



Een 'zware oefening'

De bouw van de Prins Clausbrug is grofweg te verdelen in de onderbouw en bovenbouw. De onderbouw bestaat uit vier steunpunten in de watergang (het Dordtse Wantij) en twee landhoofden. De bovenbouw bestaat uit twee stalen aanbruggen en een val die in twee fabriekshallen in Middelburg en Vlissingen zijn gebouwd en vervolgens getransporteerd en gemonteerd op de bouwlocatie.

ing. N. Ramkema en ing. M. Kuzee

Niels Ramkema is tendermanager/projectmanager bij Dura Vermeer Infra Regionale Projecten in Hoofddorp. Martijn Kuzee is projectleider bij Hillebrand/ASK Romein in Vlissingen.

De gemeente Dordrecht wilde de vaarweg tijdens de werkzaamheden beschikbaar houden. Een ander vereiste: véilige werkzaamheden. Daarom zijn eerst de geleidewerken geplaatst. Deze 'hekwerken' schermen de vaarweg af, minimaliseren overlast voor de

scheepvaart en waarborgen de veiligheid van de bouwplaatsmedewerkers.

Onderbouw

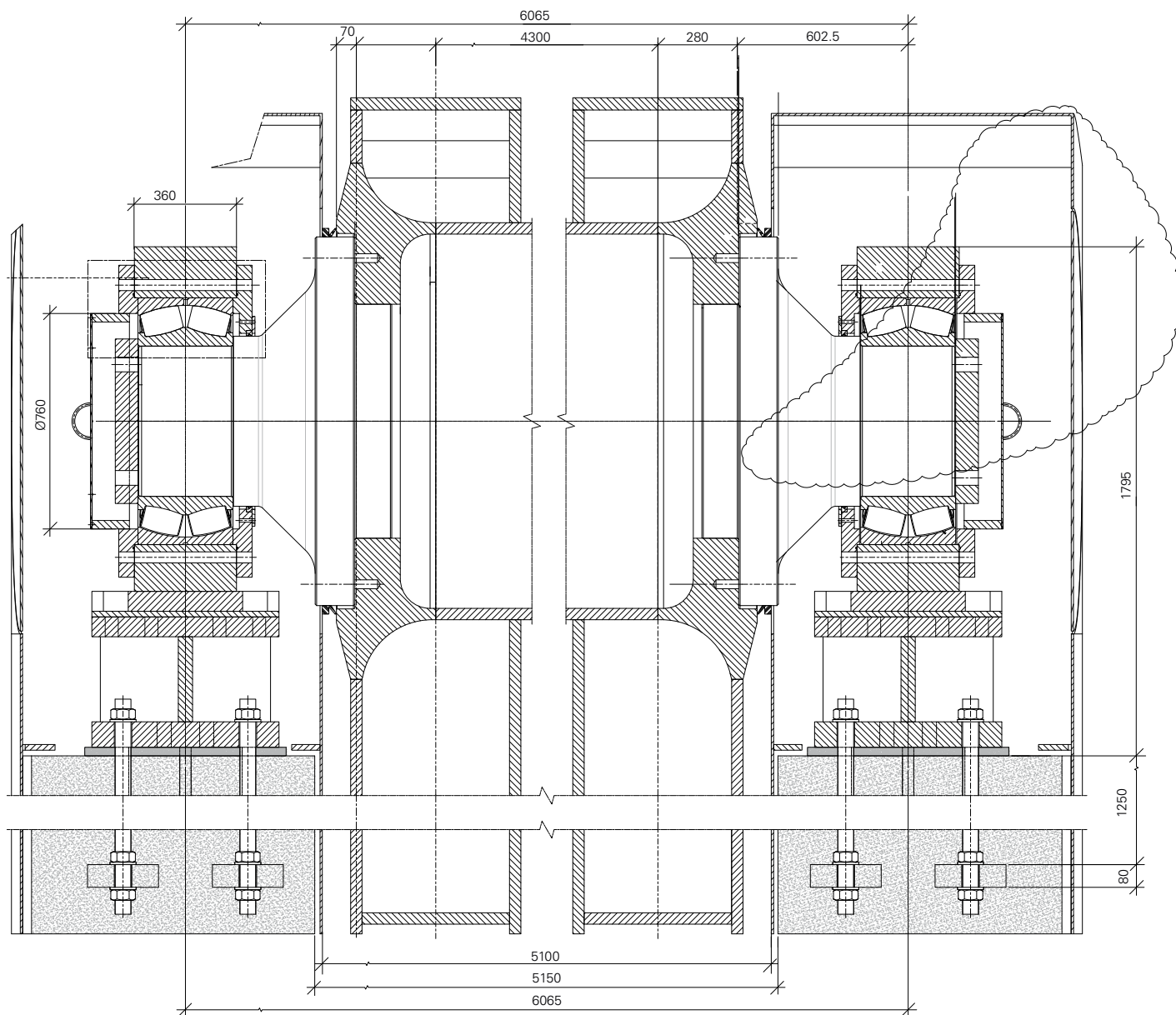
Nadat de geleidewerken waren geplaatst, kon worden gestart met de fundatie en de vier steunpunten. Drie van de vier zijn slank ontworpen. De pijlers boven water zijn geprefabriceerd. Het vierde steunpunt heeft de vorm van een scheepsromp. Dit steunpunt, de sokkel, draagt het val. De sokkel is compleet in situ gestort met de elektrotechnische installaties en hydraulische aandrijving erin weggewerkt.

