



Klassieker met moderne middelen

Staalbouwer Dijkstaal uit Maassluis leverde aan DENYS Engineers & Contractors uit Moerdijk een compacte en strakke brug op voor een transportleiding in Liberia, West-Afrika. De brug is geheel geprefabriceerd en in containers vervoerd en ter plaatse in elkaar gebouwd met schroefbouten. Er is hier sprake van een samengaan van traditie in ontwerpprincipes en controle met de laatste stand van de techniek: een mix van oud en nieuw. Dit wordt allengs duidelijk als de auteur het ontwerp en de fabricage belicht.

ir. P.J.Th. Pollemans

Pieter Pollemans schreef dit artikel op persoonlijke titel, met dank aan Dijkstaal, Denys E&C, Seldenthuis Engineering en PT Structural.

Het in de westkust van Centraal Afrika gelegen land Liberia kent een bewogen geschiedenis. De naam bevat het woord voor vrijheid. Opgericht door mensen van Afrikaanse oorsprong die, van het slavenjuk bevrijd, uit Amerika afkomstig waren en in er 1847 officieel de Republiek Liberia stichtten. Daarvoor was het bekend als Peperkust, ook al zo'n veelzeggende naam. Voor meer politiek en sociale geschiedschrijving zijn diverse betrouwbare bronnen beschikbaar, zie onder andere wikipedia.

Het land is rijk aan water, circa 15% van de 111000 km² is nat. Regenval in hoofdstad Monrovia is berucht, tot 4,5 m (sic) per jaar is het gemiddelde. Dieper landinwaarts is het klimaat prettiger en daar is de locatie van dit project te vinden. Het betreft een onderdeel van een landelijke pijpleiding vanaf een waterkrachtinstallatie (Mount Coffee) naar een lagergelegen waterzuiveringsfabriek. Het ongezuiverde water wordt via een pijpleiding aangevoerd en deze leiding kruist een natuurwatergebied, waarbij de brug in dit artikel van

dienst is. De totale lengte van de brug is 92 m en er zijn twee tussensteunpunten, die niet geheel symmetrisch zijn: 24,40 en 28 m.

Vormgeving

De brug is puur functioneel zoals zoveel bruggen in de wereld, gemaakt voor de functie van drager van mensen en middelen naar de overkant. Economie, bestandheid tegen de elementen, eenvoud van bouwen en mogelijkheden voor reparatie zijn maatgevende eigenschappen. In het geval van de leidingbrug is daar nog de afwezigheid van verkeer en daarmee samengaan van variabele lasten aan toe te voegen; de leiding kan niet meer water bevatten dan erin past en er is alleen een smalle loopruimte als inspectiepad inbegrepen.

Met deze eisen, en een jarenlange ervaring, heeft de staalbouwer een ontwerp gemaakt als hier gepresenteerd.

Klassiek is de basisopzet met H-balken, L-staal en geboude verbindingen. Het laswerk, dat al weinig omvang heeft, is geheel in de



