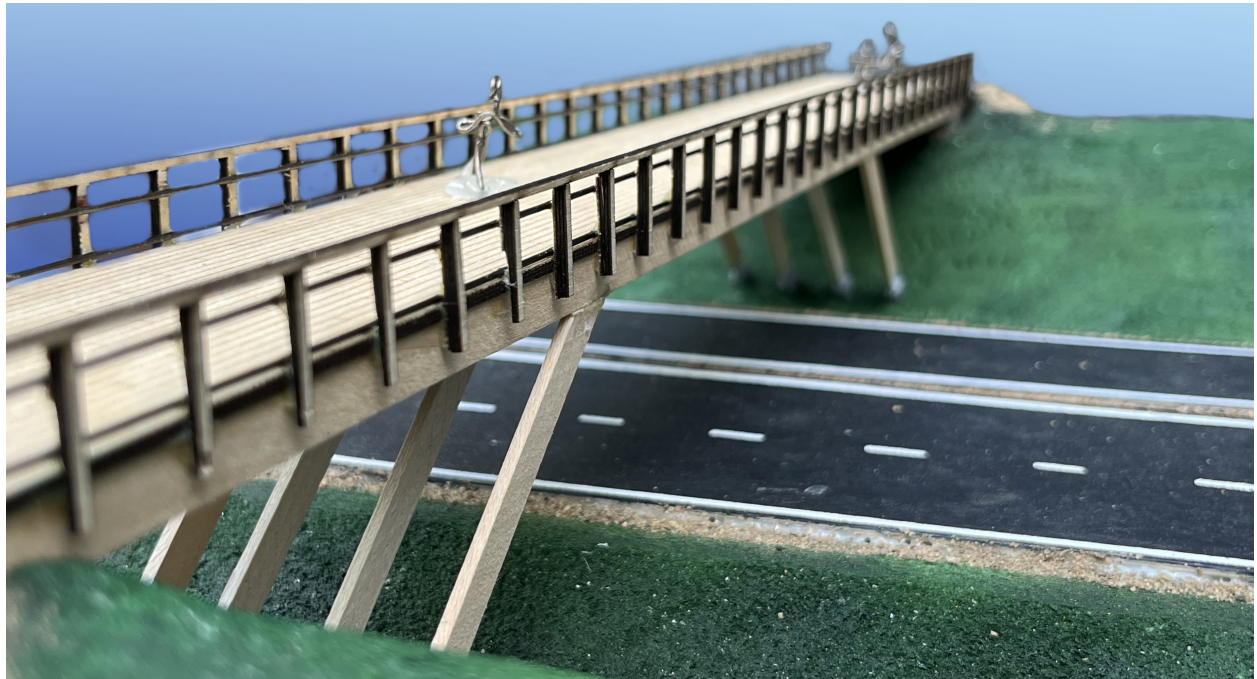




CHALMERS



# Gång- och cykelbro i limträ över E22 i Söderköping

Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

Emma Henrysson  
Marcus Isaksson  
Alexander Ottosson  
Lisa Ryrstedt  
Annie Skeppstedt  
Ivar Westin

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



KANDIDATUPPSATS 2023

# Gång- och cykelbro i limträ över E22 i Söderköping

Förstudie och preliminär dimensionering

EMMA HENRYSSON  
MARCUS ISAKSSON  
ALEXANDER OTTOSSON  
LISA RYRSTEDT  
ANNIE SKEPPSTEDT  
IVAR WESTIN



**CHALMERS**

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

*Avdelningen för konstruktionsteknik*

ACEX11-23-072

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

Gång- och cykelbro i trä över E22 i Söderköping  
Förstudie och preliminär dimensionering  
EMMA HENRYSSON  
MARCUS ISAKSSON  
ALEXANDER OTTOSSON  
LISA RYRSTEDT  
ANNIE SKEPSSTEDT  
IVAR WESTIN

© EMMA HENRYSSON, 2023.  
© MARCUS ISAKSSON, 2023.  
© ALEXANDER OTTOSSON, 2023.  
© LISA RYRSTEDT, 2023.  
© ANNIE SKEPSSTEDT, 2023.  
© IVAR WESTIN, 2023.

Handledare: Mozhdeh Amani, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
Examinator: Ignasi Fernandez, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Kandidatarbete 2023  
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
ACEX11-23-072  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Bild på fysisk modell av slutgiltigt förslag. Författarnas egna verk.

