



# BOUW JE EEN BRUG IN PANAMA, VERGEET DAN DE PLANNING MAAR!



**EDWIN THIE – SENIOR BRIDGE  
ENGINEER, ARUP AMSTERDAM**

HET LIJKT EEN EENVOUDIG KLUSJE, EEN HANGBRUG BOUWEN OVER EEN STROOMPJE DAT EEN DORPJE VAN DERTIG INWONERS SCHEIDT VAN DE BUITENWERELD. MAAR IN PANAMA GAAT ALLES ANDERS EN KUN JE VANAF DAG ÉÉN JE PLANNING WEL VERGETEN, ZO ONDERVOND EDWIN THIE VAN INGENIEURSBUREAU ARUP.



↑ Water in ankerbloksparing



**B**ij aankomst was het direct duidelijk. De fundering was nog lang niet klaar. Ja, het gat was al wel gegraven. Maar de wapening en het beton zaten er nog niet in. En door een tropische regenbui was het volgelopen met water. We hadden voor de bouw van de brug een planning gemaakt. Maar voor ons ingenieursteam was direct duidelijk dat die de prullenbak in kon.

De aankomst in Ciricito, een gehucht midden in het oerwoud zo'n twee-en-een-half uur rijden van Panama Stad, betekende voor ons de zoveelste tegenvaller. Zo'n tien dagen eerder, drie dagen voor vertrek, kreeg ik per telefoon te horen dat het project een week moest worden uitgesteld. De funderingen waren nog niet klaar, zo meldde de lokale projectmanager van 'Bridges to Prosperity' (B2P), de bij het project betrokken hulporganisatie. Het team van negen ingenieurs moest daarop agenda's aanpassen en tickets omboeken. De reis naar Panama die volgde verliep ook niet bepaald volgens plan. Ik vertrok op 4 september 2014 vanuit Amsterdam en vloog eerst naar Londen om daar na een overnachting aan te haken bij Arup-collega's uit Londen en Kopenhagen. Samen vlogen we in de ochtend naar Atlanta, de hoofdstad van de in het zuidoosten van de Verenigde Staten gelegen staat Georgia. Van daar zouden we doervliegen naar Panama Stad, de hoofdstad van het Midden-Amerikaanse land Panama. Door de krappe overstaptijd miste ik met nog twee collega's de vlucht omdat we bij de veiligheidschecks en de



↑ wapening in voldoende droog ankerbloksparing



↑ schaalmodel hangbrug als bouwpakket



↑ stalen pyloon

douane in de trage rij stonden. Gelukkig konden we via San Salvador vrij snel doorvliegen. Maar we kwamen wel pas om drie uur 's nachts lokale tijd aan in het hostel in Panama Stad. Ik had er toen een reis van zeker 24 uur opzitten. Om zes uur 's ochtends, amper drie uur later, moesten we al weer op om in een terreinwagen naar Ciricito te rijden.

'Jij wilt zeker dat wij je vakantie in Panama betalen', zeiden collega's pesterig tegen mij toen ik ze vroeg om het brugbouwplan in Panama te sponsoren. Zij dachten dat we als ontwerpers vanuit een comfortabele stoel de lokale bouwvakkers van aanwijzingen zouden voorzien. Zo ging het dus niet. Het hele team heeft samen met de lokale bewoners hard moeten werken om het project voor de deadline op te kunnen leveren. Het leegscheppen van het gat voor de laatste fundering, bestemd voor de verankering van de kabels van de hangbrug, was onze eerste klus. Het kleine pompje dat hiervoor beschikbaar was, had onvoldoende capaciteit om dat snel te doen. Daarom stonden wij, terwijl het zweet langs onze ruggen naar beneden liep, een minuut na aankomst in het gat om met emmers en bakjes het water er uit te halen. De wapening die er naast lag, hebben we vervolgens met een man of vijftien in het gat getild.

