

Figuur 1: Kantelsluis liggend onder brug (animaties Marcel Boender, Royal HaskoningDHV)

Innovatie: de Kantelsluis

Brug niet omhoog: schepen naar beneden

Een revolutionair systeem om hoge schepen onder een brug door te leiden. Het werd bedacht door Royal HaskoningDHV en heeft als resultaat dat er minder vaak voor een geopende brug hoeft te worden gewacht.

Wachten voor een geopende brug staan hoort bij Nederland. Maar liever niet als het een snelweg of belangrijke verbinding betreft. En al helemaal niet als die geopende brug tot heuse files leidt. Het is op te lossen met aquaducten, tunnels, een D-tour (over sluizen) of een beperking van het aantal brugopeningen. Voor enkele knelpunten is geen voor de hand liggende oplossing beschikbaar. De Haringvlietbrug, de Zeelandbrug en de Ketelbrug. Dit zijn lange bruggen in belangrijke verkeersroutes en over breed water. De bruggen hebben een forse doorvaarthoogte (tien tot dertien meter), maar moeten toch vaak open voor jachten die er niet onderdoor passen.

De schepen omlaag

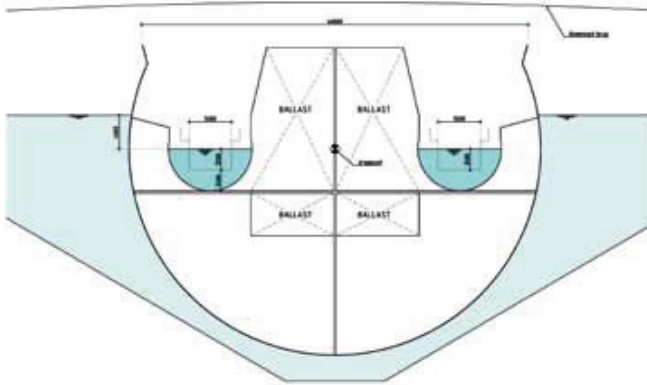
Een drastische vermindering van het aantal brugopeningen kan worden bereikt

door de brug dicht te laten en de schepen zover te laten zakken dat ze onder de brug door kunnen. Royal HaskoningDHV realiseert dit met een Kantelsluis. De Kantelsluis is een drijvende buis. Aan de bovenzijde is de buis open. In de lengterichting van de buis bevinden zich twee kanalen, gevuld met water en aan het begin en eind afgesloten door deuren. Het geheel is vergelijkbaar met een dubbele sluis. De buis ligt haaks onder de brug en steekt er aan weerszijden een eind onderuit (zie figuur 1). De hoogte van de beide kanalen is zo gekozen dat, als de buis recht ligt, het wateroppervlak daarin zich op vier meter onder het niveau van het buitenwater bevindt (zie figuur 2). Ten behoeve van de passage van een jacht wordt de buis een stukje gedraaid totdat het water in het dan hoge kanaal gelijk staat met het buitenwater (zie figuur 3).

De deur gaat open, het jacht vaart naar binnen en meert af op een in het kanaal drijvende steiger. De deur gaat vervolgens dicht en dan wordt de buis teruggedraaid totdat het andere kanaal gelijk ligt met het buitenwater. Het kanaal met het jacht is nu acht meter gezakt en het schip kan onder de brug door varen (zie figuur 4). Vervolgens draait de buis weer terug om het jacht uit te laten varen. Ten overvloede: tijdens het gehele proces wordt geen water verpompt, er loopt geen water van het ene kanaal naar het andere, er wordt geen ballast verplaatst, de Kantelsluis als geheel gaat niet omhoog of omlaag en hij komt niet van zijn plek. Hij draait slechts.

