

Een nieuw segment



Sluiscomplex Eefde met links naast de bestaande historische hefportalen de nieuwe tweede sluisolk.

De sluis bij Eefde krijgt een tweede kolk. De bouwwerkzaamheden zijn al in volle gang, zodat medio 2020 de eerste schepen erdoor kunnen varen. Als primeur in Nederland, krijgt de nieuwe uitbreiding een segmentdeur. Gezien de monumentale status van het bestaande sluiscomplex, zijn de nieuwe keermiddelen namelijk zo veel mogelijk buiten het zicht gehouden.

ir. P. Bos en ing. A. van Kooij

Patrick Bos is project manager en Anton van Kooij is werktuigbouwkundig constructeur, beiden bij Hollandia Infra in Krimpen aan den IJssel.

Het Twentekanaal met het sluiscomplex bij Eefde is een belangrijke verkeersader voor de regio Twente met middelgrote steden als Hengelo, Enschede en Almelo, het achterland van Twente en tevens een belangrijke verbinding met (Oost-)Europa. Het sluiscomplex in Eefde is daarmee een cruciaal object voor deze toegang. De huidige sluis uit

1933, met zijn historische deurportalen, moet groot onderhoud ondergaan. Tevens zijn de wachttijden voor het passeren van de sluis fors opgelopen waarbij de scheepvaart in de toekomst alleen nog maar toeneemt. De combinatie 'Lock to Twente' (L2T: Mobilis en CroonWolter&Dros) heeft opdracht gekregen van Rijkswaterstaat voor de bouw van een 2^e sluisolk naast de bestaande kolk. Hiermee worden de wachttijden flink gereduceerd en krijgt de economie van Twente een flinke boost. Tevens wordt na de realisatie van de 2^e sluisolk de bestaande sluis gerenoveerd waardoor overlast voor de scheepvaart tijdens die werkzaamheden grotendeels wordt voorkomen.

DBFM

Het contract betreft een DBFM (Design Build Finance Maintain). L2T heeft dus naast de opdracht voor het ontwerp en realisatie van de 2^e sluisolk ook de verplichting voor 27 jaar onderhoud aan deze nieuwe Noordersluis, inclusief de gehele financiering van



Segmentdeur in het bovenhoofd van nieuwe sluisolk.

het project. Voor de bestaande Zuidersluis behoort de instandhouding van de sluis en installaties voor drie jaar en het uitvoeren van Groot Variabel Onderhoud. Hollandia Infra en Hollandia Services zijn in onderaanneming met L2T het werk aangegaan, voor respectievelijk nieuwbouw en renovatie & onderhoud.

