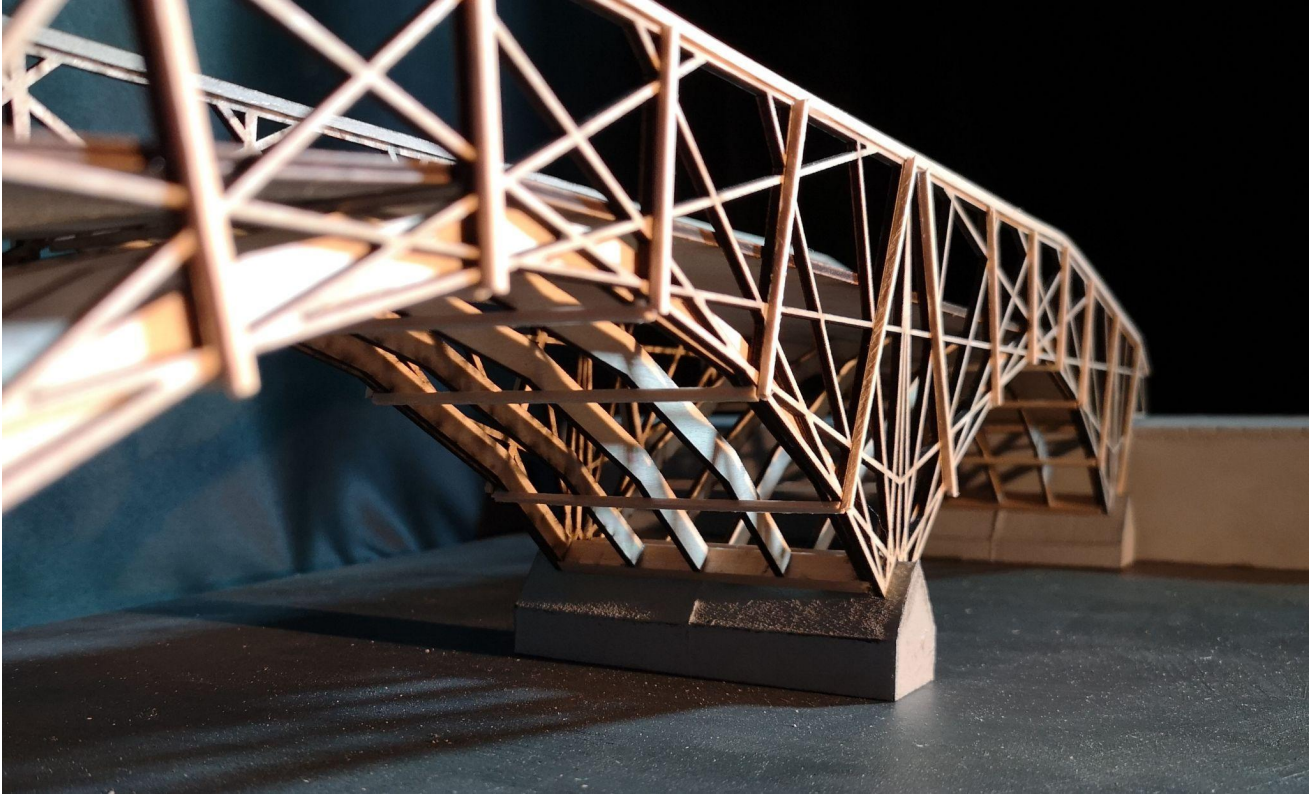




CHALMERS



Projektering av Jubileumsbron

En gång- och cykelbro över Vallgraven i Göteborg

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

THERESE HAAR

SIMON JOBÄCK

HOSSEIN NABAVI

FILIPPA PAMP

ELIN WIDÉN

VENDELA ÖRNDAL

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

KANDIDATARBETE

Projektering av Jubileumsbron

En gång- och cykelbro över Vallgraven i Göteborg

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

THERESE HAAR

SIMON JOBÄCK

HOSSEIN NABAVI

FILIPPA PAMP

ELIN WIDÉN

VENDELA ÖRNDAL

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2023

Projektering av Jubileumsbron

En gång- och cykelbro över Vallgraven i Göteborg

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

THERESE HAAR

SIMON JOBÄCK

HOSSEIN NABAVI

FILIPPA PAMP

ELIN WIDÉN

VENDELA ÖRNDAL

©Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filippa Pamp, Elin Widén, Vendela Örndal, 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola, 2023

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Bild på modell i skala 1:50. Författarens egen bild.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2023

Projektering av Jubileumsbron

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

THERESE HAAR

SIMON JOBÄCK

HOSSEIN NABAVI

FILIPPA PAMP

ELIN WIDÉN

VENDELA ÖRNDAL

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Denna rapport behandlar utformningen av en ny gång- och cykelbro i trä. Bron ska sträcka sig över Vallgraven i Göteborg, mellan Bastionsplatsen och Bältesspannarparken. Arbetet utgår ifrån förutsättningar för platsen samt följer angivna tekniska krav och råd. Bron har projekterats till en längd på 43 meter och en bredd på 4 meter.

Projektet är ett samarbete med CSDC, Chalmers Structural and Design Challenge. CSDC skall bygga en modell av bron i skala 1:1 under Göteborgs 400-årsjubileum. Syftet med arbetet var att välja det mest lämpliga brokonceptet för platsen. För att urskilja det mest lämpliga konceptet, genomfördes två urvalsprocesser. I första urvalet urskildes de viktigaste brotyperna och i det andra viktades dessa utifrån framtagna kriterier. Brokoncepten bedömdes enligt sex kriterier för att utvärdera och identifiera det mest lämpliga konceptet. Kriterierna behandlades genom de tre perspektiven beställare/konstruktion, produktion samt förvaltning & underhåll. Det slutliga brokonceptet valdes till den Matematiska bron. En bågbro utformad med ett komplext räck. Designen av bron har hämtat inspiration från "Mathematical Bridge", belägen på Cambridge universitet i England. Bågar utgör den huvudsakliga bärande strukturen för konceptet. Konceptet har ett komplext fackverksrække som bildas av tangentlinjer från bågen.

Dimensionering av bron utgick från en förenklad beräkningsmodell. Utifrån denna fastställdes randvillkor. Därefter identifierades belastning av bron och kritiska lastfall. Dessa kontrollerades för både bruksgränstillstånd och brottgränstillstånd. Slutligen gjordes en kontroll av brons dimensioner och beräkningar av förband utfördes. Den iterativa processen vid dimensionering har lett till slutliga dimensioner för slitplank, balkar under gångbana, pelare, bågar och fackverket mellan bågar.

Nyckelord: Träbro, Gång- och cykelbro, Göteborg, Vallgraven, CSDC, Preliminär dimensionering, Mathematical Bridge, Bågbro.

Conceptual and preliminary design of the Jubilee bridge

A pedestrian and bicycle bridge over the Moat of Gothenburg

Bachelor's thesis in Civil Engineering

THERESE HAAR

SIMON JOBÄCK

HOSSEIN NABAVI

FILIPPA PAMP

ELIN WIDÉN

VENDELA ÖRNDAL

Department of Architecture and Civil Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This report covers the design of a new pedestrian and bicycle bridge made of wood. The bridge will stretch over the Moat in Gothenburg, between Bastionsplatsen and Bältesspännarparken. The work is based on the conditions of the site and follows specified technical requirements and guidelines. The bridge has been designed to have a length of 43 meters and a width of 4 meters.

The project is done in cooperation with CSDC, Chalmers Structural Design Challenge. CSDC will construct a model of the bridge in scale 1:1 for Gothenburg's 400th anniversary. The aim of the project is to find the most suitable bridge concept for the location. To discern the most suitable concept two selection processes were conducted. The first selection included the main bridge types and the second selection ranked the suitability with chosen criteria. The concepts were ranked through six criteria to identify the most suitable concept. Three main perspectives were used for the criteria, client and construction, production and maintenance. The final concept chosen, "Matematiska bron", is based on the "Mathematical Bridge" in Cambridge University, England. Arches make up the main carrying structure for the concept. The concept has a complex truss railing formed as tangents from the arch.

The design of the bridge was based on a simplified calculation model. From this model boundary conditions were established. Subsequently, the load case for the bridge and the critical load combinations were identified. These were checked for both serviceability limit and ultimate limit. The dimensions of the bridge and joints were calculated through iteration. The iterative design process resulted in the final dimensions of the tread board, beams under the walkway, pillars, arches, and trusses between the arches.

Key words: Wooden bridge, Pedestrian bridge, Gothenburg, Moat, CSDC, Preliminary dimensioning, Mathematical Bridge, Arch bridge.

Innehåll

Innehållsförteckning

| | |
|---|------------|
| Sammanfattning | I |
| Abstract | II |
| Innehåll | III |
| Förord | V |
| Ordlista | VI |
| Beteckningar | VI |
| | |
| 1 Inledning | 1 |
| 1.1 Bakgrund | 1 |
| 1.2 Syfte | 2 |
| 1.3 Problemställning | 2 |
| 1.4 Avgränsningar | 3 |
| 1.5 Metod | 3 |
| 1.6 Bedömning av samhälleliga och etiska aspekter | 4 |
| | |
| 2 Krav och förutsättningar | 5 |
| 2.1 Konstruktionsmaterial trä | 5 |
| 2.1.1 Impregnerat virke | 6 |
| 2.2 Grundläggning och infästning | 6 |
| 2.2.4 Geotekniska egenskaper för platsen | 6 |
| 2.3 Beställare och krav | 7 |
| 2.3.1 Krav och råd för gång- och cykelbro | 7 |
| 2.3.2 Mänsklig upplevelse | 8 |
| 2.3.3 Hållbar utveckling | 8 |
| 2.4 Produktion | 9 |
| 2.4.1 Produktionsmetoder för träbroar | 9 |
| 2.4.2 Logistik | 9 |
| 2.4.3 Produktionsförutsättningar för platsen | 9 |
| 2.5 Förvaltning och underhåll | 10 |
| 2.6 Ekonomi | 11 |
| | |
| 3 Urvalsprocess | 12 |
| 3.1 Första urvalet | 12 |
| 3.1.1 Plattbro | 12 |
| 3.1.2 Balkbro | 13 |
| 3.1.3 Fackverksbro | 13 |
| 3.1.4 Bågbro | 14 |
| 3.1.5 Broar som inte nådde upp till krav | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2. Andra urvalet | 15 |
| 3.2.1 Riskanalys | 15 |
| 3.2.2 Utvärderingskriterier | 16 |
| 3.2.3 Viktning av utvärderingskriterier | 16 |
| 3.2.4 Viktning av brokoncept | 17 |
| 4 Slutgiltigt brokoncept | 18 |
| 4.1 Beskrivning av konstruktion | 18 |
| 5 Preliminär dimensionering | 20 |
| 5.1 Randvillkor och beräkningsmodell | 20 |
| 5.2 Laster | 20 |
| 5.3 Lastkombinationer | 21 |
| 5.3.1 Lastkombinationer i brottgränstillstånd | 21 |
| 5.3.2 Lastkombinationer i bruksgränstillstånd | 21 |
| 5.5 Förband | 22 |
| 5.6 Resultat av dimensioneringsprocessen | 23 |
| 5.7 Fysiska modeller | 23 |
| 6 Diskussion | 25 |
| 7 Slutsats | 27 |
| Referenser | 28 |
| Bilageförteckning | 31 |

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola under våren 2023. Detta arbete har gjorts i samarbete med CSDC som även är beställare av bron. Utan hjälp av ett flertal personer hade vi inte kunnat nå de resultaten vi nu har uppnått. Därför skulle vi vilja tacka vår handledare Mozhddeh Amani universitetslektor och examinator Ignasi Fernandes docent på Chalmers. Samt Staffan Lindén och Marcus Davidson brokonstruktörer på COWI.

Vi vill även tacka Mats Ander för hjälp med MATLAB och beräkningsmodellen. Ett tack ska även riktas till samtlig personal i A-verkstaden för stöd och råd under modellbygget. Ett extra stort tack till Elin som med sitt engagemang gjorde det möjligt att förverkliga vår vision.

Slutligen vill vi tacka Mario Plos för att han gav inspirationen till vad som blev vårt slutliga brokoncept.

Göteborg 2023

Therese Haar

Simon Jobäck

Hossein Nabavi

Filippa Pamp

Elin Widén

Vendela Örndal

Ordlista

Brottgränstillstånd - Gränsen för tillståndet i en konstruktion där bärförmågan förloras

Brottyp - En gruppering av brokonstruktioner gällande dess primära bärverk

Bruksgränstillstånd - Gränsen för tillståndet i en konstruktion där en eller flera av dess funktioner gör förlorade

Dragband - En lina som fästs mellan en lutande konstruktions nedre delar för att bära dragkrafter

Elementarfall - Standardiserade fall för beräkningar av balkars reaktionskrafter och nedböjning

Fondresurs - En resurs som är oändlig i dess utnyttjande som exempelvis solljus.

Skjuvning - Deformation av ett element som orsakar en vinkeländring samt inte inverkar på volymen

Slitplank - Ett fasat trall som ofta används för gångbanor

Snedfibrighet - Imperfektioner i fiberriktningen i trä från kvistar som leder till icke raka fibrer och reducerad hållfasthet

Spännvidd - Avståndet mellan stöd på en brokonstruktion

Statiskt bestämt system - Ett system som kan beskrivas med hjälp av jämviktsekvationer

Sättning - Förskjutning av markyta från konstruktioner

Transversella laster - Laster som utsträcks i tvärsled på konstruktionen

Beteckningar

$G_{k,j}$ - Karakteristiskt värde för en permanent last

$Q_{k,i}$ - Karakteristiskt värde för den samverkande variabla lasten

$Q_{k,1}$ - Karakteristiskt värde för en enstaka variabel last

1 Inledning

Broar är något som människan har byggt och använt under flera tusen år för att ta sig över olika hinder. En stor utveckling i både teknik och material har skett och idag finns en mängd broar med olika egenskaper och verkningssätt. Trots utvecklingen kvarstår syftet med att sammanbinda platser, skapa genare vägval och ta sig över hinder. Broprojektering är viktig för att säkerställa brons säkerhet och att den uppnår de krav som ställs, både från staten men även från beställaren. Denna rapport analyserar vilket brokoncept som är bäst lämpad för en ny bro över Vallgraven i Göteborg, mellan Bastionsplatsen och Trädgårdsföreningen.

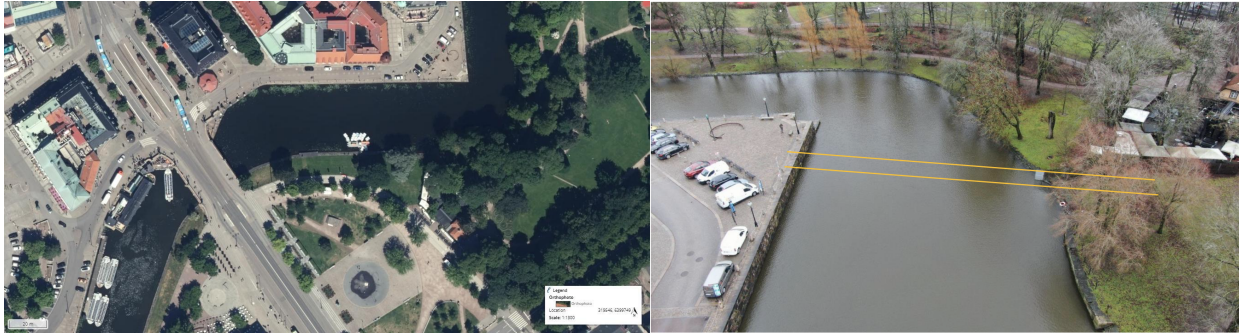
Denna rapport kommer att behandla arbetet med att utforma en ny gång- och cykelbro över Vallgraven i Göteborg. Rapporten behandlas genom ett inledande kapitel, följt av en teoretisk del som behandlar krav och förutsättningar för platsen. Utförandet delas in i två delar. Där urvalet av brokoncept behandlas i urvalsprocessen medan beräkningar och utformning av vald bro presenteras i resultatet.

1.1 Bakgrund

Enligt översiktsplanen för Göteborg ska innerstaden utvecklas genom att prioritera framkomligheten för fotgängare, cyklister samt kollektivtrafik (Göteborgs Stad, 2022). För att det ska vara möjligt att kunna cykla genom hela Göteborg behöver infrastrukturen omstruktureras. Med fler gång- och cykelvägar kommer både tryggheten och framkomligheten i staden öka, vilket är ett mål för Göteborgs stad. Detta sker dels genom att fler människor befinner sig i rörelse samt att separationen mellan gång- och cykeltrafiken och biltrafiken blir tydligare.

I dagens läge ligger det ett flertal broar över Vallgraven i Göteborg. En av dessa är Kungsportsbron. Över Kungsportsbron färdas människor med spårvagn, buss, bil och cykel men även till fots, vilket gör att bron är högt trafikerad. Stadsbyggnadskontoret vill pröva möjligheten av en gång- och cykelbro från Bastionsplatsen till Trädgårdsföreningen (Göteborgs Stad Stadsbyggnadskontoret, 2016), se figur 1A och 1B . Med en ny gång- och cykelbro skulle den nuvarande bron avlastas samtidigt som det skapar ett nytt gångstråk för staden. Genom den nya passagen sammanbinds två av innerstadens viktigaste gångstråk, Trädgårdsgatan och Kungsportsavenyn. Detta skapar även en genare väg och en starkare koppling mellan innerstadens täta gator och Trädgårdsföreningens grönska. Detta går i enlighet med målen för Göteborgs Stad.

Under sommaren 2023 kommer Göteborgs Stad att fira 400-årsjubileum (Göteborg & Co, 2023). En del av firandet är *Prototyp Göteborg*. Detta är en utställning där Göteborg stad vill bjuda in fler till att vara med i omställningen för ett mer hållbart samhälle. Flera pågående projekt kommer ställas ut under sommaren, allt från studentprojekt till storskaliga byggnader. Broprojektet är ett samarbete med CSDC, Chalmers Structural Design Challenge, som är beställaren av bron. Målsättningen med detta projekt är att det slutgiltiga brokonceptet ska byggas och ställas ut under *Prototyp Göteborg*.



Figur 1A. Bild över Bastionsplatsen och Bältesspännarparken. Bilden är hämtad från ScalgoLive.

Figur 1B. Bild över Bastionsplatsen och Bältesspännarparken där de gula strecken symboliserar platsen för bron. Bilden kommer från CSDC:s projektbeskrivning.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utarbeta ett brokoncept för en gång- och cykelbro i trä över Vallgraven mellan Bastionsplatsen och Bältesspännarparken i Göteborg. Olika brokoncept tas fram och utvärderas efter beställarens krav och förutsättningarna för platsen. Med angivna förutsättningar utses det mest lämpliga brokonceptet. Det utvalda konceptet har som syfte att skapa ytterligare en passage över Vallgraven, för att skapa en säkrare och genare väg. Slutliga syftet är att CSDC ska bygga bron och ställa ut på *Prototyp Göteborg*.

1.3 Problemställning

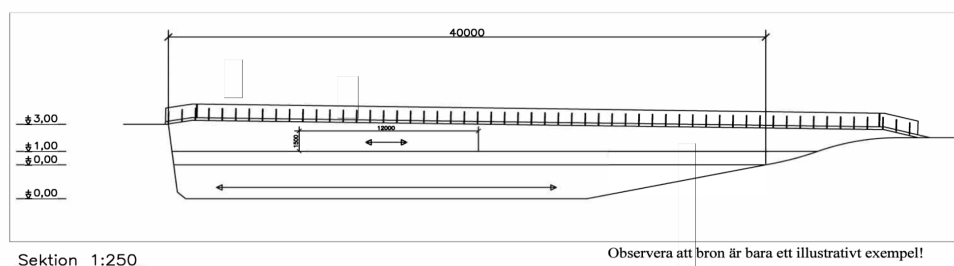
Idén för denna gång- och cykelbro är framtagen av CSDC, där vissa förutsättningar och avgränsningar är gjorda. Enligt uppgiftsbeskrivningen ska bron vara estetiskt tilltalande och dessutom samhällsekonomiskt försvarbar, se bilaga 1A. Detta innebär att projektet i sin helhet ska ta hänsyn till sociala, miljömässiga och kulturella aspekter på lång sikt (Naturvårdsverket, u.å.). En prototyp av det slutliga brokonceptet ska i samband med Göteborgs 400-årsjubileum byggas i skala 1:1 och därför är byggbarheten och återanvändning av bron viktiga aspekter att beakta.

Bron ska sträcka sig mellan Bastionsplatsen och Bältesspännarparken över Vallgraven, konceptuell bild kan ses i figur 1C. Kanalmuren har ett högt kulturvärde och inga laster som riskerar att göra inverkan får överföras till kajen vid Bastionsplatsen (Göteborgs stad, 1995). Detta innebär att inget stöd får anläggas på kanalmuren och någon typ av konsolförmöning kan bli aktuell som lösning. Den stenskodda delen av slänten mot Trädgårdsföreningen får inte heller enligt projektbeskrivningen vidröras, vilket innebär att brofästen behöver uppföras en bit längre upp på land. Bron ska ha en spännvidd på minst 12 meter. Detta för att möjliggöra obehindrad passage för båtar i båda riktningar. Samtidigt ska så få stöd som möjligt i Vallgraven premieras. Den lägsta frihöjden över högvatten ska vara 1,5 meter och brons fria bredd ska vara 4 meter. Vid utförande av schaktning, spontning eller påslagningsarbeten måste påverkan från dessa tas i beaktning. Samtlig av information är tagen från projektbeskrivningen se bilaga 1A.

Konstruktionsmaterialet för överbyggnaden ska i huvudsak bestå av limträ eller konstruktionsvirke, enligt projektbeskrivningen. Stål får som undantag användas till beslag och anslutningar för att möjliggöra en slankare och mer estetiskt tilltalande design. Dimensioneringen av bron utförs med hjälp av Eurokod och Trafikverkets krav och råd med en teknisk livslängd på 40 år (Trafikverket, 2011).

Med dessa förutsättningar ställs följande frågeställningar upp:

- Vilka brokoncept är lämpliga och vilka kriterier är sedan dominerande i urvalsprocessen?
- Vad blir det valda brokonceptets preliminära dimensionering?
- Hur begränsas design och formgivning av byggbarhet samt brons anslutningar i respektive ände?
- Uppfyller det slutliga brokonceptet kraven för estetik, beaktning av kulturvärde samt hållbarhet?



Figur 1C. Illustrativt exempel på brospannet med mått. Hämtad från CSDC:s projektbeskrivning.

1.4 Avgränsningar

Preliminär dimensionering av det valda brokonceptet utförs med förenklade beräkningsmodeller, beräkningar på detaljnivå försummas. Vid val av grundläggning genomförs endast en rimlighetsanalys för att få fram ett koncept som är genomförbart och lämpligt för platsen. Därmed beaktas inte grundläggningen i några beräkningar. Då det är en gång- och cykelbro som ska projekteras antas inget tillskott av buller vid användning. Däremot kan buller uppkomma under byggnationsperioden. Detta då moment som grundläggning och montering skulle kunna upplevas som störande. Eftersom detta är begränsat till en kortare period kommer ingen vidare hänsyn tas när det kommer till buller. I och med att bron ska vara ekonomiskt försvarbart samt miljövänligt undviks användning av stål och betong. Ekonomi och ekologi kommer diskuteras men ingen LCA- eller LCC-analys kommer att utföras.

1.5 Metod

Projektet utförs i två delar. Del ett avser val av brokoncept och del två avser utveckling och dimensionering av valt brokoncept. Arbetet organiseras i specialistgrupper inom områdena beställare och konstruktör, produktion och miljö samt underhåll. Beställare och konstruktion ansvarar för processen vid framtagandet av brokonceptet. De har en viktig del i att lyfta samhällets intresse när det kommer till bland annat trafikanter, ekonomi, miljö samt hållbar utveckling. En väsentlig del i att vara beställare är att identifiera samhällsliga risker vid val av bro. Produktion föreslår produktionsmetod för de olika koncepten och vidare redogör för temporära byggnader, exempelvis ställningar som kan behövas under produktionen. Identifiering av lämplig produktionsordning utförs för brokoncepten och vidare analyseras risker med hänsyn till produktion. Förvaltning och underhåll identifierar nödvändigt underhåll och skötsel för brokoncepten, exempelvis hur snö ska hanteras. Även nödvändiga inspektioner för de olika koncepten identifieras, samt en lösning för framtida önskemål om ökad trafiklast. En annan viktig bit är identifiering av risker kopplat till förvaltning och underhåll.

Den första delen inleds med ett intuitivt skede där förutsättningarna för platsen analyseras. En målbild för brokonceptet formuleras och därefter utarbetas olika alternativa koncept. Två urval genomförs för att utvärdera brokoncepten och optimera det slutgiltiga valet av bro. Det första

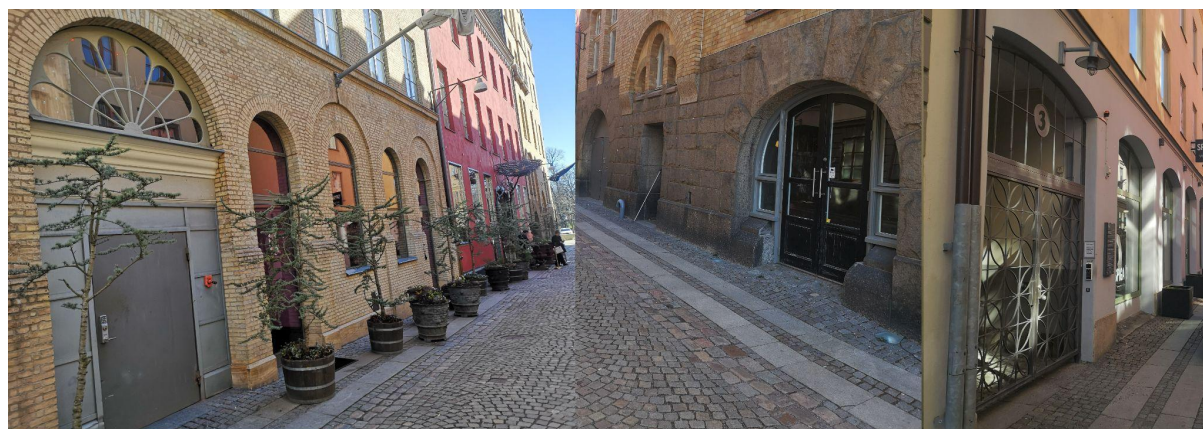
urvalet är en grov utvärdering med relativt breda förslag på koncept. Här analyseras egenskaper hos de olika broarna för att vikta broförslagen mot varandra. I det andra urvalet utförs en mer noggrann bedömning och egenskaperna viktas.

