



BIFROST - DEN LÄTTA BRON

Manifest för BIFROST-konceptet

VAD?

- **En bro huvudsakligen tillverkad av trä** - optimerad för lättare transporter och smidigare montage med lågt koldioxidavtryck under hela processen.
- **En bro som berikar vår bebyggda stadsmiljö** - Brodesignen utnyttjar träets unika egenskaper för att skapa ett estetiskt tilltalande och funktionellt urbant element. Våra byggda miljöer påverkar oss psykiskt, fysiskt och socialt och är därför avgörande för vår folkhälsa. Träets skiftande visuella upplevelser på olika avstånd, dess taktila egenskaper och dess förmåga att interagera med ljus förstärker de rumsliga kvaliteterna i stadsmiljön. Vidare förhöjer detaljerad gestaltning och genomtänkt användning av ljus den sammanlagda upplevelsen av brodesignen.
- **En bro tillverkad av standardkomponenter** som lätt kan hanteras med mankraft och finns tillgängliga i det vanliga byggsortimentet
- **En bro som går att underhålla** med parallella komponenter möjliggör för partiellt utbyte av den bärande konstruktionen.
- **En bro som går att prefabricera** för snabbt montage på plats.
- **En bro som prismässigt kan konkurrera** med motsvarande brokonstruktionen i stål eller betong.

Vi vill verka för att fler permanenta broar byggs i trä, BIFROSTs innovativa konstruktion gör dock att den likafullt lämpar sig som en tillfällig bro, då den med lätthet kan demonteras och återanvändas. En tillfällig bro i trä kan vara ett sätt att introducera trä i nya sammanhang.

VARFÖR?

Vi ser ett stort behov av att utmana våra gängse konstruktioner. Likt övriga samhället kommer infrastrukturen behöva anpassas för att minska miljöavtrycket.

Vid innovationstävlingen "InfraLIGHTER award 2022", som vårt förslag BIFROST vann, var den övergripande målsättningen att hitta innovativa lösningar inom infrastrukturbranschen med fokus på lätta konstruktioner. Detta innefattar: beständighet i förhållande till livslängd, att vara en del i framtidens cirkulära ekonomi, minska trafikstörning vid anläggandefasen, gestaltning av hög kvalitet samt materialval till ett marknadsmässigt pris och med minimerad påverkan av klimat.

I vårt arbete med innovationstävlingen blev vi än mer övertygade att trä lämpar sig bäst för dessa konstruktioner.

Med BIFROST vill vi minska resursanvändning och öppna upp för att broar går att återbruka men även underhållas under ett längre tidsintervall, som samtidigt möjliggör för ett successivt underhåll där enskilda plankor kan bytas ut vid behov. Detta tillvägagångssätt säkerställer att bron som helhet kan fortsätta att tjäna sitt syfte i generationer, så länge det finns en vilja och förmåga att underhålla den.

BIFROSTs klimatpåverkan är ca hälften av en motsvarande bro i stål!

HUR?

I arbete med trä, som är ett levande material, krävs ett stort kunnande från projektering till utföraren. Det är avgörande med samverkan mellan olika kompetenser i tidiga skeden, då de styrande förutsättningarna och de bärande aspekterna i projektet fastställs. För att konstruktionen, gestaltningen, hållbarheten och förvaltningsaspekterna ska bibehållas bör de olika kompetenserna följa projektet tills bron färdigställs. Med stöd från Vinnova, har projektet dragit nytta av forskningsmedel som möjliggjort innovation och utveckling. Bifrost är en produkt av ett samarbete mellan Trafikkontoret på Stockholms stad, KTH, Timber Bridge Specialists, Gaia arkitektur, och Funkia landskapsarkitektur.

Det finns idag inga etablerade traditioner av träbyggnad i infrastrukturmiljön som spänner över hela systemkedjan. Med BIFROST vill vi belysa varje skede i processen, från skogen till idé och färdig konstruktion, vilket också innefattar aspekter kopplat till upphandling, förvaltning, underhåll, och slutligen återbruk. Vårt team besitter omfattande erfarenhet längs med brons hela värdekedja.

I vårt fortsatta forskningsarbete efter "infraLIGHTER awards" har vi gjort tre olika fallstudier där vi utarbetat varianter av vårt tävlingsförslag. De tre fallstudierna belyser tydligt grundkonceptets (manifestet) många möjligheter beroende på plats, från landsbygd till urbana sammanhang.

KONTAKT



Kristoffer Ekholm
kristoffer@timberbridgespecialists.se



Pi Ekblom
pi@gaiark.se



Johan Krikström
johan.krikstrom@funkia.se



Roberto Crocetti
crocetti@kth.se



Dániel Honfi
daniel.honfi@stockholm.se

BIFROST #1 - TÄVLINGEN



Tävlingsvinsten InfraLIGHTER Award

Resan med BIFROST-konceptet började med tävlingsvinsten i innovationstävlingen InfraLIGHTER awards som vi döpte till BIFROST.

Tävlingen eftersökte ett innovativt förslag för att bygga en gång- och cykelbro i lättvikt som möjliggör ett rationellt byggande i fabrik samt transport och montering med minimal störning på trafik, miljö och befintlig infrastruktur.

Juryns motivering:

“Vinnaren BIFROST hade lösningen för vår utmaning. BIFROST – Bimodulär Formbar ROBust Träbro presenterade en innovativ gång- och cykelbro i 97% Plockhuggetcertifierat virke, gestaltad i korta standarddimensioner för minimal klimatpåverkan, kostnad och vikt. Stål används i strategiska lägen för ökad livslängd, flexibilitet och snabbt montage. Bron är konstruerad i flertalet parallella bärande element för att underlätta underhåll och livslängd.”



