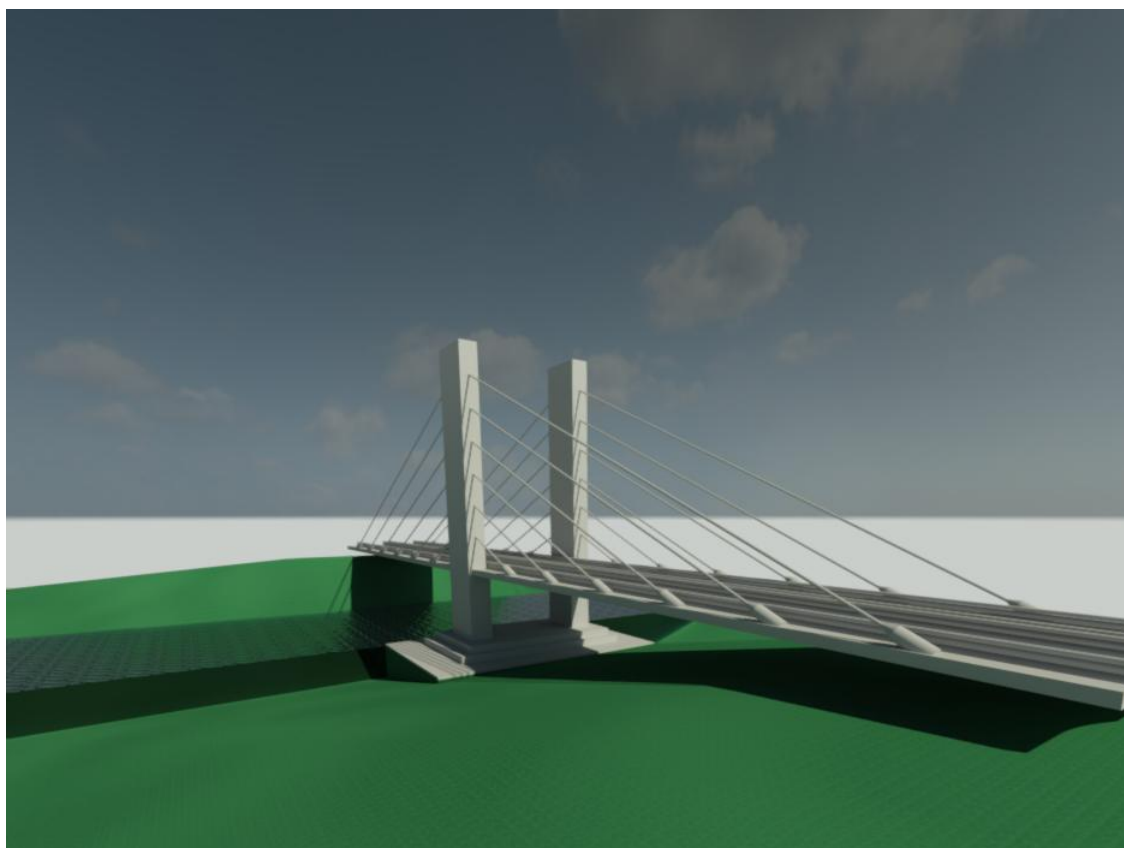




**CHALMERS**



# Vägbro över Storån längs E22

Konceptuell design och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

RAUAN AL-EMRANI  
MAHMOUD ALKHATEB  
SAFFA DAGDUK  
CECILIA ENGLUND  
CLARA IVARSSON  
HAMPUS PETERSSON

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD**



KANDIDATARBETE

## Vägbro över Storån längs E22

Konceptuell design och preliminär dimensionering

*Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik*

RAUAN AL-EMRANI  
MAHMOUD ALKHATEB  
SAFFA DAGDUK  
CECILIA ENGLUND  
CLARA IVARSSON  
HAMPUS PETERSSON



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2022

Vägbro över Storån längs E22  
Konceptuell design och preliminär dimensionering

*Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik*

RAUAN AL-EMRANI  
MAHMOUD ALKHATEB  
SAFFA DAGDUK  
CECILIA ENGLUND  
CLARA IVARSSON  
HAMPUS PETERSSON

- © RAUAN AL-EMRANI, 2022.
- © MAHMOUD ALKHATEB, 2022.
- © SAFFA DAGDUK, 2022.
- © CECILIA ENGLUND, 2022.
- © CLARA IVARSSON, 2022.
- © HAMPUS PETERSSON, 2022.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad  
Chalmers tekniska högskola, 2022

Handledare:  
Mario Plos, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad  
Staffan Lindén, COWI  
Examinator:  
Mozdeh Amani, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad

Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon +46 31 772 1000

Omslag:  
CAD modellerad bild av Mahmoud Alkhateb, 2022. Återgiven med tillstånd.  
Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad  
Göteborg 2022

Vägbro över Storån längs E22  
Konceptuell design och preliminär dimensionering  
*Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik*  
RAUAN AL-EMRANI  
MAHMOUD ALKHATEB  
SAFFA DAGDUK  
CECILIA ENGLUND  
CLARA IVARSSON  
HAMPUS PETERSSON  
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad  
Chalmers tekniska högskola

## Sammanfattning

Utanför Söderköping planeras en ny förbifart med syfte att minska trängseln i sommartraffiken längs östkusten. En del av denna förbifart sträcker sig över en naturrik dalgång där Storån rinner genom. Trafikverket har framställt underlag för en 145 meter lång brosträckning, drygt 11 meter över dalen och vattendraget. Syftet med denna rapport är att ta fram ett designförslag av en bro som lämpar sig väl för området och dess användare. Rapporten är uppdelad i två delar, en för konceptuell design och en för preliminär dimensionering av valt koncept.

Den konceptuella designdelen inleds med insamling av information om området och kravställningar formuleras. Detta syftar till att bygga ett underlag för urvalsprocessen. Insamlingen av information samt formuleringen av kravställning utförs i tre specialistgrupper: konstruktion, produktion och underhåll. Denna uppdelning ger olika perspektiv på problemet vilket bidrar till en bättre förståelse av vad som behöver uppnås. Med stöd av den nyfunna kunskapen om området och problemet formulerades en rad bedömningskriterier för att utvärdera och jämföra olika brokoncept. Det vinnande förslaget blev en snedkabelbro med samverkanskonstruktion och en pylon i mitten av dalen, med ett bärverk av både längsgående balkar och tvärgående balkar.

När den konceptuella designen fastställdes påbörjades den preliminära dimensioneringen. Det syftar till att göra en rimlighetsbedömning av konstruktionslösningen. I denna process var första steget att fastställa kritiska lastkombinationer och upplagsvillkor. Genom denna delen utfördes beräkningar för att få den slutliga konstruktionen av bron. Främst användes MATLAB, i samband med CALFEM, och beräkningarna utfördes med hänsyn till EUROCODE. ABAQUS användes också för att ta fram risken av buckling. Programmet Revit användes för att producera 3D-illustrationer av brokoncepten. Tvärbalkar kontrollerades för moment, tvärkraft och nedböjning. Längsgående balkar och pylon kontrollerades mot normalkraftsknäckning. Olyckslaster vid kabelbrott kontrollerades för att säkerställa en god redundans. Vindlaster och trafiklaster togs i beaktning för att säkerställa tillräcklig kapacitet i horisontalled. Kablar dimensionerades baserat på maximal normalkraft och farbanans nedböjning. Den preliminära dimensioneringen resulterade i en total brobanetjocklek om cirka 1.6 m och en pylon-tvärsnittsdimension om 2x3 m, vilket bedömdes rimligt med hänsyn till beräkningarna.

Road bridge over Storån along E22  
Conceptual and preliminary dimensioning  
*Bachelor's thesis in Civil Engineering*  
RAUAN AL-EMRANI  
MAHMOUD ALKHATEB  
SAFFA DAGDUK  
CECILIA ENGLUND  
CLARA IVARSSON  
HAMPUS PETERSSON  
Department of Architecture and Civil Engineering  
Chalmers University of Technology

## Abstract

On the outskirts of Söderköping, a new bypass is planned with the ambition of reducing the heavy traffic that occurs in the east coast during the summer. A part of this outlined route passes a nature filled valley where the river Storån flows through. The Swedish Transport Administration have prepared for a 145 m long bridge to be built, about 11 m over the valley and river. The purpose of this report is to bring forward a design proposal for said bridge, which is well suited for the intended area and the public. The report is divided into two parts with the first being conceptual design and the second being preliminary dimension of the chosen concept.

During the first part, information is gathered about the local area and requirements for the report are formulated with the intent of building a basis for the selection process. The work is divided into three specialist groups: construction, production, and maintenance. This chosen sectioning gives different perspectives on the problem at hand, which furthermore gives a better understanding on what it is that needs to be achieved. With the support of the newfound knowledge of the area and the problem, a set of assessment criteria for evaluating and comparing different bridge concepts was formulated. The winning concept was a composite cable-stayed bridge with one pylon in the middle of the valley. The bridge deck consists of both longitudinal and transversal beams.

When the conceptual design part was established, the work for preliminary dimension began, which was the second part of the project. The aim is to make a reasonable assessment of the construction solution. In this process, the first step was to define critical load combinations and support conditions. Throughout the second part, calculations were made to get the final construction of the bridge. Mainly, MATLAB was used, aided by CALFEM. The computations were made in accordance with the European standard, EUROCODE. ABAQUS was also used to establish the risk of buckling. The crossbeams were checked for torque, transverse force, and deflection, whereas the longitudinal beams as well as the pylon was checked against cracking due to normal force. Accidental loads in the event of cable breakage were checked to ensure good redundancy. Wind loads and traffic loads were taken into consideration to assure sufficient capacity in the horizontal direction. The cables were dimensioned based on the maximum normal force in the system and the deflection of the bridge deck. The preliminary dimensioning resulted in the total thickness of the bridge floor being 1.6 m and the pylon having a cross-sectional dimension of 2x3 m, which seemed reasonable due to the calculations. Revit was used as a tool to produce 3D-illustrations for the project.

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Innehåll</b>	<b>III</b>
<b>Förord</b>	<b>VI</b>
<b>Ordlista</b>	<b>VII</b>
<b>Beteckningar</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte och mål . . . . .	1
1.3 Problem . . . . .	1
1.4 Avgränsningar . . . . .	1
1.5 Metod . . . . .	2
1.6 Samhälleliga och etiska aspekter . . . . .	2
<b>2 Krav och förutsättningar</b>	<b>3</b>
2.1 Förutsättningar för platsen . . . . .	3
2.2 Geometriska förutsättningar . . . . .	3
2.3 Geotekniska förutsättningar . . . . .	3
2.4 Hydrologiska förutsättningar . . . . .	4
2.5 Miljöförutsättningar . . . . .	4
2.6 Trafikförhållanden och laster . . . . .	4
<b>3 Underlag för urvalsprocess</b>	<b>5</b>
3.1 Beställare / Konstruktion . . . . .	5
3.2 Material . . . . .	5
3.2.1 Brotyper . . . . .	6
3.3 Produktion . . . . .	6
3.3.1 Produktionsmetoder . . . . .	6
3.3.2 Grundläggningsmetoder . . . . .	7
3.4 Förvaltning och underhåll . . . . .	7
3.4.1 Underhåll av broar . . . . .	8
3.4.2 Inspektionstyper . . . . .	8
3.4.3 Inspektionskrav . . . . .	8
3.4.4 Underhåll av material . . . . .	8
<b>4 Urval 1</b>	<b>10</b>
4.1 Proförslag . . . . .	10
4.2 Urvalskriterier . . . . .	11
4.2.1 Beställare konstruktion . . . . .	11
4.2.2 Produktion . . . . .	11
4.2.3 Förvaltning och underhåll . . . . .	11

4.3	Utvärdering . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Urval 2</b>	<b>13</b>
5.1	Utvärdering av återstående brokoncept . . . . .	13
5.1.1	Brokoncept 1 - Samverkansbro med balkar i stål . . . . .	13
5.1.2	Brokoncept 2 - Lådbalkbro i betong . . . . .	14
5.1.3	Brokoncept 3 - Samverkansbro med lådbalk . . . . .	14
5.1.4	Brokoncept 4 - Snedkabelbro med samverkanskonstruktion . . . . .	15
5.2	Viktning av utvärderingskriterierna . . . . .	16
5.3	Urval av slutligt brokoncept . . . . .	17
<b>6</b>	<b>Presentation av valt brokoncept</b>	<b>18</b>
6.1	Konstruktion . . . . .	18
6.1.1	Konstruktionsrisker . . . . .	19
6.2	Produktion . . . . .	19
6.2.1	Grundläggning . . . . .	19
6.2.2	Produktionsmetod . . . . .	19
6.2.3	Produktionsrisker . . . . .	20
6.3	Förvaltning och underhåll . . . . .	20
6.3.1	Underhållsplan . . . . .	20
6.3.2	Åtgärder vid ökad trafiklast . . . . .	20
6.3.3	Underhållsrisker . . . . .	20
<b>7</b>	<b>Preliminär dimensionering</b>	<b>21</b>
7.1	Laster och lastkombinationer . . . . .	21
7.1.1	Permanent laster . . . . .	21
7.1.2	Trafiklaster . . . . .	21
7.1.3	Vindlast . . . . .	22
7.1.4	Olyckslast . . . . .	23
7.1.5	Temperaturlaster . . . . .	23
7.1.6	Lastkombinationer . . . . .	23
7.2	Dimensionering av element . . . . .	24
7.2.1	Balkar . . . . .	24
7.2.2	Kablar . . . . .	26
7.2.3	Pylon . . . . .	26
7.3	Detaljer . . . . .	27
7.3.1	Lager och övergångskonstruktioner . . . . .	28
<b>8</b>	<b>Diskussion</b>	<b>29</b>
8.1	Urvalsprocessen . . . . .	29
8.2	Dimensioneringsprocessen . . . . .	29
8.3	Använda källmaterial . . . . .	29
<b>9</b>	<b>Slutsats</b>	<b>30</b>
	<b>Referenser</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Bilagor</b>	<b>33</b>

10.1	Bilaga 1 - Ungefärlig spannlängd och stödplacering vid ett stöd respektive två stöd . . . . .	33
10.2	Bilaga 2 - Ungefärlig spannlängd och stödplacering vid inga stöd och vid tre stöd . . . . .	34
10.3	Bilaga 3 - Förslagsskiss . . . . .	35
10.4	Bilaga 4 - MATLAB-skript för beräkning av krafter i bärverk i 2 dimensioner . . . . .	36
10.5	Bilaga 5 - MATLAB-skript för lastkombinationer . . . . .	44
10.6	Bilaga 6 - MATLAB-skript för dimensionerande tvärkraftsbelastning på tvärbalk . . . . .	51
10.7	Bilaga 7 - MATLAB-skript för dimensionerande momentbelastning på tvärbalk . . . . .	56
10.8	Bilaga 8 - MATLAB-skript för dimensionerande nedböjning på tvärbalk . . . . .	61
10.9	Bilaga 9 - MATLAB-skript för kontroll av kapacitet på tvärbalk . . . . .	65
10.10	Bilaga 10 - MATLAB-skript för kontroll av kapacitet halssvets på tvärbalk . . . . .	70
10.11	Bilaga 11 - MATLAB-skript för vindlast . . . . .	73
10.12	Bilaga 12 - Beräkning av plastiskt moment, $M_{pl}$ , för olyckslast . . . . .	76
10.13	Bilaga 13 - Beräkning och kontroll av olyckslast . . . . .	77
10.14	Bilaga 14 - MATLAB-skript för beräkning av längdutvidgning av balkar vid temperaturändring	78

## Förord

Detta är en rapport som är skriven av sex civilingenjörsstudenter med studier inom samhällsbyggnadsteknik på Chalmers. Arbetet utförs som en avslutning på de tre första åren av grundutbildningen och resulterar i en kandidatexamen. Den kunskapen vi har lärt oss under åren har tillämpats för att kunna göra rapporten till vad den är, samtidigt som den ger oss ett steg in i det kommande masteråret.

Vi vill börja med att ge ett stort tack till vår handledare, Mario Plos, som väglett oss genom hela arbetet. Han hjälpte oss med både det teoretiska och det räknemässiga vilket var till stor hjälp. Vi vill även passa på att tacka vår handledare från COWI, Staffan Lindén, som hjälpt oss igenom dimensioneringsfaserna och gett oss en inblick in i industrin. Även Marcus Hjelm från COWI skulle vi vilja tacka för hans hjälp med snedkabelbroar. Sist skulle vi även vilja tacka alla de föreläsarna vi har haft under arbetets gång. Tack vare de har vi lärt oss information som varit väsentlig för att vi ska kunna lösa arbetet. Utan alla inblandade lärare och handledare skulle vi haft det svårt att göra denna rapporten.

Göteborg, 2022

RAUAN AL-EMRANI

MAHMOUD ALKHATEB

SAFFA DAGDUK

CECILIA ENGLUND

CLARA IVARSSON

HAMPUS PETERSSON

## Ordlista

**Boggi** - Ett fordons underrede som sprider ut fordonets last till hjulen

**Brottsgränstillstånd** - Gränstillstånd där bärförmåga kontrolleras

**Bruksgränstillstånd** - Gränstillstånd där funktionskrav kontrolleras

**CAD** - Digitalt baserad design

**Dosering** - Sluttning på en yta

**Formsjok** - En del av en form för gjutning

**Klättermetod** - Betonggjutningsteknik som går ut på att man gjuter en nivå i taget och använder den tidigare etappen för att stödja gjutformen för nästa.

**Korrosion** - Material som går sönder på grund av omgivande miljö

**Krympning** - Spänningsoberoende långtidsdeformation på grund av volymminskning

**Krypning** - Last och tidsberoende långtidseffekt för bland annat betong

**Lager** - En konstruktionsdel vars funktion är att överföra krafter och rörelser mellan överbyggnad och underbyggnad

**Platsgjutning** - Innebär att man utför formbygge, armeringsarbeten samt gjutning direkt på byggplatsen.

**Prefabricering** - Förtillverkning av byggnadsdelar

**Pylon** - Pelare/torn som bär upp broar av olika slag

**Studs** - Stålstavar som svetsas fast i stålkonstruktioner för att underlätta vidhäftning mellan stål och betong.

**Systemberäkning** - Datorberäkning som verkställs i samband med brodimensionering

**Temporära konstruktioner** - Konstruktion som erfordras tillfälligt för att kunna slutföra den slutliga produkten, eller för att genomföra efterarbeten

**Utmattningsindex** - Försvagning av materialets hållfasthet

**Viltpassage** - Fri passage för djur

**Volymställning** - Ställning som bär form och armering i horisontella plan innan konstruktionen härdat

**ÅDT** - Årsdygnstrafik, anger per år ett genomsnittligt trafikflöde per dygn.

**Ändskärm** - Konstruktion vid upplag av bro vars funktion är att ta upp horisontella krafter från brobanan

**Övergångskonstruktion** - Konstruktion vid landfäste som motverkar längdförändringar i bron

# Beteckningar

## Versaler

$G_i/g_i$  - Egentyngd [N/m]

$Q_{ik}$  - Punktlast [N]

## Gemener

$\gamma$  - Tunghet [ $N/m^3$ ]

$\alpha_{qik}$  - Anpassningsfaktor för utbredda laster [-]

$\psi_i$  - Lastreduktionstal [-]

$\gamma_d$  - Partialkoefficient [-]

$x_{i_j}$  - Reduktionsfaktor för egentyngd [-]

$\alpha_{Qik}$  - Anpassningsfaktor för punktlaster [-]

$q_{ik}$  - Utbredd trafiklast [ $N/m^2$ ]

# 1 Inledning

I detta kapitlet introduceras väsentlig information för rapporten. Här anges bakgrundinformation som beskriver förhållandena givna för det tänkta projektet.

## 1.1 Bakgrund

År 2017 togs ett gestaltungsprogram fram för den nya vägsträckningen av E22 förbi Söderköping i syfte att öka trafiksäkerheten och framkomligheten (Trafikverket, 2017a). Beträffande säkerheten planeras avskiljning av trafiken med hjälp av mitträcken samt ett antal planskilda korsningar. Målet är också att minska trafikbelastningen och vägtrafikbuller i centrala delar av tätorten. Under sommartid är väg E22 en mycket populär sträckning vilket står i konflikt med lokalbefolkningens framkomlighet. Den nya vägsträckan är cirka 10 km lång och innefattar bland annat en bro över Storån med totallängden 145 m (Trafikverket, 2017a). Bron ska ha plats för en 2+1 körbana utan cykel eller gångtrafik och ska utformas på ett sätt som tillåter vägen att följa landskapet. Broförslaget ska med hjälp av underhåll stå i 120 år. Storån som passerar under är enligt Trafikverkets viltpassageplan en viktig passage för utter, fisk och fladdermöss vilket är av stor vikt att bevara (Trafikverket, 2017d). En miljökonsekvensbeskrivning (MKB) ska upprättas eftersom Länsstyreselen har beslutat att brobygget kan medföra en betydande påverkan på miljön (Trafikverket, 2017a).

I gestaltungsprogrammet läggs det stor vikt på estetik med en tilltalande utformning med hänsyn tagen till stadsdel, landskapsbild och kultur- och naturvärden (Trafikverket, 2017a). Avsikten med utformningen av denna bron är att den ska fungera som ett landmärke samt attrahera besökare till Söderköping. Eftersom bron kommer vara tungt trafikerad, och därmed ha många åskådare är det viktigt med en attraktiv estetik gestaltning.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta kandidatarbete är att utföra en förstudie samt preliminär dimensionering av en brokonstruktion. Bron ska konstrueras längs en ny vägsträcka över Storån, utanför Söderköping. Det framtagna broförslaget ska på bästa möjliga sätt uppfylla de kriterier som ställs av beställaren och diverse intressenter. Detta arbete syftar till att utbilda inom broprojektering och bygger på de kunskaper som har införskaffats under de tre första åren på Chalmers civilingenjörsprogram.

Målsättningen med projektet är att utföra en undersökning som är så verklighetsbaserad som möjligt med hänsyn till den tillgängliga kunskapen. För det slutliga brokonceptet är målet att ta fram ett förslag som är tilltalande och anpassat för dagens behov. Det innebär att broförslaget tar hänsyn till miljö och andra etiska frågor, som exempelvis säkerhet och arbetsmiljö. Utöver detta är målet också att framställa ett broförslag som håller under den bestämda livslängden och som är ett estetiskt tilltalande landmärke för platsen.

## 1.3 Problem

För att lösa uppgiften kommer projektet delas upp i två huvuddelar. Den första delen syftar till att framställa ett broförslag utifrån olika aspekter. Den andra delen handlar om att preliminärt dimensionera förslaget. Följande delproblem kan identifieras:

- Vilka är förutsättningarna i det aktuella området?
- Vad ska prioriteras inom utvärdering och urval för förslaget?
- Vilka brokoncept är möjliga och vilka av dessa är bäst lämpat för området?
- Hur ska det konceptuella broförslaget dimensioneras och utformas?

## 1.4 Avgränsningar

Rapporten har som mål att presentera ett rimligt och möjligt broförslag utifrån de givna förutsättningarna. Däremot kommer rapporten på grund av tid- och kunskapsskäl att begränsas i vissa aspekter. Det geotekniska utförandet av brostöden kommer endast att undersökas ur ett övergripande perspektiv som baseras på teori,

utan att beräkningar genomförs. Detta kommer att syfta till att analysera genomförbarheten snarare än att ge en färdig lösning. Dynamiska laster så som egenfrekvens eller påkörningslaster kommer inte att analyseras på djupet i form av beräkningar. Med det sagt eftersträvas en utformning som minimerar risken för att dynamiska laster blir ett problem för hållfastheten. De ekonomiska aspekterna beaktas enbart utifrån en övergripande rimlighetsgrad, utan att djupgående analyser utförs.

