



Toegangsdeur tot het IJsselmeer

De keersluis Kornwerderzand, een stalen roldeur van 58 m breed en 14 m hoog, beweegt over een railbaan, moet het altijd doen en staat opgesteld in een deurkas om in actie komen bij hoog water. Anders dan bij conventionele keermiddelen, is de roldeur niet als luchtkist ontworpen. Dit maakt hem licht en er zijn minder componenten die zouden kunnen falen. Risico-gestuurde ontwerpkeuzes zijn leidend en nopen ertoe dat de deur ook met een jetsysteem is uitgerust. Het project vraagt om een integrale aanpak om te anticiperen op zaken als onderhoud, vermoeiing, robuustheid en bewegingswerken. Vijf auteurs leggen hun aandeel van het werk uit.

ing. A. Blom, Dr.ir. W. Nagy, Ing. W. van de Stelt, ir. P. Wouderberg en ing. E. Schepers.

Anne Blom, voorheen ontwerpmanager Keersluizen bij Levvel, is eigenaar/constructeur bij Blom Bouw & Infra in Leerdam. Wim Nagy is projectingenieur bij ingenieursbureau SBE in Rotterdam. Wim van der Stelt is Senior Specialist Staalwerkuitbouw bij Arcadis in Amerfoort. Pieter Wouderberg is project engineer bij HSM Steelstructures in Schiedam. Edwin Schepers is project manager bij HSM in Schiedam.

De 32 km lange Afsluitdijk beschermt een groot deel van Nederland al ruim 90 jaar tegen overstromingen. Dit icoon van de Nederlandse waterbouw ondergaat op dit moment een grootscheepse renovatie en versterkingsoperatie, om ook in de toekomst Nederland te beschermen tegen de zeespiegelstijging. De versterkte dijk moet ook het geweld van golfklappen kunnen weerstaan tijdens een storm die eens in de tienduizend jaar voorkomt.

Rijkwaterstaat heeft bouwconsortium Levvel, bestaande uit BAM, van Oord, Invesis

en Rebel, de opdracht gegeven voor het ontwerpen en bouwen van het project, plus 25 jaar onderhoud. Op twee plaatsen in Afsluitdijk is het IJsselmeer met schutsluizen toegankelijk voor scheepvaartverkeer. De Lorentzsluizen, bij Kornwerderzand, vormen de grootste toegang aan de Friese zijde van de dijk. De huidige hoogwaterkering loopt langs de voorhaven over de deuren van de schutsluis. In de nieuwe situatie wordt de hoofdwaterkering direct in het tracé van de Afsluitdijk opgenomen, net voor de dubbele draaibrug-

en in de A7. De keersluis is een stalen roldeur die de vaarweg over de volledige breedte van 53 m volledig af kan sluiten. De roldeur staat in een betonnen deurkas waarin ook het elektromechanisch lierwerk staat opgesteld om de deur te kunnen bewegen. In het verlengde van de deurkas is op de bodem van de Waddenzee een betonnen railbalk geconstrueerd, waarin een stalen railprofiel in gestort met een geleidebalk, waarlangs de roldeur bij hoog wat gesloten kan worden. Om slipvorming op de railbalk tegen te gaan is de roldeur uitgerust met een specifiek ontworpen jetsysteem, die bij elke deurbeweging de railconstructie ontdoet van sediment. Deze complexe opgave vroeg om een integrale aanpak van zowel het ontwerp als de voorbereiding en realisatie.

Constructief ontwerp roldeur

Voor het ontwerp van de keersluis Kornwerderzand was het voornamelijk van belang:

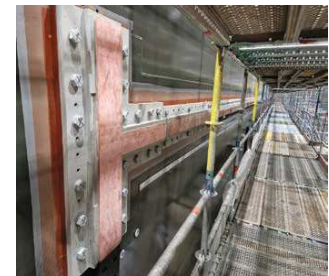
- dat het risico op niet-beschikbaarheid van de hoogwaterkering zo gering mogelijk blijft;
- dat de keersluis bestand moet zijn voor een storm die zich een keer in de 10.000 jaar aandient;
- dat het bijhorende maximale lekdebiet binnen de toelaatbare grenzen moet blijven.



1a. Overzicht met verschillende, belangrijke onderdelen en bewegingsmiddelen.



1b. Kops kant met jetsysteem, vuilscraper en glijpads.



2. Kunststof bovengleiding.

Op basis van deze uitgangspunten is er geopteerd om een roldeur te ontwerpen die zo eenvoudig mogelijk opgevat kon worden met onderdelen met een gering faalrisico en waarbij het onderhoud beperkt is. De ontwerproldeur is opgevat als een roldeur ondersteund op twee onderrolwagens. De roldeur heeft een inwendige open constructie met drie interne horizontale vakwerken. Verder is de 8 m brede roldeur voorzien van een waterkerende huidplaat van 14,3 m hoog en heeft ze een overspanning van 55,8 m. Aangezien het een keersluis betreft die enkel het IJsselmeer dient te beschermen bij stormcondities, is het niet nodig om een dubbel-kerende roldeur te voorzien. Enkel de huidplaat aan de IJsselmeerkant is daardoor doorgetrokken tot het kerende niveau, terwijl de huidplaat-zijde 'Waddenzee' wat teruggetrokken is. Daarom is ook alleen aan de huidplaat-kant 'IJsselmeer' in de nodige steunpunten voorzien om de krachten af te dragen naar de betonnen aanslagen. Dit is verwezenlijkt door ter hoogte van elk intern vakwerk een kunststof glijpad te maken met een hoge druksterkte. Tussen deze steunpunten is UHMWPE voorzien als waterdichting. Over de volledige lengte aan de bodem van de huid-