De volgorde van bouwen van geleidewerk, steunpunten en bovenbouw heeft raakvlakken. Zo gaat de zinker (nodig voor de communicatie van en met de brug) tussen de geleidewerken door, wat afzinken bemoeilijkt. Ook moet de positie van de drijvende bok worden ingepast tussen de geleidewerken voor het monteren van de bovenbouw en conflicteren de hulpwerken voor de bekisting van de sokkel met de palen van de geleidewerken.

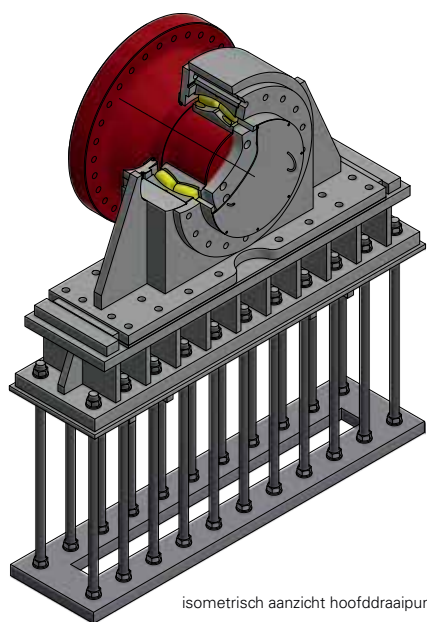
Fundaties

Voordat de steunpunten konden worden aangebracht, moesten de waterbouwkundige fundaties worden geplaatst. De paalfundering van de sokkel vormde hierbij een grote opgave. De sokkel draagt het complete val en hierop komen dus veruit de grootste krachten. Om deze te kunnen opnemen moest worden gefundeerd op de tweede harde zandlaag op -40 m^{NAP}.

Er is gekozen voor open stalen buispalen. Over het bovenste deel zijn de palen voorzien van wapening en volgestort met beton. Complicerende factor was de ongunstige verhouding tussen diameter (800 mm), wanddikte (16 mm) en paallengte (40 m). Door water en een slechte bodem in de eerste twintig meter, was de slagenergie slecht in de paal te brengen. Door een combinatie van trillend voorpoten van de palen en vrijhangend naheien is het uiteindelijk gelukt. Een andere 'zware oefening' waren de fundatiepoeren voor de drie prefab pijlers. Om de doorstroming zo min mogelijk te beperken,



doorsnede a-a



isometrisch aanzicht hoofddraaipunt



Met precisiemateriaal (beitels, frees etc.) op de juiste maat gebracht.



In het val zijn zijn haakse hoeken gefreesd.



De kist.

was het noodzakelijk de fundatiepoeren zo klein mogelijk te houden. Daarom is ervoor gekozen deze te bouwen in een bouwkuip van damwanden met vier open stalen buispalen in de hoeken. Hiervoor werd het verticale draagvermogen van de palen en de damwand gebruikt en werd de damwand als permanente bekisting voor het onderwaterbeton en de fundatiepoer gebruikt. Om de bouwkuipen goed waterdicht te krijgen, is ervoor gekozen vooraf de fabriekssloten af te lassen en tijdens het intrillen van de damwanden slotvulling in de heislotten toe te passen.

Steunpunten

De drie pijlers zijn traditioneel geprefabriceerd op de kade van Verolme langs de Oude Maas. Met kraanschip de 'Missing Link' van Hapo zijn ze naar de projectlocatie gevaren en op de plek gehesen.