## 1.5 Metod

Projektet inleds med informationssökande i form av föreläsningar och litteratur kring olika dimensioneringslösningar av brokonstruktioner. Arbetet är indelat i två delar. Den första inkluderar framtagning av ett antal brokoncept som utvärderas utifrån uppsatta krav och kriterier som viktas mot varandra i en urvalsprocess. Detta för att nå ett slutgiltigt dimensioneringsförslag för bron. Det bästa konceptet i utvärderingen väljs ut och arbetas vidare med i del två av projektet.

Tre specialistgrupper har upprättats för att representera olika aspekter i urvalet. Den första gruppen specialiserar sig inom konstruktion, och ansvarar för att identifiera de bärande systemen hos olika brotyper samt materialval. Den andra gruppen fokuserar på produktion, i uppgift att identifiera risker samt ta hänsyn till aspekter som arbetsprocess, miljö och ekonomi. Den tredje gruppen specialiserar sig inom underhåll och ansvarar för att identifiera underhållsbehov för det valda broförslaget samt att ta fram lösningar för detta.

Den preliminära dimensioneringen handlar om att först definiera det bärande systemet. När det huvudsakliga bärande systemet och randvillkoren är väl definierade kommer lastfall och lastkombinationer att tas i beaktning. Konstruktionsberäkningar med stöd från handledare på COWI och Chalmers kommer att utföras. Dimensioner och utformningar kommer att bestämmas i en iterativ process för att framställa en optimerad design inom rimlig mån för projektets omfattning. När den slutgiltiga designen är fastställd ska en skalenlig presentationsmodell tillverkas med hjälp av verkstadshandledare på Chalmers.

## 1.6 Samhälleliga och etiska aspekter

På Trafikverkets hemsida finns information kring deras förhållningssätt till miljö, hälsa och trafiksäkerhet (Trafikverket, 2022c). Gällande miljö och hälsa är deras mål att uppnå tillgänglighet på ett hållbart sätt. Detta betyder att miljöpåverkan från byggandet av infrastrukturprojekt måste balanseras med behovet av ett smidigt resande och transport av varor. Nollvisionen är Trafikverkets ledstjärna gällande trafiksäkerhet och målet är att ingen ska skadas allvarligt eller dö i trafiken (Trafikverket, 2022d).

Samhälleliga och etiska aspekter som är av betydelse är hur den omkringliggande naturen ser ut och hur den påverkas av det planerade bygget. Vid Storån har den fridlysta blomman Gullviva upptäckts och det är även känt att det är ett område där det förekommer vilt (Trafikverket, 2017d). Vattendraget är också ett viktigt stråk för djurlivet. Vid dimensionering och planering av bron är det därför viktigt att ta detta i beaktning och se till att byggandet kan ske med så lite påverkan på den naturliga miljön som möjligt.

Bron kommer att uppföras relativt nära bebyggelse, bland annat finns en skola i närheten av arbetsplatsen. Det blir därmed viktigt att minimera spridningen av oönskat ljud till närområdet, något som kan uppnås med till exempel temporära bullerskärmar. När byggnationen är klar och bron är i bruk kommer bullernivåerna i centrala delar av tätorten att minska. Detta på grund av omledningen av trafik vilket förhoppningsvis kompenserar för de ökade bullernivåerna under byggskedet. Trafikstörningar till följd av byggnationen utsluts då bron är en del av en helt ny vägsträcka som inte påverkar befintlig trafiksituation.

Vägsträckan kommer också att minska pendlingsavståndet längs väg E22 via Söderköping vilket kan leda till mer överkomliga pendlingstider, som i sin tur kan öppna upp för nya arbetstillfällen. Den minskade trängseln på den befintliga sträckan genom Söderköping kan också reducera mängden skadliga utsläpp från fordonstrafiken vilket har en positiv effekt på hälsan. Den totala miljöpåverkan av bron är viktig att minimera i så stor utsträckning som möjligt för att vara i linje med klimatmålen som Trafikverket förespråkar.

## 2 Krav och förutsättningar

Konceptframtaganden för bron påverkas av de förutsättningar och krav som finns för platsen. Dessutom behöver den tänkta vägbron geometri och lastfall beaktas för att kunna ta fram de bästa möjliga förslagen.

### 2.1 Förutsättningar för platsen

Det nuvarande landskapet där bron ska uppföras är ett mosaiklandskap med jordbruk och betesmark samt innefattas av småskalig bebyggelse (Trafikverket, 2017a). Dalgången är en viktig passage för djur och friluftslivet (Trafikverket, 2017d). Under bron ska samma markskikt bevaras och för att bevara den speciella vegetationen med ängsflora är det viktigt att använda jordmassor från samma plats vid eventuella ifyllnadsarbeten (Trafikverket, 2017d).

I närområdet finns mindre bebyggelse i form av bland annat villor och en skola. I miljökonsekvensbeskrivningen utförd av Trafikverket nämns vikten av att hålla bullernivåer på en nivå som inte orsakar hälsoskadliga effekter på människor i närområdet (Trafikverket, 2018). Beträffande skolan är det också av stor vikt att ett högkapacitetsräcke implementeras för att undvika att fordonstrafik vid olycka kommer intill eller in på skolans område (Trafikverket, 2018).

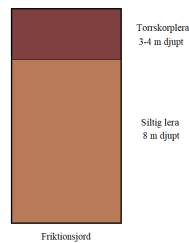
### 2.2 Geometriska förutsättningar

Brons längd uppgår till 145 m och total brobredd till 14.40 m enligt bilaga 3. Vägen på bron är placerad med en kurva som har en radie på 980 meter över en del av brospannet och vägens profil har en dosering på cirka 1 procent in mot kurvan. Den lägsta marknivån under bron ligger cirka 11 meter under färdig väghöjd. Då ingen typ av aktivitet som föreskrivs fri höjd (Trafikverket, 2022a), finns ingen begränsning av konstruktionshöjden under brofarbanan. Bron ska däremot fungera som viltpassage, varvid en hög fri höjd kan medföra en ökad ändamålsenlighet. För att möta kraven på viltpassage bör bron tillgodose landremсор om över 20-30 m i bredd (Trafikverket, 2018) med över 5 meters höjdutrymme.

Platsen för bron medför olika alternativ för stödplaceringar. Ett alternativ är att konstruera bron utan stöd, vilket medför ett brospann på cirka 145 meter. Ett annat alternativ är att placera ut ett stöd i mitten av bron, så att bron får två spann på runt 70 meter var. Ett tredje alternativ är att ha två mittstöd att spannen blir cirka 48 m långa. Det finns också möjlighet att ha tre stöd under bron, med spann på omkring 36 meter var.

### 2.3 Geotekniska förutsättningar

De geotekniska förhållandena i området utgörs av varierande jorddjup med lera som den dominerande jordtypen (COWI, 2021). Bron passerar över en dalgång där jorddjupet varierar mellan 3–17 m. Det största jorddjupet ligger vid södra delen av dalen och norr om bron finns flacka bergsområden. Jordlagerföljden består av 3–4 meter djup torrskorpsera, följt av siltig lera med friktionsjord undertill. Det största lerdjupet är runt 8 m och går att hitta söder om Storån. Jorddjupet intill Storån är ca 10 m och längs med vattendraget är grundvattennivån ytnära. En representation av jordlagerföljden visas i figur 1.



**Figur 1:** Exempel på jordlagerföljden i den djupaste delen i området.

## 2.4 Hydrologiska förutsättningar

Erosionsskydd skall finnas i anslutning till stöd, landfästen och botten samt dimensioneras med hänsyn till högsta vattennivå som kan uppstå. Exempel på erosionsskydd är vegetation, spont eller strandskoning. Strandskoning är ett av de vanligaste skydden längs vattendrag (SGI, 2019). Storån omsluts av ett strandskydd 100 meter från strandlinjen. Däremot ingår dispens för fastställning av vägplan, och därför behöver detta ej tas hänsyn till vid byggandet av väg E22. Den beräknade vattennivån vid ett 100-årsflöde är uppskattad till +13,3 m från marknivån (COWI, 2021).

## 2.5 Miljöförutsättningar

Bron sträcker sig över en dalgång med höga naturvärden som innefattar vattendraget Storån (Trafikverket, 2018). I Samrådsunderlag för Vattenverksamhet, Bro över Storån framgår det att det finns en stor artrikedom av fisk i vattendraget, en sällsynt musselart samt häckande fåglar intill (COWI, 2021). Även utter, snok och fladdermus är förkommande djur i närheten. Det nämns även i samrådsunderlaget att aktuell översiktsplan för Söderköpings kommun tar anspråk på att ingen inverkan på Storån får ske som kan påverka havsöringen. Inverkan på dalgången och vattendraget ska därför minimeras. Att undvika vattenverksamhet helt och hållet är dock inte ekonomiskt försvarbart, i och med det stora fria brospannet som då kommer krävas. Dock kan arbete direkt i vatten, vid normalt vattenstånd, undvikas.

Omhändertagande av dagvatten behöver hanteras på platsen. Detta kan ske genom omledning till närliggande dike där det kan infiltreras samt fördröjas då ytvattnet inte får ledas direkt till Storån (COWI, 2021). För att förhindra att farligt gods når naturmiljön vid händelse av en olycka krävs åtgärder till exempel i form av ett högkapacitetsräcke (Trafikverket, 2018). Bullernivåerna i området kommer öka vid uppförande och drift av bron. Åtgärder i form av bullerskärmar har undersökts men anses inte vara ekonomiskt försvarbart.

## 2.6 Trafikförhållanden och laster

Trafiklaster som förekommer på bron behöver hanteras och dimensioneras. Den dimensionerande ÅDT:n för bron uppnås runt år 2040 vara ungefär 17 700 fordon varav 11 procent tunga fordon (Trafikverket, 2017c). Det är även viktigt att dimensionera för tunga fordon som kör på bron och är en del av vägsträckan E22 Söderköping. Därför planeras det att väg E22 öppnas för bärighetsklass 4, BK4 där fordonsekippage som har en bruttovikt på upp till 74 ton kan framföras med den nya bärighetsklassen som infördes år 2018 (Trafikverket, 2020b).

Bron ska dimensioneras för en livslängd på 120 år och ska utformas för en referenshastighet på 100 km/h (Trafikverket, 2017b) och detta kommer vara den hastighetsbegränsning som också gäller på bron. En maximal nedböjning på grund av trafiklast för vägbroar på 1/400 av den teoretiska spännvidden bör inte överskridas. Detta värde gäller för både längdled och tvärlädd. (Trafikverket, 2022b).

## 3 Underlag för urvalsprocess

För att få en övergripande bild över konstruktion, produktionsmetoder och underhåll samlas under detta kapitel en beskrivning av möjliga alternativ för broförslagen. Sammanställningen av information gällande de tre huvudområdena utfördes i de tre specialistgrupperna.

### 3.1 Beställare / Konstruktion

Denna del av informationssamlingen syftar till att utreda olika huvudsakliga konstruktionsmaterial, vad de har för användningsområden och hur utformning av broar sker med dessa.

### 3.2 Material

Det finns en uppsjö av olika typer av byggnadsmaterial. För broar finns det tre större huvudgrupper av material som historiskt sett använts i stor utsträckning. Det finns, utöver dessa tre, andra alternativa byggnadsmaterial, men dessa kommer inte att behandlas i detta broprojekt för att begränsa omfattningen.

#### Betong

Betong är ett av de vanligaste byggnadsmaterial i världen och består av cement, sand, sten och vatten. En karakteristisk egenskap för oarmerad betong är att draghållfastheten är mindre än tryckhållfastheten. Vid belastning av konstruktioner kan därmed dragpåkänningar bidra till sprickbildning även vid låg belastning. Därav förses betongen vanligtvis med ingjutna armeringsstänger vars ändamål är att transferera dragkrafter i konstruktionen i samband med att betongen spricker (Al-Emrani m. fl., 2018).

Påkänningar i betongkonstruktioner kan påverkas av långtidsdeformationer i form av krypning och krympning (Al-Emrani m. fl., 2018). Det finns olika typer av betong beroende på vilken typ av konstruktion som skall dimensioneras samt under vilka förhållanden den befinner sig. Betong släpper ut koldioxid vid tillverkning och särskilt kritiskt är cementen (Andersson.R, 2021). Materialet kan till viss del kompensera för utsläppen genom att ta upp koldioxid i en karbonatiseringsprocess. Dock kan denna process också leda till att armeringen korroderar, vilket sker vid specifika fukt och temperaturförhållanden. Hårdnad betong är bra vid återanvändning och anges vara 100 procent återvinningsbart, då det ses som ett naturmaterial. Återvinning av restmaterial i cement och betong är också möjligt.

#### Stål

Stål är ett material som ofta används vid brokonstruktion då det har hög hållfasthet. Vid byggnation av en bro över vatten används ofta stål då det bidrar till en snabb och enkel byggprocess (Stålbyggnadsinstitutet, 2020). Det är lämpligt att använda vid förtillverkning eftersom stålstommar oftast dimensioneras digitalt, vilket kan överlämnas för produktion av digitalt styrda tillverkningsmaskiner. De avancerade stålstommarna kan därmed dimensioneras med hög noggrannhet och minimala fel, trots den snabba processen (Al-Emrani m. fl., 2018).

Tillverkningen av stål ger höga utsläpp. Stål- och järnindustrin står för 38% av industrisektorns totala utsläpp av växthusgaser, vilket är mer än någon annan industri (Naturvårdsverket, 2021). Dock är stål det material som återvinns mest globalt, och materialet kan smältas ner till nytt råmaterial (SGU, 2019). Ungefär 35 procent av allt stål är skapat av återvunnet material, men det går även att återanvända stål utan att det processas till nytt råmaterial.

#### Trä

Trä är ett material som ingår i kretsloppet, det är naturligt och dess miljöpåverkan är generellt mindre än andra konstruktionsmaterial (Abelsson m. fl., 1998). Båge, Abelsson och Westerlund menar att träkonstruktioner kan ha tillfredställande prestanda under den önskade livslängden. Dock kräver detta en korrekt utformning, konstruktion och underhåll. Detta exemplifieras i rapporten när det skrivs om broar som är i bruk över 100 år efter uppförandet, kontrasterat med konstruktioner som inte tillfredsställer bärighetskraven 30 år efter uppförandet. I detta fall är kravet på livslängden 120 år vilket betyder att trä inte är ett alternativ

för de huvudsakliga konstruktionsdelarna. En träbro ska utformas för en teknisk livslängd på 40 eller 80 år (Trafikverket, 2022b). Med det sagt är trä ett alternativ för utbytbara delar av konstruktionen, såsom räcken eller andra mindre strukturellt avgörande komponenter.

### 3.2.1 Brotyper

De flesta broar kan delas in i kategorierna av vanligt förekommande brotyper, där olika broar fungerar till olika ändamål och spann. Nedan följer en beskrivning av olika typer av broar som skulle kunna vara aktuella för dalen. Informationen som presenteras i följande stycken om de olika brotyperna är tagna från Trafikverkets broprojekteringshandbok (Trafikverket, 2022a).

·**Balkbro** består av en brobanaplatta som oftast utförs av betong, med bärande balkar undertill. Balkarna kan bestå av betong eller stål och ha olika typer av tvärsnitt. Betongbalkar kan utformas i vanligt tvärsnitt för spann på upp till 30 meter, eller som en lådbalk med spann från omkring 40 meter upp mot 200 meter.

·**Samverkansbro** är samlingsnamnet för de broar med de bärande partierna i stål men med farbanan utförd i betong, exempelvis balkbro med stålbalkar som kan användas vid spann upp till 70 meter när konstruktionshöjden tillåter. En annan typ av samverkansbro är en bärande lådbalk i stål, med samma spannlängd som stålbalkarna.

·**Snedkabelbro och hängbro** används oftast vid väldigt stora spann och utförs med en brofarbana i betong som styvas upp och bärs med stålbalkar undertill. Broar med stora spännvidder kan även konstrueras med stålfarbana, för att minska egentygden och således minska vissa kostnader. Bärverket hålls upp med kablar som för lasterna till pyloner som för laster till pyloner och-/ eller ändarna. Spann från cirka 100 meter och uppåt.

·**Fackverksbro** utförs i stål och kan ha fackverket under, över och mitt i konstruktionen. Brotypen är inte så vanlig och används ofta vid spännvidder över 50m.

·**Bågbro** kan utföras i både stål och betong och blir generellt relevanta när spannet är större än 60 meter.

Andra typer av broar exempelvis plattbroar, rambroar, rörbroar och trågbalkbroar klarar alltför korta spännvidder för att vara aktuella vid de givna förutsättningarna. Vanligtvis så brukar en kortare spännvidd minska kostnaderna för överbyggnaden och därför vara att föredra trots extra kostnader för fler stöd i underbyggnaden (Trafikverket, 2022a). Däremot om exempelvis markförhållandena medför stora kostnader för stöden så kan det vara mer ekonomiskt att öka spännvidden. Några typiska fall som ökar kostnader för stöd är om påhning krävs för grundläggningen eller om arbetet för stöden medför vattenarbeten.

## 3.3 Produktion

När en broproduktion ska påbörjas bör produktionsmetoder och grundläggningsmetoder utvärderas tidigt. Detta för att hitta eventuella möjligheter samt begränsningar kopplat till vad som ska utföras. För att få en överblick av alternativen har olika typer av relevanta metoder samlats för de aktuella förutsättningarna.

### 3.3.1 Produktionsmetoder

Vid val av produktionsmetod så finns det många aspekter att ta hänsyn till. En bra produktionsmetod medför bland annat en god och säker arbetsmiljö, låga risker samt tar hänsyn till ekonomi och tidskrav (Karlsson, 2022). Det kan också vara fördelaktigt att minska antalet temporära konstruktioner, då dessa ofta innebär mer risk och kan vara kostsamma. Nedan listas vanliga typer av produktionsmetoder som möjligen kan användas för produktionen av den aktuella bron.

#### - Prefabricerade konstruktioner

En prefabricerad produktionsmetod innebär att delar av konstruktionen byggs i fabriker och därefter transporteras till platsen där de monteras ihop. Detta innebär ofta tyngre transporter och krav på kranar med hög kapacitet. En prefabricerad konstruktion kan ofta också korta produktionstiden samt vara mer platseffektivt (Karlsson, 2022). Med prefabricerade element är man också mer begränsad av transportlängd och tyngd, vilket kan medföra fler kopplingar i konstruktionen. Om de prefabricerade elementen består stål är det också bra att planera för att så många svetsfogar som möjligt utformas i fabrik, då det är svårare att hålla kvalitetskraven på plats (Lebet & Hirt, 2013). Prefabricerade element i stål är som regel producerade utanför Sverige, då det inte finns fabriker som är stora nog att producera broelement här (M. Ivarsson, personlig kommunikation, 20 februari, 2022). Prefabricerade element i betong finns dock möjlighet att producera i Sverige.

#### - Platsbyggda konstruktioner

Det är främst vid produktion av en betongbro som en platsbyggd konstruktion är ett alternativ. Platsgjutna konstruktioner innebär att man utför formbygge och armeringsarbeten direkt på plats. Betongen levereras sedan från fabrik med lastbilar vilket innebär att leveranserna oftast är lättare än vid andra produktionsmetoder, så som exempelvis prefabricering (Villcon, 2022).

För att kunna forma och armera konstruktioner krävs en kran som klarar av tyngden av det största formelementet samt armeringsbunten. Det krävs även en plats där en betongpump kan ställas upp vid gjutning. Båda dessa kan kräva temporära konstruktioner för uppställningsplats. Självbärande betongbroar används oftast vid spann mellan 50 till 200 meter (Engström, 2022). Vid produktion av helt platsgjutna konstruktioner som inte är självbärande krävs även en volymställningar.

#### - Lansering

Lansering av en bro innebär att man i princip bygger färdigt hela eller delar av konstruktionens överbyggnad på sidan av för att sedan dra eller skjuta ut den till rätt plats. Produktionsmetoden används ofta om det ställs stora krav på att inte störa trafik under byggtiden (Trafikverket, 2022a). Oftast väger varje segment mycket, vilket ställer stora krav på utrustningen och framkomligheten. Genom att redan i projekteringsfasen och även under produktionen av bron, ta hänsyn till att den aktuella bron svänger i en kurva blir lansering av bron ett möjligt alternativ.

### 3.3.2 Grundläggningsmetoder

Vanliga grundläggningstyper är bland annat grundplatta och pålning. I den aktuella dalen är grundförhållandena sådana att det föreslås pålning (Trafikverket, 2018). Borrade pålar är ett pålningsalternativ där exempelvis stålrörspålar borrar ner tills de når berggrunden. På så sätt vilar pålen på bärkraftig botten som till exempel berg. En förutsättning för att använda borrade pålar är att fast undergrund finns på ett rimligt djup, maximalt ungefär 60 m (Keller Grundläggning, u.å.). Borrade pålar är ett lämpligt alternativ vid hinder i marken som till exempel stora block och sten. Stålrörspålar kan även slås ner i marken och brukar ha stor påldiameter som varierar mellan 0.3 och 1.5 meter (SGI, 1993).

Andra vanliga typer av slagna pålar är spetsbärande och mantelburna pålar där slagningsmetod används för att sänka pålen antingen till ett tillräckligt djup i marken eller tills att pålen når ner till fast underlag som huvudsakligen är berg. Tanken med pålar som är spetsbärande är att lasterna förs i huvudsak via pålens spets ner till fast grund som till exempel berg. Med hjälp av mantelburna pålar förs lasterna ner i marken via mantelytan. Mantelburna pålar delas upp i två olika typer, kohesionspålar och friktionspålar beroende på vilken jordtyp de placeras i.

### 3.4 Förvaltning och underhåll

För att bron ska uppnå en livslängd på minst 120 år krävs det att den förvaltas och underhålls på rätt sätt (Trafikverket, 2017b). Nedbrytning av en konstruktion kan aldrig undvikas och därmed behövs välplanerade och anpassade underhållsarbeten, Detta för att komponenterna ska bibehålla sin funktion samt för att undvika oförutsägbara kostnader och störningar (Al-Emrani m. fl., 2018). Extra viktigt är det när konstruktionen är

utsatt för miljöer med varierande väder och nedbrytande mekanismer. En bro behöver därmed i ett tidigt skede dimensioneras för att underlätta inspektioner och underhåll (Trafikverket, 2022a). Arbeten ska kunna utföras utan onödiga risker och svårigheter. Metod och omfattning av underhållsarbeten kommer se olika ut beroende på vilka material och vilken brotyp som väljs och har påverkan på hela livscykelkostnaden.

### 3.4.1 Underhåll av broar

Underhållsarbeten på vägbroar kan innefatta byten av olika brokomponenter som exempelvis kantbalk, tätskikt, övergångskonstruktioner, lager och bröräcke (Trafikverket, 2022a). Andra åtgärder som utförs är ommålningar och betongreparationer. I allmänhet är detaljer på bron en kritisk punkt ur en underhållsaspekt (J.Sandberg, personlig kommunikation, 24 februari, 2022). Då det innebär fler komponenter som kan orsaka problem.

När mindre reparationer utförs är det vanligt att trafiken begränsas till en del av bron (Trafikverket, 2022a). Det faktum att inte hela bron finns tillgänglig bidrar till en ökad olycksrisk vilket påverkar arbetsmiljön och trafiksäkerheten negativt. Det är vid broutformningen viktigt att ta hänsyn till dessa aspekter. Exempelvis kan en följd av detta vara att den fria brobredden behöver ökas. Vid projektering av en bro för stora trafikmängder kan det vara fördelaktigt med större omtanke och investeringskostnader för delar som är extra utsatta för slitage. Detta för att undvika omfattande underhållsarbeten och därmed större risker under bron livslängd.

Vägbroar utsätts för tösalter vid halka vilket är skadligt för konstruktionen. Skyddsimpregnering görs av kantbalkar och skiljebalkars överytor (Trafikverket, 2022b). Bottenplattan skyddas med tätskikt eller slitbetong. Tätskikt är dock obligatoriskt vid spännarmerade broar, kontinuerliga samverkansbroar och när materialet är stål, aluminium eller trä. Dessutom ska brobanepattan, enligt krav, vara utformad så att vatten inte ansamlas uppe på eller vid en övergångskonstruktion.

