



Team APEX

RECORDPOGING KRATTENBRUG STUDENTEN TU-DELFT

Een krat kan gezien worden als een groot Legoblokje en lijkt daarmee op het eerste oog ontzettend geschikt om mee te bouwen. Diverse kunstenaars maken er de meest prachtige objecten van – kijk naar het ‘Biertje?’ van Heineken – om zo de aandacht van passanten te trekken. Wij Civieliers? Wij bouwen er bruggen mee!

TEAM APEX

De competitie voor de langste brug begon als een grap voor het lustrum van de studievereniging voor Civiele Techniek in Delft, ‘Het Gezelschap Practische Studie’, maar is door de jaren heen uitgegroeid tot een landelijke strijd met bijbehorende regels

voornamelijk tussen de universiteiten van Delft en Eindhoven. De meest recente bruggen zijn de Delftse Pontifex -in 2015 behaalden zij voor de Aula een overspanning van 22,15 m– en het huidige Brabantse record van 26,29 m.

De reglementen zijn simpel: bouw een krattenbrug die één uur lang op zichzelf kan blijven staan en waarbij het gebruik van tie wraps, ducttape, spanbanden of permanente ondersteuningsconstructies uit den boze is. Vergeleken met de allereerste brug is de vorm steeds meer geoptimaliseerd. Waar de



Drukboog

eerste constructies bestonden uit driescharnierspanen, nu wordt bij de nieuwste bruggen gebruik gemaakt van een zogenaamde drukboog. Aan beide kanten van de boog worden grote, zware torens van gevulde kratten geplaatst waarmee de spatkrachten opgenomen worden. Doordat de torens naar elkaar toe gedrukt worden door middel van vijzels zal de boog loskomen van zijn ondersteuningsconstructie en zo de daadwerkelijke overspanning vormen.

DRUKBOOG

Bij het ontwerp wordt teruggegrepen op de basis van de constructiemechanica, de grafostatica, waarmee de ideale druklijn wordt bepaald waarop de doorsnedes worden aangepast. In een iteratieproces wordt geconvergeerd naar de ideale drukboog. Dit alles is verwerkt in een Pythonscript waarmee wij dit proces konden automatiseren. Deze methode stelt ons echter niet in staat om vervormingen mee te nemen. Daarvoor hebben wij gebruik gemaakt van het eindige elementprogramma Diana. Door elke doorsnede te modelleren als een blok en daartussen een niet-lineaire interface aan te brengen, kan worden gerekend met overgangen die geen trekspanning kunnen opnemen. Een complexe modellering die numeriek lastig stabiel bleek, maar ons uiteindelijk wel geholpen heeft in het verdere ontwerpproces en verificatie van de Pythonmodellen.

Voor het gebruik van dit soort complexere modellen is meer kennis nodig van het constructieve gedrag van de krat. De stijfheid bij de overbrenging via de nokken is het laagst. Daarom is besloten om in het Stevinlab in Delft een serie afschuifproeven te doen. De nieuwe kratten die hiervoor zijn

gebruikt, bleken visco-elastisch gedrag te vertonen. Dit betekent dat de verwachte vervorming, en dus zakking van de boog, tijdsafhankelijk is. Omdat wij alleen geïnteresseerd zijn in de zakking na één uur, de duur van de recordpoging, is er een secante modulus toegepast op de stijfheid na een uur, met daarover nog een kleine veiligheidsfactor.

De grootste uitdaging in het ontwerp, waar wij niet uitkwamen, is het bepalen van de meewerkende doorsnede. Het uiteindelijke traagheidsmoment van de doorsnede is een groot vraagteken. Afhankelijk van het toegepaste traagheidsmoment is de boog volledig stabiel of volledig instabiel. De waarheid zal ergens in het midden liggen.

Tijdens de bouw hebben we ontdekt dat niet iedere krat hetzelfde is. In het verleden heeft Heineken een groot aantal verschillende generaties kratten gebruikt, die niet allemaal dezelfde afmetingen hebben. De nieuwste generatie kratten is 229 millimeter hoog en de oudere generatie 225 millimeter. Uiteindelijk hebben we ervoor gekozen om

alle kratten te sorteren en in dezelfde doorsnede – één rij van kratten in de boog – alleen maar dezelfde generatie kratten te gebruiken.

Bij vorige krattenbruggen is de boog altijd van links naar rechts geconstrueerd, waardoor er dus eerst omhoog gebouwd wordt en later naar beneden. Vanwege de planning is dit erg lastig om uit te voeren. Daarnaast kan je maar met een beperkt team aan dezelfde doorsnede bouwen. De oplossing? Vanaf beide kanten bouwen! Dat betekent wel dat de kratten in het midden met de nokken tegen elkaar aan komen. We besloten daarom om van een tiental kratten de onderkanten af te frezen, waardoor de kratten perfect in elkaar passen en we besloten om het hele middenstuk, bestaande uit ongeveer 42 kratten, in één keer in zijn positie te hijsen.

ZONNEWARMTE

Misschien wel de grootste uitdaging van een krattenbrug is er voor te zorgen dat ruim 7000 kratten in één rechte lijn gebouwd kunnen worden. Een initiële scheefstand van enkele millimeters in het begin van de boog kan al snel oplopen tot tientallen millimeters in de top. Met een (laser)waterpas werd gecontroleerd of de individuele doorsnedes 'recht' gebouwd zijn.