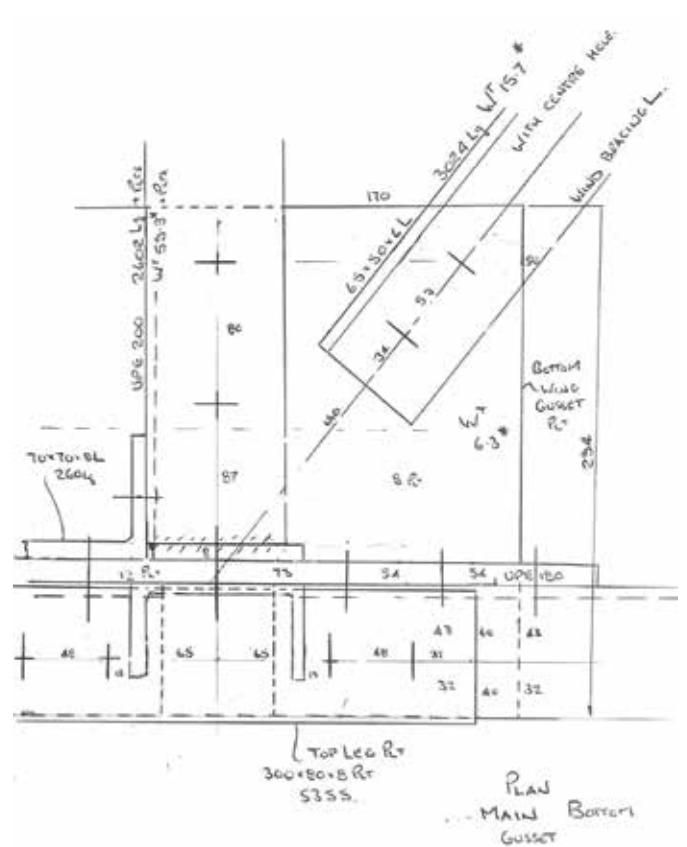
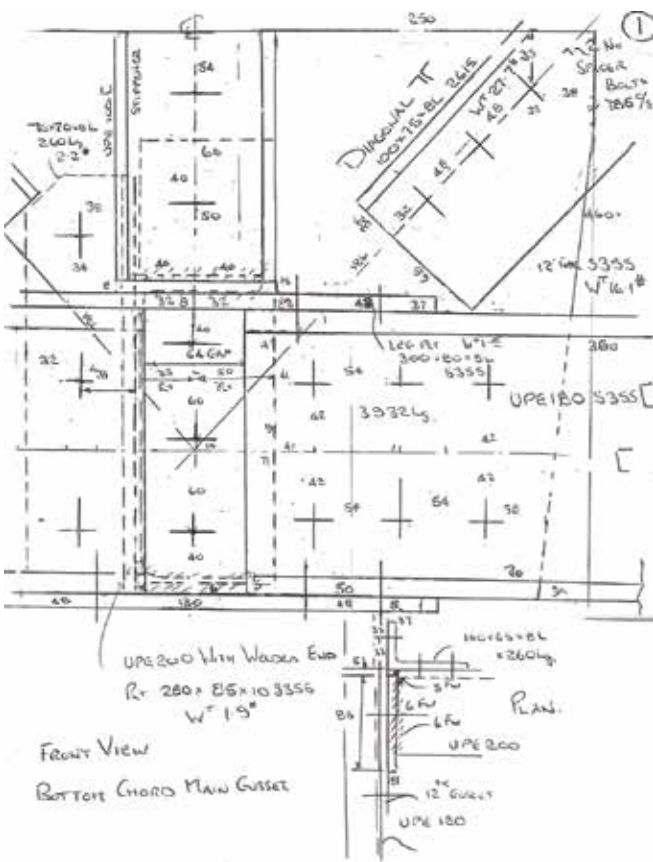
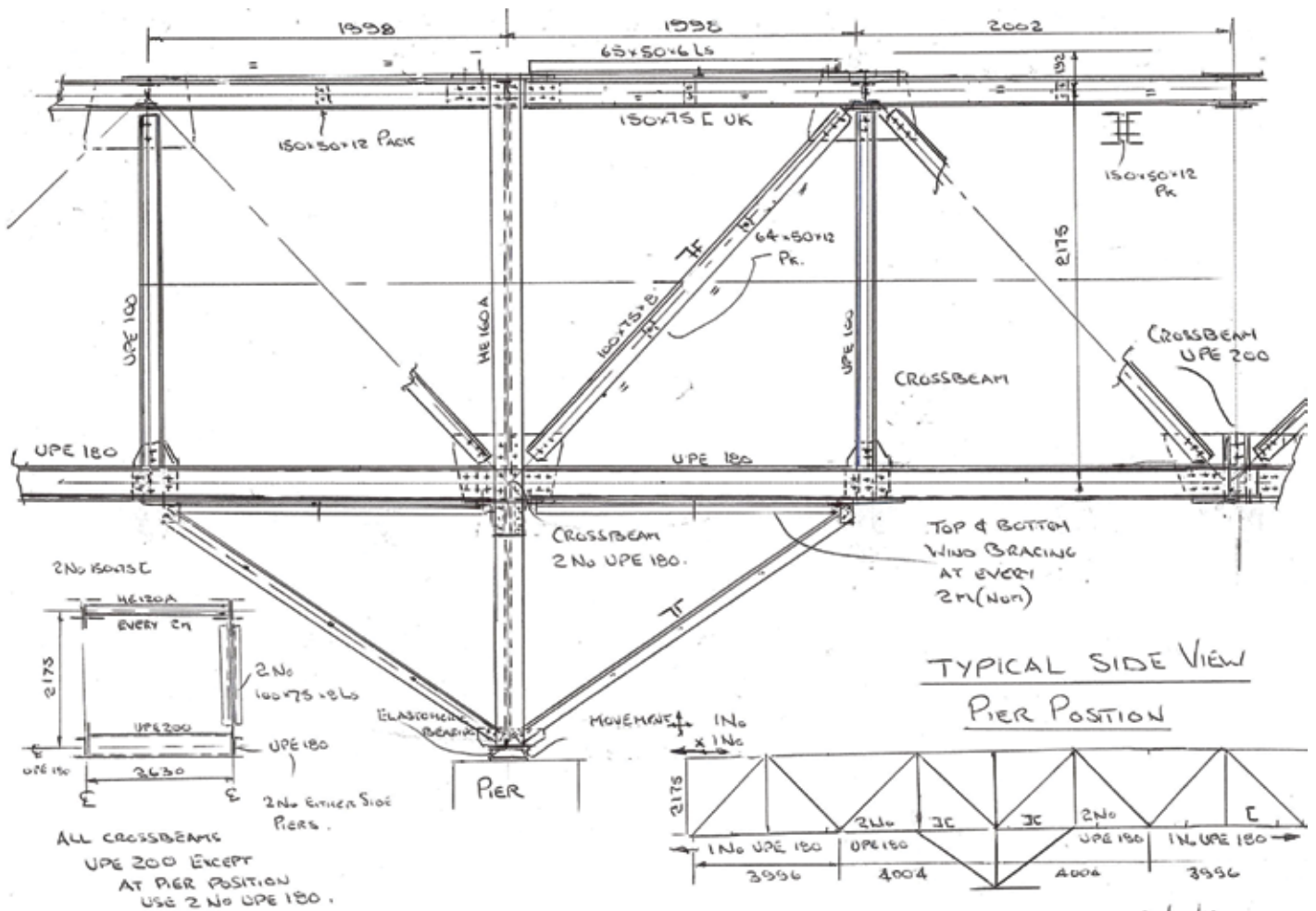
Kenmerkend is de afwezigheid van gesloten profielen van het type buis of koker.



