

Een baan rondom de ballastmast

Het bewegingsconcept en ambitieuze vormgeving van de Prins Clausbrug vormden het belangrijkste uitgangspunt in de uitwerking van het architectonisch ontwerp. Vooral het beheersen van de verticale en horizontale vervormingen bij de voegovergangen, in interactie met de vervormingen van de aanbruggen, is een belangrijke opgave. Dat heeft tot inventieve oplossingen geleid.

ir. B. van Korten

Britte van Korten is ontwerpmanager bij Iv-Infra in Haarlem. Dit artikel bevat (licht bewerkte) delen uit 'Constructief ontwerp Prins Clausbrug Dordrecht', Bruggen 4 (jaargang 27), december 2019.

Bewegingsmechanisme

Het val, de ballastmast en de pendelstaaf bewegen als één mechanisme op de betonnen draaipuntspijler (de sokkel). De ballastmast is met draaipunten gekoppeld aan de hoofdliggers van het val. Om de ballastmast in alle standen te stabiliseren, is deze aan de bovenzijde scharnierend gekoppeld met de pendelstaaf. De pendelstaaf is op zijn beurt scharnierend met de bovenzijde van de oostelijke aanbrug verbonden. Tijdens de valbeweging maakt het draaipunt van de ballastmast een cirkelvormige baan om de draaipunten van het val. Aangezien de ballastmast (van scharnierpunt tot scharnierpunt) en de pendelstaaf een vaste lengte hebben, zijn de posities en de zwaartepunten van beide afhankelijk van de positie van het draaipunt van de ballastmast. Het bewegende systeem is hierdoor een afgeleide van de positie van het draaipunt van de ballastmast.

Sluitende momenten

Omdat de pendel de ballastmast overeind houdt, oefent de pendelstaaf naast een verticale component ook een horizontale belasting uit (in langsrichting) op het onderdraaipunt. Deze varieert met de openingshoek van de brug. Deze horizontale kracht wordt zo via de hoofdliggers van aanbrug oost via doken teruggeleid naar de betonnen sokkel.

Bij het openen van de brug neemt tot $\pm 45^\circ$ opening het sluitende moment om de draaiaas vrijwel niet af, maar juist iets toe. Vanaf 45° gaat het sluitend moment in een vloeiende beweging vervolgens weer omlaag. Dit verloop is karakteristiek voor het mechanisme en in belangrijke mate bepalende voor de krachten op de aandrijfcilinders. Ook voor het bepalen van windbelastingen is de beweging van ballastmast complicerend. Deze invloeden zijn daarom in een ANSYS Workbench-model bepaald en verwerkt in de berekeningen van de hydraulische aandrijving.

Pendelstaaf en ballastmast

De pendel en ballastmast zijn uitgevoerd als dikwandige, kokervormige constructies. De ballastmast is aan de onderzijde voorzien van een kist die wordt gevuld met stalen knuppels (half-fabrikaten uit een continu gietmachine van een staalfabriek) en stalen regelballast: zogenaamde 'ballastbroodjes' van 20-25 kg/stuk, waarmee het evenwicht van de brug fijn-geregeld kan worden.

Aan de binnenzijde van de wanden van de ballastmast worden dikke staalplaten gelast. Deze maatregelen leiden tot het gewenste evenwicht van de brug om de draaiaas, zodat de krachten en het vermogen die de bruggaandrijving moet opbrengen om de brug