I den andra delen av projektet utförs en preliminär dimensionering av det valda brokonceptet. Konstruktionsberäkningar utförs i MATLAB och med hjälp av CALFEM. Vidare utformas även kritiska detaljer. Designaspekter tas i beaktning och en presentationsmodell av bron i mindre skala byggs.

1.6 Bedömning av samhällliga och etiska aspekter

Brokonstruktioner har en påverkan på samhället utöver dess direkta inverkan i transportnätet. Boende nära en byggplats kan påverkas av störningar och en förändrad stadsbild. För en gång- och cykelbro inträffar dessa störningar främst vid byggnation, till skillnad från broar trafikerade med högljudda fordon som kan störa både under bygg- och driftfasen.

Bebyggelsen inom Vallgraven ger upphov till en traditionell stadsbild av stort kulturhistoriskt värde som staden är mån om att bevara (Göteborgs Stad Stadsbyggnadskontoret, 2016). En stor andel av byggnaderna är från 1800-talet och gatumönstret är i stort sett oförändrat sedan 1600-talet. Detta skapar en viktig estetisk aspekt då bron bör passa in i områdets stadsbild. Bilder från Trädgårdsgatan som leder ner till Bastionsplatsen ses i figur 1D och är representativa för hur byggnationen i närområdet ser ut. Denna miljön kan bidra med inspiration för utformningen av konstruktionen.



Figur 1D. Bilder från Trädgårdsgatan som leder ner till Bastionsplatsen. Författarens egen bild.

Projektet har även en inverkan utanför närområdet både på människor och miljö. De etiska aspekterna kan beskrivas med ett hållbarhetstänk som är både socialt och ekologiskt. En etisk produktion bygger på hållbarhet och beror i stort på materialval och produktion. Trä som byggnadsmaterial är ett övervägande hållbart material med låga utsläpp. Svenskt trä har många fördelar i dess närproduktion, bra arbetsvillkor, främjande av återbruk och förbud mot kalhygge (Skogsstyrelsen, 2022). Utöver trä behövs det andra material till detaljer i form av stål. Det är viktigt att hitta material som är hållbart både relaterat till arbetsförhållanden och miljön.

Ett livscykelstänk är viktigt för den ekologiska hållbarheten. Det är därför viktigt att se hållbarheten över hela livscykeln och inte endast vid produktion. Trä har en förhållandevis låg beständighet och kort livslängd vid jämförelse med andra konstruktionsmaterial. Ur ett hållbarhetsperspektiv är det dock överlägset. Trä emitterar cirka 60% mindre koldioxidkvivalenter än betong (El Masry & Fridh, 2017; Pousette et al., 2014). Därför är trä ett ekologiskt försvarbart material.

2 Krav och förutsättningar

I detta kapitel kommer de krav och förutsättningar som finns för projektet att undersökas. Trä som konstruktionsmaterial beskrivs likväl som de geotekniska förutsättningarna. De tre undergrupperna i projektet presenterar även olika synvinklar och krav som ställs på en bro. De tre undergrupperna är beställare och krav, produktion och underhåll. Även ekonomiska aspekter kommer att behandlas i kapitlet.

2.1 Konstruktionsmaterial trä

Trä som byggnadsmaterial har använts i tusentals år och har en rik historia. Från enkla stockar och stolpar till avancerade konstruktioner och träpaneler. Trä har varit en viktig del av många olika arkitektoniska stilar och byggnadstekniker (Skogsindustrierna, 2020).

I tidiga civilisationer användes trä i första hand för enklare byggnader och bostäder, men med tiden utvecklades teknikerna för att använda trä och flera storskaliga projekt blev möjliga. Under industrialiseringen på 1800-talet användes trä också som en viktig komponent i byggnation av broar och järnvägssystem.

Allt eftersom byggnader och konstruktioner blivit större och högre har trä ersatts av material som betong och stål, som tål större laster och ger längre spännvidder. Men både betong och stål har en stor inverkan på miljön och i omställningen till ett mer hållbart byggande besitter trä en viktig roll. Nya byggnadsprocesser och materialbearbetningar behöver utvecklas för att för att kunna öka användandet av trä (Svenskt trä, u.å).

De tre vanligaste konstruktionsmaterialen när det gäller broar är trä, stål och betong. De olika materialen gör det möjligt för olika designer och skapar olika förutsättningar. Inom detta projekt finns ett krav från beställaren att konstruktionsmaterialet ska vara trä. Nedan beskrivs översiktligt om trä och i bilaga 2A beskrivs även kortfattat om betong och stål.

Trä är ett organiskt material, vilket innebär att inga föroreningar tillförs naturen av materialet i sig (SFV, 2021). Detta gör det till ett miljövänligt och hållbart val vid brokonstruktion. Vidare är trä också ett byggnadsmaterial som har många estetiska egenskaper (Svenskt Trä, 2016). Varje trästycke har en unik ådring och textur som ger karaktär och möjlighet till variation och kreativitet. Vid användning av trä skapas ett inbjudande och varmt intryck och kan bidra med en harmonisk koppling till omgivande natur och miljö. Trä kan också åldras vackert och utveckla en patina som även den ger en mer distinkt och intressant karaktär.

Trä är ett anisotropt material vilket innebär att det har olika egenskaper i olika riktningar (Svenskt Trä, 2021). Detta beror på träets fiberstruktur och växtsätt och resulterar i att det är som starkast längs fibrerna och betydligt svagare vinkelrätt fibrerna. Hållfastheten är som störst då träet blir draget och minst vid skjuvning. Störningar som kvistar och snedfibrighet reducerar både hållfasthet och elasticitet. Trä är ett material som är väldigt starkt i förhållande till sin vikt vilket därför gör det lättarbetat. Då det även är möjligt att bearbeta och forma på plats blir det mer flexibelt än många andra konstruktionsmaterial som ofta måste prefabriceras långt i förväg på annan plats.

Nackdelar med trä är att det är känsligt för angrepp från mikroorganismer som kan bryta ner fiberstrukturen, samt olika typer av rötsvampar som trivs i fuktiga miljöer. Fukt tillför en stor problematik inom all byggnation och är den främsta orsaken till nedbrytning av trä och försvagning av dess hållfasthet. Röta förkortar träets livslängd väsentligt, det är därför av största vikt att utförligt fuktskydd tillämpas, för att förebygga angrepp (SFV, 2021).

Eftersom trä är ett brännbart material antänds det lätt när det blir utsatt för brand (Svenskt Trä, 2017). För att detta ska kunna ske krävs temperaturer mellan 250 och 300°C. Då frigörs gaser som när de når syre börjar brinna. När trä börjar brinna bildas ett skyddande kollager, vilket saktar ner inträngningen av förbränningen. Detta resulterar i att de obrända delarna av träet bibehåller sin hållfasthet även under långvarig brandpåverkan. Med hänsyn tagen till hur brandrisken för trä ser ut kan det vara ett relativt brandsäkert material medan stål och betong kan bete sig mer oförutsett (Skogsindustrierna, 2006).

2.1.1 Impregnerat virke

Det finns flera olika typer av behandlingar för trä för att förbättra dess beständighet. En av de vanligaste är impregnering, en industriell process där ett träskyddsmedel får tränga djupt in i träet. Antingen görs det med hjälp av tryck eller med vakuum (Svenskt trä, 2003). Medlet för tryckimpregnerat trä innehåller ofta koppar vilket ger virket dess karaktäristiska gröna färg medan vakuumimpregnerat virke förblir ofärgat. Impregnering ger skydd mot rötsvampar men har svårare att skydda mot missfärgande svampar som blånad och mögel. Efter användning ska impregnerat trä omhändertas av kommunen och får endast under särskilda omständigheter brännas då det innehåller metallsalter. Ofta förbränns det på speciella anläggningar gjorda för detta.

Enligt Svenskt trä (2003) är det främst furu som impregneras och det får då olika träskyddsklasser benämnda NTR X, som är en utarbetad branschstandard av Nordiska Träskyddsrådet. En av dessa träskyddsklasser är NTR A och ska användas då: "Trä av furu i kontakt med mark eller sötvatten samt konstruktioner ovan mark där personsäkerheten kräver att det inte försvagas eller som kan vara svåra att inspektera eller byta ut", enligt samma standard (Svenskt trä, 2003). Denna klass har flera användningsområden och rekommenderas att användas vid byggnation av bland annat broar.

2.2 Grundläggning och infästning

Det finns olika typer av grundläggning för broar. De krav som måste beaktas vid konstruktion av grunden är säkerheten mot markbrott och sättningar för bron, samt sättningar för omgivande konstruktioner och vägar (Brosamverkan, 2022). Vid val av lämplig grundläggning utförs först en geoteknisk undersökning av platsen. Med de geotekniska undersökningarna kan till exempel karaktäristiska jordarter och uppgifter om jordlagerföljd tas fram. Vilket är information som krävs för dimensioneringen av grunden. För att fastställa grundläggningssätt och grundläggningsnivå krävs kunskaper om bland annat grundvattennivå, närhet till befintliga konstruktioner, brotyp och arbetsutförande. Det finns generellt sett två olika typer av grundläggning, plattgrundläggning och pålgrundläggning. Vidare beskrivning av olika grundläggningstyper finns i bilaga 2B.

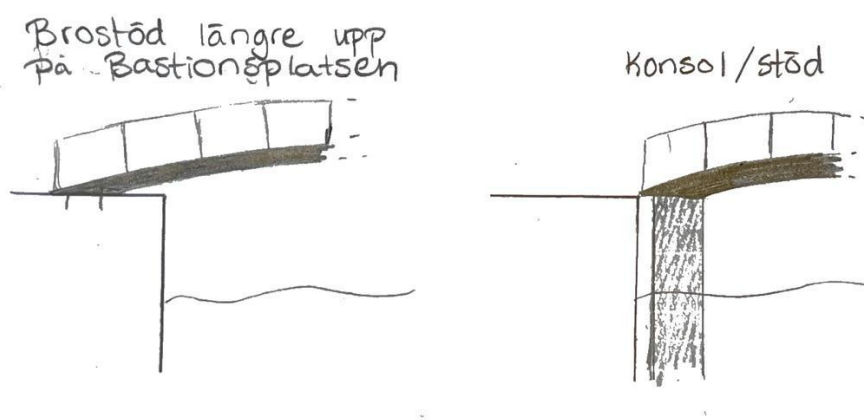
2.2.4 Geotekniska egenskaper för platsen

Under detta projekt utförs inte några geotekniska undersökningar. Det kommer på grund av detta inte finnas tillräckligt med underlag för att kunna göra en utförlig bedömning av grundläggningen. Med hjälp av en jordartskarta över Göteborg kan det fastställas att det är postglacial lera i eller nära markytan (Sveriges geologiska undersökning, 2015). Postglacial lera är en typ av kohesionsjord. Leran gör att marken har en lägre bärighet än om det till exempel skulle vara berg. På grund av detta är det mycket viktigt med en bra och noggrann grundläggning, för att få en bra stabilitet och små sättningar. Vid val av grundläggningsalternativ krävs kännedom om de olika lagrena i marken men även på lerans

packningsgrad. Detta för att kunna avgöra om plattgrundläggning är tillräckligt bärande, för den relativt lätta bron, eller om pålning krävs.

I bronns södra ände som vetter mot Bältesspannarparken är det en stensködd slänt som måste beaktas. Eftersom att marken består av kohesionsjord är hållfastheten beroende av vatteninnehållet i jorden (Hultén, 2005). Vid ett ökat vatteninnehåll minskar hållfastheten på grund av att spänningarna mellan kornen minskar.

Vid bronns nordliga ände är kanalmuren av högt kulturvärde och inga laster får överföras från bron. Detta resulterar i att infästningar på sidan av kanalmuren inte är möjliga. Två förslag är att låta bron gå längre upp på bastionsplatsen eller att bygga en konsol (stöd) i vattnet precis vid kanalmuren, se figur 2A. Ett annat alternativ är att rusta upp kanalmuren för att tåla den nya lasten, men på grund av murens kulturvärde anses detta inte vara ett alternativ.



Figur 2A. Figuren visar skisser av de två alternativen till grundläggning vid kanalmuren. Författarens egen bild.

2.3 Beställare och krav

För broar finns det krav och regelverk som måste följas. Dessa gäller exempelvis det fria rummet. Detta är det minsta utrymmet som krävs på en körbana för effektiv och säker trafik (Brosamverkan, 2022). Rummets storlek fastställs utefter krav på fri höjd och bredd. När det kommer till broar, hänvisar ofta begreppet till trafiken under konstruktionen. Regelverk för fritt utrymme såväl ovan som under bron, anges i Trafikverkets regelverk “*Krav för vägars och gators utformning*” (2022). Då bron skall sträcka sig över Vallgraven måste unik form av sjötrafik tas i beaktning. Exempelvis skall Paddan, en sightseeing båt i Göteborg, kunna passera under bron. Enligt CSDC:s beskrivning skall även två båtar kunna mötas under bron.

2.3.1 Krav och råd för gång- och cykelbro

Göteborg Stad följer Trafikverkets krav och råd gällande gång-och cykelbroar (Göteborg Stad, 2022). Bron utsätts för en last från dess egentyngd utifrån dess geometri och materialparametrar. Den ska även dimensioneras för både utbredd och koncentrerad last i vertikalled. Den utbredda lasten ska uppgå till 5 kN/m^2 för att efterlikna ett scenario där hela bron belastas av en folkmassa. Koncentrerad last ska sättas till 10 kN/m^2 . Underhålls- eller utryckningsfordon ska kunna passera bron, underlag för ett sådant typ av fordon finns i Svensk Standard SS-EN 1991-2. Det är viktigt att korrekt skyltning över vilken typ av trafik som får förekomma på bron finns. Den dimensionerande horisontallasten ska utgöra den största,

antingen tio procent av den utbredda lasten, eller sextio procent av lasten för underhålls- eller utryckningsfordon. Lastkombinationer ska beräknas i bruks- och brottgränstillstånd och laster som kan uppstå under byggskedet bestäms enligt Svensk Standard SS-EN 1990. Vidare ska en dynamisk analys genomföras av gång- och cykelbro med spännvidd över 40 meter, så att tänkbara egenfrekvenser för fotgängare inte överensstämmer med brons egenfrekvenser (SIS, 2011). Enligt Trafikverkets krav för Vägar och gators utformning (2020) måste räcket för en gång- och cykelbro, över vatten djupare än en halvmeter, vara minst 1,4 meter. När det kommer till vindlast, anger TRVINFRA-00227 för olika brotyper där beräkning krävs. Detta gäller exempelvis för bågbroar och broar med tak. Snölast skall beräknas där snöröjning ej utförs, exempelvis om vallbildning vid räcket kan uppstå (Trafikverket, 2021).

2.3.2 Mänsklig upplevelse

Räcken har en stor inverkan på den mänskliga upplevelsen av bron. Utöver estetiken påverkar även utformningen av räcken hur bron används. Om utformningen möjliggör vila på räckena blir bron mer av en mötesplats medan annars fungerar den endast som övergång. Hur en bro upplevs, framför allt i säkerhetsupplevelsen, är en viktig aspekt som kan ge en stor påverkan med små förändringar. Uppfattningen är mer relevant för gång- och cykelbroar då människor kommer mycket närmare konstruktionen än inuti ett fordon (Baus & Schlaich, 2008). Även den större benägenheten att stanna och passera en gångbro i rekreationssyfte gör att dessa broar används i ett mer varierande syfte av trafikanter. Olika former av stöd och sittplatser påverkar också bron på ett liknande sätt och kan skapa mer av en mötesplats kring bron om så önskas.

Belysning är ytterligare en aspekt som har inverkan på trafikanters anseende av en gångbro (Baus & Schlaich, 2008). Om en bro är dåligt belyst kan den upplevas som obehaglig att passera. Halkrisk som påverkas av underlag och lutning har också en inverkan på hur säker en bro upplevs. Tillsammans med många mindre estetiska aspekter kan belysning och underlag därför påverka flödet över bron. Detta är en relativt unik egenskap för gång- och cykelbroar eftersom den har ett större rekreationellt syfte. På grund av detta kan bron undvikas i helhet om den upplevs som osäker. En osäker bro kan även leda till alternativt färdssätt och transportmedel. Detaljerna vid en gång- och cykelbro får därför en stor inverkan på användandet och upplevelsen av konstruktionen än vid vägbroar.

2.3.3 Hållbar utveckling

Hållbarhetsaspekter är en stor anledning till att träbroar konstrueras än idag, istället för de mer konventionella alternativen. En stor aspekt av träs hållbarhet kommer från att det är en förnybar fondresurs (Abelsson et al., 1998). Eftersom grunden i trä är förnybart är det behandlingen som står för den största andelen av miljöpåverkan. Behandlingen bestämmer till stor del livslängden för konstruktionen så ett livscykel tank är viktigt att användas.

Majoriteten av utsläppen sker vid produktion, dock kan även medlet som används för att öka beständigheten också orsaka utsläpp till vattnet där bron är byggd (Eriksson, 1999). Detta är främst syreförbrukande ämnen som bidrar till övergödning som finns i färgen. Även människor kan ta skada av behandlingen av trä, framför allt vid produktion då många medel är cancerframkallande. En ytterligare faktor som påverkar eutrofieringen från träkonstruktioner är de ofta relativt stora transporterorna jämfört med andra material. Behandlingarna som träet utsätts för sker på många olika platser vilket leder till en stor inverkan på transport (Abelsson et al. 1998). Transporterna medverkar även till försurning och skapandet av marknära ozon (Eriksson, 1999).

Träbroars inverkan på global uppvärmning kommer främst ifrån stålet som används till detaljer (El Masry & Fridh, 2017; Pousette et al., 2014). En stor del av konstruktionsdelarna i broar

med större spännvidder behöver utformas i andra material än trä. Detta gäller framför allt infästningar vars material ofta har en större miljöpåverkan än trä. Vid kortare spännvidder och gångbroar som ger upphov till lägre laster kan användningen av metaller reduceras. Detta skapar en ytterligare reduktion än LCA beräkningarna från Masry och Fridhs jämfört med betongkonstruktioner.

2.4 Produktion

För att producera broar krävs olika produktionsmetoder och logistiska metoder beroende på material, platsens förutsättningar och brokoncept. Det är även viktigt att produktionsmetoden planeras noggrant, då ändringar under byggprocessen kan skapa stora kostnader.

2.4.1 Produktionsmetoder för träbroar

Det vanligaste och mest effektiva sättet för brokonstruktion i trä är prefabricering (Pousette, 2008). Genom detta produktionssätt ökar noggrannheten för utförande av till exempel passning och sågning av delarna. Prefabricering är även lämpligt vid mer komplexa konstruktioner. Eftersom konstruktionen kan prövas i en kontrollerad miljö innan den fraktas till platsen. Det ska även tas i beaktning att det är mer ekonomiskt lönsamt att välja ett brokoncept med en prefabricerad bro (Ritter, 1990). En annan aspekt att ha i åtanke vid prefabricering av träbroar är att tiden för byggnation på platsen kortas ner markant jämfört med platsbyggnation (Abelsson et al, 1998). När prefabricerade delar ska monteras kommer det fram obehandlat material genom till exempel sågning (Ritter, 1990). Detta kan undvikas genom att montera klart hela konstruktionen i fabriken.

2.4.2 Logistik

Vid montering av mindre prefabricerade träbroar, är det möjligt att transportera bron färdigmonterad och enbart lyfta den på plats (Pousette, 2008). Större prefabricerade träbroar kräver att delar transporteras separat till platsen. Den påverkan som prefabricerade broar har på trafik och omgivande miljö är mindre jämfört med platsbyggnation. Detta då montering sker under en kortare tid, samt att det inte krävs lika stor mängd temporära konstruktioner under byggnationstiden. Det virke som används vid platsbyggnation behöver skyddas från vind och nederbörd, så att det inte skadas av fukt (Ritter, 1990).

Lyftkranar är det som oftast används vid montering av träbroar (Ritter, 1990). Eftersom trä är ett lätt konstruktionsmaterial krävs inga tunga kranar för att lyfta komponenter på plats. Beroende på om det är limmat trä och hur konstruktionen ser ut är det viktigt beakta vilket typ av lyft som ska utföras. Nylonlinor är att föredra vid lyft av trädetaljer, för att undvika att materialet kommer till skada.

Transport av trä till byggarbetsplats sker oftast med lastbilar, detta alternativ är också det mest ekonomiska (Ritter, 1990). Vid transport med lastbil är storleken på elementen begränsande, framför allt ur ett ekonomiskt perspektiv (Träguiden, 2017). Kostnaden ökar med större och tyngre delar, vilket gör att det kan vara mer lönsamt att konstruktionen fraktas i mindre bitar till plats.

2.4.3 Produktionsförutsättningar för platsen

Platsen för bron har flera begränsningar gällande produktion. Dels gör slänten på södra sidan att det är svårt att komma fram med lyftkran, dels får inte för stora laster föras ner på Bastionsplatsen.

För ett koncept med en prefabricerad bro kommer konstruktionen att transporteras till platsen på trailer, för att sedan lyftas på plats med lyftkran. Placeringen av lyftkran är lämpligast på Bastionsplatsen en bit in från kajkanten. Detta koncept kommer att resultera i en liten påverkan på omgivningen då monterings tiden blir relativt kort.

Ett koncept med platsbyggnation kräver att det byggs temporära konstruktioner i Vallgraven, för att det ska vara möjligt att konstruera bron. De temporära konstruktionerna kommer framför allt att vara i vattnet. Förvaring av virket är mest lämpligt på Bastionsplatsen med ett skydd ovanpå, för att det ska kunna skyddas från fukt från marken och från nederbörd. Med platsbyggnation kommer påverkan på omgivningen att öka. Framför allt genom att trafiken i Vallgraven behöver stängas av under en längre tid samt att en del av biltrafiken kommer att begränsas.

2.5 Förvaltning och underhåll

Inspektion av broar är avgörande för att säkerställa prestanda, säkerhet och även dess bärighet. För att förebygga skador, deformationer och andra eventuella problem krävs det att inspektioner görs med jämna mellanrum enligt Trafikverkets krav (2015). Med inspektioner kan skador hittas och åtgärder vidtas för att bron ska upprätthålla sin stabilitet under en längre period. Enligt Trafikverket (2015) finns det idag fyra typer av inspektioner vars syfte beskrivs enligt nedan.

Syftet med översiktlig inspektion är att säkerställa att kraven gällande underhållsentreprenaderna är uppfyllda. Denna inspektion utförs av personal med god kännedom av lämpliga mätmetoder samt broarnas konstruktionsmässiga uppbyggnad och verkningssätt.

Allmän inspektion syftar på skador som har identifierats vid senaste inspektion som inte har åtgärdats. Inspektionen har också som mål att identifiera och utvärdera eventuella skador som skulle kunna resultera i otillfredsställande bärighet eller bristande trafiksäkerhet. Även skador som ger en betydande ökning av förvaltningskostnaderna utvärderas. Inspektionen omfattar samtliga konstruktionsdelar utom element i vatten.

Vid huvudinspektion genomförs inspektionen vid ett intervall på maximalt sex år. Detta har för avsikt att upptäcka och bedöma brister som skulle påverka bronns funktion eller trafiksäkerheten inom en tioårsperiod. Målet är även att identifiera brister, vilka om inga åtgärder vidtas inom den angivna tidsramen, kan leda till ökade förvaltningskostnader. Inspektionen omfattar konstruktionens alla element samt anslutande delar som vägbankar, bergskärningar, slänter, koner, fyllningar, erosionsskydd och ledverk. Dock gäller kravet inte för oåtkomliga ytor som exempelvis påldäck, detta beror på att påldäck ofta ligger under mark. Första inspektionen av nybyggnation ska senast ske innan slutbesiktning utförs.

Särskild inspektion avser inspektion av enskilda element för att göra specifika mätningar vid behov och därmed finns det inga krav på tidsintervallet.

När det kommer till betong och stålbroar, är det oftast korrosion som utgör den största risken för skador som kan förebyggas med hjälp av underhåll (Pousette et al., 2002). För träbroar som i detta projekt är det fuktabsorption och röta som leder till skador och därmed minskad hållfasthet och beständighet. Risken för skador är som högst då träets fuktkvot överstiger 20% under längre tidsperioder. Eftersom röta och fukt förkortar träets livslängd krävs det att underhåll och åtgärder sker med jämna mellanrum. Flagnande ytbehandling, dålig avtäckning, lösa förband, sprickor i oskyddade balkar och ändträ samt läckande övergångskonstruktioner är de vanligaste problemen som förekommer om inte inspektion och underhåll sker (Svenskt

trä, 2003). Nödvändiga underhållsåtgärder för träbroar blir därför ommålning av målade och behandlade trätytor med ståldetaljer, reparation av sliten vägbeläggning och rengöring av smuts. Andra underhållsåtgärder kan vara byte av kantbalkar, räcken och tätskikt som blivit uttjänta (Trafikverket, 2023). Syftet med dessa åtgärder är att skydda konstruktionen mot väder och annan fysisk, kemisk eller mekanisk påverkan men även att upprätthålla konstruktionens estetik.

2.6 Ekonomi

I samband med projektering av bro är det viktigt att ta hänsyn till ekonomiska aspekter (Träguiden, 2015). Ultimat ska bron ha en genomtänkt lösning, fungera väl och ha en låg totalkostnad. En fördel med att bygga i trä är den korta byggtiden, detta i sin tur minskar bland annat uppehåll i trafiken. En rapport om över 400 amerikanska broar från USA:s jordbruksdepartement att träbroar har en jämlig kostnad till stål- och betongbroar per kvadratmeter (2001). Variationen i pris var dock större för trä där den största påverkande faktorn var geografi. Konstruktionen var som billigast i de norra områdena där klimatet och skogstäcket efterliknar Sverige.