'Waarvoor was die hangbrug met een overspanning van 47 meter eigenlijk nodig?', vroegen wij ons af. Want er liep niet meer dan een flinke enkeldiepe sloot door de bedding. Pas na de eerste tropische regenbui werd ons dat duidelijk. Na een uur stond het water op borsthoogte en was oversteken onmogelijk. Eén van onze teamleden die een poging waagde, stond al gauw tot zijn oksels in het water. Daarmee was voor ons wel duidelijk dat de dertig inwoners van Ciricito echt een brug nodig hadden. Te meer omdat die eerste bui niet eens heel extreem was.

Het steile bospad tussen de verharde weg en de bouwlocatie onderging als gevolg van de tropische regenbui een ingrijpende transformatie. Het pad veranderde in een modderstroom waar zelfs een terreinwagen met vierwielaandrijving niet doorheen kwam. Wilden we aan het einde van de dag vermoeid en onder de modder terug kunnen keren naar onze eenvoudige slaapplekken in een verder op gelegen school, dan moesten we het weer dus goed in de gaten houden. We zouden anders een heel stuk moeten lopen, wat helaas ook regelmatig gebeurde.

### **BASALE INFRASTRUCTUUR**

Waarom vertrekken negen drukke Arup-ingenieurs naar een gehucht in Panama om een brug te bouwen? Het antwoord is Bridges to Prosperity (B2P). Arup is met enkele andere internationale ingenieursbureaus partner van de organisatie die ingenieurs over de hele wereld inzet om voetgangersbruggen te bouwen. Met het realiseren van deze basale infrastructuur wil B2P bijdragen aan een beter leven voor mensen in afgelegen en geïsoleerde gebieden. Zo stelt de brug in Ciricito de kinderen van het dorp in staat om iedere dag veilig en ongehinderd naar school te lopen. En kunnen hun ouders dagelijks naar de markt gaan om



← A-frame

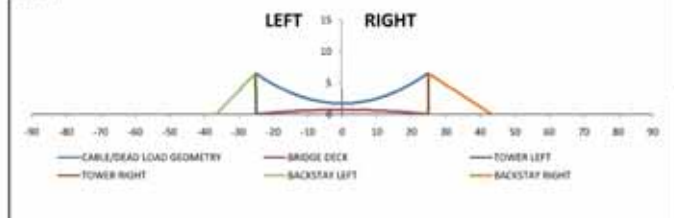
Information highlighted yellow should be checked and/or edited accordingly. Other data and formulae should not be changed, and as such, have been locked. (Example of a Yellow Highlighted Input)

## A1. GEOMETRY INPUTS

Select span (L)  (Select your span from between 30 m and 200 m, use whole numbers only)

### Indicative Diagram of Bridge Geometry:

The diagram below updates in real-time as the variables on this "Inputs" worksheet are updated. (Note: The scale of the y-axis is double that of the x-axis, for clarity. This means the bridge elevation is twice as tall as it would be in reality.)



(Note: The diagram above has been created using variables calculated within this spreadsheet. The diagram is generated here to aid with the clarity of understanding the geometry design based on the inputs selected.)

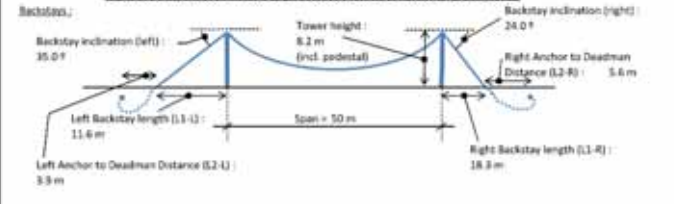
Generic:		
Deck width (a <sub>d</sub> )	1.06 m	(recommended transitable walkway width)
Override	<input type="text" value=""/>	(override)
Camber ratio (C <sub>c</sub> )	0.015	(recommended = 0.02)
Override	<input type="text" value=""/>	(override)
Cable sag ratio (f <sub>d</sub> )	0.096	(recommended = 0.1)
Override	<input type="text" value=""/>	(override)
Fence height (H <sub>f</sub> )	1.00 m	(minimum deck to cable height at midspan for handrail)
Override	<input type="text" value=""/>	(override)
Recumbent tower embedment (E <sub>t</sub> )	0.70 m	(varies from 0.7 m to 0.75 m)
Override	<input type="text" value=""/>	(to override the recommended tower embedment)