### 3.4.2 Inspektionstyper

Inspektioner ska utföras regelbundet för att utreda bronns tillstånd (Trafikverket, 2014). Det finns olika inspektionstyper, med varierande omfattning, som kan genomföras på ett byggnadsverk. Översiktlig inspektion, allmän inspektion, särskild inspektion och huvudinspektion. Trafikverket har beslutat om att broar ska inspekteras grundligt var sjätte år (Trafikverket, 2020c). Under huvudinspektionen undersöks alla konstruktionsdelar och anslutande delar (Trafikverket, 2014). Mätningar genomförs specifikt för att upptäcka eventuella sprickor i betong, förlorad vidhäftning av sprutbetong och sprickor i stålkonstruktion. Syftet är att kontrollera eventuella uppkomna brister. Bedömning görs ifall risker finns för inverkan på funktion, trafiksäkerhet eller högre driftkostnader inom tio år ifall dem inte åtgärdas.

### 3.4.3 Inspektionskrav

Alla broar ska utformas så att tillgänglighet till inspektion av samtliga delar finns utan svårigheter (Trafikverket, 2022b). För att möjliggöra detta ställs krav på utformning. Följande måttkrav ställs för inspektion och underhåll enligt Trafikverket (Trafikverket, 2022b). För en vägbro ska avståndet mellan grusskift och ändbalken vara minst 0,5 m. Lager på broar ska kunna inspekteras från alla håll och överbyggnaden ska kunna lyftas vid lagerbyten. För invändiga utrymmen finns höjdrav på minst 1,9 m för konstruktioner längre än 50 m, annars 1,5 m. Manhål ska placeras så att alla ytor är åtkomliga och att utrymning kan ske. Maxavståndet till ett manhål som leder ut får vara 100 m och får inte placeras i brobanepattan. Det ska också finnas möjlighet att kunna ta sig igenom öppningar i delar som skärmar av utrymmen invändigt. Broar kan också utrustas med inspektionsanordningar så som stegar, hissar och inspektionsbryggor för att öka tillgängligheten.

### 3.4.4 Underhåll av material

Hur den valda bron behöver underhållas varierar med vilket byggnadsmaterial den konstrueras i. De vanligaste materialen är trä, stål och betong.

#### - Stål

Ett problem som bör beaktas för stålkonstruktioner är risken för korrosion. Det kan ske i miljöer där vatten och syre finns i fri form (Burström & Nillver, 2018). Korrosionshastigheten ökar med hög fuktnivå och med föroreningar i luften. För stålkonstruktioner i vatten påverkas förloppet av salthalten, pH-värdet och temperaturen. Därmed är havsvatten mer kritiskt än sötvatten på grund av förekomsten av salter.

För att skydda stålet mot korrosion kan olika åtgärder tillämpas. Det mest förekommande är att materialet rostskyddsmålas (Burström & Nillver, 2018). Med färgskiktet förhindras fukt, syre och salter från omkringliggande miljö att trängas in i stålet genom en process som kallas för isolering. Dock har denna metod sina brister, eftersom det är svårt att få ett helt tätt skikt. En annan typ av skydd är katodiskt skydd. Det sker genom att ytan täcks av en oädlare metall, vanligtvis zink. Ytterligare en metod är passivering, vilket uppstår när ämnen i den pålagda rostskyddsfärgen reagerar med stålet och ger ett skyddande lager. Vanligtvis används diverse zinkföreningar. Stål kan även utsättas för sprickor samt utmattning vilket leder till en ändring av materialets geometri (Trafikverket, 2011b).

#### **- Betong**

Konstruktioner av betong ska utformas så att omfattande nedbrytning av materialet inte uppstår (Boverket, 1993). Detta genom att en utvärdering görs kring vilka skadliga mekanismer som kan förekomma på platsen och hur dessa ska undvikas. Några möjliga skademekanismer för betong i bromiljö är exempelvis vittring, urlakning, karbonatisering, kloridinträngning och frostsprängning (Trafikverket, 2021).

För att uppnå beständighet hos betong är det viktigt att förbygga risken för armeringskorrosion (Al-Emrani m. fl., 2018). Där egenskaper som tjocklek, densitet och kvalitet hos betongtäcksiktet är avgörande faktorer. Ett tätt material gör det svårare för till exempel koldioxid och kloridjoner att tränga in och påbörja korrosionsprocessen (Fagerlund, 2011). Kontroller görs under en betongkonstruktions livslängd för att upprätthålla funktion. Den får bland annat inte vara vittrad eller urlakad, krav finns på uppmätt kloridhalt samt karbonatiseringsdjup och frostbeständighet (Trafikverket, 2021). Sprickor större än 0,3 mm ska dessutom åtgärdas. Om skador sker behöver täcksiktet återställas. En vanlig reparation är att ta bort skadad betong och armering och ersätta med ny (Gatu- och väg väst AB, u. å).

#### **- Trä**

Trä är ett material vars beständighet påverkas av svampar och bakterier (Burström & Nillver, 2018). Vid rätt temperatur och fukthalt sker nedbrytning av materialet. Syre kan också behöva vara tillgängligt för att skapa en reaktion. Träbroar skyddas med konstruktivt träskydd, vilket innebär att konstruktionsdelar undviks att komma i kontakt med vatten samtidigt som de har möjlighet att torka ut (M.Plos, personlig kommunikation, 21 april 2022). Skyddet som tillämpas ska kunna bytas ut under bronns livslängd.

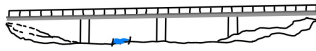

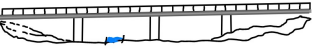





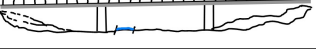

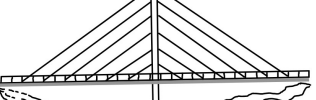



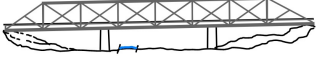

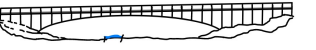

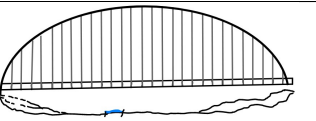

## 4 Urval 1

För att i slutändan kunna välja ut ett slutligt brokoncept sker en utförlig urvalsprocess i två steg. I det första steget, urval 1, utarbetas ett antal broförslag som anses vara möjliga och lämpliga utifrån givna förutsättningar på platsen. Urvalskriterier har sedan valts baserat på kunskap i de olika specialistgrupperna. Dessa kriterier används sedan som utgångspunkt för att välja ut de mest fördelaktiga broförslagen till den aktuella platsen som går vidare i urvalsprocessen.

### 4.1 Broförslag

För att begränsa antalet koncept i urval 1 har ett antal val gjorts av broförslag som är möjliga utifrån tidigare nämnda förutsättningar och krav. Ett exempel är att träbroar har uteslutits på grund av kravet på livslängd. Hängbroar har uteslutits med tanke på den långa spännvidd som rekommenderas för denna brotyp (Hirt & Lebet, 2013). De tio första förslagen listades också genom att inkludera alla rimliga stödkonfigurationer, utifrån spännvidden, för varje brotyp. När till exempel "balkbro i betong med tre stöd" listas, görs detta med antagandet att tre stöd lämpar sig bäst för den brotypen. Samma brotyp med ett orimligt val av antal stöd inkluderas inte för att minska omfattningen på urvalet. De valda brotyperna presenteras nedan i tabell 1.

Tabell 1: Tabell över olika möjliga broförslag.

Brokoncept				
Brotyp	Material	Antal stöd	Konceptbild	Tvärsnittstyp
Balkbro	Spännarmerad betong	Tre stöd		
Balkbro	Samverkan: Stål och betong	Tre stöd		
Lådbalkbro	Betong	Ett stöd		
Lådbalkbro	Betong	Två stöd		
Lådbalkbro	Samverkan	Två stöd		
Snedkabelbro	Samverkan	Ett stöd		
Snedkabelbro	Samverkan	Två stöd		
Fackverksbro	Stål	Två stöd		
Bågbro med underliggande båge	Betong	Inga		
Bågbro med överliggande båge	Stål	Inga		

## 4.2 Urvalskriterier

För att kunna avgöra vilka som är de mest lämpade brokoncepten för platsen, väljs ett antal utvärderingskriterier som anses viktiga utifrån kunskapen som samlats i fördjupningsgrupperna.

### 4.2.1 Beställare konstruktion

Från fördjupningsgruppen beställare/konstruktion har fyra kriterier tagits fram.

#### •Miljöpåverkan från material

Miljöpåverkan från material är ett viktigt kriterium med tanke på de klimatmål som ställs av bland annat Trafikverket som beställare men också av samhället i stort.

#### •Landskapsanpassning

Landskapsanpassning syftar till att förslaget bör följa landskapet på ett estetiskt behagligt sätt. Antal mittstöd påverkar även anpassningen till omkringliggande miljö.

#### •Estetisk gestaltning

Estetisk gestaltning syftar till att bron utformning kan bringa mervärde för användare, åskådare och samhället i stort. Möjligen även utgöra ett landmärke.

#### •Ekonomi

Ekonomi är ett mycket viktigt kriterium för verkliga projekt. I detta fall har ekonomin nedprioriterats som kategori för att främja det fria tänkandet kring utformningen.

### 4.2.2 Produktion

I detta avsnitt behandlas kriterier som rör produktionen och logistiken kring uppförandet av konstruktionen

#### •Produktionstid

Detta urvalskriteriet fokuserar på att produktionstiden för bron bör vara passande för förutsättningarna.

#### •Metod

Metoden är ett viktigt urvalskriterium då det är viktigt att det går att producera brotypen på ett sätt som är anpassat till förutsättningarna i dalen.

#### •Arbetsmiljö och säkerhet

För att bygget ska kunna utföras på ett säkert och bra sätt, kan det vara viktigt att ta hänsyn till arbetsmiljön när man väjer brotyp. Aspekter som mycket temporära konstruktioner, arbete på mycket höga höjder och dylikt avvägs.

### 4.2.3 Förvaltning och underhåll

För fördjupningsgruppen förvaltning och underhåll har två utvärderingskriterier tagit fram. Möjlighet till underhåll och beständighet, vilket är viktiga kriterier som behöver uppfyllas för alla broar.

#### •Inspekterbarhet och underhållsmöjlighet

Inspekterbarhet och underhållsmöjlighet är ett viktigt kriterium, då det ska vara möjligt att besikta bron efter färdigt bygge samt förvalta den över tid. Det innebär att det ska vara smidigt att utföra möjliga åtgärder och byta ut defekta delar utan att stora problem uppstår för arbetare och trafikanter.

#### •Beständighet

Beständighet syftar till hur stor motståndskraft materialen har mot nedbrytande mekanismer över tid. Den ska kunna stå för sin tänkta livslängd utan att några större brister uppstår.

### 4.3 Utvärdering

Nedan utvärderas de tio tidigare presenterade brokoncepten i tabell 2. Här redogörs fördelar och nackdelar utifrån de presenterade urvalskriterierna i kapitel 4.2. Fyra stycken koncept går vidare till urval 2 där de bedöms ytterligare.

**Tabell 2:** *Tabell med utvärdering av broförslag.*

Utvärdering		
Brotyp	Utvärdering	Utvalda
Balkbro i spännarmerad betong (tre stöd)	Då tre brostöd antas behövas för att bygga denna brotyp samt att det går åt mer material än nedanstående väljs denna bort.	-
Balkbro i samverkan (tre stöd)	Denna brotyp kräver också tre stöd men antas kräva mindre material än ovanstående. Med stålbalkar kan en produktionsfördel vara att de kan prefabriceras och lanseras för kortare byggtid. Denna väljs vidare till urval 2.	x
Lådbalkbro i betong (ett stöd)	Lådbalkbro i betong med ett brostöd antas kräva stor konstruktionshöjd för att klara det stora spannet samt uppnå underhållskrav, denna väljs därför bort.	-
Lådbalkbro i betong (två stöd)	Lådbalkbro i betong med två stöd kräver lägre konstruktionshöjd än ovanstående på grund av kortare fritt spann, denna går vidare till urval 2.	x
Lådbalkbro i samverkan (två stöd)	Lådbalkbro med samverkanskonstruktion väljs vidare till urval 2 med samma motivering som ovan samt att det är möjligt att prefabricera ställådan.	x
Snedkabelbro i samverkan (ett stöd)	Snedkabelbro med ett mittstöd har liten påverkan på dalen med ett stöd och stålbalkarna kan prefabriceras. Denna kan också utgöra ett praktfullt estetiskt uttryck för platsen. Den innehåller dock en del detaljer vilket kan vara en nackdel ur underhållssynpunkt.	x
Snedkabelbro i samverkan (två stöd)	Snedkabelbro har fördelar och nackdelar likt ovan men kräver två pyloner i vardera ende av bron och väljs därför bort på grund av materialåtgång.	-
Fackverksbro i stål (två stöd)	Fackverksbro i stål med två stöd är en vanlig brotyp för järnvägar och väljs därför bort.	-
Bågbro i betong (underliggande båge)	Bågbro med underliggande båge hade inkräktat en del på dalen samt har en avancerad produktion. Dock hade denna bidragit med ett betydande estetiskt uttryck.	-
Bågbro i stål (överliggande båge)	Bågbro med överliggande båge hade också bidragit till ett betydande estetiskt uttryck och samtidigt inte påverkat själva dalen speciellt mycket, dock avancerad och dyr att producera. Denna väljs därför bort.	-

## 5 Urval 2

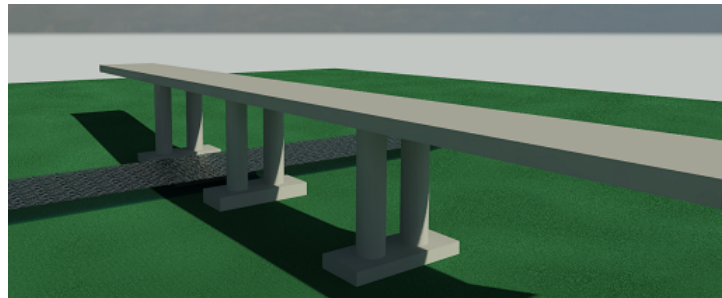
I följande steg i urvalsprocessen utvärderas de fyra valda brokoncepten ytterligare. Här viktas också de framtagna urvalskriterierna från kapitel 4.2 mot varandra. Detta görs för att avgöra vilka som bedöms viktigast för projektet. De fyra brokoncepten vägs sedan mot varandra med de viktade utvärderingskriterierna som underlag genom ett poängsystem. Det förslaget med flest poäng blir det utvalda brokonceptet och är därmed det som används i kommande dimensionering.

### 5.1 Utvärdering av återstående brokoncept

Nedan ska återstående fyra brokoncept utvärderas.

#### 5.1.1 Brokoncept 1 - Samverkansbro med balkar i stål

Det första brokonceptet är en samverkansbro som utförs med I-balkar i stål och en farbana i betong, se figur 2 för konceptbild. Bron utförs med tre mittstöd vilket ger balkar i fyra spann enligt bilaga 2.



**Figur 2:** Konceptbild, brokoncept 1

#### *Beställare/konstruktion*

En samverkansbro med balkar i stål är en typ av balkbro som lämpar sig väl vid passage över vattendrag (Trafikverket, 2022a). Vanligtvis är det gynnsamt att bygga i en högre balkhöjd då detta möjliggör effektivare materialanvändning och längre spännvidd. En hög balkhöjd kan dock göra att bron upplevs som klumpig vilket kan ge ett negativt uttryck när det gäller estetiken. Det som är utmärkande för en samverkansbro är att den har bärande balkar av stål. Stålbalkarna kan byggas i rostfritt stål då detta minskar miljöpåverkan samt underhåll, dock är detta förhållandevis dyrare.

#### *Produktion*

En samverkansbro medför ofta en kort byggtid eftersom balkarna kan prefabriceras och sedan transporteras till byggplatsen (Trafikverket, 2022a). Initialt skulle de tre mittstöden kunna byggas nere i dalen, formsättas med exempelvis en systemanpassad klätterform och platsgjutas. Balkarna kan monteras med hjälp av en kran som lyfter dem på plats. Därefter kan brobanaplattan gjutas med hjälp av exempelvis en formvagn för att undvika att uppföra en temporär volymställning nere i dalen. Montaget och gjutningen av brobanan kan med enkelhet ske från det ena landfästet till det andra, alternativt att bygget sker från två sidor samtidigt och möts i mitten.

För denna produktionsmetod krävs att man bygger temporära vägar ner i dalen för att kunna leverera material och formsjok. Det krävs också att det finns möjlighet för kranuppställning och eventuellt materialupplag. Det kan även behövas en temporär bro över Storån för att förenkla transporter under byggtiden.

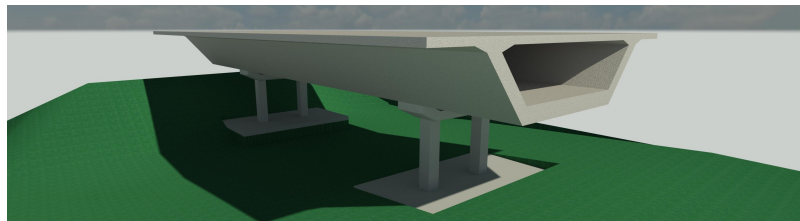
#### *Förvaltning och underhåll*

Materialen i sig kräver inspektioner och underhåll som beskrivs mer grundligt i kapitel 3.4.4. Stålet behöver

kontinuerlig målning och betongens täcksikt behöver vara intakt för att undvika korrosion. Farbanan och kantbalkar ska impregneras för att undvika inträngning av tölsalter. Eftersom en balkbro är fritt upplagd vid ändstöd och möjligen även vid mellanstöd tillkommer övergångskonstruktioner och lager. Dessa är underhållskrävande detaljer som ofta kräver reparationer och utbyten (Nilsson, 2018). Utöver ovannämnda underhålls aspekter innefattar inte balkbron speciellt många detaljer och risken för extra underhåll kan bedömas vara minimal (J.Sandberg, personlig kommunikation, 24 februari, 2022).

### 5.1.2 Brokoncept 2 - Lådbalkbro i betong

Lådbalkbron består av en lådbalk och farbaneplatta i betong, se figur 3 för konceptbild. Bron utförs med två mittstöd, se bilaga 1 för stödplacering.



Figur 3: Konceptbild, brokoncept 2

#### *Beställare/konstruktion*

Denna bro är effektiv ur konstruktionssynpunkt då lådbalken ger den en hög vridstyvhet. Betong har dock relativt hög miljöpåverkan, på grund av att det går åt mycket energi vid tillverkning (Trafikverket, 2022a). Detta är en nackdel för detta brokoncept eftersom det endast innefattar betong. Däremot är betongbroar beständiga konstruktioner som har lång livslängd vilket är ekonomiskt fördelaktigt. Det går även att återvinna materialet vilket är positivt ur miljösynpunkt.

#### *Produktion*

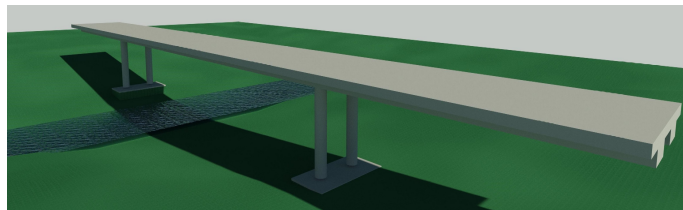
Lådbalkbron kan produceras med prefabricerade element, som levereras till arbetsplatsen från fabrik. Samma typer av temporära konstruktioner och vägar nere i dalen krävs som för brokoncept 1. Produktionen kan också börja med platsgjutning av mittstöden. Eftersom den endast innefattar två stöd minskar produktionstiden samt påverkan på dalen något vid jämförelse med brokoncept 1. De prefabricerade elementen kan sedan lyftas på plats med en kran. Elementen kommer dock väga mer än stålbalkarna i samverkansbron. Detta kräver således en tyngre kran som temporära vägar och uppställningsplats behöver dimensioneras för. Temporär grundläggning kan behöva utföras.

#### *Förvaltning och underhåll*

Bron består till mestadels av betong och som tidigare nämnts krävs inspektioner och underhåll för att materialet ska behålla sin funktion. Brobaneplattan behöver täcksikt samt impregnering som behöver underhållas. Lager, övergångskonstruktioner och brostöd kräver inspektioner och underhåll likt brokoncept 1. Vid invändiga utrymmen, som i detta fall en lådbalk, ställs även speciella utrymmeskrav för inspekterbarhet beskrivna i kapitel 3.3.3. Brotypen innefattar inte speciellt mycket detaljer vilket är fördelaktigt ur underhållssynpunkt.

### 5.1.3 Brokoncept 3 - Samverkansbro med lådbalk

Det tredje brokonceptet är en samverkansbro med lådbalk i stål och farbana i betong, se figur 4 för konceptbild. Den utförs med två mittstöd, med stödplacering enligt bilaga 1.



**Figur 4:** *Konceptbild, brokoncept 3*

#### *Beställare/konstruktion*

Fördelen med en samverkansbro med lådkonstruktion är den höga vridstyvheten (Trafikverket, 2022a). Vridstyvheten hos en sådan konstruktion kan visa sig behändig då bron ligger i en kurva, vilket är fallet för detta projekt.

#### *Produktion*

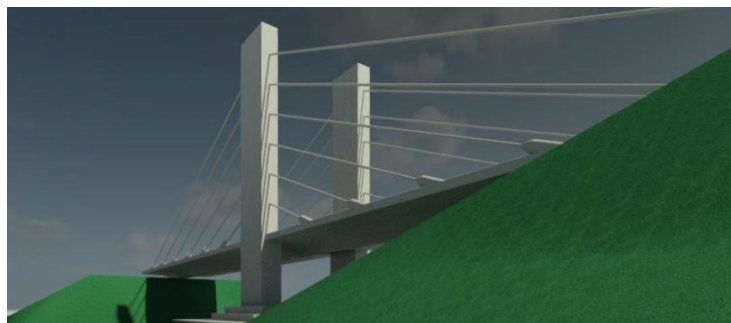
Denna brotypen kan tillverkas på ena sidan av bron och därefter lanseras ut på plats. Samverkan mellan ställådbalkarna och den överliggande betongplattan uppnås genom till exempel förankringsbyglar eller studs som förankras i stålbalken och gjuts in i betongen (Trafikverket, 2022a). Den här byggmetoden kan medföra en relativt kort byggtid och liten påverkan nere i dalen. Temporära konstruktioner krävs likt tidigare förslag för att kunna bygga stöden nere i dalen. Stöden kan även här gjutas etappvis med hjälp av en klätterform.

#### *Förvaltning och underhåll*

Eftersom denna brotypen består av både stål och betong behöver båda materialen underhållas på de sätt som nämns i kapitel 3.3. Därmed är det viktigt att betongen kontrolleras för att undvika möjlig sprickbildning, samt att lådbalken i stål ommålas för att undvika korrosion. Vid utformning av lådbalkbroar ställs särskilda krav för inspektion, som presenteras i delkapitel 3.3.3. Utöver detta bedöms samverkansbro med lådbalk ha minimalt med risker eftersom de kritiska punkterna är få och det finns inte mycket kopplingspunkter mellan brodelarna (J.Sandberg, personlig kommunikation, 24 februari, 2022). På samma sätt som brokoncept ett och tre, krävs det att bron underhålls för lager och övergångskonstruktioner.

#### **5.1.4 Brokoncept 4 - Snedkabelbro med samverkanskonstruktion**

Brokoncept fyra är en snedkabelbro i samverkanskonstruktion med balkar i stål och brobaneplatta i betong, se figur 5 för konceptbild. Denna innefattar ett mittstöd med två spann på cirka 70m vardera, se stödplacering enligt bilaga 1.