För att öka lönsamheten för en konstruktion ligger vikten i att det finns en tydlig produktionsplanering (Brosamverkan, 2022). Ett mer tidseffektivt arbete och att det är tekniskt genomförbart är viktiga delar i kostnaden för produktionen. Transportkostnaderna för material och konstruktionsdelar varierar beroende på projektets position. Närhet till sågverk och produktion av prefabricerade konstruktioner kommer att påverka kostnaderna, detta genom en kortare transport som leder till mindre kostnader. Trä har en låg egenvikt i förhållande till sin kapacitet. Detta medför att kostnaderna för transporter blir lägre i jämförelse med betong.

Svenskt trä (2003) skriver att enligt en tysk studie som utfördes åren 1985 till 1986 var underhållskostnaderna för broar i trä billigare än vad man tidigare trott. Detta jämfört med betong och stålbroar där underhållskostnaderna blev betydligt högre. I studiens beräkningar framgick det att kostnaderna endast utgjorde cirka 1-1,8% av byggkostnaderna beroende på brons utformning. Dessa kostnader kan minskas ytterligare om underhållet är väl utfört och när ett bättre konstruktivt skydd används. Genom att sköta underhållsarbeten minskar risken för större skador och konstruktionens liv kan förlängas. På så sätt kan byggandet av en ny bro undvikas vilket även det främjar ekonomin.

3 Urvalsprocess

Urvalet görs i två steg, där det första urvalet utvärderar lämpliga brotyper och andra urvalet utvärderar koncept som har tagits fram. Utvärderingen kommer att göras utifrån krav och förutsättningar som behandlas i kapitlet.

3.1 Första urvalet

I tabell 3A nedan uppvisas de brotyper som kan konstrueras i trä. I det första urvalet ansågs spännvidd och estetik vara viktiga kriterier. Utifrån dessa kriterier samt om brotypen är lämplig som gång- och cykelbro, väljs fyra ut. De valda brotyperna är plattbro, balkbro, fackverksbro och bågbro.

Tabell 3A. Vanliga brotyper för träkonstruktion med tillhörande egenskaper.

| Brotyp | Normal spännvidd | Lämplig spännvidd | Estetik | Kommentar | Valda brotyper |
|----------------|------------------|-------------------|---|-----------------------------------|----------------|
| Plattbro | 5-30 | x | Lätt att ändra design utifrån omgivningen | lämplig för GC-bro | x |
| Balkbro | 5-30 | x | Lätt att ändra design utifrån omgivningen | lämplig för GC-bro | x |
| Fackverksbro | 10-40 | x | Lätt att ändra design utifrån omgivningen | lämplig för GC-bro | x |
| Hängverksbro | 10-50 | x | De pylonerna som denna brotyp kräver kommer att sticka ut i stadsbilden | Används oftast som vägbro | |
| Sprängverksbro | 20-40 | x | De pylonerna som denna brotyp kräver kommer att sticka ut i stadsbilden | Används oftast som vägbro | |
| Bågbro | 20-70 | x | Lätt att ändra design utifrån omgivningen | Används både som väg- och GC bro | x |
| Hängbro | 20-100 | | | Mer lämplig för stora spännvidder | |
| Snedstagsbro | 20-100 | | | Mer lämplig för stora spännvidder | |

3.1.1 Plattbro

Plattbroar byggs ofta för kortare spännvidder och broplattan får därför en relativt låg konstruktionshöjd (Poussette, 2008). Den bärande konstruktionen är plattan som är styv i tvärled och utgörs ofta av limträbalkar som limmas eller spikas ihop. Brotypen är till stor del ett ekonomiskt försvarbart alternativ och används därför ofta för att hålla kostnad nere. Plattbrons neutrala utseende gör att den lätt kan anpassas efter dess omgivning, se figur 3A. Konstruktionshöjden kan bli avgörande i projektet då kravet för den fria höjden under bron ska uppfyllas. Detta gör plattbron till ett relevant alternativ för konstruktionen.



Figur 3A. En möjlig plattbro inritad på platsen. Författarens egen bild.

3.1.2 Balkbro

För en balkbro är spännvidden upp emot 20 till 30 meter lång (Poussette, 2008). Det vanligaste materialet som används för balkbroar är limträbalkar. Vid långa spännvidder kan konstruktionshöjden öka ogynnsamt. Ett alternativ kan vara att öka antalet balkar, för att minska konstruktionshöjden. Balkbron blir ett enkelt statiskt bestämt system, med huvudbalkar och tvärbalkar som blir bärande i konstruktionen. Fackverk används ofta mellan huvudbalkar så att de transversella lasterna ska kunna tas upp. Med den enkla strukturen finns det möjlighet att forma ett räcke med ett mer tilltalande utseende, se figur 3B.



Figur 3B. En möjlig balkbro inritad på platsen med ett utsmyckat räcke. Författarens egen bild.

3.1.3 Fackverksbro

Fackverket används ofta som räcke och sitter på sidan av gång- och cykelbroar (Poussette, 2008), se figur 3C. Detta fungerar bäst med en bredd på körbanan upp till cirka 3,5 meter. Beroende på hur det är ledat i knutpunkterna kan fackverket fördela olika typer av last. Om det är ledat förbundet i knutpunkterna kan det endast ta tryck och drag. Medan om det är böjstyvt förbundet tillkommer även moment.



Figur 3C. En möjlig fackverksbro inritad på platsen med. Författarens egen bild.

3.1.4 Bågbro

Bågarna i bågbro kan varieras genom att placeras ovanför eller under körbanan. Det är mycket vanligt att man delar upp bågen, vilket både underlättar transporten men även för att systemet på så sätt blir ett statiskt bestämt system (Poussette, 2008). Bågverkan ger upphov till både vertikala och horisontella krafter. För att kunna ta upp de horisontella krafterna leds lasterna genom sidobalkar eller dragband. Alternativt behöver upplagen vara utformade på ett sådant sätt att de kan motstå de horisontella krafterna som uppstår. Bågbro i trä kan vara ett kostsamt alternativ, då böjda limträbalkar kan vara svåra att framställa. Ett exempel på en bågbro som inte består av böjda limträbalkar är Mathematical Bridge. Denna bro består av raka element som är tangenter till en cirkel vilket skapar en bågformad struktur.



Figur 3D. En möjlig bågbro med fackverksrücke inspirerad av Mathematical Bridge i Cambridge. Författarens egen bild.

3.1.5 Broar som inte nådde upp till krav

Från tabell 3A nämns även broar som inte anses lämpliga för platsen. Dessa är hängverksbro, sprängverksbro, hängbro och snedkabelbro. För hängbroar och snedkabelbroar är spännvidden obehövt stor. När de kommer till hängverksbroar och sprängverksbro används dessa typer av broar ofta till vägbroar. Eftersom att denna bron ska vara en gång- och cykelbro samt att brotyperna inte kommer kunna skapa en enighet med stadsbilden är dessa två typer inte valda. Hängverksbro och sprängverksbro valdes inte i urval ett då de höga pylonerna inte passar estetiskt in i stadsbilden, samt att dessa koncept inte blir ekonomiskt försvarbara.

3.2. Andra urvalet

Utifrån brotyperna från urval ett har fyra olika brokoncept utvecklats och har viktas med hänsyn till framtagna kriterier. En mer utförlig beskrivning av koncepten finns i bilaga 3A. Ett slutgiltigt brokoncept väljs och en beräkningsmodell fastställs. Vidare utförs även en riskanalys.

3.2.1 Riskanalys

Det finns flera risker som behöver tas i beaktning vid projektering av en bro. De aspekter som tagits med i riskanalysen är risk för brand, påkörning och personskada. Analysen begränsas till dessa tre till följd av projektets omfattning. Vid större projekt bör även risker som bristande ekonomi och miljöpåverkan undersökas och utvärderas. Byggtid kan ha stor inverkan både på projektets ekonomi och personerna som bor i området. Även detta bör undersökas om delar av projektet löper risk att försenas.

Brand

För att minska risken för brand kan olika typer behandlingsmetoder användas. Brandskyddande behandling kan förbättra träets brandegenskaper (Träguiden, 2022), och därmed höja dess brandklass. Vid tillräckligt kraftig brand har behandlingen ingen effekt, det är i första hand antändningen som försvåras. Brandskyddsbehandling påverkar inte förkolningshastigheten och är därför verkningslöst för bärverk. Om brand uppstår är det även viktigt att räddningstjänst har tillgång till platsen för att utföra släckningsarbete.

Alla brokoncept från det första urvalet löper samma risk att utsättas för brand då de är gjorda av trä. För att göra koncepten mindre brandfarliga skulle med fördel räcknet kunna ytbehandlas för att minska risken för brand i samband med sabotage. Detta eftersom räcknet är den mest lättillgängliga delen av konstruktionen.

Påkörning

Påkörning kan ske huvudsakligen från båttrafik i Vallgraven men även från trafiktyper som bron inte är menad för. För att motverka påkörning från båttrafik är det viktigt att korrekt fri höjd och bredd uppförs. För att säkerställa att obehöriga fordon inte kan komma upp på eller köra in i bron från Bastionsplatsen eller Trädgårdsföreningen kan infartshinder tillämpas. Dessa måste dock utformas på ett sådant sätt att gående, cyklister och servicefordon kan ta sig fram obehindrat.

Påkörningsrisken är lika stor för de broar som har helt plana konstruktioner. Bågbron kommer ha en högre frihöjd än övriga koncept och därför är sannolikt risken för påkörning från båttrafik mindre för detta koncept.

Personskada

Risk för personskada kan uppstå vid flera olika tillfällen, vilket måste beaktas vid konstrueringen av broar. Vid inspektion ska inspektören kunna utföra sitt jobb på ett säkert sätt utan risk för fall eller skada. Om gångbanan blir hal till följd av nederbörd ska detta motverkas i form av ytbehandling och snöröjning. Detta för att undvika att gående eller cyklister ramlar och skadar sig. Utformningen av räcknet kan leda till att klättring kan förekomma. Detta kan resultera i fall, antingen tillbaka ner på bron eller i vattnet. Risk för kollision mellan olika typer av trafikanter kan uppstå om vägbanemarkeringar är otydliga. Det är viktigt att riktning och placering går att utläsa för att undvika personskada.

För de fyra valda brokoncepten är risk för personskada relativt lika. Det koncept som sticker ut är bågbron, som med sin lutande farbana, kan bli farligare än övriga när den blir hal. Banans

utformning skulle eventuellt även kunna påverka framkomligheten för snöröjningsfordon på ett negativt sätt.

Då de fyra koncepten alla har sina egna för- och nackdelar är det inget koncept som framstår som bättre eller sämre ur ett riskanalysperspektiv. Då koncepten anses vara likvärdiga går de alla vidare till andra urvalsprocessen.

3.2.2 Utvärderingskriterier

Till urval två används kriterier för att vikta de olika brokoncepten mot varandra. Urvalskriterierna som används visas i tabell 3B. Kriterierna är utvalda för att behandla en mångfald av önskvärda egenskaper hos bron. Nedan listas utvärderingskriterierna.

Estetik

Estetik behandlar brons utseende bortkopplat från omgivningen. Bron bör ha ett unikt och slående utseende, samtidigt som den ska vara estetiskt tilltalande. Subjektiviteten är en stor faktor i kriteriet.

Överkapacitet

Kriteriet om överkapacitet berör hur konstruktionen klarar av laster utöver de dimensionerande. Dessa laster kan vara nya tyngre servicefordon.

Passa in i stadsbilden

Hur konstruktionen passar in i stadsbilden är ett sammankopplat kriterium som behandlar estetiken i samband med omgivning. Brons design och stil i samverkan med konstruktionerna i närområdet behandlas. Designen kan sticka ut om den fortfarande samverkar med övriga konstruktioner.

Produktion och Transport

Produktion påverkas av hur avancerade metoderna till produktionen är och då hur kostsamt och tidskrävande processen blir. Även mängden stödkonstruktioner som används och deras komplexitet tas i hänsyn.

Materialanvändning och Hållbar utveckling

Materialanvändning är den primära hållbarhetsaspekt som är beroende av konstruktionstyp. Kriteriet behandlar därför hur mycket samt vilket material som används i hållbarhetssynpunkt och växthusgasutsläpp.

Trafik och Framkomlighet

Trafik- och framkomlighetskriteriets utvärdering baseras på hur lätt det är att passera bron. Detta är bland annat för rullstolsburna och cyklister, den största faktorn är lutningen av konstruktionen.

3.2.3 Viktning av utvärderingskriterier

I tabell 3B nedan viktas de framtagna kriterierna mot varandra. Siffran 0 innebär att kriteriet är mindre viktigt än det kriteriet det jämförs mot. Siffran 1 betyder att kriterierna är lika viktiga alternativt att kriteriet jämförs med sig självt. Om kriteriet är viktigare än kriteriet det viktas mot, gestaltas detta med siffran 2. Resultatet från viktningen ger en viktningsfaktor för respektive kriterium vilket representerar den totala poängsumman i procent. Slutligen ordnas alla kriterier efter deras viktningsfaktor från högsta till lägsta rang.

Tabell 3B. Viktning av kriterier.

| Kriterier: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | total | rank | Viktningfaktor [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|-------|------|--------------------|
| 1. Estetisk | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 8 | 2 | 24 |
| 2. Överkapacitet/spännvid | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 3 |
| 3. Passa in i stadsbilden | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 10 | 1 | 29 |
| 4. Produktion/tillverkning/byggbarhet | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 5 | 9 |
| 5. Materialanvändning/hållbarutveckling | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 5 | 4 | 15 |
| 6. Trafik/framkomlighet | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 7 | 3 | 21 |
| total | | | | | | | 34 | | 100 |

3.2.4 Viktning av brokoncept

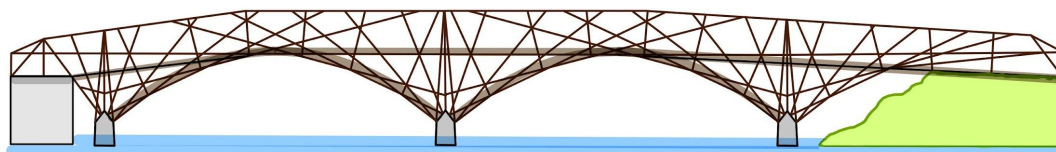
I tabell 3C nedan viktas brokoncepten utefter de olika viktningsskriterierna. Konzepten får betyg från 1-5, där 1 är lägst betyg och 5 är högst. För alla brokoncept når samtliga broar grundläggande krav för kriterierna, viktningen antyder förmåga utöver detta. Kriterierna Estetik och Passa in i stadsbilden fick utifrån viktning av kriterierna de högsta viktningfaktorerna. Detta resulterar i att dessa två kriterier har störst inverkan vid viktning av brokoncepten.

Tabell 3C. Viktning av de valda brokoncepten.

| Brokoncept | Viktningfaktor | Balkbro | Plattbro | Matematisk bro | fackverk i räcke | Hög fackverksbro |
|--|----------------|---------|----------|----------------|------------------|------------------|
| 1. Estetisk | 0,24 | 3 | 3,5 | 5 | 3,5 | 3,5 |
| 2. Överkapacitet/Spännvidd | 0,03 | 5 | 4 | 2 | 4 | 5 |
| 3. Passa in i stadsbilden | 0,29 | 5 | 5 | 4 | 3 | 1 |
| 4. Produktion/transport | 0,09 | 3 | 2 | 5 | 4 | 4 |
| 5. Materialanvändning/ Hållbar utveckling | 0,15 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 |
| 6. Trafik/ Framkomlighet | 0,21 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Total poäng | | 3,9 | 3,9 | 4,2 | 3,8 | 3,2 |
| Ranking | | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 |

4 Slutgiltigt brokoncept

Som slutgiltigt brokonceptet väljs den Matematiska bron, se figur 4A. Konceptet inspireras av “Mathematical Bridge”, en bro belägen på Cambridge universitet, England. Konceptet för den Matematiska bron har högst rank i viktningen, samt har en estetiskt tilltalande design med sin välvda form och sitt komplexa räckel. En viktig aspekt genom hela projektet är att bron ska passa in i stadsbilden. Ett krav på bron är att den ska konstrueras i trä, vilket i sig passar in i naturen på bronns södra sida. Genom bronns bågform anknyts även designen till andra byggnader såväl broar i närområdet.



Figur 4A. Konzeptbild, matematisk bro. Författarens egen bild.

4.1 Beskrivning av konstruktion

Konstruktionen består av två identiska bågar. Strukturen i räcket skapas av tangenter till bågarbarnas kurvatur som i sin helhet bildar cirklar med en radie på 14 meter. Spännvidden för en båge uppgår till 14,6 meter och den totala konstruktionslängden är 43 meter. Bärande delar består av limträ och övriga delar av konstruktionsvirke. Gångbanan består av tvärgående slitplank som ger en högre friktion för att undvika risk för halka. Under planket placeras de längsgående balkarna med tillåtet centrumavstånd. Avståndet beror på slitplankets tjocklek (Träguiden, 2020). Den högsta fria höjden är 3 meter över vattenytan och den största lutningen på gångbanan är 6,8 grader. Då den Matematiska bron bygger på bågverkan krävs grundläggning som kan bära upp de horisontella krafter som uppstår.

För “Mathematical Bridge” är det räcket som är den bärande konstruktionen men för den matematiska bron som är mer än dubbelt så bred krävs ytterligare bärande element. Dessa bärande element konstrueras av sju delement sammansatta i en vinkel på 171 grader. Då beräkningar av fackverk i kombination med båge är komplexa, väljs det att endast tillgodoräkna bågverkan för konstruktionen. Räcket är alltså inte bärande och behöver inte dimensioneras eller tas i hänsyn vid beräkningar. Eftersom räcket är bitvis gles, krävs det ett skyddande lager för att förhindra klättring eller fall. Till detta används ett vajerbaserat meshnät. Detta nät ska vara tunt och osynligt på avstånd för att upprätthålla räcketets estetik.



Figur 4B. Bild av Mathematical Bridge.

(Over the River Cam, the Wooden Bridge, known also as the Mathematical Bridge, joins the two sides of Queens' College, Rafa Esteve, 2016, [File:Queens' College - Mathematical Bridge.jpg - Wikimedia Commons](#)), CC BY-SA 4.0

5 Preliminär dimensionering

Den preliminära dimensioneringen inleds med att ta fram en förenklad beräkningsmodell utifrån de randvillkor som fastställs. Därefter identifieras de belastningarna som verkar på bron. De mest kritiska lastfallen väljs ut i modellen och kontrolleras för både bruksgränstillstånd och brottgränstillstånd. Slutligen kontrolleras alla dimensioner och beräkningar av förband utförs. Lasteffekterna för bron beräknas genom användning av programmet MATLAB och CALFEM som tilläggsprogram. CALFEMs tvådimensionella beräkningsmodell används för detta ändamål.

5.1 Randvillkor och beräkningsmodell

Beräkningsmodellen för konstruktionen är en förenkling som resulterar i brons primära bärverk beräknas i två dimensioner. Beräkningar utförs i olika steg där lasterna leds från gångbanan ner genom bärverket vidare ner till stöden. En omgång beräkningar, en iteration, ger dimensionerna först för slitplanket, sedan balkarna under slitplanket, därefter pelarna och till sist bågen.

Gångbanan modelleras i tvärled som en fritt upplagd balk med fem stöd enligt bilaga 5A, stöden motsvarar de balkar som ska bära gångbanan och leda krafterna ner till bågen. Stöden för gångbanan förenklas som fasta och orörliga. Gångbanan får här sina första preliminära dimensioner. Reaktionskrafterna från gångbanan blir dimensionerande för de underliggande balkarna. Dessa modelleras i nästa steg i längsled som ett flertal fritt upplagda balkar enligt bilaga 5B. Stöden som bär upp balkar och gångbana i modellen motsvarar pelare och båge i konstruktionen. Pelarna förenklas till vertikala element i modellen men i verkligheten är de vinkelräta mot bågen. I det sista steget av beräkningarna överförs lasterna från gångbanan och dess balkar till punktlaster i bågens anslutningspunkter. Bågen är inspänd i horisontal- och vertikalled i båda ändar. För komplett beräkningsmodell se kod i bilaga 5C.

För varje konstruktionsdel behöver kontroller av kapacitet och nedböjning utföras. För kapaciteten innefattas tvärkraft, moment och normalkraft. Vidare utförs kontroll av knäckning och stämpkraft. Beräkningsgången för dessa kontroller visas i bilaga 5D. Iteration används för att få fram dimensioner som uppnår alla krav.

5.2 Laster

Dimensioneringen görs med konstruktionsvirke av klass C30 med densiteten 460 kg/m^3 samt limträ av klass GL32c med densiteten 410 kg/m^3 (Al-Emrani m. fl., 2013). Det är dessa densiteter som, tillsammans med konstruktionens storlek, används för egentygnd i alla beräkningar.

Lasten från gång- och cykeltrafik på bron beräknas enligt svensk standard, SS-EN 1991-2, till $4,7 \text{ kN/m}^2$. Samma standard gäller för servicelasten som dimensioneras i två punktlaster i längsled. Dessa är separerade med 3 meter på 80 respektive 40 kN, samt två punktlaster i tvärled separerade med 1,3 m på 40 kN vardera. Vidare kommer kombinationer av dessa olika lastfall att undersökas för att fastställa de som är mest kritiska. Hänsyn till vindlast tas inte med i beräkningsmodellen, då dessa inte påverkar dimensionerna på bärverket. Vindlasterna påverkar enbart konstruktionens stabilitet och därför kommer ett fackverk konstrueras under bärverket för att bära dessa laster och stabilisera konstruktionen. Beräkningar för fackverkets dimensioner har därför gjorts separat, se bilaga 5E.

5.3 Lastkombinationer

Lastfallen för bärverket består av tre primära laster, egentyngd, last från gång- och cykeltrafik samt last från servicefordon. Egentyngden är konstant och finns med i alla kombinationer. Däremot är last från servicefordon och gång- och cykeltrafik variabla och uppkommer aldrig samtidigt då bron förväntas stängas av under pågående service. Aktuella lastfall och hur de ska kontrolleras erhålls från Svensk Standard (SIS, 2014). Lastfallen ger upphov till olika lastkombinationer, där de mest kritiska blir dimensionerande. De olika kombinationerna finns att se i bilaga 5F.

5.3.1 Lastkombinationer i brottgränstillstånd

Med brottgränstillstånd avses den maximala bärförmågan fram till brott. För att bestämma den mest ogynnsamma lastkombinationen vid brottgränstillstånd används uttrycken enligt 6.10a och 6.10b (SIS, 2014). I ekvation 6.10a är egentyngden huvudlast och därför ökas värdet med en faktor och de variabla lasterna reduceras med reduktionstalet, ψ . I ekvation 6.10b är variabla lasten som är huvudlast och därför ökas värdet med en faktor och de permanenta lasterna reduceras med reduktionstalet, ψ samt reduktionsfaktorn, ξ . Den ekvation som ger det högsta värdet på lastkombinationen utgör det mest ogynnsamma scenariot och tillämpas vidare i dimensionering. Spännkraften, P är noll eftersom denna typ av kraft inte existerar för detta koncept.

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j>1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Tabell över koefficienter finns i bilaga 5G och har utarbetats i enlighet med reglerna för lastkombinationer och innehåller samtliga variabler i ekvationerna ovan. Syftet med att använda denna tabell är att bestämma den mest kritiska lasten, som sedan utvärderas vidare.

5.3.2 Lastkombinationer i bruksgränstillstånd

Bruksgränstillstånd syftar till att säkerställa att en konstruktion kan upprätthålla sin funktion utan att påverka människors upplevelse eller konstruktionens utseende. För den mest ogynnsamma lastkombinationen vid bruksgränstillstånd används uttrycken enligt 6.15b(SIS, 2014). För bruksgränstillstånd är det nedböjning och egensvängningar som måste kontrolleras. Egensvängningar kan försummas eftersom bron inte har en spännvidd som är lägre än 40 meter enligt Svensk Standard (SIS, 2008). Nedböjningen får inte överstiga spännvidden dividerat med 400 (Trafikverket, 2019).

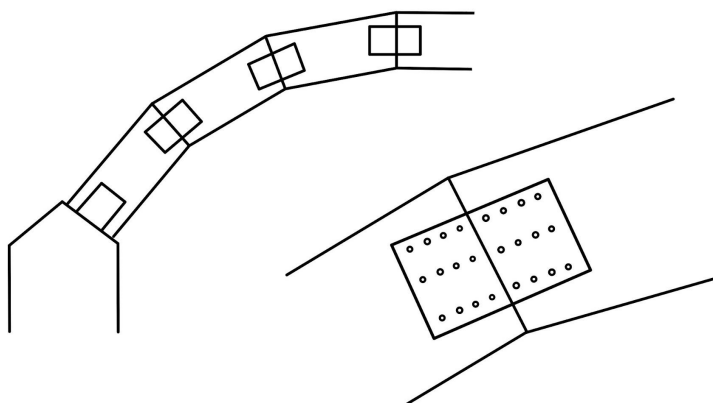
$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

$\psi_{1,1}$ = Faktor för frekvent värde för variabel last (0.4)

$\psi_{2,i}$ = Faktor för kvasipermanent värde för variabel last (0)

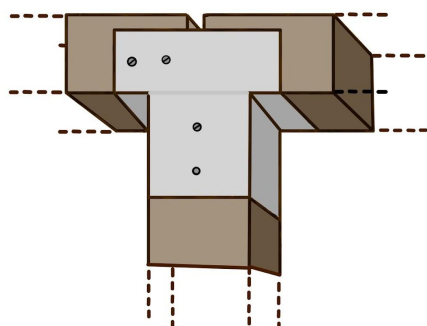
5.5 Förband

I projektet har även olika typer av förband beräknats. Förbanden som ansetts mest kritiska är de som sammankopplar de raka balkarna till bågarna. Skruvförband med genomgående skruvar är det lämpligaste förbandet på bågarna, se figur 5A. Vid beräkning och utformning av dessa förband har kontroller av hålkantsbrott i träbalken och skruvplåten samt skjuvbrott i skruven utförts. Eftersom förband utsätts för tryck kontrolleras även tryckbrott och buckling av plåten. Beräkningar har gjorts i MATLAB och koden kan ses i bilaga 5H. Infästning av bågen till stödet kommer att vara ett skruvförband lik de andra på bågen men kommer vara ingjutet i betongstödet. Beräkningar av betongstödet har inte beräknats då det har ansetts vara utanför projektet.