For information: Tower Steel Length (L<sub>t</sub>) = (- C<sub>c</sub> + H<sub>f</sub> + fz + f<sub>d</sub>), where f<sub>d</sub> is the cable sag: 7.25 m  
 For information: Tower Height (H<sub>t</sub>) = (- C<sub>c</sub> + H<sub>f</sub> + f<sub>d</sub>): 6.55 m

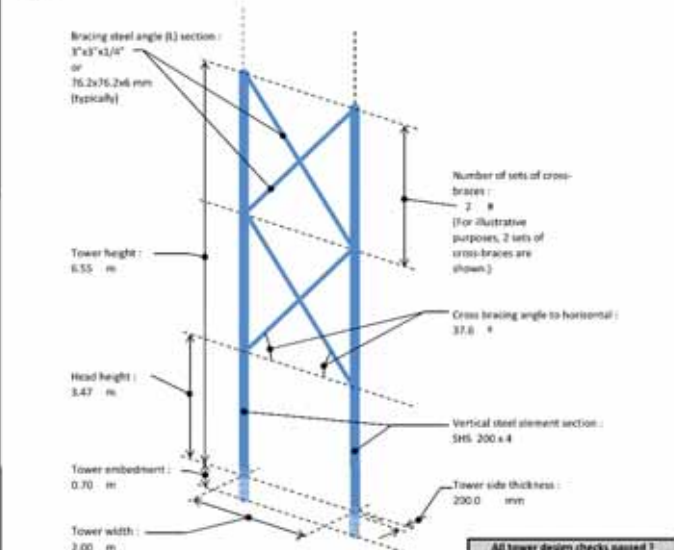
Backstays:		
Default backstay inclination =	25 °	(Rounded to nearest 5°, based on the frostyay inclination)
Left Backstay override (a <sub>b</sub> )	<input type="text" value="35"/>	(Note: The backstay angles should be kept between 20° and 45°, to the horizontal, or this may adversely impact the size of the deadman foundation and/or the required tower steel section size)
Right Backstay override (a <sub>b</sub> )	<input type="text" value="34"/>	

Cable geometry:		
Spans cable length (end-to-end)	5 m	(This is to ensure that sufficient cable length is cut and brought to site to account for contingency in constructability and anchor connections; recommended: 5.0m total or 2.5m at each end)
Override	<input type="text" value="6.00"/>	
Spans length at top of suspenders	0.5 m	(These are the additional spare lengths required to construct the joints at the top and bottom of the suspenders; recommended: 0.5m at each end)
Override	<input type="text" value=""/>	
Spans length at bottom of suspenders	0.5 m	
Override	<input type="text" value=""/>	

## C1. TOWERS



### Diagram of Tower with Geometric Properties



daar boodschappen te doen en hun zelf verbouwde fruit en groenten te verkopen.

De bij B2P betrokken ingenieursbureaus betalen ca. US\$ 50.000 per brug om zich aan de organisatie te verbinden, voldoende geld om de kosten te dekken voor de bouw van één hangbrug. Daarnaast stellen de ingenieursbureaus mensen en kennis ter beschikking en betalen geheel of gedeeltelijk de reis- en onkosten van hun medewerkers als zij op een B2P-missie gaan. De ingenieurs zelf dragen ook bij. Voor de twee weken die ik weg was, heb ik vakantiedagen opgenomen. En voor mijn reis- en onkosten, Arup vergoedde wel een groot deel maar niet alles, heb ik een inzamelingsactie gehouden onder mijn collega's. Hiervoor heb ik in hout een schaalmodel van de hangbrug gemaakt, dat er opgevouwen uitziet als een mooi houten doosje. De bouw pakketjes, die ik voor 30 euro per stuk verkocht, heb ik met een CAD-file en een laser gesneden uit een dunne triplexplaat. Met dank aan mijn collega's kon ik zo 600 euro ophalen.