#1 volym:

■ trä (92%)
■ stål (8%)

vikt: 200 kg/m²

66% trä
34% stål





Resurseffektivitet och innovation

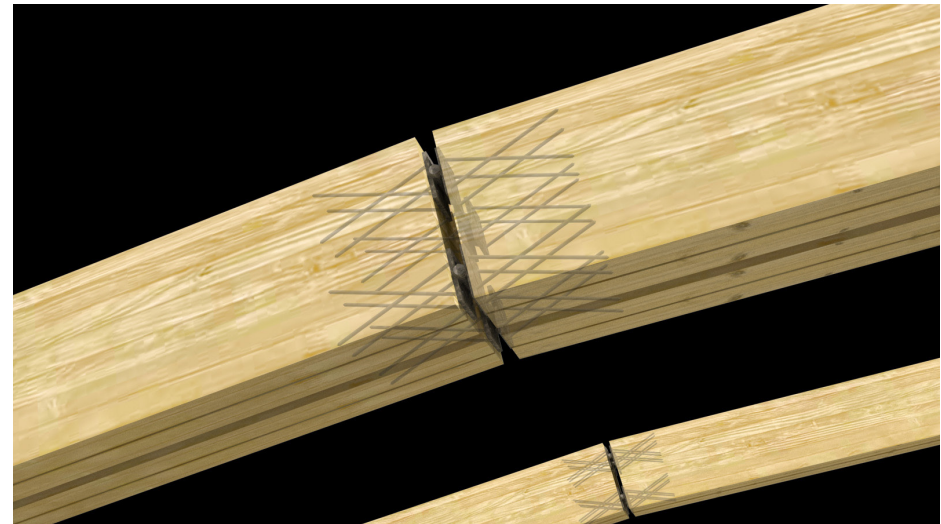
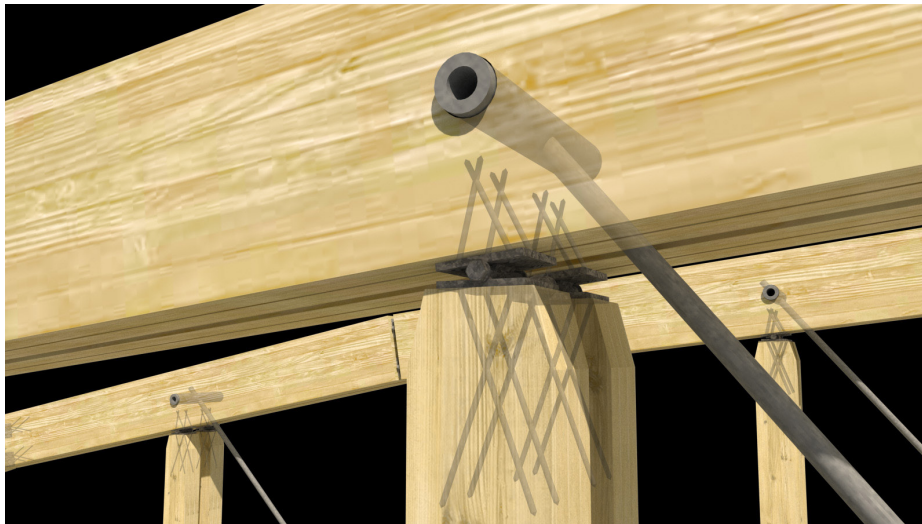
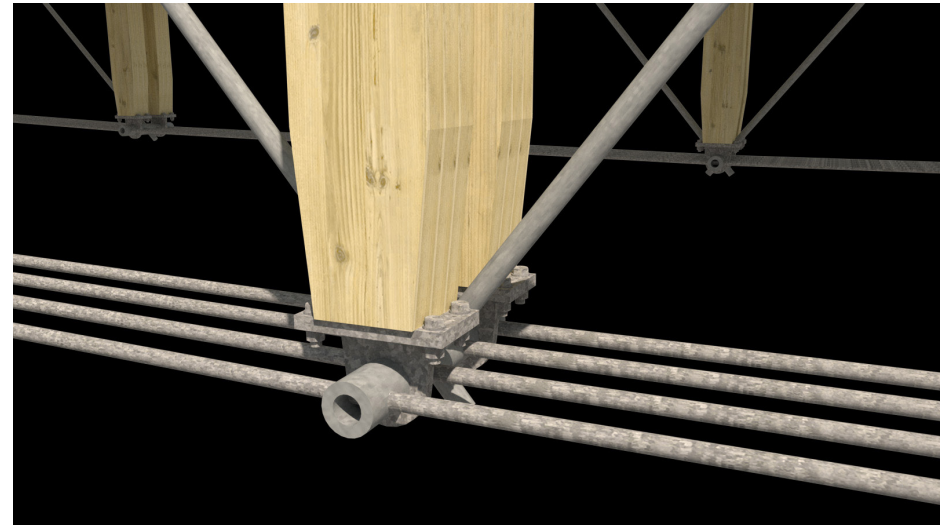
Bron är en gång- och cykelbro, volymmässigt konstruerad till över 90% i naturens lättaste konstruktionsmaterial, trä. Det ger en bro med 40 m spännvidd och en vikt på under 20 ton. Brons relativa lättheten gör även anläggningen mer flexibel, fundamenten skulle till exempel kunna utgöras av naturstensblock eller gabioner av återvunnen sprängsten.

Även om trä är ett återbrukbart och CO₂-neutralt material så är skogen en resurs vi bör hantera varsamt. Mycket arbete har därför fokuserats på att såväl minimera materialanvändandet som att utveckla smarta lösningar för att optimera möjligheten till underhåll för att förlänga bronns livslängd samt förutsättningar för återbruk.

Detta har givit en modulär konstruktion med flertalet parallella bärande element där varje element vid behov enkelt kan bytas ut, utan att bron behöver demonteras eller stängas av under en längre tid. För att ytterligare underlätta underhåll, minska kostnader och uppförandetid består bron av korta standarddimensioner. Detta gör att de ingående delarna i bron lätt kan hanteras med mankraft och finns tillgängliga i det vanliga byggsortimentet. Det öppnar även för möjligheten att jobba med återbruk av tidigare använda träelement från till exempel gjutformar.