Figur 5A. Skruvförband mellan raka element i bågen. Författarens egen bild.

Även stöden mellan gångbanan och bågen kontrolleras. Förbandet mellan pelare och balkarna under gångbanan utformas som ett T. Där den horisontella delen sitter fast i balkarna för gångbanan som ett U och lodräta delen är en stolphållare, se figur 5B. Även förbandet mellan bågen och pelaren utformas på samma sätt. Eftersom balken under gångbanan har en lägre höjd blir detta förband dimensionerande. Förbandet dimensioneras likt de tidigare i MATLAB, se bilaga 5I.



Figur 5B. Förband mellan pelare och balkarna under gångbanan. Författarens egen bild.

5.6 Resultat av dimensioneringsprocessen

Efter den första iterationen framkommer det att kapaciteten som krävs för att gångbanan ska klara av ett servicefordon är över tio gånger större än nästa last i storleksordningen från Bilaga 5C. Dessa laster skulle resultera i ohållbart stora dimensioner på slitplanket, se tabell 5C, och det bestäms därför att servicefordon ej är tillåtet på bron. Eventuell snöröjning får istället utföras manuellt. Efter vidare iterationer och kontroller fås preliminära dimensioner enligt tabell 5D. Efter beräkning av förband i form av skruvplåt, som behövs för att skapa den bärande bågen, framkommer det att dimensionerna som krävs för skruvplåten inte får plats på balken. Detta resulterar i att nya, större dimensioner för bågen måste väljas. Beräkningarna av förband resulterar i en skruvplåt med dimensionerna 300x600 mm enligt figur 5A. Förbandet får tolv skruvar med diametern 18 mm. Vindlasten tas upp av ett separat fackverk under bågarna, för att stabilisera. Dessa balkar är av konstruktionsvirke och har dimensionerna 70x70 mm. Slutliga preliminära dimensioner av alla konstruktionsdelar ges i tabell 5E.

Tabell 5C. Dimensioner för slitplank, första iterationen.

| Element | Dimensionerande kraft | | | | Dimensioner [mm] |
|-----------|-----------------------|-----------|-------------|------------|------------------|
| | Moment | Tvärkraft | Normalkraft | Stämpkraft | |
| Slitplank | | X | | | 100 X 250 |

Tabell 5D. Dimensioner för samtliga konstruktionsdelar, andra iterationen.

| Element | Dimensionerande kraft | | | | Dimensioner [mm] |
|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|------------|------------------|
| | Moment | Tvärkraft | Normalkraft | Stämpkraft | |
| Slitplank | X | | | | 120 X 50 |
| Balk under gångbana | X | | | | 115 X 135 |
| Pelare | | | X | | 90 X 42 |
| Båge | X | | X | | 115 X 115 |

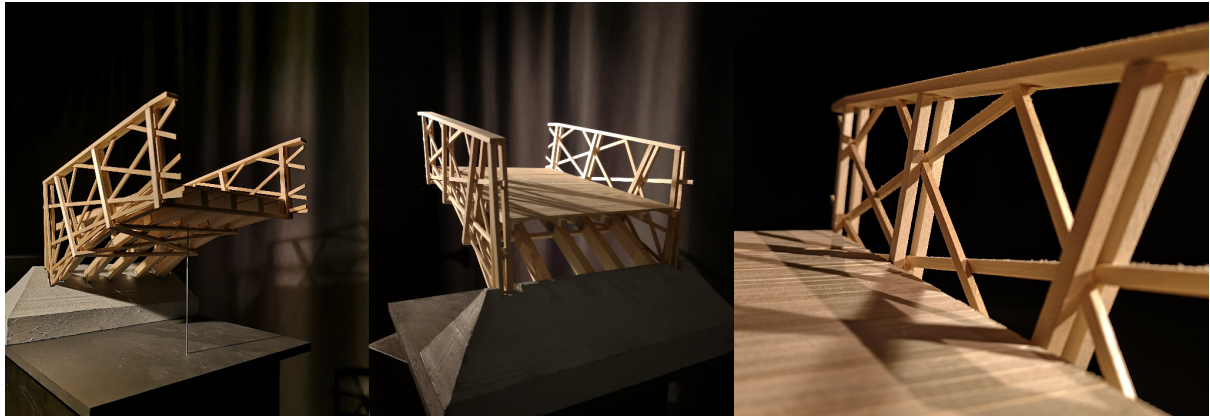
Tabell 5E. Dimensioner för samtliga konstruktionsdelar, slutliga.

| Element | Dimensionerande kraft | | | | Dimensioner [mm] |
|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|------------|------------------|
| | Moment | Tvärkraft | Normalkraft | Stämpkraft | |
| Slitplank | X | | | | 120 X 50 |
| Balk under gångbana | X | | | | 115 X 135 |
| Pelare | | | | X | 115 X 90 |
| Båge | X | X | X | | 115 X 360 |
| Balk mellan bågar | X | X | | | 70X70 |

5.7 Fysiska modeller

För att gestalta brons utformning byggdes två fysiska modeller. En i skala 1:20 och en i skala 1:50.

Modellen i figur 5C är i skala 1:20 och visar en utskärning av bron där detaljer är synliga. På brons undersida ses fackverket som är till för att stabilisera konstruktionen för vindlast. Längst till höger ses en detaljutformning på raket. Hela modellen är byggd av enskilda element och är utformad på samma sätt som skulle krävas för att konstruera bron i verklig storlek.



Figur 5C. Modell i skala 1:20. Författarens egen bild.

Modellen i figur 5D är i skala 1:50 och byggs för att gestalta konceptet i sin helhet. I högra nedre hörnet av figuren visas de fem bågarna som bildar bärverket. Modellen består av gångbana, räcken och bärande balkar som alla kapats med laser. Dessa laserkapade delar sätts samman med hjälp av mindre handsågade element. Den färdiga modellen placeras i miljön som är utformad för att efterlikna den verkliga.



Figur 5D. Modell i skala 1:50 med omgivande miljö. Författarens egen bild.

6 Diskussion

Processen i arbetet har fungerat väl. Upplägget med att dela in arbetet i två delar tror vi har varit gynnsamt. Strukturen gav oss chansen att till fullo fokusera på utformningen av bron i första delen. För att sedan kunna ge oss hän till beräkningar och modellbygge i den andra delen.

De koncept som utarbetades till urvalsprocessen betygsattes enligt framtagna urvalskriterier, men även utifrån information angivet i projektbeskrivningen. Målsättningen med de kriterier som togs fram var att kunna särskilja de olika koncepten. I urvalsprocessen är det både objektiva och subjektiva värderingar som har vägts in i betygsättningen. För kriterier såsom trafik/framkomlighet och produktion/transport kan det relativt enkelt utföras en objektiv analys av för- och nackdelar. Passa in i stadsbilden och estetik är däremot kriterier som inte går att göra en rent objektiv bedömning av, utan där blev det våra egna subjektiva tankar som blev avgörande.

Vi är nöjda med resultatet och det slutgiltiga konceptet. Det är en unik bro som vi anser passar in i stadsbilden. Detta genom att man längs Trädgårdsgatan som leder ner till Bastionsplatsen kan se välvda former på husen, samt bågformer återfinns på flera broar över Vallgraven. Det går att se att inspirationen är hämtad från Mathematical Bridge i Cambridge, samtidigt är bron sin egen. Till skillnad från Mathematical Bridge har den Matematiska bron två valv sett från sidan. Dessa har designats med inspiration från originalet, men flertalet justeringar har krävts för att anpassa bron till platsen, måttkrav och lutningskrav. Bron är även betydligt bredare än originalet. Detta har i sin tur krävt en del tanke vid utformning av gångbana och beräkningar, detta för att säkerställa att bron klarar de laster den utsätts för. Räckets interaktion med bron är det som gör bron så unik, därmed anser vi att det är en besvikelse att broräcket inte kan användas som en bärande del i konstruktionen. Detta var ett område som visade sig vara för komplicerat och utom räckhåll i och med avsaknad av kunskap i 3D modellering. Om bidraget från räckets fackverk hade kunnat tillgodoräknats, hade en slankare konstruktion varit möjlig.

Brons funktion i form av att skapa en ytterligare väg anser vi att den uppfyller väl, även i form av en genare såväl tryggare passage. I och med att CSDC skall bygga bron i skala 1:1 under Göteborgs 400-årsjubileum, var byggbarheten och återanvändning viktiga aspekter - vilket även är omnämnt i projektbeskrivningen. De förhållandevis nätta byggelementen i den Matematiska bron tror vi kommer vara underlättande för CSDC. För konstruktion av exempelvis en balkbro, hade betydligt bastantare element krävts. Ännu en fördel med de nättare elementen, är att konstruktionshöjden blir mindre. En allt för hög konstruktionshöjd hade varit inskränkande på det fria rummet under bron, vilket har varit en kritisk del under projektets gång. Den Matematiska bron skall även vara lätt att återvinna, detta är anledningen till att gångbanan endast består av slitplank och att exempelvis inte asfalt har använts.

Enligt projektbeskrivningen fick den stenskodda slänten på brons södra sida ej vidröras. Den Matematiska brons södra stöd placeras därför högre upp på land, vilket även skapar möjlighet till anknytning till befintliga gångvägar i närområdet. Vidare fick inga laster föras ner till kanalmuren. Anknytningen till Bastionsplatsen var något som diskuterades tidigt i projektet. Alternativen som vi ansåg rimliga var att antingen anlägga ett brofundament längre upp på Bastionsplatsen eller att uppföra ett fundament i vattnet intill kanalmuren. Att anlägga ett brofundament längre upp Bastionsplatsen ansåg vi inte vara ett rimligt alternativ, då det inte fanns tydliga svar på hur långt in på Bastionsplatsen som belastning var tillåten. Även det faktum att området är sättningsbenäget vägde in. Istället gjordes en konsolutformning på ca 1,2 m mellan fundamentet i vattnet och kanalmuren.

Inom projektets ramar har vissa avgränsningar gjorts. För att projektet skall kunna utföras på plats i full skala behöver vidare undersökningar utföras. Exempelvis hade beräkningar för grundläggning och släntstabilitet krävts för anläggning av stöden i vattnet samt stödet på brons södra sida i slänten. Dimensionering av stöden går utom projektets ramar då de baseras på geotekniska undersökningar och beräkningar. Uppskattning av förhållandena på platsen indikerar att pålning kommer att krävas. Bland annat kommer sned pålning behövas för att ta upp horisontella krafter.

Krafterna på de olika förbanden i bågen visade sig vara relativt lika. Därmed togs ett beslut om att beräkna det mest kritiska av dem. Detta medför att fler likadana delar kan användas, vilket är mer kostnadseffektivt än att producera olika förband med något lägre materialanvändning. De beräkningar som har gjorts i projektet är enbart de mest kritiska beräkningarna. I och med att projektet enbart är en preliminär dimensionering, anser vi att vidare beräkningar hade gått utanför projektets ramar.

Det krav som bron inte uppfyller är det gällande servicefordon. Vid beräkning av servicefordonet blev lasten betydligt större än de resterande krafterna. Om beräkningarna hade tagit hänsyn till denna last hade dimensionerna blivit betydligt större vilket vi ansåg inte var önskvärt för vår konstruktion. Vi anser att detta är ett rimligt antagande, då bron dimensioneras för en ort i Sverige där det under ett normalår är en hanterbar mängd snö. I samband med handledning av COWI beslutades det att det mest realistiska för vårt projekt var att inte ta med lasten från servicefordonet i beräkningarna. I och med att det är möjligt att skotta för hand, anses detta som en möjlig lösning.

Ur ett rimlighetsperspektiv, är brokonceptet möjligtvis inte det mest gynnsamma för platsen eller för projektet. När det kommer till platsen och användning av bron, så har bron en lutning vilket kan problematisera framkomligheten. Detta gäller framför allt vid dåligt väglag, så som vid riklig nederbörd. Dock anser vi inte att detta är ett problem som är av speciellt stor vikt, detta då det finns ytterligare passager över Vallgraven i närområdet. Det går även att diskutera svårighetsgraden i projektet. I efterhand hade det möjligtvis varit rimligare att gå tillbaka och välja ett lättare koncept i form av beräkning och då hade även färre förenklingar krävts. Anledningen till att konceptet valdes, var till stor del på grund av den viktning som gjordes på kriterierna estetik och passa in i stadsbilden. Att just dessa kriterier blev rankade högt kan ur vissa perspektiv inte ses som väl avvägt, då dessa relaterar till utseende av bron istället för exempelvis funktionen av bron. Däremot uttrycktes dessa kriterier som viktiga i projektbeskrivningen samt vid dialog med CSDC under projektets gång. CSDC tyckte även om själva idén, då de upplevde att de kunde utföra konceptet. Bland annat fanns vissa begränsningar i material och hjälpmedel för konstruktion av bron från CSDC:s håll. Där den Matematiska bron består av relativt enkla element och raka delar.

I slutskedet av processen har två modeller över brokonceptet byggts. En modell är mer övergripande för hela konceptet i skala 1:50 och den andra modellen är en mindre del av konceptet i skala 1:20 byggts för att tydligare visa konstruktionen. I och med modellbygget är det lättare för oss att kunna förmedla konceptet till andra, och har även gett oss en större förståelse för hur vår konstruktion fungerar och hur den beter sig rumsligt. I modellerna är dimensionerna inte helt i enlighet med de dimensioner som tagits fram i rapporten, då modellbygget påbörjades innan dimensionerings processen var klar. De dimensioner som finns i modellen är fullgoda för att klara lasterna, men optimering av dimensionerna har gjorts i rapporten.

7 Slutsats

Rapporten resulterade i ett förslag på koncept av en gång- och cykelbro med ett totalt spann på 43 meter över Vallgraven i Göteborg, vilket överensstämmer med syftet.

Sammanfattningsvis har rapporten tagit fram och utvärderat olika koncept, och det mest lämpliga konceptet har vidareutvecklats och en preliminär dimensionering har gjorts. Det slutgiltiga konceptet Matematiska bron, uppfyller de krav som ställdes i projektbeskrivningen. Vidare uppfylls även de krav som finns för gång- och cykelbro från Göteborgs Stad, detta förutom kravet på servicefordon.

Resultatet av den preliminära dimensioneringen visar att de dimensioner som valts för tvärsnitten är fullgoda för att klara lasterna som finns på bron.

Referenser

Abelsson, B., Båge, P., Westerlund, P. (1998). *Träbroar, ett alternativ till stål och betong*. Svenska kommunförbundet, Kommentus Förlag.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, B. (2013). *Bärande konstruktioner: Del 1 (Rapport 2013: 1)*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, B. (2011). *Bärande konstruktioner: Del 2 (Rapport 2011: 1)*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Baus, U., Scglauch, M. (2008). *Footbridges*. Birkhäuser Verlag AG.

Brosamverkan. (2022-01-11). *Broprojekteringshandbok, Utgåva 1*.

Boverket. (2007). *Boverkets handbok om stålkonstruktioner, BSK 07* (4. Uppl.) [Boverkets handbok om stålkonstruktioner, BSK 07](#)

El Masry, A., Fridh, J. (2017). *Jämförelse livscykelanalys mellan vägbro i betong och trä, åtgärdsplan för att minska klimatpåverkan* [Eamensarbete, Jönköpings universitet]. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1187180/FULLTEXT01.pdf>

Eriksson, Å. (1999). *Miljöanpassad produktutveckling - hur LCA kan användas för projektering av en bro*. Institutet för träteknisk forskning. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1079814/FULLTEXT01.pdf>

Göteborg & Co. (2023). *Prototyp Göteborg*. Hämtad 2023-01-31 från: <https://goteborg2023.com/jubileumsprojekt/prototyp-goteborg/>

Göteborgs Stad. (2022). *Översiktsplan Göteborg*. Hämtad 2023-01-31 från: <https://oversiktsplan.goteborg.se/>

Göteborgs Stad. (2023). *Teknisk handbok*. Hämtad 2023-02-21 från: <https://tekniskhandbok.goteborg.se/12-projektering/12h-byggnadsverk/12ha-normer-trafikbelastade-byggnadsverk/12ha1-broar-for-sparbunden-trafik/12ha1-7-gangbana-overlast/>

Göteborgs Stad Stadsbyggnadskontoret (2016-04-26). *Program Sydöstra City. Inom vallgraven, Göteborg*. Hämtad 2023-01-31 från:

[https://www5.goteborg.se/prod/intraservice/namndhandlingar/namndhandlingararkiv/samrumportalarkiv.nsf/0/c12581b5003f5a73c1257f9b0052032e/\\$file/01.+program.pdf](https://www5.goteborg.se/prod/intraservice/namndhandlingar/namndhandlingararkiv/samrumportalarkiv.nsf/0/c12581b5003f5a73c1257f9b0052032e/$file/01.+program.pdf)

Göteborgs stad. (1995). *Kulturhistoriskt värdefull bebyggelse i Göteborg, ett program för bevarande*. Volym 1 del 1. sid. 42-45. Hämtad 2023-02-02 från: [Kulturhistoriskt värdefull bebyggelse i Göteborg](#)

Naturvårdsverket. (u.å.). *Samhällsekonomiska analyser*. Hämtad 2023-02-02 från: [Samhällsekonomiska analyser](#)

Pousette, A. (2008). *Träbroar konstruktion och dimensionering*. SP RAPP

Pousette, A., Norén, J., Penaloza, D., Wiklund, U., Pantze, A. (2014). *LCA för vägbro*

Pousette, A., Gustafsson, M., & Fjellström, P. A. (2002). *Inspektion av träbroar*.

Analys av en byggd betongöverbyggnad och en alternativ träöverbyggnad [Slutrapport, Sveriges tekniska forskningsinstitut]. <https://www.swedishwood.com/siteassets/1-trafakta/4-om-limtra/lca-for-vagbro-analys-av-en-byggd-betongoverbyggnad-och-en-alternativ-traoverbyggnad-slutrapport.pdf>

Ritter, Micheal A. (1990). *Timber Bridges, Design, Construction, Inspection and Maintenance*.

Skogsindustrierna. (2020-10-16). *Vår tid är nu - och då*. Hämtad 2023-02-14 från: <https://www.skogsindustrierna.se/bioekonomi/hur-vi-brukar-skogen/var-tid-ar-nu---och-da/>

Skogsstyrelsen. (2022). *Skogsvårdslagen*. Hämtad 23-01-31 från: <https://www.skogsstyrelsen.se/lag-och-tillsyn/skogsvardslagen/>

SFV. (2021-01-12). *Trä som byggnadsmaterial*. Hämtad 2023-02-14 från: <https://www.sfv.se/upptack-mer/rad-och-erfarenheter/tra-som-byggnadsmaterial/>

SS-EN 1991-1-4. (2008). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast*. SIS Swedish Standards Institute.

SS-EN 1991-2. (2011). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Trafiklast på broar*. SIS Swedish Standards Institute.

SS-EN 1990. (2014). *Eurokod - Grundläggande dimensionering för bärverk*. SIS Swedish Standards Institute.

Svenskt Trä. (u.å.). *Trä i byggprocessen*. Hämtad 2023-02-14 från: <https://www.svensktra.se/bygg-med-tra/byggande/bygga-i-tra/>

Svenskt Trä. (2003-09-01). *Träguiden: Plattbroar*. Hämtad 2023-03-03 från: <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/plattbroar/>

Svenskt Trä. (2003-09-01). *Träguiden: Transport*. Hämtad 2023-03-02 från: <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/limtra-som-konstruktionsmaterial/transport-och-montering/transport/>

Svenskt Trä. (2003-09-01). *Träguiden: Träskyddsklasser*. Hämtad 2023-02-16 från: <https://www.traguiden.se/underhall/drift-och-underhall/altaner-balkonger-och-yttertrappor/altaner-balkonger-och-yttertrappor/traskyddsklasser/>

Svenskt Trä. (2003-09-01). *Ytbehandling och underhåll*. [Ytbehandling och underhåll](#)

Svenskt Trä. (2017-07-07). *Träguiden: Trä och brand*. Hämtad 2023-02-16 från:

<https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/kl-tra-och-brand/7.1-tra-och-brand/tra-och-brand/>

Svenskt Trä. (2020-04-17) *Träguiden: Läggnig av trall*. Hämtad 2023-05-04 från: <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/tradack/tradack/laggnig-av-trall/>

Svensk Trä. (2021-06-15). *Träguiden: Träets styrka och styvhet*. Hämtad 2023-02-14 från: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/mekaniska-egenskaper/traets-styrka-och-styvhet/>

- Trafikverket.(2011). TRVR bro 11. *Trafikverkets tekniska råd Bro TRV publ nr 2011:086*. Hämtad 2023-02-06 från: [Trafikverkets tekniska råd Bro TRV publ nr 2011:086](#)
- Trafikverket.(2015). *BaTMan. Bro och tunnel management. Handbok för inspektion av byggnadsverk*. Hämtad 2023-02-14 från: [Handbok för inspektion av byggnadsverk](#)
- Trafikverket.(2015). *Vägar och gators utformning*. 2020:029. ISBN: 978-91-7725-542-0. Trafikverket
- Trafikverket. (2019). *Krav Brobyggande. TDOK 2016:0204 (3 uppl.)*.
- Trafikverket. (2022). *TRVINFRA-00227. Bro och broliknande konstruktion, Byggande*. Hämtad 2023-02-16 från: [Bro och broliknande konstruktion, Byggande Trafikverkets infrastrukturegelverk](#)
- Träguiden (2015-08-21). *Projektering*. Hämtad den 2023-02-23 från [Projektering - TräGuiden](#)
- Träguiden (2019-10-16). *Träbroar - historisk återblick*. Hämtad den 2023-02-10 från <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/trabroar/trabroar--historisk-aterblick/trabroar--historisk-aterblick/>
- Trafikverket. (2023). *Så sköter vi broar och tunnlar*. Hämtad 2023-02-16 från: [Så sköter vi boar och tunnlar](#)
- United states department of agriculture. (2001). *Timber Bridge Economics*. <https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/08/fplrp593.pdf>

Bilageförteckning

| | |
|---|-----------|
| 1A PROJEKTBEKRIVNING FRÅN CSDC | 1 |
| 2A KONSTRUKTIONSMATERIAL: BETONG OCH STÅL | 4 |
| Betong | 4 |
| 2B GRUNDLÄGGNING | 6 |
| Plattgrundläggning | 6 |
| Pålgrundläggning | 6 |
| 3A BROKONCEPT URVAL 2 | 7 |
| Tvärspänd plattbro | 7 |
| Balkbro | 7 |
| Fackverksbro | 9 |
| Matematisk bro | 9 |
| 5A BERÄKNINGSMODELL TVÄRSEKTION | 11 |
| 5B BERÄKNINGSMODELL LÄNGSSEKTION | 11 |
| 5C MATLAB-KOD BERÄKNINGSMODELL | 12 |
| 5D MATLAB-KOD KONTROLL | 36 |
| 5E MATLAB-KOD VINDLAST | 44 |
| 5F LASTKOMBINATIONER | 47 |
| 5G KOEFFICIENTER FÖR LASTER | 48 |
| 5H MATLAB-KOD FÖRBAND PÅ BÅGEN | 49 |
| 5I MATLAB-KOD FÖRBAND MELLAN PELARE OCH BALKAR UNDER GÅNGBANAN | 53 |
| REFERENSER BILAGOR | 56 |

1A Projektbeskrivning från CSDC

Jubileumsbron Göteborg 400 år

Uppgiftsbeskrivning:

I Göteborg mellan Bältespännarparken, Bastionsplatsen, Fredsgatan och Brunnsparcken ska ett nytt promenadstråk ta form. För att realisera detta ska en bro mellan Bältespännarparken och Bastionsplatsen byggas. Utformningen bör kopplas till platsen. Den nya bron ska få en uppseendeväckande design som sticker ut och visar vad som är möjligt men den ska även vara samhällsekonomiskt försvarbar. Stöd är tillåtna men båtar (såsom sightseeingbåtar) måste kunna ta sig fram obehindrat. Hållbarhet är en viktig faktor att ta hänsyn till. Det krävs ett koncept som möjliggör att bron efter sin tekniska livslängd kan tas isär enkelt och återanvändas på annan plats i annan funktion. Trä väljs som huvudsakligt konstruktionsmaterial men vissa ståldetaljer och beslag kan användas i underbyggnaden och anslutningar för att möjliggöra en slankare design.

En prototyp av denna bro ska byggas i samband med Göteborgs 400-års jubileum. Bygghänsynerna och återanvändningen av materialet eller bron efter utställningen (transport på lastbil) måste därför beaktas.

Tekniska förutsättningar:

- Inga laster får överföras till kajen vid Bastionsplatsen pga. dess kulturvärde
- Den stenskodda delen av slänten mot Trädgårdsföreningen får inte vidröras, brofäste längre upp på land är möjligt
- Två båtar måste kunna mötas under bron
- Så få stöd som möjligt i vallgraven premieras
- Fri höjd och bredd för passage av båtar ska vara minst 1,5 m x 12 m
- Bron ska dimensioneras efter gällande krav på gång och cykelbroar
- Bredden på gång och cykelbanan över bron ska vara 4 m
- Material till överbyggnaden ska vara limträ eller konstruktionsvirke

- Lermäktigheten varierar inom detta område mellan ca 30 och 35 meter. Leran underlagras av ett lager med friktionsjord ovan berget. Friktionsjordlagrets mäktighet bedöms variera mellan ca 1 och 5 m
- Kanalmurens grundläggning runt Bastionsplatsen utgörs troligen av träpålar under rustbädd. Leran utgörs huvudsakligen av en sättningkänslig lera med förekomst av vattenförande jordlager i de översta ca 5-6 metrarna till följd av utfyllnader i anslutning till den gamla bastionen. Påverkan från schaktning-, spontning- eller påslagningsarbeten på befintliga byggnader och anläggningar samt den gamla bastionen ska beaktas.

