ca. 1.9 m lager gelegen dan het bodempeil van de kolk. Merk op dat het riool tussen de inlaat en de 180° bocht al afhelt, dit vermoedelijk om de stroming in de 180° bocht te optimaliseren of om luchtaanzuiging te verminderen. Meteen volgend op de 180 ° bocht wordt de riool door middel van een 90° bocht haaks op de kolk-as gericht. Onmiddellijk hierna zijn de schuiven geplaatst juist voor de locatie waar de riolen onder de kolkwand doorgaan. Na de schuiven wordt elke riool over de halve kolkbreedte gespreid door middel van een divergerende 90° bocht. Voor de uitstroming in de kolk wordt de stroming nog gericht door middel van rechte tussenwanden met hiertussen drie schuin opgerichte schoepen. Tussen deze schoepen en de divergerende 90° bocht bevindt zich de kamer waarin de deur neergelaten is in open toestand. Tijdens het vullen van de kolk is dit een open ruimte met breedte 3.5 m. De schuiven hebben een breedte van 4.2 m en een hoogte van 5.0 m. Zowel het gedeelte voor de schuiven als na de schuiven wordt gekenmerkt door een groot aantal bochten en sectiewijzigingen. Om de verliezen ten gevolge van loslaten te beperken worden in de bochten schoepen toegepast, dit met uitzondering van de verticale 180 ° bocht. Het plan bevat geen stopstreepafstand.

Het ontwerp van de sluis te Zemst werd uitgevoerd door WL. Een officieel eindrapport van deze studie werd niet teruggevonden. Wel werd een thesis teruggevonden (Corluy & Weemaes, 1969) en een rapport waarin kort de stand van zaken van een initieel ontwerp wordt samengevat (Verbist *et al.*, 1968). Uit Verbist *et al.* (1968) volgt dat initieel gedacht werd om de kolk te laten nivelleren door middel van onderstroming onder een deur, zoals bij de sluis te Trier en ook de sluizen beschreven in paragraaf 3.3. Omdat tijdens de studie vastgesteld werd dat te sluis te Trier ernstige problemen had met het bewegingsmechanisme van de deur werd besloten om over te gaan naar korte omloopriolen. Van de proeven met omloopriolen heeft WL geen rapport beschikbaar. In de archieven van WL werd een conceptversie van het eindrapport over de studie teruggevonden. In dit rapport worden de conclusies gegeven voor het ontwerp van het benedenhoofd, de langsriool en de tweede versie van het bovenhoofd alsook enkele resultaten in bijlage. Het hierin gegeven definitieve ontwerp van het bovenhoofd komt overeen met N.V. Zeekanaal en haveninrichtingen van Brussel (1967). Voor de schuin gerichte schoepen wordt volgende verklaring gegeven *“Bovendien zagen we op bijlage 21 dat de opwaartse langskracht groter is dan de afwaartse. Die opwaartse langskracht wordt veroorzaakt doordat de vulgolf, die bij het begin der vulling ontstaat, teruggekaatst wordt door de benedendeur. Om de eruit voortvloeiende langskracht de verkleinen, werden in ontwerp 7 schoepen “S” aangebracht, die een deel van de waterstroom die de sluis intreedt naar boven richt. Daardoor ontstaat een afwaartse stroming aan het wateroppervlak. De langskracht, die daardoor ontstaat werkt de langskracht tegen, die ontstaat als gevolg van de terugkerende golf. De plaatsing van de schoepen is zodanig dat er bijna evenwicht ontstaat tussen die beide krachten, zodat de resulterende kracht dicht bij nul ligt. Doordat de stroming meer naar het wateroppervlak gericht is, wordt de turbulentie van het wateroppervlak echter groter, wat het uitzicht van de vulling schaadt. Bij gebrek aan tijd en gezien het gering belang dat hieraan te hechten is, werd niet onderzocht of het mogelijk was het uitzicht van de stroming te verbeteren.”* Ook wordt opgemerkt dat de negatieve (naar de voor nivelleren gebruikte deur toe gerichte) langskracht niet enkel veroorzaakt wordt door het weerkaatsen van de eerste positieve golf maar ook door de waterspiegelinzinking boven de vulstraat. Dankzij de schoepen kunnen bij de situatie met vooraan een 2000 ton schip in de kolk en achteraan een zeeschip (lxbxh 105 x 14 x 5.8, 5930 ton) de schuiven gelicht worden in 320 s en bedraagt de nivelleertijd 450 s. Voor het 2000 ton schip kan hierbij voldaan worden aan het criterium van 1 ‰. De afstand van de boeg op 6.5 m of 14 m maakt hierbij weinig verschil. De dwarskracht op het 2000 ton schip wordt hierbij als zeer klein beschreven. Ook werden proeven uitgevoerd met 2 naast elkaar liggende 2000 ton schepen vooraan in de kolk en hierachter het zeeschip. Bij het toepassen van een openingswet bestaande uit twee snelheden kon een nivelleertijd van 400 s (6.6 min) bekomen worden. Bemerkt dat een vultijd van 400 s (6.6 min) in lijn ligt met de in 2009 opgemeten vultijd van 6.0 min (Vercruysse *et al.*, 2009).

In het kader van de renovatie van de middendeuren in de sluis te Zemst heeft WL metingen uitgevoerd in de sluis (Vercruysse *et al.*, 2009). Hieruit volgde dat de vulling via het bovenhoofd zeer performant is. Voor een kolk met lengte 250 m, breedte 25.0 m en een verval ca. 8.9 m bedraagt de vultijd 6.0 min (bij 0.05 m resterval). De middendeuren maken het mogelijk om een halve kolk op te schutten, de vultijd voor de opwaartse kolkhelpt met lengte 121 m bedraagt 3.6 min. De maximale stijgsnelheid bedraagt hierbij 0.043 m/s (=2.58 m/min) voor de vulling met de volledige kolk en 0.0656 m/s voor de vulling met de opwaartse kolk. Voor vullen met het bovenhoofd bedraagt de maximale opgemeten end-to-end langse waterspiegelhelling 1.38 ‰. Omdat de meting gericht was op de middendeur werd de openingswet van de hefschuiven in het bovenhoofd niet geregistreerd.

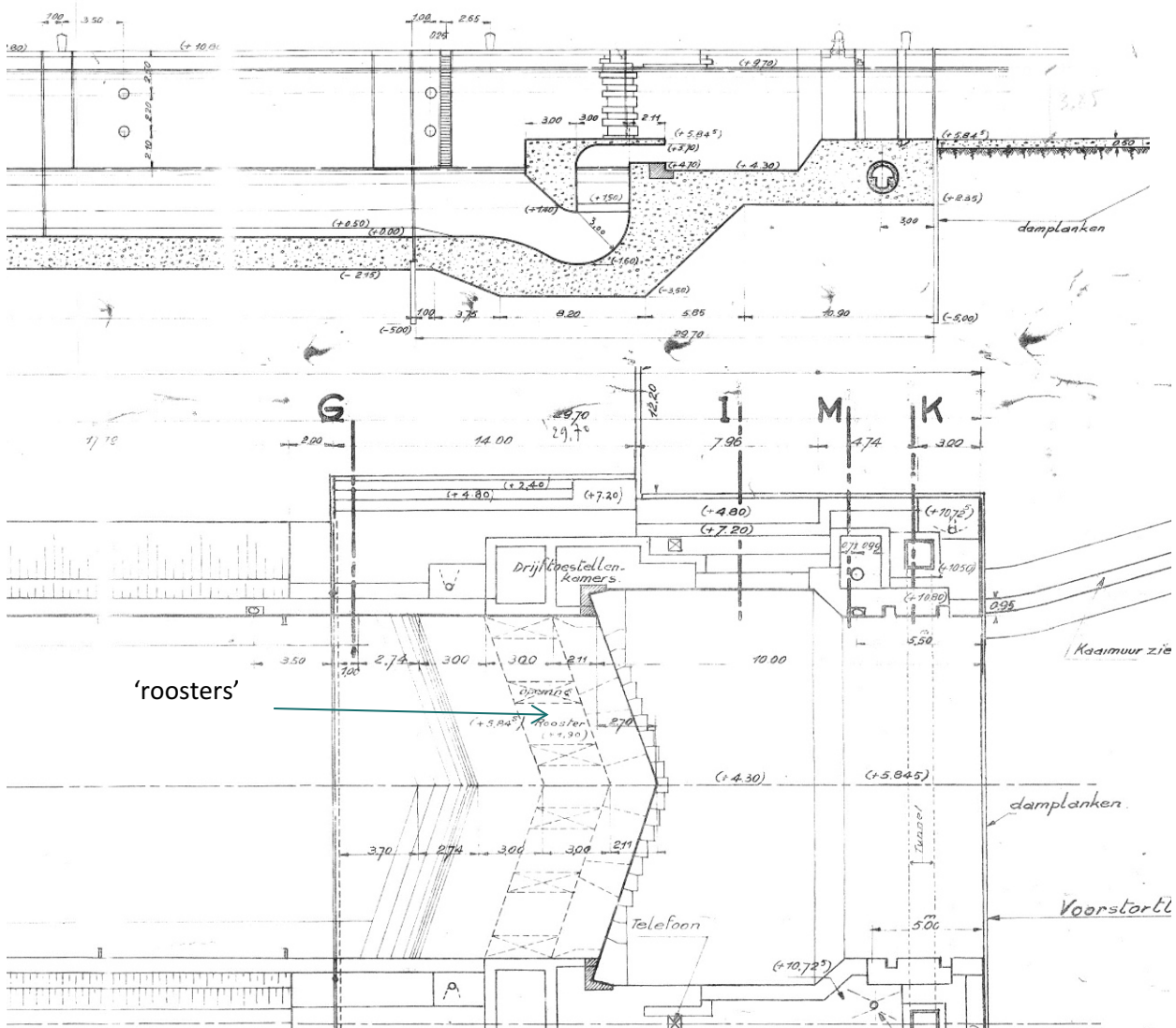
Een belangrijk verschil tussen de sluis te Zemst en de vernieuwde Royerssluis betreft de waterdiepte in de kolk bij het afwaarts peil. De waterhoogte bij het afwaarts peil in de sluis te Zemst bedraagt 7.50 m. De waterhoogte in de Royerssluis bij een maatgevend laag Scheldepeil (- 1.0 m TAW) bedraagt 5.41 m. Uit het reeds uitgevoerde ontwerp voor de Royerssluis (zie hoofdstuk 2) volgde dat de beperkte kielspeling bij het maatgevend peil en het maatgevend schip in de kolk (0.91 m) beperkend is voor de snelheid waarmee gevuld kan worden. Hieruit volgt dat omwille van de beperkte kielspeling het vermoedelijk niet mogelijk is om de vernieuwde Royerssluis even snel te vullen als de sluis te Zemst.

3.2 Wijnegem

Het sluizencomplex te Wijnegem op het Albertkanaal bestaat uit drie sluizen: twee identieke zogenaamde 16 m-sluizen met kolk lengte 154 m en breedte 16.0 m en één duwvaartsluis met kolk lengte 224 m en breedte 24.0 m. In tegenstelling tot de andere sluiscomplexen op het Albertkanaal waar steeds een nivelleersysteem met lange omloopriolen gebruikt wordt, worden de sluizen te Wijnegem genivelleerd met een woelkelder in het bovenhoofd. De verklaring voor het gebruik van dit type nivelleersysteem voor de sluizen te Wijnegem is het lagere verval (5.8 m t.o.v. 10.0 m voor de overige sluiscomplexen).

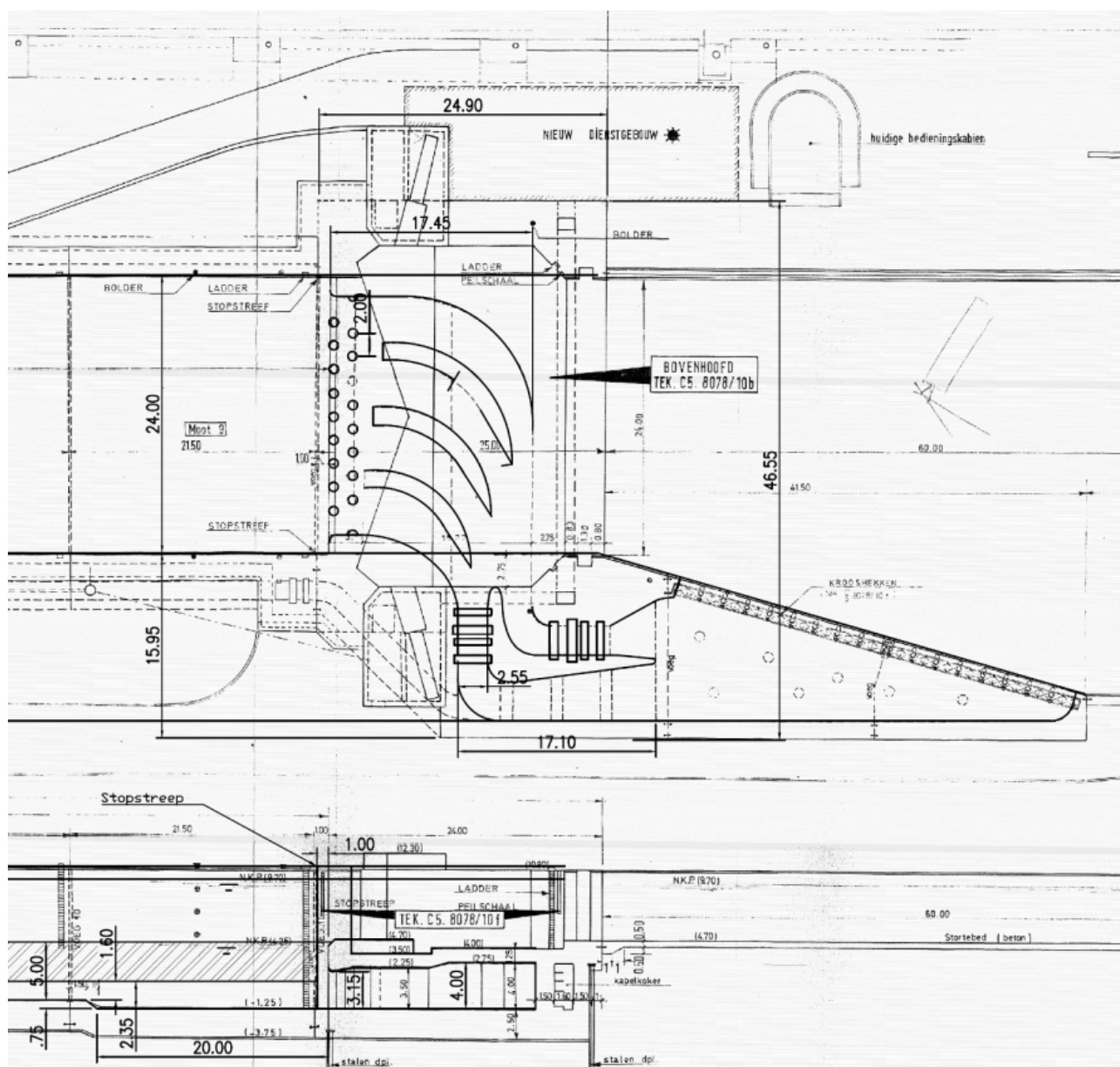
Voor de 16 m-sluizen te Wijnegem heeft WL geen gegevens over het ontwerp. Een aanzicht en doorsnede van het bovenhoofd (Ministerie van Openbare Werken. Bruggen en Wegen. Dienst van het Albertkanaal en de kanalen in de provincies Antwerpen en Limburg, 1946) wordt gegeven in Figuur 4. Het vullen van de kolk gebeurt door middel van 4 openingen onder de vloer van het bovenhoofd. Deze openingen worden afgedekt door segmentschuiven onderaan de puntdeuren (SBE, 2005) die hiervoor uitgevoerd zijn met een overdiepte ten opzichte van de vloer van het bovenhoofd. De stroming doorheen de openingen wordt in een komvormige woelkelder gericht. Voor de instroming in de woelkelder wordt op het plan aangegeven dat er roosters zijn, zie Figuur 4 en de dubbele horizontale lijn net voor de woelkelder. Op basis van het plan is het niet uit te maken hoe deze roosters zijn vormgegeven.