**Figur 5:** *Konceptbild, brokoncept 4*

### Beställare/konstruktion

En snedkabelbro har ett verkningssätt som baseras på snett löpande kablar som fäster i en pylon och lyfter brobanan. Då kablarna är monterade i en vinkel mellan brobana och pylonen uppstår en horisontell kraftkomponent som tas upp i brobanan. Det innebär att brobanan måste vara kraftigare än andra kabelbroar som till exempel hängbroar. Under byggskedet av en denna bron är brobanans sidostyvhet en begränsande faktor. Detta beror på att byggnationen av brobanan startar vid pylonen och jobbar sig utåt mot ändstöden. Innan brobanan är färdigställd kommer den att kraga ut som en konsol vilket kräver en viss styvhet.

Pylonerna i en snedkabelkonstruktion utsätts för stora tryckkrafter (Trafikverket, 2014). Detta leder till att dimensionen på dessa blir stora. Detta leder i sin tur till stor materialanvändning och därmed miljöpåverkan. Pylonen i detta fall tillverkas i betong, ett material som är beständigt men klimatintensivt i tillverkningen (Trafikverket, 2022a). Valet av en brobana med samverkan mellan stål och betong kan bidra till att minska miljöpåverkan från material. För att gynna trafikanter bör utformningen av kabelförankringar göras på ett sådant sätt att kablar kan bytas ut utan trafiken stängs av (Trafikverket, 2022a).

### Produktion

En snedkabelbro kan produceras genom att pylonen gjuts på plats. Därefter kan brobanan byggas ut från pylonen mot ändstöden genom att kraga ut som konsoler (Trafikverket, 2022a). Snedkablar förankras i pylonen och i brobanedäcket kontinuerligt. Brofarbanan kommer bestå av bland annat stålbalkar som kan prefabriceras. Dessa samverkar med en platsgjuten betongfarbana med hjälp av studs. För broförslaget kan det behöva anläggas temporära vägar för att köra till exempel lyftkranar och annan nödvändig utrustning för byggnationen. För denna typ av bro behövs ingen byggställning då produktionsarbetet sker från pylonen och ut, och brobanan hänger ut som en konsol. Detta kan medföra att en temporär bro över Storån undviks.

### Förvaltning och underhåll

Brons material måste underhållas samt kontrolleras enligt den informationen som tidigare presenterats i kapitel 3.3, för både stål och betong. För snedkabelbron utgör kablarna en detalj och är därmed en kritisk punkt som behöver tas hänsyn till vid inspektion och underhåll (J.Sandberg, personlig kommunikation, 24 februari, 2022). Om kablarna skulle bli defekta behöver de kunna bytas ut utan att störa omgivande trafik (Trafikverket, 2022a). Kablarna behöver också ha ett korrosionsskydd samt ett påkörningsskydd (Vägverket, 2009). Skyddet kan framställas i form av stålrör med en godstjocklek om minst 6 mm, där röret är både ventilerat och dränerat. Avståndet mellan kabeln och röret behöver vara minst 50 mm. Detta utgör också en detalj och är därmed en underhållskrävande del. Även för denna brotyp krävs troligtvis lager och övergångskonstruktioner för att tillåta rörelser i konstruktionen.

## 5.2 Viktning av utvärderingskriterierna

De framtagna urvalskriterierna i kapitel 4.2 viktades här mot varandra. Det kriterium som ansågs väga tyngre än det andra tilldelas en etta och det andra fick en nolla. Varje kriteriums totalpoäng översattes sedan till en procentandel som definierar hur betydelsefullt varje kriterium ansågs vara för byggnation och drift av bron. Resultatet av viktningen visas i figur 6.

Område	Utvärderingskriterie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Poäng	Viktning
Konstruktion	1 Miljöpåverkan från material	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3	9.38%
	2 Landskapsanpassning	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3.13%
	3 Innovation/estetisk gestaltning	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	12.50%
	4 Ekonomi	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3.13%
Produktion	5 Produktionstid	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3.13%
	6 Metod	1	0	1	1	1	0	1	0	0	5	15.63%
	7 Arbetsmiljö och säkerhet	1	0	1	1	1	1	1	1	0	6	18.75%
Underhåll	8 Inspekterbarhet och underhållsmöjlighet	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4	12.50%
	9 Beständighet	1	0	1	1	1	1	1	1	1	7	21.88%
Summa:											32	100.00%

Figur 6: Viktningsmatris

### 5.3 Urval av slutligt brokoncept

De fyra utvalda brokoncepten jämfördes här mot varandra för att kunna ta fram ett slutgiltigt. Processen gick ut på att varje brotyp tilldelades poäng från 1-5 i hur väl det uppfyllde ett visst kriterium. Denna poäng multiplicerades sedan med viktningensprocenten från figur 6. Därefter summerades alla poäng för vardera koncept och det med flest blev det vinnande förslaget. Resultatet av urvalet visas i figur 7.

Brotyp	Kriterier:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Bro 1 Samverkansbro med balkar i stål		3	4	1	4	3	5	3	4	3	3.25
Bro 2 Lådbalkbro i betong		1	3	1	3	4	3	4	3	4	3
Bro 3 Samverkan med lådbalk		3	3	1	4	4	4	3	3	3	2.96875
Bro 4 Snedkabelbro med samverkanskonstruktion		4	4	5	2	4	5	3	2	2	3.34375

**Figur 7:** Urvalsmatris. Poängskalan är följande: 1-underkänd, 2-oduglig, 3-godtagbart, 4-bra, 5-utmärkt.

När det gäller miljöpåverkan av material bedömdes det att snedkabelbron var det mest fördelaktiga alternativet. Detta för att betongåtgången blir låg, i jämförelse med resterande, då den endast har ett brostöd samt görs i en samverkanskonstruktion. Detta bedöms medföra mindre materialanvändning till skillnad från samverkansbroarna och lådbalkbron. Angående landskapsanpassning fick snedkabelbron och samverkansbron med balkar i stål samma betyg. Detta för att dem båda ger ett slankt intryck i och med balkarna, vilket passar in i den tänkta miljön. För snedkabelbron var motiveringen också att den endast har ett brostöd, vilket inte inkräktar speciellt mycket på dalen genom att tillåta mycket fritt utrymme undertill. Lådbalkbron i betong och samverkansbron med lådbalk fick båda sämre poäng då deras konstruktioner är kraftigare.

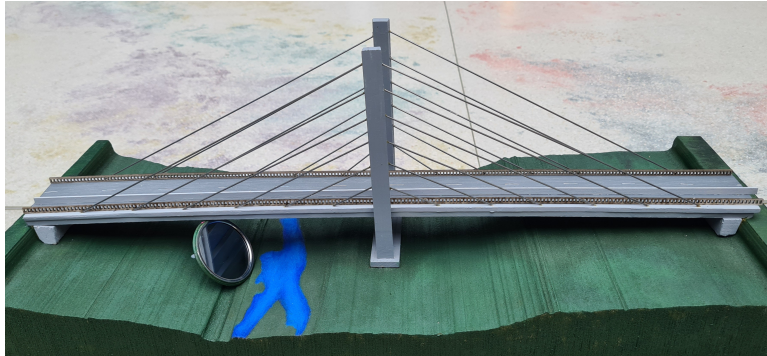
Gällande estetisk gestaltning tilldelades snedkabelbron högst betyg eftersom den är mer detaljrik och ståtlig, vilket ansågs mer tilltalande. Brokoncept 1 och 3 gavs högst betyg när det gällde ekonomin. Detta eftersom båda är samverkanskonstruktioner med 2-3 stöd. För det första är samverkanskonstruktioner mer materialeffektiva än konstruktioner som endast består av betong. För det andra kan fler brostöd och alltså kortare spannlängd också vara mer ekonomiskt gynnsamt (Trafikverket, 2022a). Snedkabelbron fick sämst betyg, eftersom detaljerna bidrar till större kostnader vid produktion samt underhåll. Angående produktionstid bedömdes brokoncept 1 vara sämst, då det kräver mer arbete på plats än för de övriga brotyperna där det går att prefabricera fler element. Brokoncept 1 och 4 fick bäst betyg i metod”, då de anses störa miljön, nere i dalen, minst under byggnationen. För arbetsmiljö och säkerhet fick lådbalkbron högst poäng eftersom den medför mycket prefabricerade element vilket leder till att exempelvis armeringsarbeten undviks.

För inspekterbarhet och underhållsmöjlighet bedömdes snedkabelbron vara sämst, då de extra detaljerna bidrar till ökat underhåll och försvårad inspektion. Broarna med lådbalk fick något högre då de är lättare att underhålla, men kommer ge mer omfattande inspektioner då lådan behöver inspekteras även inuti. Brokoncept 1 fick alltså högst betyg när det gäller inspekterbarhet. Ur en beständighetsynpunkt fick lådbalkbron i betong högst betyg då den endast består av ett material och saknar detaljrika delar. Snedkabelbron fick sämst betyg då den innefattar många komponenter och kopplingspunkter, detta ökar risken för beständighetsproblem och därmed underhållsarbeten. Brokoncept 1 och 3 består av två material och kommer behöva underhållas för båda sa behålla sin funktion. Dock har de inte lika mycket detaljer som snedkabelbron, därav betyget.

Efter att poängen summerats visade det sig att snedkabelbron fick högst poäng och resulterade därmed i det slutliga brokonceptet.

## 6 Presentation av valt brokoncept

Utifrån de genomförda urvalsprocesserna blev det slutgiltiga brokonceptet en snedkabelbro med en brobaneplatta i samverkan mellan stål och betong. Se figur 8 för bild på en modell av den tänkta bron. För att få en bättre inblick i den valda brotypen följer en fördjupad beskrivning av de valda konceptet inom områdena konstruktion, produktion och förvaltning.

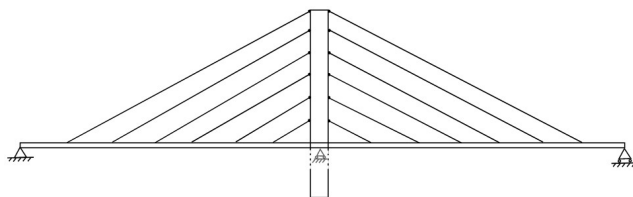


Figur 8: Bild av bromodell

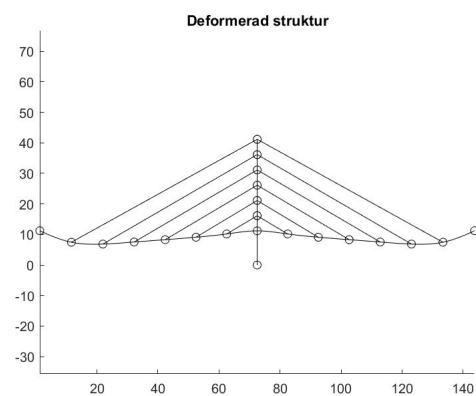
### 6.1 Konstruktion

Här redovisas utformningen av brokonceptet med en preliminär beräkningsmodell, samt vilka komponenter som ingår i konstruktionen. Verknings sättet för den valda bron fungerar så att den huvudsakliga lasten verkar på farbanan, vars upplag vilar på landändarna samt stöds upp på pylonen i mitten. Utmed bron är farbanan upphängd i kablar som för lasterna till pylonen som i sin tur leder dem ned till grundläggningen. Det uppstår även tryckkrafter i farbanan som beror av att kablarna är infästa med en vinkel. Dessa tryckkrafter tas upp av avstyvningsbalkar i längsled under brobaneplattan.

I figur 9 visas en principiell skiss över systemet med antagna upplag och randvillkor. En illustration över hur strukturen deformeras vid jämnt utbredd last över hela farbanan finns i figur 10.



Figur 9: Övergripande systemmodell



Figur 10: Deformationsbeteende

#### Pylon

Bron ska konstrueras med en pylon med två symmetriska pylonben bestående av betong. Dessa placeras längs kanterna av brodäcket med en sammanbindande tvärbalk mellan dem. Höjden på pylonen väljs

utifrån beräkningar i ett senare skede. Den vinkel som vanligtvis rekommenderas för kablarna är runt 45 grader (Trafikverket, 2022a). För att uppnå proportioner som blir estetiskt tilltalande för den aktuella bron eftersträvas dock en mindre vinkel. För att nå en kompromiss mellan effektivitet och estetik itereras en lösning fram senare i dimensioneringsprocessen.

### **Kablar**

Kablarna konstrueras av stål, samt placeras parallellt och symmetriskt på vardera sida om pylonen. Detta är fördelaktigt då dragkrafterna från bronns egenvikt fördelas jämnt i alla kablar, vilket bidrar till att pylonen inte böjbelastas (Asp m. fl., 2020). Kablarna fästs ledat inspänt i pylonen.

### **Längsgående och tvärgående balkar**

Brobanan utformas som en samverkanskonstruktion med en farbana i betong och stålbalkar undertill. Det är balkarna som främst kommer att bidra till vrid- och böjstyvhet. Balkkonfigurationen kommer att innefatta två längsgående I-balkar samt ett antal transversella I-balkar som svetsas samman. Båda består av materialet stål. Balkarna fästs i betongplattan genom ditsvetsade studs som gjuts in i betongen. Tjockleken av betongplattan antogs till 0.6 m utifrån riktvärden givna av handledare på COWI.

#### **6.1.1 Konstruktionsrisker**

Kablarna kan utgöra en påkörningsrisk, som måste beaktas i dimensioneringen. Det finns även en risk i om en eller flera av kablarna skulle brista, vilket i så fall sänker styvheten och bärförmågan hos konstruktionen. I värsta fall kan detta leda till att bron går sönder. Snedkabelbron kommer dock att dimensioneras för denna risk med fler kablar än nödvändigt. Detta möjliggör också utbyte av kablar vid behov.

## **6.2 Produktion**

I detta kapitel redovisas en preliminär produktionsmetod och produktionsordning för hur bron uppförs samt vilka risker som kan uppkomma under produktionskedet.

### **6.2.1 Grundläggning**

Utifrån markförhållandena i dalen kommer grundläggningen av bottenplattor utföras med pålar. Prefabricerade spetsbärande betongpålar slås ner till berg för att grundlägga bottenplatta för pylon och ändstöd. Då pylonen gjuts in i bottenplattan antas den vara fast inspänd och pålarna behöver därmed kunna ta upp de moment och horisontella krafter som uppstår på bron. För att föra ner dessa krafter slås pålarna både i vertikal och sned riktning.

### **6.2.2 Produktionsmetod**

Produktionen för bron föreslås starta med att man anlägger en temporär väg nere i dalen. Den temporära vägen kommer att behöva klara tyngden för pålkranen och eventuella leveranser under byggskedet. Upplagsytor för material väljs i enlighet med godkända ytor från vägplanen. Förslag är att starta med grundläggningen av bottenplattan vid pylon och därefter vid ändstöden. Sedan kan gjutning av bottenplattor, pylon och landfästen göras.

När pylonen är färdigställd kan brobanan byggas. Denna byggs från pylonen ut mot ändstöden och kablarna monteras löpande för att hålla upp vikten av varje brobanelement. För att undvika olämpliga momentkrafter under byggtiden byggs brobanan ut symmetriskt på varje sida om pylonen. Elementen kan lyftas upp med kran och kranen kan eventuellt även monteras ovanpå färdigbyggd brobana för att hjälpa till under nästa etapp. När bron har nått sina ändstöd på båda sidor kan asfaltsbeläggning och tätskikt läggas på brobanan samt trafikräcke kan monteras.

### 6.2.3 Produktionsrisker

Risker som kan uppkomma vid produktion av snedkabelbron är bland annat att framställningen gör för stort avtryck i naturen eftersom att man börjar bygga från mitten. För att undvika detta är det viktigt att produktionen håller sig till att endast ockupera de givna områdena och lämna resten av dalen så ostörd som möjligt. Förhoppningen med denna produktionsmetod är att inga vattenarbeten ska behöva utföras vilket minskar en stor del av miljömässiga och ekonomiska risker kopplade till vattenarbeten.

En annan typ av risker som kan uppkomma har anknytning till markförhållandena i dalen. När tunga lyft ska ske kan marken ge vika. För att undvika detta måste de temporära kranuppställningarna beräknas noggrant för att försäkras om att marken håller för de stora krafterna som uppkommer. Vidare kan det också uppstå risker kopplade till vattenhanteringen under byggskedet. När till exempel länshållning krävs är det viktigt att detta inte pumpas ut vart som helst då det finns risk att föroreningar sprids (COWI, 2021). En sedimentations- och reningsstation bör upprättas för att kringgå detta. Denna borde vara utrustad med vattenlarm för att undvika översvämningar.

## 6.3 Förvaltning och underhåll

Bron behöver inspekteras regelbundet för att vara brukbar under hela sin livslängd. Inspektioner utförs enligt beskrivning i kapitel 3.4.2 för att kontrollera dess funktion. Den valda snedkabelbron innefattar en del detaljrika komponenter som exempelvis hängablar och dess infästningar i pylon och platta. Detta är som nämnts kritiska delar ur en underhållssynpunkt. Andra exempel på detaljer är lager, övergångskonstruktioner samt räcken.

### 6.3.1 Underhållsplan

Snedkabelbrons pylon i betong behöver kontrolleras för sprickbildning och armeringskorrosion. Kablarna av stål inspekteras längs med, samt i infästning i pyloner och i platta för korrosion. Som tidigare nämnt behöver kablarna kunna bytas ut i händelse av att de blivit bristfälliga. Ett påkörningsskydd behöver också tillämpas och utgör därmed en detalj. Brobanepattan som delvis består av stålbalkar behöver målas regelbundet samt kontrolleras för att inte föroreningar och vatten ansamlas på dem. Betongplattan behöver ganskas för sprickbildning. Täcksikt skyddar underliggande konstruktion och förhindrar till exempel kloridinträngning men behöver bytas ut då och då. Brofarbanan behöver även impregneras med jämna mellanrum. Då bron är fritt upplagd i ändarna kan övergångskonstruktioner vara nödvändiga för att tillåta rörelse. Dessa kräver dock mycket underhåll med reparationer samt utbyten.

### 6.3.2 Åtgärder vid ökad trafiklast

Under brons livslängd kan det hända att en ökad trafiklast tillkommer vilket kräver att åtgärder tillämpas. Om sådana situationer skulle uppstå är det viktigt att konstruktionen förstärks för att kunna ta upp de ökade lasterna, vilket kan göras i efterhand. Ett förslag är att öka geometrin på balkarna för att öka böjstyvheten (M.Al-Emrani, personlig kommunikation, 21 mars 2022). I-balkarna kan modifieras genom att svetsa dit en påläggsplåt under och över flänsarna. Ytterligare ett alternativ är att addera flera stöd, detta minskar spännvidderna och därmed påverkan från moment och tvärkraft.

### 6.3.3 Underhållsrisker

Ur ett beständighetsperspektiv riskerar balkarna och kablarna av stål att brytas ner genom korrosion. Även betongplattan som utsätts för bland annat tölsalter riskerar armeringskorrosion vid sprickbildning. Att brotypen innefattar flera detaljer så som kablar, dess infästningar och räcken höjer sannolikheten för underhållsarbeten. Detta medför i sig risker kopplade till själva arbetet som oftast utförs samtidigt som bron är trafikerad.

## 7 Preliminär dimensionering

När brokonceptet valts och studerats gjordes en preliminär dimensionering av brons komponenter. Detta genomfördes genom att ett val av exempelvis antalet tvärbalkar och kablar gjordes för att sedan ta fram dimensioner iterativt genom kapacitetsberäkningar. Utformningen av bron har gjorts så en kabel på vardera sida brobanan fäster vid varje tvärbalk. Antalet tvärbalkar valdes till tolv stycken och antalet kablar resulterade då i 24 stycken. Centrumavståndet mellan kablarna på de längsgående balkarna blir då cirka 10,4m och de tvärgående balkarnas längd är lika med brobredden på 14,4m. Eftersom tvärbalkarna har ett längre fritt spann antas lasterna som verkar på plattan först ledas ut på de tvärgående balkarna genom plattverkan. Därefter leds lasterna till de längsgående balkarna och kablarna. Brofarbanans samt balkarnas egentygnd bärs upp av pylonen med hjälp av kablarna. Pylonen för sedan ner lasterna till grundläggningen tillsammans med sin egentygnd.

### 7.1 Laster och lastkombinationer

För dimensioneringen av bron har permanenta, variabla samt olyckslaster beaktats. Permanenta laster är de som verkar konstant på bron. De variabla lasterna kan variera i omfattning samt över tid och olyckslaster kan uppkomma plötsligt vid till exempel en påkörning av en konstruktionsdel.

#### 7.1.1 Permanenta laster

Permanent laster som verkar på bron är egentygnderna från konstruktionens element. Komponenter som tas hänsyn till vid beräkning av egenvikten är längsgående balkar, tvärgående balkar, betongplatta, kantbalkar och asfaltsbeläggningen. Egentygnden från kablarna och infästningar i balkarna försummas. Tungheter som används i beräkningarna hämtas ur dokumentet bärighetsberäkningar av broar (Trafikverket, 2020a), och presenteras i tabell 3.

**Tabell 3:** *Egentynder för materialen*

Material	Tunghet, $\gamma$
Armerad betong	25 kN/m <sup>3</sup>
Stål	78 kN/m <sup>3</sup>
Asfaltsbeläggning	22 kN/m <sup>3</sup>
Broräcke	0.5 kN/m

#### 7.1.2 Trafiklaster

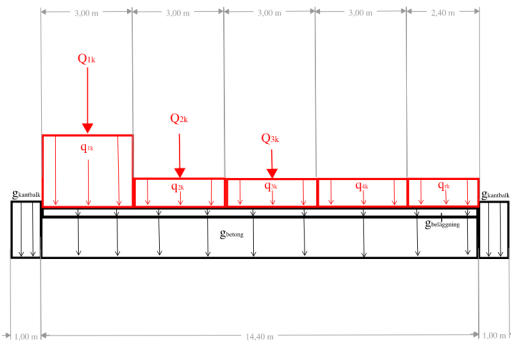
Den största variabla lasten bron kommer utsättas för är trafiklast. För att ta hänsyn till denna används lastmodellen LM1, enligt Eurocode SS-EN 1991-2:2003 (SIS, 2010a). Brons körbaneyta i tvärled delas upp i lastfält på tre meter vardera, enligt bärighetsberäkning av broar, vilket ger fyra lastfält samt 2,4 meter övrig yta (Trafikverket, 2020a).

Trafikens inverkan beräknas med hjälp av typfordon med standardvärden på laster som placeras i vardera lastfält. Värden för lasterna hämtas ur SS-EN 1991-2:2003 tabell 4.2 (SIS, 2010a). Dessa värden multipliceras med en nationell anpassningsfaktor för trafiklast,  $\alpha$ , som anges i TRVFS 2011:11 (Trafikverket, 2011a). Då bronns spännvidd överstiger tio meter används, istället för boggilast, en enaxlig koncentrerad last som är lika stor som lasten i båda axlarna från boggisystemet i enlighet med standarden. Typlasterna som använts enligt LM1 presenteras i nedanstående tabell 4.

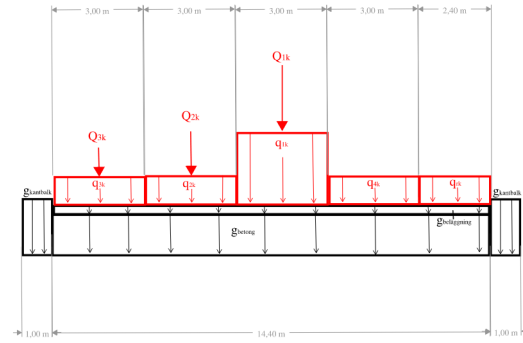
Tabell 4: Värden på trafiklaster

Lastfält	Punktlast, $Q_{ik}$ [kN]	Utbredd last, $q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\alpha_{Q_{ik}}$	$\alpha_{q_{ik}}$
1	600	9	0.9	0.8
2	400	2.5	0.9	1
3	200	2.5	0	1
4	0	2.5	0	1
Övrig yta	0	2.5	0	1

Vid dimensionering placeras lasterna på ett sätt som medför mest ogynnsam inverkan på konstruktionen. Då tvärbalken har längst spann mellan upplag anses den vara mest kritisk. Därmed placeras lasterna där för att få värsta fallet för moment, tvärkraft och nedböjning. För dimensionerande tvärkraft placeras lasterna enligt lastfall 1, se figur 11. För dimensionerande moment och nedböjning placeras lasterna enligt ett lastfall 2, se figur 12.