## OUDE KABELS EN 'BRIDGE DESIGN TOOL'

De meeste bruggen van B2P zijn hangbruggen over diep gelegen rivieren of tussen twee hoge rotsen. Hierbij worden kabels gespannen tussen de zijden van de kloof of de oevers van de rivier. Het brugdek wordt vervolgens direct op de draagkabels geplaatst. Om de kosten zo laag mogelijk te houden worden voor de bruggen oude kraankabels gebruikt. Havenbedrijven moeten die in verband met veiligheidsvoorschriften regelmatig vervangen. Zo waren de kabels in Panama gedoneerd door een havenbedrijf dat aan het Panamakanaal is gelegen. De tweedehands kabels worden conform de standaard procedure door B2P gekeurd en beoordeeld of ze geschikt zijn voor hergebruik.

Het eenvoudige brugconcept van B2P, kabels spannen en daarop het brugdek monteren, werkte niet in Ciricito. Het terrein was hiervoor te vlak. Er moesten om die reden twee pylonen worden gemaakt, één voor elke zijde van de oever. De stalen pylonen zijn door een lokaal bedrijf geproduceerd waarbij in het ontwerp rekening was gehouden met de profielen zoals die lokaal in Panama gangbaar zijn. Aan de gebruikte kraankabels, die door de pylonen omhoog worden gehouden, zijn vervolgens hangers met een dwarsbalk vastgemaakt waarop een houten brugdek is aangebracht.

Het hout voor het brugdek was afkomstig van de bomen uit het bos. De kabels die het looppad dragen, aan iedere kant twee, zijn met een lus en klemmen bevestigd aan een betonnen verankeringsblok; aan elke zijde één. Hiervoor zijn massieve betonblokken in de grond aangebracht met daarop boven maaiveld een bevestigingsblok.

De kennisbijdrage van Arup aan B2P bestaat uit een op Excel gebaseerd programma waarmee snel uitgerekend

kan worden hoeveel materiaal er nodig is voor de bouw van een hangbrug. B2P had hier behoefte aan. De Arup-vrijwilligers zijn daarom al in 2011 met de ontwikkeling van een 'Bridge Design Tool' begonnen. Hierbij hebben de ingenieurs bewust gekozen voor Excel als basis omdat het een veel gebruikt programma is dat op vrijwel iedere computer staat of makkelijk is te installeren. Momenteel wordt gewerkt aan een gebruiksaanwijzing voor het door de Arup-vrijwilligers ontwikkelde programma zodat de 'Bridge Design Tool' ook bij andere projecten kan worden gebruikt. In de 'Bridge Design Tool' wordt ingevoerd hoe lang de brug wordt, wat de positie van de kabelverankeringen is en hoe breed het brugdek moet zijn. Het programma rekent vervolgens de hoogte van de pylonen uit, welke profielen nodig zijn en wat de lengte en dikte van de kabels moet zijn. Ook geeft het programma aan hoe lang de hangers dienen te zijn en het aantal planken dat nodig is om het brugdek te maken. De lokale projectmanagers van B2P kunnen zo met behulp van het programma zelf een boodschappenlijstje maken voor iedere denkbare brug. De Bridge Design Tool hanteert conform de voorschriften van B2P een veiligheidsfactor van drie, wat inhoudt dat de minimum hoeveelheid materiaal die nodig is om de constructie te realiseren met drie wordt vermenigvuldigd. De gebruiker van de brug is er dan zeker van dat hij veilig de overkant haalt.

#### **HANDMATIG TIL- EN SJOUWERK**

De brug in Ciricito leverde heel wat handmatig til- en sjouwwerk op. De enige gemechaniseerde krachtbron die we daar hadden was een handlier, een aggregaat voor de betonmixer, een boor en een cirkelzaag. De onderdelen van de brug, van de wapening voor het beton tot aan de torens en kabels, moesten hierdoor met mankracht op hun plek worden gezet. Voor die klus hadden we de hulp van alle dorpsbewoners nodig. En dat was niet eens het enige sjouwwerk. Het bestelde bouw materiaal werd door het weer regelmatig niet door de leverancier op de bouwplaats bezorgd. Zo werd het zand, grind en cement voor de funderingen aan het einde van de verharde weg afgeleverd, omdat de chauffeur met zijn kleine vrachtwagen het modderpad niet op kon. Wij moesten hierdoor zelf deze materialen in de laadbak van de Nissan scheppen en over het glibberige pad naar beneden brengen. En aangezien het volume van de laadbak relatief beperkt was, moesten we vele tientallen ritjes maken. De Nissan kreeg het hierbij zwaar te verduren. De kabels op de bouwplaats krijgen was een nog iets grotere uitdaging. Die lagen niet alleen op een andere locatie, ongeveer een uur rijden van Ciricito. De kabels zaten ook nog op een rol die veel te zwaar was voor onze terreinwagen. Daarom moesten we de kabel eerst afrollen zodat we vier maal 95 meter af konden passen en zagen. Ieder kabel woog 300 kilo en moesten we zelf in de laadbak van de Nissan tillen. Niet eenvoudig, maar vele handen maakten licht werk.

