
Spuien als het kan, pompen als het moet

Nieuwe pomp- en spuigroepen in Afsluitdijk bij Den Oever



In de Afsluitdijk bij Den Oever komen zowel nieuwe spuiagroepen als nieuwe pompagroepen. Dat is nodig om in de komende decennia voldoende water uit het IJsselmeer te kunnen blijven afvoeren naar de Waddenzee. Het zijn indrukwekkende bouwwerken met een reeks aan specifieke eisen.

Het IJsselmeer wordt gevoed door meerdere rivieren.

Om te voorkomen dat het meer overstroomt, zijn bij de bouw van de Afsluitdijk spuicomplexen aangebracht: één bij Den Oever (drie spuiagroepen met ieder vijf spuiokers) en één bij Kornwerderzand (twee spuiagroepen met ieder vijf spuiokers). Bij laagwater in de Waddenzee worden de spuiokers opengezet, waardoor op basis van natuurlijk verval het waterpeil op het IJsselmeer wordt beheerst.

Deze bestaande spuicomplexen hebben in de toekomst te weinig capaciteit. Dat komt door de zeespiegelstijging, waardoor het verval tussen het water in het IJsselmeer en laag water op de Waddenzee kleiner wordt en de spuiensters (periodes waarin het water in het IJsselmeer hoger staat dan in de Waddenzee) korter worden. Daarmee neemt dus de totale capaciteit van de spuicomplexen af. Daarnaast is de verwachting dat in de toekomst de aanvoer van water uit rivieren en kanalen toeneemt, waardoor er meer water moet worden geloosd.

Het gebrek aan afvoercapaciteit wordt opgelost door bij Den Oever, op de eilanden tussen de bestaande spuiagroepen (spuigroep 1.1 – 1.3, fig. 2) twee nieuwe spuiagroepen te bouwen (spuigroep 1.6 en 1.7), met elk vier spuiokers. Bovendien worden aan beide zijden van dit spuicomplex pompagroepen gebouwd, met elk drie pompen. Deze pom-

auteurs



IR. PETER MEIJVIS

Integraal Ontwerpleider
Levvell / BAM
Infraconsult



ING. RUUD KEESOM

Integraal Ontwerpleider
Levvell / BAM
Infraconsult

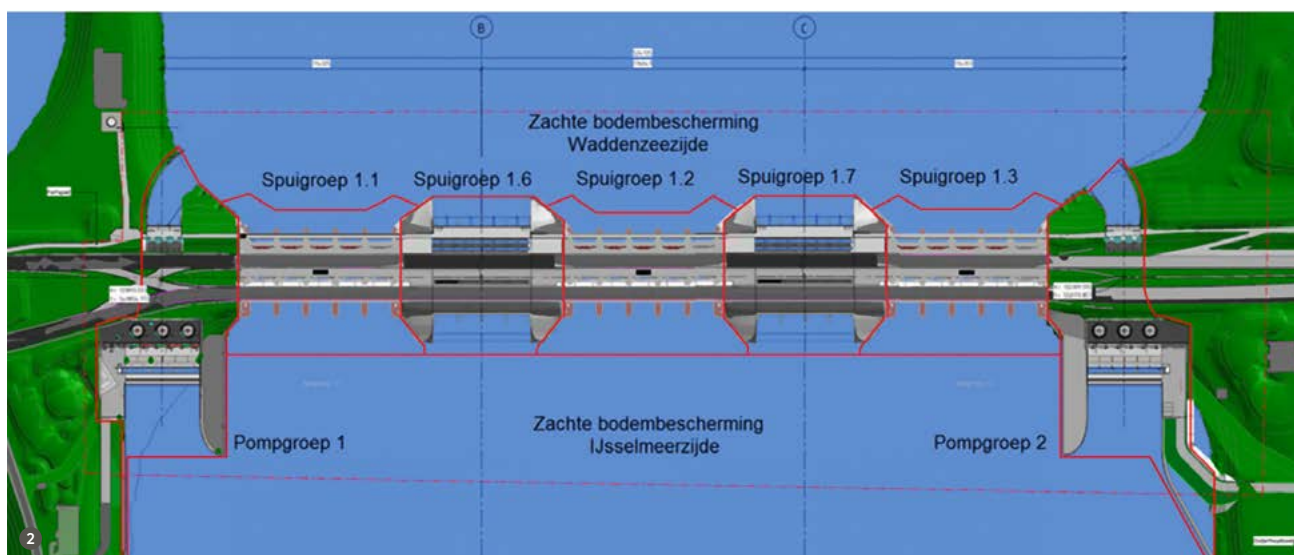
pen kunnen praktisch getij-onafhankelijk extra water afvoeren (in tegenstelling tot het spuien onder vrij verval). De gegarandeerde capaciteit van de zes pompen bedraagt in totaal 235 m³/sec. Daarmee wordt dit een van de grootste gemalen van Europa. Om zo energie-efficiënt mogelijk te werken, hanteert Levvel het motto ‘spuien als het kan, pompen als het moet’.

Ontwerplevensduur

Het nieuwe spuicomplex is erop ontworpen om naast het spuien ook te keren. Het 1/10.000 jaar optredend hoogwater vanuit de Waddenzee moet worden gekeerd, conform de hydraulische randvoorwaarden zoals vastgesteld door Rijkswaterstaat. Ook het IJsselmeerwater moet worden gekeerd met dezelfde normfrequentie.

De civiele betonconstructie van de pomp- en spuiagroepen heeft een kerende hoogte van NAP +7,0 m. De 1/10.000 jaar waterstand op de Waddenzee bedraagt NAP +6,47 m in 2120 in het ongunstigste scenario met betrekking tot zeespiegelstijging (+1,5 m).

Door Rijkswaterstaat is een ontwerplevensduur (in combinatie met een aantoonbare onderhoudbaarheid) van 100 jaar geëist, waarbij de hoogwaterveiligheid en het afvoeren van water continu moeten zijn geborgd, en het wegverkeer minimale hinder mag ondervinden. →



PROJECTGEGEVENS

project

Afsluitdijk,
Nieuwe spuiniddelen

opdrachtgever

Rijkswaterstaat

opdrachtnemer

Levvel, bestaande uit
BAM, Van Oord,
Rebel en Inveis

ontwerp en levering

pompen

Flowsolve

levering prefab

pomphuisen

Waco

mallen prefab

pomphuis

Verhoeven

Timmerfabriek

3D-laserscannen

Coenadie



Deze ontwerplevensduur wordt in de betonconstructie onder meer verkregen door het toepassen van een uitgekiend C30/37 betonmengsel in combinatie met een betondekking van 70 mm op de wapening.