Standardiserade komponenter

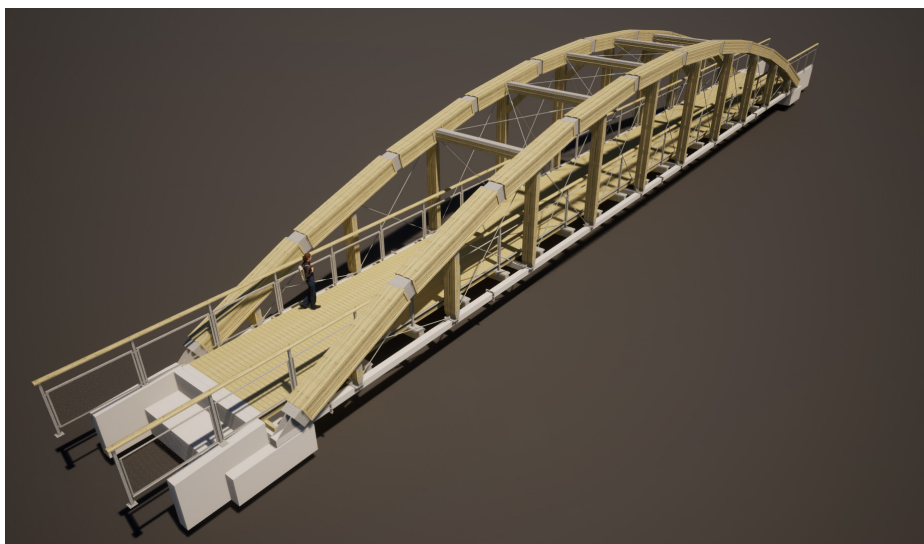
Stål används på strategiska platser i konstruktionen för att hantera dragkrafter, vilket bidrar till ökad livslängd och flexibilitet, samt möjliggör snabb montering. Vi har utvecklat standardiserade lösningar för beslag som kan appliceras på flera kritiska punkter i brokonstruktionen. Dessa punkter är utformade som standardgångjärn, vilket förenklar montering och reparationer samt sparar volym genom typificering av förbanden. De innovativa knutpunkterna ökar brons anpassningsförmåga de möjliggör justeringar av träbågen och dragstag i höjdlid i förhållande till vägbanan för att anpassa sig till olika förutsättningar och spännvidder.





BIFROST #2





Från idé till verklighet

Redan från början innehöll tävlingsförslaget ett 'flexibilitetskoncept'. Detta innebar att BIFROST kunde anpassas i sin design, konstruktion och funktion beroende på den specifika platsens unika förutsättningar.

Kort efter att BIFROST vunnit "InfraLIGHTER AWARDS 2022", tilldelades tävlingsteamet ett kontrakt för att bygga en bro i Uddebo, Tranemo kommun.

Under arbetets gång med denna bro har vi fördjupat oss i och vidareutvecklat vissa aspekter som vi inte hade möjlighet att utforska i tävlingen. Ett betydande fokus har lagts på utvecklingen av anslutningspunkter och inklädnader av brons bärande strukturer. Detaljer på farbanan, räcken och användningen av TRP-plåt som stödstruktur för slitplankorna har också fått genomgå en vidareutveckling.

Bron invigdes i mars 2024.



#2 volym:

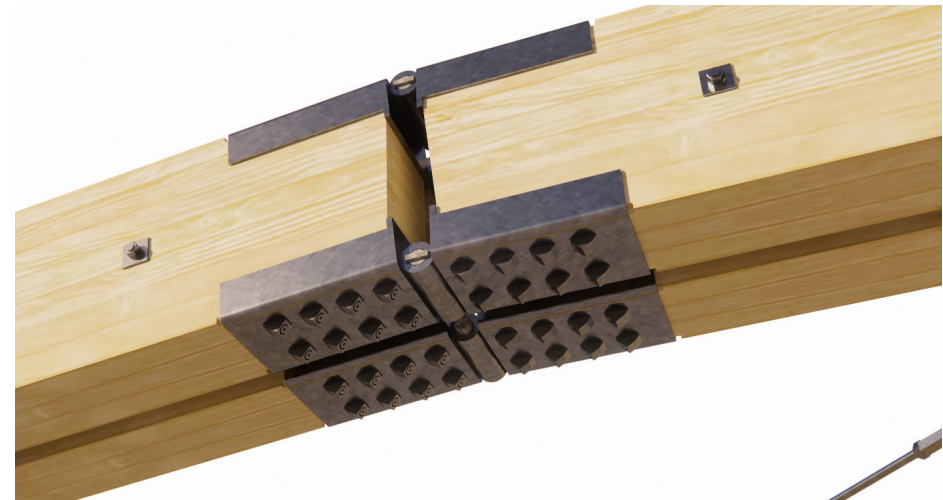
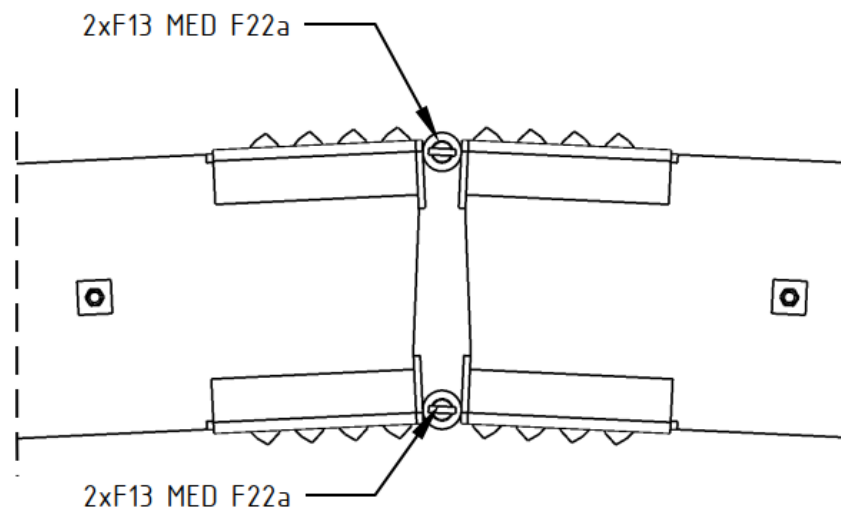
- trä (96%)
- stål (4%)
- övrigt (<1%)