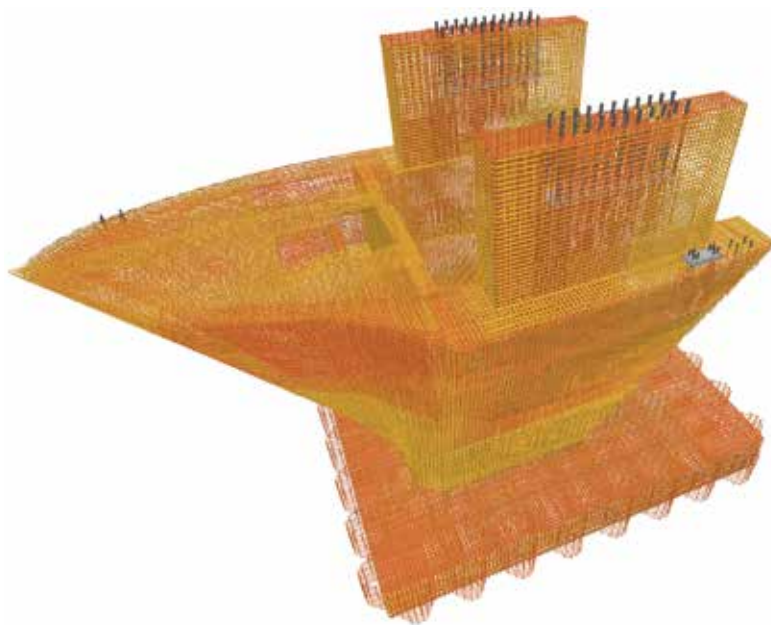
De zwaarste pijler weegt zo'n 70 ton. In de eindsituatie zijn de pijlers via een dookconstructie verbonden met de bovenbouw. Maatvoering was ook hier essentieel. De verbindingen moesten met een tolerantie van minder dan twee millimeter worden aangebracht. Een hele gebeurtenis met zo'n gewicht, hangend in een drijvende bok. Door een geleideframe kon dit gecontroleerd worden uitgevoerd.

Sokkel

Het vierde steunpunt, de sokkel, is verreweg het meest complexe betondeel. De vormgeving bovenwater lag vast in het architectonisch model. Voor het deel onderwater is gekozen om te werken in een bouwkuip met open stalen buispalen. Voor de constructieve stabiliteit en om droog te kunnen werken, is 2,5 m onderwaterbeton in de bouwkuip aangebracht. Gevolgd door de fundatiepoer, waarin de constructieve koppeling met de buispalen is gemaakt. Deze fundatiepoer vormde de basis voor de sokkel.

Voor het ontwerp van de bekisting was stortfasering belangrijk. Deze fasering werd bepaald door de niveaus van de gebruiksruimtes en onder andere het hoofddraaipunt. Vanwege de vele raakvlakken met installaties, geleidewerken en het constructieve ontwerp, is in de tenderfase al een basisontwerp voor deze complexe bekisting gemaakt. Dit ontwerp is nader uitgewerkt in 3D door Dura Vermeer en MZ bekistingen.

Naast de vorm van de sokkel, was ook de omvang van de bekisting een flinke klus. Uiteindelijk had de complete 'doos' een omvang van zo'n 16x10x6 m. Om deze kolos te maken, is hij in fases geprefabriceerd en in de fabriekshal samengesteld. Zo was gegarandeerd dat alle delen in het werk pasten.



De sokkel.

Toen de bekisting klaar was, is het gedemonteerd, in delen naar het werk getransporteerd en weer opgebouwd. Ter plaatse zijn de laatste constructieve koppelingen aangebracht. Door 'zoekers' of paskoppelingen toe te passen, pasten de bekistingsdelen als puzzelstukjes in elkaar. De 3D-puzzel werd laag voor laag in de bouwkuip gepositioneerd, waarbij net genoeg ruimte was voor de bekisting en werkzaamheden. Na montage werden de laatste oneffenheden en kleine beschadigingen hersteld. Na het storten van het beton moest de bekisting worden gesloopt. Ruimte om te demonteren was er niet.

Wapening sokkel

Ook de wapening van de sokkel was een huzarenstukje. Elke doorsnede van de sokkel is uniek en daarmee elke wapeningsstaaf ook. Al vroeg in het ontwerptraject is ervoor gekozen om alle wapeningstekeningen in 3D te laten uitwerken door wapeningsspecialist Diepstraten. Voor uitvoerbaarheid was veel afstemming tussen de 3D-modellieur en de constructeur noodzakelijk.