Figuur 4 – 16 m sluis-Wijnegem – Bovenhoofd met woelkelder



Het hydraulisch ontwerp van de duwvaartsluis te Wijnegem werd door WL uitgevoerd (Verschaeren & Verbist, 1986). Een aanzicht en verticale doorsnede van de sluis wordt gegeven in Figuur 5 (Ministerie van Openbare Werken. Bruggen en Wegen. Dienst van het Albertkanaal en de kanalen in de provincies Antwerpen en Limburg, 1984). De geometrie van het plan komt overeen met geometrie 'W1' uit het ontwerprapport. Het nivelleersysteem van de duwvaartsluis betreft een asymmetrisch systeem waarbij de inlaten zich bevinden aan de linkeroever. De woelkelder wordt gevoed door middel van twee riolen afgesloten met hefschuiven. Ter hoogte van de hefschuiven hebben de riolen een breedte 2.4 m en hoogte 4.0 m. De riool wordt opwaarts de schuiven geleidelijk vernauwd. De twee inlaten bevinden zich in een kamer die door een vuilrooster gescheiden wordt van het Albertkanaal. De hoogte van de kamer en de afname van de bodem naar de schuiven toe kan niet afgeleid worden uit het beschikbare plan. Het richten en spreiden van de stroming in de langs-as van de kolk gebeurt door middel van een afgeronde binnen en buitenbocht met hiertussen drie schoepen. Ter hoogte van deze schoepen wordt het plafond met 0.50 m verlaagd (4.00 m naar 3.50 m), en net voor de instroming in de kolk wordt nog een bijkomende verlaging met 0.35 m (tot 3.15 m) toegepast. Voor de instroming in de kolk wordt een dubbele rij dissipatiepalen (diameter ca. 0.8 m en afstand tussen assen 2.0 m) geplaatst. De op plan aangeduide stopstreep bevindt zich 1.0 m afwaarts de woelkelder. Wat opvalt is dat het 0.75 m diepere bodempeil van de woelkelder over een afstand van 20 m doorloopt in de kolk. Bij aanmeren van schepen met kleine kielspelling op een korte afstand van de woelkelder laat dit mogelijks een meer geleidelijke spreading van het uitstromende water langsheen de romp van het schip toe.

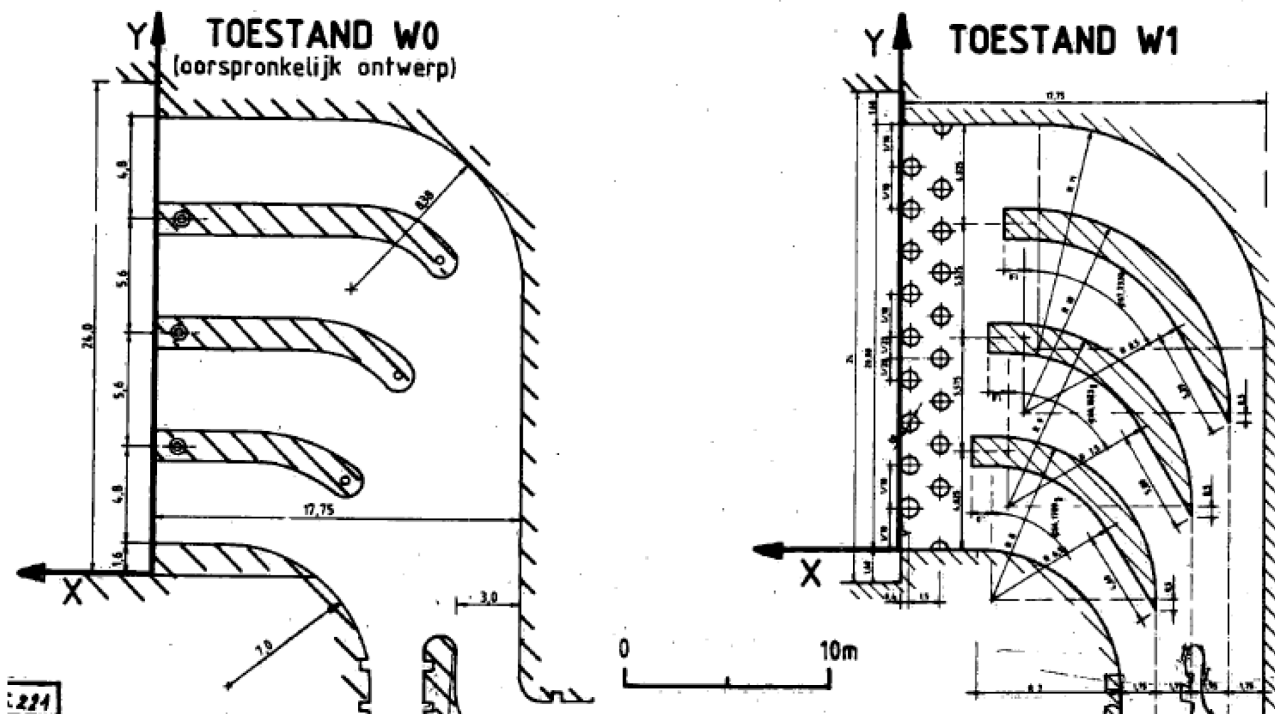
Figuur 5 – Duwvaartsluis Wijnegem – geometrie bovenhoofd



Uit het rapport van het modelonderzoek (Verschaeren & Verbist, 1986) volgt dat tijdens de eerste ontwerpfasen drie geometrieën onderzocht zijn. De eerste geometrie bevatte geen dissipatiepalen, de tweede geometrie lijkt overeen te komen met deze van het ontwerpplan en de derde geometrie bevat een extra rij dissipatiepalen (3 i.p.v. 2). De eerste en tweede geometrie worden gegeven in Figuur 6. Voor het toetsen van het hydraulisch ontwerp werden schaalmodelproeven uitgevoerd. Hierbij werd de volledige kolk op schaal gebouwd en werd zowel de krachten op een duwkonvooi als op een 600 ton schip opgemeten. De diepgang van het duwkonvooi tijdens de proeven bedroeg 3.3 m. Merk op dat dit quasi overeenkomt met de huidige maximaal toegelaten diepgang 3.4 m. Voor de kracht werd zowel de langskracht als de dwarskracht opgemeten. Hierbij werd zowel een normale nivellering als een nivellering met één schuif buiten dienst gesimuleerd. Bij de proeven met de initiële geometrie werd een duidelijke neervorming vastgesteld in de opening bij de linkerkolkmuur. Deze opening gaf merkkelijk minder debiet dan de andere drie. Uit de proeven volgde dat het aanbrengen van een zeef voor de uitlaat van de woelkelder de stroming merkkelijk verbeterde. Op basis hiervan werd besloten om de geometrie aan te passen met een dubbele respectievelijk een driedubbele rij dissipatiepalen. Bij de geometrie met de

dubbele rij dissipatiepalen werd ook de geometrie en de locatie van de opwaartse punt van de schoepen aangepast om een betere verdeling van het debiet te bekomen. Over de dissipatiepalen wordt opgemerkt dat zij de debietsverdeling in elke deelopening verbeteren en zodoende snelheidspieken vermijden. Omdat tijdens de proeven de debietverdeling bij de geometrie met twee rijen dissipatiepalen nog niet als voldoende beschouwd werd, werd nog een geometrie beproefd met een bijkomende rij dissipatiepalen. Door het asymmetrische nivelleersysteem zal het water dat uittreedt langs rechteroever van de kolk een langere weg hebben afgelegd dan het water dat uittreedt aan linkeroever van de kolk. Om tijdens het openen van de hefschuiven de debietverdeling te verbeteren werd onderzocht of het voordelen heeft om een verschillende openingssnelheid of een wachttijd op een van beide openingswetten toe te passen. In de aanbeveling wordt zowel een uniforme openingswet als een afzonderlijke openingswet voor beide hefschuiven gegeven. Voor het duwkonvooi in de kolk met de boeg op 17.5 m van de valmuur of het 600 ton schip in de kolk op 4.5 m van de valmuur bedraagt de nivelleertijd van de sluis ca. 12 min.

Figuur 6 – Geometrie schaalmodelproeven



Bij De Vlaamse Waterweg afdeling Albertkanaal werd navraag gedaan over de werking van de duwvaartsluis te Wijnegem. Hieruit volgt het volgende:

- Het vullen van de duwvaartsluis bij 2 schuiven in dienst duurt ca. 12 min. Bij het buiten dienst zijn van 1 schuif duurt het vullen ca. 18 min.
- Bij 1 schuif in dienst wordt geen bijzondere procedure toegepast voor het aanmeren van de schepen in de kolk of wordt geen specifieke openingswet toegepast.
- De schepen worden met de boeg tot op enkele meter van de valmuur aangemeerd.
- Het openen van de schuiven duurt ongeveer even lang als de nivellering.
- Op vlak van krachten op schepen aangemeerd in de kolk wordt de nivellering als rustig ervaren door de schippers. De schepen meren aan door middel van 1 tros vooraan en houden zich op hun plaats in combinatie met de schroef. Bij het nivelleren met één schuif wordt enige hinder ervaren. Dit wordt omschreven als 'de schepen worden dan een beetje van bakboordkant naar stuurboordkant geduwd'. Er wordt evenwel geen bijzondere procedure toegepast (zoals aanmeren aan een specifieke zijde in functie van de in dienst zijnde hefschuif).

- Het vullen van de 16 m sluizen wordt als minder gunstig ervaren dan het vullen van de duwvaartsluis.
- Er zijn geen bijzondere problemen gekend.

Uit de bevraging volgt dat er tevredenheid is over de werking van het nivelleersysteem van de duwvaartsluis. Ook bij het buiten dienst zijn van één schuif kan de sluis gebruikt worden zonder een bijzondere procedure toe te passen. Het type schepen, het verval en de nivelleertijd komen ook overeen met de randvoorwaarden voor de vernieuwde Royerssluis.

3.3 Vulsystemen met hefdeur

In de periode 1970 tot en met 1978 werden in Vlaanderen 4 sluizen gebouwd met een vulsysteem met woelkelder waarvan de inlaat aansluit op de onderzijde van een hefdeur. De instroomopening wordt hierbij vrijgemaakt door het in kleine stapjes heffen van de hefdeur. Na einde nivellering wordt de hefdeur vervolgens volledig getrokken. Een dergelijk nivelleersysteem wordt toegepast op de sluizen te Merelbeke (1970 ^[2]), op de ringvaart om Gent, de sluis te Dendermonde (1978 ^[2]), op de monding van de Dender, de sluis te Sint-Baafs-Vijve (1971 ^[2]) op de Leie en de intussen verwijderde oude sluis te Harelbeke (1971 ^[2]) op de Leie. De kolkafmetingen en het verval van deze sluizen worden gegeven in Tabel 1. Het extreem verval is het grootst bij Merelbeke en bedraagt 5.0 m.

Tabel 1 – sluizen met hefdeur

sluis	Kolkafmetingen ^[2]		verval [m]
	lengte [m]	breedte [m]	
Harelbeke	115	12.4	2.19 ^[3]
Sint-Baafs-Vijve	136	16	2.39 ^[4]
Sluizen te Merelbeke	180	18	Grootste verval bij laagwater 5.0 m ^[5]
Dendermonde	168	16	Verval bij laagste laagwater 2.87 m en streefpeil Dender ^[5]

Een doorsnede van de sluizen te Harelbeke, en Sint-Baafs-Vijve wordt gegeven in Figuur 7 en van de sluis te Dendermonde in Figuur 8. Excavator (1966) bevat een niet voldoende duidelijke doorsnede van het bovenhoofd te Merelbeke, een duidelijker plan werd niet opgevraagd.