vikt: 240 kg/m²

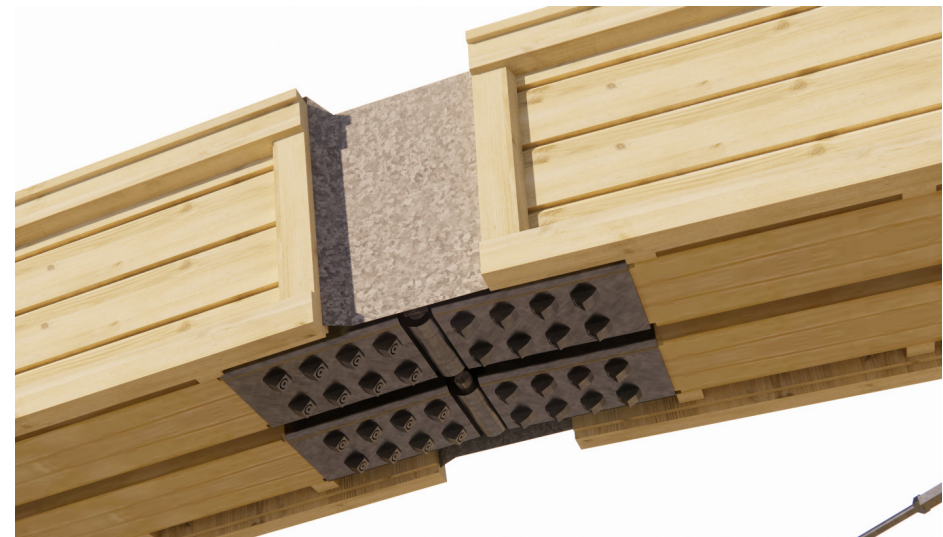
- 54% trä
- 39% stål
- 7% övrigt

Konstruktiva detaljer -beslag

Beslagen vidareutvecklades för ökad robusthet och styvhet jämfört med BIFROST #1. Arbetet genomfördes i samverkan med doktorandarbete på KTH.



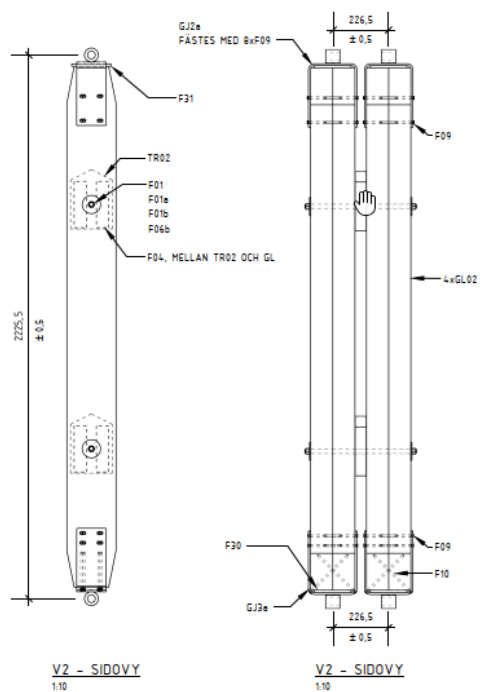
Knutpunkt utan inklädnad



Knutpunkt med inklädnad

Konstruktiva detaljer -beslag

Beslag mellan vertikaler och båge bygger på ett gångjärnskoncept. Då vertikaler är tryckta överför de tryckkrafter via kontakttryck, vid drag via träskruvar.



Detalj mellan båge och vertikal utan inklädnad



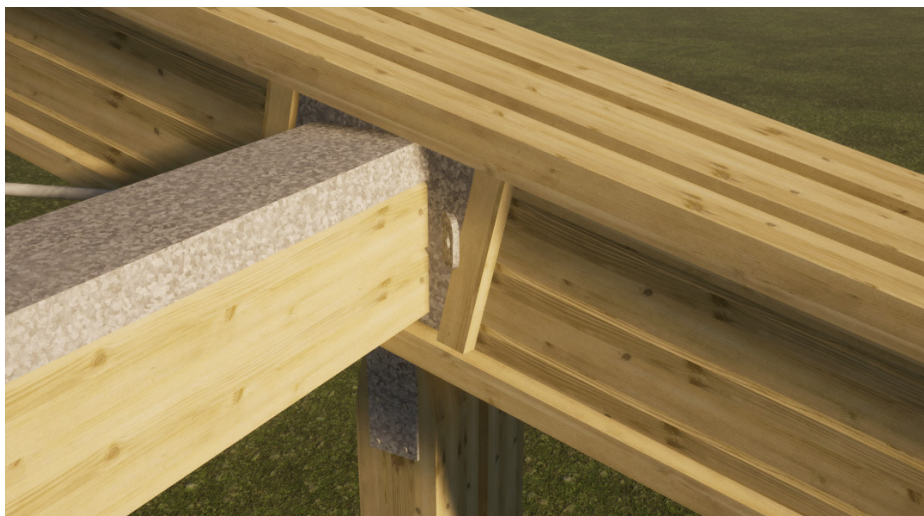
Detalj mellan båge och vertikal med inklädnad



Gestaltande detaljer -Inklädnaden

I BIFROST #2 utvecklades inklädnaderna så att de bärande balkarna artikuleras för att belysa de konstruktiva delarna i bron. Inklädnaderna utförs med hjälp av s.k. konstruktionstekniskt träskydd som i huvudsak består av täckande panel på 3 sidor av bågen, för att bibehålla upplevelsen av trä både exteriört och interiört.