De levensdureisen hebben ook op andere manieren invloed gehad op het ontwerp, bijvoorbeeld door het toepassen van extreem duurzame materialen op moeilijk bereikbare plekken, duplex glijstrippen voor

de schuifgeleidingen (foto 3), het toepassen van een zeer robuust coating systeem in combinatie met kathodische bescherming, het zorgen voor bereikbaarheid/vervanging van componenten (inclusief het koker voor koker kunnen droogzetten van de pomp- en spui groepen), het voorzien van permanente hijsvoorzieningen en het creëren van geschikte kraanopstelplaatsen in de permanente situatie.

Pompgroepen

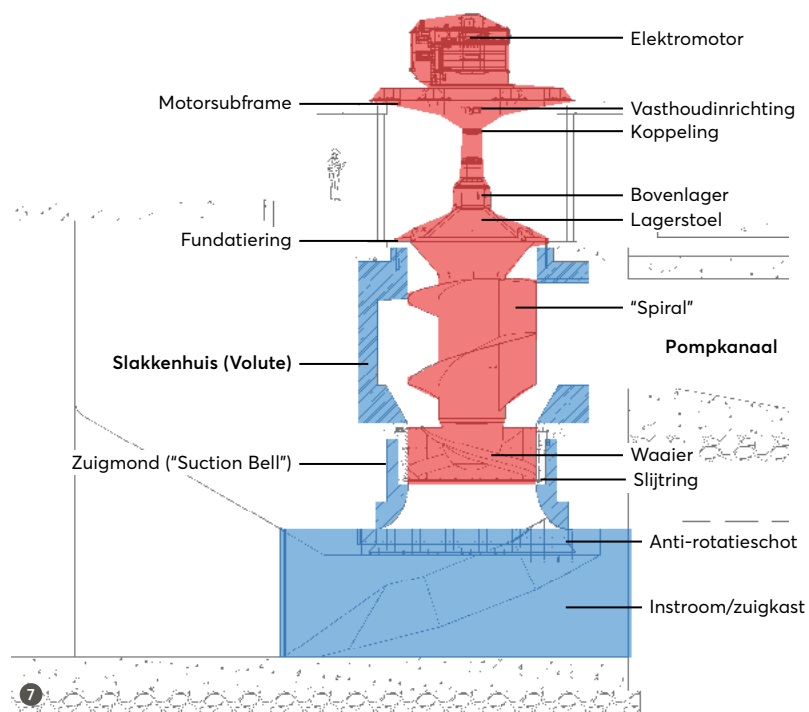
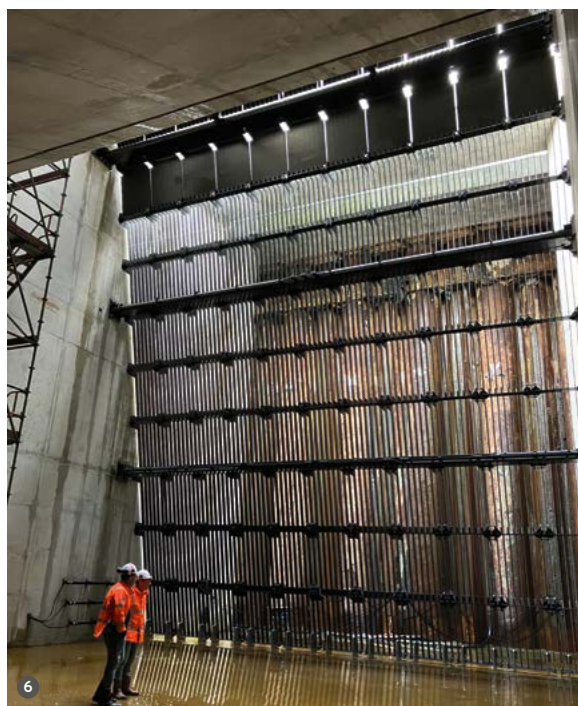
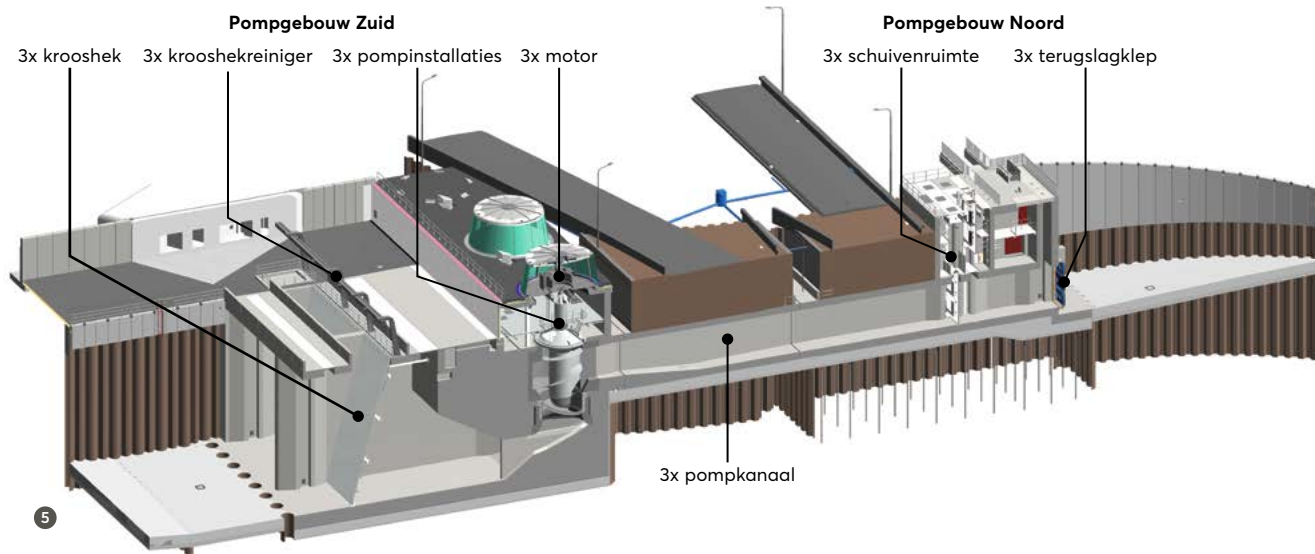
*De spuigroepen
spuien onder
vrij verval, de
pompen kunnen
getij-onafhanke-
lijk extra water
afvoeren*

Onderdeel van de nieuwe spuicomplexen zijn twee pompgroepen (foto 4). Deze bestaan uit verschillende onderdelen (fig. 5). Aan de kant van het IJsselmeer is een instroomkanaal met een strekdam gebouwd om te zorgen dat het water recht het gemaal instroomt. Daar zit ook een enorm 'krooshek' (foto 6) om te voorkomen dat er (grof) vuil in de pompen komt, terwijl het wel visen doorlaat. Aan het eind van het instroomkanaal (NAP -15 m) wordt het water omhoog gezogen met de verticale zogenoemde 'concrete volute' pompen (pomp in een betonnen omhulling, fig. 7). Deze bijna 12 m hoge pompen hangen boven een instroom/zuigkast, in een betonnen pomphuis. Dit pomphuis bestaat uit de zuigmond (*suction bell*), met daarin een metalen pompwaaier, en het slakkenhuis (*volute*) met de spiraal. Aan de

bovenzijde van de pompen bevinden zich de elektromotoren die boven het maaiveld uitsteken in een glazen koepel.