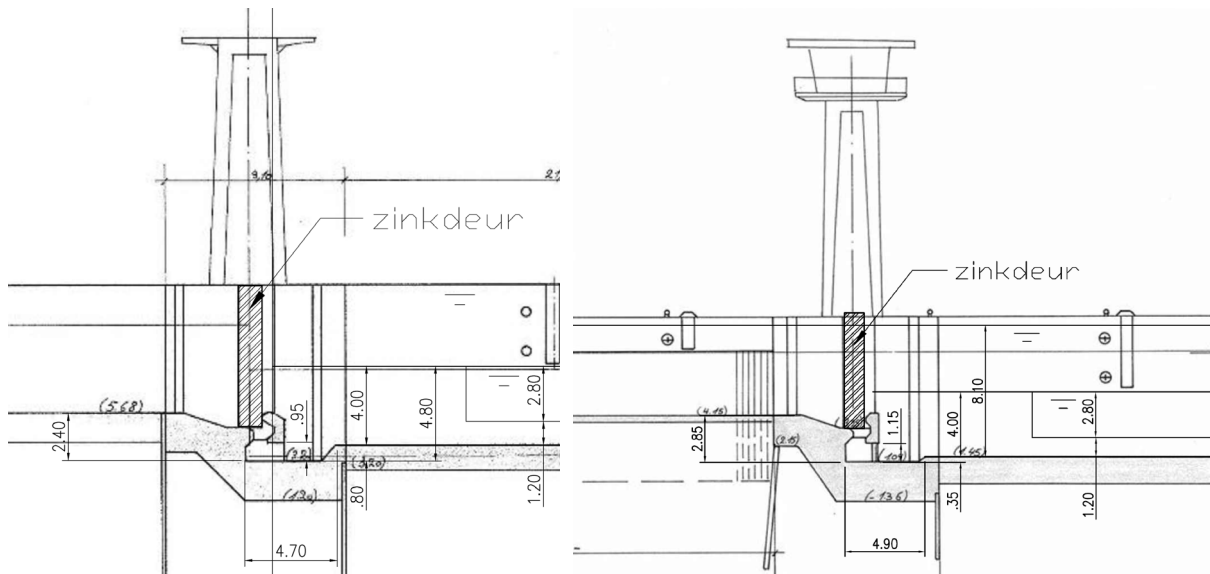
² <http://patrimonium.wenz.local/pdb/login.jsp>

³ (Deltares, 2014)

⁴ (Vercruysse et al., 2017b)

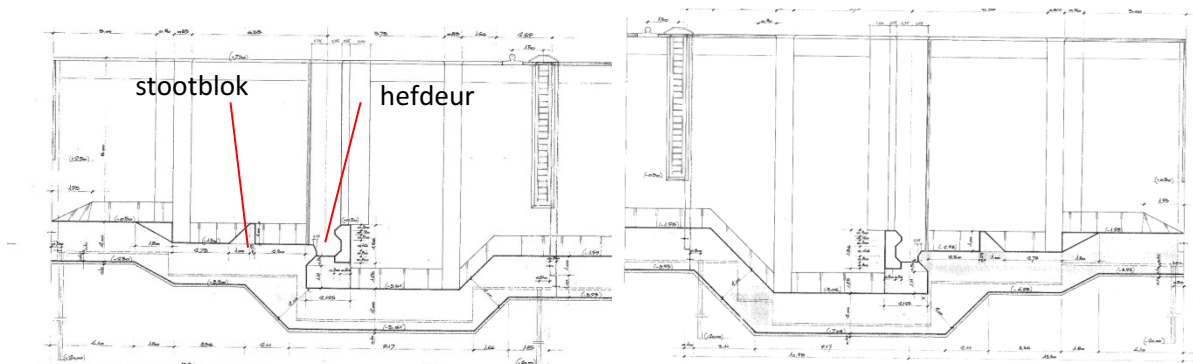
⁵ (Ministerie van openbare werken. Bruggen en Wegen bijzondere dienst van het stroomgebied der Schelde., s.d.)

Figuur 7 – Oude sluis Harelbeke, en sluis Sint-Baafs-Vijve – geometrie bovenhoofd



Links: Harelbeke (Waterwegen en Zeekanaal NV, s.d.-a) / Rechts: Sint-Baafs-Vijve (Waterwegen en Zeekanaal NV, s.d.-b)

Figuur 8 – Doorsnede niveleersysteem sluis Dendermonde



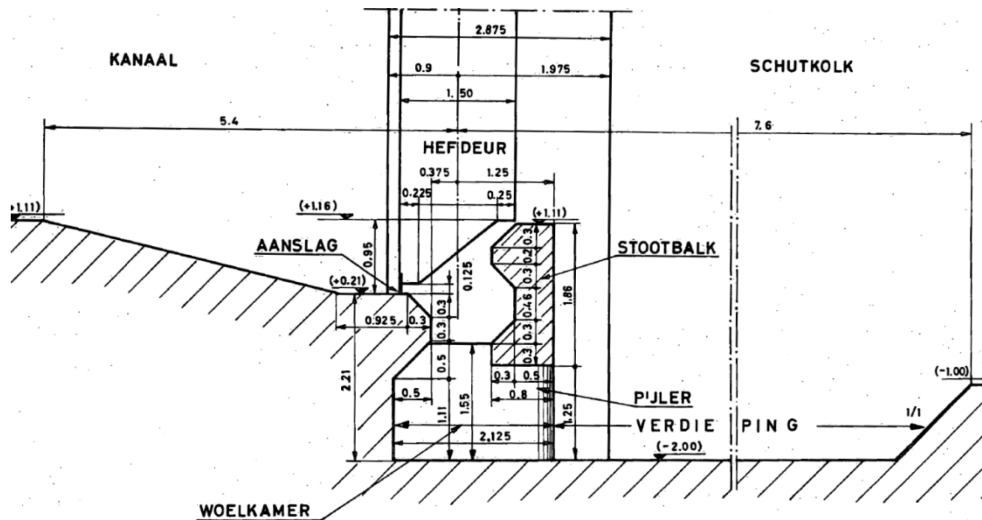
links: bovenhoofd / rechts: benedenhoofd (Ministerie van openbare werken. Bruggen en Wegen bijzondere dienst van het stroomgebied der Schelde., 1949)

Merk op dat het principe van het vulsysteem identiek is voor de sluizen te Harelbeke, Sint-Baafs-Vijve en Dendermonde. Bij het heffen van de deur komt een opening onderaan de deur vrij. Het water stroomt onder deze opening door en wordt door middel van een geleiding naar de bodem van een woelkelder gericht. Op het einde van deze woelkelder is er een schuin opstaande drempel. Deze drempel zorgt vermoedelijk voor een spreiding van de stroming in de hoogte van de waterkolom. Merk op dat de sluis te Dendermonde eenzelfde niveleersysteem heeft voor het boven- en benedenhoofd. Dit omdat de sluis te Dendermonde een getijsluis betreft waarbij de richting van het verval van teken wisselt. Dit is vermoedelijk ook de verklaring voor de bijkomende verlaging opwaarts de inlaat en de aanwezigheid van de (voor vullen) omgekeerd geplaatste stootblokken.

WL heeft het hydraulisch ontwerp uitgevoerd voor de sluizen te Merelbeke (Theuns & Sterling, 1962). Voor de sluizen te Harelbeke, Sint-Baafs-Vijve en Dendermonde werden geen ontwerprapporten teruggevonden.

Voor het ontwerp te Merelbeke werden schaalmodelproeven uitgevoerd. Hierbij werden 21 varianten van de woelkelder beproefd. De uiteindelijke geometrie wordt gegeven in Figuur 9 en is sterk gelijkend op de geometrieën voor Sint-Baafs-Vijve, Harelbeke (Figuur 7) en Dendermonde (Figuur 8).

Figuur 9 – Doorsnede bovenhoofd hydraulisch ontwerp Merelbeke



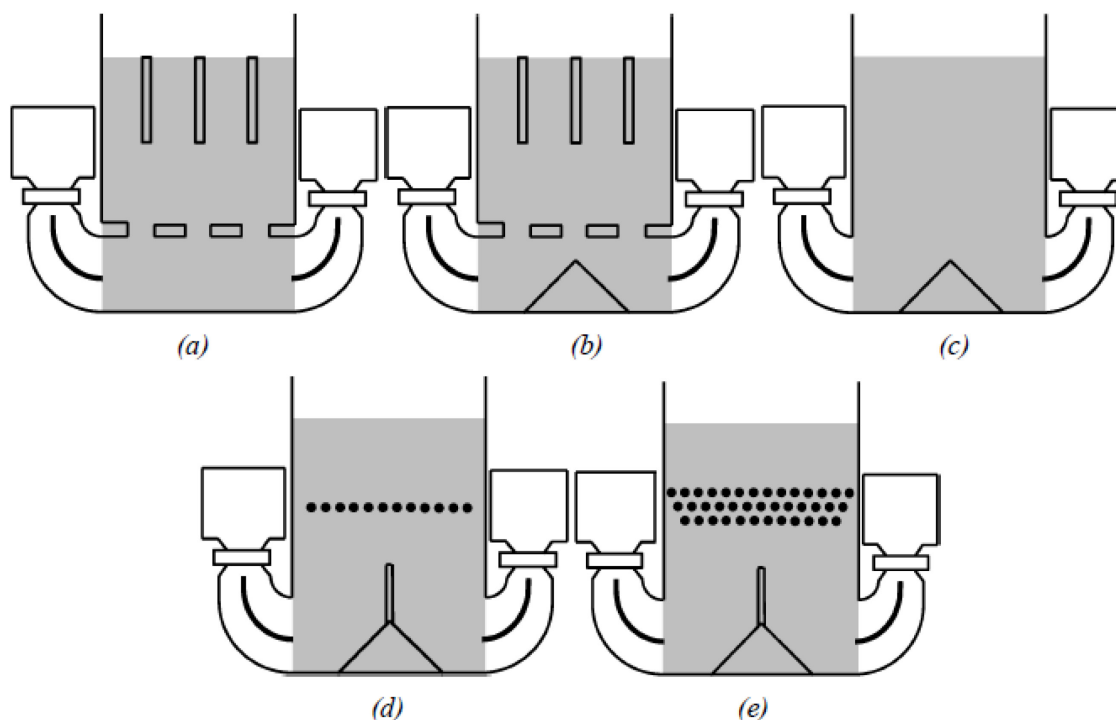
3.4 Sluis Ampsin-Neuville

SPW heeft voor de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville op de Maas het hydraulisch ontwerp uitgevoerd van een vulsysteem met korte omloopriolen aangesloten op een woelkelder. Van deze studie heeft SPW het overzichtsrappport ter beschikking gesteld aan WL (UCL & SPW, 2013a; b).

Voor het hydraulisch ontwerp werden zowel fysische modelproeven als numerieke simulaties uitgevoerd. De numerieke simulaties werden hierbij gebruikt als voorontwerp voor de fysische modelproeven. Initieel werd een kolkbreedte 12.5 m beschouwd. Tijdens het ontwerp werd de kolkbreedte vergroot naar 25.0 m. De lengte van de kolk bedraagt 241 m. De waterhoogte in de kolk bij laag peil bedraagt 5.0 m en het verval te Ampsin-Neuville bedraagt 4.7 m. De voor het ontwerp beschouwde vultijd bedraagt 6 à 8 min.

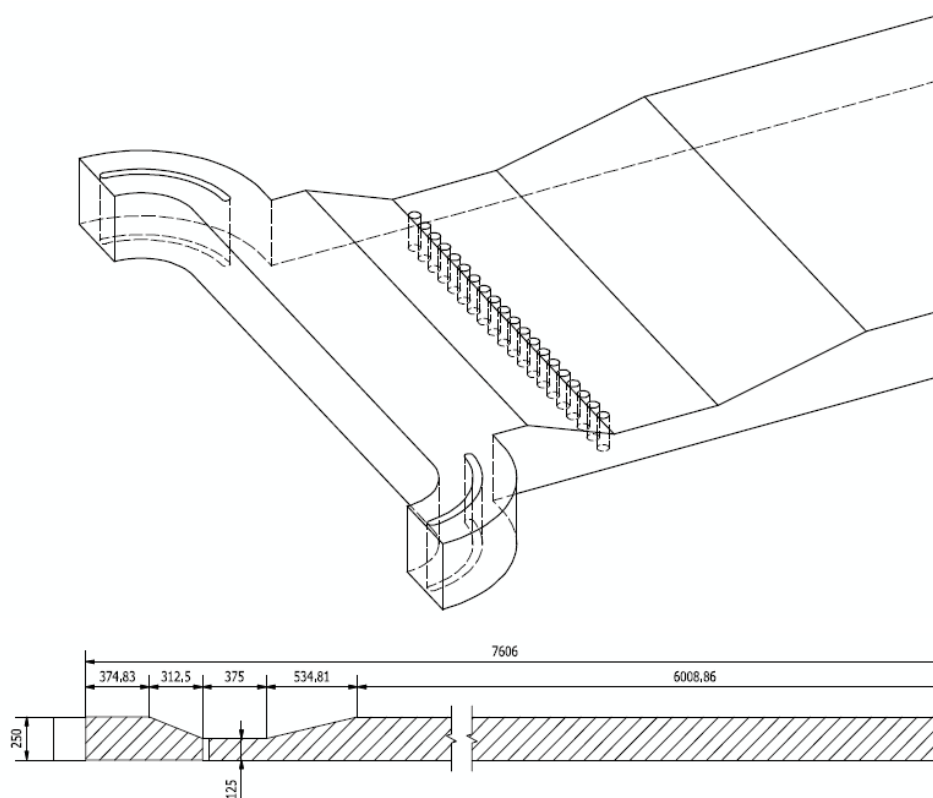
De verschillende op het schaalmodel beproefde configuraties voor een kolkbreedte 12.5 m worden gegeven in Figuur 10. Bij de configuratie zonder dissipatievoorzieningen worden de twee stromingen in de kolk samengevoegd en treedt een duidelijke asymmetrie op. Dit treedt minder op bij de overige configuraties. Uit de resultaten volgt dat configuratie "e" voor een goede spreiding van de stroming in de breedte van de kolk zorgt.

