



Unieke segmentdeur en duurzaamheid maatgevend bij aanbesteding

Tweede kolk voor sluis Eefde

Rijkswaterstaat werkt aan een betere bereikbaarheid van de Twentekanalen. Onderdeel daarvan is de uitbreiding van de sluis bij Eefde met een tweede sluiscolk. Hierdoor kunnen meer schepen de sluis passeren en krijgt de regio een economische impuls. Voor het bovenhoofd is gebruikgemaakt van een voor Nederland uniek type deur: de segmentdeur.

Het sluizencomplex bij Eefde bevindt zich in het Twentekanaal. Het is een rijksmonument uit 1933 dat zowel voor waterhuishouding als voor scheepvaartverkeer wordt gebruikt. De sluis vormt de toegangspoort vanaf de IJssel naar de Twentekanalen. De hoofdtak van de Twentekanalen loopt vanaf Eefde in oostelijke richting naar Enschede. Ten westen van Delden loopt er een zijtak naar het noorden richting Almelo (fig. 2).

Het hoogteverschil in het kanaal van Eefde naar Enschede is 21 m. Om dat verschil te overbruggen, heeft het Twentekanaal drie schutsluizen. Het sluizencomplex bij Eefde is de meest westelijke daarvan. Afhankelijk van de waterstand op de IJssel varieert het verval bij deze sluis. In het Twentekanaal wordt bij Eefde een kunstmatig beheerst peil gehandhaafd van NAP +10,0 m. Het peil op de IJssel varieert van NAP +0,70 m tot NAP +8,40 m. Er wordt alleen gesluisd bij waterstanden op de IJssel tussen NAP +1,46 m tot NAP +8,20 m. Deze waterstanden volgen uit het rapport met hydraulische randvoorwaarden welke onderdeel is van de DBFM overeenkomst. De waterstanden worden voor het civiel ontwerp toegepast op gebied van constructies, geotechniek, geohydrologie, hydraulica, nautiek, nautische voorzieningen, aanvaarbeveiligingen, aanmeervoorzieningen, sluit-, nivelleer- en openingstijden (SNO-tijden).

Om het huidige capaciteitsprobleem van de sluis Eefde op te lossen en te zorgen voor een vlotte, betrouwbare en veilige



2

verkeersafwikkeling over het Twentekanaal, moet het sluizencomplex worden uitgebreid met een tweede colk. Het project Uitbreiding Sluis Eefde is onderdeel van het programma Sluizen van Rijkswaterstaat.

Aanbesteding

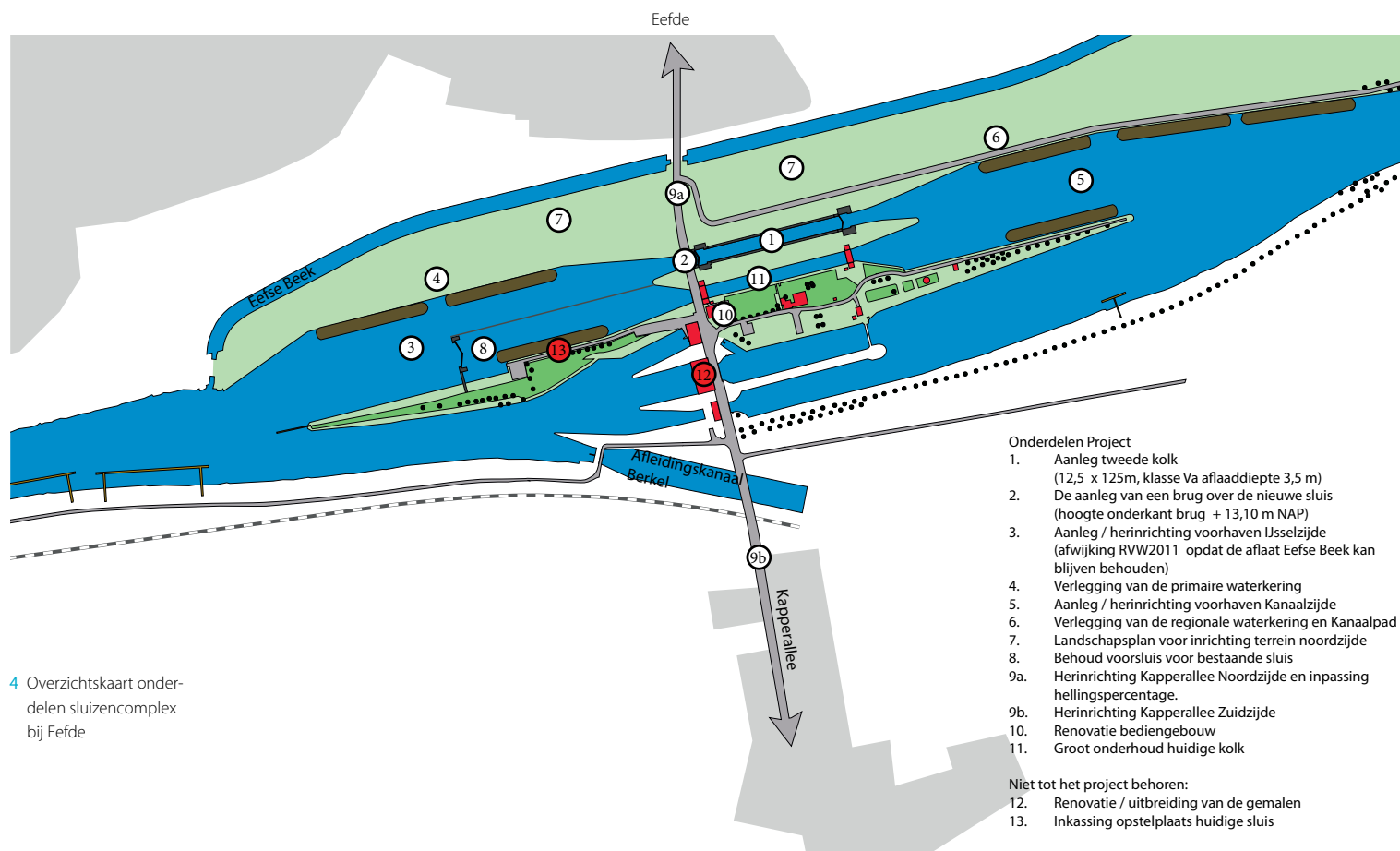
Op 4 november 2015 begon Rijkswaterstaat met de aanbesteding. Het project is onderdeel van het MIRT3-besluit (Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport). Het uitgangspunt was daarbij een aanbesteding met een DBFM-overeenkomst. In de aanbestedingsfase hebben dialooggesprekken plaatsgevonden met vier marktpartijen.