Het water stroomt via het pomphuis het pompkanaal in (voor elke pomp een kanaal van $5,5 \times 5,5 \text{ m}^2$ in doorsnede en met de bodem op NAP -6 m) richting de Waddenzee. De pompkanalen lopen onder de dijk door, en dus ook onder de snelweg en het fietspad. Aan de Waddenzeezijde bevindt zich, vóór het uitstroomkanaal, een schuivenhuis. De (dubbel uitgevoerde) pompschuiven daarin dienen als (hoog)waterkering wanneer de pompen zijn uitgeschakeld. Ter hoogte van het schuivenhuis zijn zogenoemde 'terugslagkleppen' gemonteerd, die als functie hebben om de pompen voldoende tegendruk te geven bij het opstarten, en om de instroom van zout water richting het →





IJsselmeer tijdens het afschakelen van de pompen en het sluiten van de pompschui-ven tot een minimum te beperken.

Eisen en functies pompgroepen

De pompgroepen hebben als hoofdfuncties het *afvoeren van water* en het *keren van (hoog)water* (uiteraard ook tijdens de bouw-fase). De eis dat er ook wegverkeer moet kunnen passeren wordt geborgd door de

civiele constructie met het daarop gelegen weglichaam. Tevens moet het aanzien van de pompgroepen recht doen aan het monu-mentale karakter van de witte heftorens van de bestaande spuiagroepen.

Deze laatste eis heeft veel invloed ge-had op het ontwerp. Alle constructieonderde-len, met uitzondering van de glazen koepels met elektromotoren, moesten zich onder het dijkniveau ter plaatse bevinden (NAP +7 m).

*Het nieuwe
spuicomplex is
erop ontworpen
om naast het
spuien ook te
keren*



Hierdoor zijn diverse aanlegniveaus bepaald en konden bijvoorbeeld geen opbouwen worden gebruikt om (waterdichte) toegangen te creëren voor de gebouwen en (ondergrondse) technische ruimten. De in het zicht komende delen, zoals de glazen koepels, de gevels (aan IJsselmeerzijde) en de prefab betonnen schorten, die de afwerking van de damwanden van in- en uitstroom van het gemaal vormen, zijn gebonden aan hoge esthetische eisen (zoals al te zien is op basis van de huidige stand (oktober 2024) van zaken van de koepels (foto 8)). Er geldt: 'Lely's Erfgoed Veilig gesteld' (waarop de naam van de bouwcombinatie Levvel is gebaseerd).

Integratie ontwerp en uitvoering pompgroepen

Zaken die de pompgroepen uniek en complex maken en die het ontwerp en de bouwfasering sterk hebben bepaald:

- Er wordt gebouwd in een primaire waterkering: spuien en (hoog-)water keren moeten altijd doorgang vinden.
- Het werken in/aan de dijk is gedurende alle jaren tijdens de bouw gebonden aan het stormseizoen; van 1 oktober t/m 1 april moet de dijk inclusief tijdelijke voorzieningen stormveilig zijn. Dat betekent dat de planning zo is ingedeeld dat werkzaamheden die de waterveiligheid negatief kunnen beïn-

vloeden steeds voor 1 oktober zijn afgerond. Back-up scenario's zoals het gecontroleerd inunderen van een bouwkuip bij voorspelde extreme waterstanden, waren steeds achter de hand.

→ De Afsluitdijk met de daarop gelegen Rijksweg A7 betreft een relatief smal lijnvormig object, aan weerszijden begrenst door water, met diverse dicht op elkaar gelegen deelprojecten (zie ook het deel over de fasering, verderop in het deel over de spui-groepen).

→ Het betreft een langlopend project (8 jaar) met vele faseringen (meer dan 30), onderlinge en externe afhankelijkheden, ruimtelijke beperkingen, veel hulpwerk, inclusief 20 m diepe bouwkuipen, en grote betonvolumes.

Er is bovendien rekening gehouden met enkele bijzondere belastingen:

- kraanbelastingen voor het inhijzen van pompen (100 ton/stuk), zowel tijdens de bouw als toekomstig onderhoud;
- droogzetten voor onderhoud van pompkokers (het geheel van de diepe instroom/zuigkast, het pomphuis en het pompkanaal, inclusief pompschuiven), waardoor ook de (deels vrij uitkragende) wanden tussen de verschillende pompkokers op grote waterdrukken worden belast;

Alle mallen en de geproduceerde betonelementen voor het pomphuis zijn ingemeten met een 3D-scantechniek

- ijsbelasting;
- extreme conditie met overslaande golfbelasting vanuit de Waddenzee op de glazen koepels;
- voorkomen van golfbelasting (uit het IJsselmeer) op de gevels van de pompegebouwen.

Door een sterk geïntegreerde opzet van alle ontwerpdisciplines met het werkvoorbereidings-, uitvoerings- en onderhoudsteam, alsmede een nauwe samenwerking met het technische team van Rijkswaterstaat, is Levvel in staat geweest een bouwbaar, betrouwbaar en onderhoudbaar ontwerp te maken voor dit complexe project.

Pomphuis

Vanaf de bodem van de diepe bouwput is het opgaande betonwerk van het pomphuis in vele fasen opgebouwd. Het meeste is in het werk gestort. Alleen de zes pomphuizen waarin de pompen draaien, komen uit de prefab-betonfabriek. Precisie was hierbij van groot belang. Ze zijn op de millimeter nauwkeurig geproduceerd om te zorgen voor de benodigde levensduur en optimaal functionerende pompen, met nauwe toleranties en glad beton. Dat laatste moest voorkomen dat er storende luchtballen of onnodige turbulenties in de waterstroom ontstaan. Het pomphuis oogt heel anders dan het typische civieltechnische beton-

werk van de rest van het aanstroomkanaal (foto 9).

Eisen betonconstructie Voor de betonconstructie van het pomphuis gelden enkele specifieke en ontwerpbepalende eisen:

→ *Groot/zwaar*

Elk van de zes pompen weegt circa 90 ton, de waaier heeft een diameter van ruim 4,5 m en verpompt 40 ton water per seconde.

