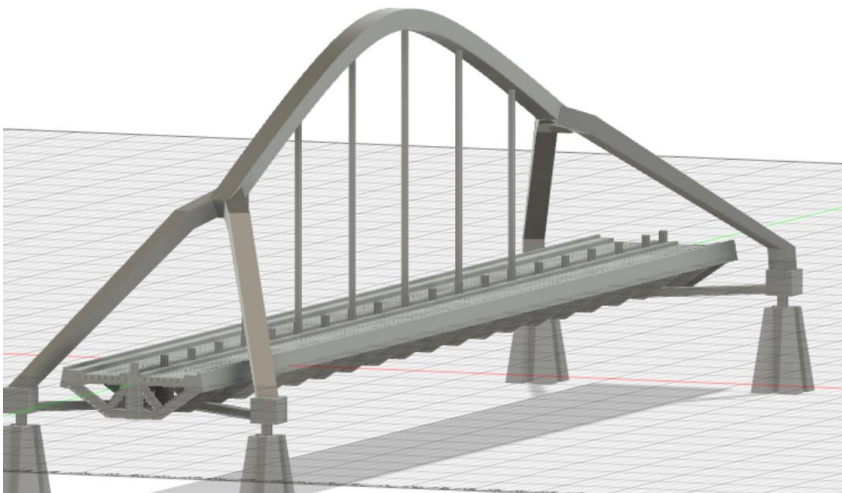


Absolutely Structurally Sound

Kommenterad [AK1]: Bra namn



Figur 1, Bro i tre kvarts vy

Av: Arvid Kågedal och Andreas Charisoudis Stensudd

Inledning

Vi är två ingenjörer från Always Structurally Sound (A.S.S) som fått i uppgift att designa en 100m lång bro som ska klara 100 ton belastning d.v.s. 1 ton per meter. Den ska ligga i norra Norge och har två filer med gångbanor på sidorna. Vi valde att göra en bågbro med kablar som håller uppe vägbanan.

Bakgrund

Vi tittade på flera olika typer av broar för att få inspiration och valde i slutändan att designa en bågbro.

Bågbro

Vi har valt att bygga en bågbro med vajrar som håller uppe vägbanan. Vi har tagit inspiration från Svinderviksbron i Nacka Kommun, Bugrinsky Bridge i Ryssland och Barqueta Bridge i Spanien. Bågbroar kan ha en stor spännvidd utan att behöva ha betongpelare i mitten. Eftersom kraften bron utsätts för sprids ut jämt behöver inte stålbalken vara så stor för att hålla uppe vikten. Kraften bron utsätts för flyttas till från vägbanan upp till bågen och sedan ner i berggrunden. En nackdel med Bågbroar är att de är känsliga för att falla ihop om de blir påkörda, som till exempel Tjörnbron. Men eftersom vår bro är på en plats där det finns låg båttrafik utöver fritidsbåtar är det inte ett stort problem. (Broar.net, Okänt datum)



Figur 2 – Bågbro
Okänd fotograf
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223260/FULLTEXT01.pdf>
sid.6

Snedkabelbro

Vi funderade även på att göra en snedkabelbro men valde att inte göra den på grund av hur dyr och komplicerad en sådan bro skulle vara att bygga. En snedkabelbro är en bro som bärs upp av kablar anslutna till pyloner som i sin tur har kablar fästa i huvudbärbalkar, som är balkar fästa i marken. Pylonerna och huvudbärbalkarna är oftast gjorda av betong och kablarna är gjorda av stål. (Broar.net, Okänt datum)

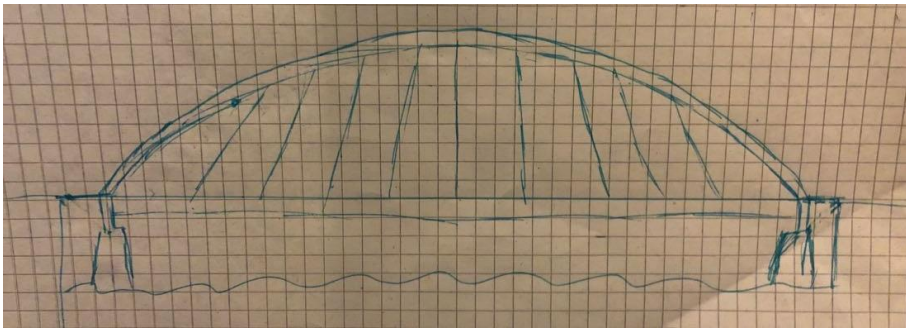


Figur 3 – Snedkabelbro
Taget av: Marcus Bengtsson
https://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:%C3%96resund_bridg.jpg

Kommenterad [AK2]: Bra texter om de olika broarna med bra fakta

Tillvägagångssätt

Vi började med att brainstorma olika typer av broar och sökte upp fördelar och nackdelar med dem, vi kom fram till att göra en bågbro eftersom den verkade intressant och såg bra ut. Vi sökte därefter upp olika typer av bågbroar med en eller två bågar, bågen över och under vägbanan men kom fram till att bygga en med en båge över vägbanan och vajrar som håller uppe den. Vi valde den eftersom den såg relativt simpel ut att designa och för att den är stark utan att vara överdrivet tung eller dyr. Sedan började vi göra 3d modellen.