3a



3b





De DBFM-overeenkomst bestaat uit de volgende opgave:

- Ontwerp, aanleg, financiering en onderhoud van een nieuwe tweede sluis kolk bij Eefde met de minimale afmeting voor een klasse Va schip met een aflaaddiepte van 3,50 m.
- Aanleggen en onderhouden van een brug over de nieuwe sluis.
- Herinrichten en onderhouden van het gebied ten noorden van de nieuwe sluis.
- Aanleggen en onderhouden van een nieuw middeneiland.
- Aanpassen van de wegverbinding Kapperallee tussen zuid- en noordzijde van het kanaal.
- Realiseren en onderhouden van diverse ligplaatsen.
- Renoveren van het bestaande bediengebouw.
- Verplaatsen van de primaire en regionale waterkeringen aan de noordzijde van het kanaal voor zover noodzakelijk is ten gevolge van de aanleg van de nieuwe sluis.
- Uitvoeren van groot onderhoud aan de bestaande kolk.
- In gebruik nemen tweede kolk Eefde uiterlijk na voltooiingsdatum 31 oktober 2020.
- Onderhoudsfase van 27 jaar na beschikbaarheidsdatum; 20 april 2020.

Het project is gegund aan het consortium Lock to Twente (L2T), een samenwerking tussen TBI-ondernemingen Mobilis (civiele techniek), Croonwolter&dros (technische installaties)

en TBI PPP (financiering). Op woensdag 14 december 2016 hebben Rijkswaterstaat en L2T het DBFM-contract ondertekend. Op 17 augustus 2017 is het aanvancingscertificaat ontvangen voor de start op 26 augustus 2017.

Toelichting EMVI-score op duurzaamheid en omgeving

In het aanbestedingsproces is met name een hogere EMVI-score behaald voor oplossingen op gebied van duurzaamheid en omgeving. Onder andere de volgende duurzame maatregelen zijn bedacht:

- Milieuvriendelijk materiaalgebruik.
- Materiaal wordt zo veel mogelijk vervoerd over water.
- De grond die vrijkomt bij aanleg wordt zo veel mogelijk gebruikt om de omgeving opnieuw in te richten.
- De nieuwe sluis is zodanig ontworpen dat deze energieneutraal is. De technische installaties worden energiezuinig uitgevoerd. De energie die nog nodig is voor bediening van de sluis, wordt op het sluisencomplex opgewekt met zonnepanelen.
- Toepassing van een segmentdeur in de sluis.
- Vervanging van het huidige bediengebouw door een energiezuinig en toekomstbestendig gebouw dat aansluit op het monumentale en landschappelijke karakter van het sluisencomplex.

Voor de omgeving zijn onder andere de volgende oplossingen bedacht:

- Uitstraling bestaande monumentale sluis wordt behouden.
- Wandelpaden en uitkijkpunten realiseren.
- Voor elke verwijderde boom wordt weer een nieuwe teruggeplaatst.

Trade-off-matrixen

Om tot de meest optimale ontwerpopties te komen voor de sluis zijn diverse varianten onderzocht. Voor de verschillende onderdelen zijn diverse trade-off-matrixen opgesteld. Het betreft de volgende onderdelen:

- kolkconstructie;
- nivelleersysteem bovenhoofd;
- nivelleersysteem benedenhoofd;
- deur bovenhoofd;
- deur benedenhoofd;
- bewegingswerk;
- bouwmethode bovenhoofd- en benedenhoofd;
- open of gesloten kolkvloer.

Varianten kolkconstructie

Er zijn zes varianten opgesteld voor de kolkconstructie.

Variant 1.1 (fig. 5a)

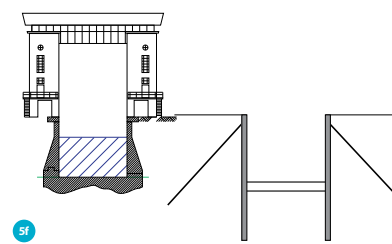
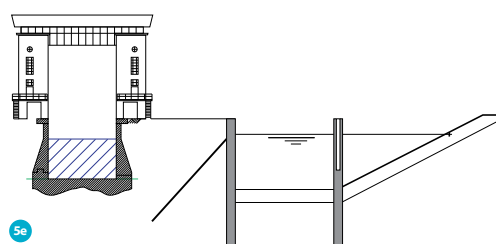
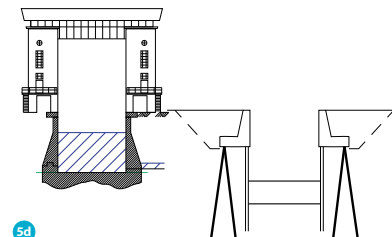
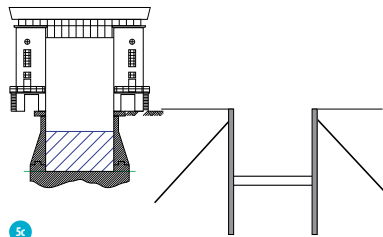
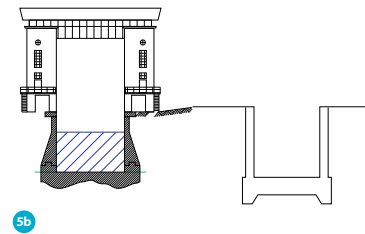
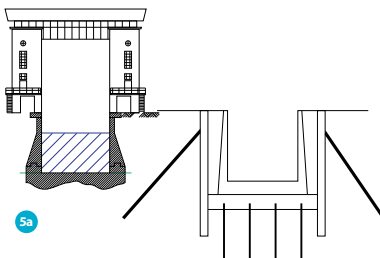
Een U-vormige doorsnede van de kolk, bestaande uit een monoliet verbonden constructievloer met betonwanden. Deze wordt gebouwd in een tijdelijke bouwkuip bestaande uit verankerde damwanden, onderwaterbetonvloer en trekpalen.