Onzichtbaar

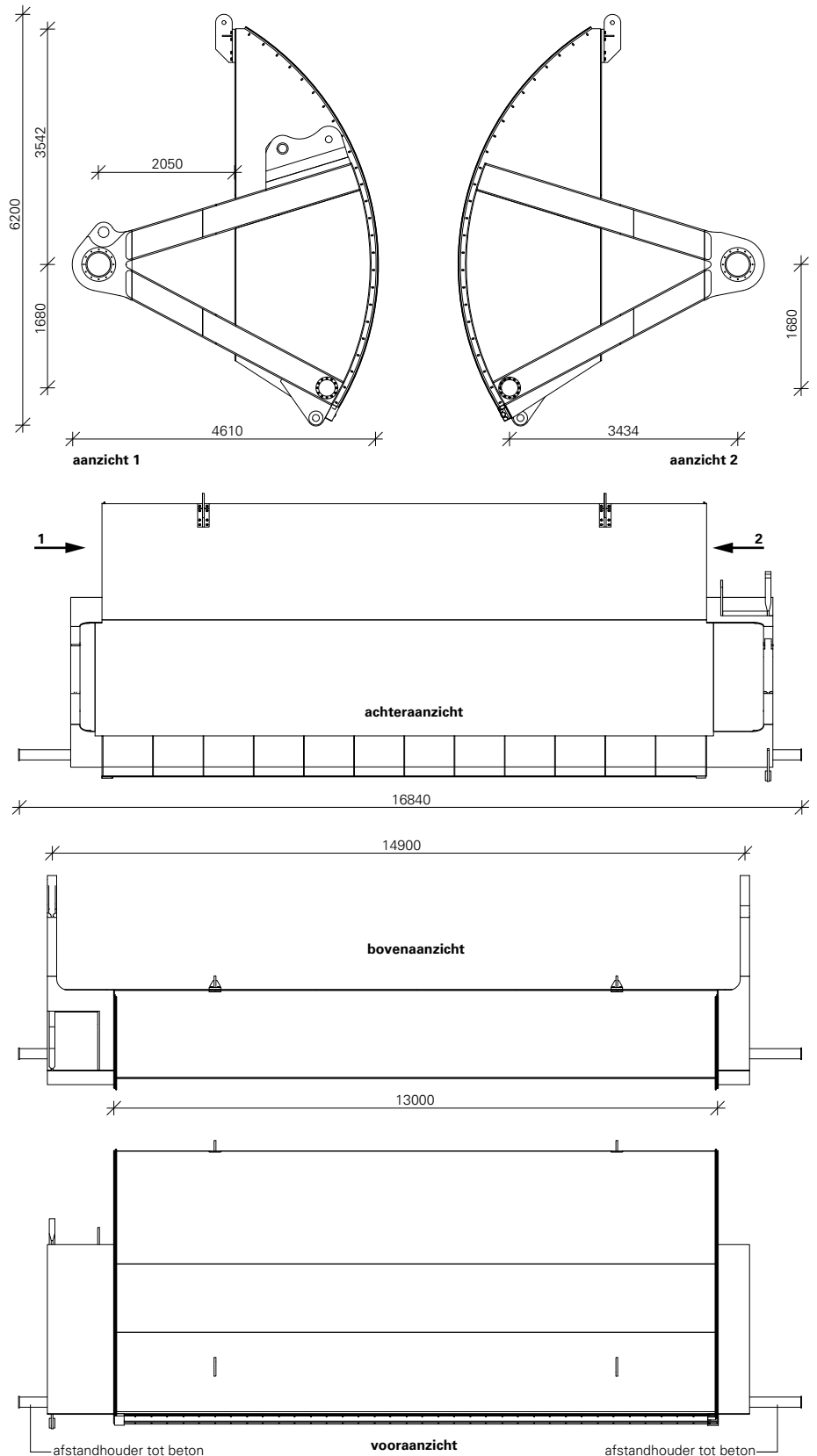
Gezien de monumentale status van het bestaande sluiscomplex, is ervoor gekozen om de 2^e sluisolk te voorzien van keermiddelen die niet zichtbaar zijn boven maaiveld. In plaats van hefdeuren in portalen wordt

de nieuwe sluis daarom voorzien van een segmentdeur en puntdeuren. Het gehele Twentekanaal wordt met gemalen kunstmatig op een niveau van 10 m^{+NAP} gehouden. Daarmee is het hoogteverschil tussen het waterniveau in het kanaal en de aansluitende IJssel, afhankelijk van het niveau op de IJssel, tussen de 5 en 7 m. Bij een calamiteit met de sluisdeuren zou een open verbinding kunnen ontstaan tussen het kanaal en de IJssel en zou het kanaal kunnen leegstromen. Dit wordt gezien als het top risico van deze sluis en is daarmee een bedreiging voor het achterland.

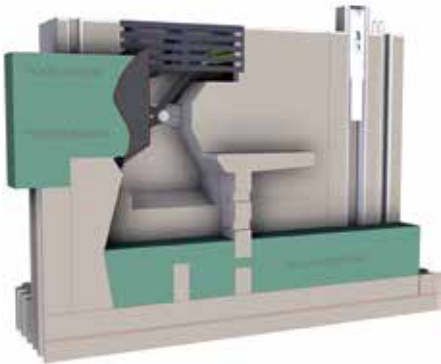
Hoe werkt een sluis?

Een sluis is een waterbouwkundig kunstwerk dat dient om het water te keren, maar ook om schepen gecontroleerd van het ene naar het andere niveau te brengen. Aan beide zijden wordt het water tegengehouden met deuren. Aan de hogere waterstand, in Eefde de kanaalzijde, is dit het bovenhoofd. Aan de zijde met het lagere waterniveau, de IJsselzijde, heet dit het benedenhoofd. Door de zijde met het waterverschil gedeeltelijk te openen, wordt het water in het afgesloten gedeelte, de sluiscolk genaamd, op gelijk niveau gebracht. Nu kunnen na geheel openen van de deuren aan deze zijde de schepen uit- en invaren. Als deze deuren weer gesloten zijn, kan nu aan de tegenoverliggende zijde hetzelfde gebeuren, één totale scheepspassage of één schutcyclus.

