



CHALMERS



Integration av gång- och cykeltrafik under en existerande vägbro i Kungsbacka

Brodesign och preliminärdimensionering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Wilma Bertilsson
Johanna Heurlin

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVEDELNING FÖR KONSTRUKTIONSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Integration av gång- och cykeltrafik under en existerande vägbro i Kungsbacka

Brodesign och preliminärdimensionering

Examensarbete inom kandidatprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

WILMA BERTILSSON

JOHANNA HEURLIN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Integration av gång- och cykeltrafik under en existerande vägbro i Kungsbacka

Brodesign och preliminärdimensionering

Examensarbete inom kandidatprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

WILMA BERTILSSON

JOHANNA HEURLIN

© WILMA BERTILSSON, JOHANNA HEURLIN, 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslagsbild:

En tredimensionell visualisering av gång- och cykelbron som presenteras i rapporten och illustrerar en möjlig lösning för genomfart under vägbron på Arendalsleden i Kungsbacka.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2024

Integration av gång- och cykeltrafik under en existerande vägbro i Kungsbacka

Brodesign och preliminärdimensionering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Wilma Bertilsson

Johanna Heurlin

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I Kungsbacka kommun finns intresse för att anlägga promenadstråk längs Kungsbackaån. I dagsläget utgör en vägbro på Arendalsleden ett hinder för att sammanföra stråken och möjliggöra passerbarhet. Etablering av ett övergångsställe på Arendalsleden har uteslutits på grund av den höga trafikbelastningen och risken för trafikstockningar vid eventuell hastighetsänkning. Byggandet av en gång- och cykelbro över Arendalsleden bedöms inte som en möjlig lösning då det är en åtgärd som inte är ekonomiskt försvarbar. Syftet med rapporten är att undersöka möjligheten att skapa en passage för gång- och cykeltrafik under den befintliga vägbron genom att presentera möjliga brokoncept och utföra en preliminärdimensionering.

För att utforska potentiella brokoncept och genomföra en preliminär dimensionering har litteraturstudier, platsbesök, beräkningar och finita element-programvaran SkyCiv använts. Det valda brokonceptet för preliminär dimensionering är en fackverksbro i stål med en asfaltsbelagd gång- och cykelbana. Bron följer den befintliga brostrukturens fundament och stöds av betongpålar.

Preliminär dimensionering har genomförts i enlighet med Eurokod och Trafikverkets krav, med dimensioner framtagna genom beräkningar och användning av finita element-programvaran SkyCiv. De slutliga dimensionerna för bron är 2,7 m i bredd och en genomsnittlig längd på 23,5 m. De enskilda fackverken är 1,4 m i höjd och 1,6 m i bredd. Samtliga fackverk består av stålqualität S355J2H och har ett tvärsnitt på 40x40x5 mm. Brobanan består huvudsakligen av ett flertal I-balkar av tvärsnittet IPE-160 och 63,3 m² asfaltsbeläggning.

Avgränsningar har fastställts för att inte inkludera geotekniska beräkningar, detaljerad beskrivning av utförande och grundläggning samt förband. En omfattande ekonomisk kalkyl har inte utförts, endast materialkostnader har tagits i beaktning. Dessa avgränsningar har gjorts för att fokusera på själva konstruktionen av bron.

Nyckelord: Preliminärdimensionering, gång- och cykelbro, stål konstruktion, fackverksbro, konceptuell design

Integration of pedestrian and bicycle traffic beneath an existing road bridge in Kungsbacka

Bridge Design and Preliminary Dimensioning

*Degree Project in the bachelor's Programme
Civil and Environmental Engineering*

Wilma Bertilsson

Johanna Heurlin

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In Kungsbacka municipality, there is an interest in establishing pedestrian pathways within an area along the Kungsbacka River. However, currently, a road bridge on Arendalsleden crossing the river acts as an obstacle to connecting the pedestrian pathways. Establishing a pedestrian crossing on Arendalsleden has been ruled out due to its high traffic volume, and it would require reduced speed limits leading to traffic congestion. Erecting a pedestrian and bicycle bridge over Arendalsleden is considered economically unfeasible. The purpose of this report is to investigate the possibility of constructing a bridge beneath the existing road bridge to facilitate pedestrian and bicycle traffic and to develop proposals through preliminary dimensioning for the pedestrian and bicycle bridge.

In the process of exploring possible bridge concepts and developing a preliminary dimensioning, literature studies, site visits, calculations, and the use of finite element software have been employed. The final choice of bridge concept that has undergone preliminary dimensioning is a steel truss bridge with an asphalt pavement deck. The bridge curves along the existing bridge's abutments and is supported by concrete piles.

The preliminary dimensioning has been conducted in accordance with Eurocode and the requirements of the Swedish Transport Administration. The dimensions have been determined through calculations and with the assistance of the finite element software SkyCiv. The final dimensions of the bridge are 2,7 m in width with an average length of 23,5 m. The individual trusses measure 1,4 m in height and 1,6 m in width. All trusses are constructed of steel grade S355J2H with a cross-section of VKR 40x40x5 mm. The bridge deck primarily consists of I-beams with a cross-section of IPE160 followed by 63,3 m² of asphalt.

Limitations have been set to exclude geotechnical calculations, detailed descriptions of construction methods and foundation procedures. The report also does not address joints, and an in-depth economic analysis is not provided; only material costs are considered. These limitations have been imposed to focus on the design of the bridge structure itself.

Key words: Preliminary dimensioning, pedestrian and cycle bridge, steel construction, truss bridge, bridge design, conceptual design

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR OCH ORDLISTA	VIII
1 INTRODUCTION	1
1.1 Inledning	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problemställning	1
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Metod	2
2 TEORI	3
2.1 Förutsättningar	3
2.1.1 Geografisk placering	3
2.1.2 Geologiska förutsättningar och vattennivå	4
2.1.3 Krav för dimension och utformning	5
2.1.4 Krav gällande nedbrytning	5
2.1.5 Specifikationer för avrinning	6
2.1.6 Befintlig vägbro	6
2.2 Brotyper	7
2.2.1 Pontonbro	7
2.2.2 Fackverksbro	8
2.2.3 Balkbro	8
2.2.4 Hängbro	8
2.2.5 Valvbro/Bågbro	8
2.3 Material	8
2.3.1 Trä	8
2.3.2 Betong	9
2.3.3 Stål	10
2.4 Grundläggning	10
2.4.1 Pålning	11
2.4.2 Bottenplatta	11
3 BESKRIVNING AV METOD	12
3.1 Beskrivning av urvalsmetod	12
3.1.1 Faktorer för val av brokoncept	12
3.1.2 Viktning av faktorerna	13
3.1.3 Viktad rankning om brokoncept	13
3.2 Uteslutning av bro typer	13
3.2.1 Pontonbro	13
3.2.2 Hängbro	14
3.2.3 Valvbro	14
	III

3.3	Viktning av kriterier	14
3.4	Slutligt val av brokoncept	15
3.5	Beskrivning av valt brokoncept	15
3.5.1	Utformning av brokonstruktion	16
3.5.2	Konceptuell utformning av brobana och räcke	16
3.5.3	Stöd och övergångsfunktioner	16
3.5.4	Produktions genomförande	16
3.6	Motivering av valt brokoncept	17
3.6.1	Hydrauliska förutsättningar	17
3.6.2	Beständighet	17
3.6.3	Arbetsmiljörisker	18
3.6.4	Byggkostnad	18
3.6.5	Estetik	18
3.6.6	Byggutförande	18
3.6.7	Påverkan på omgivande miljö	18
4	DIMENSIONERING	19
4.1	Trovärdighetsanalys av programvara	19
4.2	Val av utformning av räcke	19
4.3	Utformning och placering av stöd	20
4.4	Karakteristiska laster	22
4.5	Lastkombinationer i brottsgränstillstånd	22
4.6	Dimensionerande lasteffekter	23
4.7	Dimensionering av tvärsnitt	24
4.8	Kontroll av brottsgränstillstånd	25
4.8.1	Kontroll av buckling	25
4.9	Kontroll av bruksgränstillstånd	25
4.9.1	Nedböjning	26
5	RESULTAT	27
5.1	Brobana	27
5.2	Fackverk	28
6	DISKUSSION	30
7	REFERENSER	32
8	BILAGOR	34
	Bilaga 1: Markprofil norr om Kungsbacka ån	34
	Bilaga 2: Höjdprofiler	35
	Bilaga 3: Originalritningar på den befintliga vägbron.	37
	Bilaga 4: Beräkning av laster	38

Bilaga 4: Beräkning av minsta möjliga tvärsnitt	39
Bilaga 5: Axiala krater från simulering i SkyCiv	40
Bilaga 6: Resultat summering av SkyCiv simulering	41

Förord

Examensarbetet har utförts på Chalmers tekniska högskola, institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, på uppdrag av Kungsbacka kommun. Arbetets omfattning representerar 15 högskolepoäng och är ett moment av högskoleingenjörsutbildningen, Samhällsbyggnadsteknik (180 hp).

Göteborg juni 2024

Wilma Bertilsson, Johanna Heurlin

Beteckningar och ordlista

A	Tvärsnittsarea
$A_{brobana}$	Area, för asfaltslager
f_{yk}	Flytgräns
G	Egentyngd
$G_{stål}$	Egentyngd, för stål komponenter
G_{asfalt}	Egentyngd, för asfaltslager
G_{tot}	Egentyngd, total för hela konstruktionen
g	Tyngdkraft
m_{asfalt}	Massa, för asfaltslager
$m_{stål}$	Massa, för stål komponenter
N	Normalkraft
t_{asfalt}	Tjocklek, för asfaltslager
q_{serv}	Punktlast, för servicefordon
$q_{serv0,1}$	10% av punktlast, för servicefordon
$q_{serv0,8}$	80% av punktlast, för servicefordon
σ	Spänning
ψ	Lastreduktionsfaktor
γ	Partialkoefficient

Armering: En förstärkning för betong gjordes av stålstänger för att öka dess draghållfasthet.

Brottgräns: Den maximala belastningen ett material kan utsättas för innan det deformeras eller bryts.

Bruksgräns: Den maximala belastningen en struktur kan utsättas för innan den upplever oönskade deformationer eller skador.

Buckling: Plötslig instabilitet eller deformation av en struktur som inträffar när den utsätts för kompression.

Böjning: En deformation av en struktur som uppstår när en kraft appliceras på den, vanligtvis resulterande i en krökning.

Drag: En kraft som verkar på ett föremål så att det sträcks ut eller dras isär.

Eurokod: En serie europeiska standarder för dimensionering och konstruktion av byggnader och civila ingenjörstrukturer.

Erosion: Processen där jord eller material bryts ner eller försvinner på grund av yttre krafter som vatten eller vind.

Friktionsjord: Jord vars partiklar hålls ihop huvudsakligen av friktionskrafter, vanligtvis mindre sammanhållande än kohesionjord.

GCM: Gång, Cykel och Moped

HHW: Högsta Hög Vatten

Karbonisering: Processen där betongens PH-värde gradvis minskar till följd av kontakt med koldioxid i luften, vilket kan påverka dess hållbarhet.

Kohesionjord: Jord med hög kohesivitet, vilket innebär att partiklarna håller ihop väl på grund av elektrostatiske krafter.

Krypning: Långsamma deformationer i ett material under långvarig belastning eller konstant stress.

Lasteffekter: Effekterna av belastningar som verkar på en struktur, inklusive krafter, moment och deformationer

.

LLW: Lägsta Låg Vatten

Ortotropt material: Ett material vars mekaniska egenskaper varierar med riktningen, vanligt inom vissa typer av trä eller kompositmaterial.

Permanent last: En konstant eller långvarig belastning som verkar på en struktur över tid.

Ponton: En typ av flytande struktur, vanligtvis använd för att stödja broar, plattformar eller andra konstruktioner över vatten.

RH 2000: Ett höjdsystem som används för att mäta och definiera höjder och nivåer i Sverige.

Stöd: En komponent eller struktur som används för att stödja eller bära upp en annan struktur.

Tryck: En kraft som verkar på ett föremål så att det komprimeras eller pressas ihop.

1 Introduktion

1.1 Inledning

Kungsbacka kommun strävar efter att förbättra tillgängligheten för gång- och cykeltrafik mellan två grönområden. Ett förslag är att skapa en gång- och cykelväg längs Kungsbackaån, men en befintlig vägbro över ån utgör ett hinder för det potentiella projektet. Vårt uppdrag är att undersöka möjligheterna att skapa en passage för gång- och cykeltrafik under den befintliga vägbron genom att utvärdera olika brokoncept och utföra en preliminärdimensionering av det mest lämpliga koncept med hänsyn till de lokala förhållandena på platsen, lagar och riktlinjer.

En viktig aspekt att beakta i projektet är att den undersökta gång och cykelbron inte får påverka den befintliga vägbron och dess livslängd negativt. Eftersom en ombyggnad av den befintliga bron skulle vara kostsam, är det av yttersta vikt att de alternativa passagelösningarna inte medför några risker för den befintliga vägbron.

1.2 Syfte

Examensarbetets syfte är att undersöka möjliga brokoncept och ta fram en preliminärdimensionering av en gång- och cykelbro beläggen under den befintliga vägbron på Arendalsleden i Kungsbacka.

Undersökningen ska även ge Kungsbacka kommun en tydligare förståelse för om detta förslag är praktiskt genomförbart och om det bör implementeras i verkligheten.

1.3 Problemställning

Kungsbacka kommun vill diskutera möjligheten att anlägga ett gång- och cykelstråk mellan två befintliga grönområden. Stråket är tänkt att löpa längs Kungsbackaån, men en vägbro på Arendalsleden utgör för närvarande ett hinder för passerbarheten. Det är inte möjligt att bygga en gång- och cykelbro över den befintliga vägbron eftersom det har bedömts vara för ekonomiskt kostsamt. Kungsbacka kommun har beslutat att de heller inte vill anlägga ett övergångsställe över vägen, eftersom det är en högt trafikerad led som skulle orsaka trafikstockning vid sänkt hastighet.

Rapporten kommer att besvara följande frågeställningar i relation till det beskrivna problemet:

- Vilka hinder och möjligheter finns det med olika konstruktionslösningar?
- Vilket är det mest lämpliga brokonceptet att tillämpa utifrån de befintliga förutsättningarna?
- Hur och efter vilka mått ska det valda brokonceptet dimensioneras?

1.4 Avgränsningar

Denna studie fokuserar på urvalet av potentiella brokoncept och preliminärdimensionering av en gång- och cykelbro, vilket grundas på krav och riktlinjer fastställda av Eurokod och Trafikverket. Eftersom projektet inriktar sig på en preliminär konstruktion, kommer ingen detaljerad analys av grundläggning att utföras. I stället kommer en analys av möjliga grundläggningsmetoder att utföras för att underlätta bedömningen av genomförbarhet av den preliminära dimensioneringen. Ingen ekonomisk kalkyl kommer att utföras, men den ekonomiska aspekten kommer att tas i beaktning för att uppskatta rimligheten i utförandet för gång- och cykelbron. Vid den preliminära dimensioneringen kommer studien inte heller att beakta förband eller metoder för sammanfogning av olika komponenter. Produktionsmetod kommer att diskuteras för att göra en bedömning av genomförbarheten, men studien kommer inte att fördjupa sig i exakta detaljer om själva utförandet. Preliminär dimensioneringen fokuserar på konstruktionens bärande delar och därför kommer ingen dimensionering för broräcke att redovisas.