Variant 1.2 (fig. 5b)

Kolk die op maaiveld wordt gebouwd en vervolgens pneumatisch wordt afgezonken.

Variant 1.3 (fig. 5c)

Kolk met verankerde damwanden met een gewapende betonvloer als tijdelijke en definitieve constructie. De damwanden worden afgewerkt met een definitieve in-situvoorzetwand.



Variant 1.4 (fig. 5d)

Kolk met een kademuurconstructie op palen en damwanden. De vloer van de kolk is een betonvloer.

Variant 1.5 (fig. 5e)

Kolk als variant 1.3 maar met aan één zijde een open damwand met een spaarbekken (eenzijdig zogenoemde groene kolk).

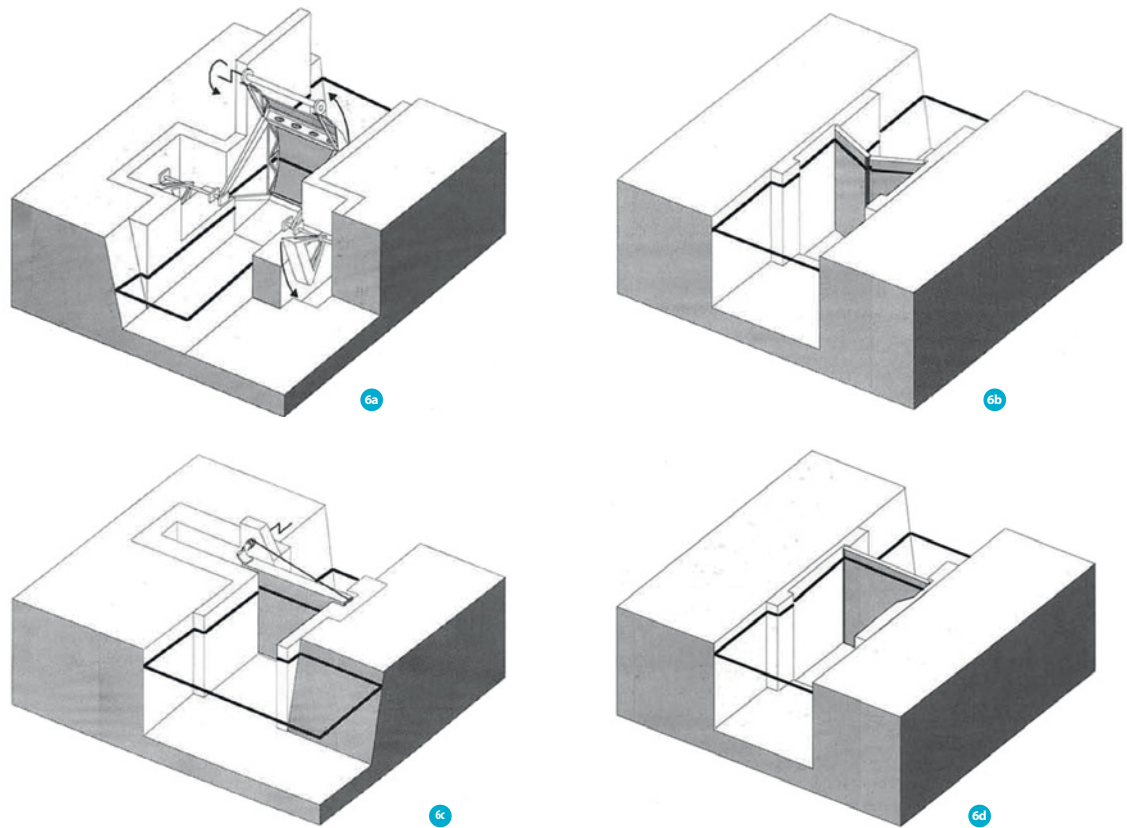
Variant 1.6 (fig. 5f)

Kolk met in de grond gevormde verankerde wanden (diepwanden) met een gewapende betonvloer als tijdelijke en definitieve constructie. De in de grond gevormde wanden worden afgewerkt met een definitieve in-situvoorzetwand.

Op basis van een trade-off-matrix (tabel 1) is variant 1.3 met een definitieve damwandconstructie als meest optimale oplossing gekozen. Hierbij zijn scores vergeleken op het gebied van contracteisen, EMVI, kosten, planningseffect, RAMS-prestaties en risico's. De kostenafweging was hierin doorslaggevend.