Uiteindelijk is de wapening uitgetekend in stappenplannen. Hierin werd voor de vlechters per betonstortfase stap voor stap aangegeven hoe de wapening moest worden opgebouwd. Ook hier was intensieve samen-



Behandeld in een bad met vloeibaar stikstof.

werking basis voor succesvolle uitvoering met minimale faalkosten.

Nadat bekisting en wapening waren aan-gebracht kon alles 'grijs' gemaakt worden. Vanwege de massieve stort en de vaak lastige bereikbaarheid zijn er speciale betonmengsels gebruikt voor de juiste consistentie, waarbij warmteontwikkeling en scheurvorming werden beperkt.

Bovenbouw

Terwijl op locatie het betonwerk in volle gang was, werd in de productiefaciliteiten gewerkt aan het samenstellen en lassen van de volledige stalen bovenbouw. Ook hier was – uiteraard – maatvoering essentieel. Door het laswerk grotendeels onder de hand uit te voeren, was de complexe maatvoering goed beheersbaar. Letterlijk 'onder de hand' als tegenovergestelde van 'boven de hand' (in positie) als bij een plafond schilderen.

Onder de hand te lassen is makkelijker, de kwaliteit (vervorming) is beter te garanderen en het gaat sneller. Het proces van vervormen is beter beheersbaar. Robotiseren was hier niet mogelijk, vaak niet overigens, automatiseren daarentegen wel.

Deze projecten kunnen dus niet worden gero-robotiseerd. Een robot heeft minder bewegings-vrijheden dan een mens. En hoe kostbaar is



Bij opwarmen zit het lagerstoel moervast.

eenmalig programmeren? Bij de lange lassen wordt een automatische kar ingezet (begeleid door een wiel) met de lasser als controleur (uit koers of verstopte lasdraad). Wat vaak ook gebeurt is dat twee karren tegelijk worden gebruikt. Alle troggen zijn automatische gelast. Samenwerking tussen de mensen van Hillebrand en Team Industrial Services was hierin van groot belang. Dat is altijd van belang maar hier specifiek meer, op het gebied van maatvoering. Door de interactie tussen beton en staal met de bijzonder vorm en opvallende lengtes. Er waren geen correctiemogelijkheden, achteraf. Binnenshuis lassen was sowieso geboden. Juist nadrukkelijker door de 5 mm-eis, maar ook door de vorm zelf met 48 m lengte. Het uitzwenken en voegovergangen zijn schuin, dus alle afwijkingen zijn cruciaal in het eindproduct.

De 5 mm-eis was niet technisch, maar voor het uiterlijk. Opzichtige overgangen waren niet welkom. Dat het geen auto is, is duidelijk, maar de benadering wel. De architect snapt dat het een ruw staalproduct is. De eis was feitelijk overal te respecteren en generiek over het project uitgesmeerd.

Controle

Door tussentijdse monitoring kon worden bijgestuurd, bijvoorbeeld in de lasvolgorde.



Monitoren gebeurt op gezette tijden.

Monitoren gebeurt op gezette tijden, wel in een continu proces, maar met vaste meet-momenten. In een bepaald stadium van de constructie, zoals de hoofd draagpunten die klaar zijn voordat ze gefixt worden, dus voor het lassen, wordt ingemeten of ze met een paar millimeter nauwkeurig er instaan zodat naderhand tot op een honderdste millimeter de gaten er nog uitgekotterd kunnen worden, zodat duidelijk is dat de (laswarmte) vervormingen nog juist weggemachined kunnen worden. Dat moet voor het lassen, daarna zit het vast, en is corrigeren (vrijwel) onmogelijk.

Dát komt dus door vakmanschap.

De brug is bovendien uitbreidbaar. De val heeft een bepaalde lengte. Maar die kan worden aangelengd omdat er geen ballastkelder is – met beperkingen –, en de ballastmast kan in het oneindige worden gestapeld.

De controlemetingen zijn puur, achteraf gezien, bedoeld om te bevestigen dat het object is geworden wat volgens het model moest.

Brugdekken

De brugdekken van de Prins Clausbrug zijn eveneens onder de hand en daardoor ondersteboven gebouwd in een tegenstelde mal, om ervoor te zorgen dat na omkeren de vorm exact conformeerde aan het opgegeven

model. Om de aanbruggen te keren voor de afbouw moesten ze op trailers naar buiten worden gereden, om te worden gekanteld door vier kranen.