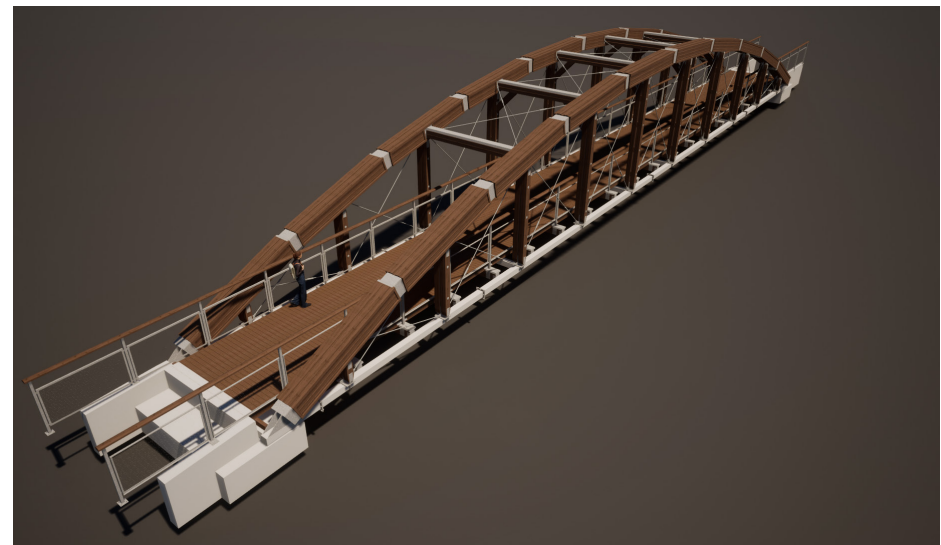
En luftspalt lämnas mellan den bärande strukturen och panelen för att kunna möjliggöra en snabb torkning av temporärt uppfuktade ytor. De delarna av bron, som inte kan täckas med adekvat skydd mot fukt, uppförs i tryckimpregnerat virke.





Beständighet

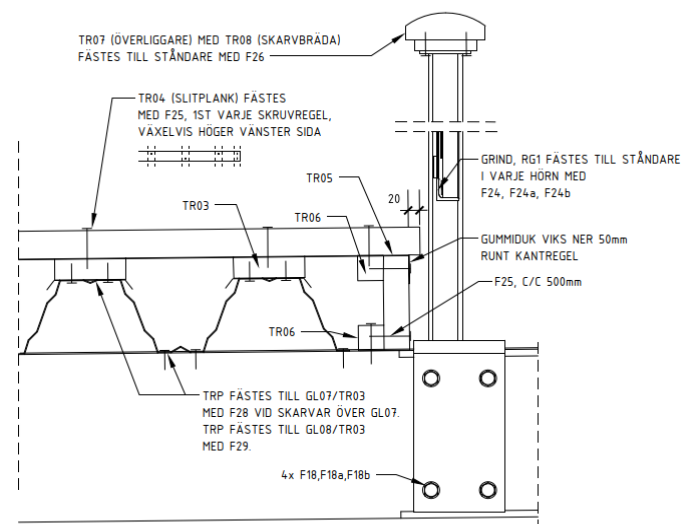
I nästa iteration av bron kan såväl de delar som inte på ett adekvat sätt kan skyddas mot fukt som själva panelen tillverkas av kopparoljeimpregnerat trä. Detta är en ny och mycket beständig träprodukt som inte bara förbättrar konstruktionens motståndskraft mot fukt utan dessutom ger konstruktionen en vacker brun ton.



Konstruktiva detaljer -TRP-plåt

Gång-och cykelbana består av trapetsprofilerad plåt kompletterad med tvärgående träbrädor. Plåten är TRP130 d.v.s. en optimerats jämfört med TRP200 i BIFROST #1. Plåten läggs med korrugeringen parallellt med bronslängdriktning och fästs till tvärbalkarna. Fördelen med denna plåt är att den kan – med mycket liten materialåtgång - både överföra relativt stora vertikala laster (gångbanelast och eventuell även fordons axeltryck) samt ta hand av laster i bronstvärriktning (t.ex. vindlast) genom skivverkan. Träbrädorna fästes till plåten med skruv som dras in underifrån för att inte utgöra risk för fuktfallor.

Utöver att erbjuda fotgängare en känsla av "att gå på trä", tjänar träbrädorna också det praktiska syftet att distribuera eventuella punktbelastningar (som exempelvis hjultrycket från ett fordon) över en större area. Detta bidrar bl.a. till att reducera risken för lokal buckling av den trapetsprofilerade plåten. För att skydda TRP plåten och tvärbalkarna mot fukt och regnvatten läggs en 1.5 mm EPDM duk (som ger ett fuktavskiljande lager) mellan slitplank och skruvbrädor. Vattenavrinning sker med 1% tvärfall på denna duk där vatten leds bort och släpps utanför farbanans kant.



BIFROST #3

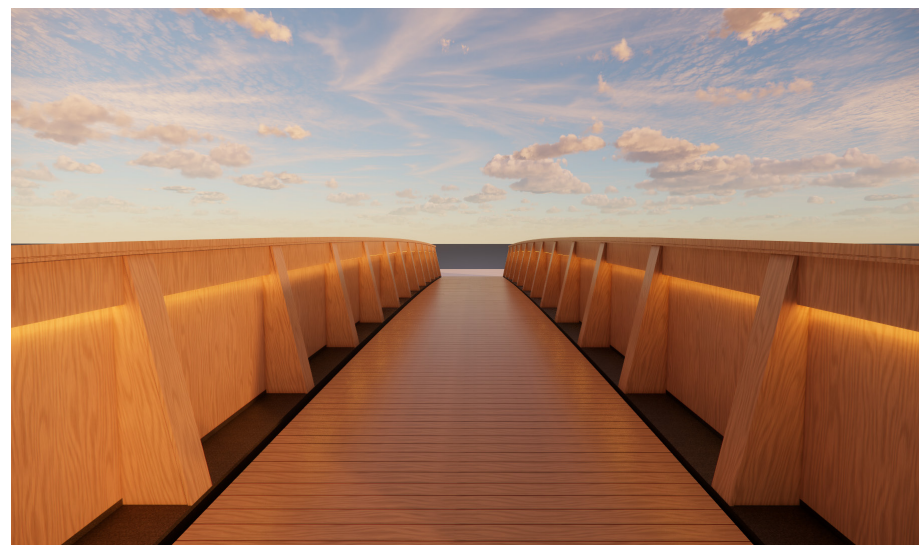


Den urbana kontexten

I vårt sökande efter lämpliga testplatser för BIFROST-konceptet, fastnade vårt intresse för Jyllandsgatan i Kista. Platsen kännetecknades av en tidigare existerande betongbro, som temporärt demonterades och olyckligtvis skadades under processen. Med behovet av att ersätta bron, såg vi en möjlighet att anpassa vårt koncept till denna specifika miljö.