Vid eventuella frågor: info@csdc.se

Bilder över platsen:



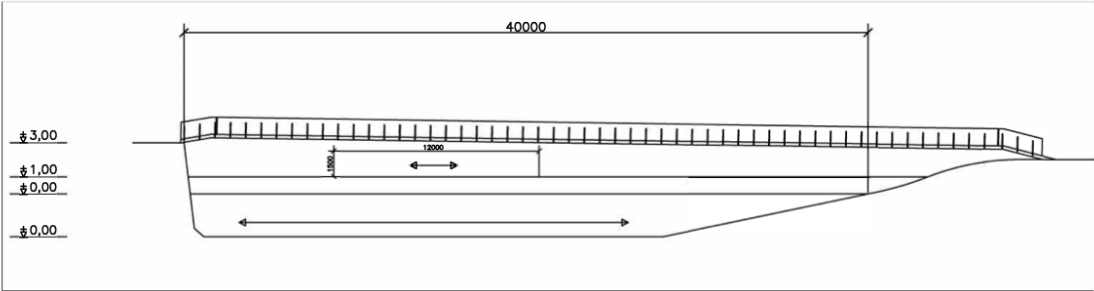
Ungefärlig position för bron



Läge för brofäste på södra sidan



Läge för brofäste på norra sidan



Sektion 1:250

Observera att bron är bara ett illustrativt exempel!



Plan 1:1000

2A Konstruktionsmaterial: betong och stål

Betong

Betong är ett mycket väletablerat material inom brokonstruktion och en väldigt stor andel av broar, framförallt de utan speciella krav, är konstruerade i armerad betong (Johnson, 1994). Detta beror på att betongs kombination av hållfasthet, beständighet och kostnad är optimal för de flesta brobyggen då det endast är dessa faktorer som tas i hänsyn. Betongs största fördel är dess beständighet mot olika former av korrosion (Lanham, 2016). Den största beständighetsrisken ligger i armeringsstålets oxidation genom kloridinträngning eller kalcinering (Fagerlund, 1992). Själva betongens beständighetsproblem uppkommer från frostsprängning där expanderande vatten leder till interna spänningar. Betong har mycket hög hållfasthet i tryck. I drag är dock hållfastheten lägre och armering kan behöva tillsättas för att klara av önskad last. (Sarraf et al., 2013).

Betong förlorar mycket av sin hållfasthet vid stora spännvidder på grund av sin stora egenvikt vilket kan motverkas med hjälp av stödstrukturer (Johnson, 1994). Dessa tillsätts för att både skapa mer tryck i strukturen och ta upp krafter i drag. Betong utsätts även för krypning och krympning vilket reducerar hållfastheten över tid (Lanham, 2016).

Miljömässigt är betong ett material som emitterar stora utsläpp. En majoritet av dessa kommer från tillverkningen av portlandcement med cementugnar (Babor, 2009). Energiförbrukningen från denna process blir väldigt hög på grund av den värmen som krävs för att skapa cementen. Ytterligare växthusgasutsläpp orsakas av kalcinering, transport och materialutvinning. Utöver växthusgasutsläppen har betong en miljöpåverkan genom emittering av partiklar, vattenförorening samt en stor mängd avfall. Även om betong inte konstrueras av förnybara material finns de i stora kvantiteter så att risken för överutnyttjande är låg. Det finns även en stor reduceringspotential i utsläppen för betong i form av mer hållbar energi, alternativ till portlandcement som flygaska och mycket mer.

Vid konstruktion av en träbro används betong primärt till grundläggning. Plattgrundläggning konstrueras av betongplattor (Brosamverkan, 2022). Andra material är svåra att använda på grund av tjälfarlighet och fukt. Med betongen undviks större beständighetsproblem från dessa källor framför allt eftersom det inte krävs armering då konstruktionen endast belastas i tryck.

Även vid pålgrundläggning är betong ett vanligt material för träbroar av samma anledning. Pålar går dock även att konstrueras i trä eller betong. Gång- och cykelbroar i trä kan även asfalteras.

Stål

Stål har hög hållfasthet samt hög E-modul, detta möjliggör slanka konstruktioner. Möjligheten att svetsa samman element innebär att konstruktionen kan optimeras och material kan besparas (Brosamverkan, 2022). Stål har lång livslängd och är lätt att återvinna och återanvända. Den största miljöpåverkan från stål sker vid järnmalmsbrytning samt framställning av materialet. Detta innebär att återvinning av stål är bra ur miljösynpunkt, då miljöpåverkan vid resursuttag undviks. Vid val av stål till brokonstruktion, är kvaliteten hos stålet av största vikt för att säkerställa en konstruktion med hög hållbarhet (Lebert & Hirt, 2013). Kvaliteten hänvisar i detta fall till stålets seghet och förmåga att motstå sprött brott. Seghetsklasser för stål indelas från A-E, där indelningen baseras på de slagseghetsegenskaper stålet uppvisar vid provning med Charpy-V metoden (boverket, 2007). Under de senaste åren har det gjorts framsteg när det kommer till plåtvalsningsprocesser (Lebert & Hirt, 2013). Detta har i sin tur resulterat i

framställning av termomekaniskt valsat stål. Denna form av stål är lämplig för brokonstruktioner, då den har god svetsbarhet och är motståndskraftig mot spröda brott, anser Lebert och Hirt. När det kommer till brokonstruktioner är motstånd mot sprött brott av stor vikt. Denna form av brott innebär att det knappt uppstår deformation innan brott inträffar, vilket är mycket farligt enligt Lebert och Hirt .

En nackdel är att stål kräver skydd mot korrosion, detta kan bland annat ske genom ytbehandling (Brosamverkan, 2022). Dock kan denna ytbehandling ha negativ miljöpåverkan, och kan behöva upprepas flera gånger under konstruktionens livslängd. Ett annat sätt att skydda konstruktionen från korrosion är att välja rosttrögt stål (Lebert & Hirt, 2013). Denna form av stål är i sin natur motståndskraftig mot korrosion. Vid utformning av en bro är det även viktigt att designen undviker områden där fukt ansamlas menar Lebert och Hirt. Detta kan uppnås utskärningar och hål som kan underlätta för vatten att rinna bort.

Det byggs idag förhållandevis få träbroar i förhållande till stål- och betongbroar (El Masry & Fridh, 2017). Vidare har trä i förhållande till sin egenvikt, god bärighet och är ett lämpligt material för brobyggnad. Att välja en träbro ger lägre klimatpåverkan än alternativen stål och betong menar El Marsy och Fridh. Enligt uppgift från CSDC skall överbyggnaden hos Jubileumsbron konstrueras i limträ eller konstruktionsvirke. Delar av konstruktionen kommer dock att konstrueras i stål. Bland annat kan detaljer samt infästning konstrueras i stål.

2B Grundläggning

Plattgrundläggning

Plattgrundläggning kan delas in i olika undergrupper beroende på underlaget (Brosamverkan, 2022). Vid grundläggning av platta på berg gjuts en platta på plant eller plansprängt berg.

Kontroll av bergets stabilitet i form av sprickzoner och lerslag sker av en bergtekniker. Bergets hållbarhet och stora bärförmåga gör att plattorna ofta blir relativt små.

Grundläggning av platta på jord skapas genom att de översta jordlagren schaktas bort, för att skapa ett bra underlag för överbyggnaden av bronns konstruktion (Brosamverkan, 2022). Vilket djup grundplattan ska anta beror på bland annat sättningar och bärförmåga vilket bestäms tillsammans med en geotekniker.

Vid ett större djup av jordlager med sämre bärkraft, exempelvis silt eller organiska jordarter, kan platta på packad fyllning vara ett ekonomiskt försvarbart alternativ (Brosamverkan, 2022). Detta innebär att de sämre massorna byts ut mot en packad- eller sprängstensfyllning, vilket skapar mer stabilitet. Denna metod kan även användas för att höja grundläggningsnivån ovanför markytan.

När det kommer till plattgrundläggning under grundvattennivån ställs särskilda krav (Brosamverkan, 2022). Arbete under vattenytan är generellt sett svårare att utföra, kontrollera och mer kostsamt. Med tanke på detta vill man i största möjliga mån jobba i torra miljöer. Genom tillfällig grundvattensänkning är det möjligt att utföra.

Pålgrundläggning

Vid den geotekniska utredningen utses lämpliga egenskaper för pålningen (Brosamverkan, 2022). Dessa egenskaper är bland annat pållängder, påles drivbarhet, påhängslaster och vilken typ av pålar som ska användas. Det finns två olika sorters pålar, spets- eller mantelburna. Eftersom pålning är kostsamt, speciellt i vatten, är det viktigt för projektören att utföra noggranna beräkningar.

Vid spetsbärande pålar drivs lasten ner till ett fast jordlager eller till berg (Olsson, 1993). Vid pålar som förs ner till ett fast jordlager är pålen huvudsakligen spetsburna, men kombineras med mantelbärande. Mantelburna pålar används i friktions- eller kohesionsjord genom att överföra lasterna genom skjuvspänningar mellan kontaktytan på pålen och omliggande jord. Skjuvspänningen uppstår genom friktionen som skapas mellan pålen och jorden.

3A Brokoncept urval 2

Tvärspänd plattbro

Plattbron har en enkel design, se bilden nedan. Den är lämplig för platsen, då den enkelt kan anpassas efter omgivning och spännvidd. Fördelen med plattbron är att en låg konstruktionshöjd för plattan kan åstadkommas. Estetiskt sett är den bärande konstruktionen relativt grundläggande, därför är utsmyckning av räcke ett sätt att lyfta utseendet av bron. Plattbroar passar även bra in i stadsbilden, då övriga gång- och cykelbroar i området har en liknande utformning.

Plattbro kommer vara möjlig att prefabricera i fabrik. Plattan kommer att behöva delas upp i åtminstone två delar på grund av transportskäl, då det inte går att transportera element som är längre 35m (Träguiden, 2017). Vid montering på platsen kommer lansering vara det bästa alternativet. Lansering kommer att göras i två etapper. Den första delen kommer lanseras ut från Bastionsplatsen till det första stödet. Efter det kommer den andra delen att monteras samman med den första för att sedan lansera ut till avsedd plats. Montering kommer att ske i två etapper på grund av att transporten och ytan på bastionsplatsen kräver detta.

I denna typ av bro kommer huvud bärverket att placeras under träskydd bestående av tätskikt och en asfaltbeläggning (Träguiden, 2015). Med detta kommer underhållsbehovet vara mindre då träskyddet ger upphov till minskad påverkan av direkta belastningar.

Vid inspektion av denna bro ska inspektören vara under eller på sidan av bron. Detta kräver en bra säkerhet då det finns risk för fall och skador.



Figur 1. En möjlig plattbro inritad på platsen. Författarens egen bild.

Balkbro

Balkbron har en simpel utformning, se bilden nedan. Balkbron kan få en relativt hög konstruktionshöjd av limträbalkarna som utgör bärverket. Detta kan inskränka på den fria höjden under bron, samt vara en negativ aspekt rent estetiskt. Balkbron är mycket lik plattbron rent utseendemässigt och funktionsmässigt. Den passar väl in i området och kan utsmyckas genom broräcket.

Lik plattbro kommer balkbron behövas delas upp i minst två delar för att kunna fraktas på lastbilar till platsen. Balkbron kommer även prefabriceras och de olika delarna kommer att monteras på plats på liknande sätt som plattbron med lansering.

Underhåll av balkbro utförs i stort sett på samma sätt som plattbro. Skillnaden är att i en balkbro kommer balkarna att vara huvud bärverket. Eftersom träbalkar är särskilt känsliga för fukt och angrepp bör inspektionerna utföras löpande. Balkarna måste bytas i situationer med allvarliga fall där fukt trängt in i sprickor och orsakat instabilitet. Detta kräver ett omfattande arbete som är kostsam samt kräver tid vilket bör tas i beaktande.



Figur 2. En möjlig balkbro inritad på platsen med ett utsmyckat räcke. Författarens egen bild.

Fackverksbro

För fackverksbro finns två koncept, se bilderna nedan. Det bärande delen av bron utgörs för båda koncept av fackverket. En skillnad mellan broarna är att den ena designen även använder fackverket som räcke se bild nedan. Fackverksbroarna passar väl in i området och utformning av fackverk kan höja det estetiska utseendet. Alternativt för att bron ska smälta in i stadsbilden, men även för att skapa en annorlunda design som sticker ut.

Fackverksbron prefabriceras i största möjliga mån i fabrik, men även för detta brokoncept kommer det att behöva delas upp i två delar för att transporten ska vara möjlig. Tiden för montering av bron kommer att vara längre än för de tidigare nämnda koncepten, då det är ett mer komplext system med fler delar.

Till skillnad från balk- och plattbro som är ganska underhållsnåla kräver fackverksbroar med bärverk ovanför farbanan mer underhåll (Abelsson et al. 1998). Detta är på grund av att denna typ av bron är bestående av många infästningar och anslutningar av balkar som är sammanbundna. Det kan exempelvis behövas tillfälliga stöd om en eller flera balkar behöver bytas ut. Inspektion av denna typ av bro där balkarna är i samma höjd med farbanan är betydligt enklare och även säkrare för inspektören.



Figur 3. En möjlig fackverksbro inritad på platsen med. Författarens egen bild.

Matematisk bro

Designen av bågbroen se bild nedan har dragit inspiration från Mathematical bridge i Cambridge, England. Bron är estetiskt vacker med sina böjda former över Vallgraven. Dock kan framkomligheten över bron påverkas av lutningen. Exempelvis måste cyklar och rullstolsburna kunna ta sig fram med enkelhet. Bron passar väl in i stadsbilden och kan skapas med relativt enkla medel.

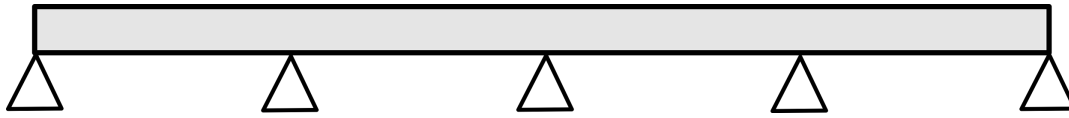
När det kommer till bågbroar är det lite speciellt då alla delar måste vara på plats innan de får en bågverkan. Detta gör att fler temporära konstruktioner krävs vid montering. Bron kommer behöva delas in i olika segment. Först behandlas bron i två olika bågar som sedan sätts samman. En av bågaras delar kommer att vara brobanan som kommer kunna prefabriceras helt i fabrik.

Eftersom denna bro har delvis samma design som brokoncept 3, kommer därför att underhållsarbeten vara nästan samma. På grund av den bågformade designen blir framkomligheten lite begränsad för balkarnas anslutningar nära stöden. I och med detta behöver inspektören befinna sig under bron för att utföra inspektionen.



Figur 4. En möjlig bågbro med fackverksrücke inspirerad av Mathematical bridge i Cambridge. Författarens egen bild.

5A Beräkningsmodell tvärsektion



Figur 5. Modellen visar en tvärsektion av gångbanan. Författarens egen bild.

5B Beräkningsmodell längssektion



Figur 6. Modellen visar en sektion av gångbanan i längsled. Författarens egen bild.

5C MATLAB-kod beräkningsmodell

```
%-----  
% Syfte:      Beräkning av egentyngd vid längsled och tvärled  
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:  
%            Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
%            Elin Widén, Vendela Örndal  
%-----  
h=0.135; % Balkhöjd  
b=0.115; % Balkbredd  
g=9.82; % Tyngdacceleration [m/s^2]  
  
% Limträ GL32c  
dens_tra=410; % Densitet (Träguiden) [kg/m^3]  
vikt_tra=dens_tra*g; % Vikt [N/m^3]  
g_tra=vikt_tra*b*h; % Egentyngd [N/m]  
  
% Plankor furu  
dens_plank=460; % Densitet (Träguiden) [kg/m^3]  
t_planka=0.05; % Tjocklek [m]  
g_planka=dens_plank*t_planka*g; %Egentyngd [N/m]  
  
% Total egentyngd längsled och tvärled [N/m]  
G_ll=g_tra;  
G_lt=g_planka;  
fprintf(' Egentyngd längsled: G_l = %2.4f [kN/m] \n', G_ll/1000)  
fprintf(' Egentyngd tvärled: G_lt = %2.4f [kN/m] \n', G_lt/1000)
```

Egentyngd längsled: G_l = 0.0625 [kN/m]

Egentyngd tvärled: G_lt = 0.2259 [kN/m]

Published with MATLAB® R2020a

```
%-----  
% Syfte:  
% Beräkning av:  
  
% G_l_ohuv = Egentyngd ogynnsam huvudlast 6.10a längsled  
% G_l_ghuv = Egentyngd gynnsam huvudlast 6.10a längsled  
% G_l_oe huv = Egentyngd ogynnsamm ej huvudlst 6.10b längsled  
% G_l_ge huv = Egentyngd gynnsamm ej huvudlst 6.10b Längsled  
% G_l_to huv = Egentyngd ogynnsam huvudlast 6.10a tvärled  
% G_l_tghuv = Egentyngd gynnsam huvudlast 6.10a tvärled  
% G_l_toe huv = Egentyngd ogynnsamm ej huvudlst 6.10b tvärled  
% G_l_tgehuv = Egentyngd gynnsamm ej huvudlst 6.10b tvärled  
% q_fk_l_huv = Jämnt utbredd last huvudlast längsled  
% q_fk_l_oe huv = Ogynnsam jämnt utbredd last längsled ej huvudlast  
% q_fk_l_ge huv = Gynnsam jämnt utbredd längsled last ej huvudlast  
% q_fk_t_huv = Jämnt utbredd last huvudlast tvärled  
% q_fk_t_oe huv = Ogynnsam jämnt utbredd last tvärled ej huvudlast  
% q_fk_t_ge huv = Gynnsam jämnt utbredd last tvärled ej huvudlast  
  
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:  
%            Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
%            Elin Widén, Vendela Örndal  
%-----  
  
q_fk=5e3; % Jämnt utbredd last (SS-EN 1991-2) [N/m^2]  
q_fk_L= q_fk*1; % Jämnt utbredd per meter längsled [N/m]
```

```

q_fk_T= q_fk*1; % Jämnt utbredd per meter tvärlad [N/m]

% Partialkoefficienter och reduktionstal
xi=0.85; % Reduktionsfaktor egentygnd (SS-EN 1990, tabell A2.4)
psi_02=0.4; % Lastreduktionstal jämnt utbredd last (SS-EN 1990, tabell A2.2)
gamma_Eo=1.35; % Ogynnsam egentygnd (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Eg=1; % Gynnsam egentygnd (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Qo=1.35; % Ogynnsam jämnt utbredd last (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Qo=1.5; % Ogynnsam last övrigt (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Qg=0; % Gynnsam last övrigt (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Qg=0; % Gynnsam jämnt utbredd last (SS-EN 1990, tabellA2.4)

G_l_ohuv=G_ll*gamma_Eo; % Egentyngd ogynnsam huvudlast 6.10a Längsled
G_l_ghuv=G_ll*gamma_Eg; % Egentyngd gynnsam huvudlast 6.10a Längsled
G_l_oe huv=G_ll*gamma_Eo*xi; % Egentyngd ogynnsamm ej huvudlst 6.10b Längsled
G_l_gehuv=G_ll*gamma_Eg*xi; % Egentyngd gynnsamm ej huvudlst 6.10b Längsled

G_l_tohuv=G_lt*gamma_Eo; % Egentyngd ogynnsam huvudlast 6.10a Tvärlad
G_l_tghuv=G_lt*gamma_Eg; % Egentyngd gynnsam huvudlast 6.10a Tvärlad
G_l_toehuv=G_lt*gamma_Eo*xi; % Egentyngd ogynnsamm ej huvudlst 6.10b Tvärlad
G_l_tgehuv=G_lt*gamma_Eg*xi; % Egentyngd gynnsamm ej huvudlst 6.10b Tvärlad

q_fk_l_huv=q_fk_L*gamma_Qo; % Jämnt utbredd last huvudlast längsled
q_fk_l_oe huv=q_fk_L*gamma_Qo*psi_02; % Ogynnsam jämnt utbredd last längsled ej
huvudlast
q_fk_l_gehuv=q_fk_L*gamma_Qg*psi_02; % Gynnsam jämnt utbredd längsled last ej
huvudlast

q_fk_t_huv=q_fk_T*gamma_Qo; % Jämnt utbredd last huvudlast tvärlad
q_fk_t_oe huv=q_fk_T*gamma_Qo*psi_02; % Ogynnsam jämnt utbredd last tvärlad ej
huvudlast
q_fk_t_gehuv=q_fk_T*gamma_Qg*psi_02; % Gynnsam jämnt utbredd last tvärlad ej
huvudlast

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%Placering av punktlaster
% -----
% Syfte: En funktion som bestämmer positionen av en punktlast och vilka element den
verkar
% på
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----
function [epp epl]=Punktlast(pp,xe,P)
if pp>=xe(1,1) && pp<=xe(1,2)
    epp(1,1)=pp-xe(1,1);
    epp(1,2)=xe(1,2)-pp;
    epl(1,:)= [0 P];
else
    epp(1,:)= [0 0];
    epl(1,:)= [0 0];
end
end

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%Punktlaster kraft och styvhetsmatris
% -----
% Syfte: En funktion som beräknar styvhetsmatris och kraftmatris för
% ett balkelement belastat med en punktlast i godtycklig punkt
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal

```

```

% -----

function [Ke, fep]=balk2eplast (ex,ey,ep,P,epp)
%Indata
a=epp(1); b=epp(2);
Ly=(ey(1,1)-ey(1,2)); %stångens utsträckning i y led
Lx=(ex(1,1)-ex(1,2)); %stångens utstäckning i x led
theta=atan(Ly/Lx); % vinkeln mellan det globala och lokala kordinatsystemet
nxx=cos(theta); %rikningscosin för x led
nxy=sin(theta); %rikningscosin för y led
nyx=-nxy; %rikningscosin för yx led
nyy=nxx; %rikningscosin för yy led
L=sqrt(Ly^2+Lx^2); %längden av stången;

%Transformationsmatris
G= [nxx nxy 0 0 0 0;nxy nyy 0 0 0 0;0 0 1 0 0 0;0 0 0 nxx nxy 0; 0 0 0 nxy nyy 0; 0
0 0 0 1];

%E modul
Dea=ep(1,1)*ep(1,2);%Balkens kobinerade tvärsnittsarea med E modul
DeI=ep(1,1)*ep(1,3);%Balkens kobinerade yttröghetsmoment med E modul

%Originella matriser
Kel=[Dea/L 0 0 -Dea/L 0 0;0 12*DeI/L^3 6*DeI/L^2 0 -12*DeI/L^3 6*DeI/L^2;0
6*DeI/L^2 4*DeI/L 0 -6*DeI/L^2 2*DeI/L;-Dea/L 0 0 Dea/L 0 0; 0 -12*DeI/L^3 -
6*DeI/L^2 0 12*DeI/L^3 -6*DeI/L^2; 0 6*DeI/L^2 2*DeI/L 0 -6*DeI/L^2 4*DeI/L];
%lokal styvhetsmatris
flep=[P(1,1)/2;+P(1,2)*b^2/L^2*(1+2*a/L);P(1,2)*a*b^2/L^2;0;P(1,2)*a^2/L^2*(1+2*b/L
); -P(1,2)*a^2*b/L^2]; %lokal kraftvektor

%Omräkning av system
Ke=G'*Kel*G; %transformerar lokal styvhetsmatris till global
fep=G'*flep;

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%Beräkning av punklast i tvärled
%-----
% Syfte: Beräknar reaktionskrafter och maximala snittkrafter för ett
% servicefordon i tvärled över gångbanan
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

%Indata som krävs
b=0.1; h=0.25; L=1;
ba=5; B=4; E=33*10^9;
A=h*b;
I=h^3*b/12;
W=h^2*b/6;
ep=[E A I];
P=40*10^3;

%Geometriska parametrar
for i=1:ba-1
    xe(i,:)=[(i-1)*B/(ba-1) i*B/(ba-1)];
    ye(i,:)=[0 0];
end

%Tomma matriser
Edof=zeros(ba-1,7);
dofs=height(Edof)*3+3;

```

```

fle=zeros (ba*3,1);
flePlast=zeros (ba*3,1);
fleu=zeros (ba*3,1);
K=zeros (ba*3,ba*3);

%randvilkor
for i=0:height(xe)-1
    Edof(i+1,:)=i+1, 1+3*i, 2+3*i, 3+3*i, 4+3*i, 5+3*i, 6+3*i];
end
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 11 0; 14 0];

% Vilkor för försök
Test=20; %antalet testade punkter
ppp=[0 0+1.2];

% Itteration för att få fram förskjutning och reaktionskrafter
for k=1:Test+1
    for j=1:2
        pp(k,:)=ppp+(k-1)*(xe(height(xe),2)-xe(1,1)-1.2)/Test;
        for i=1:height(Edof)
            Plst(i,:)=0 -P];
            [epp(i,:) epl(i,:)]=Punktlast(pp(k,j),xe(i,:),Plst(i,2));
            [Kel,flp]=balk2eplast(xe(i,:),ye(i,:),ep,epl(i,:),epp(i,:)); %skapar
globala styvhetsmatriser och lastvektorer för varje element
            rad=Edof(i,2:7); %utsätter vart i den globala K matrisen Ke assembleras
            K(rad,rad)=K(rad,rad)+Kel; %assemblerar K matrisen från Ke matriser
            rad=Edof(i,2:7); %utsätter vart i den globala K matrisen Ke assembleras
            flePlast(rad,1)=flePlast(rad,1)+flp; %assemblerar punktlast
        end
    end
    [aPunktlastAlla(:,k), fPunktlastAlla(:,k)]=solveq(K,flePlast,bc);
    flePlast=zeros(dofs,1);
end

%Letar reda på maximal reaktionskraft
[fPunktMax fmaxpos]=max(fPunktlastAlla);
[fMax fMaxpos]=max(fPunktMax);
fMaxRad=fPunktlastAlla(:,fMaxpos);
aMaxRad=aPunktlastAlla(:,fMaxpos);

% maximala krafter moment
MaxMom=P*L/4; %2.2 är längden av balkdelar från
fmd=32*0.7/1.25*10^6;
fc90d=3*10^6*0.7/1.25;
SigMom=(MaxMom/W);
MomentKontroll=SigMom/fmd;

%Maximal tvärkraft
SigTvar=fMax*0.9/A; %väldigt ungefärligt värde på det maximala tvärkraften vid
värsta lastfallet då lasten ligger precis utanför stödet från Pb/L där en b ansätts
till 0.9 för att hamna utanför stödet
MaxTvarLang=SigTvar/fc90d;

fprintf('Tvärfkraft Servicefordon OK! : V_kap= %2.3f [%%]\n\n', MaxTvarLang)
fprintf('Moment Servicefordon OK! : M_kap= %2.3f [%%]\n\n', MomentKontroll)

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%Beräkningar för pelare
%-----
% Syfte: Beräkning av reaktionskrafter, maximala krafter samt knäckning i pelare
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%     Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%     Elin Widén, Vendela Örndal
% -----
% Indata för kraft och förskjutningsberäkningar