Een andere factor die invloed heeft op het recht bouwen, is het weer. De zon kan de brug eenzijdig opwarmen waardoor de kratten die hieraan bloot zijn gesteld, uitzetten en zo een bolling in de boog veroorzaken. Deze vervorming is na afkoeling niet uit zichzelf weer ongedaan gemaakt. Daarnaast stond de wind regelmatig zeer krachtig loodrecht op de brug waardoor deze een versterkende factor was op de uitwijking door de zon. Opvallend is de geringe hittebestendigheid van de kratten waardoor deze vervormd raakten door het gebruik van de spanbanden.



Affrezen van de onderkant

De reglementen zijn simpel: bouw een krattenbrug die één uur lang op zichzelf kan blijven staan.

VERVORMING DOOR TEMPERATUURVERHOOGING

Maar dan toch naar de recordpoging. De avond van 17 september 2020 zou de brug 60 minuten lang op zichzelf moeten staan, zodat het record geldig zou zijn. Velen denken dat het omlaag draaien van de steigers zo gedaan is, maar wij begonnen er zes uur vóór de poging al mee. Het was vrij stressvol: iedere kleine zakking in de steiger had een direct gevolg op het krachtenspel in de brug en daarmee op het wel of niet slagen van de poging. De zakking ging vrij rustig en verliep vrij constant. De uiteindelijke vervormingen in het vlak verliepen perfect. Deze waren minder dan oorspronkelijk berekend en ook zakte de boog heel mooi symmetrisch weg. Echter die middag begonnen onderin, bij de geboorte van de boog, een aantal kratten sterk te vervormen. Dat zorgde ervoor dat de gehele boog een klein stukje naar één kant ging overhellen. We schatten toen in dat dit niet zo'n groot probleem zou zijn, omdat wij dachten dat de kratten over genoeg herverdelingscapaciteit zouden beschikken. Maar later bleek dat dit hetgeen was wat de brug de das om gedaan heeft!

En dan om 18h56, de parkeerplaats staat vol met vrienden en familie, de brug staat bijna los en de tijd kan ingaan, gebeurt het onverwachte: een luid gekraak, gevolgd door het uitknikken van de boog die vervolgens met grof geweld naar beneden komt zetten.

TWEDE POGING

En was dit het dan? Nou, nee. We zouden de APEX niet zijn als we bij de minste of geringste tegenslag bij de pakken neer zouden gaan zitten. Na een lange discussie de volgende dag werd er besloten een tweede poging te doen en op 25 september waren we hier klaar voor.

Om te zorgen dat de brug dit keer wel blijft staan, zijn er drie aanpassingen gedaan.

- 1 Het breder maken van de oplegging van de boog. De krat zelf bleek zeer anisotroop. Het breder maken van de voet van de boog (van één doorsnede in het eerste ontwerp naar vijf) zou tot een betere introductie van de krachten moeten leiden. Dit zorgde ervoor dat 33 kN aan dwars- en normaalkracht nu niet over een rij van drie kratten werd verdeeld maar over iets meer dan twintig.



Vervorming door temperatuursverhoging



Ingestorte brug

- 2 De eerste doorsnede van de boog met de toren werd ingeklemd waardoor de krachten herverdeeld zouden worden over de andere kratten in de oplegging. Steunberen voorkomen het omkantelen van de torens als de boog uitknikt.
- 3 Bij het vijzelen van de brug worden de twee torens naar elkaar toegeschoven om de speling uit de kratten te halen en ook voorspanning in de boog aan te brengen. Verder was onze verwachting dat door het zakken van de steigers de drukkracht vanzelf in de boog zou komen. Maar bij de eerste poging kwam de bovenkant van de eerste doorsnede los van de toren bij het zakken van de steigers, wat duidt dat er redelijk wat speling aanwezig was. Om dit te voorkomen hebben we beide torens 60 mm naar het midden geschoven; meer verplaatsing was helaas niet mogelijk omdat anders de boog tegen de steiger aan zou drukken.

Dan terug naar 25 september, de dag van de tweede recordpoging. Het weer was echt heel erg slecht om een recordpoging te doen. Het waaide erg hard en we wachtten op het precieze moment dat de wind zou gaan draaien en daarbij even zou gaan liggen. Dit gebeurde om 19h00, we zaten midden in het oog van storm Odette. Met slechts een paar uur om de poging te doen, werd de steiger

wederom helemaal gelijkmatig naar beneden bewogen. Waar bij het loskomen van het laatste plateau de vorige keer de gehele brug omviel, bleef deze dit keer helemaal staan. De brug stond op zichzelf!

HIJ STAAT! (VOOR EVEN!)

De tijd werd gestart. Ondertussen probeerden we de steiger onder de brug vandaan te rollen, iets dat op papier beter werkt dan in de praktijk met wieltjes die al vier weken stilstaan onder een steiger en kapot zijn geknikt. Na een kwartier besloten we op afstand te gaan kijken naar de langste krattenbrug ter wereld die helemaal op zichzelf stond. Het was echt een prachtig gezicht. Na twintig minuten gebeurde er iets onverwachts: de top van de brug begon te roteren om zijn eigen as, een voorteken voor kipinstabiliteit. Dit werd erger en erger en na precies 27 minuten en 18 seconden gebeurde het weer, weer was kip uit het vlak het probleem. De brug viel weer om.

De logische vraag is dan: hebben jullie spijt van de poging? Nee, dat zeker niet. Op momenten dat het écht niet meer kan, moet je het altijd nog een keer proberen. En verder: misschien is het moment dat de brug helemaal op zichzelf stond, eigenlijk wel echt het allermooiste moment van ons avontuur!



Hij staat! (voor even!)