De vorm van de romp

Een belangrijk aspect voor de energiezuinige werking van het principe is dat de



Figuur 2: Doorsnede in neutraalstand

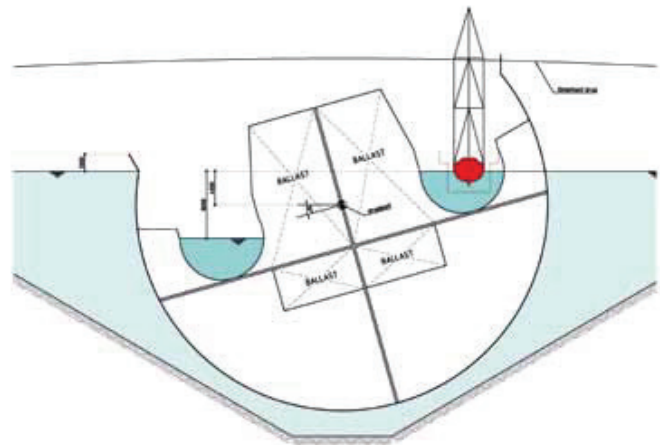
constructie voor wat betreft het kantelen als een bal in het water kan draaien of stil liggen. Een bal heeft maar een klein tikje nodig om in het water een rondje te draaien. Met een plat blokje hout dat in het water drijft lukt dat niet zomaar. Dat kost duidelijk meer inspanning dan bij de bal en het blokje draait direct weer terug na loslaten.

Waarom draait een bal zo makkelijk? Omdat het zwaartepunt precies ligt in het hart van de ronde vorm (het middelpunt); omdat de resultante van de waterdruk in elke stand door het hart gaat en omdat tijdens het draaien geen water wordt verplaatst.

Daarom is voor de Kantelsluis gekozen voor de ronde vorm onder de waterlijn. Bij kanteling blijft alle massa ten opzichte van het middelpunt op z'n plek, behalve het water in de kanalen. Door de kanalen cirkelvormig uit te voeren en door ervoor te zorgen dat de middelpunten van die cirkels op één lijn liggen met het middelpunt van de sluis heeft de verplaatsing van het water geen effect op de stabiliteit van de sluis.

De Kantelsluis in cijfers

Lengte 190 meter
Breedte 48 meter
Diepgang 28 meter
Gewicht (meest ballast 200.000 ton)
Kantelhoek + en - 16 graden
Energieverbruik per slag 0,04 kWh
Vergroting doorvaarthoogte 8 meter
Aantal jachten tegelijk 5
Duur van een 'schutting' 22 min.
 (afmetingen per locatie te bepalen afhankelijk van gebruik en capaciteit)



Figuur 3: Gekanteld ten behoeve van invaren

Zwaartepunt en ballast

Om zo gemakkelijk als een bal te kunnen draaien moet het zwaartepunt van de constructie precies in het middelpunt van de ronde vorm liggen. Dat wordt bereikt door ballast toe te voegen.

Om dit duidelijk te maken is als startpunt een Kantelsluis met alleen de romp en de twee kanalen getekend (zie figuur 5). Linkerzijde en rechterzijde zijn identiek en de meeste onderdelen liggen duidelijk onder de horizontale hartlijn A die door het middelpunt loopt. Dus het zwaartepunt ligt op de verticaal onder het middelpunt. De positie van het zwaartepunt wordt bepaald door de massa (m) en hoogte (h) van alle onderdelen van de constructie inclusief het water in de kanalen. In formule:

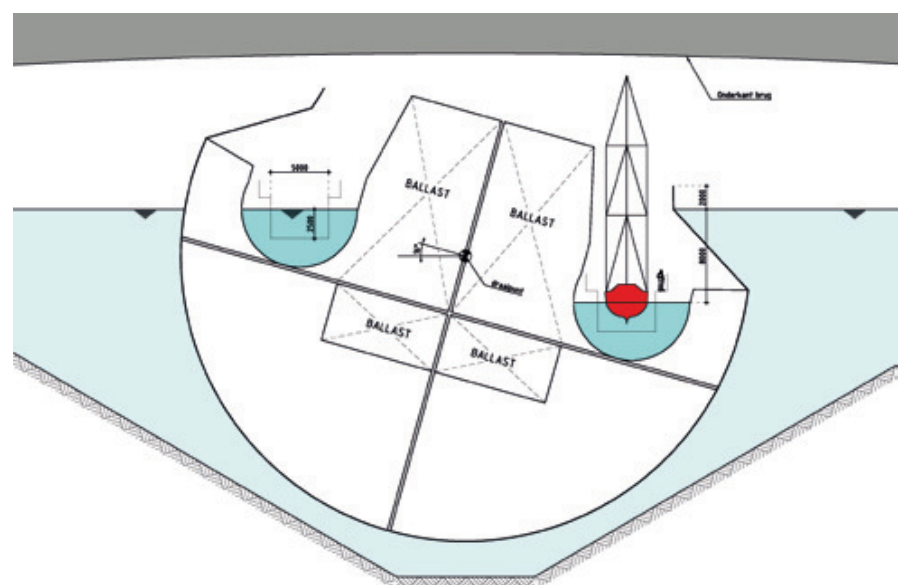
$$H = \frac{\sum (h \times m)}{\sum m}$$