#### **INNOVATIE MET EEN A-FRAME**

De bruggenbouwers van Arup hadden in 2013 bij de bouw van een B2P-brug in Rwanda ook al ondervonden dat vrijwel alles met menskracht moest worden gedaan. Voor Ciricito bedachten zij daarom een innovatie die B2P bij alle toekomstige bruggenbouwprojecten toe gaat passen.

Voor het rechtop zetten van de pylonen, dat net als alle werkzaamheden met menskracht moest gebeuren, bedachten we een A-frame. Het frame is nodig om een hefboom te maken voor het van de grond krijgen van de pylonen. B2P gebruikte voor deze toch wel spannende hijsoperatie, de pylonen kunnen tijdens het rechtop zetten omvallen, altijd een steiger. Die steiger kreeg het dan zwaar te verduren door de zijwaartse druk die er tijdens het hijsen van de pylonen op werd uitgevoerd.

Het A-frame, waarbij de hijskabels door de punt van het frame worden getrokken dat met de breed uitlopende poten op de grond wordt gezet, is hier veel beter op berekend. In Ciricito hadden we na een dag voorbereidingen in veertig minuten de pylonen overeind staan, die tijdens de hijsprocedure natuurlijk met veiligheidslijnen waren gezekerd.

#### **AMBASSADEUR**

Op de voorlaatste dag kwam de Britse ambassadeur een kijkje nemen bij het project. Eerder was het hele Arup-team bij de ambassade op bezoek geweest voor een korte ontmoeting met de minister van Infrastructuur van Panama. We kwamen direct van het project en zelf met onze beste kleding waren helaas niet helemaal gekleed voor de gelegenheid. De airconditioned met dure meubels ingerichte Britse ambassade en het eenvoudige leven van de inwoners van Ciricito contrasteerden bovendien wel erg met elkaar. Het bezoek gaf wel aan dat hij dit werk erg kon waarderen. De ambassadeur verliet het bouwterrein na een kort bezoek weer om het modderpad op te rijden voor een zich aankondigende tropische regenbui dat onmogelijk zou maken.

Veel tijd was er helaas niet om de ambassadeur in een terreinwagen het pad op te zien glibberen. Het brugdek moest worden gemaakt. En dat verliep standaard niet volgens plan. De man die de planken had gemaakt had ze keurig alle negentig op dezelfde lengte gezaagd. Alleen waren ze zes centimeter te lang waardoor de planken niet aansloten op de afstand tussen de hangers. We moesten dus alle planken met de cirkelzaag op maat zagen. Dat leverde een lange werkdag op die tot diep in de avond doorging. En zonder elektriciteit werkte je dan door bij het licht van een aantal zaklampen.

Op de laatste dag moesten we in de ochtend nog het veiligheidsgaas aanbrengen dat voorkomt dat mensen van de brug vallen en nog wat details. Maar rond het middaguur was dan toch alles klaar. En dat was maar goed ook. Want op dat moment kwam tot onze verbazing een terreinwagen aanrijden met witte plastic stoelen. Die hadden wij in twee weken tijd nog nergens

## Kunstwerken met de menselijke maat

Jaarlijks inspecteren wij circa 10.000 kunstwerken voor gemeenten, provincies, waterschappen, ProRail, Rijkswaterstaat, aannemers en ingenieursbureaus. Dat is echter niet wat ons bijzonder maakt. Onze kracht schuilt in het ontzorgen van onze opdrachtgevers. En dat is mensenwerk. Net als goed luisteren, dezelfde taal spreken en kritisch zijn als dat nodig is. Zo helpen we onze klanten om de vraag scherp te krijgen en zoeken we naar de beste oplossing. Van inspectie en advies tot het realiseren van bestekken en contracten. Op de meest persoonlijke manier.