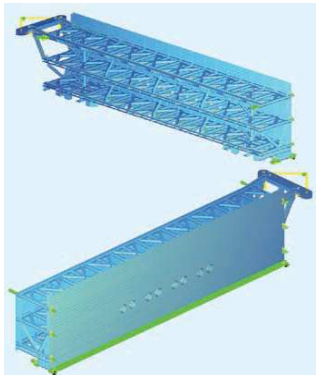
plaat is ook een klassieke verende plaat ontworpen die een soepele waterdichting verzekert tegen de betonnen nok van de geleidingsbalken onder water. Aan de armen van de roldeur, die in het verlengde liggen van het bovenste vakwerk, is de schijvenbalk gemonteerd die zorgt voor de koppeling van de kabelaandrijving op de roldeur. Tot slot zijn er nog een aantal zaken toegevoegd die moeten verzekeren dat de roldeur tijdens een hoogwaterkering zo vlot mogelijk kan bewegen: 8 vlinderkleppen om een mogelijke vervalpbouw tegen te gaan bij het openen van de roldeur, vuilscrapers voor de wielen van de onderrolwagens om de rails van de wielen vrij te houden van mogelijke slibopbouw en andere obstakels, en een jetsysteem aan beide kanten van de roldeur om alle mogelijk neergeslagen slibmassa in woeling te kunnen brengen.

Onderhoud en slijtage

De roldeur werd zonder luchtkist ontworpen. Dit maakt de roldeur minder zwaar, namelijk 926 ton, en er zijn minder componenten die zouden kunnen falen op het moment dat de roldeur dienst zou moeten doen. Het onderhoud van de roldeur wordt



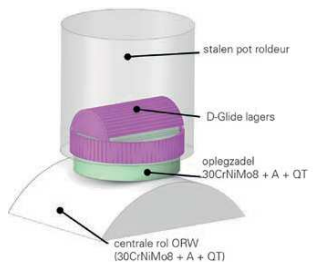
3. Ondergeleiding (b) en bovengleiding (o) met vervangbare staalplaten met Inconel cladding.



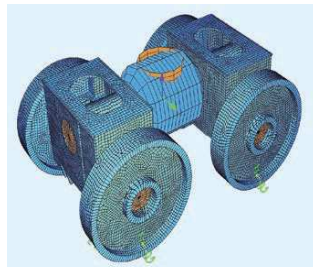
4. FEM-modellen, volledig gedetailleerd platenmodel.



5. Doorbuiging van de verende plaat te begrenzen door een aanslagpunt in achterliggende stijen.



6. Oplegczadel, half cilindrisch voor vrije rotatie.



7. Onderrolwagens met twee kokerliggers en een doogaande as.



hiermee ook eenvoudiger. Er is ook zo weinig mogelijk gebruik gemaakt van mechanische onderdelen voor het bewegen van de roldeur. Zo zijn er bijvoorbeeld geen geleidingswielen terug te vinden, maar zijn er onderhoudsvrije kunststoffen glijpads voorzien op zowel de glij-schoen van de deur als over de gehele bovengeleiding ter hoogte van het bovenste vakwerk. Deze glijpads zijn bestand tegen de corrosieve omgeving van zee water, kunnen zeer hoge contactdrukken aan, hebben een relatief lage wrijvingsweerstand en ze zijn eenvoudig vervangbaar. Dit maakt ze uitermate geschikt voor deze specifieke keersluis. De slijtagesnelheid en de wrijvingsweerstand van deze glijpads kunnen weliswaar enkel verzekerd worden als er een geschikt tegen-

loopmateriaal is. Dit tegenloopmateriaal dient corrosiebestendig te zijn, dient voldoende hard te zijn en moet glad zijn uitgevoerd. Dit heeft er toe geleid dat het tegenloopmateriaal in de betonnen geleidingnokken bestaan uit duplex roestbestendige strippen die mechanisch zijn bewerkt naar een maximale oppervlakteruimte van 1.6 µm. Voor de bovengleiding is geopteerd om te werken met vervangbare stalen platen met een machinaal bewerkte Inconel cladding.

Eindige-elementenanalyse

Voor het ontwerp is gebruik gemaakt van verschillende softwarepakketten, waarbij de focus lag op EE-analyses in Sofistik en Ansys. Voor het initiële voorontwerp is

gebruik gemaakt van een eenvoudig staalfiger model om snel en eenvoudig het ontwerp te kunnen optimaliseren. Voor verdere detailberekeningen is er overgeschakeld naar een volledig gedetailleerd platenmodel van de gehele roldeur. Dit zorgt voor complexere rekenmodellen en heeft dit verschillende voordelen, zoals: er kan worden gewerkt met de juiste knoostijfheden, lokale spanningsconcentraties aan bijvoorbeeld interne verstijvers kunnen beter worden beoordeeld, de verdeling van de contactdrukken ter hoogte van de steunpunten kunnen in kaart worden gebracht, de vermoeiingsbeoordeling is kwalitatiever enzovoort. Voor specifieke detailstudies, zoals bijvoorbeeld voor de berekeningen van warmteontwikkelingen in de glijpad, de berekeningen van Hertz

contactdrukken en aanvaaranalyses is gebruik gemaakt van EE-modellen in Ansys. Aangezien de verschillende geleidingen op de roldeur een zekere lengte hebben, is er niet gewerkt met singuliere steunpunten in het rekenmodel, maar met een set van niet-lineaire veren die enkel onder druk werken. Op die manier kan de niet-uniforme drukverdeling in deze steunpunten correct worden meegenomen. Dit is niet enkel van belang voor de sterkte van de materialen, maar ook voor de beoordeling van de slijtage en zelfs de waterdichtheid van deze punten.