1.5 Metod

För att erhålla förståelse för vilka förutsättningar som finns för projektet genomförs fältarbete genom platsbesök, vilket kompletteras med en litteraturstudie för att analysera de geologiska förutsättningarna på platsen. Litteraturstudier används även för att analysera olika material, identifiera tekniska krav som ställs på konstruktionen, och ta fram möjliga brokoncept. Efter att ett lämpligt brokoncept valts utförs beräkningar för att bestämma laster och krafter som verkar på den föreslagna strukturen. Vid dimensioneringen används modellering i tre dimensioner i modelleringsprogrammet SkyCiv, en finita element-analysmjukvara. Där kontroller av konstruktionens hållfasthet, lastbärande kapacitet och stabilitet kommer genomföras.

2 Teori

I detta kapitel presenteras de förutsättningar, krav och den övriga teori som anses vara relevant för arbetet och som har tagits fram under litteraturstudien.

2.1 Förutsättningar

Kapitlet behandlar de geografiska och geologiska förutsättningar som råder i det avsedda området för bron. Det tar även upp den befintliga vägbron dimensioner och de tekniska krav som är relevanta för konstruktionen av gång- och cykelbron. Genom att granska dessa förutsättningar ges en grundläggande förståelse som ligger till grund för utvärdering av brokoncept samt den slutliga preliminära dimensioneringen av gång- och cykelbron.

2.1.1 Geografisk placering

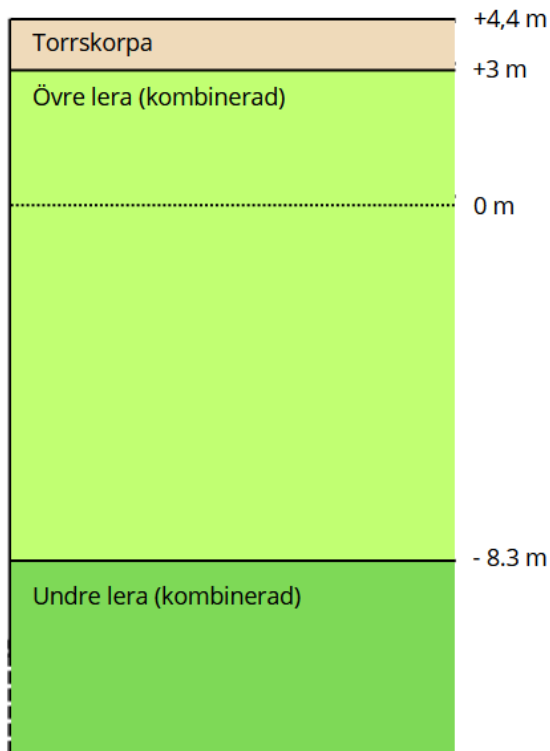
Den befintliga vägbron är belägen på Arendalsleden i Kungsbacka kommun och sträcker sig över Kungsbackaån. Vägbron omges av en naturremsa som separerar ån från det omgivande området, vilket består av en snabbmatsrestaurang, köpcentrumet Hede Fashion Outlet och flera andra lokaler. Arendalsleden är en bilväg avsedd för motordrivna fordon, och det finns en rondell i nära anslutning till leden på den östra sidan av bron. Det planerade gångstråket, där gång- och cykelbron ska ingå, är avsett att löpa parallellt med ån på västra sidan, inom den befintliga naturremsan.



Figur 1 Kartbild från Lantmäteriet som visar geografisk placering av arbetet, röd rektangel visar angiven plats.

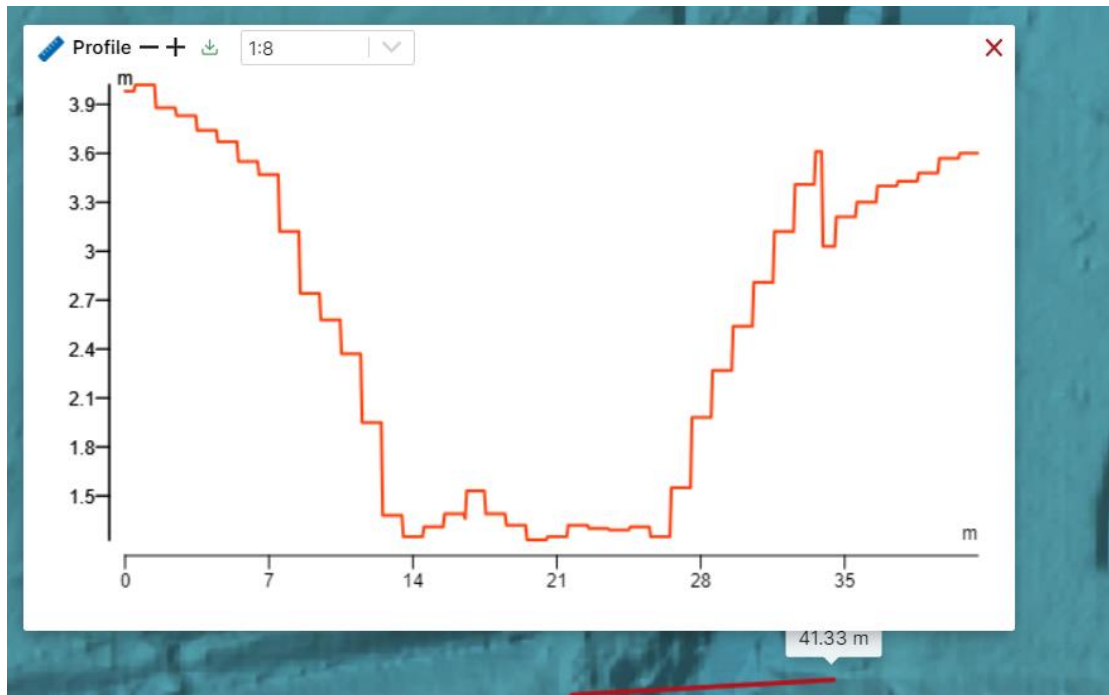
2.1.2 Geologiska förutsättningar och vattennivå

Marken i området nära den befintliga bron består huvudsakligen av lera (GeoVerkstan, 2013). En markprovtagning söder om vägbron nära Kungsbackaån visar en jordlagerföljd bestående av följande sekvens: en torrskorpa, en kombinerad övre lera och en kombinerad undre lera, enligt Figur 2.



Figur 2 Jordlager följd i närheten av Kungsbacka ån söder om den existerande bron, förenkling baserad på Bilaga 1.

Vattenståndet i Kungsbackaån är uppmätt till 4,1 m över marken för högsta hög vatten (HHW) och till 0,12 m för lägsta låg vatten (LLW) i höjdsystem RH 2000 (GeoVerkstan, 2013). Höjdprofiler uppmätta i fyra punkter i Kungsbackaån runt omkring bron framtagna av handledare på Kungsbacka Kommun ger ett representativ höjdprofil på cirka 4 meter, se Figur 3 samt Bilaga 2.



Figur 3: Höjdprofil av Kungsbacka ån tagen strax norr om befintlig vägbro.

2.1.3 Krav för dimension och utformning

Uppdragsgivarna på Kungsbacka kommun uttrycker att preliminärdimensionering och val av konstruktion inte får innebära negativa konsekvenser för den befintliga bron över Kungsbackaån. Endast mindre ändringar får göras i den befintliga bron med förutsättning att det inte påverkar dess beständighet eller livslängd.

Trafikverket fastställer att kravställningen på fri höjd för en GCM-passage utgår från de fordon som används för drift och underhåll (Trafikverket, 2022). För att service- och driftfordon ska kunna köra på bron ska även brobanan ha en fri bredd på 2,7 m.

Enligt Trafikverket ska ett gång- och cykelbro-räcke dimensioneras enligt SIS-CEN/TR 16 949 (Trafikverket, 2022). Vid djupt vatten (överstigande 0,5 m vid medelvattenstånd) inom 1,5 m från GCM-banans kant ska även minimumhöjden för ett gång- och cykelbro-räcke uppfylla kravet på en minimumhöjd på 1,4 meter samt ha ett maximalt avstånd på 0,45 meter mellan de horisontella delarna i räcket.

Beläggning på brobanaplattor i stål skall utformas med bindlager av PGJA och med slitlager av PGJA eller SBS-modifierad asfalt (Trafikverket, 2022). Den totala tjockleken på en gång och cykelbro ska mista vara 30 mm. Det ska även finnas ett tätskikt som ska bestå av en tätskiktsmatta som ska läggas på en epoxiförseglad stålyta.

2.1.4 Krav gällande nedbrytning

Brostöd belägna i vatten ska förses med skydd mot skadlig erosion (Trafikverket, 2019). Vid medelvattenhastighet under 2 m/s ska dimensioneringen av

erosionskyddet vara enligt "Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad". Vattenhastigheter större än 2 m/s ska dimensioneras efter en särskild utredning.

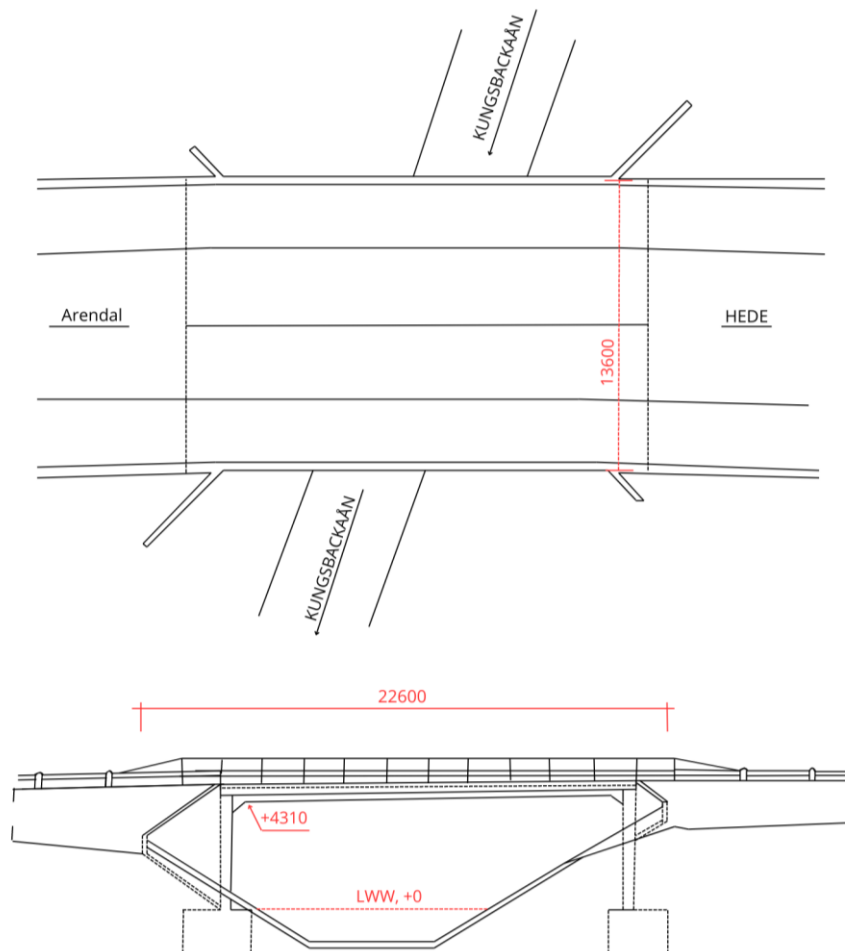
I allmänhet ska stålkonstruktioner utformas enligt korrosivitetsklass minst C4 enligt SS-EN ISO 12944-2 (Trafikverket, 2019). Men de ska utformas enligt C5 enligt SS-EN ISO 12944-2 när det gäller konstruktionsdelar i marin-, väg- eller GC-miljö. Allmänt ska stålkonstruktioner utformas enligt korrosivitetsklass minst C4 enligt SS-EN ISO 12944-2.

2.1.5 Specifikationer för avrinning

För att undvika skador på konstruktionen beroende på vattenansamling bör god vattenavrinning vara säkerställd (Trafikverket, 2022). Vid avrinning i tvärfall innebär en lutning <1% att det finns stor risk för vattensamling vid minsta felbyggand. Annan viktig beaktning finns även vid lutning >2 % då lutningen kan skapa svårigheter för personer med rullator eller rullstol.

2.1.6 Befintlig vägbro

Den befintliga vägbron, som gång- och cykelbron skall konstrueras under, ligger längs Arendalsleden och korsar Kungsbackaån. Det är en klassisk platttramsbro byggd på 1960-talet. Vägbron har en total brolängd på 22,6 m och total brobredd på 13,6 m, se Figur 4. Frihöjden under bron ligger på +4,31 m från LLW.



Figur 4: Förenklade ritningar med nämnda mått baserade på ursprungliga ritningar på befintlig bro, för ursprungliga ritningar se Bilaga 3.

Brons grundläggning består av infästningar i bottenplattorna med pålning, se Bilaga 3. Pålarna som används består av betong och har varierande lutning, från vertikalt till 4:1. Pålarnas längd uppgår till 13 m under bottenplattorna som utförts utan LED. Fundamenten har en bredd på 13,6 m samt en längd på 3 m och består av 17 pålar fördelat på 3 rader.

2.2 Brotyper

I följande kapitel presenteras en kort beskrivning av olika brotyper och deras konstruktionsuppbyggnad.

2.2.1 Pontonbro

En pontonbro består av en brobana tillverkad i metall eller trä som flyter på vattenytan (NE Nationalencyklopedin AB, 2023). Brobanan är fäst ovanpå ett antal pontoner som bär upp konstruktion. Pontonerna kan bestå av till exempel timmerbäddar eller flottar. Brokonstruktionen används vid enklare broar och används främst för gångtrafik eller tillfällig fordonstrafik.

2.2.2 Fackverksbro

En fackverksbro består av sammankopplade stänger vars tyngdpunktslinjer möts i knytpunkten och är ledat förbundna med varandra (Gustafsson, 1996). Det ger upphov till att stängerna endast överför tryck och dragkrafter. Vid tryckta diagonaler överför kraft via kontakttryck. Det finns olika typer av fackverk som lämpas bäst vid olika konstruktioner och ändamål.

2.2.3 Balkbro

En balkbro består av en eller fler bärande balkar upplagda mellan minst två upplag (Winter, 1992). Vanligtvis består balkbroar av en beläggning av tvärbalkar, syllar, huvudbalkar och avstyvningsförband. Trafiklasterna tas upp av syllarna som för över lasten till tvär – eller huvudbalkarna (Svenskt Trä, 2017).

2.2.4 Hängbro

En hängbro består av ett bärande hängverk där brobalken undertill stöds elastiskt av stolpar eller vertikaler upphängda i pyloner (Gustafsson, 1996). Lasterna som uppförs i brobalken överförs till hängverket genom vertikaler och sedan ut till pylonerna. Konstruktioner gör det möjligt för stor fri höjd under bro och lämpar sig vid stora spännvidder.

2.2.5 Valvbro/Bågbro

Valvbro kan betraktas som en äldre form av bågbro (NE Nationalencyklopedin AB, 2023). Valvbron består av sten, tegel eller betong där en valvbåge, utformad av tätt kilformade element, utgör bärverket. De äldsta bevarade broarna är just valvbroar. En vidareutveckling av valvbron är bågbro, där valvet ersätts med enkel- eller parbågar i stål eller armerad betong. Detta gör att man kan uppnå spännvidder mellan 50 och 200 meter.

2.3 Material

I följande kapitel beskrivs tre vanliga konstruktionsmaterial: Trä, betong och stål. Respektive materials specifika egenskaper, kostnad, lämplighet med avseende på hydrologiska förutsättningar samt krav på underhåll tas upp.

2.3.1 Trä

Trä är ett mycket hållfast material i förhållande till sin vikt (Johansson, 2020). På senare tid har utvecklingen av limträ skapat fler möjligheter för flera brotyper där den bärande komponenten är tillverkad av trä.