```

```

E=33*10^9;
h=0.09; b=0.042;
A=b*h;
I=h^3*b/12;
ep=[E A I];

%Geometrisk parametrar
xe(1:7,:)= [0 0;0 0;0 0;0 0;0 0;0 0;0 -1.2];
ye(1,:)= [0 0.51-0.2];
ye(2,:)= [0 0.3-0.2];
ye(3,:)= [0 0.43-0.2];
ye(4,:)= [0 1.03];
ye(5,:)= [0 1.27];
ye(6,:)= [0 2.02];
ye(7,:)= [0 1.13];

%laster och randvilkor
qe=[-77.82 0];
bc=[1 0; 2 0;4 0];
Edof=[1 1 2 3 4 5 6];

%Variabler för figurer
plotpar=[2,4,2]; %anger färg och form för figurlinjer
n=20; %antal plottade punkter
N=linspace(0,1,n);

%yttre krafter tagna från reaktionskrafter i gångbanans
fe=[-1.7199e4;-1.8101e4;-1.7199e4;-1.8101e4; -1.3419e4; -1.6638e4; 5.100e4];

%for loopen kontrollerar alla pelare
for i=1:height(ye)
    %Ger förskjutning och reaktionskrafter i varje not
    K=zeros(6,6);
    flEgen=zeros(6,1);
    [Ke1,flEgen]=beam2e(xe(i,:),ye(i,:),ep,qe);
    rad=Edof(1,2:7);
    K(rad,rad)=K(rad,rad)+Ke1;
    flEgen(5,1)=flEgen(5,1)+fe(i,1);
    [aEgen(:,i), fEgen(:,i)]=solveq(K,flEgen,bc);
    Ed=extract(Edof,aEgen);

    %Skapar förskjutning och kraftfördelning för varje element och plottar
    [es ed ec]=beam2s(xe(i,:),ye(i,:),ep,Ed,qe,n);
    Tvar(:,i)=es(:,1); Norm(:,i)=es(:,2); Mom(:,i)=es(:,3);
    figure(i)
    plot(N,Tvar(:,i),N, Norm(:,i),N, Mom(:,i))
    legend('tvärkraft [kN]','normalkraft [kN]','moment [kNm]')
    xlabel('längd x/L')
    ylabel('snittkraftfördelning')
end

% Indata för kapacitetsberäkningar
W=h^2*b/6;
fmd=32*0.7/1.25*10^6;
fcd=26.5*10^6*0.7/1.25;
fc90d=3*10^6*0.7/1.25;

% hittar de maximala krafterna
MaxNorm=max(abs(Tvar));
MaxTvar=max(abs(Norm));
MaxMom=max(abs(Mom));

%beräknar maximala spänningen i elementen
SigNorm=MaxNorm/A;
SigTvar=(MaxTvar/A);
SigMom=(MaxMom/W);

%kontrollerar kapaciteten av spänningen
Normalkraftskontroll=max(abs(SigNorm)/fcd)*100;

```

```

MomentKontroll=max(abs(SigMom/fmd))*100;
Tvarkraftskontroll=max(abs(SigTvar/fc90d))*100;

%Kontroll av knäcklast
Nmax=pi^2*E*I/2.2^2;

if max(MaxNorm)/Nmax<0.4
    fprintf('Knäckningen för pelare är ok!\n\n')
end
fprintf('Normalkraft båge OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n', Normalkraftskontroll)
fprintf('Tvärkraft båge OK! : V_kap= %2.3f [%%]\n\n', Tvarkraftskontroll)
fprintf('Moment båge OK! : M_kap= %2.3f [%%]\n\n', MomentKontroll)

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%-----
% Syfte: Beräkning av reaktionskrafter, max normalkraft, max tvärkraft,...
% max moment i tvärled
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

clc
close all
E=33e9; % elasticitetsmodul
b1=0.12; % Balkbredd [m]
h1=0.05;
A=h1*b1; % Tvärsnittsarea på balken [m^2]
I=b1*0.04^3/12; % Yttröghetsmoment [m^4]

% Topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15];

% Upplagsvillkor, frit upplagd balk
bc=[1 2 5 8 11 14;0 0 0 0 0 0]';

% Koordinater
ex=[0 1;1 2;2 3;3 4];
ey=[0 0;0 0;0 0;0 0];

% Elementens materialegenskaper i en vektor
ep=[E A I];

%Skapar en matris för reaktionskrafter och maxvärden för M,V,N
reaktion=zeros(5,6);
Maxvarden=zeros(4,4);

% Loopar lastfallen
for i=1:5

    % styvhetsmatris K och lastvektor f
    K=zeros(15);
    f=zeros(15,1);
    if i==1
        % Lastfall 1, Huvudlast: Ogyynsam egentyngd
        eq=[0 -G_l_tohuv;0 -G_l_tohuv;...
            0 -G_l_tohuv;0 -G_l_tohuv];
    elseif i==2

```

```

% Lastfall 2, Huvudlast: Ogyynnsam jämnt utbredd last ,
% Övriga laster : Ogyynnsam egentyngd
eq=[0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv;0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv;...
    0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv;0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv];

elseif i==3
% Lastfall 3, Huvudlast: Ogyynnsam jämnt utbredd last ,
% Övriga laster : Ogyynnsam egentyngd på element 3&4
eq=[0 -G_l_toehuv;0 -G_l_toehuv;...
    0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv;0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv];

elseif i==4
% Lastfall 4, Huvudlast: Ogyynnsam jämnt utbredd last ,
% Övriga laster : Ogyynnsam egentyngd på element 4
eq=[0 -G_l_toehuv;0 -G_l_toehuv;...
    0 -G_l_toehuv;0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv];

elseif i==5
% Lastfall 5, Huvudlast: Ogyynnsam jämnt utbredd last ,
% Övriga laster : Ogyynnsam egentyngd på element 1,2 och4
eq=[0 -G_l_toehuv-q_fk_t_huv;0 -G_l_toehuv-q_fk_t_huv;...
    0 -G_l_toehuv;0 -q_fk_t_huv-G_l_toehuv];

end

for n=1:4 % loopar elementen
% Styvhetsmatris och lastvektor
[Ke, fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:));

% Assemblering till globala matris
[K, f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe);
end

% Löser ekvationssystemet samt beräkning av förskjutningarna och
% reaktionskrafterna
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Samtliga reaktionskrafter
reaktion(i,:)=[i r(2) r(5) r(8) r(11) r(14)];
% Elementförskjutningar från det globala lösningsvektor a
Ed=extract(Edof,a);

% Elementkrafter för elementet, normalkraft kolumn 1, tvärkraft kolumn 2
% moment i kolumn 3
es=zeros(10,12);
for j=1:4
    [es(:,3*j-2:3*j)]=beam2s(ex(j,:),ey(j,:),ep,Ed(j,:),eq(j,:),10);
end

% Skapar en figur för respektive lastfall
figure(i)

% Döper plotten
if i==1
    sgttitle('Lastfall 1 tvärled')
elseif i==2
    sgttitle('Lastfall 2 tvärled')
elseif i==3
    sgttitle('Lastfall 3 tvärled')
elseif i==4
    sgttitle('Lastfall 4 tvärled')
elseif i==5
    sgttitle('Lastfall 5 tvärled')
end
hold on

for n=1:4
    subplot(3,1,1) % Normalkraften ligger överst i plotten

```

```

title('Normalkraft [N]') % Titel
xlabel('Längd [m]') % X-axeln
plotpar=[2 1]; % Linjefärg
sfac1=scalfact2(ex(2,:),ey(2,:),es(:,(1)),0.5); %Skala på figur
% Ritar diagram för normalkraft, kolumn 1
eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(1+(n-1)*3)),plotpar,sfac1);
axis normal
end
% Maximal normalkraft
Nmax=max(max([abs(es(:,1)),abs(es(:,4)),abs(es(:,7)),abs(es(:,10))])));

for n=1:4
subplot(3,1,2) % Tvärkraften ligger i mitten av plotten
title('Tvärkraft [N]') % Titel
xlabel('Längd [m]') % X-axeln
plotpar=[2 1]; % Linjefärg
sfac2=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(2)),0.5); %Skala på figur
% Ritar diagram för tvärkraft, kolumn 2
eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(2+(n-1)*3)),plotpar,sfac2);
axis normal
end
% Maximal tvärkraft
Vmax=max(max([abs(es(:,2)),abs(es(:,5)),abs(es(:,8)),abs(es(:,11))])));

for n=1:4
subplot(3,1,3) % Moment ligger längst ner i plotten
title('Moment [Nm]') % Titel
xlabel('Längd [m]') % X-axeln
plotpar=[2 1]; % Linjefärg
sfac3=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(3)),0.5); %Skala på figur
% Ritar diagram för momentkraft
eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(3+(n-1)*3)),plotpar,sfac3);
axis normal
end

% Maximal momentkraft
Mmax=max(max([abs(es(:,3)),abs(es(:,6)),abs(es(:,9)),abs(es(:,12))])));

% Maxvärden för respektive kraft i en matris för varje lastfall
Maxvarden(i,:)= [i Nmax Vmax Mmax];

end

% Maximala värdet för alla lastfall för respektive krafter
N_max=max(Maxvarden(:,2))
V_max=max(Maxvarden(:,3))
M_max=max(Maxvarden(:,4))
R_max1=max(abs(reaktion(:,2)))
R_max2=max(abs(reaktion(:,3)))
R_max3=max(abs(reaktion(:,4)))
R_max4=max(abs(reaktion(:,5)))
R_max5=max(abs(reaktion(:,6)))

fprintf(' Maximal tvärkraft i lastfall 5: V_max = %2.3f [kN] \n',V_max/1000)
fprintf(' Maximal moment i lastfall 5: M_max = %2.3f [kNm] \n',M_max/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 1 lastfall 2: R_max = %2.3f [kN]\n', R_max1/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 2 lastfall 5: R_max = %2.3f [kN]\n', R_max2/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 3 lastfall 2: R_max = %2.3f [kN]\n', R_max3/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 4 lastfall 3: R_max = %2.3f [kN]\n', R_max4/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 5 lastfall 5: R_max = %2.3f [kN]\n', R_max5/1000)

```

N_max =

0

V_max =

4.3460e+03

M_max =

841.3848

R_max1 =

2.7536e+03

R_max2 =

8.5529e+03

R_max3 =

6.5085e+03

R_max4 =

8.3721e+03

R_max5 =

3.0851e+03

Maximal tvärkraft i lastfall 5: V_max = 4.346 [kN]

Maximal moment i lastfall 5: M_max = 0.841 [kNm]

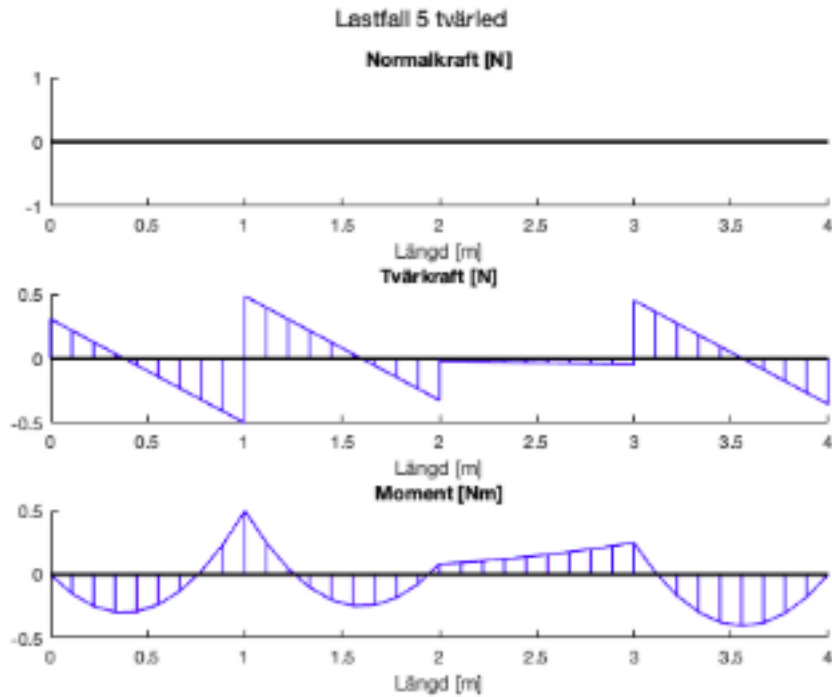
Reaktionskraft för stöd 1 lastfall 2: R_max = 2.754 [kN]

Reaktionskraft för stöd 2 lastfall 5: R_max = 8.553 [kN]

Reaktionskraft för stöd 3 lastfall 2: R_max = 6.509 [kN]

Reaktionskraft för stöd 4 lastfall 3: R_max = 8.372 [kN]

Reaktionskraft för stöd 5 lastfall 5: R_max = 3.085 [kN]



Published with MATLAB® R2020a

```

%-----
% Syfte: Beräkning av reaktionskrafter, max normalkraft, max tvärkraft,...
% max moment i längsled
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

clc
close all
clear eq

E=33e9; % elasticitetsmodul
h=0.135; % Balkhöjd
b=0.115; % Balkbredd
A=h*b; % Tvärsnittsarea på balken [m^2]

```

```

I=b*h^3/12; % Yttröghetsmoment [m^4]

```

```

% Topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6];

% Upplagsvillkor, frit upplagd balk
bc=[1 2 5;0 0 0]';

% Koordinater
ex=[0 2.1969];
ey=[0 0];

% Elementens materialegenskaper i en vektor
ep=[E A I];

reaktion=zeros(2,3);
Maxvarden=zeros(4,4);

% Loopar lastfallen
for i=1:1

    % styvhetsmatrix K och lastvektor f
    K=zeros(6);
    f=zeros(6,1);

    if i==1

        % Lastfall 1, Huvudlast: Ogyynnsam egentyngd ,
        % Övriga laster : Ogyynnsam jämt utbredd last
        eq=[0 -G_1_ohuv-R_max2];

    end
end

```

```

for n=1:1 % loopar elementen

    % Styvhetsmatris och lastvektor
    [Ke, fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:));

    % Assemblering till globala matris
    [K,f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe);

end

% Löser ekvationssystemet samt beräkning av förskjutningarna och
% reaktionskrafterna
[a,r]=solveq(K,f,bc);

% Samtliga reaktionskrafter
reaktion(i,:)=[i r(2) r(5)];

% Elementförskjutningar från det globala lösningsvektor a
Ed=extract(Edof,a);

% Elementkrafter för elementet, normalkraft kolumn 1, tvärkraft kolumn 2
% moment i kolumn 3
es=zeros(10,3);

for j=1:1
    [es(:,3*j-2:3*j)]=beam2s(ex(j,:),ey(j,:),ep,Ed(j,:),eq(j,:),10);
end

% Skapar en figur för respektive lastfall
figure(i)

% Döper plotten
if i==1
    sgtitle('Lastfall 1 längsled')
end

hold on

```

```

for n=1:1
    subplot(3,1,1) % Normalkraften ligger överst i plotten
    title('Normalkraft [N]') % Titel
    xlabel('Längd [m]') % X-axeln
    plotpar=[2 1]; % Linjefärg
    sfac1=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(1)),0.5); %Skala på figur
    % Ritar diagram för normalkraft, kolumn 1
    eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(1+(n-1)*3)),plotpar,sfac1);
    axis normal
end
% Maximal normalkraft
Nmax=max(max([abs(es(:,1))])));

for n=1:1
    subplot(3,1,2) % Tvärkraften ligger i mitten av plotten
    title('Tvärkraft [N]') % Titel
    xlabel('Längd [m]') % X-axeln
    plotpar=[2 1]; % Linjefärg
    sfac2=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(2)),0.5); %Skala på figur
    % Ritar diagram för tvärkraft, kolumn 2
    eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(2+(n-1)*3)),plotpar,sfac2);
    axis normal
end
% Maximal tvärkraft
Vmax=max(max([abs(es(:,2))])));

for n=1:1
    subplot(3,1,3) % Moment ligger längst ner i plotten
    title('Moment [Nm]') % Titel
    xlabel('Längd [m]') % X-axeln
    plotpar=[2 1]; % Linjefärg
    sfac3=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(3)),0.5);%Skala på figur
    % Ritar diagram för momentkraft
    eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(3+(n-1)*3)),plotpar,sfac3);
    axis normal
end
% Maximal momentkraft
Mmax=max(max([abs(es(:,3))])));

% Maxvärden för respektive kraft i en matris för varje lastfall
Maxvarden(i,:)=[i Nmax Vmax Mmax];

end

% Maximala värdet för alla lastfall för respektive krafter
N_max=max(Maxvarden(:,2))
V_max=max(Maxvarden(:,3))
M_max=max(Maxvarden(:,4))
R_max1=max(reaktion(:,2))
R_max2=max(reaktion(:,3))

```

N_max =

0

V_max =

9.4876e+03

```
M_max =  
  
5.1465e+03
```

```
R_max1 =  
  
9.4876e+03
```

```
R_max2 =  
  
9.4876e+03
```

Published with MATLAB® R2020a

```
%-----  
% Syfte: Kapacitets kontroll för moment och  
tvärkraft  
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:  
  
% Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
% Elin Widén, Vendela Örndal  
%-----  
  
h=0.05; % höjd på plank  
b=0.12; % Bredd p plank  
A=b*h; % Tvärsnittsarea  
  
Mmax=843 %[Nm] Maximal moment tvärled  
Vmax=4.35e3 %[N] Maximal tvärkraft tvärled  
  
% Karaktristiskt hållfasthetsvärde för limträ GL32  
fmk=32e6 %[Pa]  
  
% Lastvaraktighet  
  
kmod=0.7 %[-] gammam=1.25  
%[-]
```

```

% Dimensionerande hållfasthet
fmd= (fmk*kmod)/gammam; % [Pa]

% Böjmotstånd
wx= (b*h^2)/6; % [m^3]

% Moment kapacitet
Mrd= wx*fmd;

% Nyttjandegrad, M_max
Mkap=Mmax/Mrd*100; % [%]

if (Mmax <= Mrd) fprintf(' Momentkapacitet längsled OK!: M_kap= %2.3f
    [%%]\n', Mkap)
else
    fprintf(' Momentkapacitet längsled INTE OK!: M_kap= %2.3f [%%]\n', Mkap)
end

% Karakteristiskt hållfasthetsvärde limträ GL32c
fvk=3e6; % [Pa]

% Dimensionerande hållfasthetsvärde
fvd=kmod*fvk/gammam; % [Pa]

vrd=fvd*A;%[N]

% Nyttjandegrad, V_max
Vkap=Vmax/vrd*100; % [%]

if (Vmax <= vrd)
    fprintf(' Tvärkraftskapacitet längsled OK! : V_kap= %2.3f [%%]\n\n', Vkap)
else
    fprintf(' Tvärkraftskapacitet längsled INTE OK! : V_kap=%2.3f [%%]\n\n', Vkap)
end

```

Mmax =

843

Vmax =

4350

```

fmk =

    32000000

kmod =

    0.7000

gammam =

    1.2500

```

Momentkapacitet längsled OK!: $M_{kap} = 94.085$ [%]

Tvårkraftskapacitet längsled OK! : $V_{kap} = 43.155$ [%]

Published with MATLAB® R2020a

```

%-----
% Syfte: Beräkning av normalkraft, tvärkraft, moment och förskjutning och
% kapacitetskontroll av bågen
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

close all
clc

% definerar styvhetsmatris K och lastvektor fl
K=zeros(24,24);
fl=zeros(24,1);

% Upplagsvillkor
bc=[1 2 22 23;0 0 0 0]';

% Topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24];

% Indata
E=11e9; % elasticitetsmodul
b1=0.115; % Balkbredd [m]
h1=0.360; % Balkhöjd [m]
A=b1*h1; % Tvärsnittsarea
I=(h1^3)*(b1)/12; % Yttröghetsmoment
ep=[E A I]; % Elementens materialegenskaper i en vektor

% Definerar en matris för pålagda laster
flepalagd=zeros(24,1);

```

```

% Bågens koordinater
[ex ey]=bage(40,8,14)
ex1=ex(1,:); ex2=ex(2,:); ex3=ex(3,:);
ex4=ex(4,:); ex5=ex(5,:); ex6=ex(6,:); ex7=ex(7,:);
ey1=ey(1,:); ey2=ey(2,:); ey3=ey(3,:);
ey4=ey(4,:); ey5=ey(5,:); ey6=ey(6,:); ey7=ey(7,:);

% Jämmt utbredda lasten på respektive element
qe=[0 -b1*h1*9.81*450];

% BERäknar den globala styvhetsmatrisen och lastvektorn
for i=1:7
    [eq(i,:)]=Egenvikt(ex(i,:),ey(i,:),qe);
    dofs=Edof(i,2:end);
    [Ke fle]=balk2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
    K(dofs,dofs)=K(dofs, dofs)+Ke;
    fl(dofs,1)=fl(dofs,1)+fle;
end

% Stoppar in lasterna på respektive element
for i=1:6
    flepalagd(3*i+2,:)=-10^3*(ex(i,2)-ex(i,1))*8.25/2-10^3*(ex(i+1,2)-
ex(i+1,1))*8.23/2; % 8.23 kommer från Gangbrador och är samma som lasten där
end
fl=fl+flepald;

% Löser ekvationssystemet samt beräkning av förskjutningarna och
% reaktionskrafterna
[a, f] = solveq(K, fl, bc);
fb = f-fl;
ed=extract(Edof,a);
n=10;

% Beräknar Normalkraft, tvärkraft, moment och förskjutning för respektive
% element
[es1,edi1,eci1]=beam2s(ex1,ey1,ep,ed(1,:),eq(1,:),n);
[es2,edi2,eci2]=beam2s(ex2,ey2,ep,ed(2,:),eq(2,:),n);
[es3,edi3,eci3]=beam2s(ex3,ey3,ep,ed(3,:),eq(3,:),n);
[es4,edi4,eci4]=beam2s(ex4,ey4,ep,ed(4,:),eq(4,:),n);
[es5,edi5,eci5]=beam2s(ex5,ey5,ep,ed(5,:),eq(5,:),n);
[es6,edi6,eci6]=beam2s(ex6,ey6,ep,ed(6,:),eq(6,:),n);
[es7,edi7,eci7]=beam2s(ex7,ey7,ep,ed(7,:),eq(7,:),n);

% Plottar förskjutning
figure(1)
grid on
plotpar=[2 1 1];
eldraw2(ex1,ey1,plotpar);
eldraw2(ex2,ey2,plotpar);
eldraw2(ex3,ey3,plotpar);
eldraw2(ex4,ey4,plotpar);
eldraw2(ex5,ey5,plotpar);
eldraw2(ex6,ey6,plotpar);
eldraw2(ex7,ey7,plotpar);
sfac=scalfact2(ex7,ey7,ed(7,:),0.02);
plotpar=[1 2 1];
grid on
eldisp2(ex1,ey1,ed(1,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex2,ey2,ed(2,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex3,ey3,ed(3,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex4,ey4,ed(4,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex5,ey5,ed(5,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex6,ey6,ed(6,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex7,ey7,ed(7,:),plotpar,sfac);
axis normal
title('förskjutning')

% Plottar normalkrafr

```

```

figure(2)
plotpar=[2 1];
grid on
sfac=scalfact2(ex1,ey1,es1(:,1),0.2);
eldia2(ex1,ey1,es1(:,1),plotpar,sfac);
eldia2(ex2,ey2,es2(:,1),plotpar,sfac);
eldia2(ex3,ey3,es3(:,1),plotpar,sfac);
eldia2(ex4,ey4,es4(:,1),plotpar,sfac);
eldia2(ex5,ey5,es5(:,1),plotpar,sfac);
eldia2(ex6,ey6,es6(:,1),plotpar,sfac);
eldia2(ex7,ey7,es7(:,1),plotpar,sfac);
title('normalkraft')

% Plottar tvärkrarft
figure(3)
grid on
sfac=scalfact2(ex3,ey3,es3(:,2),0.2);
eldia2(ex1,ey1,es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex2,ey2,es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex3,ey3,es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex4,ey4,es4(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex5,ey5,es5(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex6,ey6,es6(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex7,ey7,es7(:,2),plotpar,sfac);
title('tvärkraft')

% Plottar moment
figure(4)
grid on
sfac=scalfact2(ex3,ey3,es3(:,3),0.2);
eldia2(ex1,ey1,es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex2,ey2,es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex3,ey3,es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex4,ey4,es4(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex5,ey5,es5(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex6,ey6,es6(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex7,ey7,es7(:,3),plotpar,sfac);
title('Moment (KNm)')

Mmax=max(max(abs([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3)
es7(:,3)])))); %[Nm] Maximal moment bågen
Vmax=max(max(abs([es1(:,2) es2(:,2) es3(:,2) es4(:,2) es5(:,2) es6(:,2)
es7(:,2)])))); %[N] Maximal tvärkraft bågen

% Karaktristiskt hållfasthetsvärde för limträ GL32
fmk=32e6; %[Pa]

% Lastvaraktighet
kmod=0.7; %[-]
gammam=1.25; %[-]

% Dimensionerande hållfasthet
fmd=(fmk*kmod)/gammam; % [Pa]

% Böjmotstånd
wx= (b1*h1^2)/6; % [m^3]

% Moment kapacitet
Mrd= wx*fmd;

% Nyttjandegrad, M_max
Mkap=Mmax/Mrd*100; % [%]

if (Mmax <= Mrd)
    fprintf(' Momentkapacitet båge OK!: M_kap= %2.3f [%%]\n', Mkap)