→ *Strenge stijfheids- en vervormingseisen*

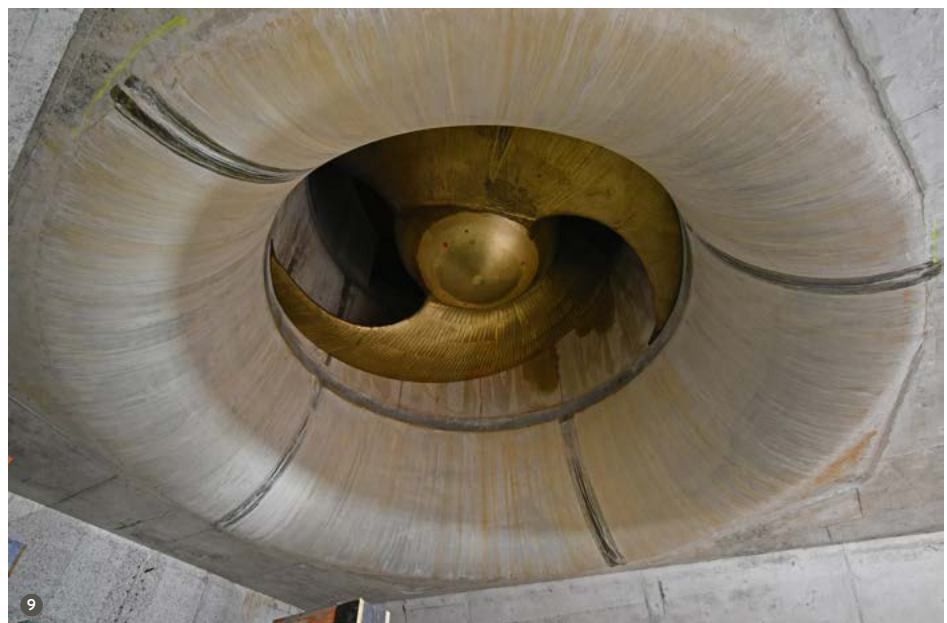
Uit het beheersen van het dynamisch gedrag alsmede het op lange termijn kunnen beheersen van de positie van de pompen binnen de geplande nastelmogelijkheden komen strenge stijfheids- en vervormingseisen voort.

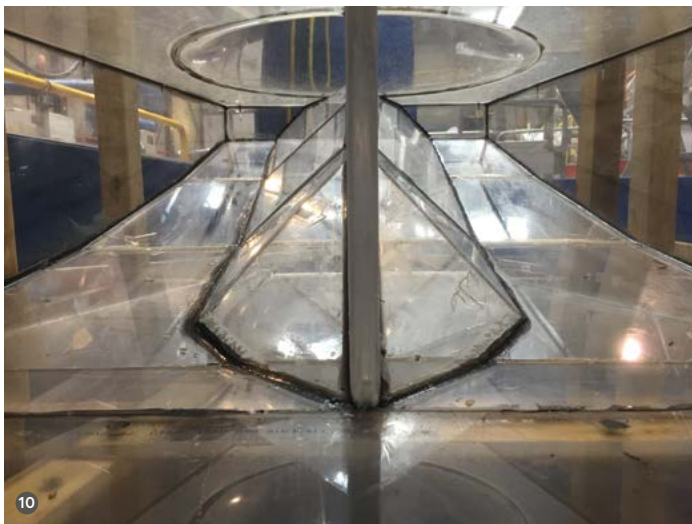
→ *Geometrie*

De vorm van het pomphuis is afgestemd op een optimale aanstroming naar de zuigmond en pompwaaier, voor het voorkomen van ongewenste wervelingen en het beheersen van het cavitatie-risico (het imploderen van met de stroming meegevoerde dampbellen). Deze vormgeving is door Levvel ontworpen in nauwe samenwerking met de pompleverancier. Door de leverancier is het ontwerp verder gefinetuned op basis van modeltesten (foto 10 en 11).

→ *Strakke toleranties*

Voor de passing van de pompwaaier in het beton golden strenge tolerantie-eisen. Voor



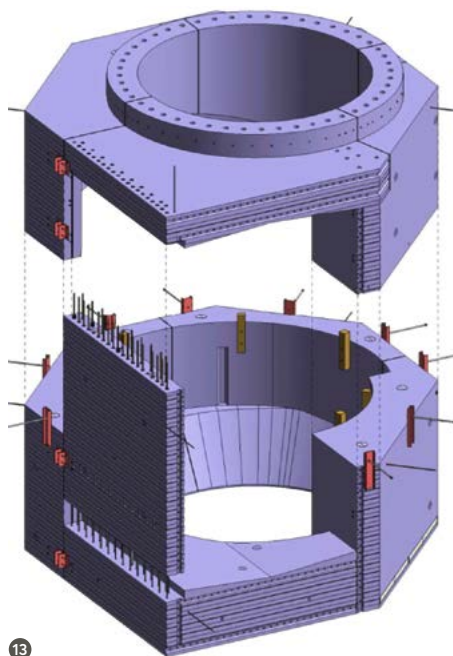
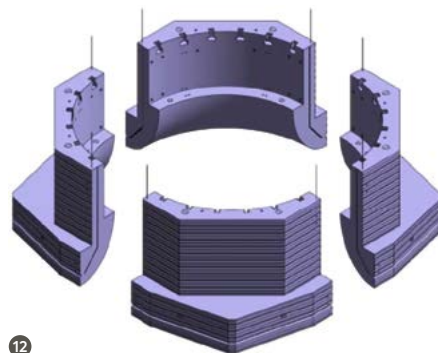


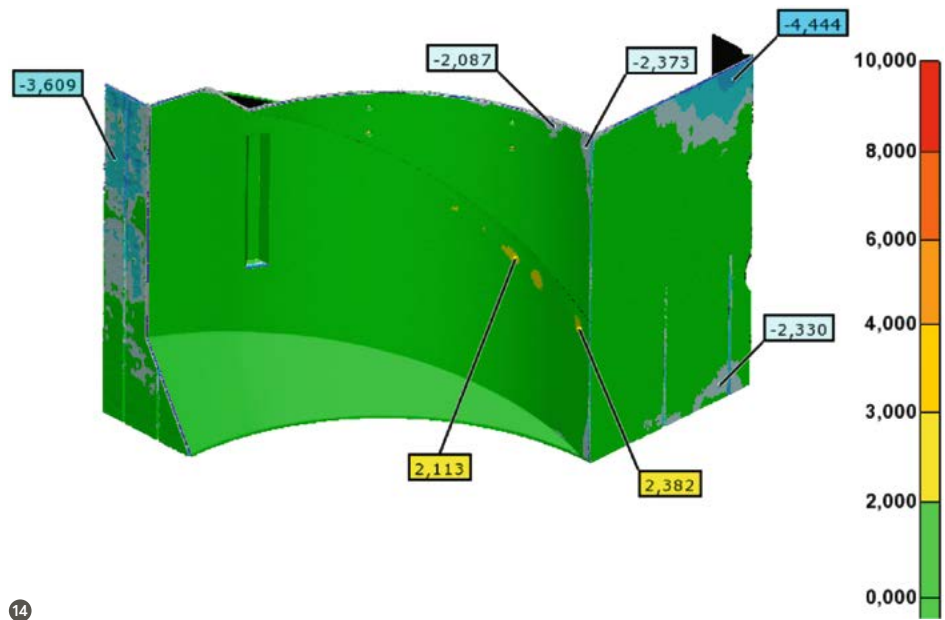
de pompwaaier nominaal 8 mm vrijloop en voor de vlakheid van het prefab beton ± 2 mm. Deze tolerantie en vlakheidseisen zijn van belang in verband met een optimale performance van de pompen. Dit was een belangrijke reden om te kiezen voor een prefab uitvoering van het pomphuis.