Trä är ett material som naturligt har unika karaktärsdrag, då det är uppbyggt av långsträckta ihåliga fibrer (Johansson, 2020). Beroende på lastens riktning

påverkas hållfastheten olika, det vill säga att det är ett ortotrop material med tre olika fiberriktningar longitudinellt, tangentiellt och radiellt.

Fukthalten i träet varierar med luftfuktigheten i luften då det är ett hygroskopiskt material (Bjurström, Trä, 2007). Materialets egenskaper påverkas av fukthalten då ett torrare trä ger högre hållfasthet. Fuktvariationer i träet skapar fuktrörelser såsom svällning och krypning. Det är ett lätt material jämfört med stål och betong, även fast det har en hög specifik hållfasthet, det vill säga en hög kvot mellan hållfasthet och densitet. Träts lätta vikt gör det oftast smidigare att transportera, arbeta med och hantera.

I träkonstruktioner används främst konstruktionsvirke eller limträ (Johansson, 2020). Konstruktionsvirket sågas ut i valda dimensioner ur kvalitetsorterat timmer, men kan begränsas av storleken på stocken. Limträ består av limmade trälameller på varandra, vilket skapar större frihet i dimensioner och former såsom böjda limträbalkar. Det skapas även en jämnare hållfasthet, då svagheterna som finns i det naturliga träet sprids ut.

Det finns dock vissa riskfaktorer med trä såsom biologisk nedbrytning och brandrisk (Johansson, 2020). Vid en fukthalt på över 20% finns risk för röta och vid 30% anses materialet som skadat, vilket måste åtgärdas. Därför är det viktigt med konstruktionsmässiga eller kemiska skydd mot höga fuktkvoter som till exempel impregnering. Höga fukthalter kan vara ett tecken på vattenintrång i träet vid kritiska punkter som innefattar infästningar, skarvar och liknande delar. Även skydd mot UV-ljus är viktigt då det kan leda till uttorkning av träet och sprickbildning.

Det kan vara svårt att jämföra kostnader för trä med andra material på grund av olikheter i grundläggning och utformning (Svenska Kommunförbundet, 1998). Men historiskt sett har mindre broar i trä oftast varit billigare, trä ger också hyfsade möjligheter att prefabricera komponenter.

2.3.2 Betong

Betong består av en blandning av cement, vatten samt ballast och är idag ett av våra viktigaste byggmaterial (Bjurström, Betong, 2007). Materialet utmärks för sin goda beständighet, formbarhet och hållfasthet. Det används främst i bärande konstruktioner där påfrestningar såsom fukt och nötning förekommer. Betong fungerar mycket bra vid tryckspänningar, men kan ha problem med draghållfasthet. Detta förhindrar man med hjälp av armering som hjälper till att överföra dragkrafterna i konstruktionen.

Betong har en relativt stor egentyngd som förbrukar en del av lastkapaciteten och bärförmågan (Bjurström, Betong, 2007). Det som har störst påverkan på betongens beständighet och hållfasthet är vattencementtalet, det vill säga förhållandet mellan mängd vatten och cement.

Klorider i löst vatten kan vara en kritisk faktor då de tränger in i betongen vid sprickbildning under belastning (Alström, 2014). Detta kan orsaka korrosion av

armeringen. Vattnet i sig självt är inte farligt eftersom den höga alkaliniteten hos betongen skyddar stålet. Karbonatisering orsakas av koldioxid i atmosfären och leder till en minskning av betongens PH-värde, vilket i sin tur kan öka risken för armeringskorrosion. För att förebygga korrosion kan man förspänna betongen, vilket inte påverkar bärförmågan vid brottgränsen. Andra förebyggande åtgärder kan inkludera ett tjockare skyddande betongskikt, högre densitet samt högkvalitativ betong.

2.3.3 Stål

Stål består huvudsakligen av järn och skapas genom en smältprocess tillsammans med en kolhalt som ej bör överstiga ca 1,8 procent av vikten (Bjurström, Stål, 2007). Materialet är relativt tungt, men har samtidigt utmärkta hållfasthetsegenskaper. Detta gör att det är möjligt att arbeta med mindre tvärsnitt än med övriga material såsom trä och betong. Det är ett material som lämpar sig bra för GCM-broar, på grund av sin höga hållfasthet och formbarhet (Stålbyggnadsinstitutet, 2020). Man kan lätt forma materialet efter den form som önskas och anpassa den till omgivningen.

Stål lämpar sig även bra för prefabrikation, då det är ett väldigt lätt material vilket gör det enkelt att transportera (Lebet & Hirt, 2013). Färdig behandlade delar transporteras sedan till byggplatsen och kan enkelt monteras samman, en mycket tids- och kostnadseffektiv process.

Vid belastning har stål ett elastiskt beteende (Al-Emrani & Johansson, 2020). Det sker små deformationer vid sträckgränsen och därefter sker flytning av stålet fram till brott. Detta ger ett segt brott till skillnad från till exempel betong där brotten är spröda och ger direkt större deformationer, därför använder man sig av stålarmering i betong. Sänkning av sträck- och brottgränsen sker vid temperaturökning. Krypning är även ett vanligt fenomen, då spänningen är tillräckligt hög blir materialet plastiskt och töjning sker.

Den största svårigheten vid arbete med stål är korrosion, som gör att stålet bryts ner och ger en försämrad bärförmåga (Stålbyggnadsinstitutet, u.å). Korrosionen uppstår när stålet har tillgång till syre och vatten. För att förebygga detta krävs rostskydd, exempelvis förzinkning eller målning. Det är framför allt korrosionen som svarar för den övervägande delen av underhållet och dess kostnader, vilket innebär kontinuerlig rengöring och målning. Enligt Trafikverket kan underhållskostnader på en stålbro kosta ca 9000 kr per löpmeter varje år (Reuterswärd, 2010).

Väderbeständigt stål även kallad Cortenstål, är en stållegering som lämpar sig för utomhus konstruktioner under extrema väderförhållanden där fukt och kontakt med vatten kan påverka materialet (SSAB, u.å). Väderbeständigt stål framställdes för att minimera underhållsarbetet med målning.

2.4 Grundläggning

Det finns ett flertal olika grundläggningsmetoder som kan användas vid grundläggning av broar. Markens beskaffenhet är den mest betydande faktorn

som avgör vilken grundläggningsmetod som lämpar sig (Statens Geotekniska Institut, 2023). Val av grundläggningsmetod är centralt för att reducera risken för sättningar och brott i marken. I kapitlet redovisas olika typer av grundläggningsmetoder som kan tillämpas.

I enlighet med de geotekniska förutsättningarna, se jordlagerföljd i Bilaga 1, går det att urskilja att marken i området där grundläggning av bron ska ske består huvudsakligen av lera.

2.4.1 Pålning

Vid grundläggning i lera krävs ofta pålning för att den önskade bärigheten av ett brostöd ska kunna uppnås (Nilsson & Thorén, 2003). Pålens huvudsakliga uppgift innefattar lastöverförning, vilket innebär att pålen tar upp vertikala krafter och för över dessa till kringliggande jord. I Sverige är pålarna oftast tillverkade i stål eller betong, varav betong är vanligast. Pålens funktion utgår ofta efter de geologiska förutsättningarna i marken som ska pålas. Det finns två olika huvudtyper av mark kohensionsjord och friktionsjord. För dessa huvudtyper används två olika pålar: mantelburna för kohesionsjord och spetsburna för friktionsjord.

2.4.2 Bottenplatta

Vid pålning krävs det att man gjuter en bottenplatta ovanpå pålarna (Nilsson & Thorén, 2003). Vid pålning under vatten går det att gjuta bottenplattan främst på två sätt genom undervattengjutning eller torrgjuten betongplatta.

Vid grundläggning av bottenplatta med undervattengjutning kan flera utmaningar uppstå (Nilsson & Thorén, 2003). Det krävs en jämn schaktbotten för grusfyllning, vilket kan vara svårt att utföra under vatten. Formen för gjutningen består vanligtvis av en spontlåda som hålls fast med bottenplattans armering för att inte förflytta sig. Betong anpassad för undervattenanvändning används och kan kräva antiutlösningsmedel, ett kemiskt medel som förhindrar betongen från att fästas hårt i formen. För att kontrollera bottenplattans kvalitet pumpas vattnet bort och kontrolleras.

Vid grundläggning av torrgjuten bottenplatta under vattennivån används en tätplatta med kvarstående spont (Nilsson & Thorén, 2003). Tätplattan gjuts först under vattnet på samma sätt som tidigare, men vattnet pumpas sedan bort från spontlådan och bottenplattan kan sedan gjas torrt. Tätplattan räknas inte rent beräkningsmässigt som betong utan i stället som grusfylld och ska vara bredare än bottenplattan. Vid kombinerat användande av kvarstående spont är det möjligt att minska tätplattans yttermått avsevärt och det behövs därför inte lika mycket betong.

Vid användning av pålade stöd i vatten kan det underlätta att gjuta bottenplatta torrt med hjälp av spont (Nilsson & Thorén, 2003). Vilket enklast sker genom att först gjuta tätplatta och därefter pumpa bort vattnet med en läns pump.

3 Beskrivning av metod

I följande kapitel beskrivs tillvägagångssättet för hur slutgiltigt brokoncept och preliminärdimensioneringen har tagits fram genom urvalsmetod och dimensionering.

3.1 Beskrivning av urvalsmetod

För att identifiera det mest lämpliga brokonceptet används en urvalsmetod som fokuserar på de kriterier som definierats som viktiga samt kriterier som Kungsbacka kommun anser vara betydelsefulla. Dessa kriterier viktas mot varandra för att fokusera på de kriterier som anses vara viktigast vid val av rätt brokoncept. Det slutliga konceptet bestäms sedan genom en rangordning baserad på poängsättning enligt de viktade kriterierna.

3.1.1 Faktorer för val av brokoncept

Vid valet av slutligt brokoncept, baseras urvalsprocessen utifrån följande kriteriefaktorer:

Hydrauliska förutsättningar - Vattnets påverkan på bron och dess material.

Beständighet - Att gång- och cykelbron bör kunna bära upp vikten samt motstå de krafter den kommer att utsättas för, inklusive naturfaktorer, under en längre tid.

Arbetsmiljörisker – Syftar på risker som kan uppstå vid byggprocessen av bron. Till exempel arbetsolyckor eller skador.

Byggekostnad - Den kostnad som uppstår vid byggskedet, avseende till exempel material och produktionsmetod samt kostnader som tillkommer vid underhåll av bron.

Estetik - Denna faktor syftar på hur visuellt tilltalande brokonceptet är för ögat och hur mycket konstruktionen passar in i den omgivande miljön.

Byggutförande - Denna faktor bygger på komplexiteten av byggutförandet av brokonceptet och om det är genomförbart.

Påverkan på omgivande miljö - Den påverkan brokonceptet har på den redan befintliga bron och kringliggande vattenmiljö.

Kriterierna har valts med hänsyn till deras relevans för den aktuella situationen efter analys av förutsättningar och risker, för att avgöra vilket koncept som bäst passar för att lösa problemet.

3.1.2 Viktning av faktorerna

För att välja det mest lämpliga brokonceptet utifrån de fastställda kriterierna i Kapitel 3.1.1 bör kriterierna viktas innan den slutliga rankningen görs. Detta görs för att säkerställa att de kriterier som anses vara av större betydelse får större vikt i den slutgiltiga bedömningen.

Viktningen genomförs genom ett system där varje kriterium ställs mot de resterande. Varje kriterium tilldelas ett poäng från 1 till 3 beroende på hur viktigt det är i förhållande till det andra kriteriet som det ställs emot. En poäng på 1 indikerar att det är mindre viktigt än det andra, 2 indikerar att de är lika viktiga, och 3 indikerar att det är viktigare än det andra. Efter att ett kriterium ställts mot alla andra kriterier får det ett sammanlagd poäng. Den totala poängsumman för alla kriterier används sedan för att beräkna en procentsats för varje kriterium. Dessa procentsatser används sedan i den slutliga rangordningen.

3.1.3 Viktad rankning om brokoncept

För det slutliga valet ska de kvarstående brokoncepten poängsättas enligt följande kriterier:

- Hydrologiska förutsättningar
- Beständighet
- Risker
- Byggekostnad
- Estetik
- Byggutförande
- Påverkan på omgivande miljö

Varje brokoncept poängsätts på en skala mellan 1 och 5 poäng för varje kriterium. Därefter multipliceras varje poäng med den motsvarande viktningsprocenten för det representerade kriteriet. Alla "viktade poäng" summeras sedan för att få en viktad summa för varje koncept. Utifrån de viktade summorna rangordnas koncepten och det koncept med högst viktad poäng anses vara det bäst lämpade valet.

3.2 Uteslutning av bro typer

Bortval av vissa brotyper och material kan göras i ett tidigt skede genom enklare resonemang. Dessa resonemang baseras på den information som tagits fram i Kapitel 2 samt de faktorer som valts att fokusera på nämnda i Kapitel 3.1.1. Broar som inte bedöms lämpliga att uppföra på den avsedda platsen utifrån dess omgivning, deras egenskaper och material utesluts tidigt i bedömningen.

3.2.1 Pontonbro

Pontonbro används vanligen som en tillfälligbro vilket avviker från målet att skapa en permanent brokonstruktion. Pontonbron flyter ovanpå vattenytan,

vilket medför stora höjdskillnader vid hög nederbörd eller vid lång period av utebliven nederbörd. Därmed blir det svårt att anpassa pontonbron utifrån de gång- och cykelstråk som ska ansluta till pontonbron. Det gör att tillgängligheten minskar och passerande trafikanter kan behöva kliva upp eller ner för att ta sig på bron. Det utgör även ett hinder för cyklister som kan tvingas kliva av cykeln för att stiga på bron. Pontonbron är heller inte anpassad efter alla säsonger i Sverige. På vintern kommer pontonbron behövas tas bort tillfälligt för att bron inte ska frysa fast och bli instabil.

3.2.2 Hängbro

Hängbron skulle utgöra en risk för den befintliga bron då linorna i en hängbro, som tar upp dragkrafter, skulle behöva fästas i själva vägbron. Det medför ändringar i den befintliga bron som kan påverka dess hållfasthet och livslängd. Det skulle även resultera i att hängbrons egenvikt och belastning överförs till den befintliga bron via dragkraft genom linorna. Detta leder till en ökad maximal belastning samt maximalt moment som kan komma att överskrida den befintliga brons dimensionerade lastkapacitet. Eftersom linorna för hängbron måste fästas i den befintliga vägbron innebär det en kostsam åtgärd ur ett ekonomiskt perspektiv. Att utforma en hängbro med en vägbro ovanför medför också stor risk då passerande kan försöka klättra i linorna upp till vägbron. Hängbro anses vara en för avancerad lösning att tillämpa i detta fall.

3.2.3 Valvbro

Att upprätta en valvbro kan bli komplext under produktionsskedet då stenarna måste platsgutas. Tillgängligheten vid byggutförandet på platsen är begränsad eftersom bron befinner sig vid två släntar, låg höjd under bron samt ett vattendrag. Den befintliga vägbrons begränsade höjd från vattenytan gör det även svårt att utforma valv som är tillräckligt stora för att motverka de verkande krafterna. Det hade krävts flera mindre valv på en kort spännvidd vilket blir mer tidskrävande och ekonomiskt kostsamt.