Afstand H moet gelijk aan 0 worden.

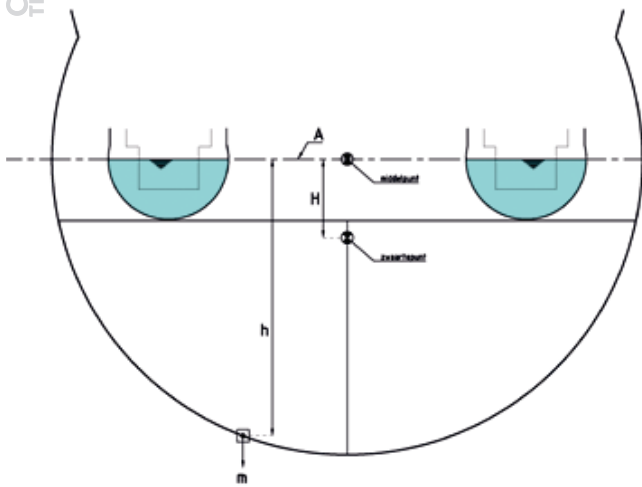
Dit wordt bereikt door massa toe te voegen boven het middelpunt, op een plaats waar dit geen belemmering vormt voor de schepen in de kanalen (zie figuur 6). Met de situatie in figuur 6 wordt weer voldaan aan het principe van de bal. Met alleen nog het probleem dat de constructie niet zwaar genoeg is om zo diep te liggen dat de kanalen op de gewenste vier meter onder niveau buitenwater liggen. Hiertoe wordt extra ballast toegevoegd. Evenredig verdeeld onder en boven het middelpunt. En daarmee ontstaat figuur 2.

De verticale slag

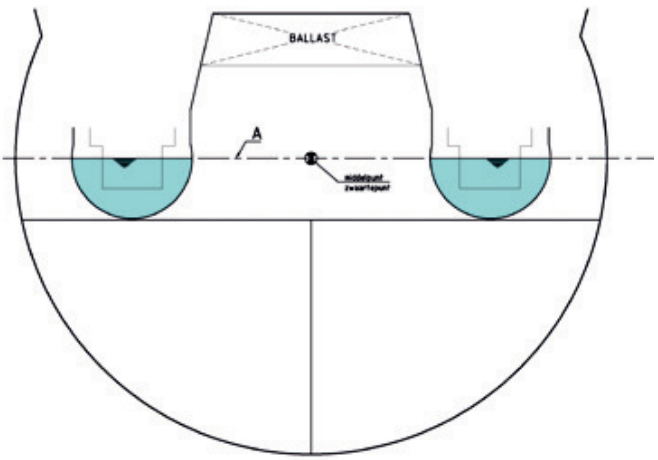
De verticale slag is het aantal meters dat een schip met de Kantelsluis omlaag gebracht kan worden. Deze wordt bepaald door: de draaihoek, de diameter van de constructie, de positie van de



Figuur 4: Onder de brug door varen



Figuur 5: Bepaling zwaartepunt



Figuur 6: Zwaartepunt hoger door ballast

kanalen (hoe verder naar buiten hoe groter de slag). De draaihoek moet beperkt blijven om twee redenen. De belangrijkste betreft het conflict dat ontstaat tussen de hogere delen van de Kantelsluis en de masten van de schepen. Tijdens invaren mogen de masten de buitenwand van de Kantelsluis niet raken. Een tweede reden is de beleving van de gebruiker. Het moet geen kermisattractie worden. Hoe minder beweging, hoe beter.