In het aanbiedingsontwerp is voorgesteld om het bovenhoofd te voorzien van een segmentdeur. Dit type keermiddel wordt normaliter toegepast bij noodkeringen. Dit, omdat zelfs bij een hoge belasting de deur met een relatief lage kracht kan worden gedraaid. Storm en zware stromingen zorgen voor een grote waterkracht op de deur, echter door de radiale vorm van de deur worden deze krachten allemaal naar het draaipunt van de deur geleid, waardoor de deur 'balanceert' op de draaipunten. Met een relatief kleine kracht kan de deur dan worden gesloten. In een calamiteit van een open-kolk situatie is enige zekerheid van kunnen sluiten van groot belang. In Nederland zijn verschillende segment-noodkeringen gebouwd door Hollandia met als meest bekende de Maeslantkering. Maar recent ook grote buitenlandse exemplaren, zoals de Ipswich Tidal Flood Barrier en de Boston Barrier langs de oostkust van Engeland.



Afmetingen van de segmentdeur.



Verval over het bovenhoofd.

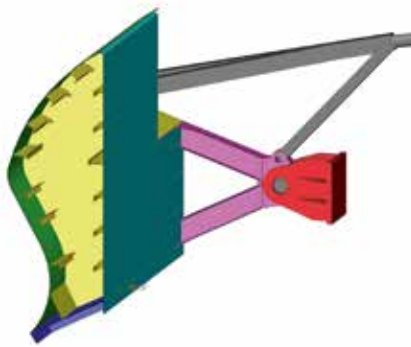
Open-kolk situatie

Een vaker optredend incident bij een schutsluis is dat een invarend schip door de geopende sluisdeur de sluisdeur invaart, maar te laat stopt en tegen de andere sluisdeur aanvaart. Indien deze aanvaring dusdanig is dat de andere deur opent, ontstaat er een open verbinding tussen het hoge en lage waterniveau aan weerszijden van de sluisdeur. In Eefde is het niveauverschil hierbij dusdanig groot, wel 5-7 m, dat er daardoor een flinke stroming ontstaat, waarbij deze open-kolk situatie ervoor zorgt dat het Twentekanaal binnen 1,5-2 dagen leegstroomt.

Gezien het niveauverschil in Eefde, zal een open-kolk situatie een zeer forse waterkracht op de keermiddelen genereren. Met reguliere keermiddelen wordt het sluiten onder stroming erg moeilijk. Bij hefdeuren zal de forse waterkracht op de deur een dusdanige wrijving veroorzaken in de sponning dat de deur op eigengewicht niet meer zal zakken. En twee puntdeuren zijn heel sterk als ze tegen elkaar aan staan, maar indien, onder forse stroming elkaar eerst moeten vinden, dan is de kans groot dat de stroming de deuren laten doorslaan voordat ze tegen elkaar komen.

Deur op een kier

Het nivelleren van het waterniveau in een sluisdeur gebeurt normaliter via openingen in de deuren die geopend en gesloten worden, waardoor de sluisdeur vol stroomt. Omdat een segmentdeur, die ondanks stroming toch zeer eenvoudig en gecontroleerd bewogen kan worden, wordt deze deur op een kier gezet om de sluisdeur te laten nivelleren. Deze methode, zonder extra aandrijvingen en

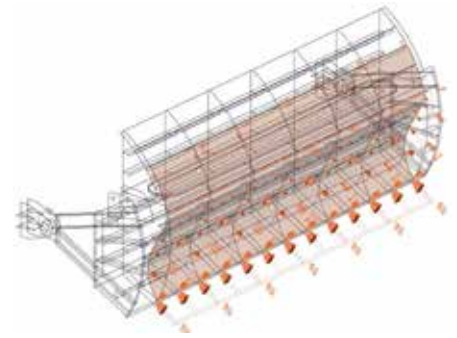


Doorsnede FE-plaatmodel.

installaties, draagt bij aan een eenvoudiger, maar robuust en betrouwbaar systeem. In Duitsland is reeds enige ervaring in het ontwerpen van dit type sluisdeur. De vorm van deze deuren is als vertrekpunt gebruikt voor het ontwerp van de segmentdeur van Eefde. Gebaseerd op de lokale situatie, kerende hoogte, aanwezige waterstanden, gewenste hoogte van het draaipunt en doorstroombopening is de geometrie aangepast.

De bolle zijde van de segmentdeur heeft een lokale holte. Ook het Duitse woord voor deze vorm Füllmossel is geleend. Door de deur vanuit de gesloten stand enkele graden te verdraaien, ontstaat aan de onderzijde een opening waardoor het water in de kolk kan stromen.