Scannen

De suction bells (fig. 12) zijn elk opgedeeld in vier gelijke (gewapend betonnen) elementen (ca. 27 ton/st), de volutes (fig. 13) zijn opgedeeld in acht delen (tot ruim 40 ton/st). Om de toleranties van het beton van het pomphuis waar te kunnen maken, zijn speciale mallen ontwikkeld aan de hand van de 3D-modellen. Tijdens voorbereiding en productie zijn alle mallen én de geproduceerde betonelementen nauwkeurig ingemeten met behulp van een 3D-scantechniek. Tevens is elke mal tussentijds (na productie van enkele elementen per mal) met scannen nogmaals gecontroleerd. Op die manier is elke vervorming of beschadiging van de mal snel opgemerkt en verholpen.

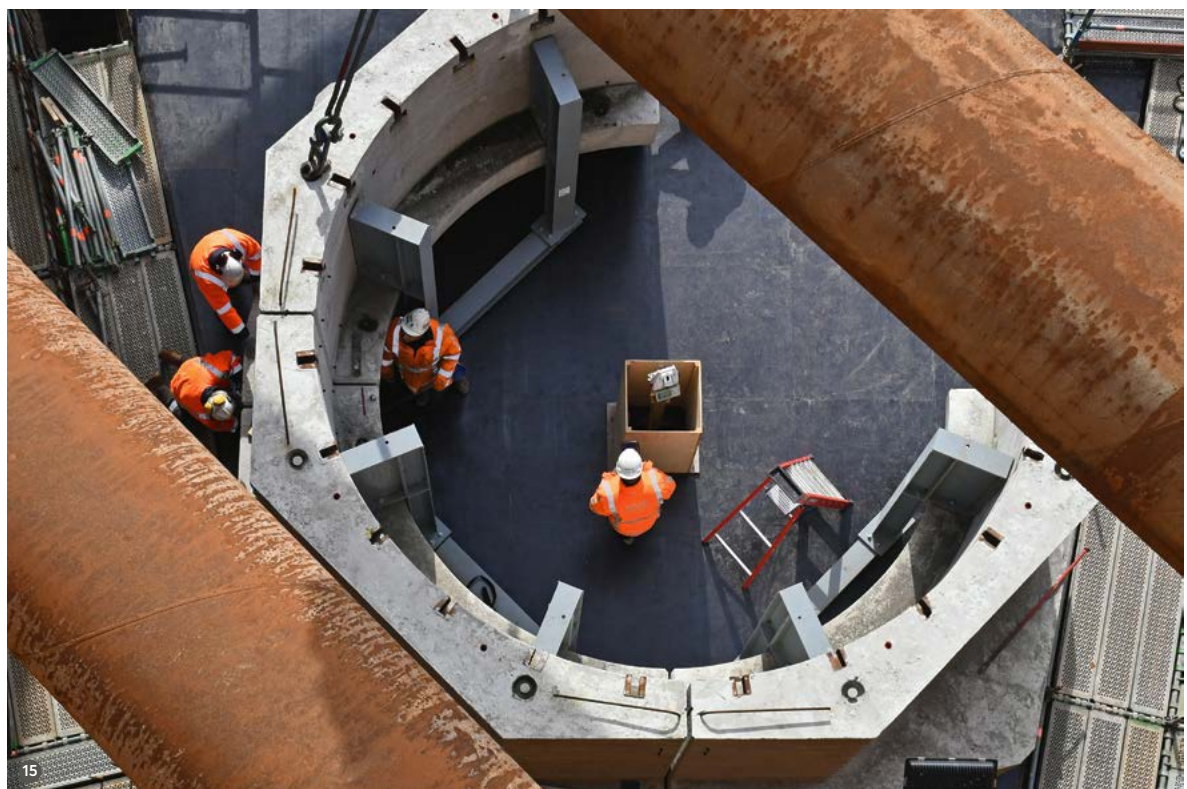
Elke puntenwolk, die uit de scans volgt, is met hoge precisie in elkaar gezet en vervolgens gecontroleerd door middel van doorsneden over de X-, Y- en Z-as. Het resultaat is een perfecte, betrouwbare puntenwolk die de basis vormt voor het maken van een 3D-mesh. Deze 3D-mesh is vervolgens in detail vergeleken met het basismodel. Deze gegevens zijn verwerkt tot een visuele afwijkingsrapportage (fig. 14), waarbij in één





oogopslag de geleverde kwaliteit van het eindproduct kan worden beoordeeld en waar nodig bijgewerkt, en waarbij aantoonbaar is gemaakt dat alles conform specificatie is geproduceerd.

Met behulp van een gedegen survey-aanpak, de nodige hulpconstructies en vakmenschap is een en ander in fasen op site keurig binnen toleranties samengesteld en ingestort in de omringende betonconstructie (foto 15).



Spuigroepen



Naast de nieuwe pompgroepen worden er ook twee nieuwe spuigroepen gebouwd (foto 16). Deze twee identieke spuigroepen zijn gesitueerd op de twee eilanden tussen de drie bestaande spuigroepen (fig. 2). Ze bestaan uit in het werk gestorte, gewapende, monoliete betonconstructies, die worden gebouwd in bouwkuipen op een onderwaterbetonvloer, verankerd met Gewi-palen (fig. 17). Iedere spuigroep beslaat een oppervlak van 55 m breedte bij 84 m lengte.