Tabel 1 Trade-off-matrix kolkconstructie

	variant 1.1	variant 1.2	variant 1.3	variant 1.4	variant 1.5	variant 1.6
voordelen variant	beproefde methode relatief simpel	werken vanaf maaiveld, geen hulpwerk	definitieve constructie	definitieve constructie, beperkte bouwkuip	relatief lage bouwkosten	definitieve constructie
nadelen variant	kostbaar verloren delen in tijdelijke bouwkuip als: trekankers, owb, damwanden. Eindsituatie op staal	specialistisch	niet direct gladde sluis, voorzetwand nodig, dubbele rij ankers, geen gording	veel palen, zware trekelementen	waterbezwaaar, geen gebruikelijke methode, inpasbaarheid, asymmetrisch	niet direct gladde sluis, voorzetwand nodig



6 Varianten deur voor beneden- en bovenhoofd:
 (a) segmentdeur,
 (b) puntdeuren,
 (c) roldeur en
 (d) enkele draaideur
 bron: Ontwerp van schutsluizen,
 Bouwdienst Rijkswaterstaat

Varianten deur voor beneden- en bovenhoofd

Ook voor de deuren in het beneden- en bovenhoofd zijn diverse varianten onderzocht. Er zijn vier oplossingen bekeken.

Variante 4.1 (fig. 6a): Segmentdeur

Een segmentdeur is een voor Nederland unieke oplossing. Het is een deur met in het verticale vlak gezien een cirkelsegment (afgesneden cirkeldeel) als doorsnede. De deur kan omhoog en omlaag draaien. In verticale stand is de sluis gesloten. De sluis is via korte armen gekoppeld aan scharnierpunten die samen vallen met het middelpunt van de cirkel.

De segmentdeur kan tweezijdig keren. Het mechanisme werkt ook bij calamiteiten wanneer water onder hoge druk binnenstroomt.

Variante 4.2 (fig 6b): Puntdeuren

Puntdeuren zijn vlakke deuren die in gesloten stand tegen elkaar steunen en dan een stompe hoek vormen. De deuren draaien om een verticale as in de deurenkassen. De vervalbelasting wordt over-

gedragen naar beide sluiswanden waarbij krachten in de richting van de as van de deuren ontstaan (spatkrachten).

Variante 4.3 (fig 6c): Roldeur

De roldeur is een vlakke deur die in gesloten stand de doorvaart loodrecht afsluit en de vervalbelasting direct naar de sluiswanden overdraagt. De deur kan tweezijdig keren. In één sluiswand is een diepe deurkas aangebracht waarin de deur zich in geopende stand bevindt. In de andere sluiswand is een deurnis. De deur rust op twee rolwagens, elk uitgerust met vier wielen.

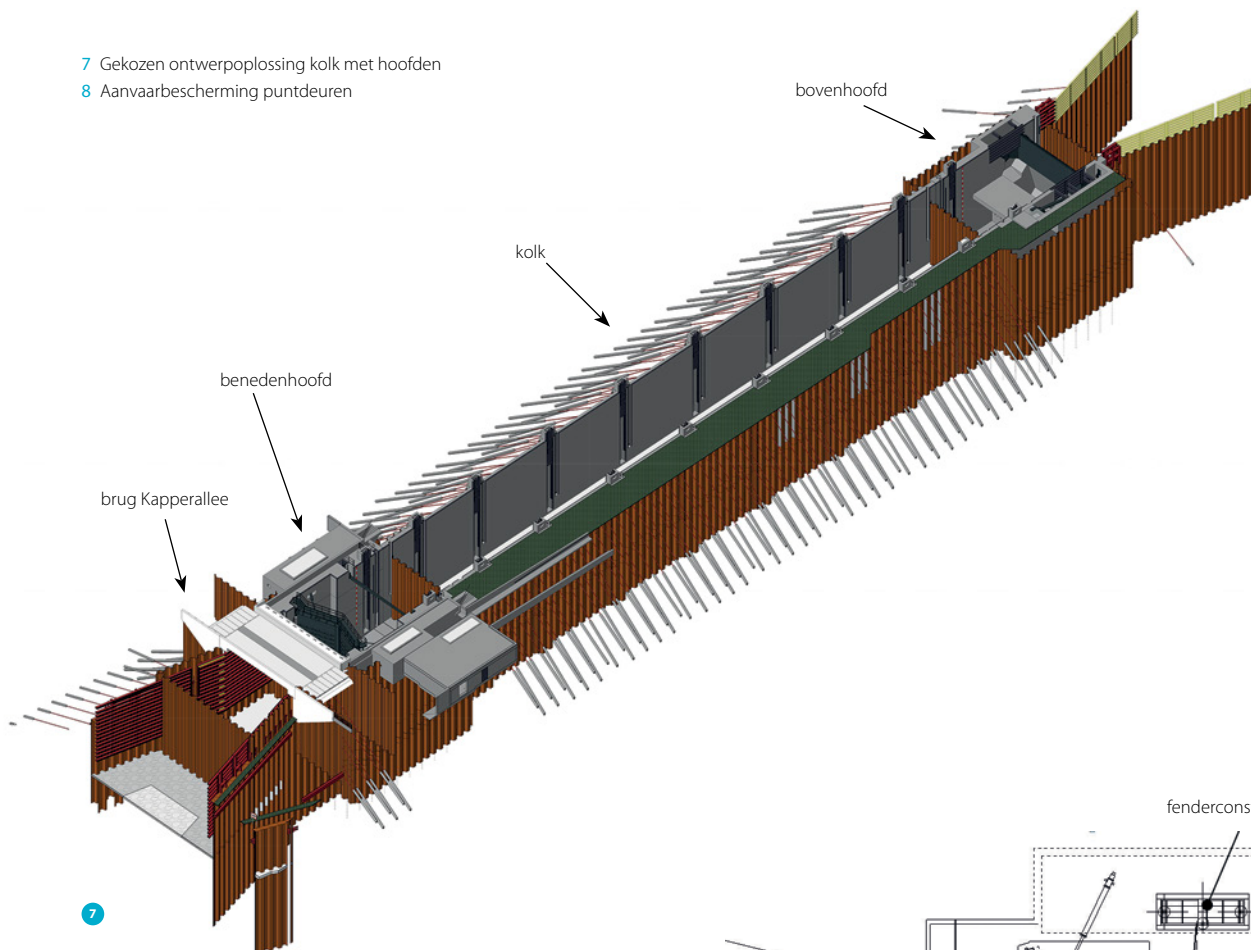
Variante 4.4 (fig 6d): Enkele draaideur

De enkele draaideur is een vlakke deur die in gesloten stand de doorvaart loodrecht afsluit. De vervalbelasting wordt via het draaipunt en de deurtip naar beide sluiswanden overgebracht en oefent krachten uit, evenwijdig aan de sluiswand. In geopende stand verdwijnt de deur in een ondiepe, lange deurkas. In de tegenovergelegen wand is een deurnis uitgespaard om de deur in gesloten stand te laten steunen.