In samenwerking met Deltares is het gedrag van deze opening doorgerekend en zijn formules opgesteld om het debiet bij een bepaalde waterstand en doorstroombopening te kunnen berekenen. Naar aanleiding van dit onderzoek is het programma 'LockFil', waarmee de stabiele ligging van de schepen tijdens schutten wordt vastgesteld, aangevuld zodat dit nu ook sluisen met segmentkeringen afdekt. Deze vereiste stabiliteit zorgt voor een beperking in het maximaal toelaatbare debiet. De mate van stabiliteit wordt ook bepaald door het verschil of het water onder de deur door als een waterval in de sluis plonst, of dat de waterstraal als onderwater instroomt bij al een hoger waterniveau in de kolk, de zogenaamde on- en verdronken straal. Het ontwerp van deze vulmossel is gebaseerd op een nivelleerstand van $\sim 7^\circ$ totdat de waterstraal verdronken wordt, daarna wordt doorgedraaid naar $\sim 20^\circ$. Dan ontstaat een grotere opening en wordt sneller genivelleerd.



FE-model met waterbelasting.

Als de waterstand in de kolk bijna gelijk is aan het kanaalpeil, wordt de kering doorgedraaid naar de volledig open positie, naar het niveau van de kanaalbodem.

Om de turbulentie van het instromende water te beperken, is deel van het civiele ontwerp van de sluisdeur een woelkamer. Een ruimte waar het instromende water gebroken wordt door kolommen en sporingen in de scheidingswand.

Opbouw constructie

De segmentdeur is een uit staalplaten samengelaste constructie. De achterzijde is een vlakke plaat en de voorzijde heeft een bepaalde radius voorzien van een terugliggende tegenradius van de vulmossel. Deze platen zijn voorzien van verstijvers uit ongelijkzijdige hoekstaal. Om het volume laag te houden is een schuine onderzijde voorzien. Elke 2,16 m is een inwendig schot geplaatst, zo ontstaat een sandwichconstructie met grote torsiestijfheid zodat aandrijving aan één zijde mogelijk wordt.

Doordat de constructie bestaat uit een holle afgesloten ruimte, heeft de deur veel opwaartse kracht in het water. Hierdoor zal de constructie geneigd zijn om te drijven, wat positief bijdraagt aan de betrouwbaarheid en veiligheid, doordat de sluisdeur te allen tijde kan worden gesloten bij een storing of calamiteit.

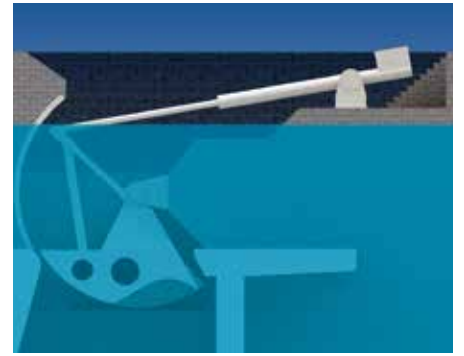
De inwendige schotten zorgen voor onderling gescheiden compartimenten, waardoor bij schade aan de deur door een aanvaring maar een gedeelte van de holle constructie vol met water stroomt. Hierdoor blijft de toename van de benodigde cilinderkracht beperkt en blijft het mogelijk om na een aanvaring met



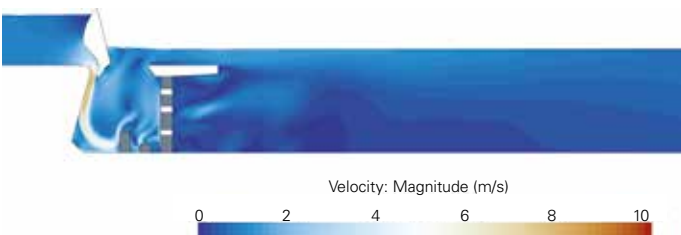
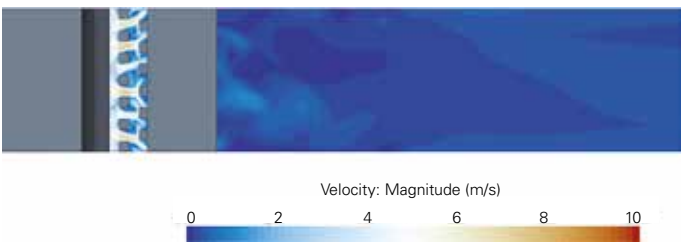
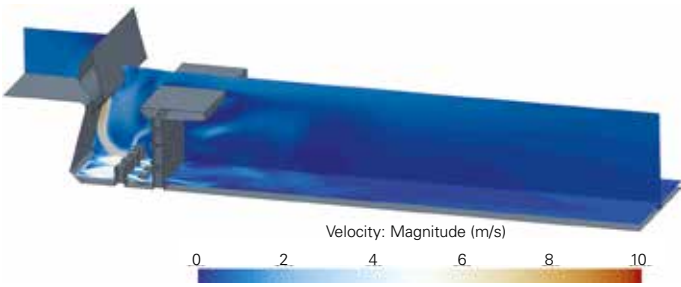
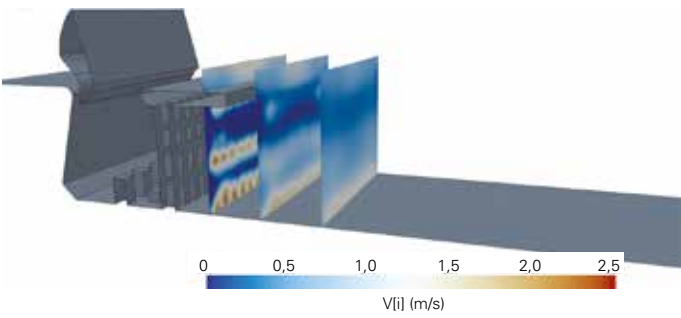
Segmentdeur gesloten stand.