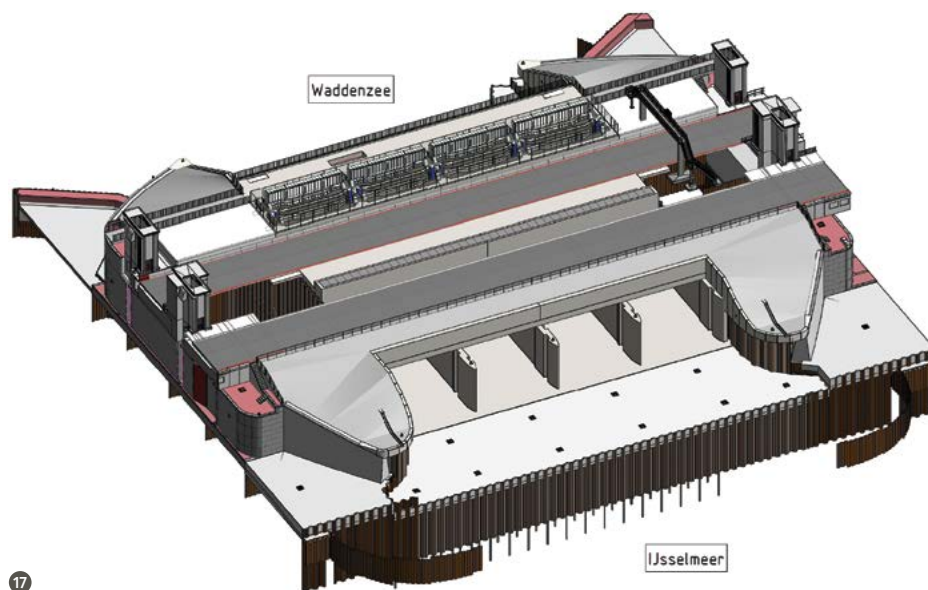
De betonconstructie vormt de behuizing voor een dubbele rij stalen keerschuiven (spuischuiven). De hoofdfuncties van de nieuwe spuigroepen zijn het afvoeren van water, het keren van hoogwater en het faciliteren van de vismigratie. Het moest bovendien mogelijk zijn wegverkeer te laten passeren.

Onderdelen van de nieuwe spuigroepen met een levensduur korter dan 100 jaar zijn vervangbaar, zonder dat sloop

van andere constructiedelen nodig is. Zo zijn de aandrijving en de keermiddelen uit de spuigroepen te hijsen via sparingen in het dak.

Fasering spuigroepen

Er is voor gekozen de spuigroepen gefaseerd te bouwen. Eerst het noordelijk deel in de noordelijke bouwkuipen en daarna het resterende deel in de zuidelijke bouwkuipen. De reden hiervoor is het mogelijk maken van een zogenoemd '2-0 verkeerssysteem'. Bij dit systeem wordt de hoofdrijbaan van de Rijksweg A7 in één rijrichting afgesloten en wordt het wegverkeer tijdelijk over één rijstrook van de andere rijbaan geleid. Zo blijft tijdens de bouwfase altijd één hoofdrijbaan beschikbaar voor verkeer. Om in de bouwfase een sluitende hoogwaterkering te hebben, zijn de bouwkuipen ontworpen als tijdelijke (hoog)waterkering. →



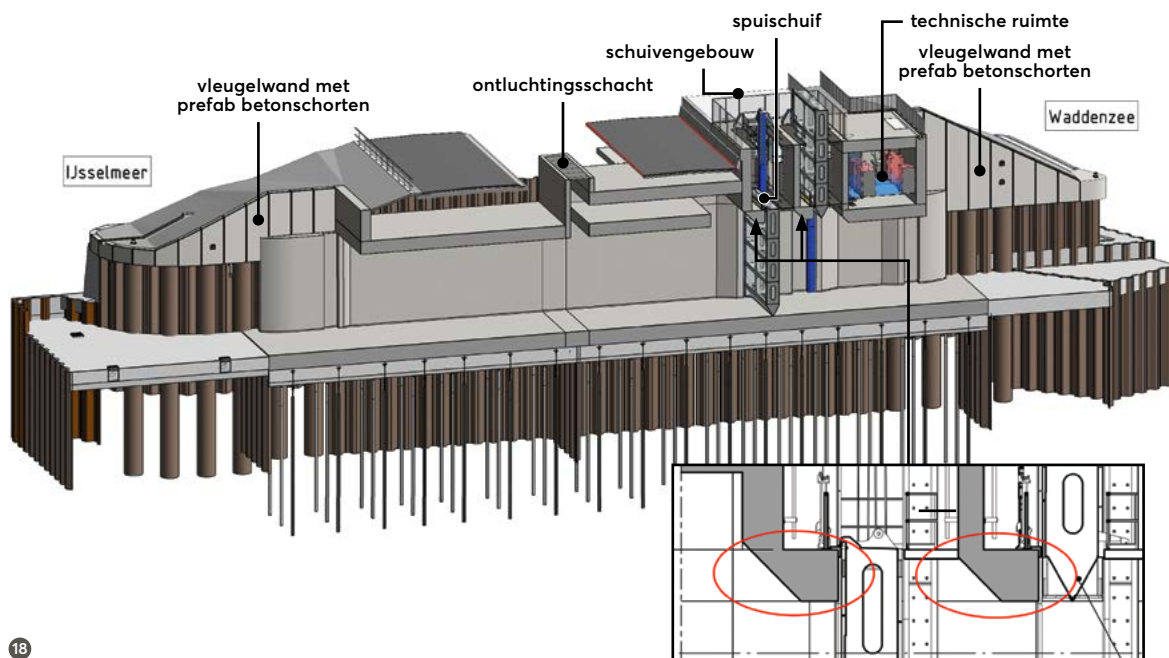
17

De betonconstructie is ontworpen als een monoliete constructie in de eindtoestand. Aan problemen met betrekking tot vervorming (krimp, kruip en temperatuur) is tegemoet gekomen door tussen de beide spuigroepdelen noord en zuid krimpstroken aan te brengen. Deze worden pas in een laat stadium van de bouw aan elkaar gestort.

Spuikokers

Iedere nieuwe spuigroep bevat vier spuikokers die de verbinding vormen tussen het IJs-

selmeer en de Waddenzee (fig. 18). De spuikokers hebben een hoogte van 7 m en een breedte van 12,6 m. Ten behoeve van beheer en onderhoud bestaat de mogelijkheid om een willekeurige spuikoker droog te zetten. De in- en uitstroomzijden van de spuigroepen zijn voorzien van bodembescherming om erosie van de bodem als gevolg van spuien te voorkomen en het risico op ondermijning van de spuigroepen te elimineren (zie ook het artikel 'Bodembescherming met colloïdaal beton', elders in dit nummer).



18

Schuivengebouw

Aan de Waddenzeezijde bevindt zich het betonnen schuivengebouw (fig. 18). Dit betreft de ruimte waarin de stalen keerschuiven in geheven toestand zijn gepositioneerd. Het gaat om twee identieke stalen keerschuiven per spuiukoker. De noordelijke en zuidelijke schuiven worden afwisselend gebruikt om aangroei op de schuiven zoveel mogelijk te beperken. Het schuivengebouw speelt, in combinatie met de spuischuiven, een prominente rol bij de functie keren hoogwater.