Gestaltningmässigt ville vi skapa en bro med liknande uttryck som den ursprungliga bron. Vi utvecklade en bro formad som en U-balk med ett lågt fackverk integrerat i sidoräckena. Fackverken kläddes i sin helhet i trä för att skydda konstruktionen.

Exteriören kläddes med ett träraster inspirerat av den ursprungliga betongmatrisen som väl harmoniserade med den urbana kontexten.



#3 volym:

vikt: 250 kg/m²

■ trä (54%)

16% trä (exkl. inklädnader)

■ betong (46%)

82% betong

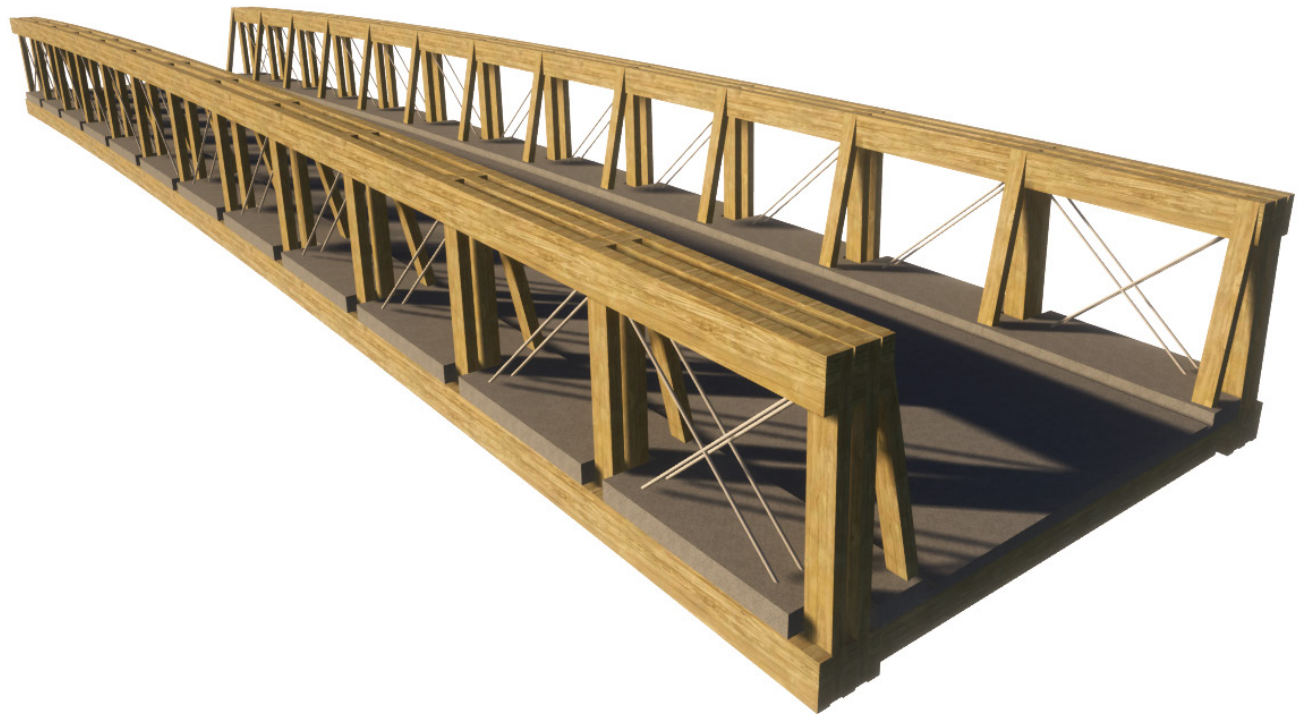
■ stål (<1%)

4% stål

Samverkan trä/betong -fackverkets uppbyggnad

Den bärande konstruktionen består av två parallella fackverk. Fackverken består av flera parallella komponenter vilket möjliggör partiellt utbyte av den bärande konstruktionen. Fackverksdiagonalerna är gjorda av stål vilket möjliggör ett enklare montage och injustering av fackverket. Lutande trästrävor används för att stabilisera fackverket i sidled. Eftersom fackverket är inklätt i sin helhet kan oimpregnerat trä användas med gott resultat.

Farbanan konstruerades som ett samverkansbjälklag i trä och betong, vilken vilar på fackverkens underarmar. Detta för att minimera bygghöjden, men även för att skapa en robust farbana som tål regn och snö.



BIFROST #4



Resultat av Workshop med referensgrupp

Utformningen av en bro är en sammanflätad designuppgift. Konstruktionen ska upplevas ändamålsenlig, vara materialoptimerad, och samtidigt läsbar. Ett fungerande samarbete mellan olika professioner har visat sig vara avgörande för att skapa en väl gestaltad bro, med förutsättningar att varaktigt integreras och tjäna sitt syfte över tid.