De waterstroom koelt de buis...



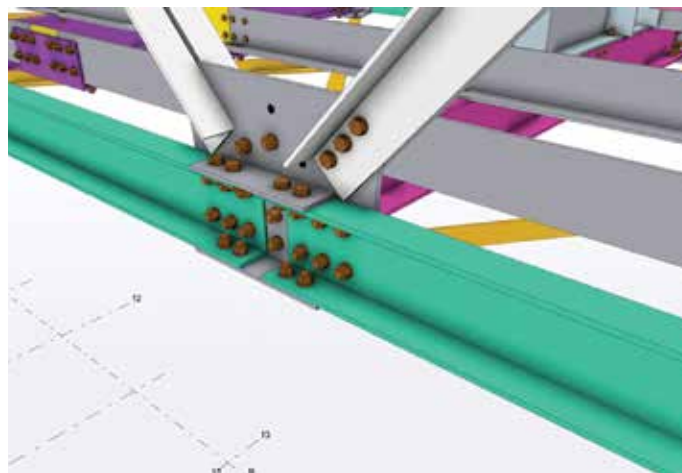
...en de stalen draagconstructie staat grotendeels in de Afrikaanse zon.



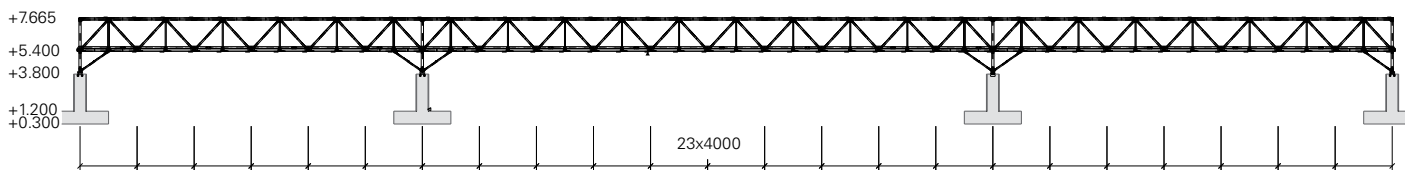
De ervaren ontwerper kan de belangrijkste doorsnedegegevens eenvoudig afleiden en een opgave doen voor de totale massa.



Liberia, aan de westkust van Centraal-Afrika.



Klassieke 'parallelle' flens-lijf verbinding.



De totale lengte van de brug is 92 m en er zijn twee tussensteunpunten, niet geheel symmetrisch: 24,40 en 28 m.