Vermoeiingsgevoelig

Naast de reguliere steunpunten aan de eindframes van de roldeur, is er ook nog de verende plaat die meegenomen dient te worden in de krachtwerking. Aangezien de roldeur is geoptimaliseerd zonder luchtkist, bezit de roldeur minder buigstijfheid en wordt de verende plaat veel meer belast en zijn de vervormingen ter hoogte van de verende plaat iets groter. Dit is niet enkel fnuikend voor de sterkte van de plaat, maar ook voor vermoeiing. Elke keer dat de deur dient te keren, wordt de verende plaat namelijk verbogen, waardoor dit onderdeel enorm vermoeiingsgevoelig is. Een oplossing hiervoor is de doorbuiging van de verende plaat te begrenzen door een aanslagpunt te voorzien voor de verende plaat in de achterliggende verticale stijen. Deze steunpunten zijn voorzien van een bepaalde speling om de verende plaat zoveel als mogelijk te laten werken zonder echt krachten over te dragen naar de structuur, zoals dit idealiter het geval is. Wanneer de roldeur, en dus ook de verende plaat, een bepaalde doorbuiging zou overschrijden, begrenzen de verticale stijen de verder doorbuiging en zullen deze stijen dus ook actief mee werken om krachten ten gevolge van het optredende verval en de invallende golven op te nemen. Op die manier wordt de verende plaat voldoende ontlast om geen verdere problemen te veroorzaken naar sterkte toe en vermoeiing.

Ontwerp onderrolwagens

Voor de onderrolwagens is gekozen voor een vernieuwend concept, waarbij de gevoeligheden voor uitvoeringstoleranties van zowel de

onderrolwagens zelf als van het railsysteem waarop deze rijdt, zoveel mogelijk worden geëlimineerd. Ook de krachtverdeling naar de wielen, onder een zuiver verticale belasting, dient zo evenredig mogelijk te gebeuren. Concreet is dit verwezenlijkt door twee verschillende aspecten.

Het eerste aspect vindt plaats bij de krachtafdracht van de roldeur naar de onderrolwagens, waarbij er een vlak oplegczadel steunt op de centrale as van de onderrolwagens. Dit oplegczadel is aan de bovenzijde half cilindrisch gemaakt waardoor het in combinatie met kunststoffen lagers in de roldeur vrij kan roteren rond een dwarse as op de as van de keersluis. Een gevolg hiervan is dat er, ongeacht de vervorming van de roldeur en ongeacht uitvoeringstoleranties in langsricting van de rail, altijd een perfect lijncontact verzekerd wordt met de centrale as van de onderrolwagens.

Het tweede aspect zit hem in de opbouw van de onderrolwagens die in wezen kan worden onderverdeeld in drie hoofdonderdelen: een kokerligger waarin de twee voorste wielen van de onderrolwagens zijn ingebouwd, een kokerligger waarin de twee achterste wielen van de onderrolwagens zijn ingebouwd en een centrale doorgaande as, gelagerd in deze twee kokerliggers door middel van kunststofbussen. Het centrale (verdikte) deel van de doorgaande as fungeert als steunpunt voor het oplegczadel dat zich op de roldeur bevindt. Beide kokerliggers kunnen dus onafhankelijk van elkaar roteren rond de centrale as en kunnen zich op deze wijze optimaal aanpassen aan de werkelijke uitgevoerde positie van de rails onderrolwagens. Ook verzekert je hiermee, door deze dubbele evenaarswerking, dat de krachten naar de wielen onder een zuiver verticale belasting evenredig zal verdeeld worden.

Door de afwezigheid van een luchtkist, was het wel een opgave voor de onderrolwagens om de zeer hoge wielbelastingen over te kunnen brengen naar de onderliggende railstructuur. Als gevolg hiervan zijn de wielen van de onderrolwagens betrekkelijk groot in vergelijking met roldeuren met soortgelijke afmetingen. De wielen en de rails werden gespecificeerd met een minimale vloeigrens van 800 MPa en er zijn extra eisen gesteld aan de hardheid van de materialen.