3.3 Viktning av kriterier

För att ta fram det bäst lämpade brokonceptet har det valts att vikta kriteriefaktorerna. Detta görs för att ge en högre prioritet åt de kriterier som anses vara viktigare i urvalsprocessen. Det gjordes utifrån viktningssystemet som beskrivs Kapitel 3.1.3 och baseras på krav givna av handledare på Kungsbacka angående projektet och vad vi anser vara aktuellt.

Övervägningar och antaganden resulterade i följande viktade procentsats som ska användas i nästa steg av urvalsprocessen.

Tabell 1: Vikting av kriterierna, där de rankas mot varandra. Utifrån detta får varje kriterium en procentandel som i nästkommande steg ska multipliceras med de olika brokonceptens poäng.

		1	2	3	4	5	6	7	Summa	Procent	
Estetik	1	■	1	1	1	2	1	1	7	8,43	
Hydrologiska f.	2	3	■	3	3	2	3	3	17	20,48	
Beständighet	3	3	1	■	2	3	3	3	15	18,07	
Arbetsmiljörisker	4	3	1	2	■	3	3	1	13	15,66	
Byggkostand	5	2	1	1	1	■	1	1	7	8,43	
Byggutförande	6	3	1	1	1	3	■	1	10	12,05	
Påverkan på o.	7	3	1	1	3	3	3	■	14	16,87	
1= mindre viktigt 2=lika viktigt 3=viktigare									Tot:	83	100

3.4 Slutligt val av brokoncept

Med hjälp av poängsystemet som beskrivs i Kapitel 3.3 för val av slutligt brokoncept, poängsätts olika brokoncept utifrån kriterierna utifrån de underlag som tagits fram i litteraturstudien. Brokoncepten består av en kombination av de brotyper och material som inte har uteslutits tidigare i processen.

Koncept som ska bedömas:

- Balkbro i betong
- Balkbro i trä
- Balkbro i stål
- Fackverksbro i trä
- Fackverksbro i stål

Efter diskussion och poängsättning av brokoncepten fick resulterade det till en slutlig rankning som presenteras i Tabell 2. Där den slutliga rankningen angav fackverksbro i stål till det vinnande konceptet.

Tabell 2: Bedömning hur väl brokonceptet ställer sig till de utvalda kriterierna framtagna i Kapitel 3.1.1. Poäng 1 ges om brokonceptet anses förhålla sig dåligt till kriteriet och poäng 5 ges om brokonceptet anses förhålla sig mycket bra till kriteriet. Broarna raknas sedan utifrån dess viktade slutpoäng.

Brotyp	Material	1	2	3	4	5	6	7	Tota	Viktat poäng	Rankning
Balkbro	Betong	1	4	3	2	1	1	1	13	2,15	5
	Trä	3	1	2	4	5	4	3	22	2,83	4
	Stål	3	3	3	3	4	3	3	22	3,08	2
Fackverksbro	Trä	4	1	3	4	4	3	4	23	3,06	2
	Stål	5	3	4	3	3	2	4	24	3,39	1

3.5 Beskrivning av valt brokoncept

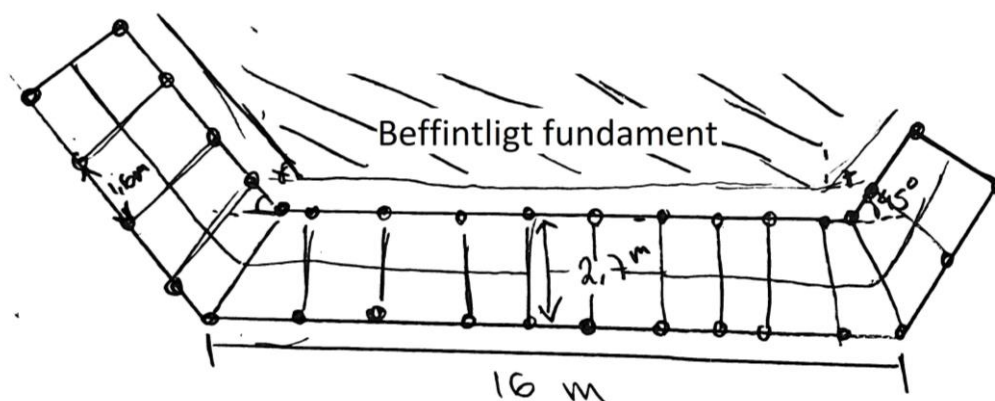
Konceptet kring fackverksbron i stål som valts beskrivs mer utförligt inom utformning, produktionsgenomförande samt motivering av brokoncept.

3.5.1 Utformning av brokonstruktion

Brons bärande delar består av ett ramverk i väderbeständigt stål som bär upp konstruktionen. Konstruktionen följer det befintliga brofundamentet och består av ett rakt mittparti för att sedan svänga med en 45° vinkel längs stödet i båda ändarna.

3.5.2 Konceptuell utformning av brobana och räcke

Den bärande stålkonstruktionen består av två huvuddelar, brobanan och broräcket uppbyggt av fackverk. Där brobanan består I-balkar som löper parallellt i brobanans riktning sammankopplade med tvärbalkar regelbundet placerade längs brobanan. Tvärsnitt, antal balkar och utseende på fackverk testas och tas fram i dimensioneringen.



Figur 5: Skiss över konceptuellutformning av bro, där linjerna visar horisontella stänger och de större punkterna visar potentiell placering av vertikala stänger. Skissen visar hur bron parallellt följer formen av vägbron befintliga brofundament.

För att klara de krav för brobanan som presenteras i Kapitel 2 placeras en metallplåt, följt av tätskikt och asfalt alternativt annan friktionsyta ovanför den bärande konstruktionen. Brobanan har även en lutning på 2% för avrinning för att säkerställa god tillgänglighet och vattenavrinning.

3.5.3 Stöd och övergångsfunktioner

Exakt antal stöd och placering tas fram i dimensionering. Konceptuellt typ av stöd är pålstöd i betong fast gjutna i pålade torrgjutna bottenplattor för att säkerställa god stabilitet på grund av att marken till största del består av lera.

3.5.4 Produktions genomförande

En fackverksbro i stål är lätt att utforma i prefab-element som senare snabbt kan monteras ihop på plats. Då stål även är ett relativt lätt material är det enklare att transportera än andra material. Delarna bör vara tillräckligt stora för att man samtidigt kan bygga ihop bron i så få steg som möjligt, men får inte bli för stora så att de medför problem för att transportera dem nedanför den befintliga bron där det kan vara

relativt svårtillgängligt. Alternativt kan man använda sig av en kran som står på bron för att lyfta ner prefabkomponenterna till rätt nivå.

Men för att kunna montera prefab-strukturen behövs det en grund. Detta kan vara ett mer kritiskt och komplicerat moment eftersom det kan krävas att större maskiner behövs där det kan vara svåråtkomliga. Vid framställning av resterande gångstråk finns det ett behov av att schakta bort stenmassor runt omkring bron så att bron och gångstråket kan sammanfogas på ett smidigt sätt. Då finns det möjligheter att skapa en plattare och anpassad arbetsyta för grundläggningsarbetet. Vid grundläggningen bör det pålas; för smidighetens skull bör en så liten pålningsmaskin som möjligt användas. Vid pålning där det är svårtillgängligt på grund av vatten finns det en möjlighet att använda sig av en typ av tillfällig flytkonstruktion som maskiner kan placeras på för att komma åt svåråtkomliga utrymmen.

Efter pålningen bör gjutning av bottenplattan genomföras enligt Kapitel 2.4.2 torrt med spont. Även här kan det vara komplicerat med maskinernas tillgänglighet. Dock bör det inte vara behov av en stor mängd betong som relativt enkelt borde kunna transporteras ner utan onödigt stora fordon. Alternativt kan man använda sig av en slang från ett fordon stående på bron för att fylla på betongen. I bottenplattan gjuts de föreslagna betongstöden fast, och på dem fäster man resterande prefabkomponenter.

3.6 Motivering av valt brokoncept

Här presenteras hur det slutliga brokonceptet för en fackverksbro av stål påverkar och ställer sig emot de framtagna kriterierna i Kapitel 3.1.1.

3.6.1 Hydrauliska förutsättningar

Utifrån de påfrestningar från klimat och väder som gång- och cykelbron kommer att utsättas för, är stål ett bättre alternativ än trä. Detta beror på att det är lättare att förebygga komplikationer som till exempel korrosion då gång- och cykelbron uppförs i en marin miljö. Dessutom möjliggör den öppna strukturen hos en fackverksbro effektiv avrinning av vatten och minskar risken för vattenansamling. Genom att bron endast behöver stödjäs av några få runda stöd skapas ingen större vattenansamling eller tryck över en stor yta. Detta minskar de krafter som bron kommer att behöva motstå från vattenflödet.

3.6.2 Beständighet

Stål är, som tidigare nämnts i Kapitel 2.3.3, ett mycket hållfast material som kan motstå de spänningarna och krafter en gång- och cykelbro kan utsättas för under sin livslängd. Materialet är vanligt förekommande vid konstruktion av gång- och cykelbroar. En fackverksbro har genom sin geometri en mycket god hållfasthet, vilket är en betydande faktor för dess beständighet. Detta, i kombination med det väderbeständiga stålets motståndskraft mot vatten och korrosion jämfört med de övriga materialen, gör detta alternativt relativt sett mycket beständigt.

3.6.3 Arbetsmiljörisker

Vid byggprocessen av en fackverksbro i stål går det att använda sig av prefabricerade delar, detta gör processen enklare och färre arbetsmoment krävs. Vid en mer simpel byggprocess reduceras risken för arbetsolyckor och skador på byggplatsen. Grundläggningen kan som nämnt i Kapitel 4.4 vara riskabel och en mer djupgående analys hade behövt göras, men detta hade varit detsamma för övriga broar exempelvis balkbron.

3.6.4 Byggekostnad

Stål är ett relativt dyrt byggnadsmaterial jämför med trä och betong. Däremot har det hög hållfasthet i både tryck och drag. Stål är känt för sin långa livslängd och minimala underhålls krav, vilket innebär lägre livscykelkostnader jämfört med andra material. Dessutom kan stålkomponenter tillverkas i fabriker och sedan enkelt transporteras till byggplatsen, vilket minskar byggtiden och därmed arbetskostnaderna ytterligare.

3.6.5 Estetik

Fackverksbron var det mest estetiska alternativet av de slutliga koncepten. Fackverket har en visuellt tilltalande design samtidigt som det smälter väl in i den omgivande miljön. Den öppna strukturen på bron bidrar till en luftig och öppen estetik, vilket skapar en kontrast till det massiva betongfundamentet i direkt anslutning. Detta kan ge en mer estetisk bild av platsen. Även cortenstålets ”rostiga” färg skapar en kontrast mot den grå betongen och för in färg bland all grå betong.

3.6.6 Byggutförande

Byggutförandet kan ske relativt enkelt med den valda brotypen och materialet. En fackverksbro i stål kan prefabriceras, vilket gör byggprocessen snabbare och mindre komplicerad. Detta är särskilt fördelaktigt när brobygget ska utföras på en plats med utmanande topografiskt läge. Likande argument angående grundläggningen i Kapitel 3.5.2 gäller även vid byggutförande.

3.6.7 Påverkan på omgivande miljö

Då det var av yttersta vikt att den befintliga bron inte skulle påverkas, visade sig valet av en fackverksbro vara ett utmärkt alternativ. Fackverket erbjuder en stabil och hållfast konstruktion som inte är beroende av det befintliga fundamentet och kan därmed stå självständigt. Dess lätta konstruktion kan också bidra till att minimera markpåverkan och behovet av omfattande markarbeten på platsen. En lätt konstruktion som fackverk ger bron en låg egenvikt, vilket innebär att färre stöd behövs. Eftersom konstruktionen endast stöds av några få stöd påverkar detta inte botten av ån eller dess vattenflöde i någon stor utsträckning. Därmed förväntas bron inte ge en betydande påverkan på den omgivande vattenmiljön.

4 Dimensionering

I följande kapitel beskrivs hur det valda brokonceptet fackverksbro av stål dimensionerades.

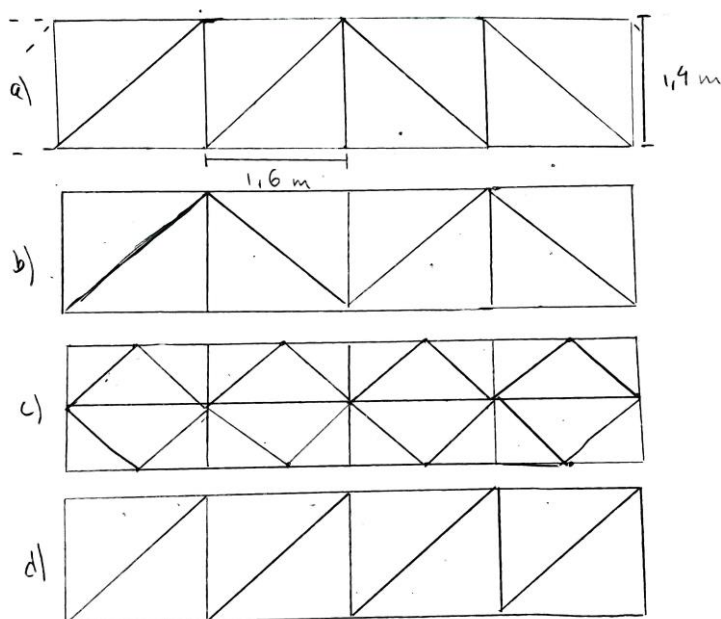
4.1 Trovärdighetsanalys av programvara

Modellering och kontroll av olika faktorer utförs i modelleringsprogrammet SkyCiv, en molnbaserad strukturanalys- och designprogramvara (SkyCiv, 2022). Programmet är skapat av kvalificerade struktur- och maskiningenjörer för att säkerställa god kvalitet och teknisk kunskap genom hela konstruktionsprocessen.

Programvaran har också genomgått tredjepartsgranskning och blivit godkänt på flera programvarulistor, till exempel av Hong Kong Building Department (SkyCiv, 2022). SkyCivs designmoduler kan även generera fullständiga steg-för-steg-beräkningar i rapportformat som kan följas.

4.2 Val av utformning av räcke

Brons yttersta långsida från de befintliga fundamenten har en längd på 16 m, och räcket ska ha en höjd på minst 1,4 m enligt krav i Kapitel 2.1.3. Eftersom den yttre sidan är den mest kritiska konstruktionsmässigt och den mest synliga utåt, valdes centrumavstånden att anpassas efter dess mått för att skapa en stabil och estetiskt symmetrisk utformning. För att få en så jämn och enkel utplacering av de vertikala stängerna, valdes ett centrumavstånd på 1,6 m mellan dem. För att få en jämn fördelning av lasten valdes centrumavståndet och den vertikala höjden så att de inte skulle skilja sig alltför mycket för att skapa en relativt kvadratisk konstruktion. Flera olika typer av fackverk som jämfördes se Figur 6.

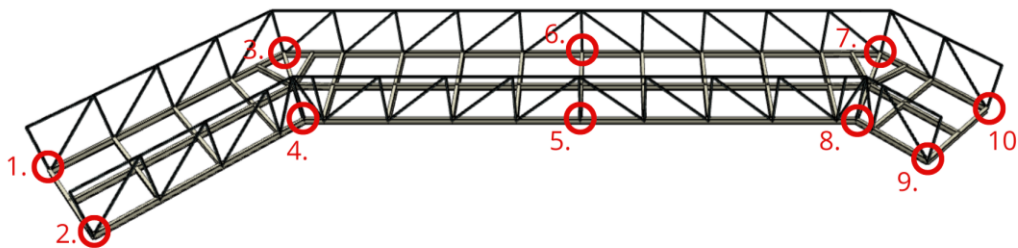


Figur 6: Exempelskisser på olika utformnings alternativ på fackverk bokstaverade från a-d. Men valt centrumavstånd för vertikala stänger samt räckes höjd från brobana.