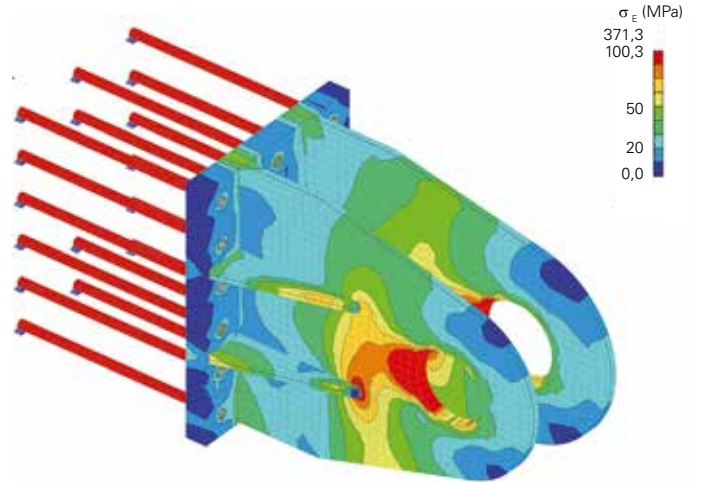
Segmentdeur nivellerend.



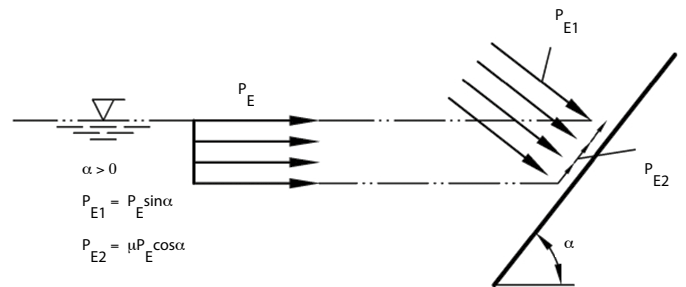
Segmentdeur open stand.



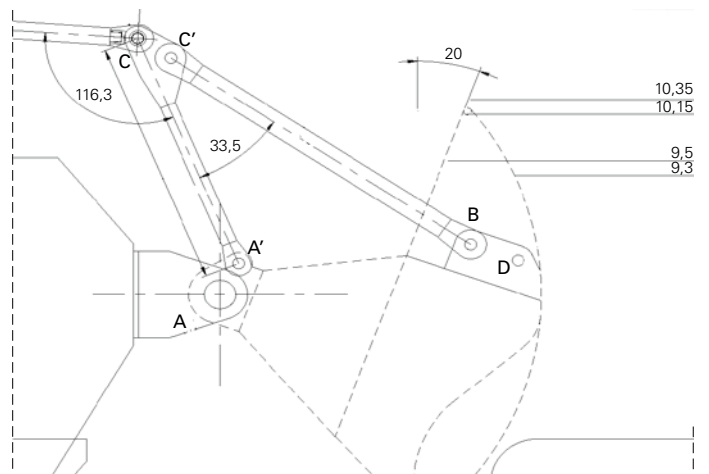
De civiele woelkelder breekt instromend water tijdens nivelleren van de sluisdeur.



Hoofddraaipunt maximale UGT-spanningen.



Ijsbelasting conform DIN 19704-1.



Stangenstelsel om naar de onderhoudstand te kunnen bewegen.



Model deurconstructie met in beton te storten 'kozijn' (lichtgrijs) als afdichtingen en hydraulische cilinder als aandrijving (geel).