Typsats in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Tryckt av Chalmers Digitaltryck  
Göteborg, Sverige 2023

Gång- och cykelbro i limträ över E22 i Söderköping

Förstudie och preliminär dimensionering

*Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik*

EMMA HENRYSSON

MARCUS ISAKSSON

ALEXANDER OTTOSSON

LISA RYRSTEDT

ANNIE SKEPPSTEDT

IVAR WESTIN

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Rapporten behandlar en förstudie samt en preliminär dimensionering av ett förslag på gång- och cykelbron som ska byggas över den nya sträckningen av E22 förbi Söderköping. E22 tillhör Sveriges stamvägar och förnyas ständigt för att upprätthålla trafiksäkerheten samt den växande trafikmängden.

Arbetet som ligger till grund för rapporten är uppdelat i två delar. Inledningsvis genomfördes en studie där ett brokoncept togs fram, vilken i den senare delen har dimensionerats. I förstudien genererades ett flertal brokoncept som genom urval 1 utvärderades mot framtagna kriterier, vilket resulterade i tre återstående koncept. Kvarvarande koncept genomgick urval två där kriterierna specificerats, vilket i sin tur resulterade i ett slutgiltigt koncept, en balkbro i limträ med sneda pelare. Detaljer hos det slutgiltiga förslaget specificerades och användes för dimensioneringen i nästa del.

Den preliminära dimensioneringen innefattar beräkningar av farbana, pelare, räcken och fundament. Dessa beräkningar är gjorda i tvärled och längsled. Detaljer som led mellan fundament och pelare, förband mellan pelare och balk samt för skarv mellan balkar är även de dimensionerade. Dessa presenteras i text, i koder från MATLAB samt i ritningar och modelleringar.

Nyckelord: Träbro, Snedbensbro, Brokonstruktion, Samhällsbyggnadsteknik, Dymningsförband, Limträ



Pedestrian and bicycle bridge in glulam over E22 in Söderköping

Pilot study and preliminary dimensioning

*Bachelor's thesis in Civil Engineering*

EMMA HENRYSSON

MARCUS ISAKSSON

ALEXANDER OTTOSSON

LISA RYRSTEDT

ANNIE SKEPPSTEDT

IVAR WESTIN

Department of Architecture and Civil Engineering

Chalmers University of Technology

## **Abstract**

The report includes a pilot study as well as a preliminary dimensioning of a proposal for a pedestrian and bicycle bridge that is going to be built over the new section of E22 that will pass Söderköping. E22 is one of the most important roads in Sweden and is constantly under construction to maintain roadsafety and to handle the growing traffic volume.

The work that the report is based on is divided into two parts. Initially a pilot study was implemented where the concept was produced, which in the second part was dimensioned. The pilot study generated several concepts that through two selections were decreased to one winner, a glulam beam bridge with inclined legs. The remaining concept's details was specified for the second part.

In the second part the winning concept was preliminary dimensioned. This includes calculations regarding the beams, pillars and foundations. Both longitudinally and transversely. Details such as joints between foundations and pillars, connections between pillars and beam as well as the joints connecting the beams are also dimensioned. These are presented in text, codes from MATLAB as well as drawings and models.

Keywords: Timber Bridge, Inclined legs, Bridge Construction, Civil Engineering, Glulam



# Förord

Denna rapport är skriven som ett kandidatarbete av sex studenter som läser till civilingenjörer inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Projektet är tilldelat av COWI och är baserat på ett verkligt fall. Detta har fungerat som en motivation åt författarna då arbetet liknar det som kommer utföras efter examen.

Kunskapen som rapporten grundats på har inhämtats i kurser, litteratur och från lärare som undervisar om ämnet. Utöver det har betydelsefull information och stöttning hämtats hos personer som varit engagerade och insatta i ämnet.

## Ett speciellt tack till:

Handledare, Mozhdeh Amani, samt examinator, Ignasi Fernandez, som varit närvarande och stöttande under arbetets gång.

Marcus Davidsson och Staffan Lindén från COWI som varit tillgängliga för att svara på frågor om projektets tekniska specifikationer samt bidragit med insikter och lösningar från verkligheten.

A-verkstaden som bidragit med stöd och hjälp med modellen.

Erik Hasselwander som hjälpt till med ovärderlig kunskap om  $\LaTeX$ .

Joosef Leppänen och Mats Karlsson för hjälp och inspiration med arbete och studier kring grundläggning.

Gästföreläsare och PEAB för inspirerande föreläsningar och studiebesök.