Enklare tester gjordes i programmet för att se vilken typ av fackverk som var mest stabilt. Det resulterade i att symmetriska fackverk som fördelade lasten symmetriskt från mitten och ut lämpade sig bättre, såsom alternativ a, b och c i Figur 6. Alternativ c valdes bort på grund av dess högre materialanvändning och mer komplicerade utformning. Mellan alternativ a och b ansågs alternativ a vara bättre rent estetiskt tilltalande och då det inte framstod någon större skillnad konstruktionsmässigt valdes a som det slutliga mönstret för fackverksracket.

4.3 Utformning och placering av stöd

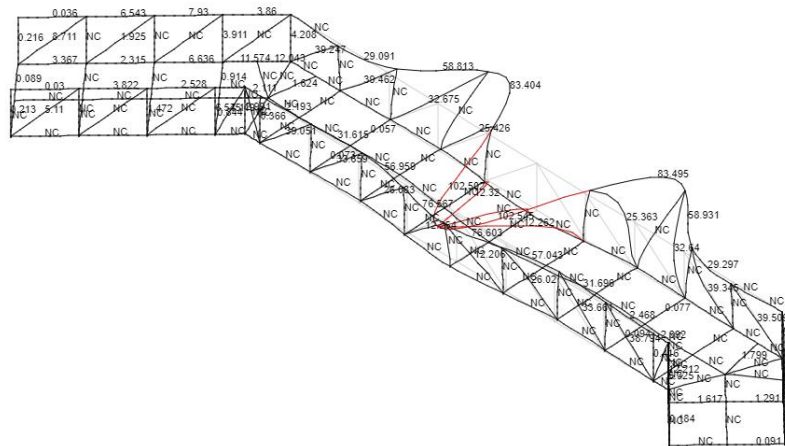
Vid val av antal stöd för brokonstruktionen, görs olika tester i simuleringen där olika antal stöd placeras ut på olika delar av bron. Efter testerna kan antagande på tio stycken stöd göras, se Figur 7 för placering av stöd.



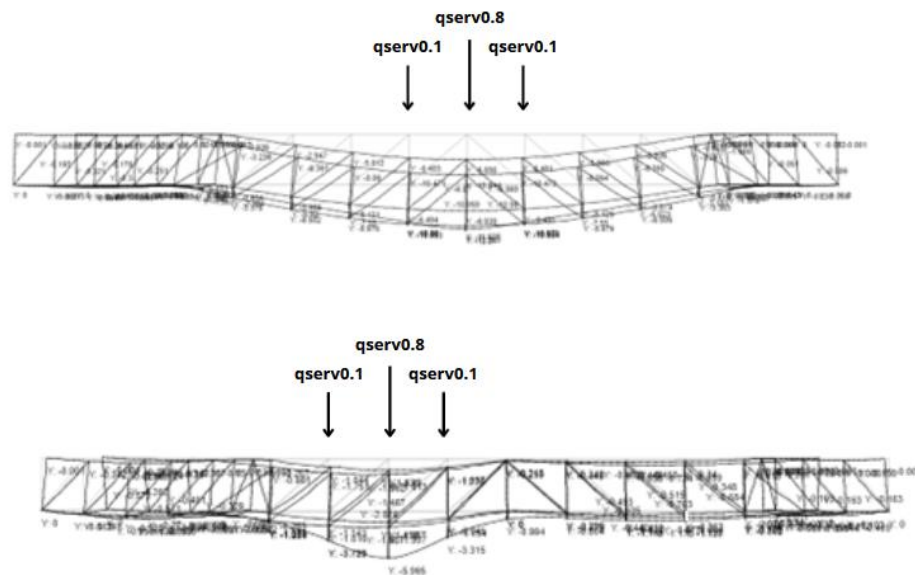
Figur 7: Visar den valda placeringen av stöden för brokonstruktion numrerade från 1-10.

Stöd 1-4 och stöd 7-10 placeras på naturliga platser vid bronns hörn och ändrar för att få en stabil konstruktion. Alternativ för stöd 3-4 och 7-8 övervägs i form av snedstagsalternativ, men detta avstods ifrån på grund av risk för skada på den befintliga vägbron då snedstagen hade behövts fästas i vägbrons fundament. Då ett av kraven på gång- och cykelbrokonstruktionen var att inte skada den befintliga vägbron skulle en djupgående riskanalys behöva genomföras.

Antagande om extra stöd på den största spännvidden behövs eller inte undersöks ytterligare. Vid vidare beräkningar gjordes antagande om extra mittstöd. Vid senare tester i simuleringen jämfördes med eller utan mittstöd, då framkom svårigheter utan extra stöd. Svårigheterna visar sig genom förstörd nedböjning och buckling jämfört med scenariot med två extra stöd, även vid användning av högre dimensioner på byggnadsdelar och olika utformningsförslag av fackverken. För visualiserande bilder på buckling och nedböjning se Figur 8 och 9.



Figur 8: Visar buckling av brokonstruktion vid avsaknad av mittenstöd på längsta brospann.



Figur 9: Visar skillnaden på nedböjning med och utan mittenstöd på längsta brospannet. Där utan stöd är den övre och med stöd är den undre.

En förslagsvis utformning av brostöden är pålar i betong som gjuts fast i bottenplattan. Valet av betong som material grundar sig i dess beständighetsförmåga i vattnet, då betong ofta används i bärande konstruktioner där påfrestningar såsom fukt och nötning förekommer. Då endast stöden skall vara i betong anses inte kompliceringsfaktorn som används i diskussionen av själva brokonstruktionen vara aktuell.

Stöden ska dimensioneras för de reaktionskrafter som beräknats fram och för att uppfylla krav på utformning och hållfasthet som skulle anses vara relevanta vid dimensionering. Då ett flertal av stöden ska placeras i vatten ska de förses med skydd mot skadlig erosion enligt krav i Kapitel 2.1.4.

4.4 Karakteristiska laster

Då brons egenvikt beror på dess dimensioner krävs en konstant uppdatering av lasten vid förändring av brons dimensioner. Brons egenvikt inkluderar brons bärande stålkonstruktion samt ett 30 mm tjockt lager asfalt på brons gångbana, övriga delar av bron försummas. När de slutliga dimensionerna för bron har fastställts, krävs en uppdatering av egenvikten för att kontrollera bronsbärförmåga och verifiera att de slutliga dimensionerna klarar brons nya egenvikt.

När bron ska dimensioneras för passage av ett servicefordon enligt Kapitel 2.1.3, bör följande tas i beaktning. Servicefordonet modelleras som en punktlast och kan placeras på valfri plats på bron, men placeras på den mest ogynnsamma platsen som är möjlig. Då ingen annan last kan verka på bron samtidigt som servicefordonet passerar och ingen annan last blir lika stor, blir servicefordonets punktlast dimensionerande och övriga punktlaster som är mindre behöver inte tas i beaktning. Servicefordonet antas väga 2 ton, vilket ger en punktlast på 20 kN. Eftersom bron anses vara plogad och ligger under en befintlig bro, tas inte snölasten med i dimensioneringen.

De framtagna karakteristiska lasterna går att se i Tabell 3, för beräkning av lasterna se Bilaga 4.

Tabell 3: De karaktäristiska lasterna som belastar brokonstruktionen, partialkoefficienter, γ och ψ_0 , för både brott- och bruksgränstillstånd.

	Typ av last	Betäckning	Last	γ	ψ_0
Brottgränst.	Egentyngd	G	3 kN/m	1,35	1
	Servicefordon	qserv	20 kN	1,5	
Bruksgränst.	Egentyngd	G	3 kN/m	1	1
	Servicefordon	qserv	20 kN	1	

Vid dimensionering och kontroll i modellerings och beräkningsprogrammet SkyCiv modelleras lasterna på följande sätt:

- **Egentyngd:** Stålkonstruktionen av bro modelleras upp och dess dimensioner anges, vilket gör att programmet kan använda dess egna egentyngd funktion. Asfaltslagret representeras av en utbredd last över de stänger som belastas i brobanan.
- **Servicefordon:** Modelleras upp som tre punktlaster för att efterlikna att kraften sprids ut vid belastning av brobanan. Den mest ogynnsamma balken på brobanan belastas med en punktlast på 80% av den totala lasten och två punktlaster på 10% av den totala lasten placeras på de två närmast belägna balkarna i brobanan.

4.5 Lastkombinationer i brott- och bruksgränstillstånd

Undersökning av ett antal lastkombinationer måste göras för att få fram den dimensionerande lastkombinationen (Engström, 2020). För att uppnå detta byggs en modell upp med antaganden om de verkliga förhållandena, förenklade.

De karakteristiska lasterna definieras antingen som permanenta eller variabla laster, vilka kan verka både som punktlaster och jämnt fördelade laster. Lasterna bör även placeras så ogynnsamt som möjligt för att få största lasteffekt.

Vid beräkning av lastkombinationer i brottgränstillstånd multipliceras de karakteristiska lasterna med en given partialkoefficient γ för att få ett dimensionsgivande värde enligt Tabell K1.5 (Engström, 2020) i enlighet med EN 1990. Om olika laster verkar samtidigt används en lastreduktionsfaktor ψ_0 för de variabla laster som inte definieras som huvudlast.

Vid beräkning med lastkombinationer i bruksgränstillstånd är partialkoefficienterna, $\gamma=1$, för att representera de verkliga lasterna utan säkerhetsmarginaler. Detta för att syftet med bruksgränstillstånd är hur konstruktionen under normala förhållanden.

Då endast två laster (egentyngd och servicefordon) verkar i detta fall och båda kan inträffa samtidigt, finns endast en möjlig lastkombination. Egentyngden utgör en permanent last och servicefordonet utgör den enda variabla lasten, vilket gör den till huvudlast. Detta innebär att ingen ytterligare lastreduktion behöver beaktas. För att se de partialkoefficienter som används, se Tabell 3.

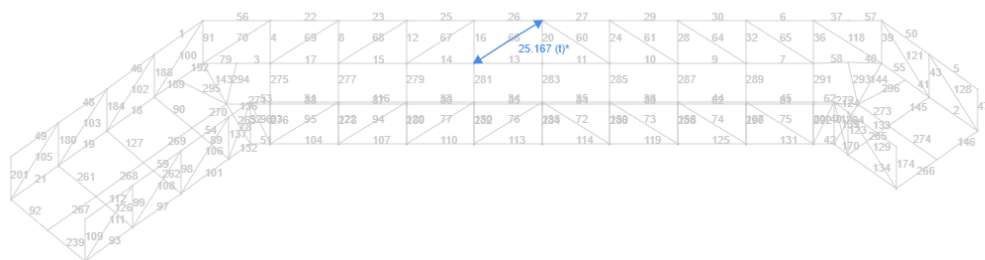
4.6 Dimensionerande lasteffekter

Dimensionerande lasteffekterna beräknas fram genom simulering av den dimensionerande lastkombinationen i brottgränstillstånd i enlighet med Tabell 3 med hjälp av modell- och beräkningsprogrammet SkyCiv. I programmet är den bärande stålkonstruktionen modellerad och de dimensionerande lasterna tillämpas. Med hjälp av simuleringen tas de finala reaktionskrafterna i stöden fram (maxkraft i stöd är 31,7 kN) se Tabell 4 för övriga reaktionskrafter.

Tabell 4: Visar de finala reaktionskrafterna i stöden framtagna från simulering i SkyCiv, för att se numrering av stöd se Figur 8.

Reaktionskrafter i stöd										
Stöd	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	-0,7	0,7							0,7	-0,7
y	-0,8	0,7							0,7	-0,7
z	6,8	5,8	19	23,8	25,2	31,7	9,9	12,3	1,8	4,1

Även de axiala krafterna tas fram där maxkraften kan avläsas till 25,2 kN, se Figur 10. För övriga axiala krafter samt tryck och drag se Bilaga 5.



Figur 10: Visar placering på maximal axialkraften i brokonstruktionen efter simulering i SkyCiv sett snett ovanifrån. Kraften är i drag.

4.7 Dimensionering av tvärsnitt

För fackverken kommer ett tvärsnitt i fyrkantig hålprofil att användas. Den valda stålsorten är S355J2H. Minsta möjliga tvärsnitts area kan beräknas fram genom kända värden. Beräkning av σ_{max} görs med hjälp av Ekvation 1.

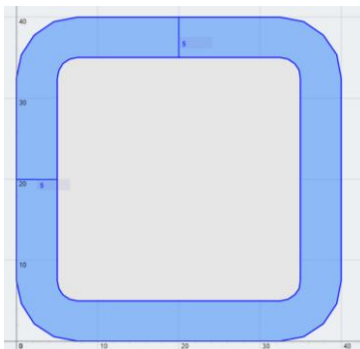
$$\sigma_{max} = \frac{f_{yk}}{\gamma} \quad (1)$$

Där sträckgränsen, f_{yk} , fås av valet av stål och ger att $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$. Säkerhetsfaktorn γ , fås genom antagandet att strukturen ska dimensioneras enligt säkerhetsklass 2, då strukturen ej uppfyller de krav för säkerhetsklass 1 eller 3 och klassas som att det endast finns någon risk för allvarliga personskador (Boverket, 2007). Detta ger att säkerhetsfaktorn $\gamma = 1,1$.

Med vidare beräkning enligt Ekvation 2 kan arean beräknas fram.

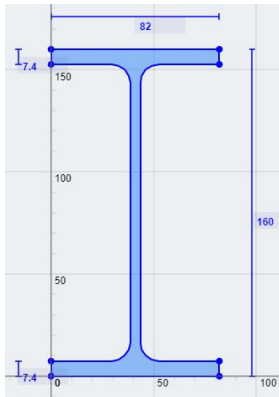
$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} \rightarrow A = \frac{N}{\sigma_{max}} \quad (2)$$

Där N är den maximalt beräknade normalkraften i strukturen. Den togs fram i simuleringen i Kapitel 4.6 vilket ger att $N = 25,2 \text{ kN}$. Det ger en minsta tvärsnitts area på $77,99 \text{ mm}^2$. Fortsatt test i simuleringsprogrammet påvisar behov på större tvärsnitt på grund av buckling samt nedböjning vilket ger det slutliga tvärsnittet VBK40x40x5, en tvärsnittsarea på 700 mm^2 .



Figur 11: Visar utformning på tvärsnitt VKR40x40x5.

I-balkar väljs för brobanans huvud- och tvärbalkar efter fortsatta problem i stabilitet i brokonstruktionen med endast det framräknade VKR-tvärsnittet. Valet av I-balkar grundar sig i dess styrka mot böjning. Efter tester med största lastkombination krävdes tvärsnittet IPE160 för att motverka de dimensionerande krafterna.



Figur 12: Utformning av tvärsnittet IPE-160.

4.8 Kontroll av brottgränstillstånd

Vid kontroll av brottgränstillstånd testas en konstruktion för maximala belastningar eller krafter som den är dimensionerad för att klara av enligt säkerhetsfaktorer och standarder. Denna kontroll inkluderar tillämpning av den framtagna lastkombinationen för brottgränstillstånd på brokonstruktionen, i enlighet med Tabell 3. Genom användning av simulering i SkyCiv undersöks bron för sträck- och brottgränser vid bestämda belastningar.