Uitbouw

In figuur 3 is te zien dat de bovenzijde van de wand niet onder de brug past. Dit wordt opgelost door de wand zo ver mogelijk naar binnen te laten vallen (zie figuur 4). De verstoring die dit heeft op het algehele evenwicht wordt opgevangen door de wanden, van het Kantelsluisgedeelte dat niet onder de brug ligt, naar buiten uit te bouwen. Die uitbouw blijft beperkt omdat de lengte van de sluis buiten de brug relatief groot is ten opzichte van de lengte onder de brug. Schematisch ziet de aanpassing van de

wand er uit als weergegeven in figuur 7 (in de andere figuren is de uitbouw niet weergegeven).

Bouw

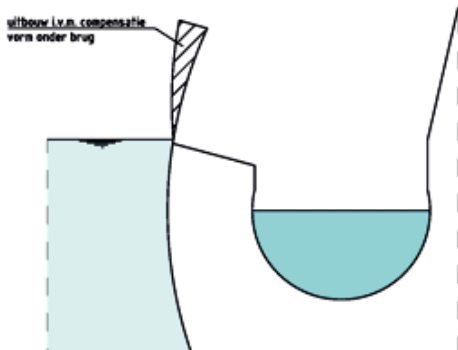
Er is uitgegaan van staal. Daarbij wordt de constructie in één lengte gebouwd. De bijgaande figuren laten de doorsnede in vier segmenten zien. De idee daarachter is dat bij transport van de Kantelsluis vanaf de bouwlocatie naar de gebruikslocatie sluisen gepasseerd kunnen worden. De mate en wijze van segmenteren wordt dan bepaald door de bereikbaarheid van de gebruikslocatie. Bij verdere ontwikkeling zal de materiaalkeuze nader worden onderzocht. Naast staal is wellicht beton of composiet ook mogelijk.

In het uitgewerkte voorbeeld kunnen vijf jachten van veertien meter lengte tegelijk mee. De duur van een ‘schutting’ zal circa 22 minuten bedragen, vanaf invaren tot en met uitvaren. Met de twee kanalen kunnen dan naar schatting

25 jachten per uur de brug passeren. Alle jachten die laag genoeg zijn varen er gewoon langs.

Verankering en aandrijving

De Kantelsluis moet op z'n plaats blijven liggen. En hij moet vrij kunnen draaien en aangedreven worden. Het is vergelijkbaar met een deegroller. Door elk handvat wordt een ruim gat geboord, haaks op het handvat. De deegroller drijft in het water en door de geboorde gaten wordt een cocktailprikkertje in de bodem geprikt. Hiermee is de roller gefixeerd, maar kan wel meebewegen met de waterstand en kan vrij draaien. Tegen de kopse kanten van de Kantelsluis bevindt zich een platte schijf (zie het zwarte element in figuur 8) met een dikte van enkele meters (het handvat van de deegroller). De schijf is verbonden met de Kantelsluis aan het draaipunt in het hart van de Kantelsluis. Door de schijf loopt een samenstel van spudpalen (wit) die in de bodem staan. Boven de waterlijn is het



Figuur 7: Uitbouw wand buiten brug

De Kantelsluis is specifiek voor drie locaties bedacht:

	Zeelandbrug	Haringvlietbrug	Ketelbrug
wegnummer	N256	A29	A6
vaarwater	Oosterschelde	Haringvliet	Ketelmeer
breedte tussen de pijlers	90 m	94 m	75 m
normale doorvaarhoogte	15 m t.o.v. NAP	13 m	13 m
doorvaarhoogte met Kantelsluis	23 m	21 m	21 m
waterdiepte	15 tot 20 m	11 m	5,5 m