Figur 4, Skiss av bro

Resultat

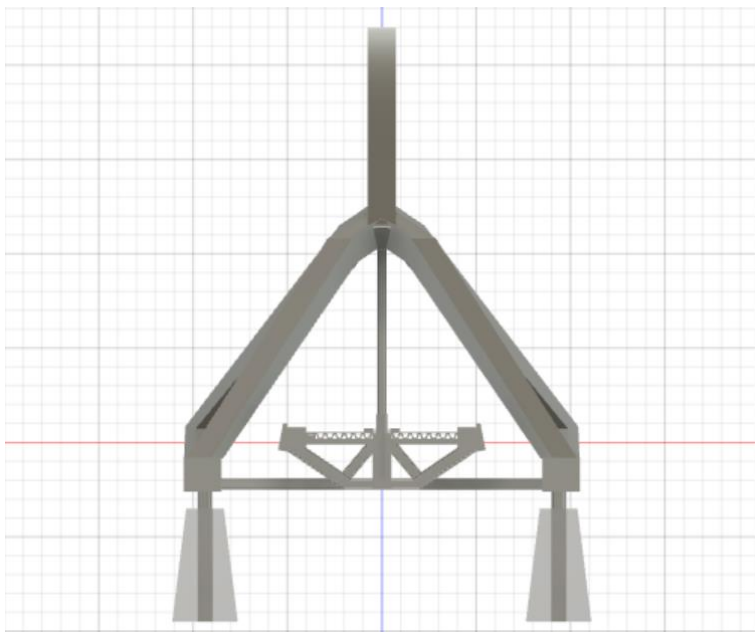
Här presenterar vi hur vår bro blev och våra hållfasthetsberäkningar som tog oss dit. Vi motiverar också våra val av material.

Hållfasthetsberäkningar

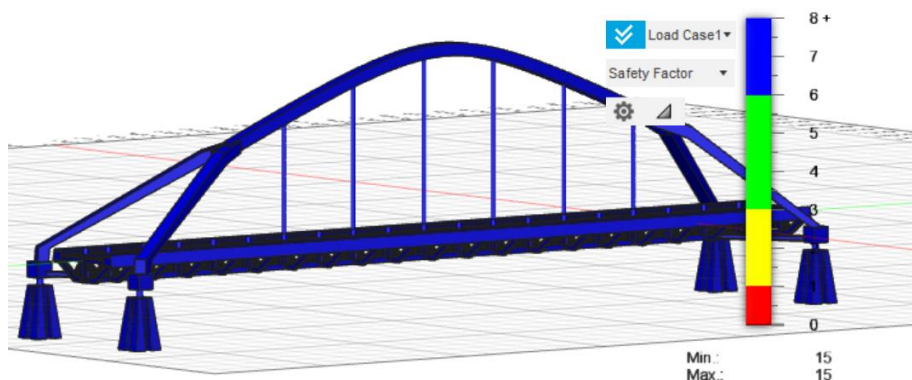
Beräkning av den maximala dragbelastning en av våra I balkar kan utsättas för med en säkerhetsfaktor av tre. Balkens tvärsnittsarea är $0,194 \text{ m}^2$ eller 194000 mm^2 . ASTM A36 som är det stål vi använder har en sträckgräns på 250 MPa som kan ökas med cirka 40% av värmebehandling till 350 MPa . (Matmatch. Okänt datum) (V. K. Judge, J. G. Speer, K. D. Clarke, K. O. Findley & A. J. Clarke, 2018) ($F/A = \sigma$ $F/194000 = 350$). Max dragspänningen balken klarar av är $67\,900 \text{ kN}$ med säkerhetsfaktor 3 är maximala dragspänningen balken får utsättas för är $22\,633 \text{ kN}$.

Beräkning av diameter på vajrar. Det är nio vajrar som behöver hålla uppe 90 meter bro tillsammans eftersom marken håller upp fem meter på var sida. Varje vajer behöver hålla 1 ton per meter gånger 10 meter plus vikten av tio meter bro, som vi uppskattar till 60 ton. Spänningen i vajern blir $\sigma_{\max} = F/A$. Spänningen (F) i varje vajer blir $10\,000 \text{ kg} + 60\,000 \text{ kg}$. $60\,000 \text{ kg}$ är en spänning på $600\,000 \text{ N}$. σ_{\max} är den maximala belastningen vajern får utsättas för per kvadratmillimeter, med en säkerhetsfaktor (n_s) 3 behöver den verkliga sträckgränsen (R_e) vara $R_e = \sigma_{\max} * n_s$. R_e för vajer är cirka $1\,600 \text{ N/mm}^2$. (K.K. Chawla, 2002) $1\,600/3 = 533.33$. $\sigma_{\max} = F/A$. $533.33 = 600\,000/A$. 136 mm^2 . Vajerns styrka är inte ett problem men vi vill göra den tjockare för att den ska hålla över tid.