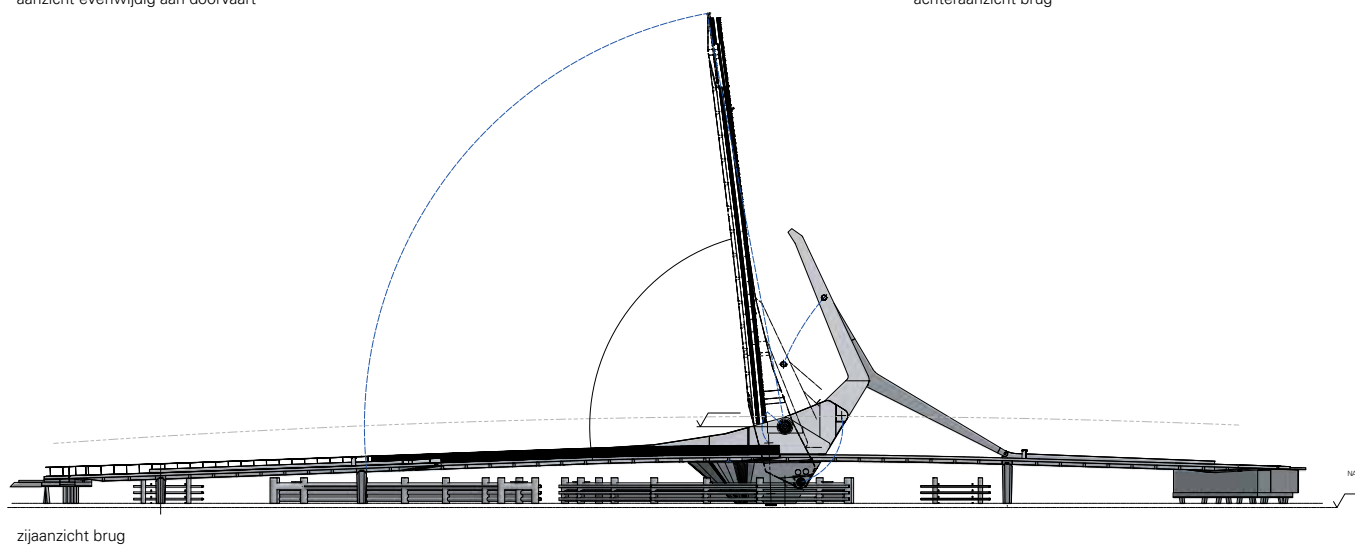
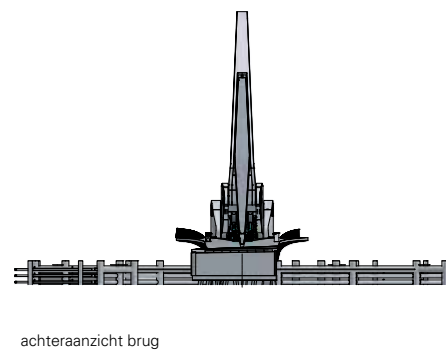
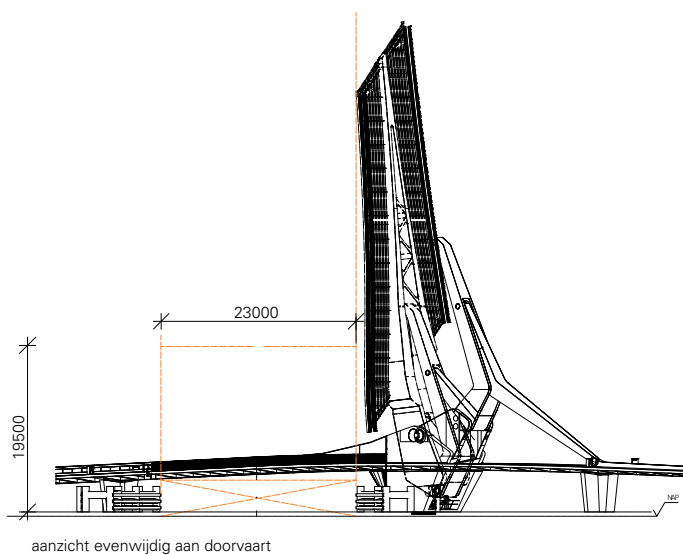
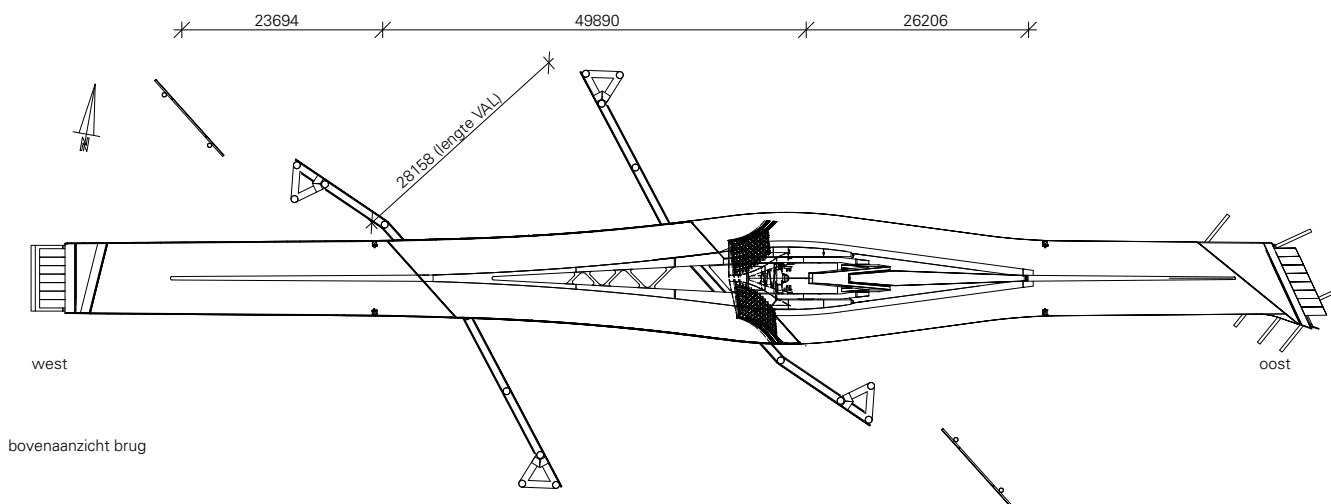
te bewegen, tot een minimum kan worden beperkt.