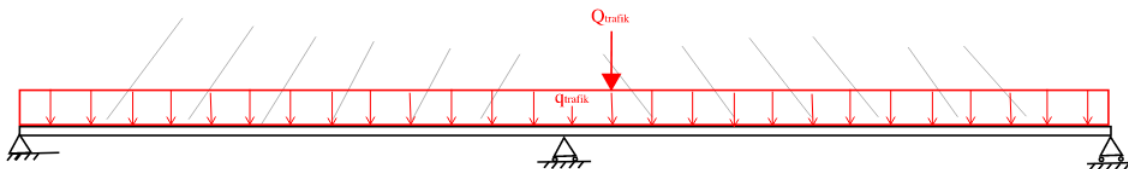


Figur 11: Lastfall 1, Tvärled



Figur 12: Lastfall 2, Tvärled

För dimensionerande normalkraft undersöks den längsgående balken, då den kommer att utsättas för betydande normalkrafter av kablarna. Dimensionerande normalkraft uppnås vid placering av en utbredd last längs hela bron samt en punktlast placerad i mitten av den längsgående balk som utsätts för störst normalkraft av kablarna, se figur 13.



Figur 13: Lastfall 1, Längsgående

### 7.1.3 Vindlast

Vindlast bör tas hänsyn till vid dimensioneringen, särskilt för snedkabelbroar (Trafikverket, 2022a). Beräkningarna har utförts enligt Eurocode SS-EN 1991-4:2005 med antagandet att vindlasten verkar som en punktlast (SIS, 2005). För att kunna utföra beräkningarna antas området likna terrängtyp II. Ett medelvärde på

referenshastigheten i området har valts till 24 m/s (Boverket, 2022). Med den informationen samlad utfördes beräkningarna för vindlasten på pylonen. Lasten antas ligga på mitten av pylonen. Se bilaga 11 för beräkning.

#### 7.1.4 Olyckslast

För snedkabelbroar är det viktigt att ta hänsyn till olyckslaster. Den typen av olyckslast som har beaktats är fallet då en kabel brister. Till följd av detta försvinner också bärligheten hos den anslutande tvärbalken. Den längsgående balken ska därmed kunna bära de dimensionerande lasterna över den dubbla spännvidden. För att utföra beräkningarna används flytledsteori. Beräkningsmodellen finns beskriven i bilaga 12 och 13 där stöden representerar kabelinfästningar. I mittspannet finns det en utbredd last som representerar egentygden och den utbredda trafiklasten. Det finns också en punktlast. Mittspannet representerar den förlängda spännvidden efter kabelbrottet. Det plastiska momentet beräknas i enighet med Bilaga 12. Beräkningarna visar att bron håller för olycksfallet.

#### 7.1.5 Temperaturlaster

Ytterligare variabla laster som konstruktionen utsätts för är tvångslaster vid temperaturförändringar. En överslagsberäkning (se Matlab kod i bilaga 14) av de längsgående och tvärgående stålbalkarnas längdförändring har gjorts vid extremiteter. Detta för att få en uppfattning om maximal temperaturutvidgning vilken blir dimensionerande för lager och övergångskonstruktioner. En förenkling har gjorts genom att endast kolla på stålbalkarnas längdförändring och inte på betongplattan eller på samverkanskonstruktionen som en enhet.

Enligt SS-EN 1991-1-5 ska, vid temperaturpåverkansberäkningar, maximal lufttemperatur väljas utifrån en sannolikhetsbedömning. Sannolikheten syftar till att den valda temperaturen överskrider en gång per år under en timma med 2% sannolikhet (SIS, 2003). Minsta temperatur väljs på samma sätt som ovan. Enligt TRVFS 2011:12, bilaga 2, tabell 2a, i Söderköpings kommun, fås  $T_{max} = 36[^\circ C]$  och  $T_{min} = -32[^\circ C]$  (Trafikverket, 2011a). Längdutvidningskoefficienten för stål är hämtad ur Bärande konstruktioner del 1 och är  $12 \cdot 10^{-6} [1/K]$  (Al-Emrani m. fl., 2018).

Beräkningarna resulterade i att den längsgående balken kan få en längdförändring på max 118,3mm och den tvärgående balken på max 8,5mm.

#### 7.1.6 Lastkombinationer

För att kontrollera brons kapacitet används olika lastkombinationer för brotts- respektive bruksgränstillstånd. Värdena på olika lastreduktionstal som används,  $\psi_i$ , fås från SS-EN 1990 (SIS, 2010b), tabell A2.1 s.58 och presenteras i tabell 5.

**Tabell 5:** Lastreduktionstal

Last	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Boggi-system	0.75	0.75	0
Utbredd last	0.4	0.4	0

För lastkombination vid beräkningar i brottsgränstillstånd används uttrycken 6.10a) och 6.10b) hämtade ur SS-EN 1990 (SIS, 2010b), presenterade som ekvation 1 och 2 nedan. Det av uttrycken som medför mest ogynnsam effekt blir dimensionerande i brottsgränstillstånd.

$$\sum \gamma_d 1.35 G_{kj, sup} + \gamma_d 1.5 \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_d 1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

$$\sum \gamma_d \xi_j 1.35 G_{kj, sup} + \gamma_d 1.5 Q_{k,1} + \sum \gamma_d 1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

Då bron är klassad enligt säkerhetsklass 3 fås, enligt TRVFS 2011:12 kap. 1.11, att partialkoefficienten  $\gamma_d = 1$  och kan därmed bortses från i beräkningarna (Transportstyrelsen, 2008). Från beräkningar i bilaga 5 fastställs att uttrycket 6.10b) blir dimensionerande lastkombination i brottsgränstillstånd.

I bruksgränstillstånd beaktas uttryck för karaktäristisk-, frekvent-, och kvasipermanent lastkombination i enlighet med SS-EN 1990 (SIS, 2010b). Lasterna kombineras för karaktäristisk lastkombination enligt ekvation 6.14, frekvent lastkombination enligt ekvation 6.15 och den kvasipermanenta enligt ekvation 6.16 i standarden, se tabell 6 där de numreras som ekvation 3, 4 och 5.

**Tabell 6:** Lastkombinationer i bruksgränstillstånd

Karaktäristisk	Frekvent	Kvasipermanent
$\sum G_{kj,sup} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (3)	$\sum G_{kj,sup} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ (4)	$\sum G_{kj,sup} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ (5)

## 7.2 Dimensionering av element

Dimensioneringsprocessen tillämpar de förutsättningar och laster som tagits fram. Genom en iterativ process kapacitetskontrolleras dimensionerna för olika element. Matlab koderna för många av beräkningarna använder sig av CALFEM funktioner som finns beskrivna i CALFEM manualen (Austrell m. fl., 2004).

### 7.2.1 Balkar

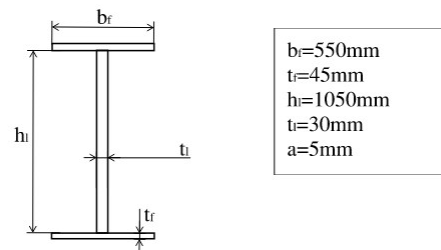
Vid dimensionering av stålbalkarna under brobanan kontrolleras de balkar som blir mest utsatta för laster, det vill säga i detta fall tvärbalkarna. Tvärbalkarna antas konservativt vara fritt upplagda. Betongplattan ovanpå antas också vara fritt upplagd och därmed tas ingen hänsyn till samverkan vid beräkningar.

Det värsta lastfallet för maximal tvärkraft respektive maximalt moment kontrolleras enligt bilaga 6 och 7. Dimensionerande värden för tvärbalk presenteras i tabell 7. Från detta fås dimensionerande värden på tvärkraft- och momentkrafter som balken kommer att behöva klara. Dimensionerande värde på nedböjning som balken behöver ta fås från SS-EN 1995-2 (SIS, 2009), och är balkens spännvidd dividerat med 400.

**Tabell 7:** Dimensionerande värden för tvärbalk

	Dimensionerande
Tvärkraft	2.9300MN
Moment	10.706MNm
Nedböjning	0.0348m

Balkens dimensioner granskas iterativt mot kraven. Det slutliga tvärsnittet får dimensioner enligt figur 14.



**Figur 14:** Slutligt balktvärsnitt

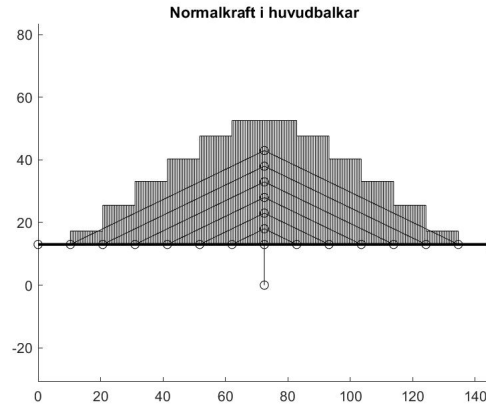
Vid beräkningarna kontrolleras balkens kapacitet mot de framtagna dimensionerna från bilaga 6 och 7. Balkens tvärkraftskapacitet, momentkapacitet samt interaktionen mellan dessa kontrolleras med lastkombinationen för brottsgränstillstånd i bilaga 9. Nedböjningen kontrolleras mot frekvent lastkombination i bruksgränstillstånd i bilaga 8, i enlighet med Krav Brobyggnad kapitel B.3.4.2 (Trafikverket, 2022b). Nedböjningskravet blir det dimensionerande.

Med det aktuella tvärsnittet blir utnyttjandegraden för de tvärgående balkarna 30.51% i tvärkraftskapacitet, 68.79% i momentkapacitet och 96.6% i nedböjning.

En kontroll av kapaciteten för tvärbalkens halssvetsar mellan liv och fläns har gjorts i bilaga 10. I svetsen uppstår både vinkelräta normal- och skjuvspänningar över hela balken samt parallella skjuvspänningar vid upplagen. Den vinkelräta normalspänningen samt den resulterande ekvivalenta spänningen som uppstår i svetsen uppfyller kravet enligt Eurocode 3 (Al-Emrani m. fl., 2018). De längsgående och tvärgående balkarna kommer också vara sammanfogade med kälsvetsar vilka inte kontrolleras då svetsmaterialet antas vara starkare än stålmaterialet.

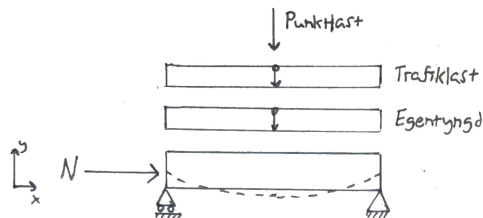
Eftersom att kapaciteten är tillräcklig för balkarna i tvärled för moment, tvärkraft och nedböjning kommer den också att vara uppfylld för balkarna längsled där spännvidden är kortare. Dock blir normalkraftsbuckling en dimensionerande faktor för de längsgående balkarna på grund av de horisontella kabelkrafterna som tas upp i brobanan.

För att sedan hitta den lastkombination som gav störst normalkraft i de längsgående balkarna testades olika placeringar av den utbredda trafiklasten och punktlasten. Beräkningar av dimensionerande normalkraft utfördes i Matlab med hjälp av CALFEM funktioner (Austrell m. fl., 2004). Beräkningarna återfinns i bilaga 4. Den lastkombination som gav störst normalkraft var utbredd last över hela bron samt en punktlast i mitten. En plot över normalkraften längs huvudbalkarna visas i figur 15.

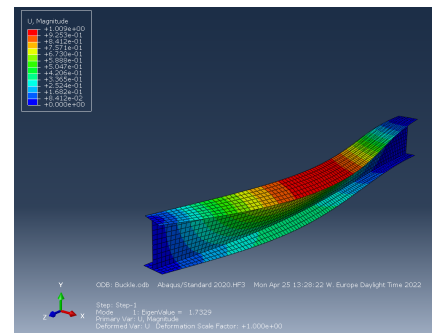


Figur 15: Normalkraftfördelning i huvudbalkarna för värsta lastfallet

De balkar som är mest utsatta för normalkraft är de som löper mellan pylonen och de kabelinfästningar på närmst avstånd från pylonen. En schematisk bild över hur upplagsvillkoren och lasterna valts för knäckningskontrollen av balkarna kan ses i figur 16. Instabilitetsanalysen utfördes i finita element - programvaran ABAQUS. En bild på första bucklingsmoden finns i figur 17. Resultatet av analysen var ett egenvärde, och därmed säkerhetsfaktor på 1.7329.



Figur 16: Beräkningsmodell, bucklingsanalys



Figur 17: FEM-analys, buckling

### 7.2.2 Kablar

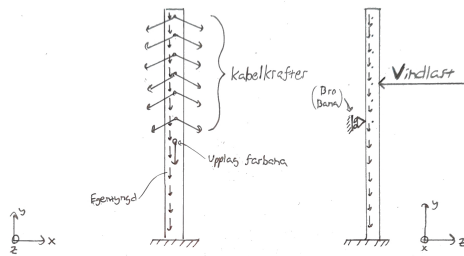
För att ge en preliminär dimension på kablarna användes Matlab koden enligt bilaga 4. Den utbredda lasten samt punktlasten placerades på olika positioner för att finna den kombination som gav högst spänning i någon kabel. Bortsett från kravet på spänning i kablarna ställs också krav på maximal nedböjning av brobanan, något som kabeldimension har betydande påverkan på. För att hitta en kabeldimension som både tillgodoser kravet på maximal nedböjning och kravet på maximal spänning itererades en kabeldiameter fram. Detta gav en preliminär dimension med  $radie = 0.125[m]$ . Med dessa preliminära dimensioner av balkar, pyloner och kablar uppnås en maximal nedböjning på  $0.1614[m]$ . Utnyttjandegraden av stålkablarna i förhållande till stålets plasticeringsspänning är 24%. Värt att tillägga är att nedböjningen är den dimensionerande faktorn för kablarna, inte spänningen.

### 7.2.3 Pylon

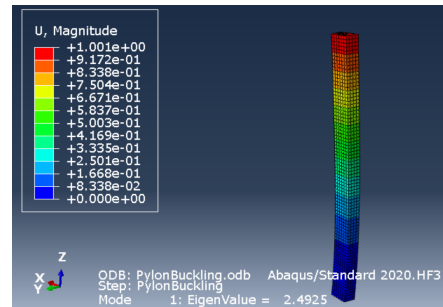
Vid valet av utformning på pylonen kom totalhöjd, och därmed kabelvinkel att spela stor roll. Vid en lägre pylonhöjd uppstår större kraftresultanter i horisontell riktning vilket bidrar till stora normalkrafter i huvudbalkarna. Maximal nedböjning blir också ett problem vid minskad pylonhöjd då de vertikala kraftkomponenterna

från kablarna minskar. En iterativ process användes för att hitta ett estetiskt tilltalande alternativ som samtidigt uppfyller krav på nedböjning och normalkraftsknäckning av brobanan. Den höjd som valts är 30 m ovanför farbanan med 5m avstånd mellan varje kabel.

För att kontrollera pylonen mot knäckning användes FE-programvaran Abaqus. De laster på pylonen som räknats fram med hjälp av koden  $TVA_D.m$  applicerades på modellen i Abaqus. Utöver dessa laster applicerades en vindlast från sidan. Detaljer om hur denna last togs fram finnes i kapitel 7.1.3. Lastfallet med jämt utbredd trafiklast över hela bron och punktlast vid pylonen valdes för att maximera normalkraften i pylonen. En schematisk bild över krafter och upplagsvillkor kan ses i figur 18. Analysen i Abaqus gav en säkerhetsfaktor på 2.4933. En bild på första bucklingsmoden kan ses i figur 19.



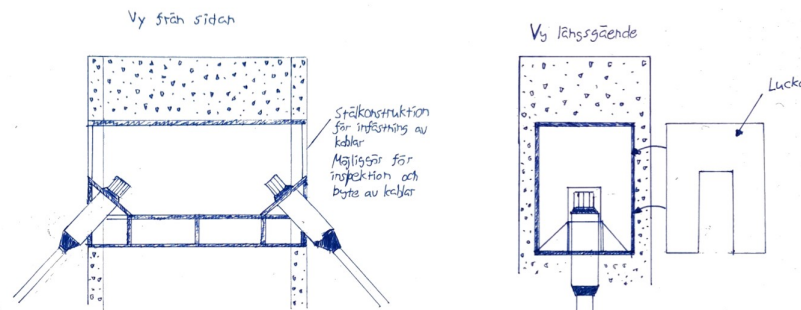
Figur 18: Beräkningsmodell, pylonknäckning



Figur 19: FEM-analys, pylonknäckning

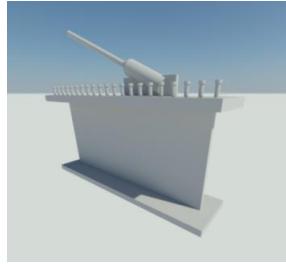
### 7.3 Detaljer

Anslutningen mellan kablarna och pylonen kommer att ske via en stålkonstruktion som gjuts in i betongen. Vidhäftningen mellan betongen och stålkonstruktionen kommer att uppnås via studs. En exempelritning över detta detaljförslag finns i figur 20.



Figur 20: Slutligt balktvärsnitt

Anslutningen mellan kablarna och de längsgående huvudbalkarna kommer att ske via stålkonstruktioner som svetsas på balkarnas övre flänsar. En del av dessa konstruktioner kommer efter montering att omslutas av den pågjutna farbanan i betong. En CAD-illustration av detta detaljförslag finns i figur 21.



**Figur 21:** Detalj, anslutning kablar med längsgående balkar

### 7.3.1 Lager och övergångskonstruktioner

För att tillåta rörelser i konstruktionen som uppkommer av temperaturrörelser, bromslaster och accelerationslaster användas lager för att undvika att tvångskrafter uppstår i längsled och tvärlid. Lagerplaceringen visas i figur 22 där brons överbyggnad är fast för rörelse i längsled vid mittstöd och utöver det tillåts rörelse i längsled vid båda landfästena. Detta utförs med allsidigt rörliga, ensidigt rörliga och fasta gummiplottlager. De är utformade med en sfärisk del som glider i en skål för att tillåta vinkeländringar och utformade med glidelement gör att göra horisontalrörelser möjliga (Trafikverket, 2022a). Ändstöden väljs till fristående landfästen där överbyggnaden ligger på lager på lagerpallen (Trafikverket, 2022a). Då rörelsefogar finns vid båda landfästena behövs också övergångskonstruktioner utformas mellan bron och den anslutande vägen.



**Figur 22:** Lagerplacering

Den längsgående balken kan få en maximal längdändring på 118,3mm på grund av temperaturförändringar. Detta resulterar i 59,15mm vid vardera broände. Övergångskonstruktion som väljs till vardera ende är en enspaltsfog som tillåter en rörelse av högst 90mm (Trafikverket, 2022a). Dessa är utformade med en gummi profiler fästa i randprofiler i stål som är fastgjutna i broändan samt i landfästet. Dessa är täta men måste underhållas genom rensning och spolning vid återkommande tillfällen.

## 8 Diskussion

Under arbetets gång har ett flertal olika antaganden och slutsatser dragits. I följande kapitel diskuteras och utvärderas dessa för att bedöma eventuell påverkan på rimligheten av resultat och slutsats.

### 8.1 Urvalsprocessen

I första urvalsprocessen valdes tio brokoncept ut som ansågs vara rimliga utifrån den aktuella platsens förutsättningar och den tidigare gjorda litteraturstudien. Dessa förslag framtagna i tidig del av processen kan ha medfört att andra tänkbara förslag bortsågs. Då inte heller någon geoteknisk undersökning hade utförts på platsen var det svårt att bedöma hur stor påverkan valet av antal brostöd hade medfört både kostnads- och arbetsinsatsmässigt. I en verklig konceptuell framtagning av broförslag är även de ekonomiska kriterierna och en given budget en avgörande beslutsfaktor. Då de ekonomiska aspekterna enbart bedömdes utifrån en övergripande rimlighetsgrad och ansågs vara svårbedömd aspekt i arbetet så viktades det kriteriet lägre än det sannolikt hade gjorts i verkligheten. Detta skulle i sin tur kunna vara en av anledningarna till varför den framtagna bron i vårt arbete inte speglar den i verkligheten framtagna bron för den givna dalen.

Det var också en utmaning att bedöma de olika kriteriernas betydelse för vardera bro. Exempelvis landskapsanpassning för de utvalda brokoncepten, som stod för vad som ansågs passa bäst in i dalen. Detta blev en subjektiv bedömning och då författarnas egna åsikter sannolikt inte speglar den generella befolkningens åsikter kan detta ha blivit missvisande. Estetisk gestaltning kan också den anses vara en subjektiv bedömning och eftersom gruppens målbild syftade till att sträva efter att uppföra ett landmärke för Söderköping viktade därför denna högt. Även exempelvis miljöpåverkan var svårt att bedöma för respektive brokoncept. Det baserades på grova antaganden om en förmodad mängd material som skulle gå åt för varje brotyp. I slutändan var skillnaden i resultat, för de olika broförslagen, i urvalsmatrisen såpass små att minimala ändringar i viktning och poängsättning hade medfört ett annat resultat.

### 8.2 Dimensioneringsprocessen

För att genomföra en preliminär dimensionering av det valda brokonceptet så gjordes flera antaganden och förenklingar. Framförallt har många konservativa antaganden gjorts, vilket kan leda till att delar av bron är överdimensionerade. Exempelvis antogs alla tvärbalkar vara fritt upplagda mellan stöd, när de i verkligheten hade varit fastsvetsade i de längsgående balkarna. Betongplattan har också antagits ligga fritt upplagd på stålbalkarna, när den egentligen samverkar med balkarna med hjälp av ingjutna studs. Betongplattan har inte heller gjorts några beräkningar på, utan tjockleken har atagits utifrån ett schablonvärde i samråd med COWI. En ytterligare förenkling som istället skulle kunna leda till en underdimensionering är att beräkningarna har utförts på en horisontell brobana, när den egentligen lutar med cirka 1% på delar av brobanan.

### 8.3 Använda källmaterial

Till informationshämtningen i rapporten har det eftersträvat att i första hand använda källor av god tillförlitlighet, exempelvis från Trafikverket och annan given referenslitteratur för projektet. I enstaka fall har dock information varit svåråtkomlig och då har andra källor, som från till exempel branchaktörer använts. Dessa kan anses partiska, vilket har tagits hänsyn till i vilken information som faktiskt hämtats. För att minimera risken för utdaterad information har endast källor som är nyare än 10 år strävat efter att användas. Källor som använts i dimensioneringsprocessen har framförallt varit läroböckerna Bärande konstruktioner del 1 och 2. De böckerna är skrivna baserat på gällande eurokoder och kan anses pålitliga. Dessutom har även rekommendationer och krav enligt Eurocode hämtats direkt från standarder.

Gruppen har deltagit i onlinekurser inom bland annat källkritik från Chalmers bibliotek. Detta har underlättat informationshämtningen då alla i gruppen har fått kunskap om källkritik, upphovsrätt samt generell akademisk hederlighet. Litteraturstöd har även tillhandahållits av fackspråkshandledare på Chalmers institutionsavdelning för fackspråk och kommunikation.