Kommenterad [AK3]: Fina beräkningar



Figur 5, Bro sedd från kortsidan



Figur 6, Simulering av bro

Materialmotivering

Vi valde att använda värmebehandlat kolstål till vår bro eftersom det är starkt, flexibelt och lätt att forma och svetsa. Detta gör att bron blir billigare eftersom vi använder mindre stål än till exempel obehandlat kolstål och lättheten att bygga med värmebehandlat kolstål gör också att det tar mindre arbetstimmar att bygga bron vilket också hjälper med att göra bron billigare. (Gio Valle, 2022)

Vi valde att inte använda cortenstål eftersom vi inte tror att färgen skulle se bra ut men framför allt på grund av att det både är känsligt för saltvatten och vägsalt, två saker vår bro kommer i kontakt med mycket. Men vi valde även bort det på grund av att risken är stor att stålet skulle färga av sig på betongpelarna i vattnet och vägbanan under tiden bron korroderade. (Gio Valle, 2022)

Miljö

Vi valde att bygga vår bro av svenskt stål och inte betong eftersom det krävs stora mängder betong för att bygga en bro och utvinningen av betong är väldigt resurskrävande. (Natur och miljö, 2018) Det svenska företaget LK AB tillverkar stål som är mycket bättre för miljön än betong för sin styrka, de är världsledande i att minimera utsläpp från ståltillverkning. (LKAB, 2018) Stål är också ett återvinningsbart material vilket gör att stålet vi byggt bron av går att återanvända i slutet av brons livstid. Vi väljer också att bygga stora delar av bron på annan ort än var den ska byggas vilket gör det mycket lättare att kontrollera utsläpp från stora delar av tillverkningsprocessen. (US. Bridge, 2021)

Kostnad

På \$850 per ton är värmebehandlat kolstål billigare än rostfritt stål som kostar \$1400 per ton. Vi jämförde vår bro med andra av liknande storlek och material och kom fram till ett pris om 50 miljoner kronor.

Diskussion

Vår bro höll men var väldigt överdimensionerad, vi valde att inte förändra den eftersom den ska klara av Nordnorges starka vindar, hårda regn och höga vågor som inte är medräknade i simulationen. Många delar är tjocka för att hålla även om de blir utsatta för korrosion. Vi hade kunnat göra vårt fackverk glesare för att spara pengar och material. Men valde att inte göra det då CAD programmet gav fel meddelanden och delar av bron började försvinna vilket händer på grund av att vi använt oss av många duplicerade objekt. Vajrarna kunde även ha varit tunnare av samma anledningar som vi kom fram till i hållfasthetsberäkningarna. Om bron skulle tillverkas i verkligheten så skulle man dra ner på antalet fackverk samt tjockleken på vajrarna.

Under designprocessen så har vi hållit alla deadlines vi hade satt upp, fackverket blev klart i tid, samma sak gäller bågen. Vi inledde designprocessen genom att studera olika brodesigner. Både ur ett estetiskt perspektiv och ett ekonomiskt perspektiv och kom fram till att vi skulle använda oss av bågbrodesignen. När vi designade bron så använde vi oss av den grundläggande kunskapen av CAD vi hade men använde oss även av internet för att lösa vissa problem till exempel så visste vi inte hur man skulle designa en fin och stabil I balk så jag använde mig av Autodesk Forums. (2017).

LK AB. 2018. Utsläpp
<https://www.lkab.com/sv/hallbarhet/miljo/utslapp/> (Hämtad 28/3 2022)

Sveriges Natur. 2018. Cement och betong.
<https://www.sverigesnatur.org/natur/den-ohallbara-cementindustrin/> (Hämtad 28/3 2022)

Broar.net. Okänt datum. Bågbro.
<https://www.broar.net/Bagbro> (Hämtad 21/3 2022)

Broar.net. Okänt datum. Snedkabelbro.
<https://www.broar.net/Snedkabelbro> (Hämtad 21/3 2022)

Gio Valle. 2022. 4 Types of steel used in bridges.
<https://www.builderspace.com/types-of-steel-used-in-bridges> (Hämtad 21/3 2022)

Matmatch. Okänt datum. What is ASTM A36?
<https://matmatch.com/learn/standard/astm-a36-standard> (Hämtad 21/3 2022)

V. K. Judge, J. G. Speer, K. D. Clarke, K. O. Findley & A. J. Clarke. 2018. Rapid Thermal Processing to Enhance Steel Toughness.
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-18917-3> (Hämtad 21/3 2022)

K.K. Chawla. 2002. Fiber fracture: an overview.
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bridge-cables> (Hämtad 21/3 2022)

Autodesk Forums. 2017. I Beam Making.
<https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-design-validate/i-beam-making/td-p/6991749> (Hämtad 25/3 2022)

US. Bridge. 2021. Earth Day: Reducing Environmental Impact of Construction.
<https://usbridge.com/reducing-environmental-impact-of-bridge-construction/> (Hämtad 25/3 2022)