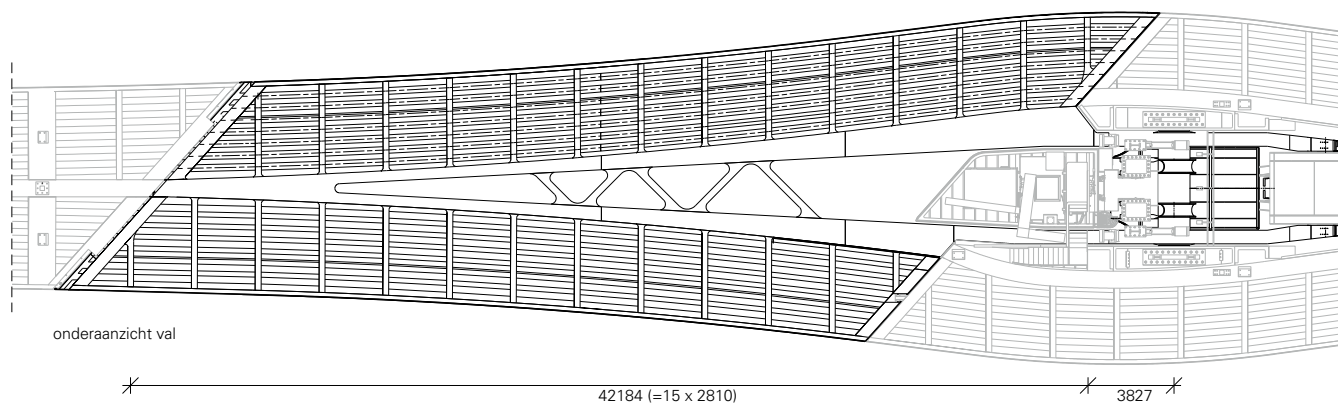
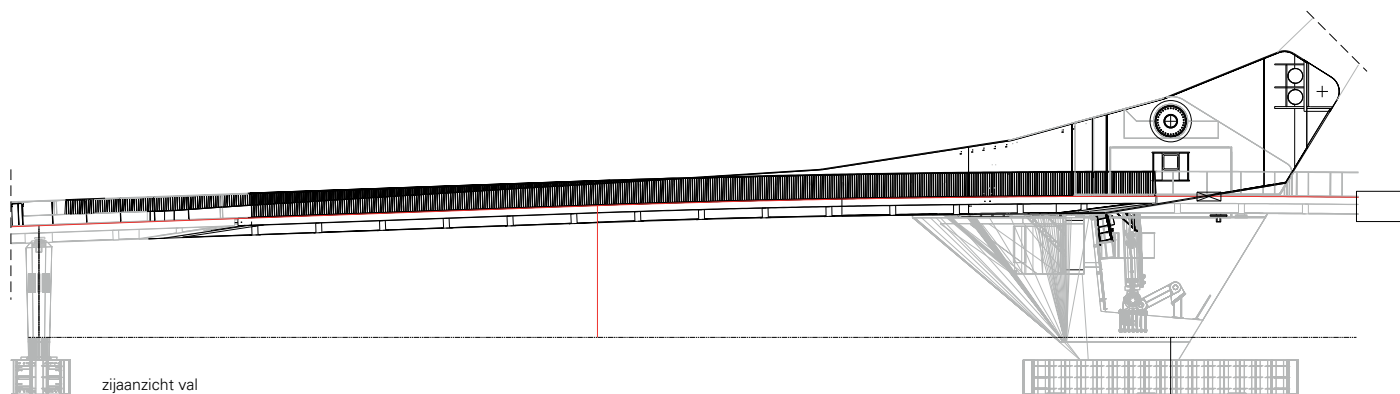
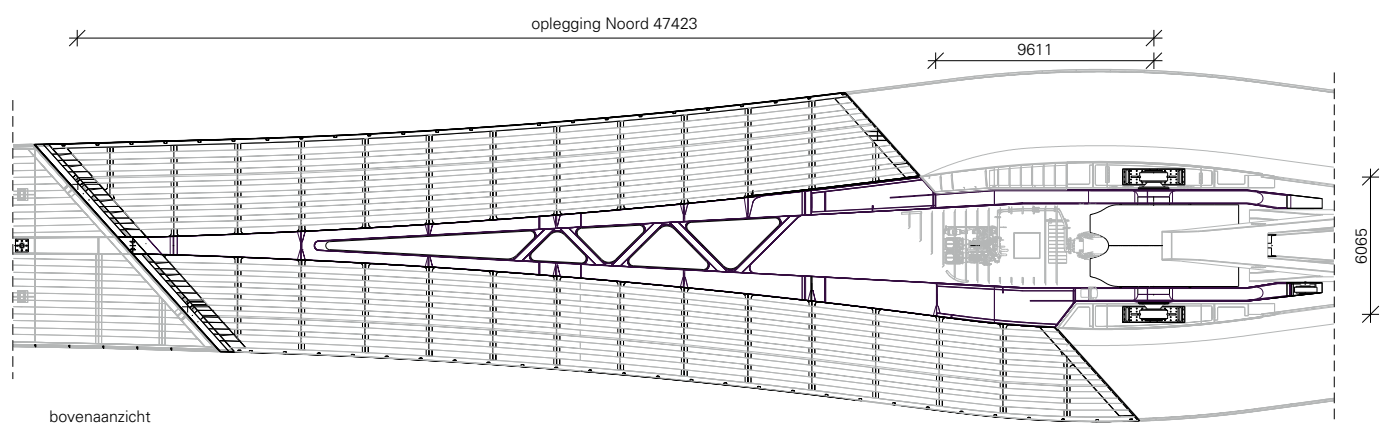
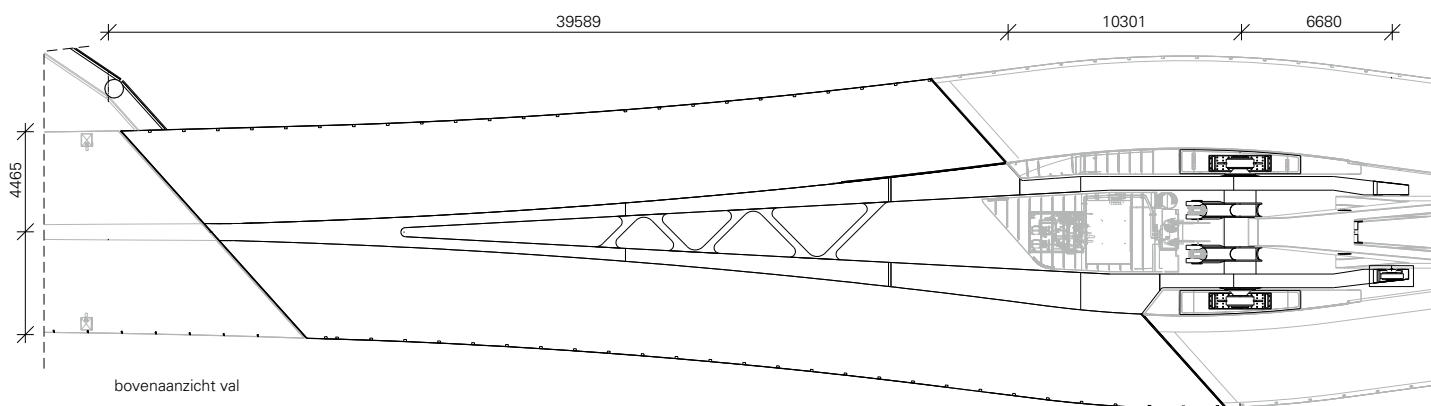
Val