[www.westenberg.net](http://www.westenberg.net)



**WESTENBERG**

## De kunst van het verdiepen

gezien. De stoelen werden onder een tentdoek geplaatst. De lokale hoogwaardigheidsbekleders, onder meer het stamhoofd en zijn vrouw, zaten zo tijdens de openingsceremonie in de schaduw en in geval van een onverwachte regenbui bleven zij droog. Na de speeches van het dorpshef en zijn vrouw, die van de bouw van de brug een lokaal politiek thema maakten, was er nog net tijd om samen met de bevolking de brug in gebruik te nemen en afscheid van ze te nemen. Daarna moesten we snel terug naar

Panama Stad. Want de volgende dag zouden we al weer vroeg terugvliegen. En we wilden de Nissan nog schoonmaken omdat we anders vreesden dat we onze borg kwijt zouden zijn. De terreinwagen zat namelijk niet alleen onder de modder. De cabine rook ook vreselijk naar het zweet dat wij er de afgelopen twee weken in hadden achtergelaten. Bij een wasstraat werd de auto van binnen en van buiten gereinigd. Op het vliegveld liep er iemand omheen. Geen kras of deuk te vinden om een punt van te maken. We konden gaan.

### OVE ARUP'S KINGSGATE BRIDGE

Ove Arup (1895-1988), de Britse oprichter en naamgever van het ingenieursbureau Arup dat vanuit het hoofdkantoor in Londen met 11.000 mensen actief is in 42 landen, beschouwde de Kingsgate Bridge als zijn mooiste werk. De in de Engelse stad Durham gebouwde brug is 106,7 meter lang en 17 meter hoog. Arup was in 1963 nauw betrokken bij de bouw en oplevering van de brug, inclusief de ongebruikelijke bouwwijze. De brug werd vanaf beide oevers in beton geconstrueerd waarna de feitelijk in tweeën geknipte brugdelen naar elkaar toe werden gedraaid om boven de rivier in het midden samen te komen. Door deze werkwijze was de bouw van een steiger niet nodig. De brug, geroemd om

zijn elegantie, is een goed voorbeeld van Arup's visie op 'total design'; een vanzelfsprekende versmelting van architectuur en engineering. In opdracht van Rijkswaterstaat is Arup Amsterdam nauw betrokken bij de renovatie van acht stalen bruggen die onderdeel uitmaken van de Nederlandse hoofdinfrastructuur. Arup Amsterdam werkte verder onder meer mee aan het ontwerp en de bouw van de Nesciobrug over het Amsterdam-Rijnkanaal in Amsterdam, de eerste Nederlandse hangbrug. Meer informatie over Arup is te vinden via [www.arup.com](http://www.arup.com).

### BRIDGES TO PROSPERITY

In de Amerikaanse stad Denver (Colorado) is in 2001 Bridges to Prosperity (B2P) opgericht. De

organisatie is het geesteskind van Ken Frantz, destijds eigenaar van een bouwbedrijf. Hij raakte geïnspireerd door een foto in het blad National Geographic waarop mannen elkaar met touwen over het gat in een kapotte brug trokken bij de Nijl in Ethiopië. Frantz mobiliseerde zijn familie, vrienden en Rotary Club en realiseerde het eerste bruggenproject van B2P. Inmiddels heeft de organisatie meer dan 140 bruggen gebouwd. Bij alle projecten wordt intensief samengewerkt met de lokale bevolking en gebruik gemaakt van ter plaatse beschikbare materialen. Daarnaast wordt bruggenbouwkennis overgedragen die makkelijk kan worden herhaald of gekopieerd. Meer informatie over B2P is te vinden via [www.bridgestoprosperity.org](http://www.bridgestoprosperity.org).