Figuur 10 – Nieuwe sluis Ampsin-Neuville – op schaalmodel bestudeerde configuraties kolkbreedte 12.5 m

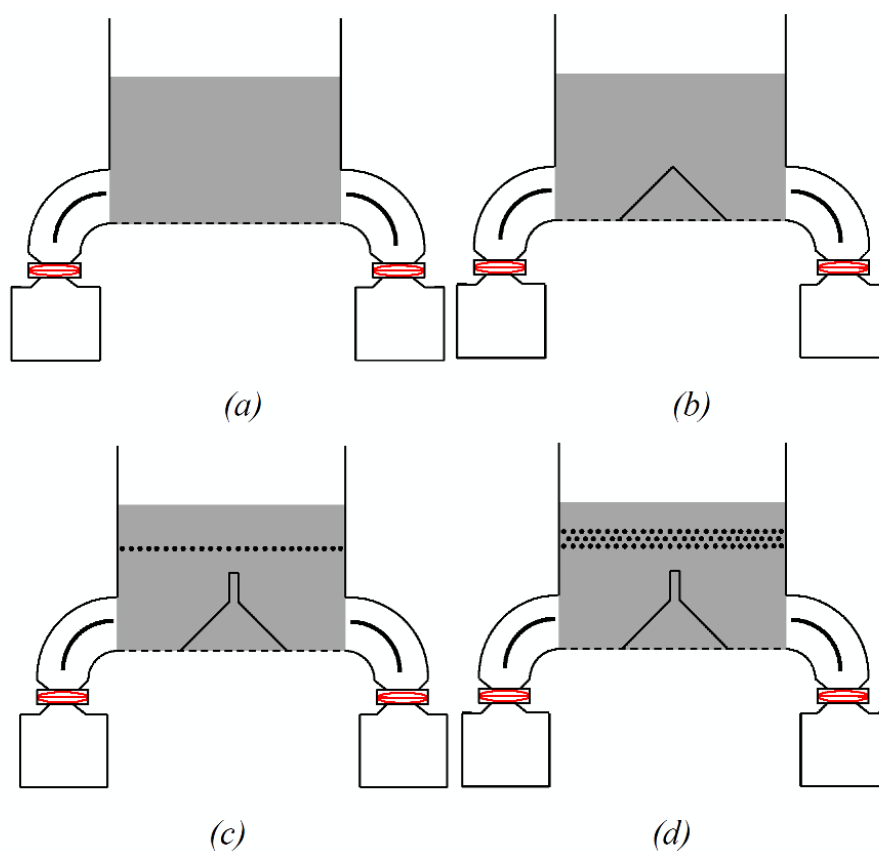
*Figure 3 : Configurations étudiées de la chambre de dissipation de la tête amont 12.5m.*

Voor de kolk met breedte 25.0 m wordt in Figuur 11 een overzicht gegeven van het niveleersysteem. De beproefde configuraties van de woelkelder worden gegeven in Figuur 12. Bemerkt hierbij dat de inlaat bestaat uit een schacht en dat de vlinderklep onmiddellijk op deze schacht aansluit. Na de vlinderklep wordt de stroming loodrecht op de kolk gericht door middel van een 90 °-bocht met constante sectie. In het midden van deze bocht bevindt zich een geleidingsmuur. De twee uitlaten stromen tegenover elkaar uit in de woelkelder. In het eerste deel van de woelkelder heeft het plafond een hoogte gelijk aan de hoogte van de instroomleiding. Vervolgens wordt de hoogte van de woelkelder gehalveerd. Na een stuk met de constante halve hoogte wordt door middel van een geleidelijke toename terug de initiële hoogte bereikt bij uitstroming in de kolk. De verlaging van het plafond heeft als doel om de spreiding in de breedte te verbeteren, de hierop volgende verhoging dient om de spreiding in de hoogte te bevorderen en dus de uitstroomsnelheid in de kolk te verlagen. Uit de proeven volgt dat bij de geometrieën zonder dissipatiepalen het uitstromingspatroon sterk afhankelijk is van het debiet en sterk asymmetrisch kan zijn. Bij de geometrieën met dissipatiepalen is het snelheidsprofiel merkbaar uniform.

Figuur 11 - Nieuwe sluis Ampsin-Neuville – nivelleersysteem voor kolkbreedte 25.0 m



Figuur 12 – Nieuwe sluis Ampsin-Neuville – op schaalmodel bestudeerde configuraties voor de kolkbreedte 25.0 m



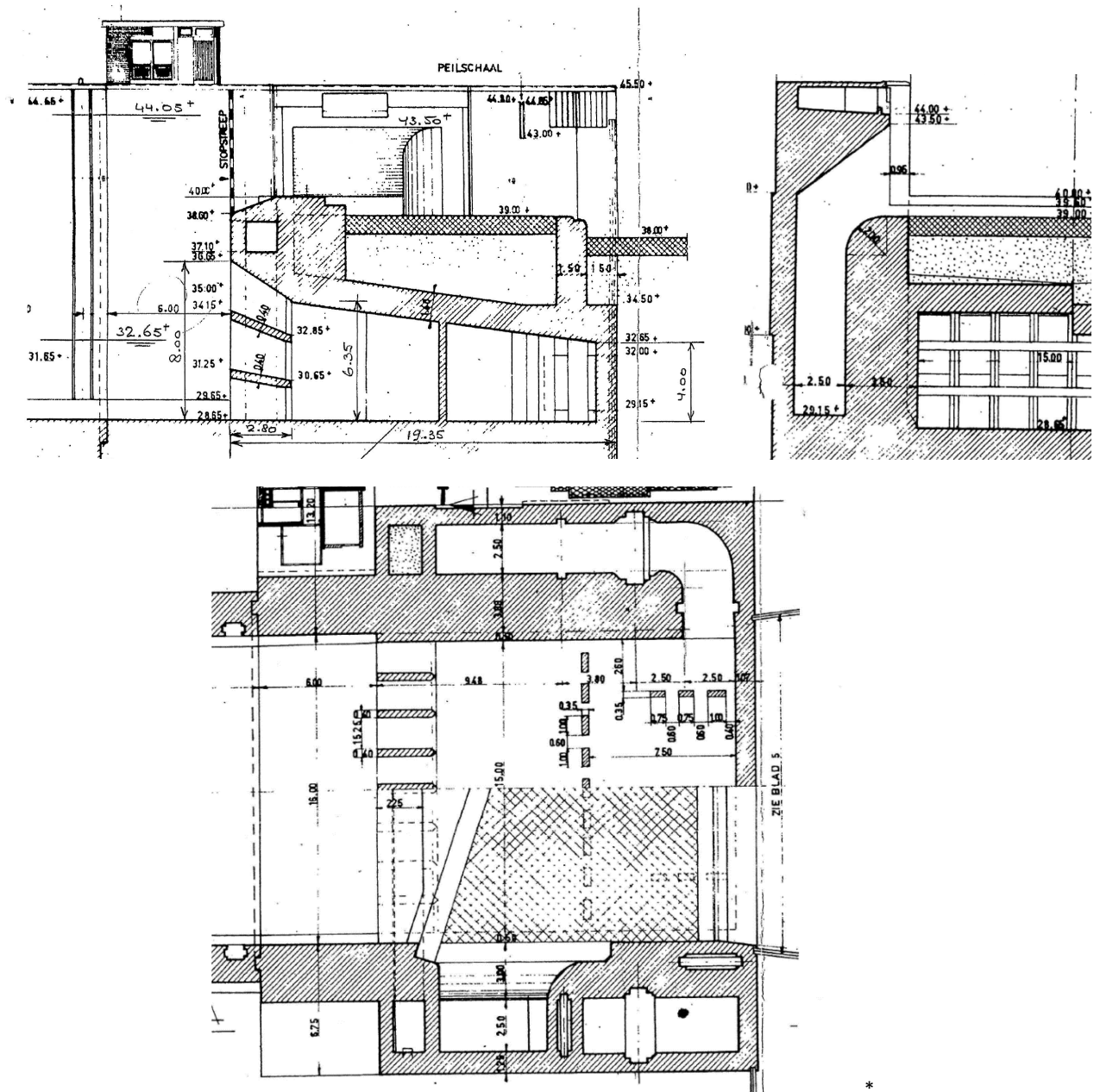
3.5 Sluis Maasbracht en Born

In Nederland worden de sluizen te Maasbracht en Bron op het Julianakanaal, de schutsluis te Panheel op het kanaal Wessem-Nederweert en de schutsluis te Almere genivelleerd door middel van een bovenhoofd met woelkelder. De schutsluizen te Maasbracht en Born werden recent gerenoveerd, hierbij werd per sluiscomplex één kolk verlengd. In het kader van deze verlenging werd een analyse uitgevoerd van het hydraulisch ontwerp en de werking van de sluizen te Maasbracht en Born (Jongeling, 2005). Dit rapport werd door RWS ter beschikking gesteld aan WL.

De sluis te Maasbracht heeft een kolklengthe 159 m (voor renovatie), een nuttige lengthe 142 m en een breedte 16 m. De waterhoogte bij (het huidige) laag peil bedraagt 4.0 m en het (huidige nominale) verval bedraagt 11.85 m. De vultijd bedraagt 9.8 min. Uit de in het rapport gegeven instellingen van de LOCKFILL simulaties volgt dat een stopstreepafstand 2.8 m toegepast wordt. De geometrie van de sluis te Maasbracht wordt gegeven in Figuur 13. De inlaten bevinden zich in de deurnissen van de puntdeuren. De inlaat sluit aan op een verticale schacht. Merk op dat bij de overgang van de inlaat naar de verticale schacht het plafond een helling heeft. Na de verticale schacht wordt het riool parallel met de kolk-as horizontaal naar opwaarts gericht, het bodempeil van de riool ligt hierbij 1.30 m hoger dan het bodempeil van de woelkelder. Op deze locatie bevindt zich een noodshot en vervolgens de hefschuif ($b \times h = 2.5 \text{ m} \times 3.35 \text{ m}$). Na de hefschuif wordt een bocht gemaakt waarna het riool instroomt in de woelkelder. Voor het richten en spreiden van de stroming wordt een eerste rij dissipatiekolommen na de instroomopening voorzien. Vervolgens wordt nog een tweede rij dissipatiekolommen over de breedte van de woelkelder voorzien. Voor instroming in de kolk worden nog rechte schotten voorzien met hiertussen één schuin opstaande geleidingsschoep. De bodem van de woelkelder wordt met een overdiepte 1.3 m ten opzichte van de kolkbodem uitgevoerd. Wat opvalt is dat het laagwaterpeil slechts 0.25 m hoger ligt dan het plafond van de hefschuiven. Het plafond van de woelkelder ligt hoger dan het peil van laagwater en neemt naar afwaarts toe.

Na de hefschuif wordt een bocht gemaakt waarna het riool instroomt in de woelkelder. Voor het richten en spreiden van de stroming wordt een eerste rij dissipatiekolommen na de instroomopening voorzien en vervolgens nog een tweede rij dissipatiekolommen over de breedte van de woelkelder. Voor instrooming in de kolk wordt nog een rij verticale schotten voorzien met hiertussen twee schuin opstaande geleidingsschoepen. De bodem van de woelkelder heeft, in tegenstelling tot Maasbracht, geen overdiepte ten opzichte van de kolkbodem. Wat opvalt is dat het laagwaterpeil slechts 0.65 m hoger ligt dan het plafond van de hefschuiven. Het plafond van de woelkelder ligt hoger dan het laagwaterpeil en loopt omhoog naar het einde toe, om ter hoogte van de recht opstaande schotten nog een knik omhoog te maken.

Figuur 14 – Sluis Born



Linksboven: verticale langsdoorsnede / rechtsboven: verticale dwarsdoorsnede / onder: horizontale doorsnede

In Jongeling (2005) wordt een beknopte omschrijving gegeven van de conclusies uit de ontwerprapporten van Maasbracht (Baardewijk & Tromp, 1960) en Born (Tromp, 1959). Hierbij werd opgemerkt dat bij de schaalmodelproeven rekening werd gehouden met luchtaanzuiging. Om de luchtaanzuiging te verminderen werd aandacht besteedt aan het afronden van de hoeken en het afschuinen van het plafond van de inlaat. Op het ogenblik dat het kolkpeil de drempel van het bovenhoofd bereikt worden de translatiegolven in de kolk verstoord. Om deze verstoring te beperken werd de overgang van de valmuur naar het vloerpeil van het bovenhoofd geoptimaliseerd. Zowel voor de sluis te Maasbracht als deze te Born werden zowel proeven uitgevoerd met beide hefschuiven in dienst als proeven met 1 hefschuif in dienst.

Het rapport beschrijft ook vaststellingen uit het gebruik van de sluizen te Maasbracht en Born. Hierbij wordt vermeld dat ter hoogte van de schachten van de noodspinningen problemen met luchtaanzuiging werden vastgesteld. Bij Maasbracht zijn hierom de gesloten afdekplaten van de noodspinningen vervangen door open afdekplaten, bij Born worden nog gesloten afdekplaten toegepast. Ook werd slijtage aan de hefschuif opgemerkt die vermoedelijk het gevolg is van wisselende belasting die optreedt tijdens het heffen van de schuiven. De instroming in de kolk wordt als vrij rustig en, bij de twee hefschuiven in werking, als goed gespreid ervaren. Bij begin vullen is er wat schuim zichtbaar wat wijst op het aanzuigen van lucht in de riolen. De luchtopname lijkt evenwel niet voldoende sterk te zijn om de vulstralen te laten opdrijven op het water. Bij vullen via één riool wordt opgemerkt dat de stroming duidelijk asymmetrisch is en dat de schepen niet eenparig in de tijd omhoog gingen. Afwaarts de hefschuiven wordt enige cavitatieschade opgemerkt. Algemeen wordt door de beheerder opgemerkt dat het huidige vul- en ledigingssysteem van de sluizen te Maasbracht en Born naar tevredenheid functioneert.