```

```

else
    fprintf(' Momentkapacitet båge INTE OK!: M_kap= %2.3f [%%]\n', Mkap)
end

% Karakteristiskt hållfasthetsvärde limträ GL32c
fvk=3e6; % [Pa]

% Dimensionerande hållfasthetsvärde
fvd=kmod*fvk/gammam; % [Pa]

vrd=fvd*A;%[N]

% Nyttjandegrad, V_max
Vkap=Vmax/vrd*100; % [%]

if (Vmax <= vrd)
    fprintf(' Tvärkraftskapacitet båge OK! : V_kap= %2.3f [%%]\n\n', Vkap)
else
    fprintf(' Tvärkraftskapacitet båge INTE OK! : V_kap=%2.3f [%%]\n\n', Vkap)
end

% Knäckningkontroll
maxNormalkraft=max(max(abs([es1(:,1) es2(:,1) es3(:,1) es4(:,1) es5(:,1) es6(:,1)
es7(:,1)]))); % [N] Maximal nomrmalkraft
sigmaN=maxNormalkraft/A; % Normalspänning
Normalkraftskontroll=sigmaN/fmd; %Normalkraftskontroll
nmax=pi^2*E*I/2.2^2; %knäcklast

if((maxNormalkraft/nmax)<0.4)
    fprintf(' knäckning för båge OK! \n\n' )
else
    fprintf(' knäckning för båge INTE OK!\n\n ' )
end

% Kontroll av samverkan mellan böjning och normalkraft
fvd_N=26.5e6; % Dimensionerande hållfasthetsvärde
k_m=0.7; % Faktor för den ökande kapaciteten pga plasticering
sigmaM=Mmax/wx; % Momentspänning
samverkan = (sigmaN/fvd_N)+k_m*sigmaM/fmd;

if(samverkan<1)
    fprintf(' samverkan mellan böjning och normalkraf för båge OK! \n\n' )
else
    fprintf(' samverkan mellan böjning och normalkraf för båge INTE OK! \n\n ' )
end

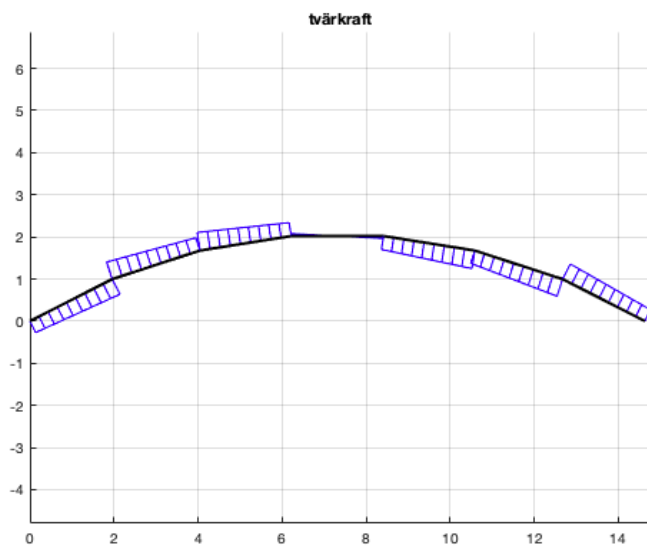
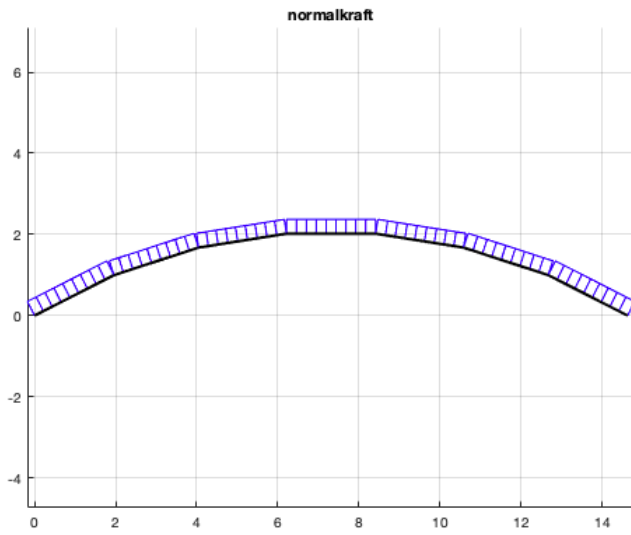
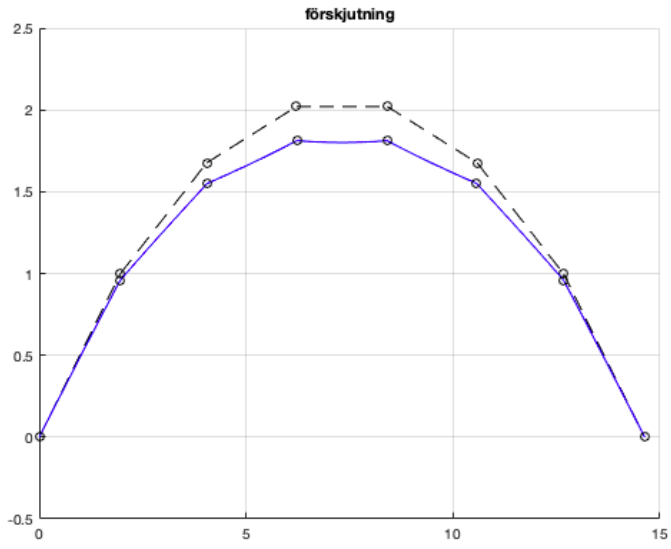
```

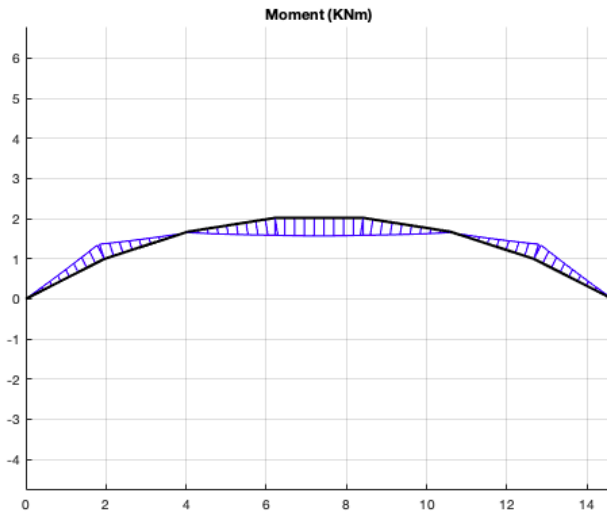
Momentkapacitet båge OK!: M_kap= 7.190 [%]

Tvärkraftskapacitet båge OK! : V_kap= 2.207 [%]

knäckning för båge OK!

samverkan mellan böjning och normalkraf för båge OK!





Published with MATLAB® R2020a

```

%-----
% Syfte: Beräkning av bågens egenvikt för respektive element
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%
%       Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

function [qe]=Egenvikt(ex,ey,eq)

Ly=(ey(1,1)-ey(1,2)); %balkens utsträckning i y led
Lx=(ex(1,1)-ex(1,2)); %balkens utstäckning i x led
theta=atan(Ly/Lx); % vinkeln mellan det globala och lokala kordinatsystemet
qe=[sin(theta)*eq(1,2) cos(theta)*eq(1,2)];
end

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%-----
% Syfte: % Beräkning av brons koordinater
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,

```

```

%           Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

% Input:

% totalParts = Totala element på en cirkel
% selectedParts = Antal valda element på bågen
% radius = Radien

% Output:

% Koordinater på bågen

function [xe ye]=bage(totalParts,selectedParts,radius)

startOffset=selectedParts/2-0.5; % En halvbåge
angle=360/totalParts; % Vinkel

% Definerar en funktion för x och y koordinater
getXCoordinate=@(r,t) r*sind(t);
getYCoordinate=@(r,t) r*cosd(t);

% Definerar en matris för koordinaterna
coordinates = zeros(totalParts, 2);
for i=1:selectedParts + 1
    currAngle = angle * (i-1) - startOffset * angle;
    coordinates(i, 1) = getXCoordinate(radius, currAngle);
    coordinates(i, 2) = getYCoordinate(radius, currAngle);
end

arch = coordinates(1:selectedParts,:) + radius;

% % Plottar bågen
% plot(arch(:,1),arch(:,2))

```

```

% xlim([0, radius*2]);
% ylim([0, radius*2]);
bLength = (max(arch(:,1)) - min(arch(:,1))); % Längden på en båge
bHeight = (max(arch(:,2)) - min(arch(:,2))); %% Konstruktions höjd utan stöd

bHeight100 = (bHeight + 1.0 - 2); % Konstruktions höjd med en meter stöd över
vullgravskanten

wpLength100 = bHeight100/0.12; % Längden av gångbana
bLengthHalf = bLength/2; % Längden av en halv bro

% Definerar en matris för x och y koordinater
xe=zeros(selectedParts-1,2);
ye=zeros(selectedParts-1,2);

% Bågens koordinater dvs för respektive element
for i=1:selectedParts-1
    xe(i,:)=[arch(i,1) arch(i+1,1)]-arch(1,1);
    ye(i,:)=[arch(i,2) arch(i+1,2)]-arch(1,2);
end

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%-----
% Syfte: Beräkning av normalkraft, tvärkraft, moment och förskjutning och
% kapacitetskontroll av bågen
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%
%     Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%     Elin Widén, Vendela Örndal
%-----

close all

clc

```

```
% definerar styvhetsmatris K och lastvektor fl
K=zeros(24,24);
fl=zeros(24,1);

% Upplagsvillkor
bc=[1 2 22 23;0 0 0 0]';
```

5D MATLAB-kod kontroll

```
%Iterationer för varje lastfall
%-----
% Syfte: Skapar iterationer för varje önskat lastfall över ett system som
% sedan kan appliceras för att placera alla lastkombinationer tillsammans
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----
function [It]=UtbreddIteration(n,Q)
if nargin < 2
    Q=ones(1,n);
end
It=zeros(2^n,n);
for i=0:2^n-1
    a=dec2bin(i); %gör om till binärt
    b=str2double(regexpi(num2str(a),'\d','match')); %separera till delar
    if length(b) == n
        It(i+1,:)=b;
    else if i==0
        %
    else
        It(i+1,(n-length(b))+1:n)=b;
    end
end
end
for j=1:n
    It(:,j)=It(:,j)*Q(1,j);
end
end
```

Published with MATLAB® R2020a

```
%Beräkning av nedböjning för slitplanket
%-----
% Syfte: Beräknar nedböjningen av gångbanans slitplank och hur den
% om den uppfyller kraven
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----

%Indata
bp=0.04; %bredd plank
h=0.12; %höjd av plank
L=1; %bredd tvärsnitt
ba=5; %antal bågar
B=4; %bredd
E=11*10^9; % elasticitetsmodul
A=h*bp; %area
I=h^3*bp/12; %yttröghetsmoment
ep=[E A I];

%Krafter
qe=201.1; %egenvikt
qu=5*10^3*0.4; %utbredd last med Nedräkningsfaktor från trafik

%Geometriska parametrar
ppt=1;
for i=1:ba-1
    xe(ppt,:)=[(i-1)*B/(ba-1) i*B/(ba-1)];
    ye(ppt,:)=0;
    ppt=ppt+1;
end
end
```

```

%Tomma matriser som behövs för loopar
Edof=zeros (ba-1,7);
dofs=height (Edof)*3+3;
fle=zeros (ba*3,1);
flePlast=zeros (ba*3,1);
fleu=zeros (ba*3,1);
K=zeros (ba*3,ba*3);

% Topologi
for i=0:height (xe)-1
    Edof(i+1,:)=[i+1, 1+3*i, 2+3*i, 3+3*i, 4+3*i, 5+3*i, 6+3*i];
end
for i=1:5
    bc(i+1,:)=[3*i-1 0];
end
bc(1,:)=[1 0];

% Sätter upp alla möjliga itterationsfall
AntalIterationer=4;
BelastElement=[1 2 3 4];
Utbreddfordelning=UtbreddIteration (AntalIterationer,BelastElement);

% loopar igenom de olika lastfallen
for k=1:height (Utbreddfordelning) %lastfall (kollar om den ska aktiveras)
    qUtbredd=zeros (4,2);
    fleUtbredd=zeros (dofs,1);
    K=zeros (ba*3,ba*3);
    %placerar ut laster efter aktuellt lastfall
    for l=1:height (Edof) % konstruktionsdelar som blir belastade med ett element
        if Edof(l,1)==Utbreddfordelning(k,l)
            qUtbredd(l,:)=[0 -qu-qe];
        else
            qUtbredd(l,:)=[0 -qe];
        end
    end
end

    %skapar styvhetsmatriser och kraftmatriser för systemet
    for i=1:height (Edof)
        [Kel,f1Utbredd]=balk2e (xe(i,:),ye(i,:),ep,qUtbredd(i,:)); %skapar globala
        styvhetsmatriser och lastvektorer för varje element
        rad=Edof(i,2:7); %utsätter vart i den globala K matrisen Ke assembleras
        K(rad,rad)=K(rad,rad)+Kel; %assemblerar K matrisen från Ke matriser
        fleUtbredd(rad,1)=fleUtbredd(rad,1)+f1Utbredd; %assemblerar kraftvektorn
    end
    % beräknar nedböjning och reaktionskrafter för varje nod
    [aUtbreddAlla(:,k), fUtbreddAlla(:,k)]=solveq(K,fleUtbredd,bc);
    fleUtbredd=zeros (dofs,1);
end

%bestämmer vilket lastfall som ska kontrolleras i snittkrafter
fmaxpos=12; %testar 4, 12 och 16 som de kritiska fallen
fMaxRad=fUtbreddAlla(:,fmaxpos);
aMaxRad=aUtbreddAlla(:,fmaxpos);

%tar tillbaka från systemnivå till elementnivå
Ed=extract (Edof,aMaxRad); %förskjutningen av varje stång individuellt

%Indata för figurer
plotpar=[2,4,2];
n=20; %anger hur många värden på moment och tvärkraft som önskas
N=linspace (0,1,n);

%beräkning av snittkraftsfördelning
for i=1:height (Edof)
    if Utbreddfordelning(fmaxpos,i)==0
        qEgen(i,:)=[0 -qe];
    else
        qEgen(i,:)=[0 -qu-qe];
    end
end

```

```

end
[es ed ec]=beam2s(xe(i,:),ye(i,:),ep,Ed(i,:),qEgen(i,:),n); %löser ut
fördelningen av moment, tvärkraft och normalkraft över balken
Ned(:,i)=ed(:,2);
end

%förskjutning
for i=1:height(Edof) %for loop för att rita upp systemet och förskjutningen
figure(1)
eldraw2(xe(i,:),ye(i,:)); %ritar fackverket så som det såg ut innan
eldisp2(xe(i,:),ye(i,:),Ed(i,:),plotpar,1000); % ritas fackverket med
förskjutningar
end

%Kontroll av maximal nedböjning
kdef=2; % från bärande konstruktioner del 1
aGrans=4/400;
aMax=(1+kdef)*max(max(abs(Ned)));
NedbojningsKontroll=aMax*100/aGrans; %är under 1 så ok nedböjning

fprintf('Nedböjning slitplank OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n', NedbojningsKontroll)

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%Beräkningar för balkar under gångbana i längsled
%-----
% Syfte: Beräkna nedböjning och om det uppfyller kraver för balkarna som
% håller upp slitplanket
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----

%Indata
h=0.135;
b=0.115;
A=b*h;
I=h^3*b/12;
W=h^2*b/6;
q=8260+A*410*9.81*0.85*1.35;
L=2.1969;

%Maximala snittkrafter från elementfall
MaxMom=q*L^2/8;
MaxTvar=q*L/2;
MaxNorm=q*0;

%Spänningskapacitet
fmd=32*0.7/1.25*10^6;
fcd=26.5*10^6*0.7/1.25;
fc90d=3*10^6*0.7/1.25;

%Maximala spänningar
SigNorm=MaxNorm/A;
SigTvar=(MaxTvar/(0.67*A));
SigMom=(MaxMom/W);

%Kontroll av spänningar
NormalkraftsKontroll=SigNorm/fcd; % alla är 0 så ok!
MomentKontroll=SigMom/fmd; %under 1 så ok!
TvarkraftsKontroll=SigTvar/fc90d; %under 1 så ok!

% Nedböjning
%Indata för CALFEM beräkningar
K=zeros(6,6);

```

```

fleUtbredd=zeros(6,1);
E=33*10^9;
xe=[0 2.2];
ye=[0 0];
ep=[E A I];
qe=[0 -(2680+A*410*9.81)]; %lasten kommer från brukgränsberäkningar ni Nedböjning
gångbana

%Randvilkor
Edof=[1 1 2 3 4 5 6];
bc=[1 0; 2 0; 5 0];

%beräkning av reaktionskrafter och nodförskjutning
[Ke1,flUtbredd]=beam2e(xe,ye,ep,qe); %skapar globala styvhetsmatriser och
lastvektorer för varje element
rad=Edof(1,2:7); %utsätter vart i den globala K matrisen Ke assembleras
K(rad,rad)=K(rad,rad)+Ke1; %assemblerar K matrisen från Ke matriser
fleUtbredd(rad,1)=fleUtbredd(rad,1)+flUtbredd; %assemblerar kraftvektorn
[aEgen, fEgen]=solveq(K,fleUtbredd,bc);

%Indata för figurer
plotpar=[2,4,2];
n=20; %anger hur många värden på moment och tvärkraft som önskas
N=linspace(0,1,n);

%Beräkning av nedböjning på elementnivå
Ed=extract(Edof,aEgen); %förskjutningen av varje stång individuellt
[es ed ec]=beam2s(xe,ye,ep,Ed,qe,n); %löser ut fördelningen av moment, tvärkraft
och normalkraft över balken
Ned(:,1)=ed(:,2);

%Plottar en figur för nedböjning
figure(1) %skapar en ny figur för varje element
eldraw2(xe(1,:),ye(1,:)); %ritar fackverket så som det såg ut innan
eldisp2(xe(1,:),ye(1,:),Ed(1,:),plotpar,500); % ritar fackverket med förskjutningar
kdef=2; % från bärande konstruktioner del 1

%Kontroll av nedböjning mot krav
aGrans=16/400;
aMax=(1+kdef)*max(max(abs(Ned)));
NedbojningsKontroll=aMax*100/aGrans; % under 1 så ok

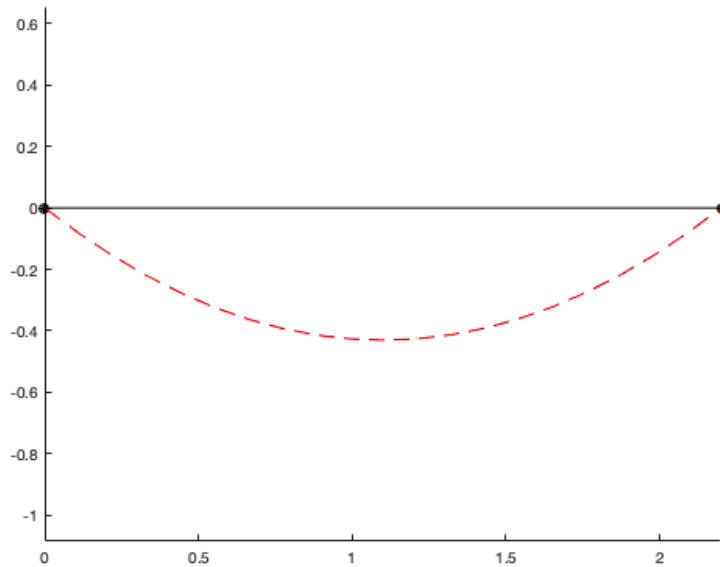
fprintf('Nedböjning slitplank OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n', NedbojningsKontroll)

```

```

Nedböjning slitplank OK! : N_kap= 8.036 [%]

```



Published with MATLAB® R2020a

```

%Nedböjning i bågen
%-----
% Syfte: Kontrollera nedböjningen i bågen om det uppfyller kraven
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----

%Indata för vald båge
totalParts = 40;
selectedParts = 8;
radius = 14;

%Geometriskt bestämning av elementens position i bågen
[xe,ye]=bage(totalParts,selectedParts,radius);

%Topologimatrix och gränsvärdesmatrix
for i=0:height(xe)-1
    Edof(i+1,:)=i+1, 1+3*i, 2+3*i, 3+3*i, 4+3*i, 5+3*i, 6+3*i;
end
bc=[1 0; 2 0; 22 0; 23 0];

%tomma matriser för senare användning
dofs=height(Edof)*3+3; %antalet frihetsgrader
K=zeros(dofs,dofs);
fleEgen=zeros(dofs,1);
fleUtbredd=zeros(dofs,1);
KPlast=zeros(dofs,dofs);
flePlast=zeros(dofs,1);

%Indata
E=11*10^9; % elasticitetsmodul
h=0.360;
b=0.215;
A=h*b; %area
I=h^3*b/12; %yttröghetsmoment
ep=[E A I];
qe=[0 -342];

%Beräkning av reaktionskrafter och nodnedböjning i bågen
for i=1:height(Edof) %skapar varje enskilt balkelement och assemblerar dem
    [qEgen(i,:)] = Egenvikt(xe(i,:),ye(i,:),qe);

```

```

[Kel, fleEgen]=beam2e(xe(i,:),ye(i,:),ep,qEgen(i,:)); %skapar globala
styvhetsmatriser och lastvektorer för varje element
rad=Edof(i,2:7); %utsätter vart i den globala K matrisen Ke assembleras
K(rad,rad)=K(rad,rad)+Kel; %assemblerar K matrisen från Ke matriser
fleEgen(rad,1)=fleEgen(rad,1)+fleEgen; %assemblerar kraftvektorn
end

%krafterna somn förs ned i Bågem
flepalagd=zeros(3*height(Edof)+3,1);
for i=1:6 % utan extra laster
    flepalagd(3*i+2,:)=10^3*(xe(i,2)-xe(i,1))*3.02/2-10^3*(xe(i+1,2)-
xe(i+1,1))*3.02/2; %3.02 kommer från Gangbanor och nedböjnings brukkraft
end
fleEgen=fleEgen+flepalagd;

%Reaktions och nodnedböjning
[aEgen, fEgen]=solveq(K,fleEgen,bc);

%Nedböjning elementvis
Ed=extract(Edof,aEgen); %förskjutningen av varje stång individuellt

%Indata för Figurer
plotpar=[2,4,2];
n=20;
N=linspace(0,1,n); %anger hur många värden på moment och tvärkraft som önskas

%Elementvis nedböjning
for i=1:height(Edof) %for loop som beräknar och plottar snittkraftsfördelningen
    [es ed ec]=beam2s(xe(i,:),ye(i,:),ep,Ed(i,:),qEgen(i,:),n); %löser ut
fördelningen av moment, tvärkraft och normalkraft över balken
    Ned(:,i)=ed(:,2);
end

%Figur över nedböjning
for i=1:height(Edof) %for loop för att rita upp systemet och förskjutningen
    figure(1)
    eldraw2(xe(i,:),ye(i,:)); %ritar fackverket så som det såg ut innan
    eldisp2(xe(i,:),ye(i,:),Ed(i,:),plotpar,500); % ritar fackverket med
förskjutningar
end

% kontroll av nedböjning
kdef=2; % från bärande konstruktioner del 1
aGrans=16/400; %gränsen är spännvidd/400 enligt Krav Brobyggande TDOK 2016:0204
aMax=(1+kdef)*max(max(abs(Ned)));
aMaxTot=aMax+(1+kdef)*0.0032; %där 0.0032 är taget från aMax i Beräkningar för
balkar under gångbana i längsled
NedbojningsKontroll=aMax*100/aGrans; %är under 1 så ok nedböjning
NedbojningsKontrollTot=aMaxTot*100/aGrans;

fprintf('Nedböjning Båge OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n', NedbojningsKontroll)
fprintf('Nedböjning Båge med gångbana OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',
NedbojningsKontrollTot)

```

Published with MATLAB® R2020a

```

%Kontroll av vippning
%-----
% Syfte: Kontrollerar om vippning är blir ett problem för bågen
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----

%Indata
h=0.36;
b=0.115;

```

```

Iz=b^3*h/12;
E=11100*10^6;
Kv=b^3*h/3*(1-0.67*b/h);
G=780*10^6;
W=h^2*b/6;
L=2.2;
Lef=L*0.9;

%Maximalt moment i båge
MaxMoment=3.3054e+03; %maxmoment från matlbakoden för bågen

%Moment där vippning är kritiskt
Mcrit=pi*sqrt(E*Iz*Kv*G)/(W*Lef); %Ekvation T3-15 i bärande konstruktioner del 1

%Kontroll av vippning
Vippningskontroll=MaxMoment*100/Mcrit;

if Vippningskontroll<0.1
    fprintf('Vippning orsakar inga problem! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',
Vippningskontroll)
end

```

Vippning orsakar inga problem! : N_kap= 0.002 [%]

Published with MATLAB® R2020a

```

%Stämpkraften från pelare
%-----
% Syfte: Kontrollera stämpkraften från pelaren till bågen och gångbanan och
% om det uppfyller kraven
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,
%       Elin Widén, Vendela Örndal
% -----

% Stämpkraft mellan pelare och båge

%Indata
N=1.8101e4;
b=0.115;
l=0.09;
a=2.2; %avstånd till ända
l1=2.2/2; %avstånd mellan stöd

%extra längd som kan medräknas
lad1=min([0.03,l,a,l1]); %T6-5 från bärande konstruktioner del 2
lad2=min([0.03,l,a,l1]); %T6-5 från bärande konstruktioner del 2

%Geometri
h=0.135;
lef=lad1+l+lad2; %T6-4 i bärande konstruktioner del 2
A=b*lef;

%spänning
Sig=N/A; %T6-3 i bärande konstruktioner del 2

%Faktorer för stämpkraft
kc90=1.75; %limträ på diskret upplag från T6-2 i bärande konstruktioner del 2
fc90d=3*10^6*0.7/1.25*kc90;
Kontroll=Sig*100/fc90d;

fprintf('Stämpkraft mot bågen OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n', Kontroll)