## 9 Slutsats

Examensarbetet har resulterat i ett broförslag som, utifrån den givna platsens förutsättningar och begränsningar, skulle vara ett fullt acceptabelt alternativ att bygga över Storån. Med hjälp av konceptuell design så valdes en snedkabelbro med ett mittstöd i mitten av dalen, med en spannlängd på cirka 70 meter. Bron har möjlighet att uppfylla alla krav som ställs på den utan att göra så stor påverkan i den naturkänsliga dalen, samtidigt som den är estetiskt tilltalande. Bilder på bromodellen syns i figur 23 och 24.

Förstudien har tagit hänsyn till konstruktions-, produktions- och underhållsaspekten för att få ett så bra förslag som möjligt. I en preliminär dimensionering så har sedan dimensioner för bland annat tvärgående och längsgående balkar, pyloner och kablar tagits fram. För att ytterligare utveckla konceptet från en preliminär dimensionering till en mer realistisk dimensionering bör man dels kolla på att optimera olika tvärsnitt av bärverket där utnyttjandegraden idag är låg, istället för att ha en och samma dimension på allt som i den givna dimensioneringen. En mer noggrann dimensionering bör räkna bort en del av förenklarna och också kontrollera för dynamiska laster som kan förekomma samt lastfall under byggtiden. Även olyckslasterna bör beräknas noggrannare.



**Figur 23:** Bild av bromodell från sidan



**Figur 24:** Bild av bromodell ovanifrån

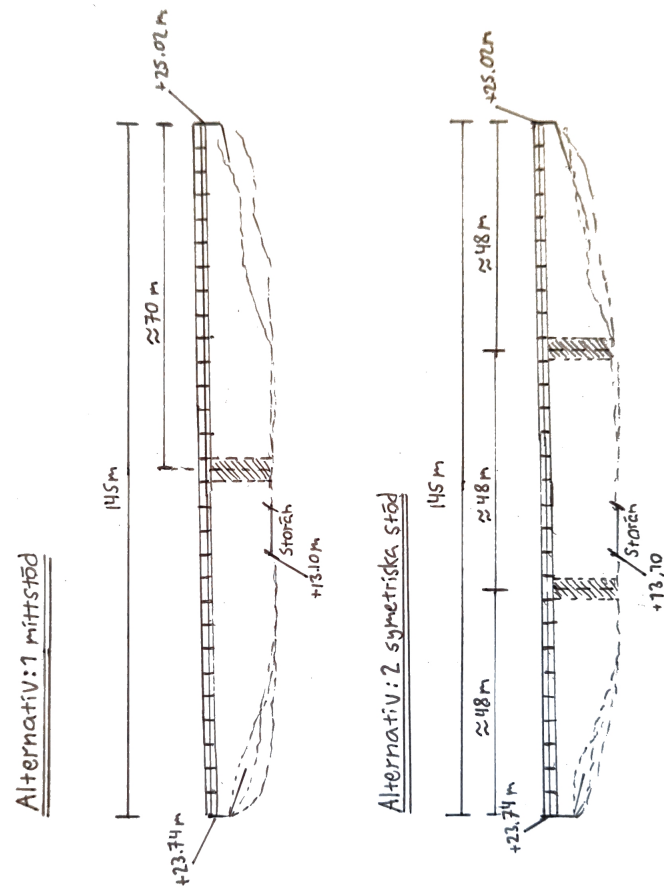
## Referenser

- Abelsson, B., Båge, P. & Westerlund, L. (1998). *Träbroar, ett alternativ till stål och betong*. Svenska kommunförbundet 1998.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2018). *Bärande konstruktioner*. Studentlitteratur.
- Andersson, R. (2021). *Betonghandbok material - del II*. Svensk byggtjänst.
- Asp, A., Olsson, F., Arm, M., Carlsson, F. & Teglund, S. (2020). *Tillgångsstrategi Bro*. Trafikverket. [https://viapm.se/assets/docs/tillgangsstrategi-bro-1.0.pdf?fbclid=IwAR2sC6Kp0WsxmFncKwKJXk\\_OBH1ZmAODBIGe\\_xz8-JiIdxlJOkF7H3WV\\_s](https://viapm.se/assets/docs/tillgangsstrategi-bro-1.0.pdf?fbclid=IwAR2sC6Kp0WsxmFncKwKJXk_OBH1ZmAODBIGe_xz8-JiIdxlJOkF7H3WV_s)
- Austrell, P.-E., O., D., Lindemann, J., Olsson, A., Olsson, K.-G., Persson, K., Petersson, H., Ristinmaa, M., Sandberg, G. & Wernberg, P.-A. (2004). *A FINITE ELEMENT TOOLBOX*. Lunds Tekniska Högskola.
- Boverket. (1993). *Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK 04*. [https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2004/boverkets\\_handbok\\_om\\_betongkonstruktioner\\_bbk\\_04.pdf](https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2004/boverkets_handbok_om_betongkonstruktioner_bbk_04.pdf)
- Boverket. (2022). *Karta med vindlastzoner*. Hämtad 9 februari 2022, från <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/om-boverkets-konstruktionsregler-eks/sa-har-anvander-du-eks/karta-med-vindlastzoner/>
- Burström, P. & Nillver, K. (2018). *Byggnadsmaterial - Tillverkning, egenskaper och användning*. Studentlitteratur.
- COWI. (2021). *Samrådsunderlag vattenverksamhet, Bro över Storån*. [https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22\\_forbi\\_soderkoping\\_vagplan\\_granskningshandling\\_04.1\\_mkb\\_dokument.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22_forbi_soderkoping_vagplan_granskningshandling_04.1_mkb_dokument.pdf)
- Engström, B. (2022). *Preliminär dimensionering av förspända betongbroar* [Powerpoint Presentation].
- Fagerlund, G. (2011). *Ytreparation av betongkonstruktioner: metoder, beständighet*. Lunds universitet.
- Gatu- och väg väst AB. (u. å.). *Betongreparationer*. <https://gvv.se/tjanster/betongreparationer/>
- Hirt, M. & Lebet, J. (2013). *Steel Bridges - Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*. EPFL Press.
- Karlsson, M. (2022). *Brobyggnad - Produktionsmetoder* [Powerpoint Presentation].
- Keller Grundläggning. (u.å.). *Borrade pälår*. Hämtad 22 februari 2022, från <https://www.kellergrundlaggning.se/expertis/tekni%5C%ker/borrade-palar>
- Lebet, J. & Hirt, M. (2013). *Steel Bridges*. EPFL Press Studentlitteratur.
- Naturvårdsverket. (2021). *Industri, utsläpp av växthusgaser*. Hämtad 1 mars 2022, från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/>
- Nilsson, M. (2018). *Ändskärmsbro: mer bro för pengarna*. Luleå tekniska universitet.
- SGI. (1993). *Handbok i pålgrundläggning*. Statens Geotekniska Institut.
- SGI. (2019). *Erosionsskydd i vattendrag*. Hämtad 22 februari 2022, från <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/stranderosion/fran-inventering-till-atgard/atgarder-for-skydd-mot-stranderosion/olika-erosionsskydd/>
- SGU. (2019). *Mineralmarknaden 2018*. <http://resource.sgu.se/produkter/pp/pp2019-1-rapport.pdf>
- SIS. (2003). *Del 1-5: Allmänna laster - Temperaturpåverkan*. <https://www.sis.se/api/document/preview/34888/>
- SIS. (2005). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-4: Allmänna laster - Vindlast*. <https://www.sis.se/api/document/get/66459>
- SIS. (2009). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 2: Broar*.
- SIS. (2010a). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar*.
- SIS. (2010b). *Eurokod: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*.
- Stålbyggnadsinstitutet. (2020). *Brobyggnad*. Hämtad 17 februari 2022, från <https://www.sbi.se/brobyggnad/>
- Trafikverket. (2011a). *Trafikverkets författningssamling*. <https://webapp.trafikverket.se/TRVFS/pdf/2011nr012.pdf>
- Trafikverket. (2011b). *TRVK Bro 11 - Trafikverkets tekniska krav Bro TRV publ nr 2011:085*. [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10753/RelatedFiles/2011\\_085\\_trvk\\_bro\\_11.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10753/RelatedFiles/2011_085_trvk_bro_11.pdf)

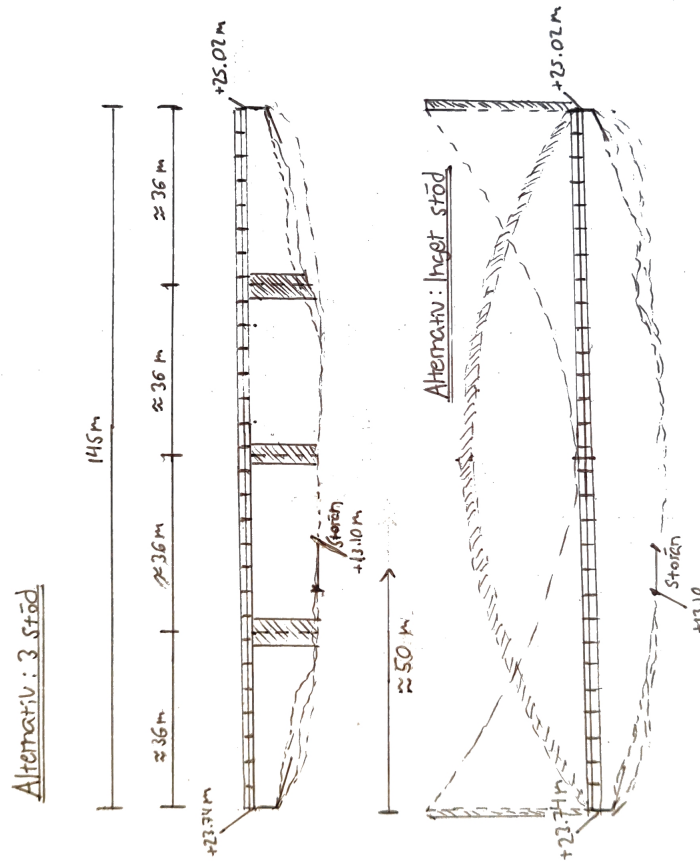
- Trafikverket. (2014). *Handbok för inspektion av byggnadsverk*. Hämtad 8 januari 2015, från <https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/biblioteket/Dokument/Handbok%20foer%20inspektion%20av%20byggnadsverk.pdf>
- Trafikverket. (2017a). *Gestaltningprogram i vägplan, E22 förbi Söderköping och väg 210, skärgårdslänken*. [https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22\\_forbi\\_soderkoping\\_vagplan\\_granskningshandling\\_09\\_gestaltningprogram.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22_forbi_soderkoping_vagplan_granskningshandling_09_gestaltningprogram.pdf)
- Trafikverket. (2017b). *PM Byggnadsverk, E22 Förbi Söderköping inkl.väg 210Skärgårdslänken*. <https://docplayer.se/167740473-Pm-byggnadsverk-e22-forbi-soderkoping-inkl-vag-210-skargardslanken.html>
- Trafikverket. (2017c). *PM TRAFIK, E22 Förbi Söderköping inkl. väg 210 Skärgårdslänken*. [https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22\\_forbi\\_soderkoping\\_vagplan\\_granskningshandling\\_13\\_pm\\_trafik.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22_forbi_soderkoping_vagplan_granskningshandling_13_pm_trafik.pdf)
- Trafikverket. (2017d). *VILTPASSAGEPLAN E22 Förbi Söderköping inkl. väg 210 Skärgårdslänken*. [https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22\\_forbi\\_soderkoping\\_vagplan\\_granskningshandling\\_19\\_viltpassageplan.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22_forbi_soderkoping_vagplan_granskningshandling_19_viltpassageplan.pdf)
- Trafikverket. (2018). *Miljökonsekvensbeskrivning till vägplan, E22 Förbi Söderköping inkl. väg 210 Skärgårdslänken*. [https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22\\_forbi\\_soderkoping\\_vagplan\\_granskningshandling\\_04\\_1\\_mkb\\_dokument.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/3b057432dc644f6e9c3bc47cd7e5134b/e22_forbi_soderkoping_vagplan_granskningshandling_04_1_mkb_dokument.pdf)
- Trafikverket. (2020a). *Krav: Bärighetsberäkningar av broar*.
- Trafikverket. (2020b). *Regeringsuppdrag, Implementering av bärighetsklass 4*. <https://www.trafikverket.se/contentassets/00340eec2ef8460ba6b2423b7e5d4468/svar-och-aterrapportering-fran-trafikverket-2020/05-slutrapport-regeringsuppdrag--implementering-av-barighetsklass-4.pdf>
- Trafikverket. (2020c). *Skötsel av broar*. Hämtad 20 november 2020, från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-broar/>
- Trafikverket. (2021). *Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll*. <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/8159512c-5ed0-4d32-82fc-ac6d635ff4f2>
- Trafikverket. (2022a). *Broprojekteringshandbok, utgåva 1*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2022b). *Krav Brobyggande*. <https://www.trafikverket.se/contentassets/5e3d8c0eb4e94efd9738cca74b912bf5/krav-brobyggande.pdf>
- Trafikverket. (2022c). *MS Windows NT Miljö och hälsa - så här jobbar Trafikverket*. Hämtad 22 februari 2022, från <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/>
- Trafikverket. (2022d). *MS Windows NT Vårt trafiksäkerhetsarbete*. Hämtad 22 februari 2022, från <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Vart-trafiksakerhetsarbete/>
- Transportstyrelsen. (2008). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder*.
- Villcon. (2022). *Prefab, Prefabricerade betongelement & Hus*. Hämtad 18 februari 2022, från <https://villcon.se/prefab/>
- Vägverket. (2009). *TR Bro*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1542350/FULLTEXT01>.

## 10 Bilagor

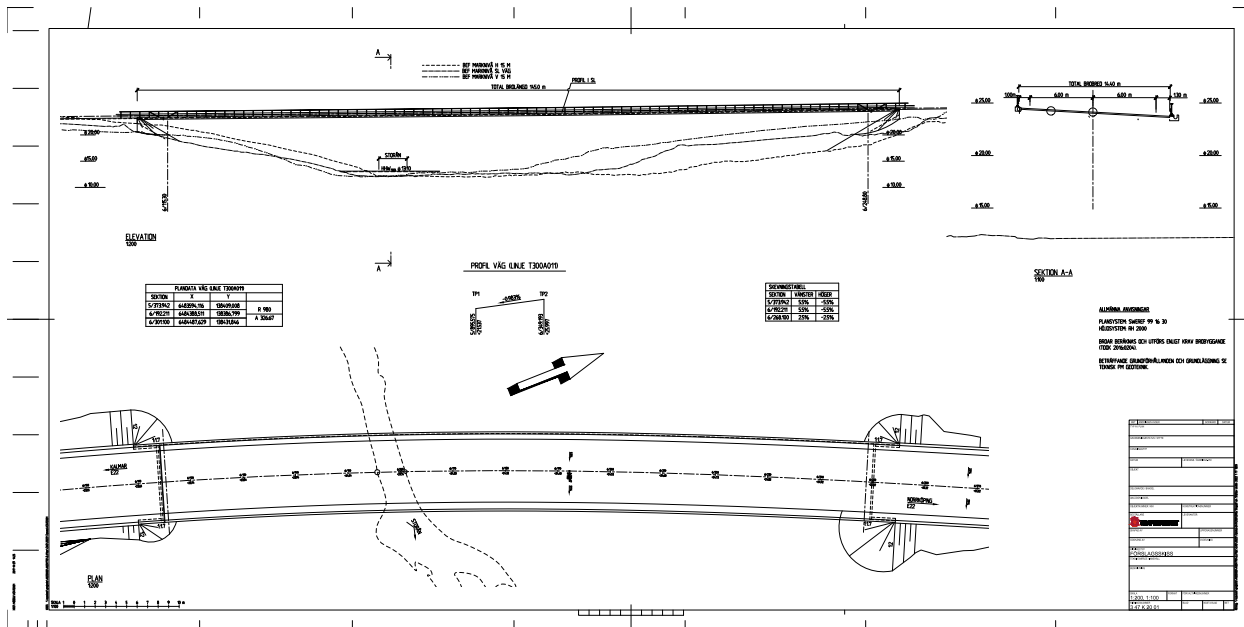
## 10.1 Bilaga 1 - Ungefärlig spannlängd och stödplacering vid ett stöd respektive två stöd



## 10.2 Bilaga 2 - Ungefärlig spannlängd och stödplacering vid inga stöd och vid tre stöd



### 10.3 Bilaga 3 - Förslagsskiss



## 10.4 Bilaga 4 - MATLAB-skript för beräkning av krafter i bärverk i 2 dimensioner

---

## Table of Contents

.....	1
Konstanter %%%	1
Dimensioner för strukturen %%%	1
Egenskaper och dimensioner för balk, kabel och pylon element %%%	1
Laster %%%	2
Koordinater för element %%%	2
Topologimatriser %%%	3
Lastmatriser %%%	3
Lastmatris för brobanan %%%	3
Styvhetsmatris och kraftvektor assemblering i globalt system %%%	3
Upplagsvilkor %%%	4
Resultat %%%	4

%-----  
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.  
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani  
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund  
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson  
%-----

## Konstanter %%%%

g=10; % [m/s^2] Gravitationskonstant  
rhoC=2500; % [kg/m^3] Densitet för betong  
rhoS=7800; % [kg/m^3] Densitet för stål

## Dimensioner för strukturen %%%%

totLenght=145; % [m] Totallängd på bron  
heightDeck=11.23; % [m] Höjd mellan brobanan och marken vid stöd  
widthDeck=14.4; % [m] Bredd brobana  
thickSlab=0.6; % [m] Tjocklek betongplatta  
vertCableDist=5; % [m] Centrumavstånd mellan kablar på pylonen  
numCables=12; % [-] Antal kablar

nelMainBeams=numCables+2; % [-] Antal element för huvudbalkar  
nelPylons=numCables/2+1; % [-] Antal element för pylonen  
nelCables=numCables; % [-] Antal element för kablar

## Egenskaper och dimensioner för balk, kabel och pylon element %%%%

Ap=3\*2\*2; % [m^2] Area för pylonen  
Ep=34e9; % [Pa] Elasticitetsmodul tryck betong C40/45  
Ip=((2\*3^3)/12)\*2; % [m^4] Yttröghetsmoment för pylon  
EpPylons=[Ep Ap Ip];

---

```

AMb=0.081*2;           % [m^2] Area för huvudbalkar
ACb=0.081;             % [m^2] Area för tvärbalkar
EMb=210e9;             % [Pa] Elasticitetsmodul stål
IMb=0.0177*2;         % [m^4] Yttröghetsmoment för huvudbalkar
EpMainBeams=[EMb AMb IMb];

AC=(0.125^2)*pi*2;    % [m^2] Areal för kablar
EC=210e9;             % [m^2] Elasticitetsmodul stål
EpCables=[EC AC];

```

## Laster %%%

```

q1d=10.8e3;           % [N/m] Utbredd last från lastkombinationer
q2d=1.5e3;            % [N/m] Utbredd last från lastkombinationer
q3d=1.5e3;            % [N/m] Utbredd last från lastkombinationer
Q1d=810e3;            % [N] Punktlast från lastkombinationer
Q2d=405e3;            % [N] Punktlast från lastkombinationer

WeightSlab=thickSlab*widthDeck*rhoC*g;           % [N/m] Vikt för betongplattan
WeightMainBeams=AMB*rhoS*g;                       % [N/m] Vikt för huvudbalkar
WeightCrossBeams=(ACb*widthDeck...
    *rhoS*g*nelCables)/totLenght; % [N/m] Vikt för alla cross beams
% delat på totallängden

Selfweightdeck=-(WeightSlab...
    +WeightMainBeams+WeightCrossBeams)*0.89*1.35; % [N/m] Egentyngd brobana
SelfweightPylon=-Ap*rhoC*g*0.89*1.35;           % [N/m] Egentyngd pylon
DistributedLoad=-(q2d*(3+3+3+2.4)+q1d*3);        % [N/m] Utbredd last
UnfavourableLoad=-(Q1d+Q2d);                     % [N] Ogyynnsamm punktlast

```

## Koordinater för element %%%

```

ExMainBeams=zeros(nelMainBeams,2);
EyMainBeams=ones(nelMainBeams,2)*heightDeck;
ExCables=zeros(nelCables,2);
EyCables=ones(nelCables,2)*heightDeck;
ExPylons=ones(nelPylons,2)*totLenght/2;
EyPylons=zeros(nelPylons,2);

for i=1:nelMainBeams
ExMainBeams(i,:)=[0 totLenght/nelMainBeams]+(totLenght/nelMainBeams)*(i-1);
end

EyPylons(1,:)=[0 heightDeck];
for i=2:nelPylons
EyPylons(i,:)=[heightDeck heightDeck+vertCableDist]+vertCableDist*(i-2);
end

ExCables(1:nelCables/2,1)=ExMainBeams(1:(nelMainBeams/2-1),2);
ExCables(1:nelCables/2,2)=totLenght/2;
ExCables((nelCables/2+1):nelCables,1)=ExMainBeams((nelMainBeams/2 ...
    +1):nelMainBeams-1,2);

```

---

```

ExCables(nelCables/2+1:nelCables,2)=totLenght/2;
EyCables(1:nelCables/2,2)=flip(EyPylons(2:nelPylons,2));
EyCables(nelCables/2+1:nelCables,2)=EyPylons(2:nelPylons,2);

```

## Topologimatriser %%%

```

EdofMainBeams=zeros(nelMainBeams,7);
EdofCables=zeros(nelCables,5);
EdofPylons=zeros(nelPylons,7);

for i=1:nelMainBeams
EdofMainBeams(i,2:end)=[1 2 3 4 5 6]+(i-1)*3;
EdofMainBeams(i,1)=i;
end

EdofPylons(1,:)=[1 (EdofMainBeams(end,5:7)+3) ...
    EdofMainBeams(nelMainBeams/2,5:6) 0];
EdofPylons(2,:)=[2 EdofMainBeams(nelMainBeams/2,5:6) 0 ...
    EdofMainBeams(end,5:7)+6];
for i=3:nelPylons
EdofPylons(i,:)=[i EdofMainBeams(end,5:7)+6+(i-3)*3 ...
    EdofMainBeams(end,5:7)+i*3];
end

EdofCables(:,1)=1:nelCables;
EdofCables(1:nelCables/2,2:3)=EdofMainBeams(1:nelMainBeams/2-1,[5 6]);
EdofCables((nelCables/2+1):nelCables,2:3)=EdofMainBeams((nelMainBeams/2 ...
    +1):(nelMainBeams-1),[5 6]);
EdofCables(1:nelCables/2,4:5)=EdofPylons(2:nelPylons,[5 6]);
EdofCables((nelCables/2+1):nelCables,4:5)=...
    flip(EdofPylons(2:nelPylons,[5 6]));

EdofPylons(1,7)=max(max(EdofPylons)+1);
EdofPylons(2,4)=EdofPylons(1,7);

```

## Lastmatriser %%%

```
EqPylons=[SelfweightPylon 0];
```

## Lastmatris för brobanan %%%

```

EqMainBeams=zeros(nelMainBeams,2);
EqMainBeams(:,2)=Selfweightdeck;
for i=1:nelMainBeams
    EqMainBeams(i,2)=EqMainBeams(i,2)+DistributedLoad;
end