Bij alle bruggen is onvoldoende waterdiepte voor de Kantelsluis beschikbaar. Er moet dus een sleuf gebaggerd worden. Aandachtpunten daarbij zijn: Effect op de pijlers; Stabiliteit van de onderwatertaluds; de geohydrologische situatie; de natuur op de bestaande bodem; Snelheid waarmee de sleuf weer aan zal slibben

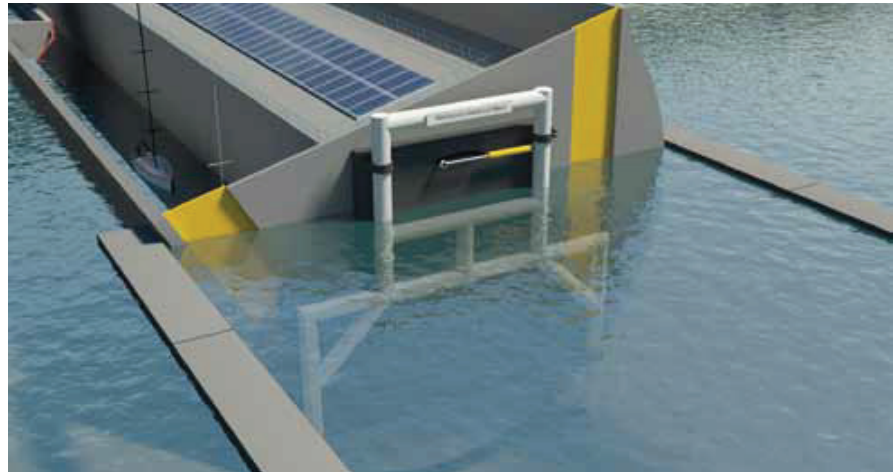
systeem uitgerust met een hydraulische cilinder waarmee de Kantelsluis wordt aangedreven. Schijf en sluis zijn voorzien van een samenstel van eindaanslagen die voorkomen dat de Kantelsluis te ver kantelt bij een falend hydraulisch systeem.

Energie

De Kantelsluis heeft energie nodig om te draaien, voor het bedienen van de deuren, voor verlichting etc. Het meest intrigerend is de energie die het draaien vergt. In drie minuten moet de buis over 32 graden gedraaid zijn. Stel: er is een halve minuut nodig om op gang te komen en een halve voor afremmen dan volgt een hoeksnelheid van circa $\omega = 0,0037 \text{ rad/sec}$.

Axiale massa draagheid van de constructie (190 m lang) bedraagt: $J = 21 \times 10^9 \text{ kgm}^2$.

De kinetische energie van de draaiende Kantelsluis is $U_k = 0,5 \cdot J \cdot \omega^2 = 144.000 \text{ Nm}$. Om hem in 30 seconden op die snelheid te brengen, is een aandrijving nodig van $144.000/30 = 4.800 \text{ Watt}$ ofwel 4,8 kW. De korte looptijd leidt tot een stroomverbruik van 0,04 kWh. Gelijk aan een spaarlamp die een paar uur brandt. Eenmaal op gang is er nauwelijks energie nodig om de snelheid vast te houden. Een



Figuur 7: Verankering en aandrijving

forse rol kan wel gespeeld worden door de wind. Negatief en positief afhankelijk van de draairichting.

De draaiende buis moet ook weer gestopt worden. Tijdens het remmen kan energie worden teruggewonnen. Bovendien is op de Kantelsluis veel ongebruikte ruimte voor zonnepanelen beschikbaar. Genoeg energie voor de sluis en voor levering aan het net.

Kosten

De kosten voor een 190 meter lange Kantelsluis met een doorvaarthoogtever-

groting van acht meter is globaal bepaald op € 60 miljoen.

Voor de locatie Haringvlietbrug heeft een Maatschappelijke Kosten en Baten Analyse uitgewezen dat de sluis zich terugverdient in twaalf jaar en dat er na 25 jaar een batig saldo is van € 100 miljoen. Daarbij is voor de baten alleen naar het wegverkeer gekeken. ■

Carolus Poldervaart, Royal HaskoningDHV