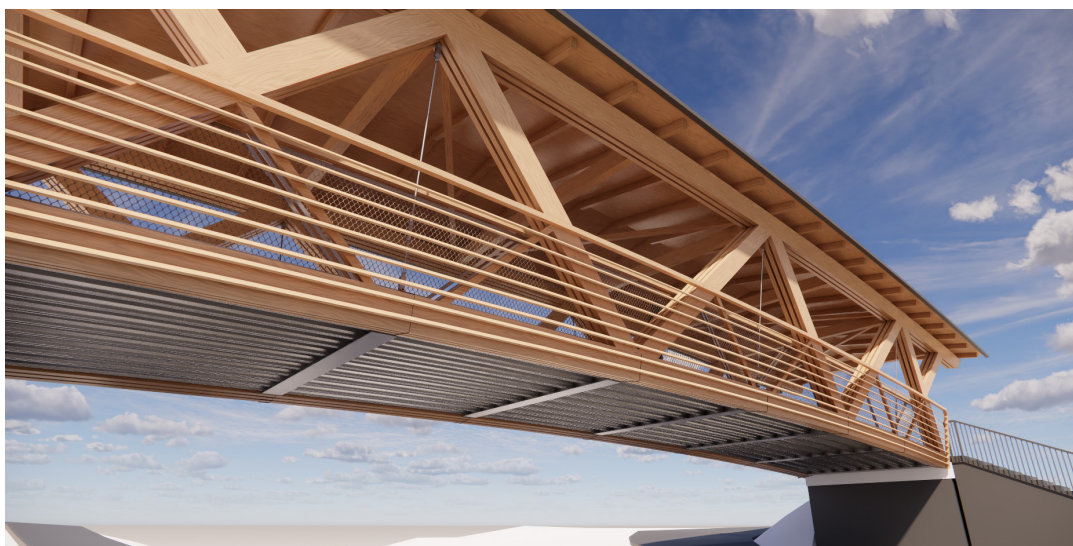
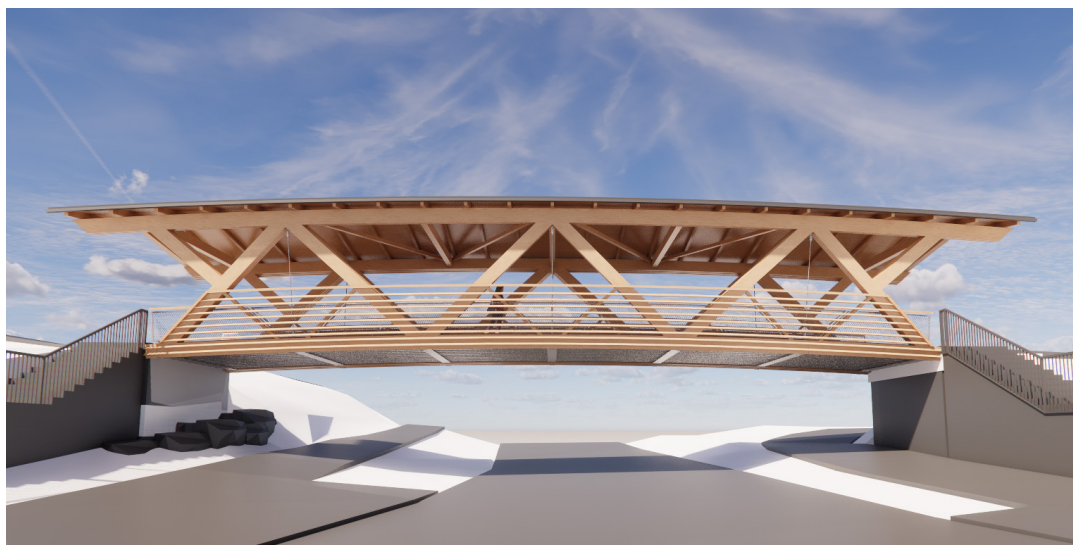
För att få återkoppling från behovsägare och specialister med stor förståelse för uppgiftens utmaningar, anordnade vi en workshop i oktober 2023. Vi samlade en grupp på 16 aktörer med olika professioner och specialistkompetenser (bland de medverkande kompetenserna fanns arkitekt, landskapsarkitekt, ingenjörer, miljöexpert samt representanter från Trafikkontoret Stockholm stad och Vinnova). Under workshopen diskuterades otaliga aspekter såsom beständighet, platsanpassning, demonterbarhet osv.

Sammanfattningsvis tog vi med oss följande ställningstagande från vår workshop:

- Brons form ska anpassas till sin kontext
- Gestaltade detaljer i bron ska ha en konstruktiv funktion eller en hållbarhetsaspekt. För att bibehålla en låg vikt, finns det inte utrymme att lägga till dekoration, bron som helhet och utifrån sina delar är ett komplett gestaltat stadsbyggnadselement
- Snabbt montage kan vara väldigt viktigt ur ett samhällsperspektiv,

avstängning av trafik kan skapa stora kostnader för tredje part

- Framtiden kommer ställa högre krav på hållbarhet och klimatanpassade konstruktioner
- Underhåll av trät, dvs byta en planka, är en liten utgift i förhållande till att rostskydds måla en bro vart 25:e år
- Rostfria beslag istället för varmförzinkade, rostfria beslagen kan i större grad återanvändas och kräver mindre underhåll.
- Det är mycket positivt att resultatet från Livscykelanalyser (LCA) visar på en halvering för BIFROST i jämförelse med en konventionell betongbro.
- Underhåll är en viktig aspekt, träbryggor/kajer i trä har ett kostsamt underhåll. Det är viktigt att säkerställa beständigheten.
- Det finns stor potential i att bygga temporära broar i trä som går att demontera och återbruka på en ny temporär plats.
- En träkonstruktion med synliga bärande delar är lätt att inspektera.
- Att bygga en bro med tak är inte en konventionell lösning men hela workshopgruppen var eniga i att en bro med tak har många intressanta fördelar som de gärna vill se förverkligade. Tak ger ett effektivt skydd av konstruktionen, taket skapar dessutom en plats där det går att söka skydd vid regn.



Resultat av referensgrupp

Ett resultat av vår workshop var att utforska en bro med tak. Dels för att det blir möjliggör en större del trä i konstruktionen då taket ger ett effektivt skydd av knutpunkter, dels för att farbanan blir möjlig att utföra i trä. Konstruktion går även att effektivisera så att bygghöjden av farbanan blir minimal, och den fria höjden under bron blir maximal. Det innebär att mängden stål kan reduceras i konstruktionen.

Taket möjliggör förenklade knutpunkter vilket gör det enklare att konstruera bron med "parallella bärverk" (sammansatta tvärsnitt) i stället för massiva bärverk (massiva tvärsnitt).