Recent zijn één sluis te Born en één sluis te Maasbracht met woelkelder verlengd tot een nuttige kolk lengte 210 m. Hierbij is het bestaande bovenhoofd verwijderd en wordt na de tussenliggende verlengingen een nieuw bovenhoofd gebouwd. Hierbij is gekozen om voor het nieuwe bovenhoofd de geometrie van de sluis te Maasbracht toe te passen. Ten opzichte van het originele ontwerp voor Maasbracht worden enkele aanpassingen doorgevoerd in het bodempeil van de riool en de rioolhoogte met als doel luchtaanzuiging te verminderen.

Merk op dat het plafond van de uitstroomopening bij Born 4 m en bij Maasbracht 2.85 m boven het afwaarts peil ligt. In de huidige situatie wordt vermoedelijk lucht meegezogen via de luchtschachten. Door het schuin oplopende plafond tot boven het afwaarts peil kan de lucht die tijdens de eerste fase van het nivelleren meegezogen wordt langs hier ontsnappen. Bij de vernieuwde Royerssluis zal de valmuur van de woelkelder ook bij de laagste peilen verdronken zijn.

3.6 Conclusies

Uit de analyse volgt dat een nivelleersysteem met woelkelder geschikt is voor vullingen via het bovenhoofd tot een verval ca. 12.0 m. De bijhorende nivelleertijden liggen tussen 6 min en 12 min. Bij de duwvaartsluis te Wijnegem en bij de sluizen te Maasbracht en Born is er algemene tevredenheid van de beheerders over de nivelleertijd en de krachten op de schepen in de kolk. Bij de sluis te Zemst en de sluizen met een hefdeur zijn bij WL geen problemen gekend. De 16 m-sluis te Wijnegem wordt als minder gunstig ervaren ten opzichte van de duwvaartsluis te Wijnegem.

Om de stroming te spreiden over de kolkbreedte worden in de ontwerpen verschillende hydraulische ingrepen toegepast:

- divergerende bocht met geleidingsschoepen (Zemst en duwvaartsluis Wijnegem),
- dissipatiekolommen (Maasbracht en Born),
- driehoekige splitter in combinatie met halvering woelkelderhoogte (Ampsin-Neuville).

Om de stroming verder te optimaliseren wordt nog gebruikt gemaakt van:

- rechte schoten (Zemst, Maasbracht en Born),
- schuin opstaande schoepen (Zemst, Maasbracht en Born),
- dissipatiepalen (duwvaartsluis Wijnegem en Ampsin-Neuville),
- geleidelijke toename woelkelderhoogte (Ampsin-Neuville, Maasbracht en Born).

Voor de hierboven gegeven sluizen zijn de optimalisaties alle onderzocht door middel van schaalmodelonderzoek. Voor de sluis te Ampsin-Neuville zijn hiernaast ook CFD simulaties uitgevoerd.

Bij het ontwerp werd steeds het scenario waarbij één hefschuif buiten dienst is meegenomen. Bij de duwvaartsluis te Wijnegem wordt tijdens het buiten dienst zijn van één hefschuif geen bijzondere procedure toegepast, zoals het aanmeren van schepen aan één bepaalde zijde of het toepassen van een vertraagde openingswet. Bij de sluizen te Maasbracht en Born blijft de openingswet behouden maar is het niet duidelijk of de schepen aangemeerd worden langs één bepaalde zijde.

4 Toepasbaarheid voor vernieuwde Royerssluis

Een aantal karakteristieke afmetingen voor het ontwerp van een nivelleersysteem met woelkelder voor de vernieuwde Royerssluis worden gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Karakteristieke afmetingen voor ontwerp woelkelder voor de vernieuwde Royerssluis

Kolklengte	234 m
Nuttige kolklengte	n.n.b.
Kolkbreedte	36 m
Maatgevend laag afwaarts waterpeil	-1.00 m TAW
Dokpeil	+4.17 m TAW
Maatgevend verval	5.17 m
Sectie schuiven (o.b.v. ontwerp nivelleersysteem met korte omloopriolen)	32 m ²
Drempelpeil bovenhoofd	-1.75 m TAW
Kolkbodem	-6.41 m TAW
Dikte vloerplaat ter hoogte van roldeur	3 m
Plafondpeil woelkelder	-4.75 m TAW
Plafondpeil woelkelder – peil kolkbodem	1.66 m
Waterhoogte in de kolk bij maatgevend laag afwaarts waterpeil	5.51 m
Ontwerp schip (samen afgemeerd)	CEMT VIb + CEMT Vb
Diepgang ontwerp schip	4.5 m
Kielsingeling voor maatgevend schip bij maatgevend laag afwaarts waterpeil	0.91 m

Om na te gaan of het mogelijk is om voor de vernieuwde Royerssluis een vulsysteem met woelkelder toe te passen wordt een analyse uitgevoerd waarbij de karakteristieken van de vernieuwde Royerssluis vergeleken worden met de karakteristieken van de sluis te Zemst, de duwvaartsluis te Wijnegem, het ontwerp voor de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville en de sluizen te Maasbracht en Born. Deze analyse wordt gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 – Vergelijking karakteristieke sluisen met woelkelder

		Zemst	Duwvaart- sluis Wijnegem	Ampsin- Neuville	Maas- bracht	Born	Royerssluis
effectieve lengte kolk	[m]	250	224	241	159	159	234
nuttige kolk lengte	[m]	207	200	225	142	142	n.n.b.
breedte kolk	[m]	25	24	25	16	16	36
waterhoogte bij afwaarts peil	[m]	7.5	5.0	5.0	4.0	4.0	5.41
verval	[m]	8.9	5.5	4.7	11.9	11.4	5.2
stopstreepafstand	[m]	?	1.0	?	2.8	2.8	n.n.b.
sectie schuiven	[m ²]	44.0	20.0	25.1	16.8	14.3	32
$\frac{\text{schutvolume}}{\text{sectie schuiven}}$	[m ²]	1263	1492	1127	1800	2035	1338
nivelleertijd	[min]	6.0	12.0	8.0	9.8	9.3	12.0
positie bodem woelkelder t.o.v. kolkbodem	[m]	-1.9	-0.5	0.0	-1.3	0.0	n.n.b.
hoogte uitlaat woelkelder	[m]	9.35	3.15	2.50	7.75	8.00	n.n.b.
lengte woelkelder	[m]	16.0	17.5	16.0	17.8	18.3	n.n.b.
$\frac{\text{lengte woelkelder}}{\text{kolkbreedte}}$	[-]	0.64	0.73	0.64	1.11	1.14	n.n.b.
maatgevend schip		zeeschip	CEMT V1b	CEMT V1b	CEMT Va	CEMT Va	CEMT V1b + CEMT Vb
diepgang schip	[-]	5.8	3.4	?	3	3	4.5
kielspeling	[m]	1.7	1.6	?	1.0	1.0	0.91

n.n.b. = nog niet bepaald

Uit Tabel 3 volgt dat zowel qua lengte, verval als nivelleertijd de vernieuwde Royerssluis zich in de range van de bestaande sluisen met woelkelder bevindt. Bemerk dat na verlenging van de sluisen te Maasbracht en Born de nuttige kolk lengte toeneemt tot 210 m en dat deze dus ook in dezelfde range valt. Bij de duwvaartsluisen te Wijnegem en de sluisen te Maasbracht wordt een stopstreepafstand tussen woelkelder en de boeg van het schip van 1.0 m respectievelijk 2.8 m gehanteerd (de stopstreepafstand is niet gekend bij de sluisen te Zemst en Ampsin-Neuville). Bij gebruik van een vulsysteem met woelkelder is het dus mogelijk om een zeer beperkte stopstreepafstand toe te passen. Bij het delen van het schutvolume (kolk lengte x kolkbreedte x verval) door de sectie van de schuiven valt op dat de schuifsectie uit het voorontwerp met korte omloopriolen in dezelfde range ligt als deze voor de sluis te Zemst, de duwvaartsluis te Wijnegem en het ontwerp voor de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville. Voor de sluisen te Maasbracht en Born is deze waarde hoger en is de sectie van de schuiven dus relatief kleiner. De kielspeling bij het afwaarts peil in de kolk is voor de vernieuwde Royerssluis van dezelfde grootteorde als deze bij de sluisen te Maasbracht en Born. Bemerk dat de blokkering van het dwarsprofiel door het schip te Maasbracht en Born wel merkbaar lager zal zijn omdat de breedte van het maatgevend schip 11.4 m bedraagt bij een kolkbreedte 16.0 m ten opzichte van een (gecombineerde) breedte van het maatgevend schip 33.8 m bij een kolkbreedte 36.0 m voor de vernieuwde Royerssluis. Omdat voor de nieuwe Royerssluis roldeuren toegepast worden is een vloerplaat met dikte ca. 3.0 m nodig tussen het bodempeil van het bovenhoofd en het plafond van de woelkelder. Hierdoor is de afstand tussen plafond woelkelder en bodempeil kolk beperkt tot 1.66 m (zie Tabel 2). De overige hoogte van de woelkelder dient gerealiseerd te worden door het verlagen van het bodempeil van de woelkelder. De sluisen met de laagste hoogte van de woelkelder zijn de duwvaartsluis te Wijnegem (3.15 m) en de sluis te Ampsin-Neuville (2.50 m). Om een

goede spreiding in de breedte te komen is een bepaalde lengte nodig voor de woelkelder. Hierom wordt in Tabel 2 de lengte van de woelkelder in relatie tot de kolkbreedte gegeven. Hieruit volgt dat de kleinste verhouding wordt gevonden voor de sluizen te Zemst, de duwvaartsluis te Wijnegem en het ontwerp voor de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville. De verhouding lengte woelkelder tot kolkbreedte bedraagt voor deze sluizen 0.64 tot 0.73. Voor de sluizen te Maasbracht en Born bedraagt de verhouding 1.14. Bij een kolkbreedte 36 m komt een verhouding 0.64 tot 0.73 overeen met een woelkelderlengte 23 m tot 26 m.

Rekening houdend met de karakteristieke randvoorwaarden voor de vernieuwde Royerssluis raadt WL aan om:

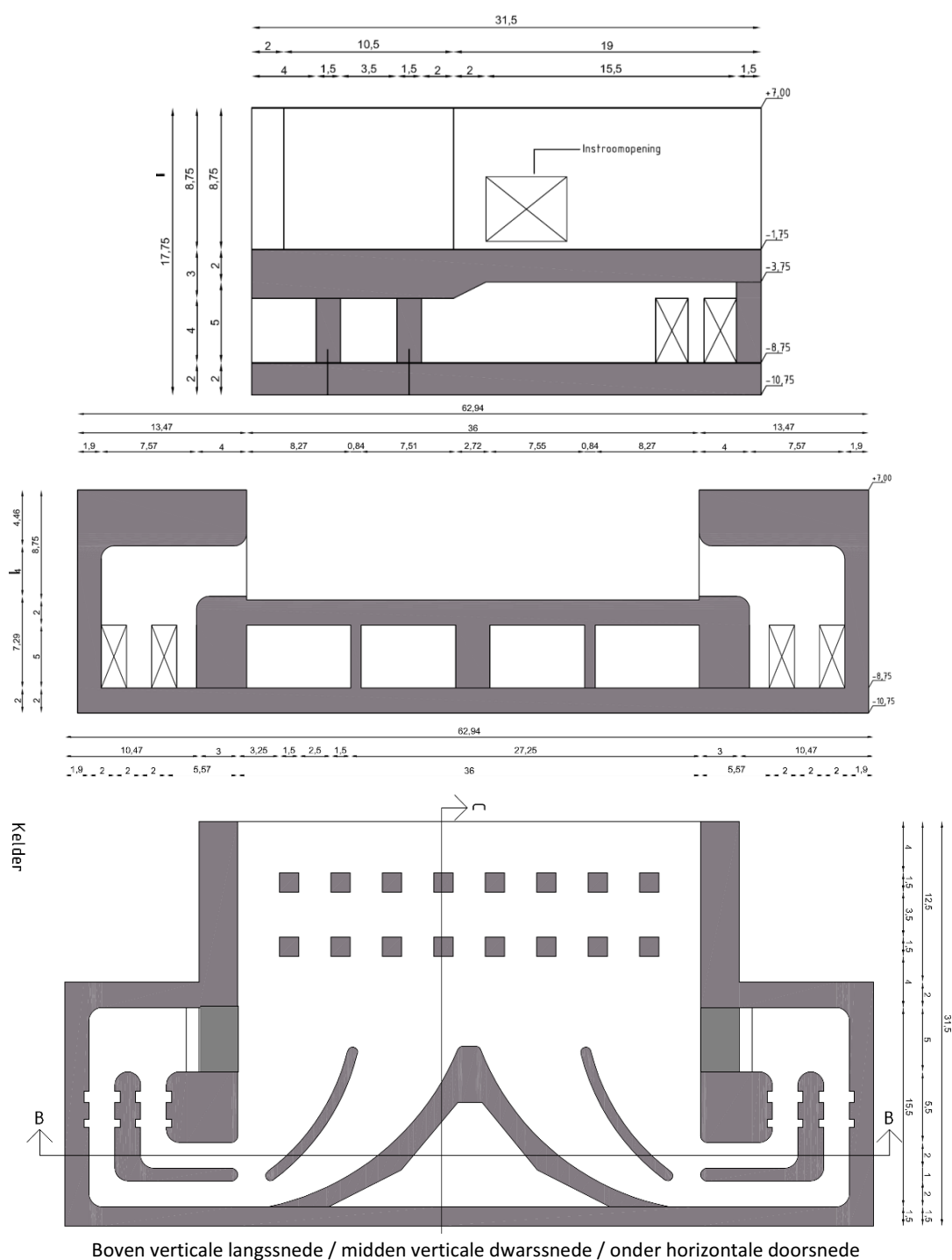
- te kiezen voor symmetrische inlaatopeningen in het verlengde van de kolkmuur zoals bij Ampsin-Neuville, Maasbracht en Born.
- de stroming over de woelkelderbreedte te spreiden door middel van een divergerende bocht met tussenschoepen (Zemst en duwvaartsluis Wijnegem) of een driehoekige splitter in combinatie met een halvering van de woelkelderhoogte (Ampsin-Neuville).
- de hoogte van de woelkelder te beperken en dissipatiepalen te gebruiken (duwvaartsluis Wijnegem en Ampsin-Neuville).
- als eerste benadering voor de dimensies van de woelkelder uit te gaan van een lengte 23 m tot 26 m voor de woelkelder (duwvaartsluis Wijnegem, Ampsin-Neuville en sluis Zemst) en een hoogte 2.5 m tot 3.0 m (duwvaartsluis Wijnegem, Ampsin-Neuville).