Bewegingswerken

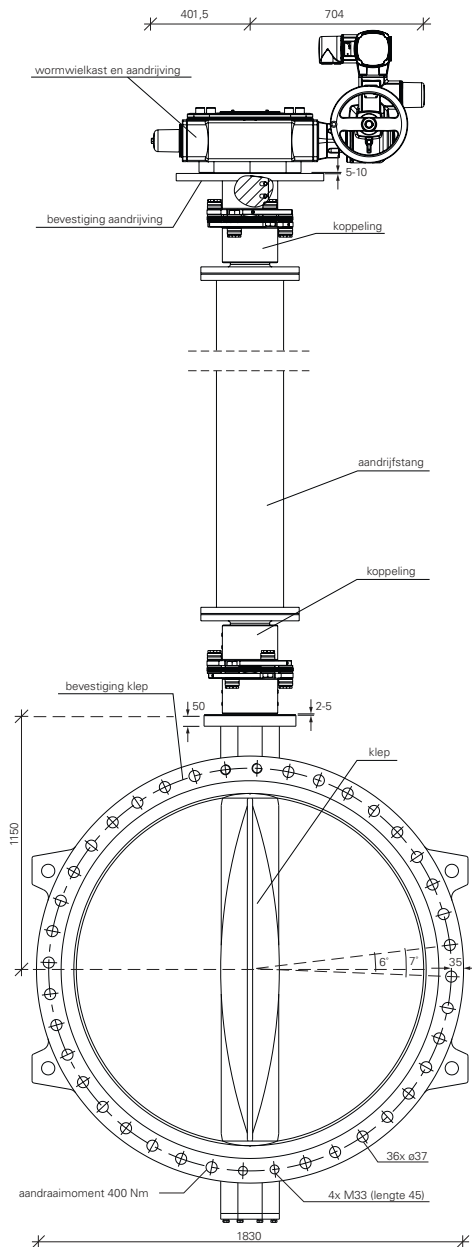
De bewegingswerken zijn tot stand gekomen op basis van de risico-gestuurde ontwerp-aanpak. Dit houdt in dat de randvoorwaarden en kwaliteitsborging van het ontwerp-proces niet alleen zijn gebaseerd op klant-eis specificaties, maar ook op het zogenaamde risicodossier.

Bij de keersluis Kornwerderzand zijn er een aantal risico's die het ontwerp van de bewegingswerken van de roldeur sterk beïnvloeden.

Ten eerste het gebruik van een roldeur als keermiddel. Nederland heeft in verhouding meer schutsluizen en minder keermiddelen, wat de wens voor 'proven technology' lastig maakt. Een belangrijk verschil tussen keermiddelen en schutmiddelen is de benodigde beschikbaarheid. Een keermiddel wordt minder vaak bewogen en heeft hierdoor minder data beschikbaar over de actuele status. Dit brengt de ontwerp-vraag: *Is het systeem beschikbaar wanneer de bedienaar op de knop drukt?*

De vraag om constructieve robuustheid bij het bewegen wordt versterkt omdat het integrale systeem alleen op de proef wordt getest indien de omgevingscondities vergelijkbaar zijn aan de ontwerpcondities. Deze zijn vrijwel nooit gelijk bij een keermiddel. De functie Keren Hoog Water zal worden bediend bij een waterstand van NAP+1,80m en de bijhorende condities: Storm 1/10 per jaar piek storm en; Storm 1/10.000 per jaar bij een waterstand van NAP +2,5m.

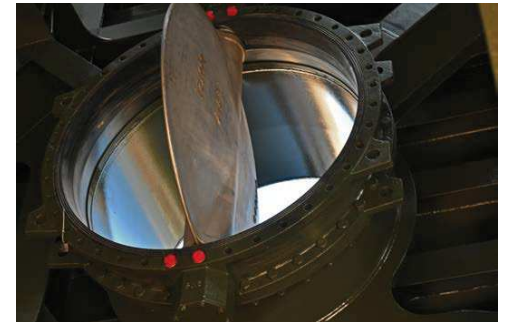
Een tweede verschil is de rustpositie waarin een schut- of keermiddel zich in bevindt. Een schutmiddel zal doorgaans de vaarweg afsluiten. Een keermiddel zal slechts eens in de zoveel tijd de vaarweg afsluiten. Een bijzondere specifieke omstandigheid op de locatie te Kornwerderzand is de bodemdiepte. De binnen- en buitenhaven worden normaliter gebaggerd op NAP -3,5m diepte. De drempeldiepte van het keermiddel is op NAP -6,5m. Dit is gedaan vanwege de toekomstige aanpassingen aan de achterliggende Lorentzsluis. Tot de tijd dat de aanpassingen van de Lorentzsluis zijn voltooid, zal de nieuwe keersluis rekening moeten houden met beweging door een grote laagdikte van slib.



8. Nivelleer- of vlinderklep.



9a en b. Aandrijving sluisdeur (b) en Jetsysteem (a).



10. Acht nivelleerlepellen staan tijdens het bewegen van de roldeur in gesloten positie.

RAM-analyse

De prestaties van een object worden meetbaar gemaakt door de gewenste kwaliteit van de primaire prestatie te beschrijven, te bepalen en te bewaken. Zo worden de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het systeem geborgd. Dit is in de RAM-analyse vastgelegd. Op deze manier worden de risico's omgezet naar specificaties waar de bewegingswerken aan dienen te voldoen. De bewegingswerken laten zich ruwweg verdelen in vijf hoofdgroepen.

- I. Hoofdaandrijving van de roldeur.
- II. Noodaandrijving van de roldeur.
- III. Onderrolwagens.
- IV. Nivelleerlepellen.
- V. Jetsysteem.

Aanvullende risico-gestuurde ontwerpkeuzes.

1. De roldeur wordt horizontaal bewogen. De staalkabel trekt dan ook horizontaal aan de roldeur. Om een werkend liersysteem te gebruiken, is hierom een voorspanning in de staalkabel nodig. Dit wordt doorgaans bereikt met een veerbuffer of met een contragewicht. De hoofdaandrijving van de roldeur is uitgevoerd met contragewichten, die op basis van zwaartekracht een hoge beschikbaarheid heeft.
2. De noodaandrijving dient onafhankelijk van de hoofdaandrijving gebruikt te kunnen worden.
3. Om het bewegen door het slib gemakkelijker te laten plaatsvinden is een jetsysteem toegevoegd. Deze zal tijdens het bewegen van de roldeur worden gebruikt om voldoende woeling te creëren zodat de het gedrag van de omringende substantie om de roldeur zich gedraagt als vloeistof (lage druk – veel debiet).