- Enklare montage pga lättare element används
- Möjlighet att kunna köpa materialet i närliggande byggvaruhandel och slippa långa leveranstider
- Möjlighet att kunna byta ut enstaka delar/element vid eventuell skada (t.ex. p.g.a. röta eller mekanisk påfrestning)

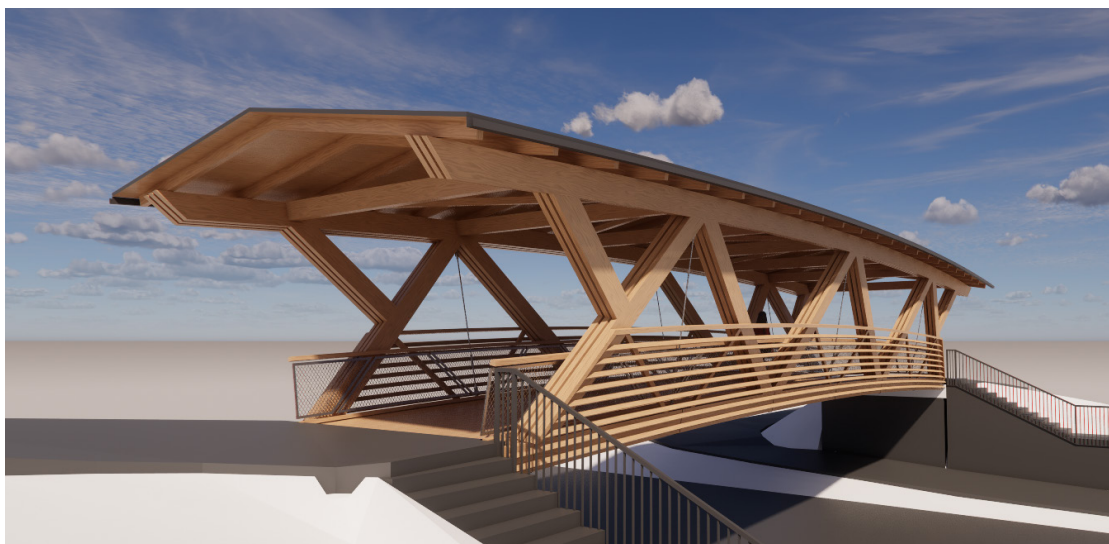


#4 volym:

- trä (91%)
- stål (9%)
- övrigt (<1%)

vikt: 290 kg/m²

- 60% trä
- 36% stål
- 4% övrigt

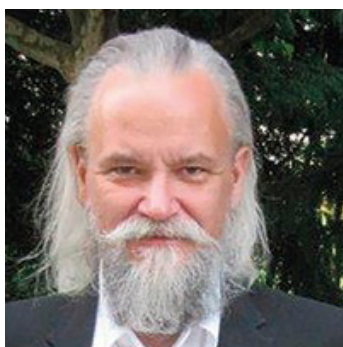


BIFROST #4 - en gamal typologi i ny kontext

- Denna iteration kräver minimalt med underhåll
- Beslagen kan göras effektivt och traditionellt
- Ett vinklat träraster skyddar den del av bron som taket inte skyddar. Rastret är utformat så att det effektivt skyddar mot regn, men är även genomsiktligt från den underliggande vägen.
- En bro med tak kräver en stringent form som är lätt avläsbar i stadsmiljön, bronns form består av två huvuddelar, de horisontella delarna, farbana och tak, samt den bärande strukturen.



TEAMET - hela kedjan



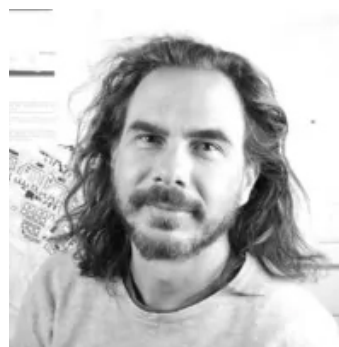
Roberto Crocetti är professor från KTH och partner på Timber Bridge Specialists. Roberto har en passion för träbrokonstruktion och hans kreativitet och koppling till det akademiska gör honom ovärderlig för vårt team. Roberto tillbringar delar av året i Italien där han odlar oliver, trampar vin och vandrar med sin familj.



Kristoffer Ekholm är VD på Timber Brige specialists och har sin expertis inom projektering. Han har en PhD från Chalmers, där han arbetade med forskningsprojektet "Konkurrenskraftiga träbroar för framtiden", samt med livslängdsfrågor. Han har också arbetat med Hisingsbron innan han tog steget att ansluta sig till vårt team. Kristoffer bor i Onsala med sin familj.



Pi Eklom är en av grundarna till Gaia arkitektur vars tyngdpunkt ligger i att formulera, initiera och genomföra projekt i hela systemkedjor. Hon har haft nyckelroller i flertalet omfattande och komplexa projekt som hon följt från programtill bygghandling och uppföljning. Att ha stor delaktighet i byggprocessen och förståelse för material och detaljering har blivit en inriktning som präglat hennes intresse för arkitektur. Hon är en av grundarna till TränätverkA som har fått stor spridning och förenar arkitekter över kontorsgränser.



Johan Krikström, Landskapsarkitekt LAR/MSA (Funkia AB). Yrkesverksam sedan 2002, projekterfarenhet från Sverige, Norge och Schweiz. Mottagare av Siennapriset 2008 för Sandgrundsparken samt nominerad till Siennapriset 2013 för Hyllie stationstorg (i egenskap av handläggare). Johan har stor vana att arbeta med konstruktioner i olika skalor i vår byggda miljö, han värnar alltid om platsens unika förutsättningar och den sociala interaktionen med vår byggda miljö.



Daniel Honfi, strategisk planerare på Stockholms stads trafikkontor. Han tog sin doktorexamen i konstruktionsteknik på LTH. Han har tidigare arbetat som forskare samt teknisk specialist med inriktning på förvaltning och underhåll av befintliga konstruktioner