Göteborg, maj 2023

Emma Henrysson  
Marcus Isaksson  
Alexander Ottosson  
Lisa Ryrstedt  
Annie Skeppstedt  
Ivar Westin



# Ordlista

Nedan förklaras terminologin som används genom rapporten:

## Ordlista

<b>Brottmod</b>	Sätt som ett förband kan gå i brott
<b>CALFEM</b>	Funktionsfilstillägg till MATLAB
<b>COWI</b>	Konsultbolag som handlett arbetet
<b>Dymling</b>	Ståldubb som verkar som förbindare i förband
<b>Farbana</b>	Del av bron som används för trafik
<b>Fri höjd</b>	Krav på höjd mellan mark och konstruktion
<b>Fritt upplagd</b>	System med två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta.
<b>Förband</b>	Konstruktion som sammanbinder två element
<b>Influenslinje</b>	Kurva som visar verkan av en punktlast beroende på vart den placeras
<b>Korrosion</b>	Material löses upp på grund av oxidering
<b>Lastfall</b>	Olika sätt som en eller flera laster kan belasta en konstruktion på.
<b>Limträ</b>	Tunna trälammeller ihoplimmade till ett konstruktionselement
<b>MATLAB</b>	Program som används för beräkningar
<b>Momentstyv</b>	Helt förhindrad rotation, tar upp och överför moment
<b>Normalkraft</b>	Kraft som verkar parallellt elementets längdriktning
<b>Preliminär dimensionering</b>	Konstruktionsberäkning i tidigt skede
<b>Pylon</b>	Torn där kablar fästs i hängande brokonstruktioner
<b>Rullstöd</b>	Stöd som inte tillåter vertikala men tillåter horisontella rörelser
<b>Slitplank</b>	Ytskikt av plank på bro
<b>Stämpeltryck</b>	Vid tryck vinkelrätt fibrerna kommer omgivande träfibrer delvis motverka trycket. Fibrer i ett långt trästycke är därför svårare att trycka ihop

---

<b>Syll</b>	Mindre balk som går tvärs bron
<b>Systerdel</b>	Temporär del som behandlar krafter medan defekt del byts ut
<b>Teknisk livslängd</b>	Tiden som en konstruktion beräknas för att hålla
<b>Tvärkraft</b>	Kraft som verkar vinkelrät mot elementets längdriktning
<b>Underbyggnad</b>	Del av bron under lager, till exempel pelare
<b>Vippning</b>	Vridning och utböjning i sidled. Inträffar i slanka konstruktioner
<b>Ändskärm</b>	Kant fäst i broöverbyggnad som utgör gräns mellan bro och anslutande väg.
<b>Överbyggnad</b>	Del av bron ovan lager
<b>Överliggare</b>	Horisontell del överst i ett räck

# Innehåll

<b>Förord</b>	<b>viii</b>
<b>Termer</b>	<b>x</b>
<b>Figurer</b>	<b>xvi</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xviii</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	1
1.3 Problemformulering . . . . .	1
1.4 Avgränsningar . . . . .	2
1.5 Metodbeskrivning . . . . .	2
1.6 Samhälleliga och etiska aspekter . . . . .	2
<b>2 Förutsättningar och krav</b>	<b>3</b>
2.1 Geotekniska förutsättningar . . . . .	3
2.1.1 Stabilitet . . . . .	3
2.1.2 Förbifart Söderköping . . . . .	3
2.2 Trafikförutsättningar . . . . .	3
2.3 Tekniska krav . . . . .	4
2.4 Beställarnas intressen . . . . .	4
<b>3 Bakgrund och underlag för urval</b>	<b>5</b>
3.1 Material . . . . .	5
3.2 Brotyper . . . . .	5
3.2.1 Balkbro . . . . .	5
3.2.2 Plattbro . . . . .	5
3.2.3 Rambro . . . . .	5
3.2.4 Fackverksbro . . . . .	6
3.2.5 Bågbro . . . . .	6
3.2.6 Hångbro . . . . .	6
3.2.7 Snedkabelbro . . . . .	6
3.2.8 Valvbro . . . . .	6
3.2.9 Rörbro . . . . .	6
3.3 Produktion . . . . .	7