Ontwerp hoofdaandrijving en noodaandrijving

Bewegingswerken van roldeuren hoeven, in verhouding tot andere deurtypen, slechts een kleine kracht te leveren. Dit komt omdat

de externe belasting loodrecht op het bewegende vlak acteren en via de geleiding van de roldeur direct naar het civiel wordt doorgegeven. De aandrijfkracht is een afgeleide daarvan. De keuze van de geleiding is een economische afweging in samenhang met de grootte van het bijbehorende lierwerk en de civiele constructie.

In verticale zin wordt een roldeur gesteund door twee onderrolwagens, voorzien van stalen wielen die over rails rijden. De roldeur staat scharnierend/rollend op deze rolwagens opgesteld en moet daarom tijdens zijn beweging ook zijdelings gesteund worden. In horizontale zin wordt de deur aan weerszijden geleid door de bovengeleiding welke langs een vast punt aan begin van de kas glijdt. Dit geeft twee oplegpunten aan de onderzijde en één aan de bovenzijde van de deur.

De externe belastingen tijdens het aandrijven van de roldeur kunnen zo extreem zijn dat het niet realistisch is te stellen dat de roldeur altijd in de gewenste 7 minuten gereed is met de beweging. Bij de maatgevende golfcondities zal de aandrijving van de roldeur een overeenkomende frequentie kunnen vertragen – zelfs tot stilstand komen. Er is hierom een koppelbegrenzing in de aandrijving gerealiseerd, die het systeem beschermt tegen overbelastingen bij een trekkracht groter dan 1250kN aan de roldeur. Indien de belasting langer dan 5 seconden de deur tot stilstand houdt, zal de aandrijving automatisch uitschakelen. De staalkabel zal oprekken bij deze belasting waardoor het contragewicht van het niet-trekkende part zal zakken van de aanslag. Bij het wegvallen van de aandrijfkracht zal de rek in de staalkabel weer terug lopen, wat mogelijk is doordat het contragewicht van het niet-trekkende part weer terug kan bewegen. De contragewichten zijn hiertoe voorzien van voldoende lange geleidingen.

Aan de noodaandrijving zijn gelijkwaardige eisen gesteld als aan de noodaandrijving, simpelweg omdat de noodaandrijving de

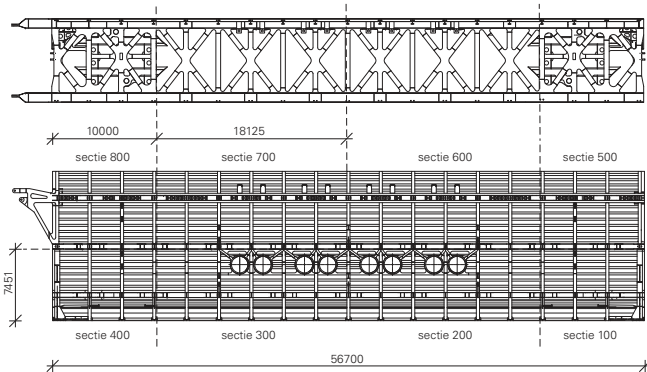
functie van de hoofdaandrijving moeten kunnen overnemen in een zo kort mogelijk tijdsverlies. In slechts 90 minuten kan de noodaandrijving bevestigd worden aan de roldeur waarna een effectieve bewegingstijd van 30 minuten de roldeur nodig is om de volledige deurbeving te voltooien. Het systeem dat hierbij nodig is beschikbaar opgesteld in de kas, klaar voor gebruik. Hierbij is gekozen voor kunststof kabels en schijven om de onderhoudsbehoeften wat betreft beschikbaarheid zo laag als mogelijk te houden.

Ontwerp nivelleerlepellen

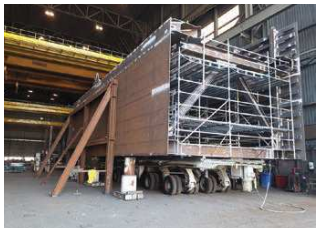
Er zijn acht nivelleerlepellen in de roldeur voorzien die tijdens het bewegen van de roldeur in gesloten positie staan. Hiertoe is, bij een falende aandrijving van een nivelleerlepellen, de lek-eis nog altijd geborgd. Het aantal lepellen is het benodigde aantal + 1 extra. Op deze manier wordt de wens om de buitenwaterstand, die onderhevig is aan getijdewerking, te volgen ook haalbaar. De gelijke waterstand is vooral belangrijk bij aanvang van de deurbeving. Verder is gekozen voor een AUMA-aandrijving vanwege de compactheid ervan. Het bewegen van de klep gebeurt hierom bij een gelijke waterstand. Dit is tegengesteld aan waar de klepaandrijvingen voor zijn ontwikkeld, namelijk openen bij grote waterstandverschillen. De levensduur van de aandrijving zal hierom nooit maatgevend zijn in het ontwerp. De koppelingen in de nivelleerlepellaandrijving zijn zo gekozen dat geen smeermiddel nodig is maar wel de nodige bewegingsvrijheid kan worden gegeneerd.