```

```

% Stämpkraft mellan pelare och Gångbanebalk

%Indata
N=1.8101e4;
b=0.115;
l=0.04;% antar 10 mm avstånd mellan balkar
a1=2.2; %avstånd till ända
a2=0;
l1=2.2/2; %avstånd mellan stöd

%extra längd som kan medräknas
lad1=min([0.03,l,a1,l1]); %T6-5 från bärande konstruktioner del 2
lad2=min([0.03,l,a2,l1]); %T6-5 från bärande konstruktioner del 2

% Geometri
h=0.135;
lef=lad1+l+lad2; %T6-4 i bärande konstruktioner del 2
A=b*lef;

%spänning
Sig=N/A;

%Faktorer för stämpkraft
kc90=1.75; %limträ på diskret upplag
fc90d=3*10^6*0.7/1.25*kc90;
Kontroll=Sig*100/fc90d;

fprintf('Stämpkraft mot Gångbrädor OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n', Kontroll)

```

Stämpkraft mot bågen OK! : N_kap= 35.692 [%]

Stämpkraft mot Gångbrädor OK! : N_kap= 76.482 [%]

5E MATLAB-kod Vindlast

```
%-----  
% Syfte: Beräkning av vinslast  
% Senast ändrat: 2023-05-09 av:  
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
%       Elin Widén, Vendela Örndal  
%-----  
% Ekvationer kommer från Brolaster av Sören Lindgren 2016-01-29  
% Enligt EN 1991-1-4  
%-----  
% Indata  
dtot=0.135+0.360; % Totala höjden för balken för gångbanan och bågen [m]  
b=4.3; % Bredden på bron [m]  
L=43; % beaktad brolängd [m]  
  
if b/dtot<=0.5  
    c_f=2.4;  
elseif b/dtot>0.5 && b/dtot<5  
    c_f=2.56-0.311*b/dtot;  
elseif b/dtot>5  
    c_f=1;  
end  
  
A_ref=dtot*L; % [m^2]  
q_p=0.41; % Karakteristisk hastighet (från VVFS 2007:494 tabell 4.2) antagit  
vp=25m/s och terängtyp stad [kPa]  
  
Fw=c_f*q_p*A_ref % Horisontel vindlast [kN]  
Fw_d=Fw/L*2.3 % Horisontala vindlasten på ett bågelement med tillhörande  
gångbana [kN]
```

Fw =

8.7268

Fw_d =

0.4668

.....
Published with MATLAB® R2020b

```
%-----  
% Syfte: Beräkna dimensionerna på fackverket under brokonstruktionen  
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:  
%       Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
%       Elin Widén, Vendela Örndal  
%-----  
  
%Indata för kraft och förskjutningsberäkningar  
E=8*10^9;  
G=750*10^6;  
h=0.07; b=0.07;  
A=b*h;  
Iy=h^3*b/12;  
Iz=b^3*h/12;  
Kv=0.14*h*b^3; %från bärande konstruktioner del 1  
  
%Geometriska parametrar  
ye=[0 4;0 4;4 0;0 4; 4 4; 0 0];  
xe=[0 0;2.2 2.2;0 2.2;0 2.2; 0 2.2; 0 2.2];  
ze=[0 0;0 0;0 0;0 0;0 0];  
eo=[0 1 0];
```

```

ep=[E G A Iy Iz Kv];
qe=[0 0];
Edof=[1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12; 2 19 20 21 22 23 24 13 14 15 16 17 18;3 7 8 9
10 11 12 19 20 21 22 23 24;
      4 1 2 3 4 5 6 13 14 15 16 17 18; 5 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18; 6 1 2 3 4
5 6 19 20 21 22 23 24];

%Tomma matriser för senare användning
K=zeros(24,24);
FlUtbredd=zeros(24,1);

% Skapar en styvhetsmatris för systemet
for i=1:height(Edof)
    [Kel]=beam3e(xe(i,:),ye(i,:),ze(i,:),eo,ep); %skapar globala
styvhetsmatriser och lastvektorer för varje element
    rad=Edof(i,2:13); %utsätter vart i den globala K matrisen Ke assembleras
    K(rad,rad)=K(rad,rad)+Kel; %assemblerar K matrisen från Ke matriser
end

%Tillsatta laster
FlUtbredd(1)=466.8; FlUtbredd(9)=466.8; FlUtbredd(6)=466.8*0.18;
FlUtbredd(6)=466.8*0.18;

% Gränsvärden
bc=[2 0; 8 0;19 0; 13 0; 14 0; 20 0;];

% Beräknar gränslaster och förskjutningar
[a fb]=solveq(K,FlUtbredd,bc);
Ed=extract(Edof,a); %stängernas individuella förskjutning

% Indata för
eq=[0 0 0 0];
n=20;

for i=1:height(Edof) %for loop som räknar snittkrafter över elementen
    [es,edi,eci]=beam3s(xe(i,:),ye(i,:),ze(i,:),eo,ep,Ed(i,:),eq,n);
    esv(i,:)=es(1,:);
end

%Indata för kontroll
Wy=h^2*b/6;
Wz=b^2*h/6;
fmd=30*0.7/1.25*10^6;
fcd=23.5*10^6*0.7/1.25;
fc90d=2.7*10^6*0.7/1.25;
es=max(abs(es));
Tvar1(:,1)=es(:,2); Norm(:,1)=es(:,1); Momy(:,1)=es(:,5);
Tvar2(:,1)=es(:,3); Momz(:,1)=es(:,6);
SigNorm=Norm/A;
SigTvar1=(Tvar1/A);
SigTvar2=(Tvar2/A);
SigMomy=(Momy/Wy);
SigMomz=(Momz/Wz);

% Kontroll för snittkrafter
Normalkraftskontroll=max(abs(SigNorm)/fcd)*100;
MomentKontrollly=max(abs(SigMomy/fmd))*100;
MomentKontrollz=max(abs(SigMomz/fmd))*100;
Tvarkraftskontroll1=max(abs(SigTvar1/fc90d))*100;
Tvarkraftskontroll2=max(abs(SigTvar2/fc90d))*100;
Kombkontrollly=MomentKontrollly+MomentKontrollz*0.7+Normalkraftskontroll;
Kombkontrollz=MomentKontrollly*0.7+MomentKontrollz+Normalkraftskontroll;

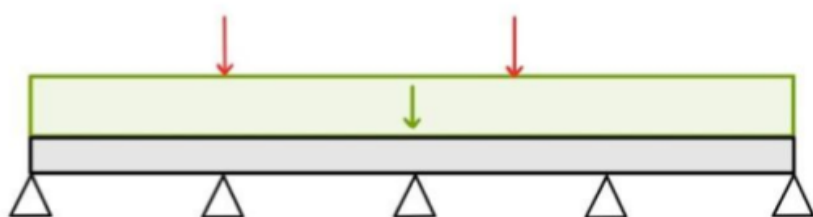
fprintf('Normalkraft vindfackverk OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',
Normalkraftskontroll)
fprintf('Moment i y led för vindfackverk OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',
MomentKontrollly)
fprintf('Moment i z led för vindfackverk OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',
MomentKontrollz)

```

```
fprintf('Tvärkraft i tvärled för vindfackverk OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',  
Tvarkraftskontroll1)  
fprintf('Tvärkraft i höjdled för vindfackverk OK! : N_kap= %2.3f [%%]\n\n',  
Tvarkraftskontroll2)  
fprintf('Kombinerad verkan för vindfackverk med y som huvudaxel OK! : N_kap= %2.3f  
[%%]\n\n', Kombkontroll_y)  
fprintf('Kombinerad verkan för vindfackverk med z som huvudaxel OK! : N_kap= %2.3f  
[%%]\n\n', Kombkontroll_z)
```

Published with MATLAB® R2020a

5F Lastkombinationer



Figur 7. Skisser över de olika lastkombinationerna som förekommer i beräkningarna för tvärsektionen av gångbanan. I samtliga lastfall är den gröna lasten egentvungden och den blå är en jämt utbredd last. Författarens egen bild.

5G Koefficienter för laster

Tabell 1. Olika koefficienter som använts vid beräkning av laster.

| Koefficienter | Beteckning | Storlek |
|--------------------------------|---------------|---------|
| Reduktionsfaktor egentyngd | ξ | 0.85 |
| Reduktionsfaktor jämnt utbredd | $\psi_{0.1}$ | 0.00 |
| Ogynnsam egentyngd | ξ_{G0} | 1.35 |
| Gynnsam egentyngd | ξ_{GG} | 1.00 |
| Ogynnsam jämnt utbredd last | γ_{Q0} | 1.35 |
| Gynnsam jämnt utbredd last | γ_{QG} | 0.00 |

5H MATLAB-kod förband på bågen

```
% -----  
% Syfte:      Kolla att förbuden mellan balkarna i bågen håller för den kapacitet  
%            den usätts för. De koden beaktar är hållkantsbrott i träbalken  
%            samt i skruvplåt, men även skjubbrott i skruven och buckling av  
%            plåten.  
% Senast ändrad: 2023-05-02 av:  
%            Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
%            Elin Widén, Vendela Örndal  
% -----  
% Indata  
% Stålkvalite S275  
fyk=275e6;      % Tabell S2.1 Bärande del 1  
fu=430e6;  
% Skruvqualite 8.8  
fub=800e6;      % Tabell 8.1 Bärande del 2  
gamma_m2=1.25;  
  
h=0.300;      % Höjden på plåten  
t=0.009;      % tjockleken på stålplåten  
d0=0.018;      % Hålldiametern i plåten (S8.2.5 bärande del 2)  
d=0.018;      % Skruvdiameter  
As=0.016^2*pi/4; % Arean på skruven  
h_tra=0.360;   % Höjden på träbalken  
h_hypotenusan=h_tra/cosd(4.5);
```

Krav

```
ev=0.040+4*t; % Avstånd mellan skruv och kantskarv av skruvplåten i  
vertikalriktning  
eh=0.040+4*t; % Avstånd mellan skruv och kantskarv av skruvplåten i  
horisontelriktning  
cv=(h-ev*2)/2; % Avstånd mellan skruvar i vertikalriktning  
ch=cv; % Avstånd mellan skruvar i horisontelriktning  
e_tra=(h_tra-h)/2+ev; % Avståndet mellan skruvar och kantskarv av träbalken  
  
% Avståndskrav (S8.2.6 bärande del 2)  
if (1.2*d0 <= ev) && (ev <= 0.040+4*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för ev')  
else disp('kravet är inte uppfyllt för ev')  
end  
  
if (1.2*d0 <= eh) && (eh <= 0.040+4*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för eh')  
else disp('kravet är inte uppfyllt för eh')  
end  
  
if (2.2*d0 <= cv) && (cv <= 14*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för cv')  
else disp('kravet är inte uppfyllt för cv')  
end  
  
if (2.4*d0 <= ch) && (ch <= 14*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för ch')  
else disp('kravet är inte uppfyllt för ch')  
end  
  
% Krav för träförband med genomgående skruv med mutter sida T105 bärande del 2  
if cv > 4*d && ch > 4*d  
    disp('avståndet mellan förbindrarna är okej')  
else disp('klarar inte kraven')  
end  
  
if e_tra > 3*d  
    disp('avståndet mellan förbindrare och vinkelände är okej')  
else disp('klarar inte kraven')
```

```
end
```

```
kravet är uppfyllt för ev
```

```
kravet är uppfyllt för eh
```

```
kravet är uppfyllt för cv
```

```
kravet är uppfyllt för ch
```

```
avståndet mellan förbindrarna är okej
```

```
avståndet mellan förbindrare och vinkelände är okej
```

Krafter och kraftuppdelning på skruvar Kordinater från centrum av plattan till skruvar

```
X=[-1.5*ch; -ch/2; ch/2; 1.5*ch; -1.5*ch; -ch/2; ch/2; 1.5*ch; -1.5*ch; -ch/2;  
ch/2; 1.5*ch];
```

```
Y=[-cv; -cv; -cv; -cv; 0; 0; 0; 0; cv; cv; cv; cv];
```

```
% Polära tröghetsmoment (se Uppgift SF4 i Konstruktionsuppgift)
```

```
n=12; % antal skruvar
```

```
alfa=4.5;
```

```
% Krafter
```

```
VEd_lokal=[0.76; 1.43; -1.88; -1.16; -1.84; -1.1; -0.38]*10^3; % Horisontella  
krafter
```

```
H_lokal=[126; 126; 119; 119; 114; 114; 113]*10^3; % Vertikala krafter
```

```
MEd_lokal=[0; -2.4; -2.4; 0.94; 0.94; 4.16; 4.16]*10^3; % Momentet
```

```
% Karfterna komposantuppdelas så att riktingarna stämmer med plåtens riktning.
```

```
for i=1:7
```

```
H(i)=H_lokal(i)/cosd(alfa)-VEd_lokal(i)/sind(alfa);
```

```
VEd(i)=VEd_lokal(i)/cosd(alfa)+H_lokal(i)/sind(alfa);
```

```
MEd(i)=MEd_lokal(i);
```

```
end
```

```
for i=1:n
```

```
Ip(i)=((X(i).^2)+(Y(i).^2));
```

```
end
```

```
Ip=sum(Ip); %yttröghetsmoment
```

```
N2x=zeros(1,7);
```

```
N2y=zeros(1,7);
```

```
% Förband 1
```

```
N2x(1)=H(1)/n-MEd(1)*Y(1)/Ip;
```

```
N2y(1)=VEd(1)/n-MEd(1)*X(1)/Ip;
```

```
% Förband 2
```

```
N2x(2)=H(2)/n-MEd(2)*Y(4)/Ip;
```

```
N2y(2)=VEd(2)/n-MEd(2)*X(4)/Ip;
```

```
% Förband 3
```

```
N2x(3)=H(3)/n-MEd(3)*Y(1)/Ip;
```

```
N2y(3)=VEd(3)/n-MEd(3)*X(1)/Ip;
```

```
% Förband 4
```

```
N2x(4)=H(4)/n-MEd(4)*Y(4)/Ip;
```

```
N2y(4)=VEd(4)/n-MEd(4)*X(4)/Ip;
```

```

% Förband 5
N2x(5)=H(5)/n-MEd(5)*Y(1)/Ip;
N2y(5)=VEd(5)/n-MEd(5)*X(1)/Ip;

% Förband 6
N2x(6)=H(6)/n-MEd(6)*Y(4)/Ip;
N2y(6)=VEd(6)/n-MEd(6)*X(4)/Ip;

% Förband 7
N2x(7)=H(7)/n-MEd(7)*Y(1)/Ip;
N2y(7)=VEd(7)/n-MEd(7)*X(1)/Ip;

for i=1:7
R2(i)=sqrt(N2x(i)^2+N2y(i)^2);
end

```

Hållkantsbrott i plåten

```

alfa_d=[ev/(3*d0),cv/(3*d0)-1/4]; % Första är för brott mellan hål andra är för
brott mellan kant och hål
k1_hal=min([2.8*eh/d0-1.7, 2.5]); % mellan två hål
k1_kant=min([2.8*eh/d0-1.7, 2.5]); % mellan kant och hål
k1=[k1_hal, k1_kant];

for i=1:2
alfa_b=min([alfa_d(i), fub/fu,1]);
FbRd1(i)=k1(i)*alfa_b*fu*d*t/gamma_m2;
end
FbRd=min(FbRd1);

if FbRd > max(R2)
disp('inget hållkantsbrott, ok')
else disp('kravet är inte uppfyllt')
end

```

inget hållkantsbrott, ok

Hållkantsbrott i träbalk och skjuvbrott i skruv

```

rho_k=800; % Densiteten på trä
t2=0.07; % Tjockleken hos träbalken
MyRk=0.3*fu*d^2.6; % ekv T8.45 bärande del 2 (Dymning och genomgående skruv med
mutter
fhk=0.082*(1-0.01*d)*rho_k; % ekv T8.46bärande del 2
% Finns olika typer av brott det är den som har lägst som blir karakteristiska
bärförmåga
% Använder brottmoder j, k, l och m
FvRk=min([0.5*fhk*t2*d, 1.15*sqrt(2*MyRk*fhk*d), 2.3*sqrt(2*MyRk*fhk*d)]); % ekv
T8.39-40 bärande del 2

kmod=0.8; % Klimatklass2, medellång (Tabell T2.8 bärande del 1)
gammaM=1.3;
FvRd=kmod*FvRk/gammaM; % Dimensionerande bärförmågan

if FbRd > max(R2)
disp('inget hållkantsbrott eller skjuvbrott i skruv, ok')
else disp('kravet är inte uppfyllt')
end

```

inget hållkantsbrott eller skjuvbrott i skruv, ok

Tryckbrott och buckling för plåten Från eurokod 3

```

b=2*eh+3*ch;

A=h*2*b; % Arean på metalplattan [m]

NcRd=A*fyk; % Bärförmåga vid tryck (eurokod 3 14.11)

% Kontral av tryckbrott i plåten
if NcRd > max(R2)
    disp('Inget tryckbrott i plåten')
else disp('kravet är inte uppgyllt')
end

% Kontroll av buckling av plåten
if ch <= 9*t*1000*sqrt(235/(fyk/10^6)) % Bucklingsrisk (eurokod 3 14.12)
    disp('Ingen buckling av plåten')
else disp('Buckling måste kontrolleras')
end

```

Inget tryckbrott i plåten

Ingen buckling av plåten

Published with MATLAB® R2020b

5I MATLAB-kod förband mellan pelare och balkar under gångbanan

```
%-----  
% Syfte:      Dimentionera och kontrollera att förbandet mellan balken under  
%             gångbanan och pelaren håller för de krafter förbandet utsätts  
%             för. De koden beaktar är hållkantsbrott i träbalken  
%             samt i skruvplåt och skjuvbrott i skruven.  
% Senast ändrat: 2023-05-03 av:  
%             Therese Haar, Simon Jobäck, Hossein Nabavi, Filipa Pamp,  
%             Elin Widén, Vendela Örndal  
%-----  
% Beskrivning av förband:  
% Pelaren kommer sitta fasr i en infästning men ett U-gärn utav plåt. Där  
% kommer sedan ena delen av balken för gångbanan vara fastsatt med skruvar  
% medans de andra kommer vara fritt upplagd  
%-----  
  
% Indata  
% Stålkvalite S275  
fyk=275e6;      % Tabell S2.1 Bärande del 1  
fu=430e6;  
% Skruvqualite 8.8  
fub=800e6;     % Tabell 8.1 Bärande del 2  
gamma_m2=1.25;  
  
h_balk=0.135;  % Höjden på balken  
h_platta_g=0.100; % Höjden på metalplattan på balken för gångbanan  
t=0.009;      % tjockleken på stålplåten  
d=0.018;     % Skruvdiameter  
d0=d+0.001;  % Håldiametern i plåten (S8.2.5 bärande del 2)  
As=0.016^2*pi/4; % Arean på skruven
```

Krav

```
ev=0.040+4*t;  % Avstånd mellan skruv och kantskarv av skruvplåten i  
vertikalriktning  
eh=ev;        % Avstånd mellan skruv och kantskarv av skruvplåten i  
horisontelriktning  
cv=0.040+4*t; % Avstånd mellan skruvar i vertikalriktning  
ch=cv;       % Avstånd mellan skruvar i horisontelriktning  
e_tra=(h_balk-h_platta_g)/2+ev; % Avståndet mellan skruvar och kantskarv av  
träbalken  
  
% Avståndskrav (S8.2.6 bärande del 2)  
if (1.2*d0 <= ev) && (ev <= 0.040+4*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för ev')  
else disp('kravet är inte uppgygt för ev')  
end  
  
if (1.2*d0 <= eh) && (eh <= 0.040+4*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för eh')  
else disp('kravet är inte uppgygt för eh')  
end  
  
if (2.2*d0 <= cv) && (cv <= 14*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för cv')  
else disp('kravet är inte uppgygt för cv')  
end  
  
if (2.4*d0 <= ch) && (ch <= 14*t)  
    disp('kravet är uppfyllt för ch')  
else disp('kravet är inte uppgygt för ch')  
end  
  
% Krav för träförband med genomgående skruv med mutter sida T105 Bärande del 2  
if ch > 4*d  
    disp('avståndet mellan förbindrarna är okej')
```

```

else disp('klarar inte kraven')
end

if e_tra > 3*d
    disp('avståndet mellan förbindrare och vinkelände är okej')
else disp('klarar inte kraven')
end

```

kravet är uppfyllt för ev

kravet är uppfyllt för eh

kravet är uppfyllt för cv

kravet är uppfyllt för ch

avståndet mellan förbindrarna är okej

avståndet mellan förbindrare och vinkelände är okej

Krafter och kraftuppdelning på skruvar Kordinater från centrum av plattan till skruvar

```

X=[-ch/2; ch/2];

Y=[0; 0];

% Polära tröghetsmoment (se Uppgift SF4 i Konstruktionsuppgift)
n=2; % antal skruvar
alfa=4.5;

% Krafter
L=2.2; % Längden på balken [m]
q=62+9.4e3/L; % Egentyngd och jämtutbreddlast [N/m]
VEd=q*L/2; % Vertikala krafter
H=0; % Horisontela krafter
MEd=0; % Momentet

for i=1:n
    Ip(i)=((X(i).^2)+(Y(i).^2));
end
Ip=sum(Ip); %ytttröghetsmoment

% Förband högersida balk
N2x=H/n-MEd*Y(2)/Ip;
N2y=VEd/n-MEd*X(2)/Ip;

R2=sqrt(N2x^2+N2y^2);

```

Hålkantsbrott i plåten

```

alfa_d=[ev/(3*d0),cv/(3*d0)-1/4]; % Första är för brott mellan hål andra är för
brott mellan kant och hål
k1_hal=min([2.8*eh/d0-1.7, 2.5]); % mellan två hål
k1_kant=min([2.8*eh/d0-1.7, 2.5]); % mellan kant och hål
k1=[k1_hal, k1_kant];

for i=1:2
    alfa_b=min([alfa_d(i), fub/fu,1]);
    FbRdl(i)=k1(i)*alfa_b*fu*d*t/gamma_m2;
end

```

```
FbRd=min(FbRd1);

if FbRd > max(R2)
    disp('inget hålkantsbrott, ok')
else disp('kravet är inte uppfyllt')
end
```

inget hålkantsbrott, ok

Hållkantsbrott i träbalk och sjuvbrott i skruv

```
rho_k=800;      % Densiteten på trä
t2=0.07;      % Tjokleken hos träbalken
MyRk=0.3*fu*d^2.6; % ekv T8.45 bärande del 2 (Dymning och genomgående skruv med
mutter
fhk=0.082*(1-0.01*d)*rho_k; % ekv T8.46bärande del 2

% Finns olika typer av brott det är den som har lägst som blir karakteristiska
bärförmåga
% Använder brottmoder j, k, l och m.
FvRk=min([0.5*fhk*t2*d, 1.15*sqrt(2*MyRk*fhk*d), 2.3*sqrt(2*MyRk*fhk*d)]); % ekv
T8.39-40 bärande del 2

kmod=0.8; % Klimatklass2, medellång (Tabell T2.8 bärande del 1)
gammaM=1.3;
FvRd=kmod*FvRk/gammaM; % Dimensionerande bärförmågan

if FbRd > max(R2)
    disp('inget hålkantsbrott eller skjuvbrott i skruv, ok')
else disp('kravet är inte uppfyllt')
end
```

inget hålkantsbrott eller skjuvbrott i skruv, ok

Referenser bilagor

- Abelsson, B., Båge, P., Westerlund, P. (1998). *Träbroar, ett alternativ till stål och betong*. Svenska kommunförbundet, Kommentus Förlag.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, B. (2013). *Bärande konstruktioner: Del 1 (Rapport 2013: 1)*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, B. (2011). *Bärande konstruktioner: Del 2 (Rapport 2011: 1)*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Austrell, P. E., Dahlblom, O., Lindemann, J., Olsson K. G., Persson, K., Petersson, H., Ristinmaa, M., Sandberg, G., & Wernberg, P. A. (2004). *CALFEM, a finite elemental toolbox (3 uppl.)*. Lund Universitet.
- Babor, D., Plain, D., Judele, L. (2009). *Environmental impact of concrete*. gheorghe asachi tekniska universitet i Iasi.
https://www.researchgate.net/publication/40497595_Environmental_Impact_of_Concrete
- Boverket. (2007). *Boverkets handbok om stålkonstruktioner, BSK 07 (4. Uppl.)* [Boverkets handbok om stålkonstruktioner, BSK 07](#)
- Brosamverkan. (2022-01-11). *Broprojekteringshandbok, Utgåva 1*.
- Johnsson, R, P. (1994). *Composite buildings of steel and concrete (2 uppl.)*. Blackwell scientific publications.
- El Masry, A., Fridh, J. (2017). *Jämförelse livscykelanalys mellan vägbro i betong och trä, åtgärdsplan för att minska klimatpåverkan* [Eamensarbete, Jönköpings universitet].
<http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1187180/FULLTEXT01.pdf>
- El Sarraf, R., Iles, D., Momtahan, A., Easey, D., Hicks, S. (2013). *Steel-concrete composite bridge design guide*. New zealand transport agency.
<https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/525/docs/525.pdf>
- Fagerlund, G. (1992). *Betongkonstruktioners beständighet : en översikt (3:e uppl.)*. Lund Universitet. <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/5491335/4174176.pdf>
- Lanham, R. (2016). *Comparing Metal and Concrete Bridges: A Look at Material and Aesthetics*. Colorado School of Mines.
<https://osf.io/4hf5g/files/osfstorage/56d649409ad5a1018e7653e2/?action=download>
- Lebert, P.-J., & Hirt, M. A. (2013). *Steel bridges : Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges* [Stålbroad : Konceptuell och strukturell design av stål och samverkansbro av stål och betong]. EPFL Press.
- Olsson, C. & Holm, G. (1993) *Pålgrundläggning*.
- Träguiden. (2015-08-21). *Plattbroar*. Hämtad (2023-02-16)
från: <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroad/trabroad/plattbroar/>
- Svenskt Trä. (2017-07-07). *Träguiden: Trä och brand*. Hämtad 2023-02-16 från:
<https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/kl-tra-och-brand/7.1-tra-och-brand/tra-och-brand/>