Die afbouw behelsde het positioneren en uitlijnen van de leuning. Vanwege de vormgeving moest ook hier veel en nauwkeurig worden gemeten. Alle leuningdelen zijn uniek genummerd. Na lassen van de leuning op de brug zijn ze thermisch verzinkt (bad) en voorzien van een tweelaagse poedercoating.

De brug is opgelegd op exacte, fictieve steunpunten zodat de maten klopten, daarna is het hekwerk erop gezet, afgelast, gedemonteerd (de bevestiging is gebout) en toen geconserveerd.

Val, ballastmast en pendelstaaf

Ook de bouw van het val, de ballastmast en de pendelstaaf betreft ook vakmanschap. Net als de aanbruggen zijn ook de dekken van het val ondersteboven gebouwd. Deze delen zijn binnenshuis gekeerd en tegen de, in positie gebouwde, hoofdlijger aangebouwd. Ook hierin speelde maatvoering een grote rol. Tijdens het samenstellen en het aflassen zijn doorlopend metingen uitgevoerd.

De mal, een eigenfabricaat op aanwijzen van Iv, is ontworpen op de zettingen na het lossen uit de mal, het doorhangen vanwege eigengewicht. De stalen mal is cruciaal in de uiteindelijke vorm. Het meten van het geheel is met een laser gedaan.

Het dek is gemetalliseerd via spuitapplicatie. De buitenwand van de ballastmast is gemaakt van dikke platen. Na aflassen, werd de stalen ballast aangebracht waarna de mast is dichtgemaakt. De pendelstaaf is in liggende positie gemaakt en gemeten.

Het val, de ballastmast en de pendelstaaf zijn na het aflassen, volledig ingemeten en vergeleken met het 3D-model waaruit bleek dat er geen of zeer weinig afwijkingen zijn gemeten. Op basis van deze meting zijn alle machinale standaardbewerkingen specifiek uitgevoerd. De op te lassen elementen zijn met een bepaalde overdimensionering (materiaaltoeslag) gemonteerd en worden naderhand met precisiemateriaal (beitels, frees etc.) op de juiste maat gebracht. In het val zijn haakse hoeken gefreesd, waarop de ballastmast



Brugval en de ballastmast vanaf de waterkant ingehesen.

komt. De draaipunten aan de ballastmast en de andere draaipunten zijn mobiel gekotterd. Na veel laswerk en mobiel verspanen zijn de delen gestraald, gemetalliseerd en voorzien van het coatingsysteem.

Na conserveren zijn de leuning gemonteerd. De hoofd draaipunten en -assen zijn aan het val gemonteerd, voordat het op transport ging. De ballastmast wordt in balans gehouden door de pendelstaaf. Om geen extra drijvende bok te hoeven inzetten, is ervoor gekozen om de ballastmast en pendelstaaf al op het terrein in Vlissingen samen te stellen. Hiervoor is een gecombineerd hijs- en transportframe ontworpen.

Tijdens de bouw van de betonconstructie, zijn maatvoeringen uitvoerig gecontroleerd, om er zeker van te zijn dat de stalen delen naadloos zouden aansluiten op de ankers van de onderbouw.

Hijsen, transport en montage

Vanwege de bijzondere vormen was het een redelijke opgave om de juiste hijsvoorzieningen te construeren. De hijsvoorzieningen voor de combinatie ballastmast-pendelstaaf vormden de grootste inspanning, en het grootste gewicht.

Doordat de diverse brugdelen geen symmetrische vorm hebben, was de ligging van het

zwaartepunt bepalend voor de locatie van de hijspunten. Om te voorkomen dat er grote, opvallende hijsogen op de brugonderdelen kwamen, is gekozen voor een ingenieus hijsframe dat ook voor het transport en kantelen gebruikt kon worden. Een *cradle* letterlijk als wieg waarin 'baby's' liggen. De wieg wordt gehesen om de werkstukken te ontzien.

Een belangrijk werkstuk is behandeld in een bad met vloeibaar stikstof, van -370 graden Celsius, daardoor krimpt het werkstuk een halve tot hele millimeter. Bij opwarmen op kamertemperatuur zit het onderdeel, het lagerstoel, moervast.

Met een walkraan zijn de brugdelen in Middelburg geladen in een binnenvaartschip, die ze naar Dordrecht heeft gebracht. In Dordrecht zijn de delen met een HEBO-Lift 5 geplaatst, een drijvende bok met 160 ton capaciteit.