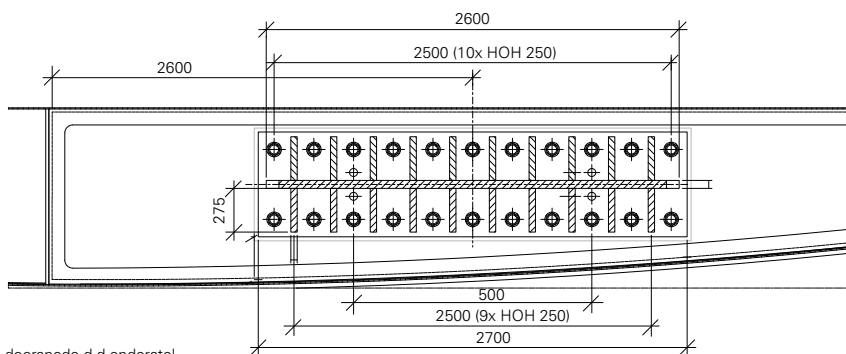
Het val bestaat uit twee orthotrope rijdekken van ± 4 m breed die aan weerszijden uitkragen vanuit een centrale, torsiestijve hoofdligger. Deze kern wordt gevormd door twee kokers, die via een vakwerk onderling zijn gekoppeld. De vaste ligging van de brug op de vooropleggingen wordt volledig door de onbalans gegarandeerd, onder alle omstandigheden. Daarom hoeft de brug niet apart te worden vergrendeld in gesloten stand. Voor de staalconstructie van het val zijn vermoeiing van de hoofd draagconstructie, door het openen en sluiten van de brug en de onder- en overdruk in de luchtdicht afgesloten hoofdliggers, van belang geweest voor het ontwerp. Daarbij vormde het beheersen van de verticale en horizontale vervormingen bij de voegovergangen, in interactie met de vervormingen van de aanbruggen, een belangrijke opgave die tot inventieve oplossingen heeft geleid.