```

## Styvhetsmatris och kraftvektor assemblering i globalt system %%%

```
ndofs=max(max(EdofPylons));
```

---

---

```

K=zeros(ndofs,ndofs);
f=zeros(ndofs,1);

for i=1:nelMainBeams % Assemblering Huvudbalkar
    [Ke,fe]=beam2e(ExMainBeams(i,:),EyMainBeams(i,:), ...
        EpMainBeams,EqMainBeams(i,:));
    K(EdofMainBeams(i,2:end),EdofMainBeams(i,2:end))=...
        K(EdofMainBeams(i,2:end),EdofMainBeams(i,2:end))+Ke;
    f(EdofMainBeams(i,2:end),1)=f(EdofMainBeams(i,2:end),1)+fe;
end

for i=1:nelPylons % Assemblering pyloner
    [Ke,fe]=beam2e(ExPylons(i,:),EyPylons(i,:),EpPylons,EqPylons);
    K(EdofPylons(i,2:end),EdofPylons(i,2:end))=K(EdofPylons(i,2:end),...
        EdofPylons(i,2:end))+Ke;
    f(EdofPylons(i,2:end),1)=f(EdofPylons(i,2:end),1)+fe;
end

for i=1:nelCables % Assemblering kablar
    [Ke]=bar2e(ExCables(i,:),EyCables(i,:),EpCables);
    K(EdofCables(i,2:end),EdofCables(i,2:end))=K(EdofCables(i,2:end), ...
        EdofCables(i,2:end))+Ke;
end

```

## Upplagsvilkor %%%

```

bc=zeros(5,2);
bc(1,1)=2; % Fritt upplagd på vänster sida
bc(2,1)=EdofMainBeams(end,6); % Fritt upplagd på höger sida
bc(3:5,1)=EdofPylons(1,2:4); % Fast inspänd i pylonens botten

f(8)=UnfavourableLoad; % Placering av ogynnsamm punktlast

```

## Resultat %%%

```

[a,r]=solveq(K,f,bc); % Löser ekvationssystem

edMainBeams=extract_dofs(EdofMainBeams,a);
edPylons=extract_dofs(EdofPylons,a);
edCables=extract_dofs(EdofCables,a);

figure (1)
hold on
title 'Deformerad struktur'
eldisp2(ExMainBeams,EyMainBeams,edMainBeams,[1 1 1],30);
eldisp2(ExPylons,EyPylons,edPylons,[1 1 1],30);
eldisp2(ExCables,EyCables,edCables,[1 1 1],30);

% Uträkning av normalkraft i samtliga huvudbalkar
n=20;

```

---

```

NMainBeams=zeros(n,nelMainBeams);
VMainBeams=zeros(n,nelMainBeams);
MMainBeams=zeros(n,nelMainBeams);

for i=1:nelMainBeams
    [es,eci,edi]=beam2s(ExMainBeams(i,:),EyMainBeams(i,:),EpMainBeams ...
        ,edMainBeams(i,:),EqMainBeams(i,:),n);
    figure(2)
    hold on
    title 'Normalkraft i huvudbalkar'
    eldia2(ExMainBeams(i,:),EyMainBeams(i,:),es(:,1),[1 1],10e-7);
    NMainBeams(:,i)=es(:,1);
    VMainBeams(:,i)=es(:,2);
    MMainBeams(:,i)=es(:,3);
    eldraw2(ExMainBeams,EyMainBeams);
    eldraw2(ExPylons,EyPylons);
    eldraw2(ExCables,EyCables);
    hold off
end

% Uträkning av normalkraft i samtliga kablar
Ncables=zeros(nelCables,1);
for i=1:nelCables
    es=bar2s(ExCables(i,:),EyCables(i,:),EpCables,edCables(i,:));
    Ncables(i,:)=es;
end

NmaxCables=max(abs(Ncables)); % Maximal normalkraft i kabel
SigmaCables=NmaxCables/AC;    % Maximal spänning i kabel
YieldCables=400*10^6;        % Flytspänning för stål
SigmaCables/YieldCables;    % Utnyttjandegrad för kablar

if SigmaCables<YieldCables
    disp 'Normalkraft kablar ok'
end

YieldMainBeams=400*10^6;
NmaxMainBeams=max(max(abs(NMainBeams)))/2;
SigmaMainBeams=NmaxMainBeams/(AMb/2);
if SigmaMainBeams<YieldMainBeams
    disp 'Normalkraft huvudbalk ok för plasticering'
end

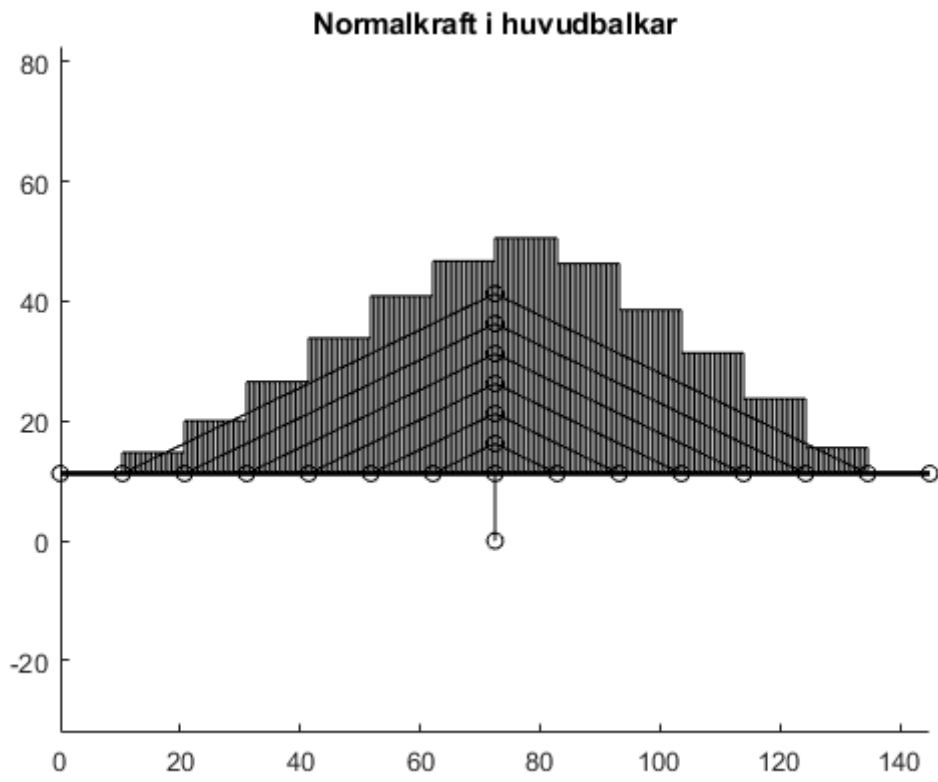
if max(abs(a([2:3:44])))<(145/2)/400
    disp 'Nedböjning brobana ok'
end

Pylonforce=flip(f([23 50:3:65]));

```

---





*Published with MATLAB® R2021b*

## 10.5 Bilaga 5 - MATLAB-skript för lastkombinationer

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

## Laster och lastkombinationer

```
clear, clc, close all

%-----Geometri-----
%Längder: [m]
L_bro = 145; %Totala brospannet
b_kantbalk=0.25; %Kantbalkens bredd
b_korbana=14.4; %Bredd körbana
b_platta = b_korbana; %Bredd betongplatta
L_tvärbalk=b_platta; %Längden av en tvärbalk, från upplag till upplag
cc=145/14; %cc-avstånd mellan tvärbalkar

%Längsgående balkar:
bfl=550e-3;
tfl=45e-3;
hll=1050e-3;
tll=30e-3;
A1=2*(bfl*tfl)+hll*tll; %Tvärsnittsarea längsgående balkar

%Tvärgående balkar: (IPE500) %12st totalt
bft=550e-3;
tft=45e-3;
hlt=1050e-3;
tlt=30e-3;
A2=2*(bft*tft)+hlt*tlt; %Tvärsnittsarea tvärgående balkar

%Betongfarbana (platta + kantbalkar + beläggning)
h_belaggnings=0.065; %Tjocklek beläggning, rek enl TRVK BRO
h_platta= 0.6; %Höjd betongplatta
h_kantbalk=h_platta+h_belaggnings; %Höjd kantbalk
%
A_farbana=(h_belaggnings*L_korbana)+(b_platta*h_platta)+(b_kantbalk*h_kantbalk);
%Tvärsnittsarea asfaltsbeläggning %Tvärsnittsarea betongfarbana

%-----Egentyngd-----
%Försummar tyngd av kablarna och dess infästningar
%Försummar tyngd av studs

%Tyngd material: [kN/m3] (Från dokument 'Bärighetsberäkningar av
broar' - TDOK 2013:0267)
gamma_betong = 25; %Tunghet armerad betong
gamma_stal = 78; % Tunghet stål
gamma_belaggnings = 22; %Tunghet asfaltsbeläggning
gamma_racke = 0.5; %Tunghet broräcke [kN/m]
```

---

```

%Egentygnder (annan enhet på g3)
g1=A1*gamma_stal; %[kN/m] - Egentyngd längsgående balk
g2=A2*gamma_stal; %[kN/m] - Egentyngd tvärbalk
g3=(h_platta*gamma_betong)+(h_belaggnings*gamma_belaggnings)+(h_kantbalk*gamma_beton
m^2] - Egentyngd betongplatta + kantbalk + belaggnings
g4=0.5; % [kN/m] - Egentyngd räcke

%Tyngden som bärs av enbart tvärgående balk
Gtvarbalk3=(h_platta*cc*gamma_betong)+(h_belaggnings*cc*gamma_belaggnings)+g2 %[kN/
m]

%Tyngden som de längsgående balkarna ska ta
Gtotal=((g1+g4)*L_bro)+(g3*L_bro*b_korbana)+(g2*L_tvarbalk*12); %[kN]

%Medeltyngden på de längsgående balkarna
G=Gtotal/L_bro;

%-----Trafiklaster: (Lastmodell 1)-----
%Lastmodell 1 = Värst lastfall för tvärkraft
%Beräknar antal körfält enl. Bärighetsberäkningar av broar (TDOK
2013:0267, Version 7.0, 2020-11-17), kapitel: 2.3.2.2.1
w=b_korbana; %Körbanans bredd
n1=4; %antal lastfält, väljs till 3m
w1=3; %Bredd lastfält
wr=2.4; %Övrig yta

%Punktlaster: [kN] %Spann över 10m -> axiell punktlast ist för
boogielast
%Från: 'Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar'
Tabell 4.2 - Lastmodell 1: karakteristiska värden
Qk1=600; %Lastfält 1
Qk2=400; %Lastfält 2
Qk3=200; %Lastfält 3
Qk4=0; %Lastfält 4
Qkr=0;

%Jämnt utbredd last, från samma tabell 4.2:
qk1=9; qk2=2.5; qk3=2.5; qk4=2.5; qkr=2.5; %[kN/m2]

%Anpassningsfaktorer, nationella parametrar - (TSFS 2018:57)
Transportstyrelsen kapitel 11.3
a_Q1=0.9; a_Q2=0.9; a_Q3=0; a_Q4=0; a_Qr=0;
a_q1=0.8; a_q2=1; a_q3=1; a_q4=1; a_qr=1;

%Dimensionerande trafiklaster:
%Punktlaster :
Q1=Qk1*a_Q1; Q2=Qk2*a_Q2; Q3=Qk3*a_Q3; Q4=Qk4*a_Q4; Qr=Qkr*a_Qr; %[kN]

%Utbredda laster:
q1=qk1*a_q1; q2=qk2*a_q2; q3=qk3*a_q3; q4=qk4*a_q4;
qr=qkr*a_qr; %[kN/m2]

```

---

---

```

% -----Lastkombinationer-----
%BROTTSGRÄNSTILLSTÅND:
%A2.1 SS-EN 1990 - rekommenderade värden för psi-faktorer för typfordon
och last på
%vägbank:
psi_0_B=0.75; %Boogielast
psi_1_B=0.75; %Boogielast
psi_2_B=0;
psi_0_JU=0.4; %Jämnt utbredd last
psi_1_JU=0.4; %Jämnt utbredd last
psi_2_JU=0;

%Säkerhetsklass 3 (TRVFS 2011:12) kap. 1.11
gamma_d=1.0; %utesluts i nedanstående ekv. pga =1

%EC1 EN1990:
%Partialkoefficienter - Brottsgräns: 6.10 a)
gamma_G=1.35;
gamma_Q=1.5;
lastkomb_a=gamma_G*G
+gamma_Q*psi_0_B*(Q1+Q2+Q3)+psi_0_JU*w1*(q1+q2+q3);

%6.10 b) DIMENSIONERANDE PGA VARIABEL LAST ÄR STÖRST
eps=0.89;
lastkomb_b=eps*gamma_G*G
+gamma_Q*((Q1+w1*q1)+psi_0_B*(Q1+Q3)+psi_0_JU*w1*(q2+q3));

%lastkomb_b>lastkomb_a -> gångra med eps på egenlaster

%Egentyngder:
Gd1=gamma_G*g1*eps %Längsgående balk
Gd2=gamma_G*g2*eps %Tvärbalk
Gd3=gamma_G*g3*eps %betongplatta
Gd4=gamma_G*g4*eps %Asfaltsbeläggning

%Jämnt utbredda laster:
q1d=gamma_Q*q1
q2d=gamma_Q*psi_0_JU*q2
q3d=gamma_Q*psi_0_JU*q3

%Punktlaster:
Q1d=gamma_Q*Q1
Q2d=gamma_Q*Q2*psi_0_B
Q3d=gamma_Q*Q3*psi_0_B

%BRUKSGRÄNSTILLSTÅND:
%Karakteristisk kombination - Ekv. 14 b) - EC1 EN1990
lastkomb_kar=G+w1*q1+Q1+psi_0_JU*w1*(q2+q3)+psi_0_B*(Q2+Q3);

% %Egentyngder:
% Gd1=gamma_G*g1; %Längsgående balk
% Gd2=gamma_G*g2; %Tvärbalk

```

---

---

```

% Gd3=gamma_G*g3; %betongplatta
% Gd4=gamma_G*g4; %Asfaltsbeläggning
% Gd5=gamma_G*g5; %Räcke
%
% Jämnt utbredda laster:
% q1d=q1;
% q2d=psi_0_JU*q2;
% q3d=psi_0_JU*q3;
%
% Punktlaster:
% Q1d=Q1;
% Q2d=Q2*psi_0_B;
% Q3d=Q3*psi_0_B;

% Frekvent lastkombination ekv 6.15 b)
lastkomb_frek=G
+psi_1_JU*w1*q1+psi_1_B*Q1+psi_2_JU*w1*(q2+q3)+psi_2_B*(Q2+Q3);
%
% Egentyngder:
% Gd1=g1; %Längsgående balk
% Gd2=g2; %Tvärbalk
% Gd3=g3; %betongplatta
% Gd4=g4; %Asfaltsbeläggning
%
% Jämnt utbredda laster:
% q1d=psi_1_JU*q1
% q2d=psi_2_JU*q2
% q3d=psi_2_JU*q3
%
% Punktlaster:
% Q1d=psi_1_B*Q1
% Q2d=psi_2_B*Q2
% Q3d=psi_2_B*Q3

% Kvasipermanent lastkombination ekv 6.16 b)
lastkomb_kvasi=G+psi_2_JU*w1*(q2+q3)+psi_2_B*(Q2+Q3)

% Egentyngder:
% Gd1=g1; %Längsgående balk
% Gd2=g2; %Tvärbalk
% Gd3=g3; %betongplatta
% Gd4=g4; %Asfaltsbeläggning
% Gd5=g5; %räcke
%
% Jämnt utbredda laster:
% q1d=0;
% q2d=psi_2_JU*q2;
% q3d=psi_2_JU*q3;
%
% Punktlaster:
% Q1d=0;
% Q2d=psi_2_B*Q2;

```

---

---

`% Q3d=psi_2_B*Q3;`

`Gtvarbalk3 =`

`176.4859`

`Gd1 =`

`7.5911`

`Gd2 =`

`7.5911`

`Gd3 =`

`39.7156`

`Gd4 =`

`0.6008`

`q1d =`

`10.8000`

`q2d =`

`1.5000`

`q3d =`

`1.5000`

`Q1d =`

`810`

`Q2d =`

`405`

`Q3d =`

---

0

`lastkomb_kvasi =`

`490.3393`

*Published with MATLAB® R2019a*

## 10.6 Bilaga 6 - MATLAB-skript för dimensionerande tvärkraftsbelastning på tvärbalk

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

## Tvärbalk, Dimensionerande tvärkraft

```
clear, clc, close all
%-----Input-----:
%Från tidigare beräkningar
G=176.4859e3*1.35*0.89; Q1=810e3; Q2=405e3; Q3=0e3; q1=10.8e3;
q2=1.5e3; q3=1.5e3; q4=1.5e3;
cc=145/13; %cc-avstånd mellan tvärbalkar

E=1; A=1; I=1; %Ansätter för att CALFEM-beräkningar ska fungera

%-----Geometri-----
ex=[0 1.5
    1.5 3
    3 4.5
    4.5 6
    6 7.5
    7.5 9
    9 10.5
    10.5 12
    12 13.5
    13.5 14.4];

ey=zeros(10,2);

%-----Topologimatriser-----
Dof=[1 2 3
     4 5 6
     7 8 9
    10 11 12
    13 14 15
    16 17 18
    19 20 21
    22 23 24
    25 26 27
    28 29 30
    31 32 33];

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
```

---

```

      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
     10 28 29 30 31 32 33];
     %11 31 32 33 34 35 36]

ndof=33; %Antal frihetsgrader
nel=10; %Antal element

%-----Global styvhetsmatris + Kraftvektor-----
K=zeros(ndof);
f=zeros(ndof, 1);

ep=[E A I];

%Placering av punktlaster, Lastfall 1
f(5)=-Q1; f(11)=-Q2; f(17)=-Q3;

%Placering av utbredda laster på elementen, Lastfall 1
eq=[0 -q1*cc-G
     0 -q1*cc-G
     0 -q2*cc-G
     0 -q2*cc-G
     0 -q3*cc-G
     0 -q3*cc-G
     0 -q4*cc-G
     0 -q4*cc-G
     0 -q4*cc-G
     0 -q4*cc-G];

%Assemblering
for i=1:nel;
    [Ke, fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:), ep, eq(i,:));
    [K, f]=assem(Edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

%Randvillkor
bc=[1 0
     2 0
     32 0];

%-----Beräknar förflyttning och stödkrafter-----
[a,r]=solveq(K,f,bc); %a=förflyttning, r=stödkrafter

ed=extract(Edof,a);
n=15; %Antal punkter som kontrolleras per element

Es=zeros(n,3*10);
Eci=zeros(n,10);

%Ritar upp tvärkrafts- och momentdiagram för lastfallet
for i=1:nel
    [es,edi,eci]=beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep, ed(i,:), eq(i,:),n);

    Es(:,[1+(i-1)*3 2+(i-1)*3 3+(i-1)*3])=es;

```

---

```

Eci(:,i)=eci;

figure (1)
title('Tvärkraft')
eldia2(ex(i,:),ey(i,:),Es(:,2+((i-1)*3)),[2 1],1e-6,Eci(:,i));

figure (2)
title('Moment')
eldia2(ex(i,:),ey(i,:),Es(:,3+((i-1)*3)),[2 1],1e-6,Eci(:,i));
end

%Värden på dimensionerande tvärkraft samt största moment i lastfall 1
maxV=max(max(abs(Es(:,(2:3:29))))))
maxM=max(max(abs(Es(:,(3:3:30))))))

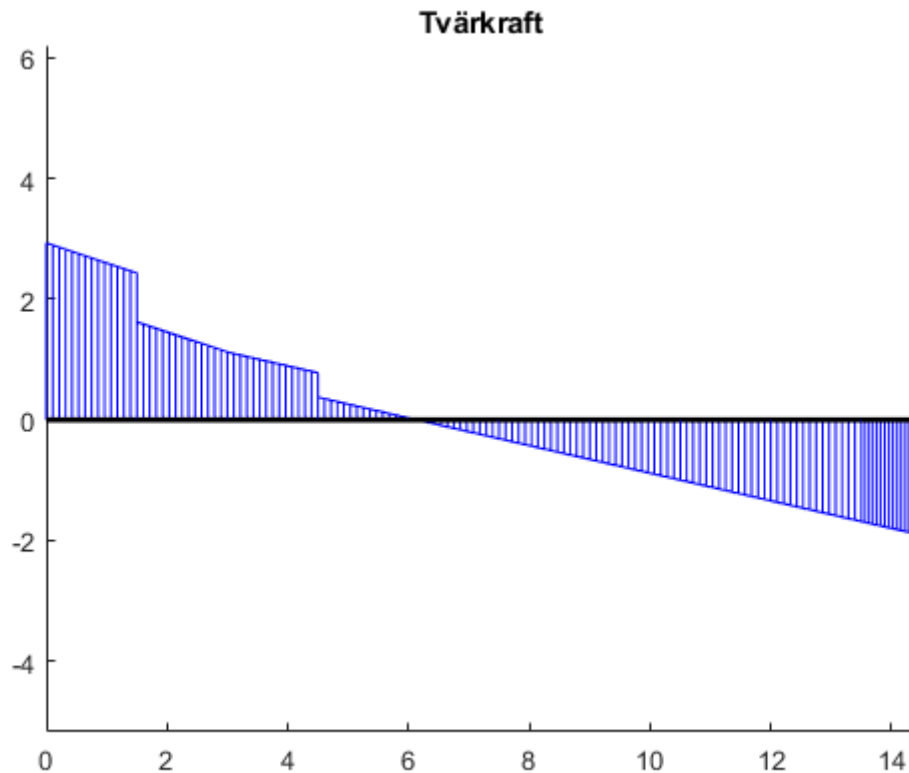
```

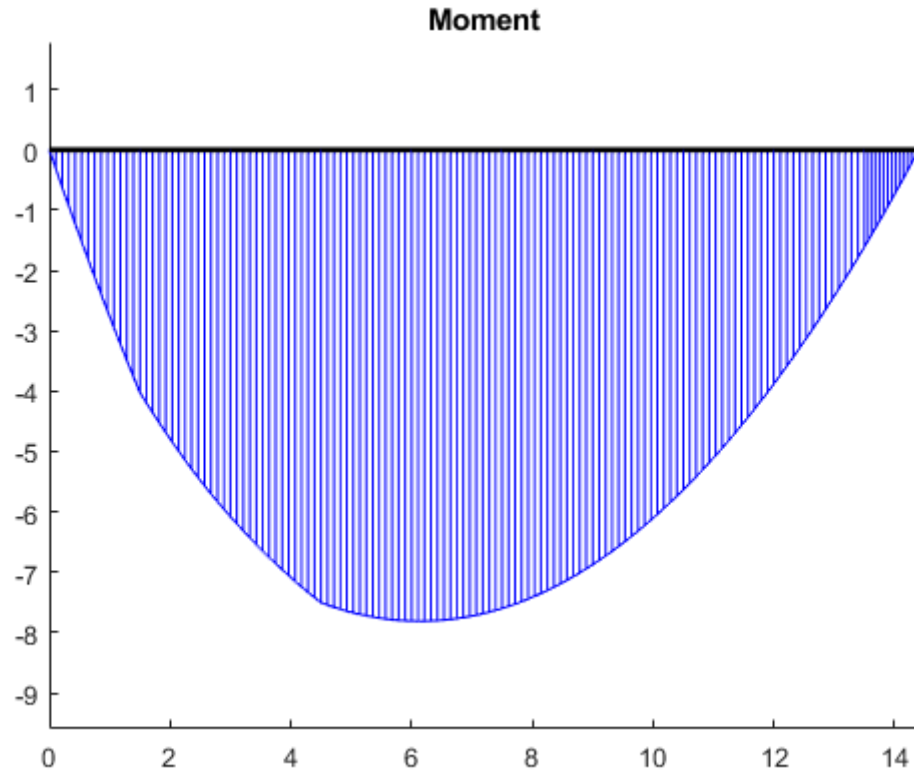
maxV =

2.9300e+06

maxM =

7.8114e+06





*Published with MATLAB® R2019a*

## 10.7 Bilaga 7 - MATLAB-skript för dimensionerande momentbelastning på tvärbalk

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

## Tvärbalk, Dimensionerande moment

```
clear, clc, close all
%-----Input-----
%Från tidigare beräkningar
G=176.4859e3*1.35*0.89; Q1=810e3; Q2=405e3; Q3=0e3; q1=10.8e3;
q2=1.5e3; q3=1.5e3; q4=1.5e3;
cc=145/13; %cc-avstånd mellan tvärbalkar

E=1; A=1; I=1;%Ansätter för att CALFEM-beräkningar ska fungera

%-----Geometri-----
ex=[0 1.5
    1.5 3
    3 4.5
    4.5 6
    6 7.5
    7.5 9
    9 10.5
    10.5 12
    12 13.5
    13.5 14.4];

ey=zeros(10,2);

%-----Topologimatriser-----
Dof=[1 2 3
     4 5 6
     7 8 9
    10 11 12
    13 14 15
    16 17 18
    19 20 21
    22 23 24
    25 26 27
    28 29 30
    31 32 33];

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
```