Nederlandse werkplaats uitgevoerd. De hoeveelheid laswerk is daarnaast beperkt, alleen schotten en lippen voor de verbindingen zijn aangebracht op de handelsprofielen. Elk onderdeel is thermisch verzinkt na het boor-, zaag- en laswerk. Een dergelijk principe leent zich uitstekend voor een optimalisatie van de materiaalkosten, immers elke balk en staaf kan precies worden afgestemd op de berekende belastingen die lokaal moeten worden weerstaan. In verband met vervoer kan geen (voor)assemblage worden uitgevoerd; elke staaf is apart genummerd voor vervoer in containers. Dus zijn er geen afwegingen als voorkomend bij plaatstalen bruggen, waar het leggen van een lasnaad kostentechnisch ongunstiger uitpakt in vergelijking met het doorzetten van een plaatdikte die eigenlijk te fors is voor het doel.

Het aanbod van balkprofielen is groot, op basis van wereldwijde levering is ook de Engelse range UB (*Universal Beams*) interessant. Deze is wat anders van afmetingen dan de in Nederland bekende HEA/B/M-serie. Zij kunnen onderling worden gemixt om voor elke balk de juiste doorsnede te verkrijgen. Ook samenstellingen zijn gebruikelijk, daarvoor kunnen zeer starre profielen opgebouwd

worden die in alle richtingen de gewenste eigenschappen hebben. In dit project ook van toepassing maar minder spectaculair dan in overige toepassingen gemaakt door Dijkstaal. Kenmerkend is de afwezigheid van gesloten profielen van het type buis of koker. Dit heeft met het verzinkproces te maken maar ook met de materiaalprijzen. Strippen, L-vormen en U-vormen zijn het meest economisch en kunnen door slim samenstellen equivalent worden met gewalste kokers van elk formaat. Dit principe is al vanuit de vroegste toepassing van staal bekend.

Met een vergaand geautomatiseerde boor-/zaagstraat en een koppeling van tekenpakket naar machines is de fabricage conform de huidige normen en standaarden.

Berekening

Zo pragmatisch als de vormgeving, is ook de berekening. Op de bekende achterkant van een bierviltje kan een ervaren ontwerper de belangrijkste doorsnedegrootheden afleiden en een opgave doen voor de totale massa. Anno 2021 is een bewijsvoering van die keuzes een ander verhaal; er is voor de (internationaal samengestelde) controle- en managementgroep een serieus rapport ge-

maakt met daarin een verslaglegging van alle berekeningen. Ook daarvoor geldt: bekende principes, modern uitgevoerd. Een staafmodel voor de geometrie en de verwerking van de computerresultaten tot leesbare prints is minimaal vereist. Ook zijn de nodige handberekeningen en validatie uitgevoerd met *old school*-evenwichtsbeschouwingen. Juist doordat de materialisatie in optimale vorm gewenst was, is een nauwkeurige, staaf-voor-staaf en knoop-voor-knoop toets noodzaak. Dit houdt tevens een kniktoets in, zowel op systeemniveau (met Euler) als op staafniveau (met Eurocode en voorgeschreven kniklengten). Bijkomend is dat de modellering zodanig is dat de Eulerse toets zowel de lokale als de globale instabiliteit aantoont. Beide methode vullen elkaar dus aan en zijn deels overlappend.

Modellering

Elke staaf is als star verbonden beschouwd omdat de knoopverbinding praktisch gesproken spelingsvrij is, met heel nauwe toleranties, fors uitgevoerde schetsplaten en hoogwaardige bouten. Ook is de uitvoering zodanig dat de hartlijnen van de staven zoveel als mogelijk exact in de knopen snijden.



De thermische verlenging wordt zo min mogelijk gehinderd door het oplegsysteem.

Dit komt het gedrag als zuiver vakwerkligger met weinig secundaire buiging in de knopen zeker ten goede. Overigens zijn alle spanningen getoetst, niet alleen de basale normaalspanningen van het viltje.

De zware pijp van plaatstaal ($\varnothing 1200$ mm) die als voornaamste belasting geldt, indien gevuld met water, is meegemodelleerd, dit echter op een dusdanige manier dat de staalframes niet 'geholpen' worden door de grote stijfheid van de buis. Er zijn zowel in het model als in het echt glijdende verbindingen toegepast waardoor de buis onafhankelijk kan bewegen. Dit is belangrijk voor het tegengaan van materiaalspanningen door temperatuureffecten. Immers, de waterstroom koelt de buis en de stalen draagconstructie staat grotendeels in de Afrikaanse zon. De nachten

zijn beduidend koeler dan de dag, dus de zaken warmen dagelijks op. De daarbij behorende verlenging wordt zo min mogelijk gehinderd door het oplegsysteem, dat slechts op één punt feitelijke krachtsafdracht in lengterichting toestaat. Dwarse lasten door wind worden wel op alle steunen opgenomen.