Twee omloopriolen met sectie 4 m x 4 m toe te passen, analoog met het voorontwerp voor een nivelleersysteem met korte omloopriolen. Rekening houdend met de kolkbreedte is deze sectie in verhouding tot de duwvaartsluis te Wijnegem en de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville.

5 Voorontwerp Witteveen & Bos

Door Witteveen & Bos werd een voorontwerp uitgewerkt voor een niveleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd voor de vernieuwde Royerssluis (mail De Cock, W. dd. 7/06/2018). De geometrie hiervan wordt gegeven in bijlage A. Hiervan worden enkele figuren overgenomen in Figuur 15.

Figuur 15 – Voorontwerp niveleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd voor vernieuwde Royerssluis



De inlaatopeningen bevinden zich net opwaarts de roldeur. De inlaat sluit aan op een verticale schacht. Merk op dat het plafond van de schacht horizontaal wordt uitgevoerd. Bij de sluizen te Zemst, Maasbracht en Born wordt het plafond hellend uitgevoerd. Dit is mogelijk voordeliger voor het voorkomen van luchtaanzuiging. Op de verticale schacht sluiten twee riolen aan met breedte 2.0 m en hoogte 4.0 m waarin de hefschuiven geplaatst zijn. Het bodempeil ter hoogte van de hefschuiven en het bodempeil van de woelkelder bedraagt -8.75 m TAW. Uit het ontwerp voor een nivelleersysteem met korte omloopriolen (Vercruysse *et al.*, 2016) voor de vernieuwde Royerssluis volgt dat bij schuiven met een hoogte 4.0 m en een bodempeil op -7.66 m TAW nog een marge van 1.0 m aanwezig is om lucht aanzuiging achter de hefschuif te voorkomen. Bij een bodempeil -8.75 m TAW bedraagt de marge op luchtaanzuiging bijgevolg ca. 2.0 m, wat merkkelijk hoger is dan de marge van 1.0 m gehanteerd in Vercruysse *et al.* (2016). Na de hefschuiven wordt een bocht gemaakt zodat de stroming loodrecht op de kolk-as de woelkelder binnenkomt. Om te voorkomen dat de stroming van beide hefschuiven zich concentreert aan de buitenbocht wordt een geleidingsmuur na de hefschuiven toegepast. Voor het richten van de stroming in de langs-as van de kolk wordt een divergerende bocht met een schoep voorzien. Tussen deze schoep en de geleidingsmuur na de schuiven bevindt zich een opening. Bij instroming in de woelkelder neemt de hoogte toe van 4.0 m (in de riool) naar 5.0 m (in de woelkelder). Het is niet gekend of dit gedaan is omwille van hydraulische of constructieve redenen. Hydraulisch wordt verwacht dat de stroming zich aan de buitenkant van de centrale splitter en schoep gaat bevinden. Het verhogen van het plafond is hierbij nadelig voor de spreiding van het debiet. Onder de roldeur bevinden zich twee rijen kolommen die dienst doen als breekbalken. Constructief is het logisch om de eerste en tweede rij kolommen gelijk te houden. Hydraulisch heeft het eerder de voorkeur om de eerste en tweede rij geschrinkt te plaatsen. De woelkelder heeft ter hoogte van de breekbalken een hoogte 4.0 m. Het bodempeil van de woelkelder ligt op -8.75 m TAW of 2.34 m onder het bodempeil van de kolk -6.41 m TAW. De aansluiting van de bodem van de woelkelder met de bodem van de kolk is nog niet uitgewerkt. Gelet op de beperkte kielspeling in de vernieuwde Royerssluis kan onderzocht worden of het voordelig is om het lagere bodempeil van de woelkelder over langere afstand in de kolk te laten doorlopen, zoals bij de duwvaartsluis te Wijnegem.

Eventueel kan overwogen worden om de bodem van de woelkelder met 1.0 m te verhogen tot -7.75 m TAW met behoud van het plafondpeil van de woelkelder. Dit maakt het vermoedelijk constructief eenvoudiger om het bodempeil van de woelkelder in de kolk door te trekken tot onder de boeg van de in de kolk aangemeerde schepen, analoog met de duwvaartsluis te Wijnegem. De hoogte van de uitstroomopening bedraagt hierna nog 3.0 m wat overeenkomt met de duwvaartsluis te Wijnegem (3.15 m) en de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville (2.50 m). Een tweede voordeel is dat de riolen hierbij ook met 1.0 m verhoogd worden en dat de rioolhoogte overeenkomt met de hoogte van de woelkelder. Dit vermindert het effect van concentratie van de stroming aan de buitenzijde van de diffusor en de schoep in de woelkelder. Voor luchtaanzuiging achter de hefschuiven neemt de marge dan af tot 1.0 m wat overeenkomt met de marge uit het voorontwerp met korte omloopriolen.

Aangezien de uitlaatopening ook dienst zal doen als inlaatopening op de momenten dat het Scheldepeil hoger is dan het dokpeil dient een afronding toegepast worden in het dagvlak van de inlaat om verliezen ten gevolge van contractie te verminderen. De overgang tussen het dagvlak van de uitlaat van de woelkelder en de vloer van het bovenhoofd wordt rechthoekig uitgevoerd. Bij de duwvaartsluis te Wijnegem, de sluis te Zemst en de sluizen te Maasbracht en Born wordt hier een afschuining toegepast. Uit Jongeling (2005) volgt dat deze afschuining geoptimaliseerd werd om de invloed van de drempel op de translatiegolven in de kolk bij de overgang van het waterpeil naar het bodempeil van het bovenhoofd te beperken.

Tijdens de verdere constructieve analyse is gebleken dat de financiële besparing door te kiezen voor een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd relatief beperkt is ten opzichte van een nivelleersysteem met korte omloopriolen. Gelet op de beperkte tijd die beschikbaar is voor het hydraulisch en constructief ontwerp van het nivelleersysteem van de vernieuwde Royerssluis werd om die reden door aMT besloten om een nivelleersysteem met woelkelder niet te weerhouden voor het bovenhoofd. Het hierboven besproken ontwerp werd vervolgens ook niet verder uitgewerkt.

6 Conclusies

Afdeling Maritieme Toegang (aMT, contactpersonen: W. De Cock en S. Nullens) heeft aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) gevraagd om een voorstudie uit te voeren naar de haalbaarheid van een nivelleersysteem met een woelkelder in het bovenhoofd voor de vernieuwde Royerssluis. Een dergelijk nivelleersysteem is mogelijks economischer naar materiaal en bouwkuip grootte toe in vergelijking met het oorspronkelijk ontwerp met korte omloopriolen.

Hiervoor werd een beknopte analyse uitgevoerd van de bij WL gekende sluizen met woelkelder in Vlaanderen, Wallonië en Nederland. Uit deze analyse volgde dat de sluis te Zemst op het Zeekanaal Brussel-Schelde, de duwvaartsluis te Wijnegem op het Albertkanaal, het ontwerp van de nieuwe sluis te Ampsin-Neuville op de Maas en de sluizen te Maasbracht en Born op het Julianakanaal relevant zijn voor het ontwerp van de vernieuwde Royerssluis. Uit de analyse van de plannen, de ervaringen in situ en de ontwerprapporten volgt dat het belangrijk is om een goede spreiding van de stroming in de breedte te voorzien. Om de stroming te spreiden over de kolkbreedte worden verschillende hydraulische ingrepen toegepast:

- divergerende bocht met geleidingsschoepen (Zemst en duwvaartsluis Wijnegem),
- dissipatiekolommen (Maasbracht en Born),
- driehoekige splitter in combinatie met halvering hoogte woelkelder (Ampsin-Neuville).

Om de stroming verder te optimaliseren wordt nog gebruikt gemaakt van:

- rechte schotten (Zemst, Maasbracht en Born)
- schuin opstaande schoepen (Zemst, Maasbracht en Born)
- dissipatiepalen (duwvaartsluis Wijnegem en Ampsin-Neuville)
- geleidelijke toename woelkelderhoogte (Ampsin-Neuville, Maasbracht en Born)

Uit de analyse volgt dat een nivelleersysteem met woelkelder geschikt is voor vullingen via het bovenhoofd tot een verval ca. 12.0 m. De bijhorende nivelleertijden liggen tussen 6 min en 12 min. Bij de duwvaartsluis te Wijnegem en bij de sluizen te Maasbracht en Born is er algemene tevredenheid van de beheerders over de nivelleertijd en de krachten op de schepen in de kolk. Bij de sluis te Zemst en de sluizen met een hefdeur zijn bij WL geen problemen gekend.

Op basis van de specifieke karakteristieke randvoorwaarden voor de vernieuwde Royerssluis raad WL aan om:

- te kiezen voor symmetrische inlaatopeningen in het verlengde van de kolkmuur (Ampsin-Neuville, Maasbracht en Born).
- het spreiden van de stroming in de breedte door middel van een divergerende bocht met tussenschoep (Zemst en duwvaartsluis Wijnegem) of driehoekige splitter in combinatie met halvering woelkelderhoogte (Ampsin-Neuville).
- de hoogte van de woelkelder te beperken en dissipatiepalen te gebruiken (duwvaartsluis Wijnegem en Ampsin-Neuville).

Op basis hiervan werd door Witteveen & Bos een eerste voorontwerp voor een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd uitgewerkt. Uit de verdere constructieve analyse volgde echter dat de besparing door te kiezen voor een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd beperkt is ten opzichte van een nivelleersysteem met korte omloopriolen. Gelet op de beperkte tijd beschikbaar voor het hydraulisch en constructief ontwerp van het nivelleersysteem voor de vernieuwde Royerssluis werd door aMT besloten om een nivelleersysteem met woelkelder in het bovenhoofd niet te weerhouden.

7 Referenties

- Actiflow.** (2014). CFD-studie naar de stroming in de nieuwe Royerssluis: gridgevoeligheidsstudie. versie 1.2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Actiflow.** (2015). CFD-studie naar stroming door de omloopriolen van de nieuwe Royerssluis: eindrapportage. versie 1.1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Baardewijk, A.P.H.; Tromp, W.A.J.** (1960). Drielingsluis in het Julianakanaal bij Maasbracht rapport schaalmodelonderzoek M627
- Corluy, L.; Weemaes, W.** (1969). Vulling van een sluis door of onder de bovendeuuren. Ir thesis. Katholieke Universiteit Leuven (KUL): Leuven
- Deltares.** (2014). Aanvullende LOCKFILL berekeningen van de nieuwe sluis te Harelbeke
- Excavator.** (1966). Ringvaart: deel II. De Ringvaart: beschrijving van de werken. *Excavator* 6: 1–63
- Jongeling, T.H.G.** (2005). Verlenging schutsluizen Maasbracht en Born advies m.b.t hydraulische aspecten gerelateerd aan: vullen en ledigen van de verlengde kolken uitwisselen van water tussen kolken. 134 pp.
- Ministerie van Openbare Werken. Bruggen en Wegen. Dienst van het Albertkanaal en de kanalen in de provincies Antwerpen en Limburg.** (1946). Albertkanaal sluis VI te Wijnegem Algemeen plan van de sluizen voor schepen van 2000t volgens uitvoering C5 3075. 1 pp.
- Ministerie van Openbare Werken. Bruggen en Wegen. Dienst van het Albertkanaal en de kanalen in de provincies Antwerpen en Limburg.** (1984). Albertkanaal Duwvaartsluis Wijnegem 1e fase Bovenaanzicht Lengtedoorsnede C5 8078/10
- Ministerie van openbare werken. Bruggen en Wegen bijzondere dienst van het stroomgebied der Schelde.** (1949). Dender. Sluis te Aalst. Bestaande constructies B3-3087. Kopij van plan goedgekeurd op 25 februari 1862
- Ministerie van openbare werken. Bruggen en Wegen bijzondere dienst van het stroomgebied der Schelde.** (S.d.). Dender stuwsluis te Dendermonde Algemeen plan B36043
- N.V. Zeekanaal en haveninrichtingen van Brussel.** (1967). Sluis te Zemst. Burgerlijke bouwkunde. Sluis. Verschillende doorsneden. Plan nr. 382-5. 21/10/1967
- SBE.** (2005). Albertkanaal 16m - sluizen te Wijnegem Vernieuwen opwaartse en afwaartse deuren - zichten en senden afwaartse deur. Plan nr. 4134/002 datum 22/05/2005
- Schwanenberg, D.; Jongeling, T.H.G.** (2003). Vul- en ledigingssysteem Royerssluis: deelopdracht I. Eerste ontwerp. Q2887. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Theuns, J.; Sterling, A.** (1962). Model der schutsluis te Merelbeke: verslag betreffende de vulling en lediging der schutkolk. *WL Rapporten*, 193–2. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout
- Tromp, W.A.J.** (1959). Dubbele schutsluis in het Julianakanaal bij Born rapport schaalmodelonderzoek M570
- UCL; SPW.** (2013a). Ecluse 225 m x 25 m d'Ampsin-Neuville Assistance à l'étude par modélisation physique et numérique du system d'alimentation en eau du sas. 132 pp.
- UCL; SPW.** (2013b). Ecluse 225 m x 25 m d'Ampsin-Neuville Assistance à l'étude par modélisation physique et numérique du system d'alimentation en eau du sas. Annexes. 400 pp.
- Verbist, F.; D'Heygers, O.; Sterling, A.** (1968). Sluis te Zemst: stand der studies 28.10.68. *WL Rapporten*, 254–1. Vlaams Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout
- Vercruysse, J.B.; De Mulder, T.; Verelst, K.; Mostaert, F.** (2009). Zeekanaal Brussel Schelde: renovatie middendeuuren sluis Zemst. Verslag terreinmetingen voor renovatie. *WL Rapporten*, 760_04c. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Haven van Antwerpen - Royerssluis: deelrapport 2. Hydraulisch ontwerp nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden voor

vernieuwde Royerssluis. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 12_131_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XI, 104 + 35 appendices pp.

Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017a). Haven van Antwerpen - Royerssluis: aanvullende simulaties nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 17_041_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://www.vliz.be/nl/open-marien-archief?module=ref&refid=289046>

Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017b). Klasse Vb-sluis te Sint-Baafs-Vijve: Optimalisatie ontwerp breekbalken.. *WL Rapporten*, 16_065_1: Antwerpen, België

Verelst, K.; Vercruysse, J.B.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2013). Haven van Antwerpen - Royerssluis: voorontwerp nivelleersysteem vernieuwde Royerssluis. *WL Rapporten*, 12_131. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

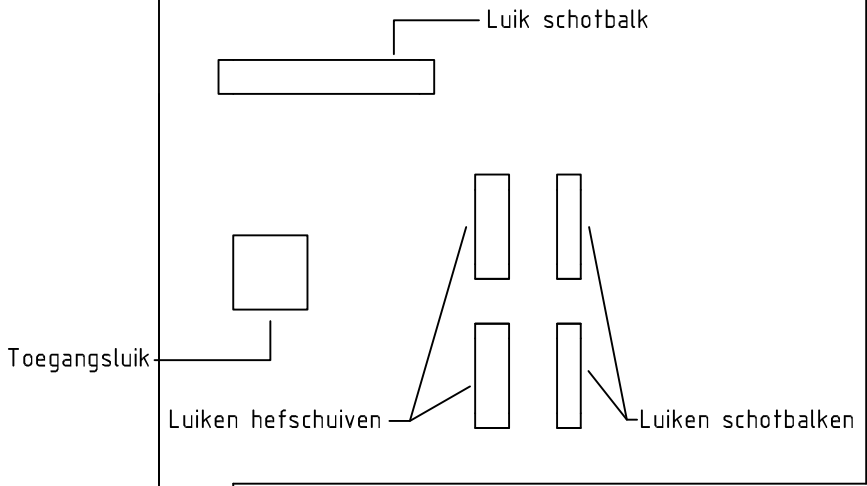
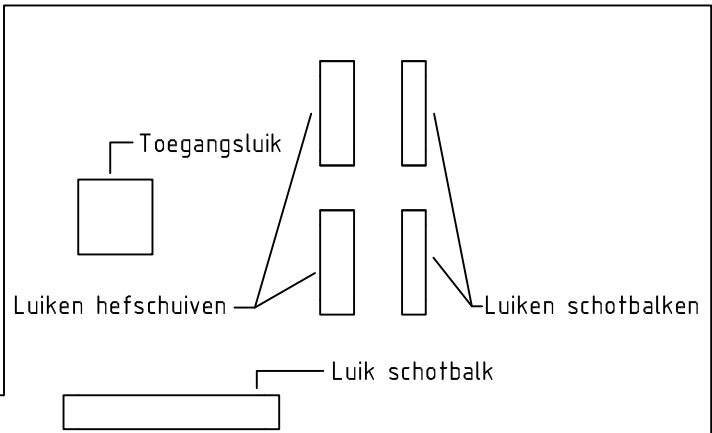
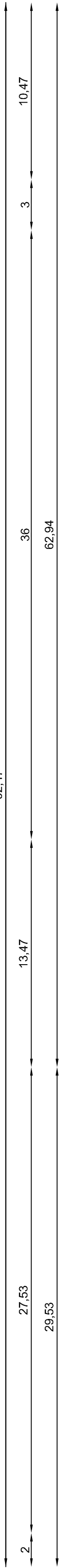
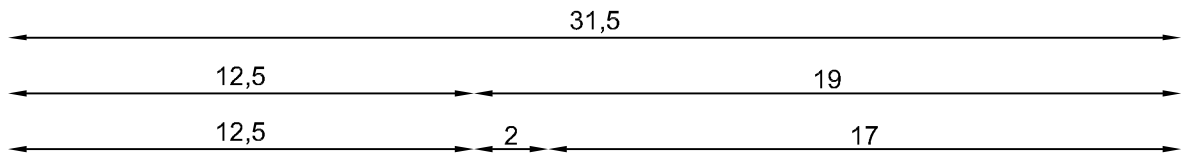
Verschaeren, W.; Verbist, F. (1986). Sluis te Wijnegem. *WL Rapporten*, 424. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Verwilligen, J.; Eloit, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2012). Ontwerp voorhaven vernieuwde Royerssluis: simulatiestudie. *WL Rapporten*, 807_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Waterwegen en Zeekanaal NV. (S.d.a). Sluis te St. Baafs-Vijve inspectieplan (patrimonium databank dd. 5/11/2015)

Waterwegen en Zeekanaal NV. (S.d.b). Stuwsluis te Harelbeke - sluis Inspectieplan (patrimonium databank dd. 5/11/2015)

Bijlage: Voorontwerp Witteveen & Bos vulsysteem met woelkelder voor vernieuwde Royerssluis



Deurkamer

Versie:	Opsteller:	Datum:	Omschrijving:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

SITUATIE

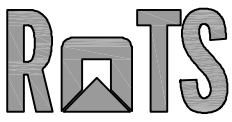


BAM NV-Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel
Rijnkaai 37
2000 Antwerpen
Tel. +32 3 203 00 30, FAX +32 3 203 00 31
info@bamnv.be

MASTERPLAN 2020
OOSTERWHEELVERBINDING
RECHTEROEVER

Objectcode:	Auteur:	Doc. type:	Nummer:	Fase:	Onderwerp:	Versie:	Status:	Schaal:
	VROS	TEK	001	DO	ROS	0,1		1/200

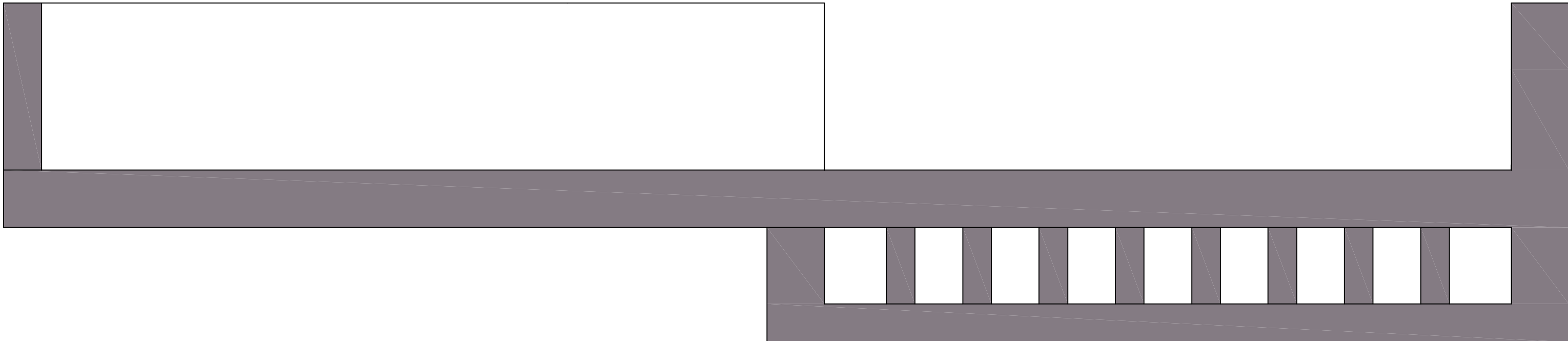
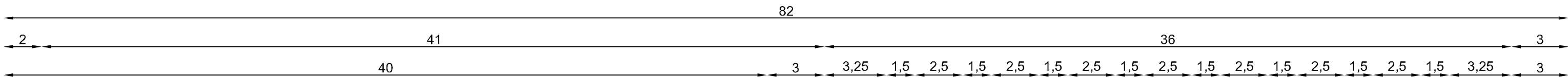
ROS



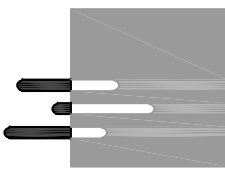
TV ROTS
Stationsstraat 51
2800 Mechelen

Naam:	Datum:	Paraaf:	Formaat:
Opsteller: S Vromans	06-06-2018		
Verificatie: O. Los	06-06-2018		A2
Autorisatie:			

Bovenaanzicht



Doorsnede A-A



bam
BAM NV-Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel
Rijnkaai 37
2000 Antwerpen
Tel. +32 3 203 00 30, FAX +32 3 203 00 31
Info@bamnv.be

MASTERPLAN 2020
OOSTERWEEVERBINDING
RECHTEROEVER

Objectcode:	Auteur:	Doc. type:	Nummer:	Fase:	Onderwerp:	Versie:	Status:	Schaal:
VR0S	TEK	003	DO	ROS	0.1			1/200

ROS

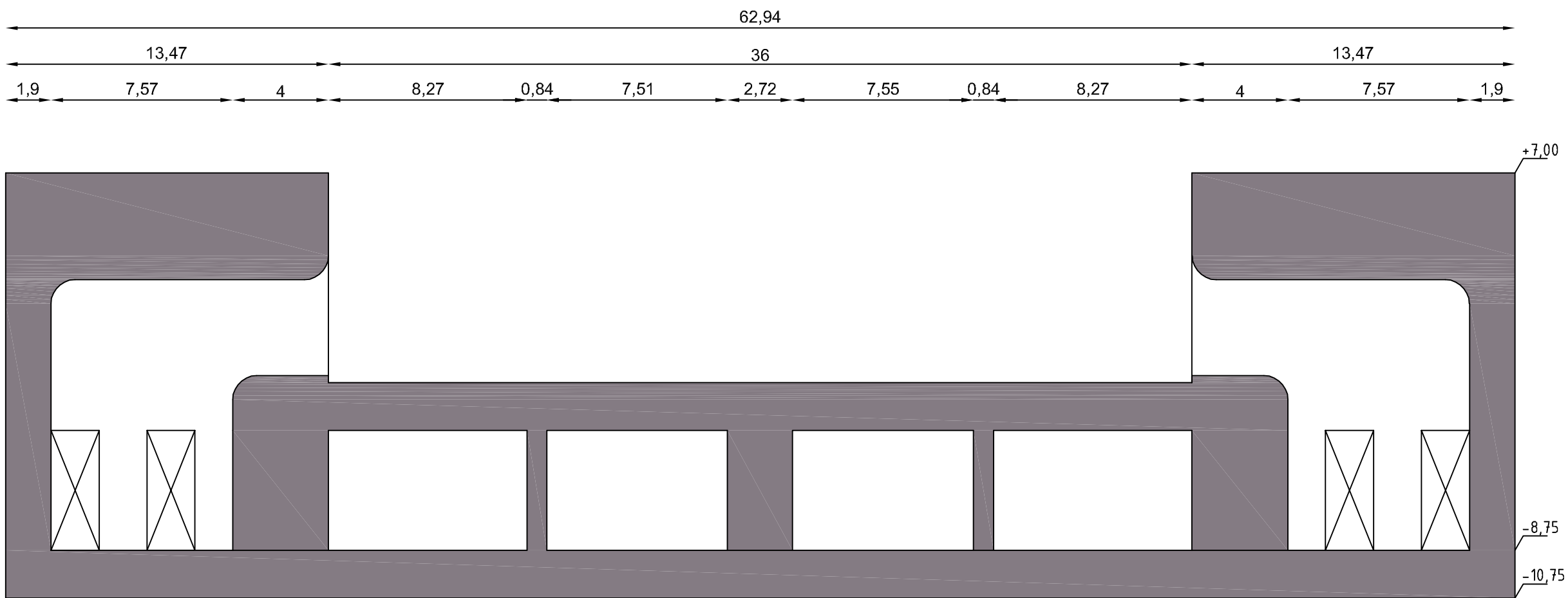
Versie:	Opsteller:	Datum:	Omschrijving:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			



TV ROTS
Stationsstraat 51
2800 Mechelen

Naam:	Datum:	Paraaf:	Formaat:
Opsteller: S. Vromans	06-06-2018		
Verificatie: O. Los	06-06-2018		
Autorisatie:			

A2



Doorsnede B-B

Versie:	Opsteller:	Datum:	Omschrijving:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

SITUATIE

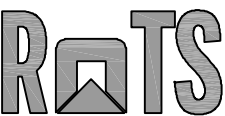


BAM NV-Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel
Rijnkaai 37
2000 Antwerpen
Tel. +32 3 203 00 30, FAX +32 3 203 00 31
Info@bamnv.be