Opvijzelen van de deurconstructie om draaiarmen aan te kunnen brengen.

lekkage de sluisdeur te bedienen. Dit principe wordt bij segmentdeuren in Duitsland niet toegepast. Daar wordt gekozen om tijdens het nivelleren niet alleen het water onder de deur door te laten stromen, maar ook door openingen in de deels open deur zelf. Een bijkomend voordeel van een gesloten constructie is dat alleen een conserverings-systeem aan de buitenzijde toegepast hoeft te worden, een keuze die positief bijdraagt aan economisch en veilig onderhoud. Immers onderdeel van het DBFM-contract met 27 jaar onderhoud. Nadeel van deze keuze is echter dat de waterbelasting vanuit de kolkzijde op de vlakke achterzijde, nu zorgt voor een openend moment. Dit betekent dat nu ook deze vlakke achterzijde op vermoeiing wordt belast en dat de cilinder een bijna net zo grote drukkracht moet leveren als trekkracht.

Energieterugwinning

Door de opwaartse kracht van de deurconstructie verlopen de belastingen tijdens de schutcyclus als volgt: in gesloten kerende stand wordt er aan de cilinder getrokken. Tijdens het bewegen naar de geopende stand toe, keert deze kracht echter om naar een drukkende kracht tijdens het nivelleren. Als de segmentdeur helemaal naar de geopende stand is gedraaid, is deze drukkende belasting bijna verdwenen en wordt de opwaartse kracht van het water voornamelijk opgenomen door de draaipunten. Zodra de deur

vanuit de bodem terugdraait naar de kerende stand, ontstaat wederom een drukkende kracht.

Tijdens deze drukkende kracht is de functie van de cilinder afremmend. De installatie van de aandrijving wekt energie op uit deze afremmende kracht. Deze energie wordt teruggegeven aan het energienetwerk, wat bijdraagt aan een milieuvriendelijke situatie.

Constructief ontwerp

Vanuit montage-eisen is het eigengewicht laag gehouden, dit betekent dat de segmentdeur is opgebouwd uit een relatief dunne huidplaat met hoekstaal-verstijvers. De sterkte is minder belangrijk in het ontwerp van deze deur, vermoeiing en stijfheid zijn de grootste opgaven. Elke schutcyclus geeft een vermoeiingswisseling. De deur dient conform de uitvraag berekend te worden op 1.000.000 wisselingen. Dit reduceert de toelaatbare spanningen behoorlijk en vraagt in de detaillering geregeld doorlassingen.

Het meeste laswerk zit inwendig, waarbij 'werken in een besloten ruimte' van toepassing is. Hierbij zijn extra maatregelen en voorzieningen vereist om de werkzaamheden veilig uit te kunnen voeren. Door weloverwogen ontwerpkeuzes zijn werkzaamheden binnenin de constructie geminimaliseerd. En is de bouwvolgorde dusdanig opgesteld dat tijdens het productieproces de constructie zo lang mogelijk open en eenvoudig toegankelijk

is gehouden. In het ontwerpproces is dus niet alleen nagedacht over sterkte, vermoeiing, stabiliteit en onderhoudbaarheid, maar ook duurzaam produceren. Dit om ervoor te zorgen dat collega's zo veilig mogelijk kunnen werken en zich niet in onnatuurlijke houdingen moeten manoeuvreren om de lussen van een hoog vermoeiingsdetail te kunnen leggen.

Om de hoofdconstructie van de segmentdeur te berekenen zijn er drie situaties beschouwd: het keren van het water in gesloten stand, het bewegen van de kerende stand naar de geopende stand en het overpakken van de gesloten stand naar de onderhoudsstand. De bekende Nederlandse normen en richtlijnen zijn gehanteerd, zoals VOB, ROK en de ontwerpboeken over schutsluizen met tal van belastingssituaties waar de segmentsluis aan dient te voldoen. Voor de temperatuur en ijsbelasting op de radiale voorwand is DIN 19704-1 geraadpleegd. Deze norm schaft meer duidelijkheid over hoe de krachten van ijsdruk inwerken op een niet-verticale voorwand. Dit omdat krachten die niet door het draaipunt gaan een grote invloed hebben op de belastingen en dus op het ontwerp van de cilinder.

Voor de controleberekening van de cilinder en het bewegingswerk is gebruikt gemaakt van een FE-pakket en spreadsheets voor de handmatige controleberekeningen. Er is een plaatmodelconstructie gemaakt met hierop



Contouren segmentdeur worden zichtbaar.