De schuiven worden gesteund door schuifgeleidingen lopend van onderkant spuiukoker tot boven het dak. Onderdeel van het schuivengebouw zijn tevens de technische ruimten, waarin de technische installaties voor de bediening en besturing van de aandrijving staan opgesteld.

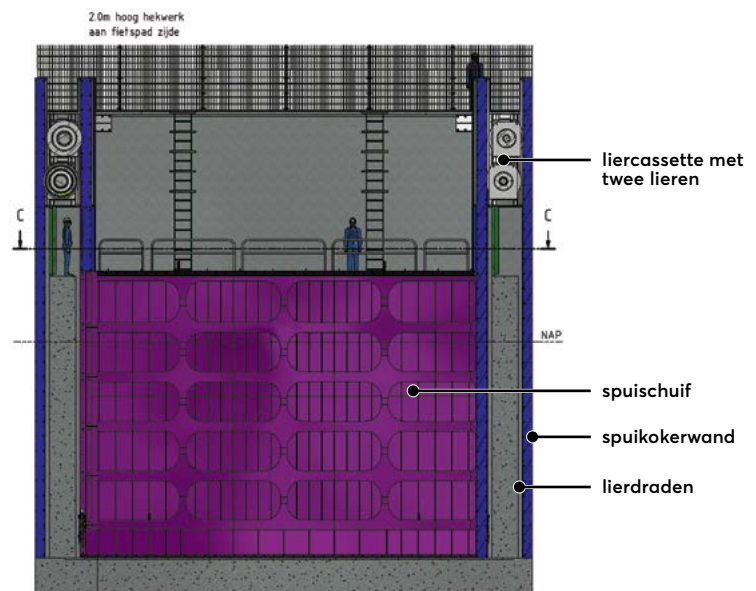
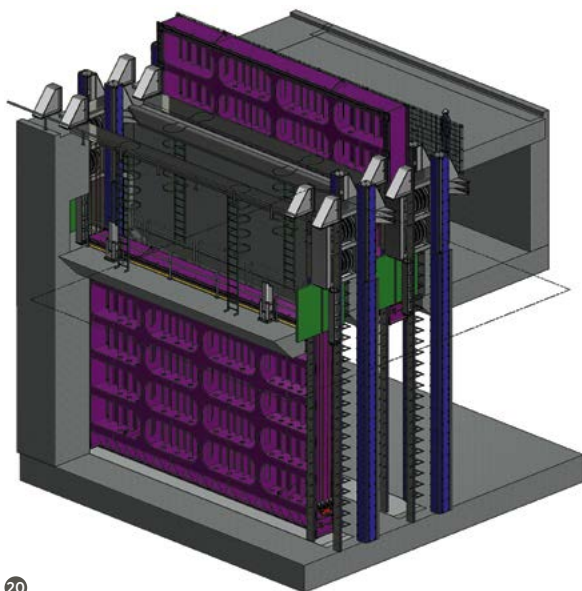
De nieuwe spuiagroepen mochten conform het esthetisch programma van eisen geen concurrent vormen voor het bestaande monument van de Stevinsluizen. Dat betekende dat alle installaties uit het zicht, dus onderdeks in de spuigroep moesten worden ingepast. Dit had grote invloed op het ontwerp. Door het ruimtegebrek leidde deze eis tot een complex spanningsveld ten aanzien van het voldoen aan de machinerichtlijn.

Spuischuiven en aandrijving

Als gevolg van gewijzigde hydraulische randvoorwaarden, zijn beide spuiagroepen na

gunning verbreed met 1,4 m om meer plaats te bieden aan de aandrijving van de spuischuiven. Dit zodanig dat de aandrijving niet in het zicht hoeft te komen bovenop de dijk en in het schuivenhuis kan worden ondergebracht. Als gevolg van de toegenomen golfbelasting uit het IJsselmeer conform dezelfde wijziging, is het hefconcept met drukcilinders onder water gewijzigd in een hefconcept met draden en lieren. Om te voorkomen dat de golfklappen op de spuischuiven van de golven uit het IJsselmeer die de kokers binnenlopen te groot zouden worden, is de betonvorm op de positie vóór de schuiven zo aangepast dat golven niet worden opgesloten in de spuiukokers en via ontluuchtingsopeningen kunnen ontsnappen (fig. 18). Daartoe is onder de hoofdrijbaan een grote ontluuchtingsschacht ontworpen die uitkomt in de middenberm van de A7.

Aandrijving Iedere schuif wordt hangend aan acht (2x vier) staaldraden door twee lieren (in een liercassette) omhooggetrokken of neergelaten in de spuiukoker (fig. 20 en foto 21). Op iedere liertrommel zijn vier draden bevestigd, die zijn vastgemaakt aan een evenaar aan de onderkant van de schuif. De lieren staan aan weerszijden van de schuif opgesteld in een betonsponning op de spuiukokerwanden. Door de draden op de lieren te wikkelen, beweegt de schuif zich omhoog naar geopende toestand. →



20

Om ruimte te besparen is de motor van de lier in de liertrommel geïntegreerd. Een gelijkloopregeling zorgt ervoor dat de beide lieren de schuif rechtstandig omhoog of omlaag bewegen. Geleidingen bestaan uit duplex roestvaststalen strippen met daarop glijlagers die zijn gemonteerd op de spuischuiven.

De ontwerplevensduur voor de mechanische uitrusting bedraagt 50 jaar.

Schuiven De schuiven worden uitgevoerd in staalkwaliteit S355. Materialisatie in beton, vezelversterkte kunststof of hout zouden vanwege de gewenste zelfsluitendheid van de schuiven (onder eigen gewicht) en de vereiste sterkte een niet-economisch ontwerp opleveren. Aangezien vermoeiing door golven maatgevend is, loont het niet om de schuiven in een staalkwaliteit hoger dan S355 uit te voeren.