Tabel 2 Trade-off-matrix type deur boven- en benedenhoofd

	variant 4.1	variant 4.2	variant 4.3	variant 4.4
voordelen variant	licht bewegingswerk, droog onderhoud door de deur omhoog te zetten, spuien via de deur, bij leegloop Twentekanaal tegen stroom in te sluiten	economisch/eenvoudig, vaak toegepast, referentie RWS sluis Eefde	licht bewegingswerk	economisch/eenvoud, aan één zijde bewegingswerk en bedieningsruimte
nadelen variant	zware scharnierpunten, grote deurenkassen, alleen in bovenhoofd met woelkelder toepasbaar, onbekend in NL	maatvoering deuren	dure kas en geleiding onder water (wielen en rails)	maatvoering deuren, grotere deuren waardoor langere sluitingstijd dan dubbele puntdeuren

- 7 Gekozen ontwerp oplossing kolk met hoofden
- 8 Aanvaarbescherming puntdeuren



7

Ook voor de deurvarianten is een trade-off-matrix opgesteld (tabel 2). Voor het benedenhoofd is variant 4.2 (puntdeuren) als meeste optimale oplossing gekozen. Voor het bovenhoofd is variant 4.1 (segmentdeur) gekozen. Het gaat om een segmentdeur die omlaag draait in een woelkelder als de sluis opengaat en weer omhoog draait als de sluis wordt gesloten. Hij is gemakkelijk te onderhouden door deze boven waterniveau te draaien.

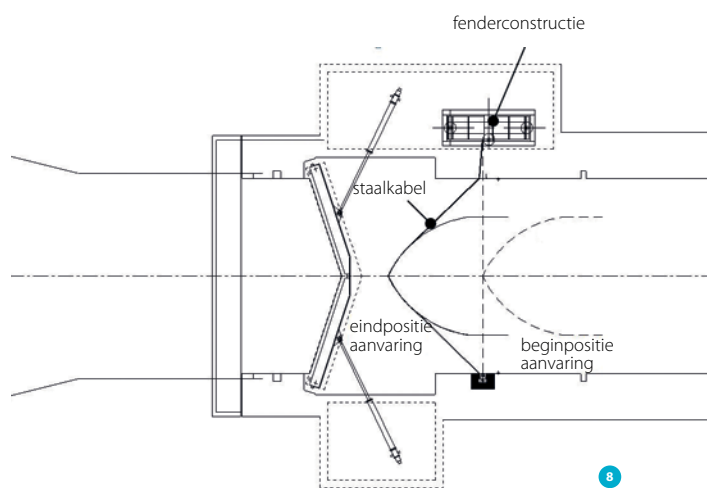
Deze segmentdeur kan ook bij calamiteiten worden gesloten, wanneer water onder hoge druk binnenstroomt. Zo is er een extra garantie op de waterveiligheid van de Twentekanal. Uitsparing van een omloopriool, een hogere EMVI-score en tevreden beheerder moeten de hogere realisatiekosten compenseren.

Overige onderdelen

Uit de trade-off-matrixen voor de overige onderdelen kwamen de volgende keuzen naar voren:

- nivelleersysteem bovenhoofd: nivelleren met de segmentdeur en woelkelder;
- nivelleersysteem benedenhoofd: schuiven in de deuren;
- bewegingswerk: elektromechanisch aangedreven cilinder;
- bouwmethode bovenhoofd- en benedenhoofd: traditionele bouwkuip;
- open of gesloten kolkvloer: gesloten vloer.

De kolk, de sluishoofden en de overige onderdelen zijn weergegeven in een 3D-Revitmodel in figuur 7.



8

Belastingen

De kolk en de deuren moeten uiteraard de optredende belastingen kunnen opnemen. Naast permanente belastingen als eigen gewicht, grond- en waterdruk, moet voor de diverse constructies ook rekening worden gehouden met aanvaarbelasting op de wanden en deuren, wind- en translatiegolven, tros- en schroefstraalbelasting, slepende en vallende ankers en zelfs een gezonken schip. In het project worden voor de diverse constructies de geldende normen en richtlijnen conform contract in rekening gebracht. Dit zijn Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken (ROK) 1.3 met projectspecifieke aanpassingen, Richtlijnen Vaarwegen (RVW) 2011 en Bouwbesluit 2012.

Beneden- en bovenhoofd

Het benedenhoofd vormt de scheiding tussen de voorhaven aan de zijde van de IJssel en de sluis. Het bovenhoofd vormt de scheiding tussen de voorhaven aan de zijde van het Twentekanaal en de sluis. Het beneden- en bovenhoofd

bestaan uit betonconstructies, gefundeerd op palen. De betonconstructies worden gebouwd in traditionele bouwkuipen. Deze bestaan uit palen, een onderwaterbetonvloer en damwanden met een stempelraam.