Bouwzeeg

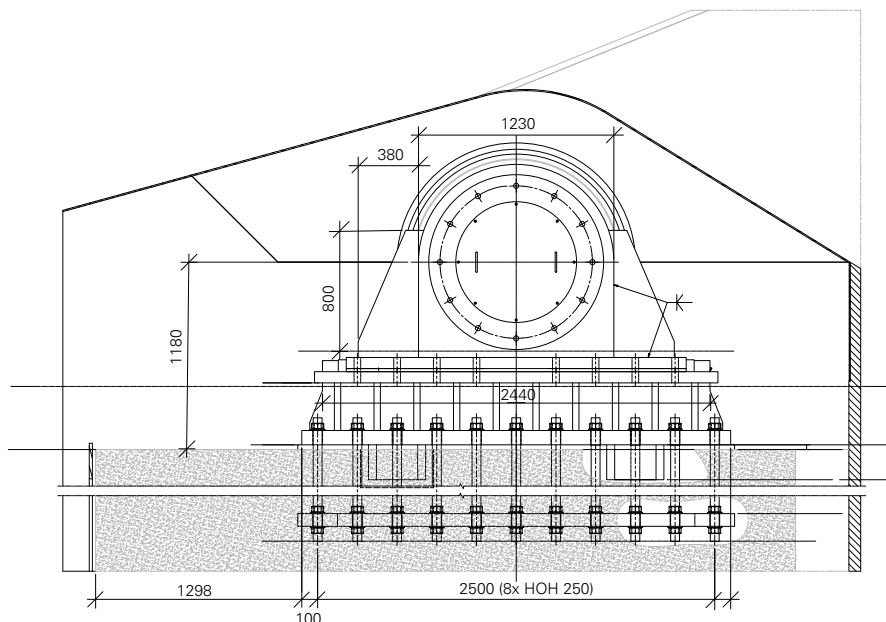
De twee vooropleggingen onder de voorhar van het val rusten op de einddwarsdrager van aanbrug west, die bij de oplegblokken 2,5 m (noordzijde) respectievelijk 7,3 m (zuidzijde) uitkragen voorbij de pijler. Hierdoor wordt de voorhar van het val dus flexibeler ondersteund dan gebruikelijk. Bovendien hebben beide steunpunten vanwege de schuine voeg verschillende (maar gekoppelde) verticale veerstijfheden. Om ondanks de verschillende stijfheden toch een gelijke verdeling van oplegkrachten vanuit de onbalans van het val te verkrijgen, worden de opleggingen via een bouwzeeg verschillend voorgespannen.