För brottgränsen anges kravet på högsta spänning vara 355 MPa. Men eftersom bron har en säkerhetsklass 2 med en säkerhetsfaktor ($\gamma=1,1$), divideras sträckgränsen på 355 MPa med säkerhetsfaktorn. Detta görs för att få fram kravet för högsta tillåtna spänning för säkerhetsklass 2, vilket blir 322,7 MPa i detta fall. Resultatet från simuleringen visar att den högsta spänningen är 114,369 MPa, vilket är lägre än det givna kravet. Detta påvisar ej någon risk för icke elastiska deformationer. För fullständigt resultat från simuleringen, se Bilaga 6.

4.8.1 Kontroll av buckling

Buckling är en plötslig instabilitet eller deformation av en konstruktion som utsätts av kompression och är vanligt för långa och smala strukturer såsom pelare (NE Nationalencyklopedin AB, 2023). Konsekvent kan buckling leda till att strukturen kollapsar och därför är buckling viktig att kontrollera.

Med hjälp av det använda programmet SkyCiv kan kontroll ekvationer av buckling genomföras i simuleringen som görs av den modellerande bron. Simuleringen bygger på uträkningar utifrån Eulers ekvationer. Simuleringen påvisar att brokonstruktionen ej bucklar, då lastfaktorn är $5,76 > 1$, se Bilaga 6. En lägre lastfaktor än 1 påvisar risk för buckling.

4.9 Kontroll av bruksgränstillstånd

Bruksgränstillstånd ställer krav på att begränsa deformationer såsom nedböjning och krypning för att byggnadsverket ska bibehålla sin funktion och inte utmana säkerheten och hälsan. Vid beräknings dimensionera krafterna

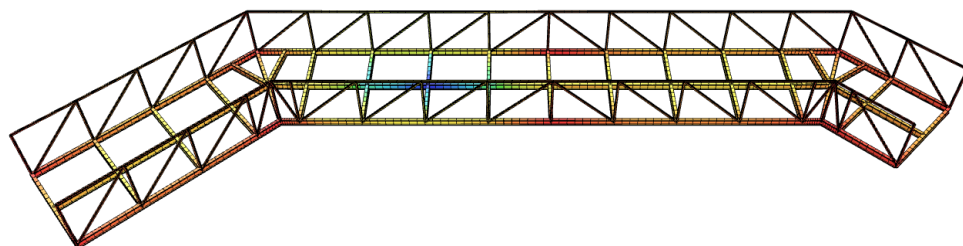
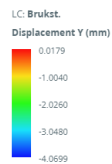
enligt dimensionerande lastkombination för bruksgränstillstånd, i enlighet med Tabell 3.

4.9.1 Nedböjning

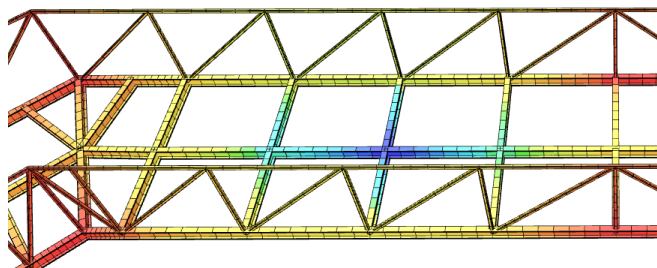
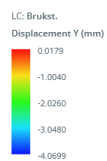
Fokus läggs på att kontrollera nedböjningen. Vid kontroll i bruksgränstillstånd ska inga partiella faktorer tillämpas på lasterna. Även kontroll av nedböjningen gjordes genom simulering i SkyCiv.

Brokonstruktionens nedböjning får inte överstiga $L/400$ där L är spännvidden (Svenska Institutet för Standarder, 2005). Spännvidden mellan stödet närmast det befintliga brofundamentet och mittstödet är 6,885 m, medan det yttre stödet och mittstödet har en spännvidd på 8 m. Där för antogs dimensionerande spännvidden ha $L=7,4425$ m. Detta ger en maximal nedböjning på 17,2 mm enligt $L/400$.

Simuleringen visade en nedböjning på 4,1 mm, det vill säga $4,1 \text{ mm} < 17,2 \text{ mm}$, vilket innebär att bron klarar kontroll av nedböjning. För att se nedböjning av bron se Figur 13 och 14.



Figur 13: Diagram som visar olika grader på nedböjning genom en färgskala i y-led på den modulerade brokonstruktionen.



Figur 14: En närmare bild som visar var nedböjningen är störst på den modulerade brokonstruktionen.

5 Resultat

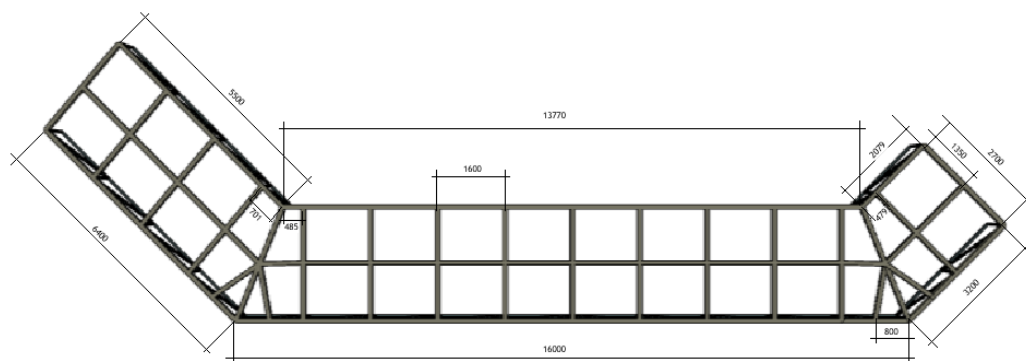
Preliminärdimensionering av GCM-bron har utförts utifrån Trafikverkets krav och Eurokod. Efterföljande kontroller har utförts i brott- och bruksgränstillstånd. I detta kapitel presenteras de preliminära dimensionerna som har framtagits genom användning av modelleringsprogram med finita element-metoder och handberäkningar. Denna preliminärdimensionering utgör grunden för att genomföra en slutlig dimensionering av gång- och cykelbron.



Figur 15: Visar rendering av slutlig brokonstruktion placerad under den befintliga vägbron.

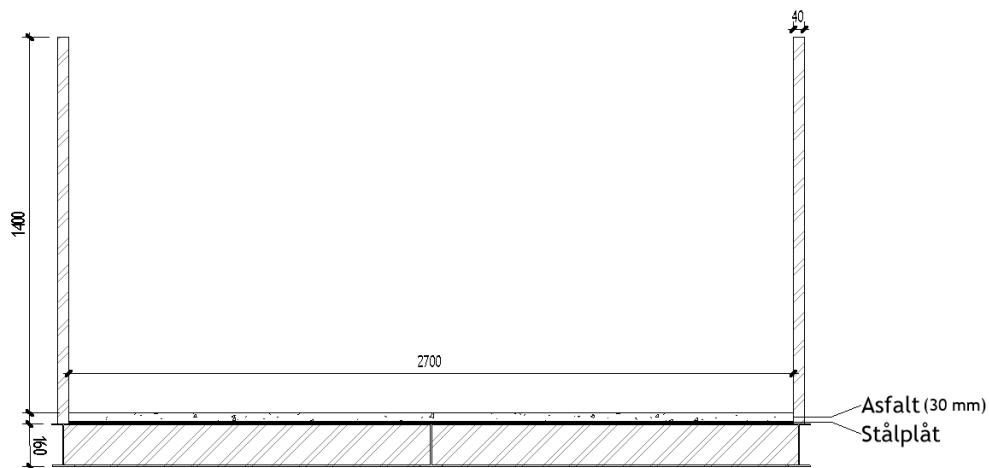
5.1 Brobana

Brobana består av tre balkar som löper parallellt med brobanans riktning och är sammankopplade med tvärbalkar sporadiskt placerade längs gångbanan, se Figur 16. Balkarna består av I-balkar med tvärsnittet IPE-160.

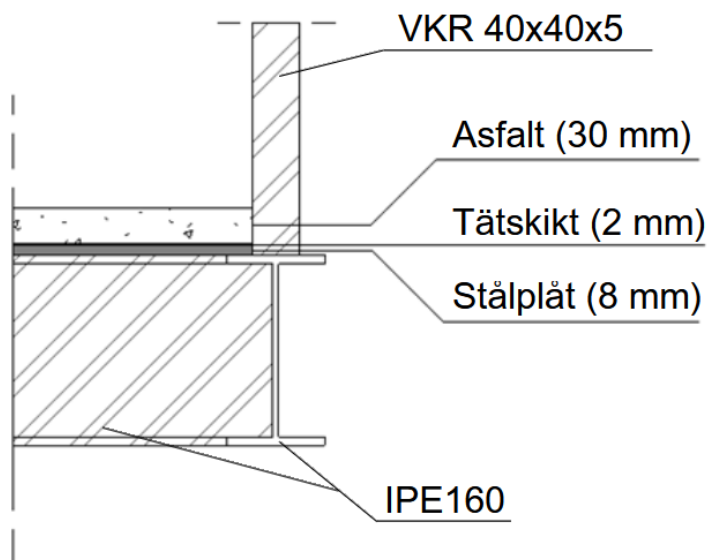


Figur 16: Visar konstruktionen av brobanans bärande delar med mått, sett under ifrån.

Ovanpå den bärande stålkonstruktionen av brobanan placeras en stålplåt (8 mm), följt av ett tätskikt (2 mm) samt ett lager asfalt (30 mm) alternativt annan friktionsyta, se tvärsnitt av brobana i Figur 17 och förstora bild av beläggning i Figur 18. Brobanan ska innehålla en lutning på 2% med hänsyn till avrinning.



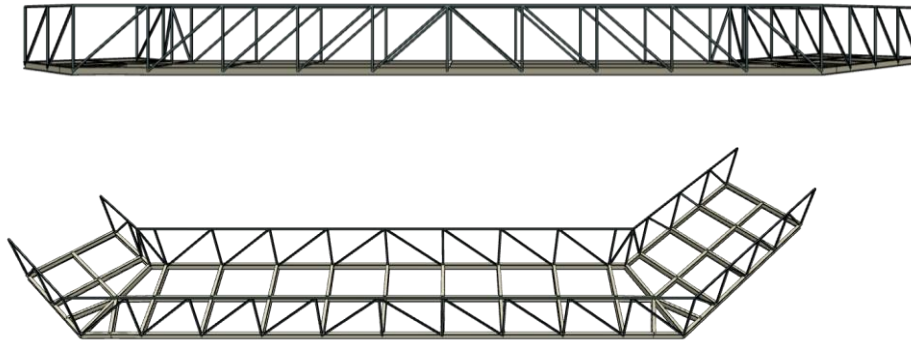
Figur 17. Visar tvärsnitt av brobanan med mått, inkluderat räcke, asfalt, stålplåt och bärande I-balkar.



Figur 18: Förstoring av brobanans beläggning inkluderande stålplåt, tätskikt och asfalt.

5.2 Fackverk

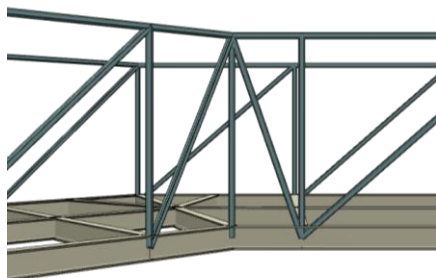
Det bärande fackverket är ett parallellfackverk som löper parallellt med sidorna av brobanan. Det har en räckeshöjd på 1,4 meter ovanför brobanans beläggning enligt krav från Trafikverket. Fackverket består av stångar med tvärsnittet VKR 40x40x5.



Figur 19: Visar det slutliga fackverksracket i två vyer, rakt från sidan och snett ovan ifrån.

Fackverkets horisontella stänger är fördelade med ett centrumavstånd på 1,6 meter från varandra. De horisontella stängerna är sammankopplade med stänger i samma tvärsnitt i övre kant på racket, samt diagonala stänger som går ut från varsina håll från brons mittstolpar, se Figur 19. De horisontella stängerna sammankopplas även av IPE 160 balkarna i brobanan i underkant.

Undantaget från den övre beskrivningen är hörnen på brons inre sida, där centrumavståndet är 0,485 meter (rak sida) och 0,701 meter (diagonal sida) vardera från hörnstolpen. De sammankopplade diagonala stängerna går även ut från hörnstolpen, till skillnad från de övriga diagonala stängerna, se Figur 20. Det görs för att minska buckling som kan förekomma vid dimensioneringen.



Figur 20: Visar en förstoring av det inre hörnet på racket, där fackverket är form avviker från resterande räckte. Fackverket strålar ut på varsin sida från hörnstolpen.

6 Diskussion

Syftet med rapporten var att undersöka möjligheterna att bygga en gång- och cykelbro under den befintliga vägbron på Arendalsleden. Genom rapporten har det visat sig vara möjligt baserat på preliminärdimensioneringen enligt Eurokod och Trafikverkets krav. Det möjliggör passerbarhet för gång och cykeltrafik trots att gångstråk avgränsas av en vägbro över en å och rapportens syfte anses därmed vara uppfyllt.

Projektet innehöll inga krav på begränsningar när det kommer till dimensioner förutom att de måste anpassas efter befintlig plats. Det fanns inte heller en budget eller tidsplan som begränsade dimensioneringen, vilket gör att uppgiften kan tolkas som öppen. Det medförde fler valmöjligheter och egna tolkningar.

Val och viktning av kriterier påverkar det slutgiltiga resultatet eftersom de beror på kontaktpersoner på Kungsbacka kommuns intressen samt våra egna. I projektet viktas "Hydrauliska förutsättningar" högt, medan om andra kriterier skulle anses av större betydelse, skulle val av brotyp och material påverkas och därmed skulle det slutliga brokonceptet se annorlunda ut och ge en annan ekonomiskalkyl, klimatpåverkan och dimensionering.

Värden vid preliminärdimensioneringen har valts med marginal. Det finns därför möjlighet för optimering vid mer detaljerad dimensionering och mindre dimensioner på tvärsnitt skulle kunna användas, vilket också påverkar brons egentygnd och den ekonomiska kalkylen.

Det är viktigt att betona att den preliminära dimensioneringen har genomförts med flera avgränsningar i åtanke, vilket innebär att inte alla aspekter har beaktats och att inte allt har dimensionerats fullständigt. Förslag på vidare dimensionering är bland annat grundläggning, stöd och förband. information om geotekniska förhållanden på platsen saknades och innebar en avgränsning av analys av grundläggning.

Placering av bron i höjddled kan diskuteras då vi ej har tillgång till uppdaterad information om vattennivåer och vi har inte fokuserat på en djup analys av geoteknik och hydrologi vilket krävs för att få mer optimal bedömning av vilken höjd bron bör befinna sig på.

Vid pålning av stöden kan det uppstå komplikationer med den redan befintliga brons grundläggning. Eftersom vi inte har valt att fokusera på geotekniska undersökningar är vi inte helt säkra på om placeringen av stöden skulle medföra komplikationer för den befintliga brons grundläggning. Som alternativ, om en sådan situation uppstår, kan mittbrobanan förlängas eller bron förflyttas för att säkerställa att den befintliga brons grundläggning ej riskeras att skadas.

7 Slutsats

Den preliminära dimensioneringen av gång- och cykelbron under Arendalsleden visar att det är tekniskt möjligt att genomföra projektet enligt Trafikverkets krav och Eurokod. Genom användning av finita element-metoder och handberäkningar har grundläggande dimensioner fastställts, vilket utgör en stabil grund för vidare detaljprojektering.

Resultaten visar att bron kan uppfylla kraven för säkerhet och funktionalitet med en konstruktion som inkluderar en brobana bestående av IPE-160 balkar och en bärande stålplåt, samt ett fackverk av stålstänger med tvärsnittet VKR 40x40x5.