Ontwerp benedenhoofd

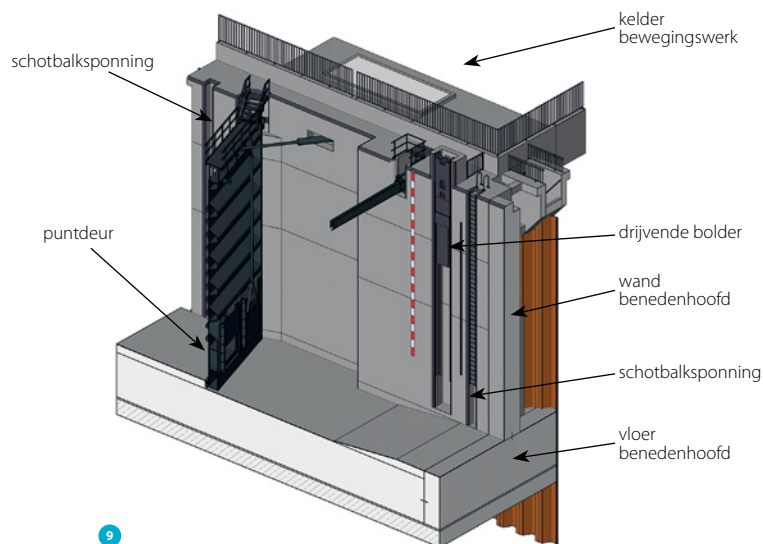
Om de bewegingswerken van de deuren te kunnen onderhouden, worden in het benedenhoofd speciale ruimten achter de wanden aangebracht met diverse toegangen.

De belasting van de deuren wordt via de taatsen en halsbeugels afgedragen naar de wanden en de vloer van het sluishoofd. Om de deuren in de gebruiksfase te kunnen sluiten en een minimaal lekdebiet te verkrijgen, moeten de halsbeugels en daarmee ook de betonwanden zo weinig mogelijk vervormen. Hiertoe moeten de wanden en vloer van het sluishoofd relatief dik worden uitgevoerd (fig. 9).

Bij aanvaring van de deuren worden de halsbeugels op trek belast. Om deze belasting te kunnen opnemen, worden ankers in de betonwanden ingestort.

Bij het ontwerp van de sluishoofden is gebruikgemaakt van een niet-lineair elastische berekening. Dit vanwege een ondergrond (als beddingsconstante) die slechts druk kan opnemen.

Het benedenhoofd moet het verval dat kan ontstaan tussen de waterstanden in de IJssel en de kolk kunnen opnemen. Deze is maximaal 8,54 m bij een lage waterstand in de IJssel en minimaal



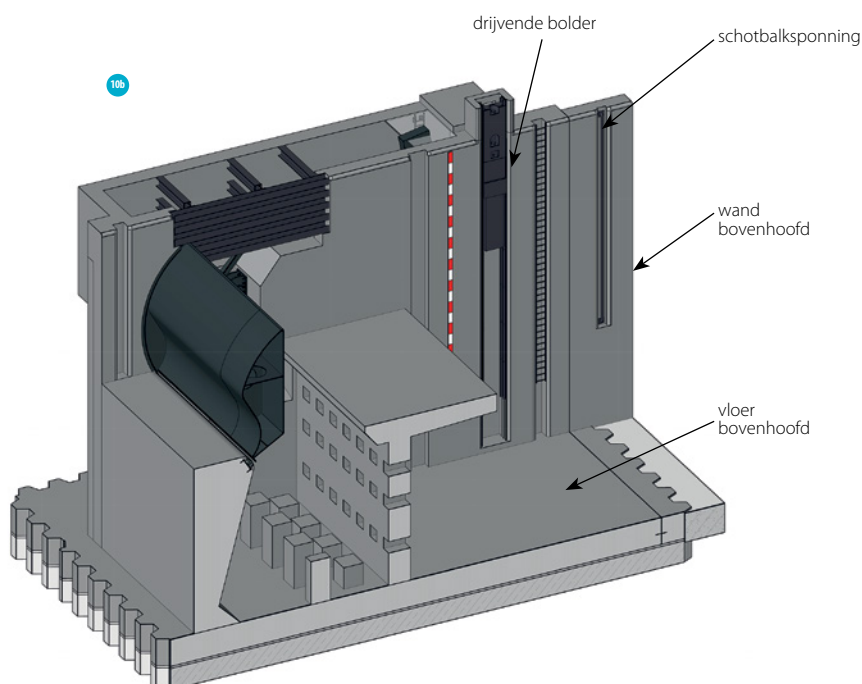
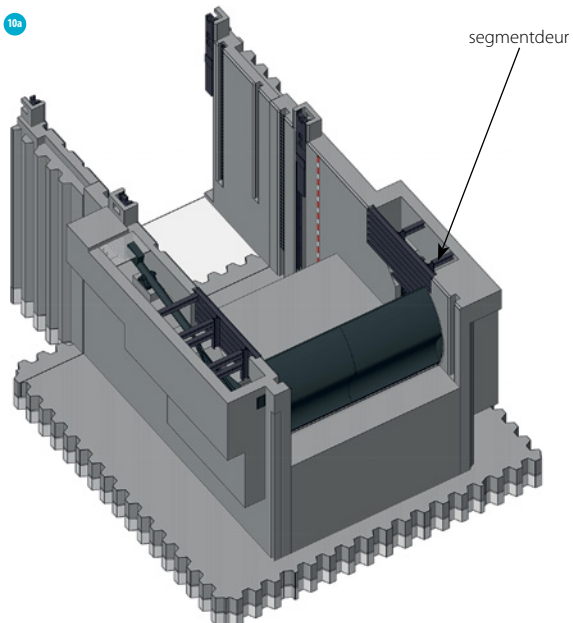
9

1,80 m bij een hoge waterstand in de IJssel. Er zijn bovendien diverse situaties waarmee rekening wordt gehouden.

Gesloten puntdeuren

Bij een situatie met gesloten puntdeuren moeten de deuren een vervalbelasting op kunnen nemen met bijbehorende spatkrachten op de deuren. De vervalbelasting wordt opgenomen via grondwrijving tegen de langsschermen van de damwandkuip. Hiervoor wordt de vloer via de damwandkassen verbonden met deze schermen (fig. 9).