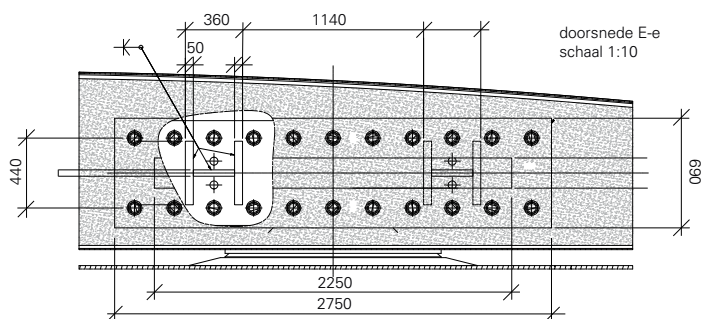




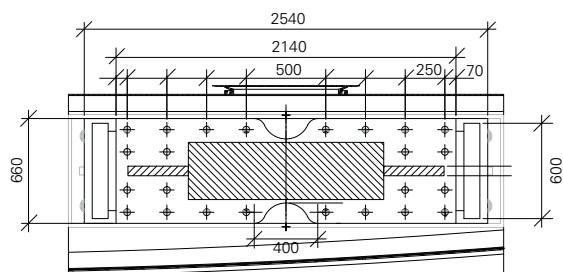
doorsnede d-d onderstel
schaal 1:10



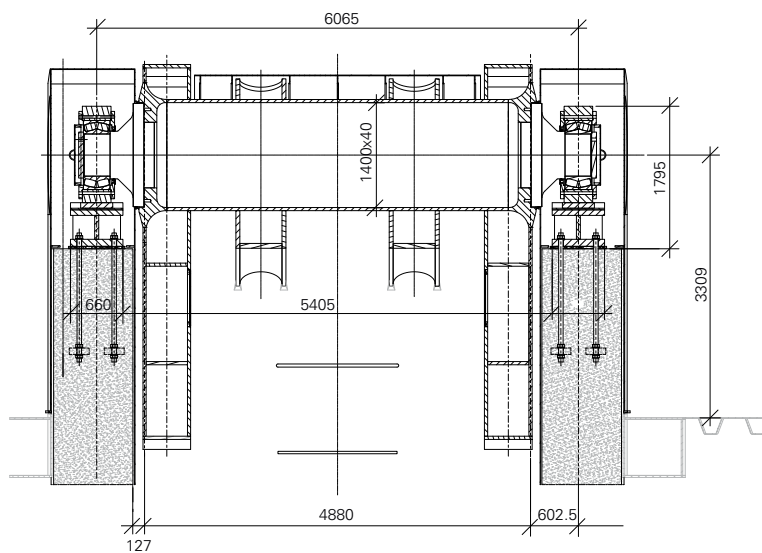
doorsnede b-b
schaal 1:10



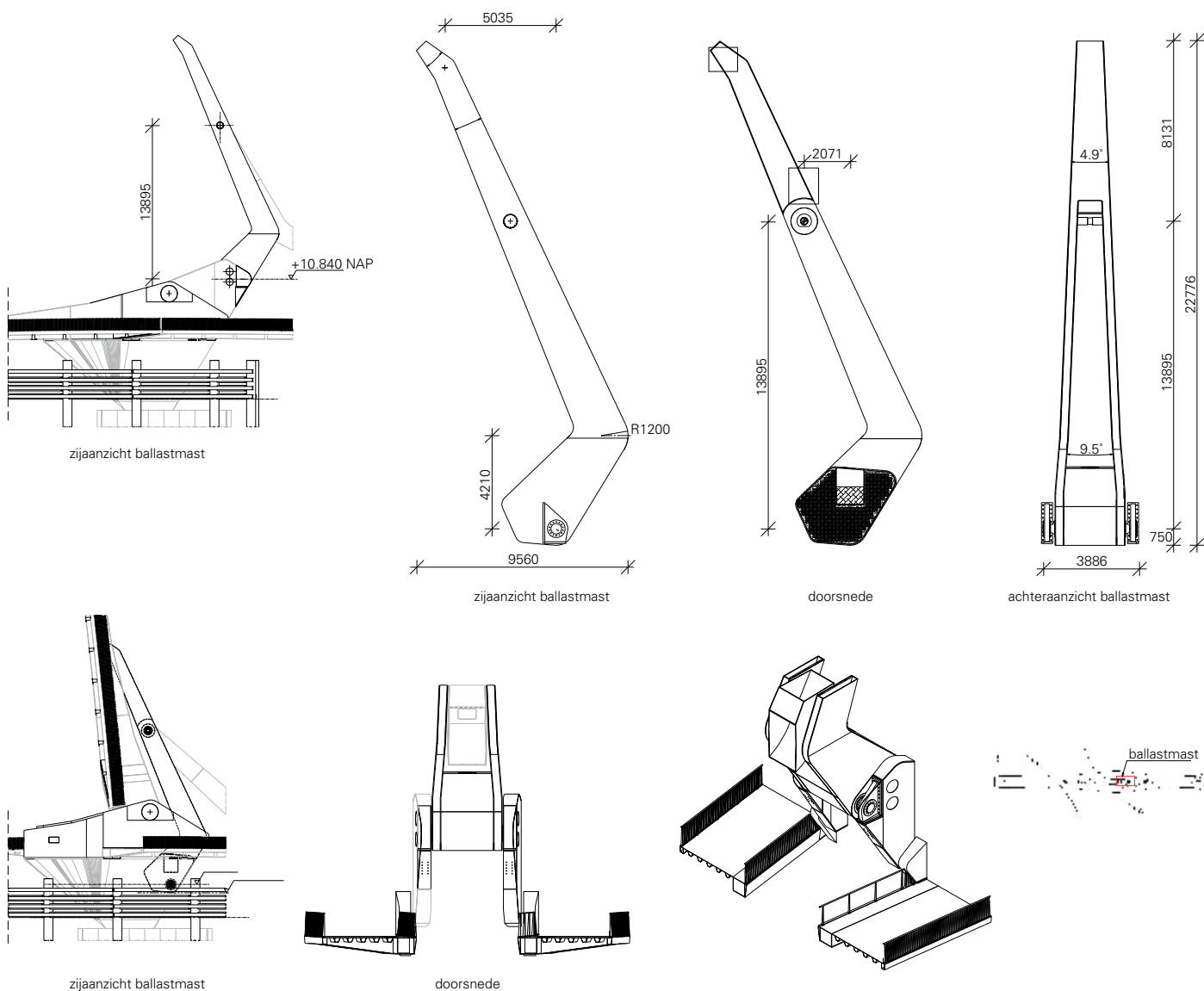
doorsnede E-e
schaal 1:10



doorsnede c-c, bovensteel
schaal 1:10



doorsnede a-a
schaal 1:20



Voeglip

Ander aandachtspunt bij de voorhar vormde de horizontale voegvervormingen. Door de grote vallengte en de horizontale beweging van de westelijke aanbrug zouden de voegbreedtes op een koude dag hier groter worden dan veilig wordt geacht. Dit is opgelost door een onderliggende voeglip in de voegopening toe te