Ontwerp jetsysteem

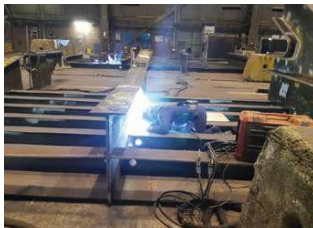
Het jetsysteem zit bevestigd aan beide zijden van de roldeur en bestaat uit een 90kW pomp, leidingwerk, een jetbalk en een vacuumsysteem. De systemen aan beide uiteinden van de roldeur zijn identiek, maar gespiegeld. De jetbalk is voorzien van uitstroomepe-



11. Sectiedelingen roldeur.



12. Sectie klaar om naar de straalloods te gaan.



13. Laswerkzaamheden huidplaat.



14. Opdraaien van een wand.



15. Load-out complete roldeur.



16. Inrijnen railsecties.

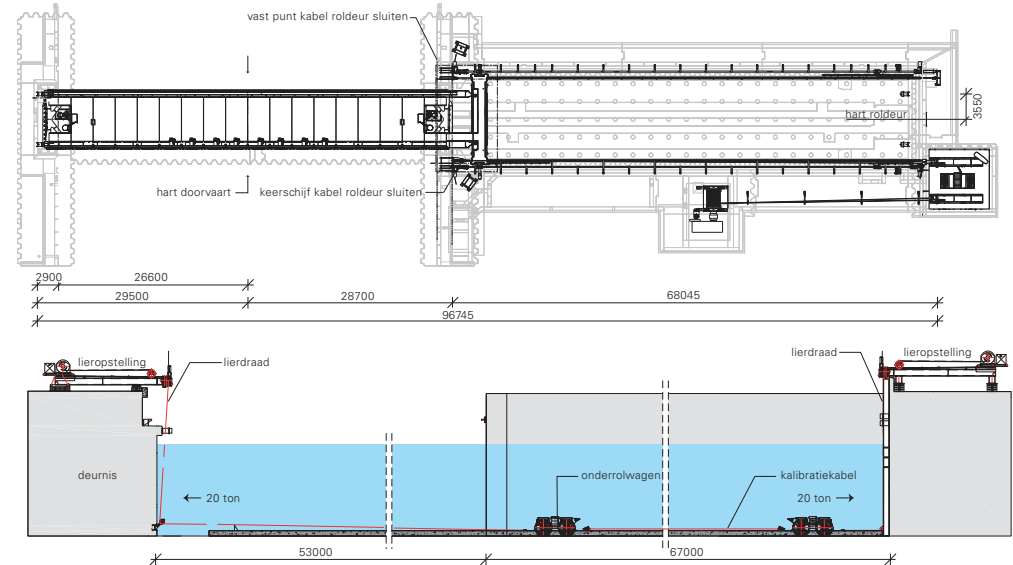


17. Plaatsen onderrolwagens.

ningen, ook wel nozzles genoemd. De nozzles zijn verdeeld over de breedte van de roldeur zodat voor de hele roldeur het slib in woeling wordt gebracht. De uitstroopeningen zijn relatief groot (Ø85 mm) waardoor veel water kan stromen. Zo wordt het slib lokaal verdund en gedraagt het zich als vloeistof. Deze beproefde methode wordt ook gebruikt bij Water Injected Dredging (WID) in de baggerindustrie. De pomp heeft hierom een hoog debiet (hoeveelheid te verpompen vloeistof) en een lage druk. De pomp zuigt water aan vanuit de roldeur en pompt het de leiding in richting de uitstroopenozzles. De pomp is niet zelf aanzuigend, wat betekent dat het pomphuis altijd gevuld moet zijn als de pomp wordt aangezet. De vacuüminstallatie zuigt water op in het hoogste punt van de leiding en zorgt zodoende voor een met vloeistof gevuld pomphuis. Dit is een proces dat wordt doorlopen voordat de roldeur wordt bewogen.

Fabricage roldeur

HSM Steel Structures heeft van Level de opdracht voor de bouw en de montage van de Keersluis Kornwerderzand gekregen. De roldeur is compleet geassembleerd in de fabricagehal van HSM, waarna deze is getransporteerd naar Kornwerderzand via de Noordzee. HSM het bewegingswerk uitbesteed aan Demako. De roldeur is een compleet open constructie en bevat geen drijvend vermogen. Dit is opmerkelijk. Doordat er geen drijvend vermogen aanwezig is, kon er gewichtsoptimalisatie plaatsvinden, met als gevolg een zeer arbeidsintensief en langdurig productieproces. De noodzaak tot een laag gewicht heeft vooral te maken met de toelaatbare belastingen op de onderrolwagens en op de fundering/drempelconstructie. Op de fabricage van de roldeur zaten strenge tolerantie-eisen (complete deur binnen +/- 8 mm). De toleranties zijn bereikt door in het voortraject veel aandacht te besteden aan de effecten van laskrimp, het bepalen van overlengte en het engineeren van inzetstukken. De roldeur weegt totaal circa 930 ton en heeft globaal 60x15x8 m als afmeting. Rekening houdend met de fabricage-faciliteiten is