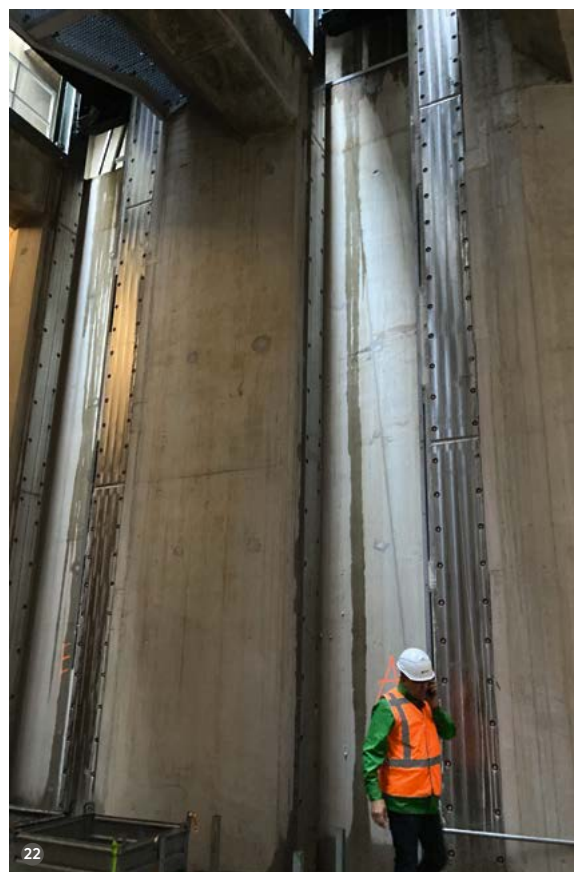
De schuiven krijgen een onderhoudsstand op twee in de spuigroep geïntegreerde uitklapbare bokken.

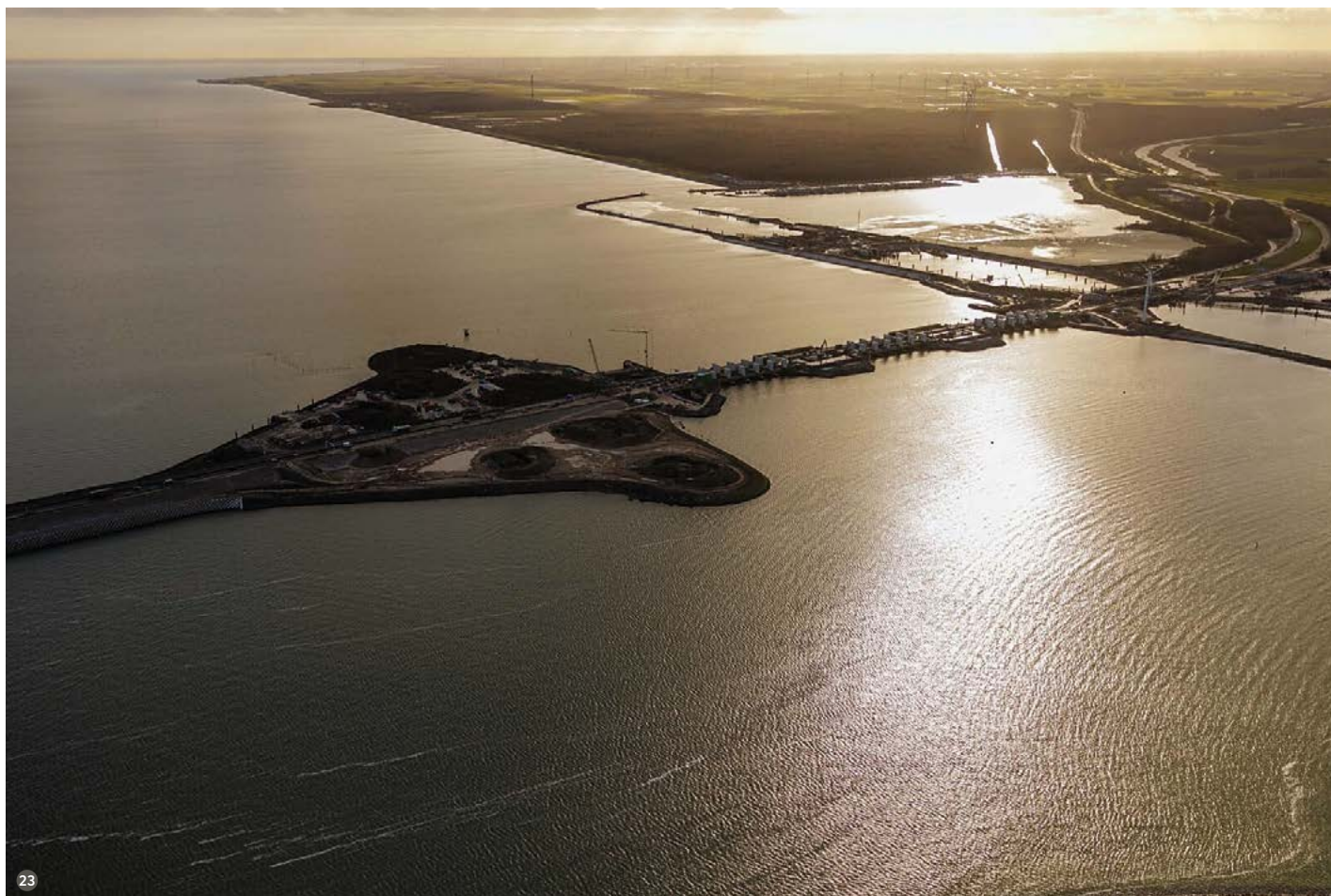
Vleugelwanden spui groepen

De in- en uitstroomconstructie van de spui groepen worden gevormd door damwanden (net als bij de pompgroepen). In de bouw fase fungeren deze als bouwkuipwanden.

De functie van de vleugelwanden is een gestroomlijnde water aan- en afvoer te garanderen. De damwanden zijn boven de laagwaterlijn voorzien van prefab betonnen schorten (fig. 18). Deze schorten dienen als conservering voor de stalen damwand. Onder de waterlijn is de corrosiebescherming gerealiseerd met kathodische bescherming. Aan de IJsselmeerzijde (zoet-brak) met opgedrukte stroom, aan de Waddenzeezijde (zout) met opofferingsanoden.

De vleugelwanden bevatten aanmeer voorzieningen, zodat onderhoudsvaartuigen kunnen aanmeren. Tevens zijn achter- en onderloopsheidsschermen voorzien, ter voorkoming van kwel langs en onder de betonconstructies.





Integrale aanpak

De nieuwe spui- en pompgroepen zijn een zeer uniek en uitdagend project. Een integrale aanpak met de vele ontwerpdisciplines, de nauwe samenwerking met werkvoorbereiding en uitvoering (incl. ontwerpende partners en leveranciers) en alle eisen en raakvlakken was cruciaal om tot een bouwbaar en betrouwbaar ontwerp te komen. Op het moment van schrijven van dit artikel is het betonwerk van de pompgroepen gereed en zijn de pompen, schuiven en de technische installaties grotendeels geïnstalleerd. In de komende tijd zullen de verdere afbouw en testen gaan plaatsvinden. Ook het noordelijk deel van de spui- en pompgroepen is gereed. Momenteel wordt gewerkt aan de ontgraving van de zuidelijke bouwkuipen, waarin daarna het resterende betonwerk kan worden gerealiseerd. ●