passen. De voeglip bestaat uit een horizontale roestvast stalen plaat die ± 30 mm onder dekniveau aan de aanbrug is bevestigd. De plaat maakt de voeg ondiep, waarmee het gevaar 'door de voeg heen zakken' met een naaldhak is weggenomen. Onder het midden van de voorhar is een extra steunpunt met speling aangebracht om verticale vervormingsverschillen tot een minimum te beperken.

Extra steunpunt

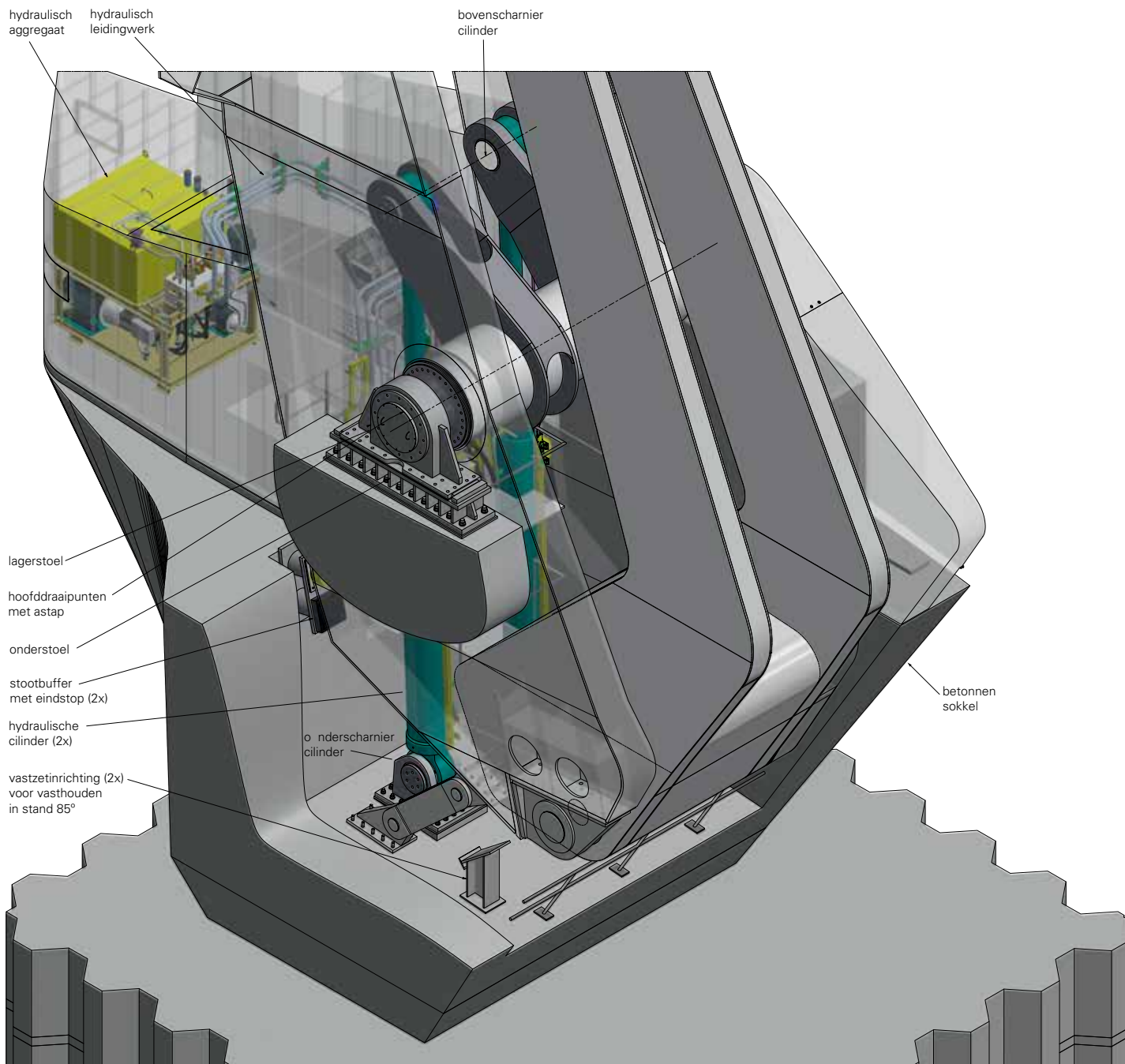
Ook bij de achterhar zijn onconventionele oplossingen toegepast om de vervormingen te controleren en een vaste ligging te borgen. De schuine voeg tussen val en aanbrug oost bevindt zich aan de noordelijke achterhar op