17. Bovenaanzicht (b) met de deur in de doorvaart. Doorsnede (o): positioneren onderrolwagens.

de deur opgedeeld in acht secties, waarbij elk stuk hijsbaar is met de halcranen en de afmetingen passend zijn voor de conserverfaciliteiten. De sectiedelingen zijn in afbeelding 11 te vinden. De roldeur heeft totaal 3 horizontale elevaties, hierdoor werden de onderste vier secties als U vorm gebouwd en de bovenste secties als een vierkant. In afbeelding x staat één van de bovenste secties die gereed is om naar de conserverfaciliteiten te gaan. Om de breedte van alle secties gelijk te houden zijn bouwmallen gebruikt. Door het ontwerp zaten in de constructies lastig bereikbare plekken. Dit zorgde voor gefaseerd werk. Met andere woorden: de werkzaamheden kunnen niet parallel worden uitgevoerd, maar alleen sequentieel. Dit resulteert in een lange doorlooptijd. Met name achter de horizontale geleidingen waren de lussen slecht bereikbaar en was automatiseren van het proces onmogelijk. De opbouw van alle secties startte met de huidplaten. Vervolgens werden op deze huidplaten diverse verstijvers en andere onderdelen gelast, zie afbeelding 13. Dit gebeurde allemaal in horizontale positie. Hierna werden de wanden opgedraaid (afb. 14) en tussen de bouwmallen geplaatst. Daarna werden de horizontale evaluaties ingevuld. Nadat de gehele deur was samengesteld, zijn het jetsysteem en de vlinderkleppen ingebouwd. De roldeur is voorzien van geleidingen bestaande uit D-glide blokken en afdichtingen bestaande uit UHMWPE-blok-

ken. Aan de hand van de maatafwijkingen van de 'as-built' deur en van de afwijkingen in het 'as-built' beton op locatie, zijn de maten van deze blokken contra gemaakt. Hierdoor is een optimale afdichting van de deur verkregen. Zie ook in afbeelding 6 de rode D-glide blokken.

Montage

In Kornwerderzand zijn verschillende voorbereidende montage-werkzaamheden uitgevoerd. Zo zijn er gehele railsecties ingehesen (zie afb. 16). Na het plaatsen zijn de railsecties ingestort. Ook is tijdens de montage het complete schijvenhuis geplaatst. In het schijvenhuis hangen de diverse contragewichten om de kabels van het lierwerk strak te houden. Vlak voordat de roldeur geplaatst zou worden, werden in een droge deurkas de onderrolwagens geplaatst (afb. 17), van circa 40 ton per stuk. De complete roldeur rust op twee onderrolwagens.

Installatie van de roldeur

De datum 08 maart 2023 stond al een jaar lang vet genoteerd in de agenda's. Dit was de datum waar we met zijn allen naar toe aan het werken waren. De datum waarbij alle puzzelstukjes in elkaar moesten passen. De wekker liep af om 02.30 uur, snel even douchen, een ontbijtje en de auto in. Zo zaten we om 03.30 uur op locatie in Kornwerderzand, om gezamenlijk te beslissen of alle uitgangspunten nog steeds voldeden en

bij een volmondig 'Go' het avontuur aan te kunnen vangen met een kick-off/toolbox meeting. In dit laatste beslismoment moesten de laatste vinkjes worden geplaatst. Weercondities, wind en zicht acceptabel? Scheepvaartstremming ingesteld? Drempel vrij van slib en obstakels? Alle veiligheidsvoorzieningen getroffen? Deze laatste uit een lange reeks van beslismomenten werd door alle partijen bevestigd met een vinkje, zodat we het moment konden afsluiten met een 'Go', start installatie roldeur. Even een stap terug in de tijd. Om tot een optimaal proces van installeren te komen, waren er (zoals in elk project) toch een aantal aandachtspunten die extra aandacht, engineering en zweetdruppels nodig hadden. Het installeren van de roldeur was al vanaf de start van het project bedacht om te worden uitgevoerd met een zware drijvende bok, namelijk de Matador 3. Hierbij was het gewicht van de deur bedacht op circa 800 ton. De diepgang van bok in relatie met de bodemdijpte ter plaatse zorgde ervoor dat we met deze operatie van de roldeur afhankelijk waren van het getijde. Echter, werd deze afhankelijkheid gedurende het proces van ontwerp deur steeds kritischer, dit als gevolg van het toenemende gewicht van de deur. Uiteindelijk kwam het gewicht van de deur uit op zo'n 930 ton. Al met al resulteerde dit in een grotere diepgang van de bok. Om dit risico van een grotere diepgang in relatie tot de bodemdijpte te verkleinen,

Projectgegevens

Oprichting: Rijkswaterstaat, Utrecht • Uitvoering: Aannemerscombinatie Levelv (BAM, van Oord, Envesis en Rebel) • Ontwerp: Levelv i.s.m. diverse ingenieursbureaus • Staalconstructie, installatie en bewegingswerk: HSM Steel Structures, Schiedam i.s.m. Demako (bewegingswerk), Zwijndrecht (B) • Transport van de deur: Hebo Maritiemservice, Rotterdam • Installatie van de deur (Matador 3): Bonn & Mees, Rotterdam • Lier- en kraanwerkzaamheden: Mammoet • Duikwerkzaamheden: Aquatech Diving, Joure



18. Installatie met de Matador 3.

werd er vooraf behoorlijk wat extra baggerwerk in het gebied uitgevoerd. De roldeur komt uiteindelijk op twee onderrolwagens te staan. Op deze onderrolwagens zal de deur over een rail vanuit de deurkas (positie deur open) de doorvaart in worden getrokken (positie deur gesloten). Echter, in de installatie-situatie zal de deur juist in de doorvaart geplaatst (deur gesloten) moeten worden en daarna de deurkas in worden getrokken. De deur moest bij installatie in de gesloten stand op vooraf gepositioneerde onderrolwagens worden geplaatst. Deze onderrolwagens moesten binnen een nauwkeurigheid van 20 mm onder het oplegpunt van de deur gepositioneerd staan.

Stap 1. Positioneren onderrolwagens

Stap 1 op de dag van installatie was dan ook het op de juiste positie brengen van de onderrolwagens.