---

```

      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
     10 28 29 30 31 32 33];
     %11 31 32 33 34 35 36]

ndof=33; %Antal frihetsgrader
nel=10; %Antal element

%-----Global styvhetsmatris + Kraftvektor-----
K=zeros(ndof);
f=zeros(ndof, 1);

ep=[E A I];

%Placering av punktlaster, Lastfall 2
f(17)=-Q1; f(11)=-Q2; f(5)=-Q3;

%Placering av utbredda laster på elementen, Lastfall 2
eq=[0 -q3*cc-G
     0 -q3*cc-G
     0 -q2*cc-G
     0 -q2*cc-G
     0 -q1*cc-G
     0 -q1*cc-G
     0 -q4*cc-G
     0 -q4*cc-G
     0 -q4*cc-G
     0 -q4*cc-G];

%Assemblering
for i=1:nel;
    [Ke, fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:), ep, eq(i,:));
    [K, f]=assem(Edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

bc=[1 0
     2 0
     32 0];

%-----Beräknar förflyttning och stödkrafter-----
[a,r]=solveq(K,f,bc); %a=displacements, r=support forces

ed=extract(Edof,a);
n=15;%Antal punkter som kontrolleras per element

Es=zeros(n,3*10);
Eci=zeros(n,10);

%Ritar upp tvärkrafts- och momentdiagram för lastfallet
for i=1:nel
    [es,edi,eci]=beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep, ed(i,:), eq(i,:),n);

    Es(:,[1+(i-1)*3 2+(i-1)*3 3+(i-1)*3])=es;
    Eci(:,i)=eci;

```

---

```

figure (2)
title('Tvärkraft')
eldia2(ex(i,:),ey(i,:),Es(:,2+((i-1)*3)),[2 1],1e-6,Eci(:,i));

figure (3)
title('Moment')
eldia2(ex(i,:),ey(i,:),Es(:,3+((i-1)*3)),[2 1],1e-6,Eci(:,i));
end

```

```

%Värden på största tvärkraft samt dimensionerande moment i lastfall 2
maxV=max(max(abs(Es(:,(2:3:29))))))
maxM=max(max(abs(Es(:,(3:3:30))))))

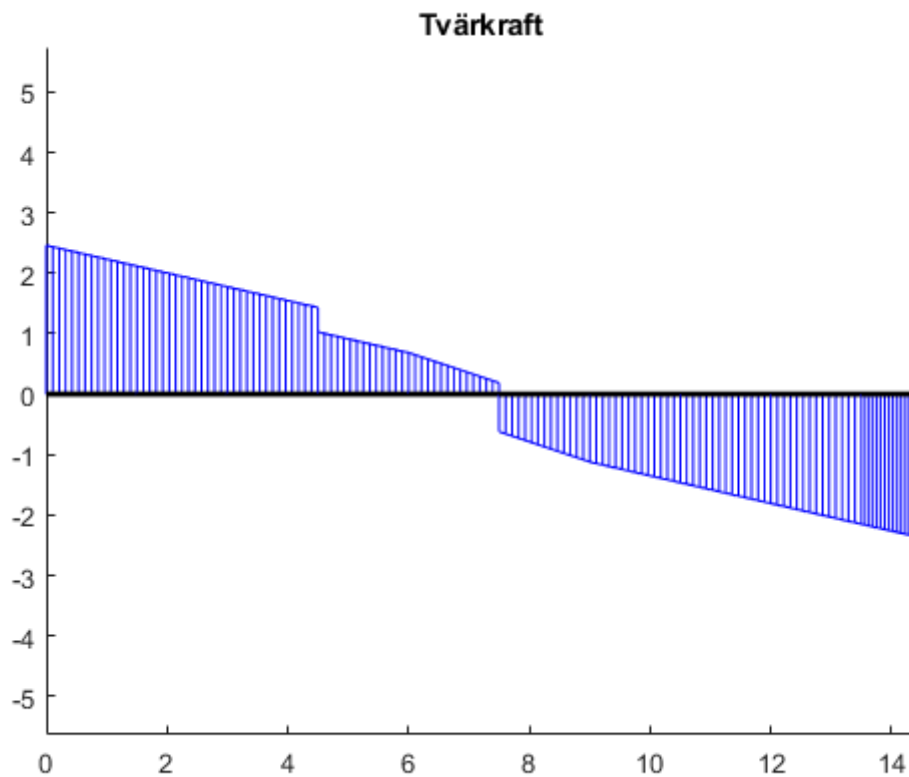
```

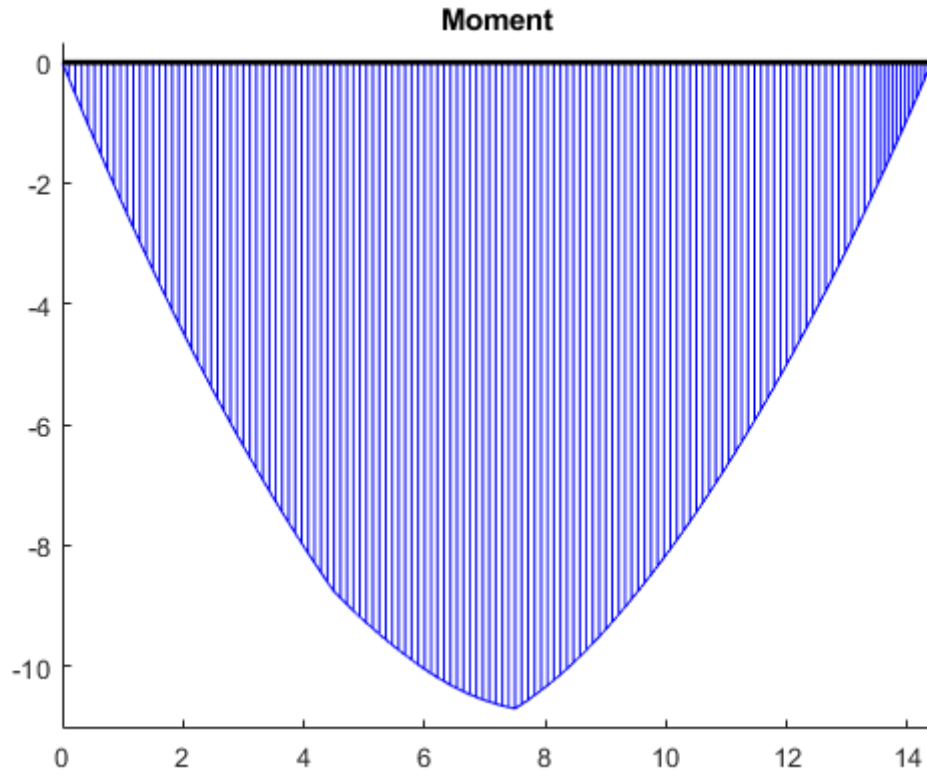
*maxV* =

*2.4629e+06*

*maxM* =

*1.0706e+07*





*Published with MATLAB® R2019a*

## 10.8 Bilaga 8 - MATLAB-skript för dimensionerande nedböjning på tvärbalk

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

## Tvärbalk, Nedböjning

```
clear, clc, close all
%-----Input-----
%Från tidigare beräkningar
G=176.4859e3;

%Lastfall, kvasipermanent
Q1=405e3; Q2=0e3; Q3=0e3; q1=2.88e3; q2=0e3; q3=0e3; q4=0e3;
cc=145/13; %cc-avstånd mellan tvärbalkar

bft=550e-3;
tft=45e-3;
hlt=1050e-3;
tlt=30e-3;
A2=2*(bft*tft)+hlt*tlt; %Tvärsnittsarea längsgående balkar

It=((tlt*(hlt.^3))/12)+2*(bft*tft*((hlt
+tft)/2)^2)+((tft^3)*bft/12)); %Balkens yttröghetsmoment

E=210e9; A=A2; I=It;%Ansätter för att CALFEM-beräkningar ska fungera

%-----Geometri-----
ex=[0 1.5
    1.5 3
    3 4.5
    4.5 6
    6 7.5
    7.5 9
    9 10.5
    10.5 12
    12 13.5
    13.5 14.4];

ey=zeros(10,2);

%-----Topologimatriser-----
Dof=[1 2 3
     4 5 6
     7 8 9
    10 11 12
    13 14 15
    16 17 18
    19 20 21
    22 23 24
```

---

```

25 26 27
28 29 30
31 32 33];

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
      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
      10 28 29 30 31 32 33];
%11 31 32 33 34 35 36]

ndof=33; %Antal frihetsgrader
nel=10; %Antal element

%-----Global styvhetsmatris + Kraftvektor-----
K=zeros(ndof);
f=zeros(ndof, 1);

ep=[E A I];

%Placering av punktlaster, Lastfall 2
f(17)=-Q1; f(11)=-Q2; f(5)=-Q3;

%Placering av utbredda laster på elementen, Lastfall 2
eq=[0 -q3*cc-G
    0 -q3*cc-G
    0 -q2*cc-G
    0 -q2*cc-G
    0 -q1*cc-G
    0 -q1*cc-G
    0 -q4*cc-G
    0 -q4*cc-G
    0 -q4*cc-G
    0 -q4*cc-G];

%Assemblering
for i=1:nel;
    [Ke, fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:), ep, eq(i,:));
    [K, f]=assem(Edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

bc=[1 0
    2 0
    32 0];

%-----Beräknar förflyttning och stödkrafter-----
[a,r]=solveq(K,f,bc); %a=displacements, r=support forces

ed=extract(Edof,a);

```

---

---

```
n=15;%Antal punkter som kontrolleras per element

Es=zeros(n,3*10);
Eci=zeros(n,10);

%Värden på största tvärkraft samt dimensionerande moment i lastfall 2
max_nedbojning=max(max(abs(ed(:,(2))))))
krav=(14.4/400) %SS-EN 1995-2-broar, stycke 7.2

if max_nedbojning>krav
    disp('Ej ok')
else
    disp('ok!!')
end

%Utnyttjandegrad av balken, nedböjning
UG_nedbojning=max_nedbojning/krav

max_nedbojning =

    0.0348

krav =

    0.0360

ok!!

UG_nedbojning =

    0.9660
```

*Published with MATLAB® R2019a*

## 10.9 Bilaga 9 - MATLAB-skript för kontroll av kapacitet på tvärbalk

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

## Tvärbalk, Kapacitetsberäkningar

```
clear, clc, close all
%-----Indata-----
fy=440e6; %ej reducerad, tabell S2.1, Bärande konstruktioner del 1,
fu=550e6;
%fyd

%Från tidigare beräkningar
Med=1.0706e7;
Ved=2.9300e6;

%-----Bestämning av balk-----
XLT=1; %Ingen risk för vippning
gammaM1=1; %Partialkoefficient mht. materialets hållfasthet, =1 vid
beräkning momentkapacitet av balkar

%Erfoderligt böjmotstånd:
Wbalkerf=Med/(fy/gammaM1);%Dimensionerande moment enligt eurokod 3,
Bärande konstruktioner del 1 (S4-41)
k=Wbalkerf*10^6; %För att få värdet i x10^3 mm3 angivet i diverse
utdrag
%k=26089*10^3 mm3 -> Ingen standard profil uppfyller erfordelitet
böjmotstånd
%-> Svetsa en balk

%-----Indata vald balk-----
bft=550e-3;
tft=45e-3;
hlt=1050e-3;
tlt=30e-3;
a=5e-3; %Radie av svets/valsning, a-mått

h=hlt+2*bft; %tidigare htot
b=bft; %tidigare btot
d=hlt-2*sqrt(a)*a; %tidigare h
c=((b-tlt)/2)-(sqrt(2)*a);

%-----Kontroll av tvärsnittsklasser-----
eps=sqrt(235/(fy*10^-6)); %Tabell S4.1/S4.2 Bärande konstruktioner,
del 1

%Kontroll av livplåt, tabell S4.2
if d/tlt<72*eps
    disp('Livet är i tvärsnittsklass 1')
```

---

```

elseif d/tlt<83*eps
    disp('Livet är i tvärsnittsklass 2')
elseif d/tlt<124*eps
    disp('Livet är i tvärsnittsklass 3')
else disp('Livet är i tvärsnittsklass 4??')
end

%Kontroll av yttre flänsar, tabell S4.3
if c/tft<9*eps
    disp('Flänsen är i tvärsnittsklass 1')
elseif c/tft<10*eps
    disp('Flänsen är i tvärsnittsklass 2')
elseif c/tft<14*eps
    disp('Flänsen är i tvärsnittsklass 3')
else disp('Flänsen är i tvärsnittsklass 4??')
end

% Itterera fram måtten så att vi uppnår tvärsnittsklass 1 på båda
%Klass 1 -> Fullt plastisk med rotationskapacitet, M=Wpl*fy
Wpl=tft*bft*(tft+hlt)+(tlt*hlt^2)/4; %(ekv. S4-30 - Bärande 1)
Mpl=fy*Wpl; %(ekv. S4-28 - Bärande 1)

%----- Balkens momentkapacitet-----
gamma_M1=1.0;
Mb_Rd=XLT*Wpl*(fy/gamma_M1); %(ekv. S4-41 - Bärande 1)

if Mb_Rd>Med
    disp('OK momentkapacitet')
else
    disp('Ej ok momentkapacitet')
end

%Utnyttjandegrad:
UG_m=Med/Mb_Rd

%----- Balkens tvärkraftskapacitet-----

eta=1.2; %Faktor som beaktar bidraget från stålets töjningshårdnande
(Bärande 1 s. S83)
% kt=5.34; %Bucklingskoefficient, beräknas approximativt i Eurocode 3
(Endast ändavstyvningar)

%Kontroll mot skjuvbuckling, ekv. S5-19 (oavstyvad livplåt)
if hlt/tlt<72*(eps/eta)
    disp('Ingen risk för skjuvbuckling')
else disp('Risk för skjuvbuckling')
end

%Kommentar: Om vi minskar dimensioner som isf ger risk för
skjuvbuckling
%kan man avstyva livplåten -> annan ekvation

```

---

---

```

gamma_M0=1.0;
Av=eta*hlt*tlt;
Vpl_Rd=Av*((fy/sqrt(3)/gamma_M0)); %(ekv. S5-18 - Bärande 1, används
    då tvärsnittet inte riskerar skjuvbuckling)
%Vpl_Rd=9.36*10^6 > Ved=2.72*10^6 -> OK!

%Utnyttjandegrad:
UG_v=Ved/Vpl_Rd

%----- Interaktion mellan moment och tvärkraft-----
Af=bft*tft*2;
W_f=Af*((tft+hlt)/2)
Mf_Rd=W_f*fy/gamma_M1;

if Med>0.5*Mf_Rd
    disp('Kontroll av interaktion behöver utföras')
else
    disp('Kontroll av interaktion behöver inte utföras')
end

Xw=1.0;
Vbw_Rd=Xw*hlt*tlt*(fy/(sqrt(3)*gamma_M1)); %(ekv. S5-20 - Bärande 1)

if Ved<0.5*Vbw_Rd
    disp('Kontroll av interaktion behöver utföras')
else
    disp('Kontroll av interaktion behöver inte utföras')
end

interaktion=Mf_Rd+(Mpl-Mf_Rd)*(1-(((2*Ved)/(Vbw_Rd))-1)^2) %(ekv.
    S5-22 - Bärande 1)

if Med<interaktion
    disp('Med<interaktion --> ok!!!')
else
    disp('Ej ok :(')
end

Livet är i tvärsnittsklass 1
Flänsen är i tvärsnittsklass 1
OK momentkapacitet

UG_m =

    0.6879

Ingen risk för skjuvbuckling

UG_v =

    0.3051

```

---

---

*W\_f =*

*0.0271*

*Kontroll av interaktion behöver utföras*  
*Kontroll av interaktion behöver utföras*

*interaktion =*

*1.5302e+07*

*Med<interaktion --> ok!!*

*Published with MATLAB® R2019a*

## 10.10 Bilaga 10 - MATLAB-skript för kontroll av kapacitet halssvets på tvärbalk

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

## Tvårbalk, Kontroll av halssvets

```
clc, clear, close all
%----- Indata -----
Vved=2.9300e6; %[N]
fu=550e6;
upplag=0.25;
Ltvar=14.4;

Bw=1; %Tabell S9.1
gammaM2=1.25; %Från bärande konstruktioner del 2, S134

%Valt a-mått
a=9e-3

%-----Indata vald balk-----
bft=550e-3;
tft=45e-3;
hlt=1050e-3;
tlt=30e-3;
A2=2*(bft*tft)+hlt*tlt; %Tvårsnittsarea längsgående balkar

It=((tlt/12)*(hlt.^3))+2*(bft*tft*(((hlt
+tft)/2)^2)+((tft^3)*bft/12));
S=bft*tft*((hlt+tft)/2); % Flänsens statiska ytmoment

%-----Beräkning av spänningar-----
%Skjuvspänning, parallell
T11=Vved*S/(It*2*a);

%Skjuvspänning och dragspänning, vinkelrätt
sigmaT=Vved/(2*sqrt(2)*a*Ltvar);
TT=sigmaT;

sigmaeq=sqrt((sigmaT.^2)+3*((TT^2)+(T11^2)));

%-----Dimensioneringsvillkor-----
dim1=fu/(Bw*gammaM2);
dim2=0.9*fu/gammaM2;
```

---

```
if sigmaeq<dim1
    disp('ok')
else
    disp('ej ok')
end
```

```
if sigmaT<=dim2
    disp('ok')
else
    disp('ej ok')
end
```

```
a =
```

```
    0.0090
```

```
ok
ok
```

*Published with MATLAB® R2019a*

## 10.11 Bilaga 11 - MATLAB-skript för vindlast

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

# VINDLAST PÅ PYLON

```
clear all; clc;
%beräknas som punktlast mitt på pylonen
% indata
%terrängtyp II
p_luft=1.25; %[kg/m3], rekommenderat värde
vb=24; %[m/s] vindhastighet i Söderköping från Boverket

%dimensioner pylon
b=3.5; %[m]
d=2; %[m]
h_pylon=41.3; %[m]inkluderar höjd över och under brofarbanan
A_ref=h_pylon*b; %[m]

c_ez=3.5; %exponeringsfaktor ur fig 4.2 för terrängtyp, tagits mht
höjd över marken
qb=0.5*p_luft*vb^2; %ekv 4.10
qp=qb*c_ez; %ekv 4.9

cscd=1; %bärverksfaktor, valt värde för att vara konservativ. kap 6

%ta fram beräkningsfaktorer
psi_r=1; %skarpa hörn, figur 7.24
psi_l=0.92; %reduktionsfaktor, konservativt antagande: tabell 7.16,
figur 7.36, ekv 7.28

%figur 7.23, formfaktor för kraft cf,0
if d/b <=0.7
    cf0 =0.3193*log(d/b)+2.5139;
elseif 0.7<(d/b)<1.4
    cf0=-0.7121*log(d/b)+2.1460;
elseif 1.4>=d/b<10
    cf0=-0.1443*log(d/b)+1.2322;
else
    cf0=0.9;
end

cf=cf0*psi_r*psi_l; %ekv 7.9

Fw=cscd*cf*qp*A_ref %ekv 5.3, slutlig vindkraft [N]

Fw =

    3.9129e+05
```

---

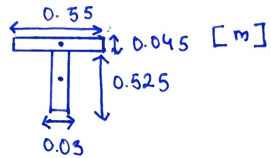
*Published with MATLAB® R2019b*

10.12 Bilaga 12 - Beräkning av plastiskt moment,  $M_{pl}$ , för olyckslast

Beräkning av  $M_{pl}$

$$f_y = 440 \text{ MPa}, \quad A_{rea} = 0.0405 \text{ m}^2$$

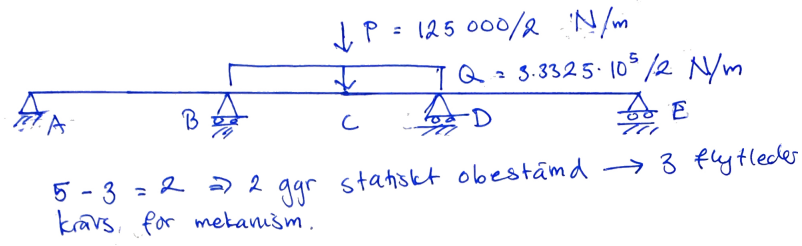
$$N_{pl} = 0.0405 \cdot 440 \cdot 10^6 = 17\,820\,000 \text{ N}$$



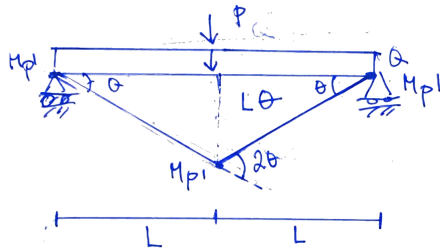
$$x_{tp} = \frac{(0.05 \cdot 0.525) \cdot 0.2625 + (0.045 \cdot 0.55) \cdot 0.0285}{(0.05 \cdot 0.525) + (0.045 \cdot 0.55)} = 0.27625 \text{ m}$$

$$M_{pl} = x_{tp} \cdot 2 \cdot N_{pl} = 9\,845\,550 \text{ Nm}$$

## 10.13 Bilaga 13 - Beräkning och kontroll av olyckslast

Olyckslast

Antag flytleder i B, C, D



$$v_i = v_y$$

$$\theta \cdot M_{pl} + 2\theta \cdot M_{pl} + \theta \cdot M_{pl} = \frac{Q \cdot 2L \cdot \theta L + P \cdot \theta L}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{4M_{pl} = QL^2 + PL}$$

$$4M_{pl} = 39.38 \text{ MNm}$$

$$QL^2 + PL = 24.17 \text{ MNm}$$

$$4M_{pl} > QL^2 + PL \quad \text{OK!!}$$

**10.14 Bilaga 14 - MATLAB-skript för beräkning av längdutvidgning av balkar vid temperaturändring**

---

```
% Kandidatarbete ACEX10-22-50, brogrupp 1.  
% Senast ändrad 2021-05-10 av: Rauan Al-Emrani  
% Mahmoud Alkhateb, Saffa Dagduk, Cecilia Englund  
% Clara Ivarsson, Hampus Petersson
```

# Temperaturutvidning - längsgående och tvärgående stålbalkar

```
clear  
clc  
  
%Klimatdata Söderköping - TRVFS 2011:12, Bilaga 2, Tabell 2a,  
  Söderköpings kommun  
Tmax=36; %[C]  
Tmin=-32; %[C]  
  
dT=Tmax-Tmin; %[K] - Temperaturdifferens  
  
L=145; %[m] - Längsgående stålbalkens längd  
L_tvar=10.4; %[m] - Tvärgående stålbalkens längd  
alfa=12*10^-6; %[1/K] - Längdutvidningskoefficient stål (hämtas ur  
  Bärande konstruktioner del 1)  
eps=dT*alfa; %Töjning stål  
  
dL=eps*L %[m] - Maximal längdförändring i längsled  
dL_tvar=eps*L_tvar %[m] - Maximal längdförändring i tvärled  
  
dL =  
  
    0.1183  
  
dL_tvar =  
  
    0.0085
```

*Published with MATLAB® R2019b*





**CHALMERS**