Om de kans op schade bij invaren vanaf kanaalzijde te beperken, wordt een aanvaarbeveiliging in het hoofd voorzien door middel van een staalkabel die met behulp van een fenderconstructie energie opneemt (fig. 8). Een fenderconstructie heeft een intern veermechanisme dat de aanvaarenergie kan opnemen.



Open deuren

Bij open deuren is er geen sprake van vervalbelasting op de deuren. Echter, bij de laagste waterstanden in de IJssel, en dus ook in de sluis, treden de grootste trekkrachten op in de funderingselementen door overheersende opwaartse grondwaterdruk. De wisseling van druk naar trekkrachten op de Gewi-staven moet worden getoetst op vermoeiing bij een miljoen wisselingen na 100 jaar.

Onderhoud

Een derde situatie doet zich voor wanneer het benedenhoofd wordt drooggezet voor onderhoud aan met name de deuren. Waterdruk wordt in deze fase gekeerd met behulp van schotbalken. Deze kunnen in speciale sponningen worden aangebracht ter plaatse van voor- en achterzijde van het benedenhoofd. Maatgevende krachtswerking ontstaat doordat er geen waterdruk op de vloer en tegen de wanden aan de binnenzijde aanwezig is, terwijl een hoge grondwaterstand aan de buitenzijde aanwezig kan zijn.

Ontwerp bovenhoofd

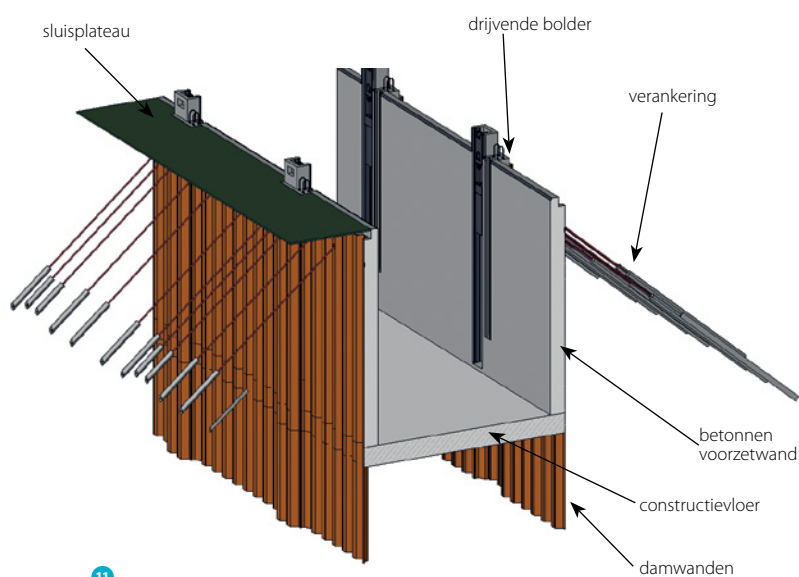
Het sluisplateau, het maaiveldniveau rondom de kolk, ligt op een niveau NAP +12,65 m en de kolkbodem op NAP -2,05 m. Zoals eerder aangegeven heeft het bovenhoofd als keermiddel een segmentdeur. De kerende hoogte van de deur is NAP +11,15 m en het drempelniveau is NAP +5,65 m. Onder dit drempelniveau ligt de zogenoemde frontwand. De horizontale belasting door het waterstandsverschil wordt uitgeoefend op de segmentdeur en de frontwand. De frontwand vormt tevens de grondkering tussen het niveau van de kanaalbodem en de kolkvloer.

De vervalbelasting wordt opgenomen via grondwrijving tegen de langsschermen van de damwandkuip. Hiervoor wordt de vloer via de damwandkassen verbonden met deze schermen (fig. 10).

Achter de frontwand ligt de woelkelder, een betonnen kelder die ervoor zorgt dat het water gelijkmatig de sluis kolk instroomt, zodanig dat een rustige ligging van de schepen in de kolk is gewaarborgd, terwijl toch de geëiste tijden, benodigd voor het vullen van de kolk, worden gehaald. Het bodemniveau van deze woelkelder is NAP -2,05 m, gelijk aan het niveau van de bovenkant van de kolkbodem.

De deur wordt bewogen met een hydraulische cilinder die is opgesteld in een bewegingswerkkelder aan de zuidzijde van het hoofd. Deze cilinder is droog opgesteld en drijft via armen de deur aan.

De horizontale belasting op de deur wordt volledig afgedragen via de twee draaipunten die met oplegstoelen zijn verankerd in



de zijwanden van het hoofd. De inkassingen in de zijwanden, waarin zich de draaiende delen bevinden, worden tegen aanvaring beschermd door een stalen geleideconstructie.

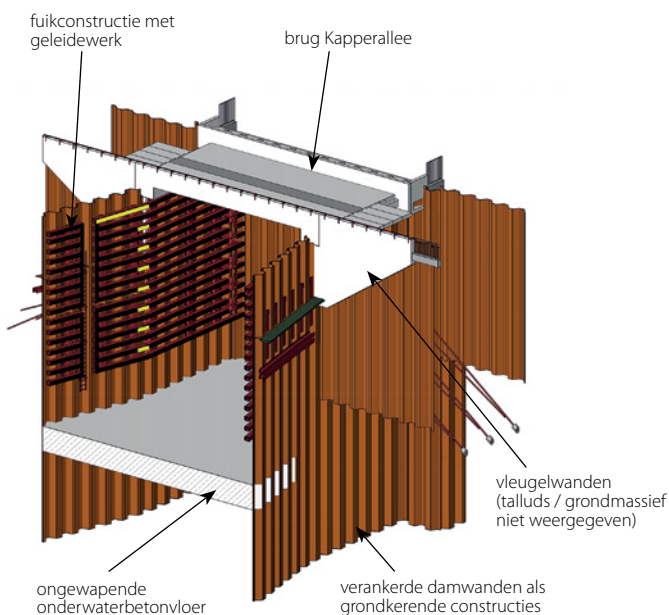
Bij het vullen van de sluis kolk wordt de segmentdeur iets naar beneden gedraaid, waardoor een spleet vrijkomt tussen de deur en de drempel. Hierdoor stroomt water vanuit het kanaal in de woelkelder. Tijdens het schutproces wordt de deur verder naar beneden gedraaid, waardoor een steeds grotere spleet ontstaat. Hierdoor blijft bij afnemend verval, het debiet van het binnestromende water min of meer gelijk. Aan het einde van de vulcyclus wordt de deur helemaal naar beneden gedraaid, zodat schepen het hoofd kunnen passeren.