Det är viktigt att notera att den preliminära dimensioneringen har gjorts med flera avgränsningar. Ytterligare undersökningar och detaljerad dimensionering är nödvändiga för att säkerställa att bron placeras optimalt i höjddled och att grundläggningen inte påverkar den befintliga vägbronns stabilitet negativt.

I produktionsskedet kan det förekomma svårigheter med bland annat grundläggning och framkomlighet för maskiner. Däremot erbjuder fackverksbron goda prefabriceringsmöjligheter, vilket gör den till ett bra alternativ för en smidigare produktionsprocess jämfört med andra brotyper.

Sammanfattningsvis bekräftar denna studie att det är möjligt att uppföra en gång- och cykelbro under vägbron på Arendalsleden. För att säkerställa en optimal, säker och kostnadseffektiv slutlig konstruktion krävs dock ytterligare detaljerad analys och optimering av brodesignen, särskilt med fokus på geotekniska förhållanden, grundläggning och förband.

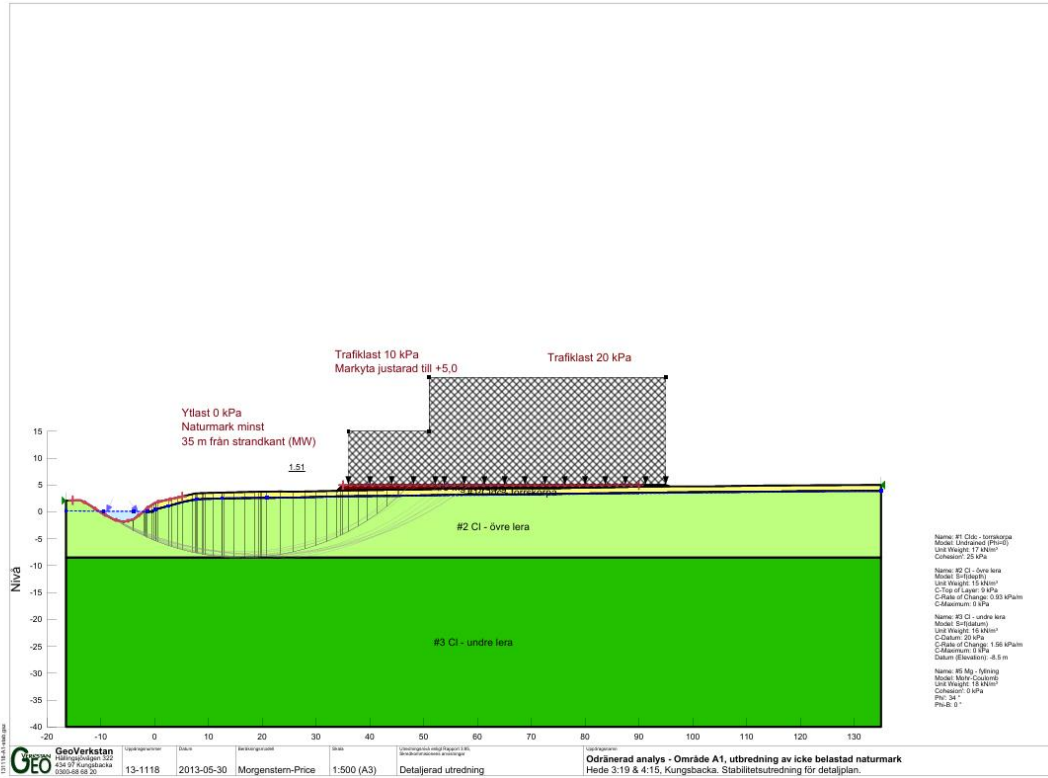
8 Referenser

- Al-Emrani, M., & Johansson, P. (2020). Stålbyggnad. i M. Al-Emari, B. Engström, M. Johansson, & P. Johansson, *Bärande konstruktioner Del 1* (ss. S1-S86). Göteborg: Chalmer tekniska Högskola.
- Alström, J. (2014). *Corrosion of steel in concrete at various moisture and chloride levels*. Lund: Swerea KIMAB.
- Bjurström, P. G. (2007). Betong. i P. G. Bjurström, *Byggnadsmaterial* (ss. 204-272). Lund: Studentlitteratur AB.
- Bjurström, P. G. (2007). Stål. i P. G. Bjurström, *Byggnadsmaterial* (ss. 302-327). Lund: Studentlitteratur AB.
- Bjurström, P. G. (2007). Trä. i P. G. Bjurström, *Byggnadsmaterial* (ss. 363-393). Lund: Studentlitteratur AB.
- Boverket. (2007). *Boverkets handbok om stålkonstruktioner, BSK07*. Boverket.
- Engström, B. (2020). Konstruktionsteknik. i M. Al-Emari, B. Engström, M. Johansson, & P. Johansson, *Bärandekonstruktion* (ss. K1-K28). Göteborg: Chalmers tekniska Högskola.
- GeoVerkstan. (2013). *Teknisk PM - Stabilitetsutredning*. Kungsbacka: Kungsbacka kommun.
- Gustafsson, M. (1996). *Träbroar*. Malmö: Tryckeriteknik i Malmö AB.
- Johansson, M. (2020). Träbyggnad. i M. Al-Emari, B. Engström, M. Johansson, & P. Johansson, *Bärande konstruktioner - del 1* (ss. T1-T58). Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Lebet, J.-P., & Hirt, M. A. (2013). Fabrication and Erection of the Steel Structure. i J.-P. Lebet, & M. A. Hirt, *Steel Bridges* (ss. 125-145). Lausanne: EPFL Press.
- NE Nationalencyklopedin AB. (2023). *Buckling*. Hämtat från NE: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/buckling>
- NE Nationalencyklopedin AB. (2023). *Pontonbro*. Hämtat från NE: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/pontonbro>
- NE Nationalencyklopedin AB. (2023). *Valv- och bågbroar*. Hämtat från NE: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bror/brotypor/valv-och-b%C3%A5gbroar>
- Nilsson, A., & Thorén, K. (2003). *Grundläggningsmetoder för mindre broar*. Luleå: Luleås Tekniska Universitet.
- Reuterswärd, P. (2010). *Optimal skötsel av stålbroar*. Stockholm: Swerea KIMAB.
- SkyCiv. (den 2 Mars 2022). *Quality Assurance*. Hämtat från SkyCiv: Quality Assurance
- SSAB. (u.å). *Guide till väderbeständigt stål*. Hämtat från SSAB: <https://www.ssab.com/sv-se/varumarken-och-produkter/stalkategorier/vaderbestandigt-stal>
- Statens Geotekniska Institut. (den 12 December 2023). *Grundläggningsmetoder*. Hämtat från SGI: <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/grundlaggning-och-forstarkning/grundlaggningsmetoder/>
- Stålbyggnadsinstitutet. (den 23 Juni 2020). *Brobyggnad*. Hämtat från SBI: <https://www.sbi.se/brobyggnad/>
- Stålbyggnadsinstitutet. (u.å). *Rostskydd*. Hämtat från SBI: <https://www.sbi.se/rostskydd-2/>

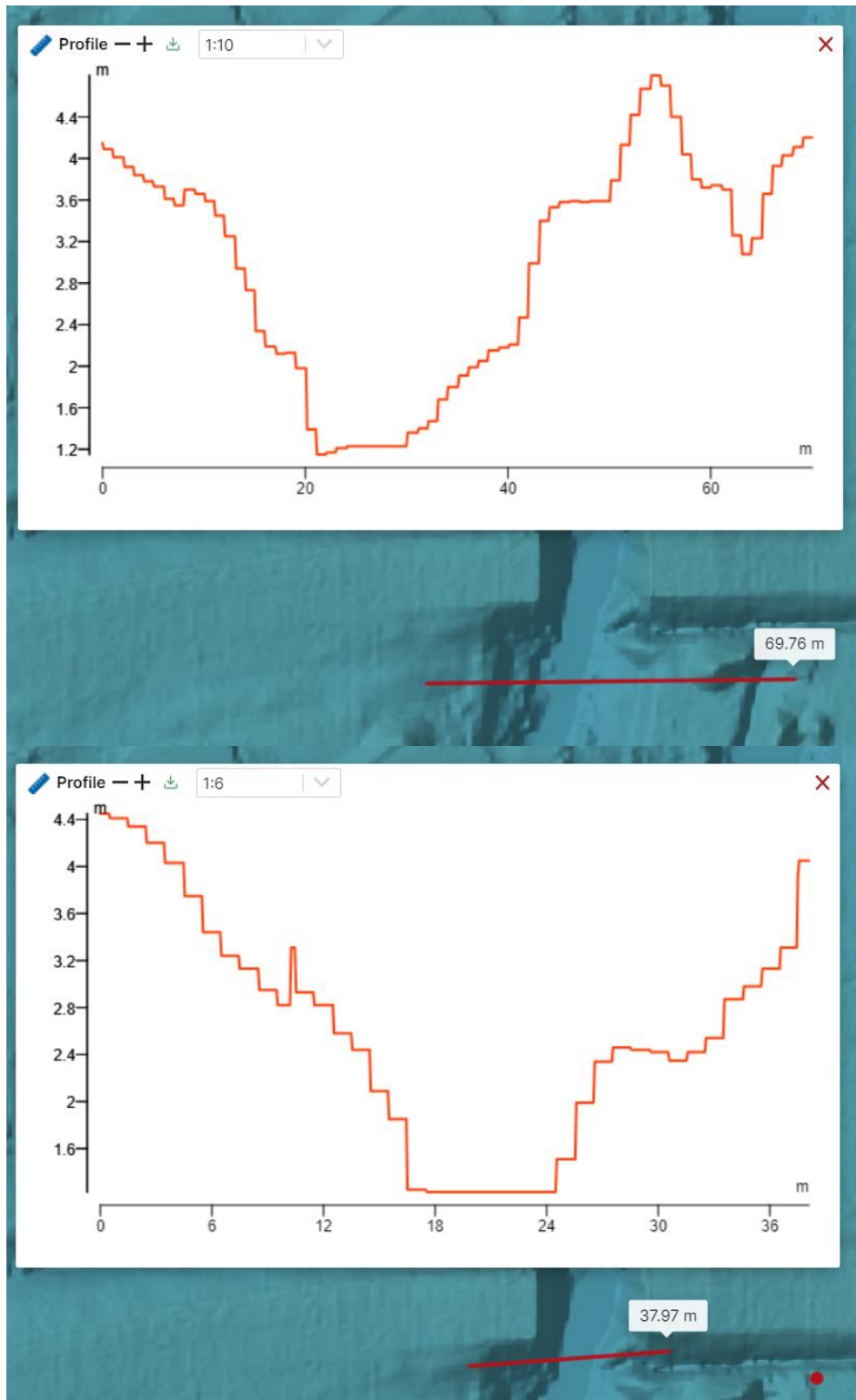
- Svenska Institutet för Standarder. (2005). *EN 1993-1-1: Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader*. Europeiska kommittén för standardisering (CEN).
- Svenska Kommunförbundet. (1998). *Träbroar- Ett alternativ till stål och betong*. Stockholm: Svenska Kommunförbundet.
- Svenskt Trä. (den 17 01 2017). *Balkbroar*. Hämtat från Träguiden: <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/konstruktionssystem-for-limtra/limtrabroar/balkbroar/>
- Trafikverket. (den 5 Juni 2019). *Krav Brobyggande*. Hämtat från Trafikverket: <https://bransch.trafikverket.se/contentassets/5e3d8c0eb4e94efd9738cca74b912bf5/krav-brobyggande.pdf>
- Trafikverket. (den 1 Januari 2022). *Råd - VGU, Vägars och gators utformning*. Hämtat från Trafikverket: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Utformning-av-vagar-och-gator/vagar-och-gators-utformning-vgu/>
- Winter, K. (1992). *Bygga broar*. Värnamo: Fälths Tryckeri AB.

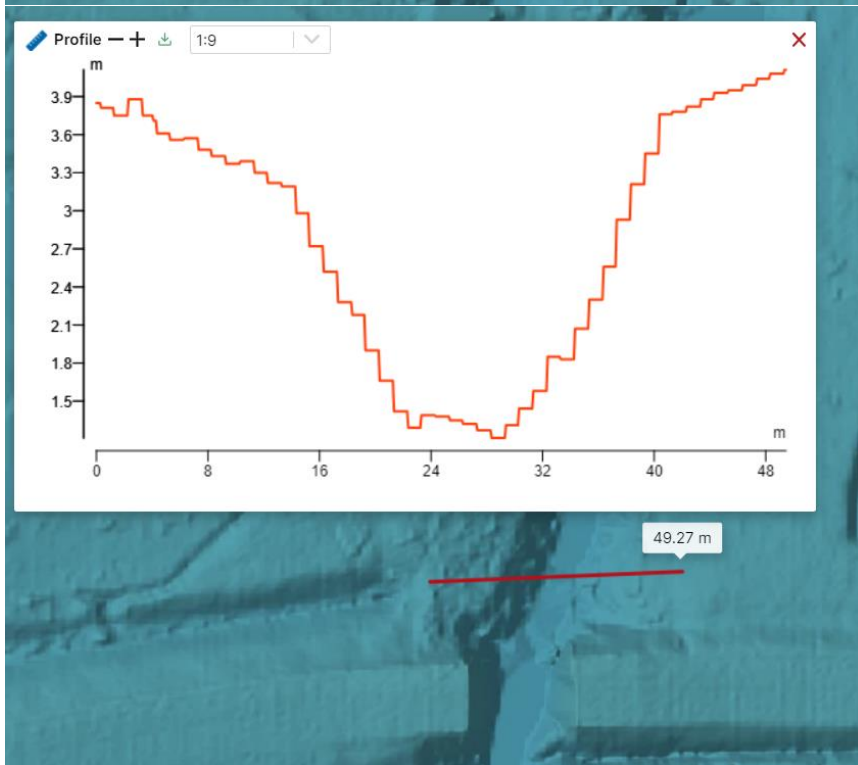
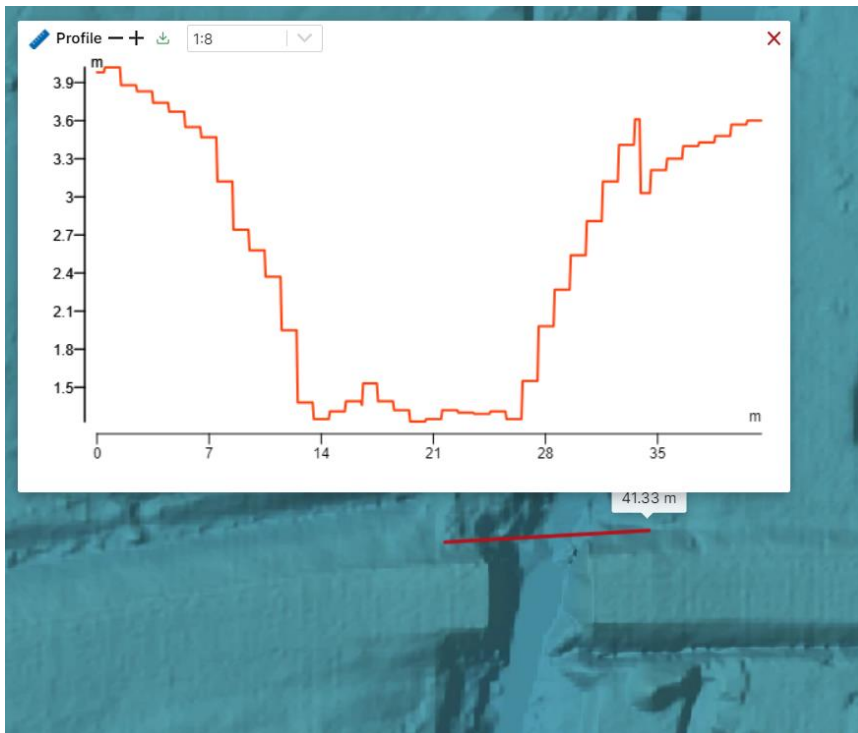
9 Bilagor