Belasting

De omstandigheden zijn relatief vriendelijk te noemen voor de omgevingslasten. Naast een precies bekende buis met water is slechts een eenvoudig voetpad aanwezig, bedoeld voor inspectie. Per m^2 kan er 5 kN ontstaan voor wat het profiel betreft. De wind is als matig te beschouwen met lage frequentie van stormcondities, te vergelijken met Nederlandse windgebied III. Aardbevingen zijn

historisch zeldzaam, maar er is wel met een versnelling ter plaatse gerekend van $2 m/s^2$ in dwarsrichting om op alles voorbereid te zijn. De hoogteligger van de onderrand is zodanig gekozen dat contact met stromend water door overstromingen feitelijk uitgesloten is, gezien de lokale hoogte- en dalenligging. Alle steunpunten zijn qua verticaal gedrag gelijkaardig, gebaseerd op rotsformaties. Zettingsverschillen zijn hierdoor uitgesloten van analyse.

Detallering

Succes staat of valt met de details van uitvoering, ook hier. Er is veel moeite gedaan door het ontwerpteam om de knopen uitvoerbaar, maar theoretisch 100% compatibel te maken met de ontwerp- en rekenmodel. Om het

Projectgegevens

Projectnaam Raw Water Transmission Pipeline from Mount Coffee Hydropower Plant to White Plains Water Treatment Plant, Monrovia, Liberia • *Opdracht* MCA Liberia • *Uitvoering* Denys Engineers & Contractors, Moerdijk • *Toezicht* Nicholas O'Dwyer Ltd., Dublin (IE) • *Ontwerp* Dijkstaal, Maassluis • *Constructief ontwerp* Technisch Adviesbureau Pollemans, Groesbeek • *Tekenwerk* Seldenthuis Engineering, Zoetermeer met Dijkstaal



Zuivere delingen in staven komen niet voor.

aantal bouten minimaal te houden, is ook daarin voordeel te halen bij exacte lijnenplannen voor de staafwerking. Knopen zijn gebout waarbij een hoogwaardige 10.9-bout is toegepast, en wel zodanig dat de steel altijd volmassief is in de krachtswerking op schuif. Belasting op de draad is vanwege de relatief hoge schuifkracht niet toegelaten. Maatgevend is dan ook de contactspanning tussen het S355-staal en het 10.9-materiaal, dit is een toets die niet zeer gevoelig is voor brosse breuk. Kenmerkend voor de detaillering is de afwezigheid van op actieve trek belaste bouten en flensplaten, die standaard zijn in de huidige staalbouw. Hier is gebruik gemaakt van de klassieke 'parallelle' flens-lijf verbinding. Er is ruimte voor en het is in lijn met andere verbindingen en bouwwijzen. Anders

gezegd: alle verbindingen vermijden de aanspraak op echte noodzakelijke buigspanningen in het staal én trek in de bouten. Vanwege het ontwerpprincipes komen zuivere delingen in staven niet voor.

Bouwwijze

De foto's van de bouwwijze spreken voor zich. Benodigd is een standaard verrijdbare kraan. Elke staaf is met mechanische middelen stuk voor stuk op zijn plaats getild en als een groeiende constructie tot deelbruggen zoveel mogelijk in positie gebracht, totdat met de kraan de eerste overspanningen zijn gemaakt. Na plaatsing van de deelbruggen zijn de doorkoppelingen gebout, zodat de nuttige belasting wordt gedragen door een doorgaande ligger. Eigenlijk is het eigengewicht van het

staal dan als ligger op twee steunen opgenomen en dit moet worden opgeteld bij het permanente en variabele deel van de belasting. Het verschil in krachtswerking is onderzocht maar niet maatgevend gebleken.

Samenvatting

Robuust, maar staaf voor staaf uitgenut materiaal, eenvoudig en fit-for-purpose. Het geldt voor design, engineering en uitvoering. De voorafgaande werkzaamheden, die voltooid moesten zijn voordat met de montage kon worden begonnen, zijn echter 100% anno nu met CAD-gestuurde machines, computerberekeningen voor de krachtswerking en alle communicaties hiermee samenhangend. •