MASTERPLAN 2020
OOSTERWEELVERBINDING
RECHTEROEVER

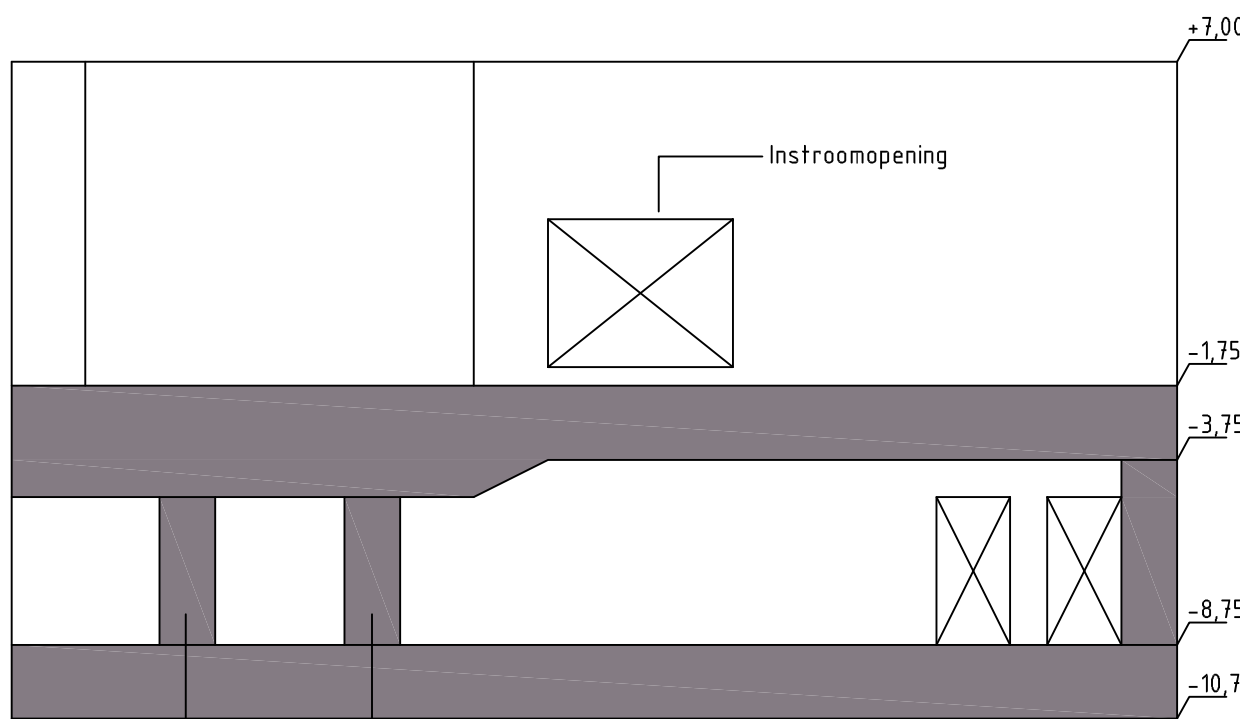
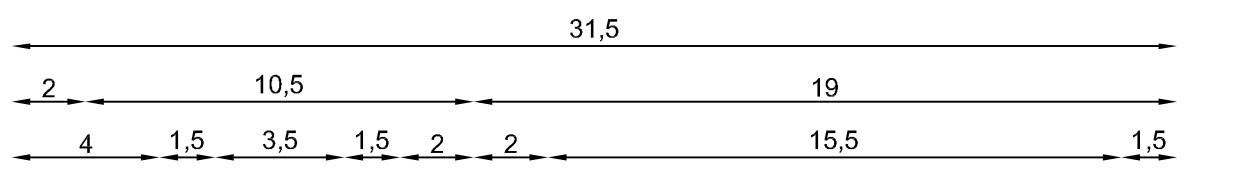
Objectcode:	Auteur:	Doc. type:	Nummer:	Fase:	Onderwerp:	Versie:	Status:	Schaal:
	VR0S	TEK	005	DO	ROS	0.1		1/200

ROS



TV ROTS
Stationsstraat 51
2800 Mechelen

Opsteller:	Naam:	Datum:	Paraaf:	Formaat:
	S. Vromans	06-06-2018		A2
Verificatie:	O. Los	06-06-2018		
Autorisatie:				

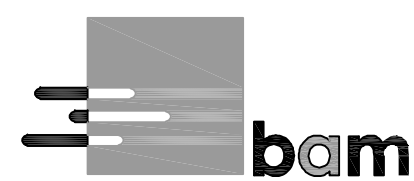


Breekbalken

Doorsnede C-C

Versie:	Opsteller:	Datum:	Omschrijving:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

SITUATIE

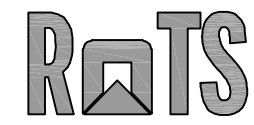


BAM NV-Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel
Rijnkaai 37
2000 Antwerpen
Tel. +32 3 203 00 30, FAX +32 3 203 00 31
info@bamnv.be

MASTERPLAN 2020
OOSTERWEELVERBINDING
RECHTEROEVER

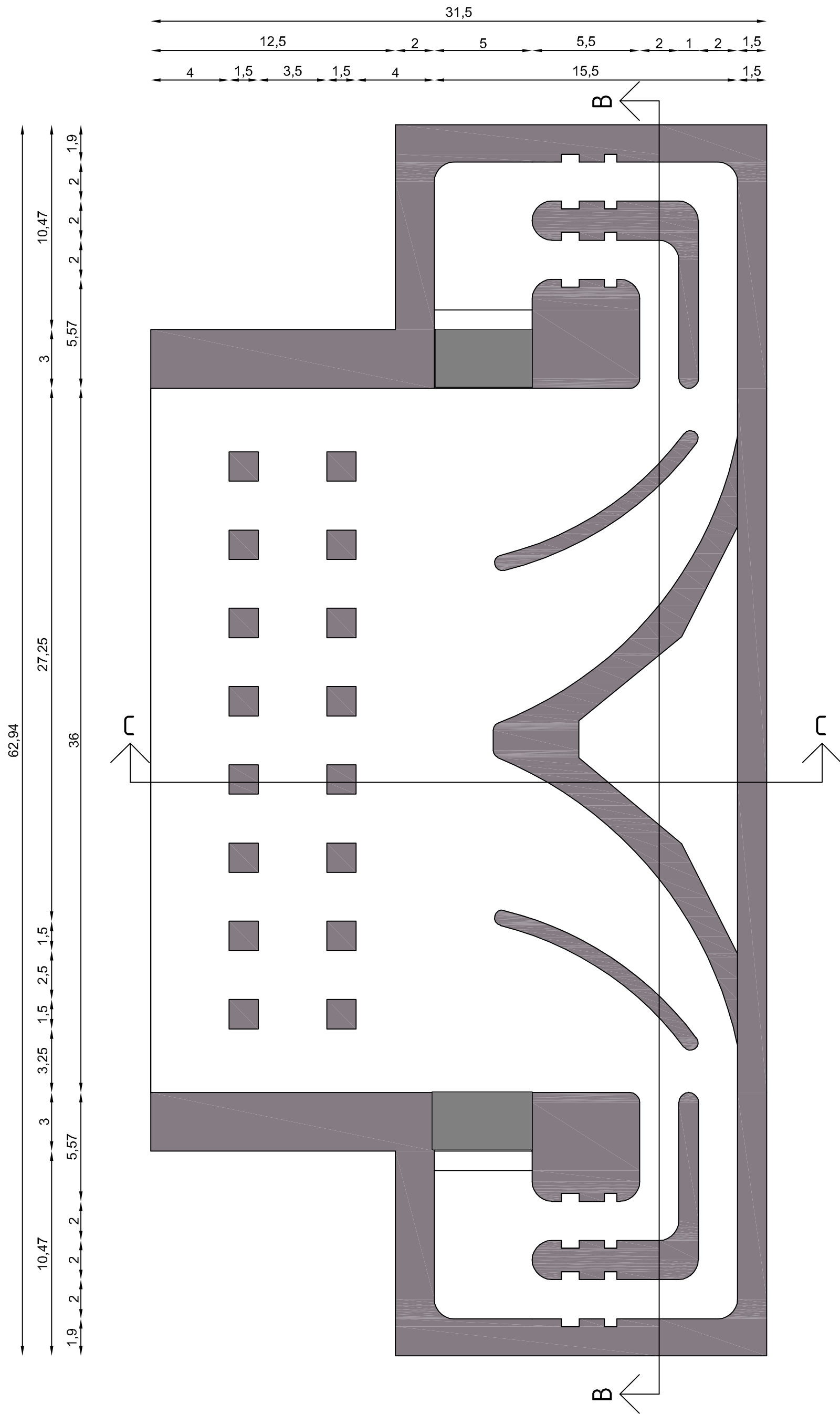
Objectcode:	Auteur:	Doc. type:	Nummer:	Fase:	Onderwerp:	Versie:	Status:	Schaal:
	VR0S	TEK	006	DO	ROS	0.1		1/200

ROS



TV ROTS
Stationsstraat 51
2800 Mechelen

Naam:	Datum:	Paraaf:	Formaat:
Opsteller: S. Vromans	06-06-2018		A3
Verificatie: O. Los	06-06-2018		
Autorisatie:			



Kelder

Versie:	Opsteller:	Datum:	Omschrijving:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

SITUATIE



BAM NV-Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel
Rijnkaai 37
2000 Antwerpen
Tel. +32 3 203 00 30, FAX +32 3 203 00 31
Info@bamnv.be

MASTERPLAN 2020
OOSTERWEELVERBINDING
RECHTEROEVER

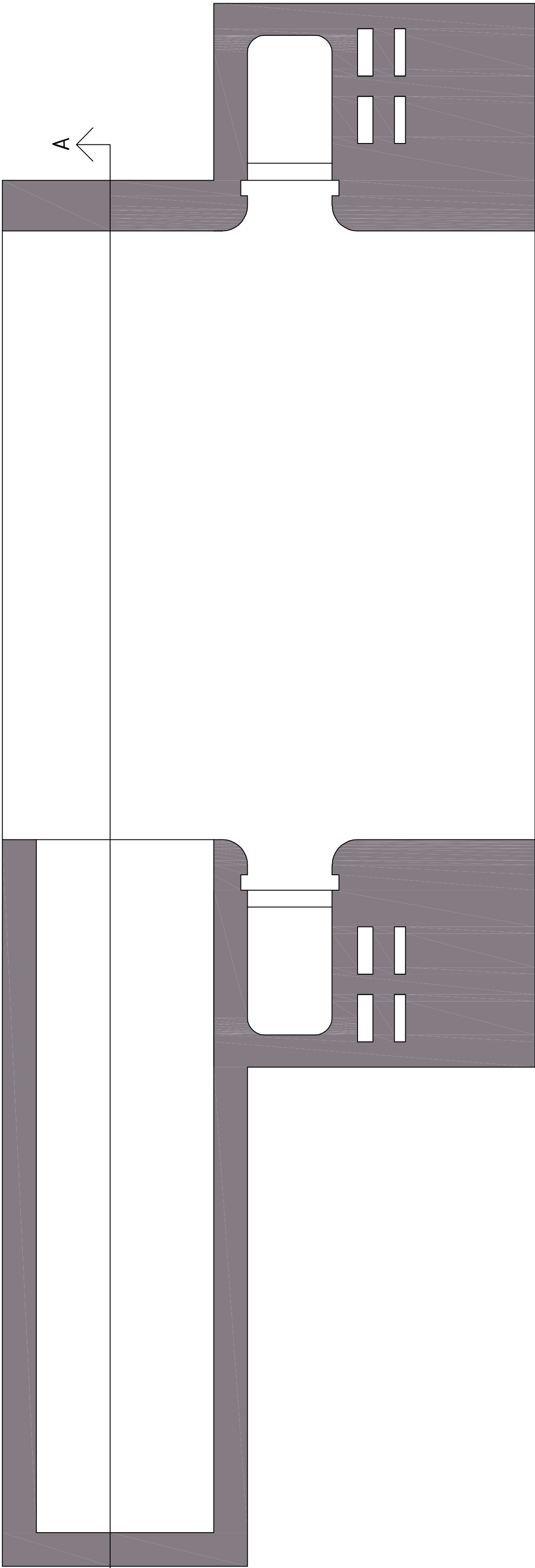
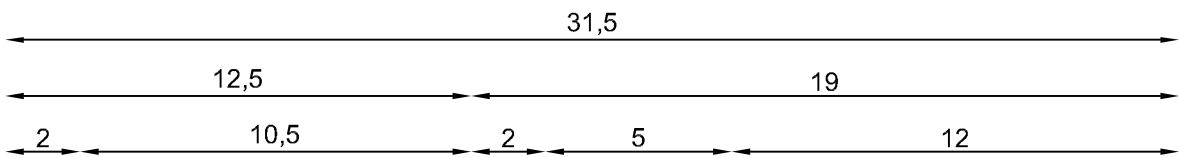
Objectcode:	Auteur:	Doc. type:	Nummer:	Fase:	Onderwerp:	Versie:	Status:	Schaal:
	VR0S	TEK	004	DO	ROS	0.1		1/200

ROS



TV ROTS
Stationsstraat 51
2800 Mechelen

Opsteller:	Naam:	Datum:	Paraaf:	Formaat:
	S. Vromans	06-06-2018		A2
Verificatie:	O. Los	06-06-2018		
Autorisatie:				



Versie:	Opsteller:	Datum:	Omschrijving:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

SITUATIE

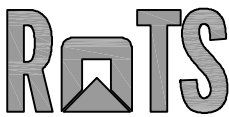


BAM NV-Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel
Rijnkaai 37
2000 Antwerpen
Tel. +32 3 203 00 30, FAX +32 3 203 00 31
info@bamnv.be

MASTERPLAN 2020
OOSTERWHEELVERBINDING
RECHTEROEVER

Objectcode:	Auteur:	Doc. type:	Nummer:	Fase:	Onderwerp:	Versie:	Status:	Schaal:
VROS	TEK	002	DO	ROS		1		1/200

ROS



TV ROTS
Stationsstraat 51
2800 Mechelen

Naam:	Datum:	Paraaf:	Formaat:
Opsteller: S. Vromans	06-06-2018		
Verificatie: O. Los	06-06-2018		A2
Autorisatie:			

Vloerplan

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be