een gemiddelde afstand van zo'n 12 m vanaf het draaipunt. Deze grote afstand leidt – zonder maatregelen – tot ontoelaatbare hoogteverschillen aan weerszijden van de voeg, door doorbuiging van de hoofdligger bij ongelijkmatige opwarming van de brug of bij grote persoonsbelasting. Om de vervormingsverschillen te beperken, is er een extra steunpunt onder het dek van het val toegepast en is de dekplaat van het val over een zekere lengte los gehouden van de hoofdligger, om een flexibel uitkragend dekdeel te verkrijgen. Bij het sluiten van het val wordt dit dekdeel door het extra steunpunt aan de oostelijke aanbrug enigszins omhooggeduwd, waardoor het dek verticaal licht wordt opgespannen tegen het steunpunt. Door deze voorspanning kunnen alleen bij extreme vervormingen van het val (beperkte) hoogteverschillen ontstaan.

Hoofddraaipunten val

De draaipunten waarmee het val met de betonnen kelder is verbonden, worden het zwaarst belast van alle draaipunten en zijn voorzien van zelfinstellende tweerijige

tonlagers: robuuste en zwaar belastbare wentellagers. Dergelijke wentellagers hebben als voordeel dat zij een zeer lage rolweerstand hebben (de wrijvingsfactor μ_f bedraagt $\pm 0,002$), waardoor weinig energie verloren gaat door wrijving en de aandrijfkraften en energiebehoefte voor het bewegen van de brug zo beperkt mogelijk gehouden kunnen worden. De draaipunten zijn aan de buitenzijde van de hoofdliggers van het val aangebracht, de lagers zijn elk gemonteerd op een smeedstalen astap met flens, bevestigd op een smeedstalen ring, gelast in de hoofdligger. Een koppelbuis tussen de smeedstalen ringen neemt de buigende momenten ten gevolge van de lagerkrachten op, zodat deze niet de zijwanden van de hoofdliggers belasten. De lagers zijn opgenomen in een lagerhuis op een onderstoel die is verankerd aan de betonnen consoles aan de buitenzijden van de hoofdliggers van het val. Om de draaipunten in de gewenste vormgeving op te kunnen nemen zijn de lagerhuizen en de onderstoelen zo smal mogelijk uitgevoerd, zodat ze goed passen op de smalle betonnen consoles



en de daarover nauwsluitende stalen kappen. De kappen zijn voorzien van wegneembare deksels om de lagers te kunnen inspecteren en (in geval van falen) te kunnen vervangen.

Brugaandrijving

De brug beweegt door een hydraulische aandrijving uit twee hydraulische cilinders die worden uit- en ingestuurd door een elektro-hydraulisch pompaggregaat. De cilinders zijn voorzien van een bodemoog en stangoog, en scharnierend met het val en de kelderbodem verbonden door vezelversterkte kunststof bolscharnierlagers. Glijgeleidingen op zowel bodem- als stangoog beperken de rotatievrijheid van de cilinder en stangkop om de cilinderas om staal-op-staal schrapen te voorkomen. Het stangoog is met een

scharnierpen gekoppeld aan twee wangplaten, verbonden door de koppelbuis tussen de hoofdliggers van het val. Het bodemoog is scharnierend verbonden met de twee wangplaten van de gelaste cilinderonderstoel die aan de keldervloer is vastgezet met voorgespannen ankers.

Om de krachten in normaal bedrijf zo goed mogelijk te verdelen over beide cilinders, zijn deze zowel aan bodem- als stangzijde hydraulisch gekoppeld, waardoor ze als het ware als één cilinder bewegen. Dit maakt een gelijklooptregeling voor de aandrijving overbodig en zelfs ongewenst. Het in- en uitsturen van de cilinders is gebaseerd op een halfgesloten hydraulisch systeem zonder remventiel. De brugbeweging wordt voor zowel openen als sluiten van de brug via

een vloeiend verlopend snelheidsdiagram geregeld, waarbij de bewegingssnelheid van de cilinders wordt bepaald door de traploos regelbare opbrengst van de plunjerpomp, die deel uitmaakt van het hydraulisch aggregaat. Zo wordt de brugbeweging op een beheerste en stabiele wijze bestuurd.

Bij (incidenteel) hoogwater kunnen de keldervloer en de voet van beide cilinders onder water komen. Om het draaipunt aan de cilinderbodemzijde afdoende te beschermen, is deze voorzien van een dubbele afdichting en volledig met vet gevuld. Langdurige onderdompeling van het draaipunt zal hierdoor niet leiden tot schade aan as en lager door waterindringing en corrosie. De cilinder zelf is voorzien van een speciale, waterresistente coating. •