Segmentdeur under construction.

geprojecteerd de verschillende waterstanden en overige belastingen zoals eigengewicht, ijsdruk, maximale cilinderdruk, blokkeren van de deur enzovoort. Hiermee is voor de verschillende situaties de sterkte-toets uitgevoerd in de gesloten en geopende standen, en voor montagestanden. Voor de vermoeiingsberekening is hetzelfde FE-model gebruikt met maar drie verschillende situaties.

1. Water op kanaalpeil aan beide zijden in gesloten positie.
2. Waterkerend kanaalpeil in gesloten positie, geen water in de kolk (bij het benedenhoofd is nu genivelleerd).
3. Geopende positie. De segmentdeur ligt nu op kanaalpeil onder water.

Voor de controle van de deur is de toelaatbare spanning gereduceerd tot 75 N/mm². Dit is gebaseerd op aangelaste platen in dwarsrichting met categorie 80 van tabel 8.4 uit NEN-EN 1993-1-9. Voor de locaties met hogere spanningen zijn uitgebreidere checks gemaakt. Het plaatsen van de draaipunten en de gewenste nauwkeurigheden hebben het ontwerp van de deurarmen en draaipunten behoorlijk gewijzigd. In eerste instantie waren robuuste stijve armen en draaipunten voorzien die dwars op de kolkwand de reactiekracht konden afgeven. Deze keuze kwam onder andere voort uit het beperken van de doorbuiging van de deur door de waterdruk uit het kanaal en de afdichting. De nauwkeu-

righeid en complexe montage werd echter te risicovol geacht en daarom is gekozen voor 'slappe' armen in dwarsrichting en accepteren dat de deur meer doorbuigt. Deze relatief slappe armen geven een lage dwarskracht af richting de kolkwand en hiermee kon het ontwerp van de complexe draaipunten aangepast worden tot een meer traditionele oplossing. Zoals eerder gezegd, de hoge gebruiksfrequentie zorgt voor lage toelaatbare vermoeiingsspanningen. Zeker voor de armen zijn verschillende ontwerpen de revue gepasseerd om tot het huidige ontwerp te komen, dat goed te fabriceren is en voldoet aan de vermoeiingseisen.

De koppelstang verbindt de voorzijde van de cilinder met de deur, zodat deze kan worden bewogen. Aangezien is gekozen voor een lichte, dichte deur die opdrijft in de ondergedompelde situatie, ontstaat er druk in de cilinder en de koppelstang. Dit geeft knikstabiliteit die opgelost is door de koppelstang als een driehoek in het vlak uit te voeren. Vanuit onderhoud zijn alle pennen roestvast uitgevoerd en zijn vezelversterkte kunststof bussen toegepast op het raakvlak van de pennen en de onderdelen van het bewegingswerk.

De koppelstang kan als de deur is bevestigd aan de kolkwand bij 'D' (afb. p. 41, rechtsomder) losgemaakt worden. De cilinder kan dan direct bevestigd worden aan de segmentdeur. Punt 'C' wordt dan verbonden met punt B.

Doordat de cilinder door punt C verbonden blijft met de rotatie-arm, hoeft geen complexe gelagerde verbinding losgemaakt te worden om naar onderhoudstand te gaan.

Hydraulische innovatie

Vanuit het contract moet de deur een aanvaarbelasting van 1,0 MJ kunnen weerstaan. De deur is voldoende sterk en heeft voldoende 'kreukelzone' voor de opname van aanvaarenergie.

Indien de deur wordt aangevaren, dan zal ook het bewegingswerk ongewenst belast worden. Om aanvaringschade aan het bewegingswerk zoveel mogelijk te voorkomen en reparatietijd te beperken, is gekozen voor hydraulische cilinders in plaats van de elektromechanische cilinders die in eerste instantie waren voorzien. Hydrauliek kan veel beter overweg met een stootbelasting. Gezien de zeer beperkte beschikbare ruimte was de traditionele installatie waarbij de cilinder aangedreven wordt met een hydraulisch aggregaat, niet mogelijk. Hier zijn voor het eerst in de infrastructuur drie-kamer cilinders van Bosch Rexroth toegepast, waarbij de cilinders enkel voorzien zijn van een *power-unit* op de cilinder.