Ontwerp kolk

In tegenstelling tot de hoofden wordt de kolk niet in een kuip gemaakt van tijdelijke damwanden. In plaats daarvan bestaan de kolkwanden zelf uit verankerde damwandschermen. Deze worden aan de onderzijde gestempeld door een gewapende onderwaterbetonvloer die ook de bodem van de sluis kolk vormt (fig. 11). De materialen die bij de kolk worden gebruikt voor de bouwfase, worden dus ook gebruikt voor de eindfase.

De damwanden worden door middel van een deувelconstructie verbonden met betonnen voorzetwanden, waarin drijvende bolders en ladders zijn opgenomen.

De onderwaterbetonvloer heeft geen traditionele ankerpalen maar draagt de belastingen af naar de damwanden. De overspanning van damwand naar damwand wordt gerealiseerd met een gewapende onderwaterbetonvloer die zowel een opwaartse als neerwaartse druk kan opnemen. De opwaartse druk is maatgevend in de bouwfase, de neerwaartse druk is maatgevend



12

12 Brug Kapperallee
13 SCIA-model van de brug

in de gebruiksfase wanneer de kolk wordt volgezet terwijl de grondwaterdruk in de zomer op zijn laagst is.

De wapening moet worden getoetst op vermoeiing. Om de opwaartse druk in de bouwfase niet maatgevend te laten zijn ten opzichte van de gebruiksfase, wordt er gebruikgemaakt van ontlastbronnen. Dit zijn voorzieningen in het onderwaterbeton, die een zeker debiet aan grondwater doorlaten zodanig dat een maximum aan grondwaterdruk onder de vloer kan worden ingesteld.

Voorkomen scheurvorming

Bij het benedenhoofd worden bij de vloer en wanden speciale maatregelen genomen om risico op te grote scheurvorming te beperken. Dit risico is aanwezig vanwege de grote dikte van de vloeren en de wanden (3300 mm, resp. 3000 mm). Bovendien wordt de vervorming van de vloer verhinderd door de onderwaterbetonvloer en de vervorming van de wanden door de constructievloer.

Om het risico op scheurvorming te voorkomen, wordt de hydratatiewarmte in het beton beperkt. Daarom is een bindmiddel gekozen bestaande uit hoogovencement en poederkoolvliegias.

Voor de wanden wordt koeling toegepast. Uiteraard worden ook tijdens de uitvoering extra maatregelen genomen als goede nabehandeling, keuze bekisting en keuze ontkistingstijd.

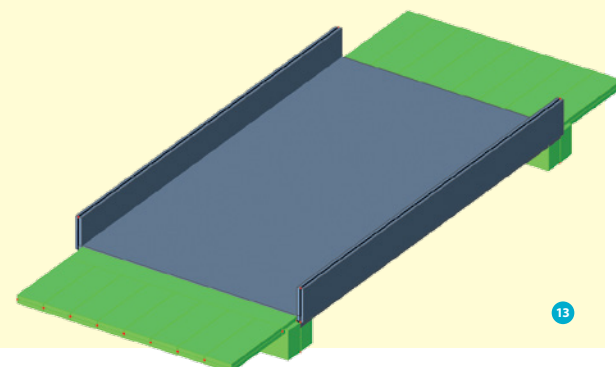
Ontwerp brug Kapperallee

Voor het passeren van verkeer over de Kapperallee wordt aansluitend op het benedenhoofd een kleine betonnen brug ontworpen (fig. 12). Deze wordt integraal verbonden met de onderbouw, bestaande uit stalen damwanden met verankering. Het dek wordt in twee delen voorgebouwd om in één weekend te kunnen worden ingehesen. Door middel van een natte knoop worden de delen verbonden aan de damwand. Vanwege de momentvaste verbinding met de onderbouw moet met tijds-effecten als kruip van beton en vermoeiing van staal rekening worden gehouden.

Bij het SCIA-model (fig. 13) is met module bouwfasen voor de krachtswerking rekening gehouden met de volgende fasen:

- plaatsen dek, statisch bepaald;
- ingebruikname dek met LM1, statisch onbepaald;
- ontgraven onder het dek ten behoeve van aansluiting met de fuij;
- ingebruikname dek met LM1, statisch onbepaald met invloed kruip.

Bij het model is gebruikgemaakt van een lineair-elastische berekening en omhullende combinatievorming van belastingen.



13

Projectervaring

Het project is ook speciaal omdat de gehele uitvoering door TBI-ondernemingen wordt gedaan. Door de korte lijnen tussen de zusterbedrijven vindt een goede onderlinge samenwerking plaats. Dit uit zich in voldoende vertrouwen bij de opdrachtgever dat het project wordt ontworpen, opgeleverd en onderhouden conform contract. ☒

PROJECTGEGEVENS

opdrachtgever Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Rijkswaterstaat

aannemer L2T EPC vof, een samenwerking tussen TBI-ondernemingen Mobilis (civiele techniek) en Croonwolver&dros (technische installaties)

onderaannemers Hollandia Infra, Hollandia Services en Voorbij Funderingstechniek

geplande beschikbaarheid / ingebruikname nieuwe sluis medio 2020