Bilaga 1: Markprofil norr om Kungsbacka ån

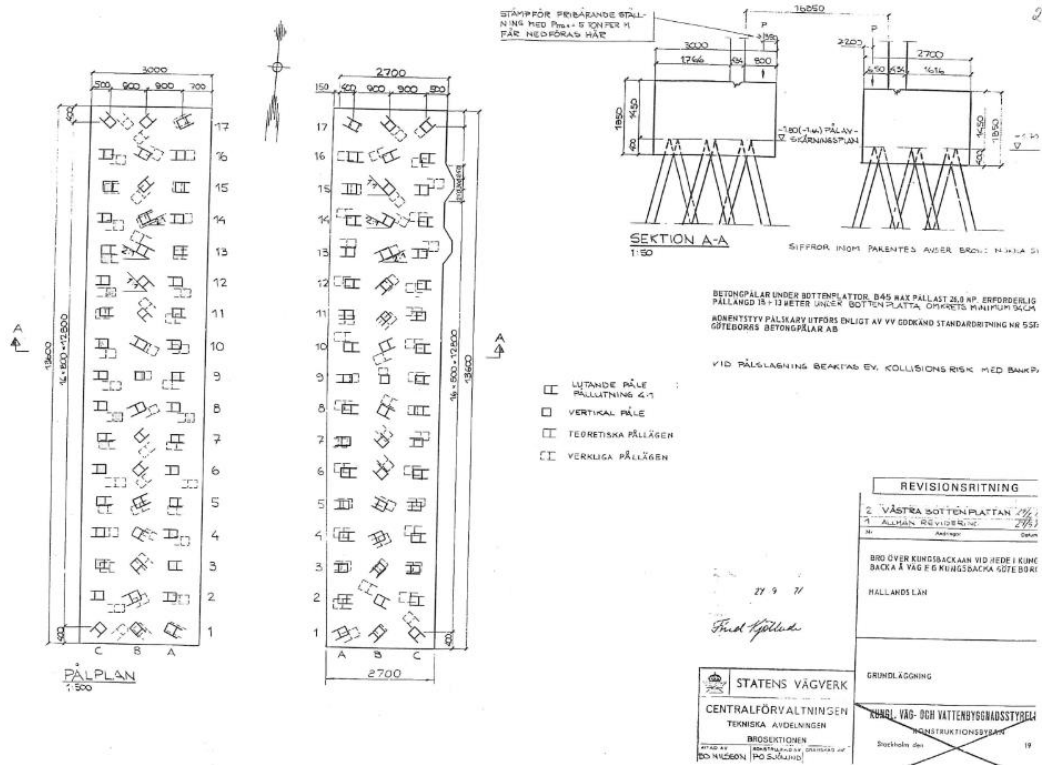
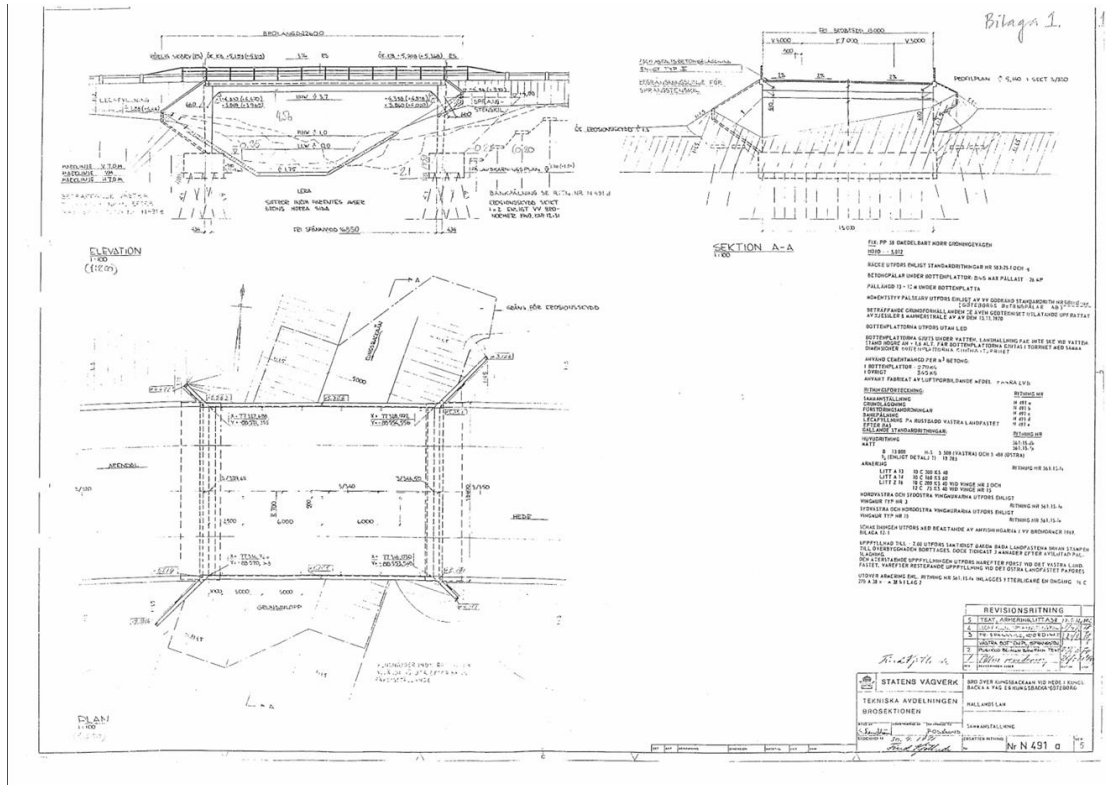


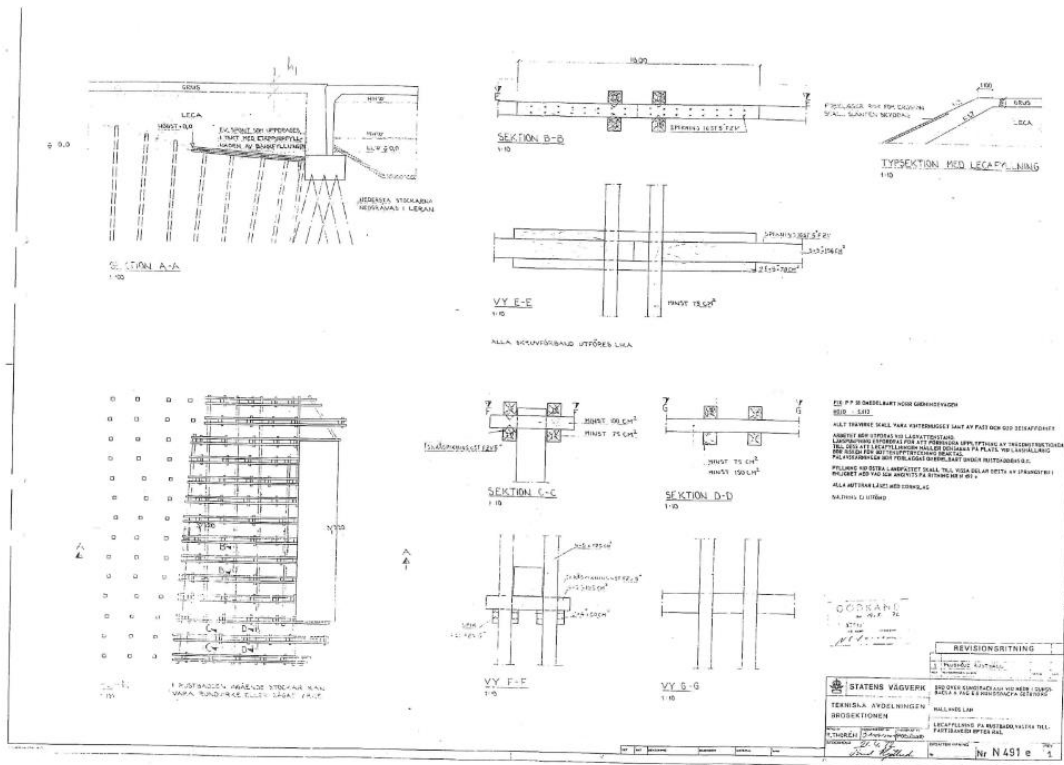
Bilaga 2: Höjdprofiler





Bilaga 3: Originalritningar på den befintliga vägbron.





Bilaga 4: Beräkning av laster

Egentyngd stål:

- Stålets vikt, $m_{\text{stål}}$: 2774,153 kg (värde från moduleringen)

$$G_{\text{stål}} = m_{\text{stål}} * g \rightarrow 2774,153 \text{ kg} * 10 = 27741,153 \text{ N}$$

Vid simulering av brostrukturen läggs automatisk egentyngd in för stålet.

Egentyngd brobana:

Endast asfaltlagret på brobanan beräknas, resterande delar försummas.

- Densitet för asfalt, ρ_{asfalt} : 2300 kg/m³
- Brobanas area, A_{brobana} : 63,3 m²
- Asfaltslagers tjocklek, t_{asfalt} : 30 mm

$$G_{\text{asfalt}} = \rho_{\text{asfalt}} * A_{\text{brobana}} * t_{\text{asfalt}} * g \rightarrow 2300 \text{ kg} * 63,3 \text{ m}^2 * 30 \text{ mm} \\ = 43677 \text{ N}$$

Vid simulering av brokonstruktionen representerar brobanans egentyngd av en utspridd last:

- Total längd av belastade stänger, L: 121,5 m

$$\frac{G_{asfalt}}{L} = \frac{42677 \text{ N}}{121,5 \text{ m}} = 351 \text{ N/m}$$

Total egentyngd:

$$G_{tot} = G_{stål} + G_{asfalt} \rightarrow 27741,153 \text{ N} + 43677 \text{ N} = 71418,153 \text{ N} \rightarrow 71,4 \text{ kN}$$

Total egentyngd som utspridd last

- Gensomslutning broländ, $L_{spännvid}$, 23,475 m

$$\frac{G_{tot}}{L_{spännvid}} = \frac{71,4 \text{ kN}}{23,475 \text{ m}} = 3,042 \text{ kN/m}$$

Servicefordon, punktlast:

- Servicefordon vikt, m_{serv} : 2000 kg

$$q_{serv} = m_{serv} * g \rightarrow 2000 \text{ kg} * 10 = 20000 \text{ N} \rightarrow 20 \text{ kN}$$

Vid modulering beräknas servicefordonet i tre punktlaster för att representera lastutspridningen. Där en mitt punktlast representerar 80% av den totala punktlasten samt en på var sida som representerar 10% var av den totala punktlasten.

-

$$q_{serv0,8} = q_{serv} * 0,8 \rightarrow 20 \text{ kN} * 0,8 = 16 \text{ kN}$$

$$q_{serv0,1} = q_{serv} * 0,1 \rightarrow 20 \text{ kN} * 0,1 = 2 \text{ kN}$$

Bilaga 4: Beräkning av minsta möjliga tvärsnitt

Kända värden:

- $f_{yd} = 355 \text{ MPa}$, känd från vald stålqualität (S355J2H)
- $\gamma = 1,1$, given vid val av säkerhetsklass 2
- $N = 25,167 \text{ kN}$

☐ beräknas med formeln:

$$\sigma = \frac{f_{yd}}{\gamma}$$

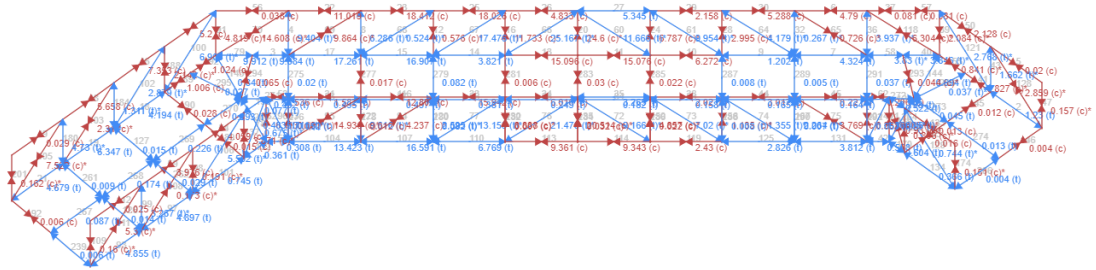
$$\rightarrow \frac{355 \text{ MPa}}{1,1} = 322,72 \dots \text{ MPa} \sim 322,7 \text{ MPa}$$

För att sedan kunna beräkna fram tvärsnittet används nedanstående formel och formuleras om:

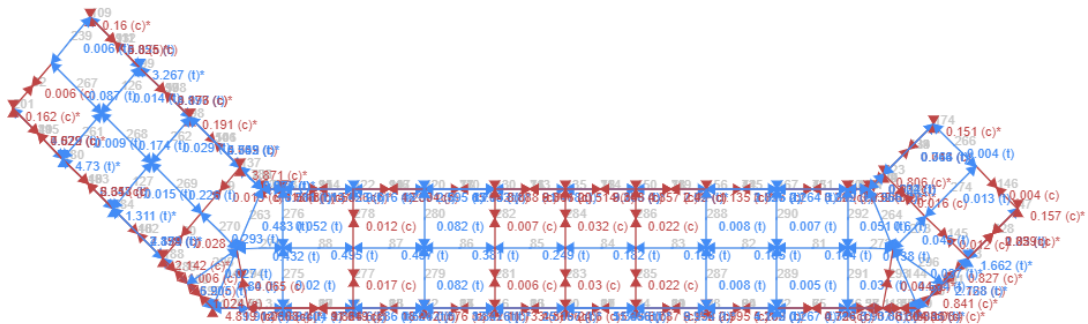
$$\sigma = \frac{N}{A} \rightarrow A = \frac{N}{\sigma}$$

$$\rightarrow \frac{25,167 \text{ kN}}{322,7 \text{ MPa}} = 7,799 * 10^{-5} \text{ m}^2 \rightarrow 77,99 \text{ mm}^2$$

Bilaga 5: Axiala krater från simulering i SkyCiv



Figur 21: Brons axiala krater i simuleringen i SkyCiv sett snett ovan ifrån. Där blått visar drag och rött visar tryck.



Figur 22: Visar axiala krafter i brobanas bärande balkar från simulering i SkyCiv sett underifrån. Där blått visar drag och rött visar tryck.

Bilaga 6: Resultat summering av SkyCiv simulering

Check	Limit ⓘ	Governing Result	Utility ⓘ	Comments
Deflection/Span	L/400	L/2381 Member 279 (Sec 6) LC#2 - Brukst.	0.168	Only checked the Load Combinations with 'Serviceability' criteria.
Buckling	1	0.173 LC#1 - Brottst.	0.173	-
Material Yield	260 MPa	114.369 MPa Member 279 (Sec 6) LC#1 - Brottst.	0.44	Checked if each individual member exceeds its Material Yield (260 MPa). 189 members checked in 8 Load Combination(s).
Material Strength	410 MPa	114.369 MPa Member 279 (Sec 6) LC#1 - Brottst.	0.279	Checked if each individual member exceeds its Material Strength (410 MPa). 189 members checked in 8 Load Combination(s).

Figur 23: Summering av resultat av simulering i programmet SkyCiv av den modulerade gång- och cykelbron. Resultat och kontroll för nedböjning, buckling, sträckgräns och brottgräns går att läsa av.



CHALMERS