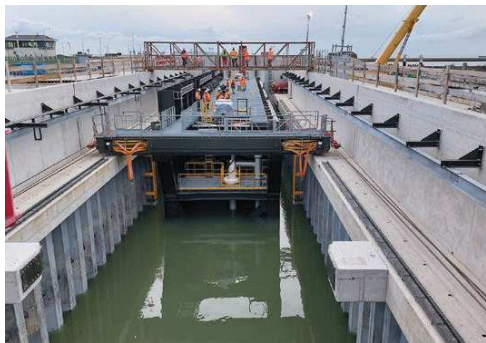
Omdat deze onderrolwagens op de drempel ver onderwater staan was de positie niet eenvoudig te controleren. Een bijkomend probleem hierbij is het gebrek aan zicht onder water. Doordat er continue slib van het IJsselmeer wordt aangevoerd en de drempel onder de doorvaartdiepte ligt was het zicht over het algemeen minder dan 10 cm. Deze beperking maakt het lastig, zo niet onmogelijk om met duikers of met ROV's (onderwater robot/camera) de positie te kunnen controleren.

Om de onderrolwagens vanuit de deurkas onderwater de doorvaart in te trekken zijn zowel aan de zijde deurnis als aan de zijde

deurkas lieropstellingen geplaatst. De dag voor installatie zijn deze lierdraden gekoppeld aan de onderrolwagens, zie onderstaand figuur 'positioneren onderrolwagens'. De onderrolwagens waren vooraf (in een droge deurkas) al onderling gekoppeld met een zogenaamde kalibratiekabel. Deze kalibratiekabel was exact op maat gemaakt zodat hiermee een onderlinge juiste afstand van de onderrolwagens was geborgd. Zodra op de dag van installatie de stremming voor de scheepvaart was ingesteld, kon worden gestart met het verrijden van de onderrolwagens. De eerste onderrolwagen werd tegen een vooraf op de rails gemonteerde aanslag getrokken. Dit trekken van de onderrolwagens vond plaats met de lieropstelling ter plaatse van de deurnis (20 ton trekkracht). Met de lieropstelling aan de deurkaszijde kon de bovengenoemde kalibratiekabel strak gehouden worden zodat de posities onderrolwagens theoretisch op de juiste locaties kon worden gepositioneerd.

Stap 2. Installeren roldeur

Na het positioneren van de onderrolwagens kon worden gestart met stap 2: het installeren van de roldeur. De weercondities waren prima, beperkte wind, goed zicht en droog. Zodra de stremming vaarweg ingesteld was, konden de ankers van de Matador 3 worden uitgezet. De roldeur werd ingepikt en vanaf het ponton gehesen. Met een opgaand zonnetje werd de deur de doorvaart ingevaren, tegen de aanslagen gedrukt en deur kon zakken. Deze



19. De deur wordt met lieren de deurkas ingetrokken.

aanslagen zorgden naast geleiding ook voor de juiste positie deur. De deur kon zo gefaseerd zakken tot op de onderrolwagens. Zowel de onderrolwagens als de roldeur stonden hierbij theoretisch goed. De ervaring leert dat de theorie ook gecontroleerd moet worden (in ieder geval goed voor onze nachtrust). Zo waren zowel aan deur als aan de onderrolwagens bakens gemonteerd welke net voor en na het neerkomen van de deur konden worden gecontroleerd. Voor het merendeel van de vele toeschouwers was hiermee de operatie al geslaagd.

Stap 3. Binnentrekken roldeur

Om de doorvaart weer vrij te kunnen geven, moest de deur eerst nog naar de stand open (de deurkas in) worden getrokken. Deze stap 3 moest tevens direct plaatsvinden om nog gebruik te kunnen maken van een schone drempel met rails. Op de deur zit weliswaar een jet-installatie om de rails schoon te kunnen blazen maar deze was nog niet actief. De benodigde kracht om de deur naar binnen te kunnen trekken bedroeg 100 ton. Ook de definitieve lierinstallatie om de deur naar binnen te trekken was op dat moment nog niet in gebruik genomen. De oplossing werd gevonden om de deur met tijdelijke lieren naar binnen te trekken. Na het binnentrekken van de roldeur was ook de laatste stap van het avontuur afgerond en wachtte ons een gezamenlijke warme maaltijd waarbij iedereen met voldoening over de lange en mooie dag kon napraten. •

SBE experts at play

follow us: [in](#) [f](#) [@](#) [v](#)

Who are we?

SBE is an engineering consultancy involved in steel projects. Building consortium Levelv, commissioned by Rijkswaterstaat to work on the reinforcement of the Afsluitdijk, asked us to design the storm surge barrier at Kornwerderzand. **Apart from this, we are specialized in deep-sea quay walls for the Port of Rotterdam and bridges in Zuidasdok, Afsluitdijk and Beatrixluis.** Being a family business allows us to have an inclusive working environment with a flat and agile organisational structure. This ensures that every colleague plays an integral role in our growth.

Our focus

- + bridges
- + industrial buildings
- + quay walls
- + navigational locks
- + jetties
- + dry docks
- + tunnels
- + underground structures
- + hydraulic structures

Want to join team SBE?

Send your CV to: recruitment@sbe-engineering.nl

sbe-engineering.com

Weena 335, 3013 AL Rotterdam

STAAL | PROMOTORS

Bedrijvenbundel voor promotie | ondersteuning bouwen met staal

'Een promotor (Engels: promoter) is een DNA-element voor een gen of genen dat de expressie (werking) van het/de gen(en) reguleert. [...] Daardoor bepaalt de promotor het startpunt van het gen voor het aanmaken van het boodschapper-RNA (mRNA).'