Na aankomst in Dordrecht zijn het brugval en de ballastmast vanaf de waterkant ingehesen. Maar eerst is de pendelstaaf (35 ton) gekanteld en met walkranen in de ballastmast gehesen. Samen zijn ze op het transportframe geplaatst en in één keer aan boord van een ponton gehesen. Het totale hijsgewicht bedraagt 380 ton.

Hillebrand en HEBO ontworpen samen het frame waarop de brugdelen worden gehesen

Projectgegevens

Ruim voor de aanbesteding besloten Dura Vermeer en Hillebrand om dit project samen op te pakken. In deze combinatie zijn eerder beweegbare bruggen gerealiseerd. Dura Vermeer is hierin specialist in de betonnen onderbouw en Hillebrand in de stalen bovenbouw. Gezien de grote complexiteit en focus op kwaliteit was het noodzakelijk de juiste expertise in het team te hebben. Al zijn snel dus meer partners aangehaakt:

• Iv-Infra, constructeur met specialistische kennis van beweegbare bruggen • Hakkers, specialist in watergerelateerde werkzaamheden zoals fundaties en geleidewerken • Langezaal & Inniger, voor elektrotechnische werkzaamheden en een bekende van de gemeente Dordrecht • MTS, voor hydraulische installaties • HEB0, voor transport en montage van de stalen bovenbouw • MZ Bekistingen • Diepstraten Wapeningsstaal



Productie bij de staalbouwer.



Eén hijsblok om zo het draaien in de haak mogelijk te maken.

en gekanteld. De grote inspanning hierbij was dat de hijspunten onder het zwaartepunt liggen en ook nog eens dicht op elkaar. Bij het kantelframe wordt de ballastmast over de op het frame vastgezette draaipunten gedraaid. Bij het brugval van 266 ton zijn twee hijspunten op het dek gebruikt om de stroppen aan elkaar vast te maken en twee hijsbanden rondom de kokers tussen de lagere. Bij het

laden van de brugval is alles in één hijsblok gehesen om zo het draaien in de haak mogelijk te maken. Bij de installatie worden twee hijsblokken gebruikt om zo de brug gecontroleerd schuin weg te leggen.

Installaties

Maar met alleen een onder- en bovenbouw is er nog geen beweegbare brug. Hiervoor

zijn de elektrotechnische en hydraulische installaties essentieel. Daarom zijn Langezaal & Inniger (elektrotechnische installatie) en MTS (hydraulische installatie) ook al vanaf het begin aangehaakt en hebben ze het hele traject vanaf het allereerste ontwerp tot de oplevering meegelopen.

De hydraulische aandrijving was geen eenvoudige opgave, want de dubbelwerkende cilinders zitten aan de (ontwerp)grenzen.

Vanwege de omvang van het val is gekozen voor een aandrijving met een deels gesloten systeem, zodat de cilinders op voorspanning blijven tijdens bewegen. Hierdoor is het val goed onder controle te houden.

De aandrijving bestaat uit twee pompsets met elk een elektromotor van 90 kW. De pompen worden elektronisch flowgeregeld aangestuurd. Tijdens het openen van de brug leveren ze olie aan de bodemzijde van de cilinder. Tijdens het sluiten, waarbij de olie aan stangzijde van de cilinder wordt aangevoerd, komt er meer olie van de bodemzijde terug. Deze olie wordt door één van de pompen afgevoerd naar een roestvast stalen reservoir van 2750 liter.

Mocht een pompset in storing raken, dan is het mogelijk om met de andere pompset de brug te openen en sluiten, maar dan op halve snelheid. En mochten beide pompsets niet meer functioneren, dan is er nog een noodstelsel, waarmee de brug toch nog op langzame snelheid bediend kan worden. Staat de brug open en er treedt een stroomstoring op, dan kan de brug op eigengewicht sluiten. Een belangrijk onderdeel van het ontwerp van de elektrotechnische installatie is de integrale veiligheidsbeschouwing. Een brug kent namelijk vele veiligheidsvoorzieningen, zoals camera's, slagbomen en seinen, die allemaal op de juiste manier moeten worden ontworpen en aangestuurd. Hart van de elektrotechnische installatie bevindt zich in de sokkel.

Hier staan de vijf besturingskasten die voor aansturing van de brug zorgen en communicatie met de bediening op afstand.

Voor de ingebruikstelling zijn alle functies uitvoerig getest met een Site Acceptance Test (SAT). Het ging om honderden tests van de installaties, apart en gecombineerd. Hierbij werd ook de beheerder betrokken, voor een direct en correct gebruik. •