Self activating seals

Het is uniek in Nederland dat een segmentdeur wordt toegepast in een schutsluis. Een sluisdeur wordt tientallen keren per dag bewogen en dat vraagt om specifieke oplos-

Projectgegevens

Locatie Twentekanaal, Eefde • Opdracht Rijkswaterstaat, Utrecht • Constructief ontwerp en staalconstructie Hollandia Infra nieuwbouw, Krimpen aan den IJssel • Uitvoering Lock to Twente: Mobilis (civiel), Apeldoorn en CroonWolter&Dros (installaties), Rotterdam

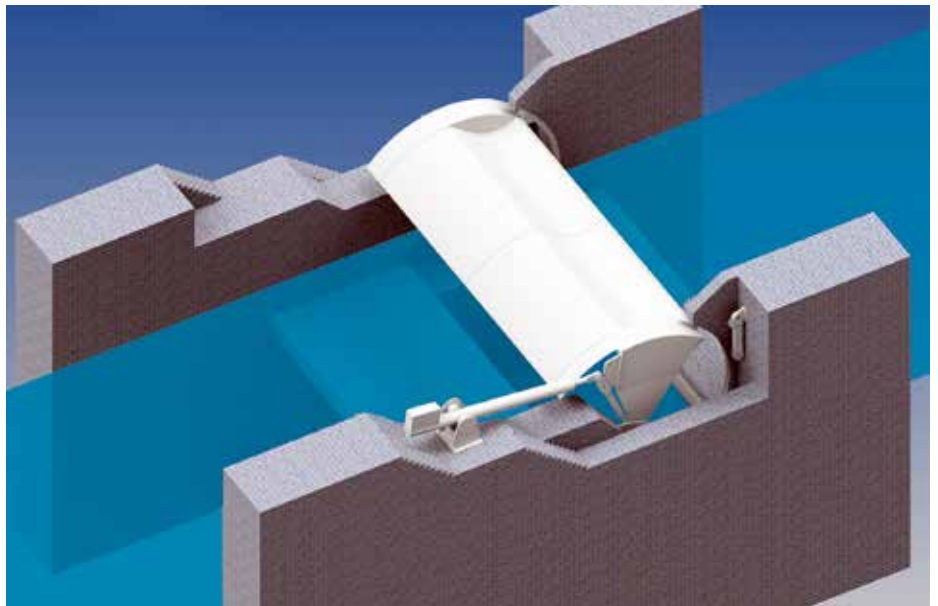


Segmentdeur in wording.

singen. Zoals gezegd is vermoeiing één van deze eisen, daarnaast is slijtage van de afdichtingen van belang. Tabel 3 uit DIN 19704-1 is toegepast met daarin de wrijfingswaarden die aangehouden dienen te worden voor afdichtingsrubbers op de aanslagen. Bij elke deurbeweging glijdt de afdichting over een kwart cirkel en weer terug. In de levensduur dus vele kilometers. Om de slijtage laag te houden is een lage slijtfactor met een lage aandrukkracht gewenst. Rubbers zijn vanuit onderhoud ongewenst. In overleg met een kunststofproducent is gekozen voor polyurethaan. Dit materiaal is sterker dan rubber en heeft een lagere slijtagefactor.

Self activating seals

Om de aandrukkracht laag te houden, is gekozen voor *self activating seals* wat zoveel wil zeggen dat de waterdruk helpt om de segmentdeur dicht te houden. Voor de afdichtingen met de zijkant van een kolk is dit een bekende oplossing. Voor de afdichting aan de onderzijde is dit lastig te realiseren. De segmentdeur draait 'verkeerd om'. De waterdruk vanuit het kanaal drukt de segmentdeur van de drempel weg, waardoor de seal niet zou kunnen worden geactiveerd. Daarom wordt het water bij de afdichting omgeleid, zodat ook aan de achterzijde van de afdichting waterdruk komt en daarmee de afdichting wordt aangedrukt. Om verstoppingen door eventueel sediment te voorkomen, zijn spoelpoorten aangebracht.



De constructie in 'paraplu'-onderhoudsstand.

Paraplustand

Aangezien het Twentekanaal kunstmatig op dezelfde waterstand wordt gehouden, zal de radiale kant van de segmentdeur altijd onder water staan. De achterzijde van de deur valt wel droog als het water in de sluisenkolk op het lage schutpeil staat, maar de afdichtingen van de deur zitten op de bolle zijde van de deur. Deze kunststof afdichtingen zijn slijtagegevoelige delen en kunnen schade oplopen door drijvende obstakels. Om de radiale zijde van de deur te kunnen inspecteren en

onderhouden, is het ontwerp voorzien van een onderhoudsstand. Door de deurconstructie in de kerende stand mechanisch vast te zetten, kan het stangenstelsel, waarmee de cilinder aan de deur zit, deels gedemonteerd worden. Daardoor kan de cilinder opnieuw worden uitgeschoven en rechtstreeks aan de deur worden gekoppeld. Door de slag van de cilinder nogmaals te gebruiken, trekt de cilinder de deur in de 180°-stand, de zogenoemde paraplustand, waarbij de constructie volledig boven water uitsteekt. •