3.4	Förvaltning och underhåll . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Preliminära brokoncept</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Urvalsprocess</b>	<b>11</b>
5.1	Framtagning av grundläggande kriterier . . . . .	11
5.2	Betygsättning, första urvalet . . . . .	11
5.3	Balkbro i betong (Koncept 2) . . . . .	12
5.3.1	Produktion . . . . .	12
5.3.2	Förvaltning . . . . .	12
5.4	Balkbro av trä med sneda stöd (Koncept 7) . . . . .	13
5.4.1	Produktion . . . . .	13
5.4.2	Förvaltning . . . . .	13
5.5	Bågbro i limträ med dragstag (Koncept 4) . . . . .	13
5.5.1	Produktion . . . . .	14
5.5.2	Förvaltning . . . . .	14
5.6	Noggrannare utvärdering av de kvarvarande brokoncepten . . . . .	14
5.6.1	Utvärderingskriterier för andra urvalet . . . . .	14
5.6.2	Betygsättning i andra urvalet . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Slutgiltigt brokoncept</b>	<b>16</b>
6.1	Överbyggnad . . . . .	16
6.2	Pelare och ändstöd . . . . .	16
6.3	Detaljer . . . . .	17
6.4	Grundläggning . . . . .	17
6.5	Produktion . . . . .	17
6.6	Förvaltning . . . . .	18
<b>7</b>	<b>Beräkningsförutsättningar</b>	<b>19</b>
7.1	Beräkningsmodell . . . . .	19
7.2	Laster . . . . .	19
7.2.1	Konstant last . . . . .	19
7.2.2	Variabel last . . . . .	20
7.3	Säkerhetsklass . . . . .	20
<b>8</b>	<b>Preliminär Dimensionering</b>	<b>21</b>
8.1	Lastfall . . . . .	21
8.2	Överbyggnad . . . . .	21
8.2.1	Huvudbalkar . . . . .	22
8.2.2	Syllar och slitplank . . . . .	22
8.2.3	Räcke . . . . .	23
8.3	Pelare . . . . .	23
8.4	Förband . . . . .	23
8.4.1	Förband mellan pelare och överbyggnad . . . . .	23
8.4.2	Skarvning av huvudbalkar . . . . .	24
8.4.3	Ledad infästning av pelare . . . . .	25
8.5	Ändstöd . . . . .	25

8.6	Grundläggning . . . . .	26
8.7	Kontroll av egenfrekvens, nedböjning och vippning . . . . .	26
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>27</b>
9.1	Förstudie . . . . .	27
9.2	Urvalsprocessen . . . . .	27
9.3	Beräkningsmodell och dimensionering . . . . .	27
9.3.1	Överbyggnad . . . . .	28
9.3.2	Pelare och förband . . . . .	28
9.3.3	Grundläggning, ändstöd och landfästen . . . . .	29
<b>10</b>	<b>Slutsats</b>	<b>30</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>31</b>
<b>A</b>	<b>Förslagshandling</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Fördjupning grundläggning</b>	<b>III</b>
B.1	Stabilitet . . . . .	III
B.1.1	Sättningar . . . . .	III
B.1.2	Släntstabilitet . . . . .	III
B.2	Jordprofil . . . . .	IV
B.3	Bergskvalitet . . . . .	IV
B.4	Preliminär design grundläggning . . . . .	V
B.4.1	Lastspridning . . . . .	V
B.4.2	Glidning och stjälpning . . . . .	V
B.4.3	Övriga parametrar . . . . .	VI
<b>C</b>	<b>Material</b>	<b>VII</b>
C.1	Trä som byggnadsmaterial . . . . .	VII
C.2	Stål som byggnadsmaterial . . . . .	VIII
C.3	Betong som byggnadsmaterial . . . . .	IX
C.4	Övriga material . . . . .	X
<b>D</b>	<b>Kriterier i urval</b>	<b>XI</b>
D.1	Fördjupning av kriterier i urval 1 . . . . .	XI
D.1.1	Miljö . . . . .	XI
D.1.2	Pris . . . . .	XI
D.1.3	Estetik . . . . .	XI
D.1.4	Underhåll . . . . .	XI
D.1.5	Produktion . . . . .	XI
D.2	Fördjupning av kriterier i urval 2 . . . . .	XII
D.2.1	Miljöpåverkan produktion . . . . .	XII
D.2.2	Miljöpåverkan underhåll . . . . .	XII
D.2.3	Byggnadskostnad . . . . .	XII
D.2.4	Underhållskostnad . . . . .	XII
D.2.5	Utseende . . . . .	XIII
D.2.6	Omkringliggande miljö . . . . .	XIII

D.2.7	Underhållsbehov . . . . .	XIII
D.2.8	Reperationsbehov . . . . .	XIII
D.2.9	Produktionstid . . . . .	XIV
D.2.10	Produktionsteknik . . . . .	XIV
<b>E</b>	<b>Bilder på bromodell</b>	<b>XV</b>
<b>F</b>	<b>Matlab beräkning</b>	<b>XVIII</b>
F.1	Beräkning av laster . . . . .	XVIII
F.2	Beräkning av vindlast . . . . .	XXII
F.3	Beräkning av värsta position för servicefordon . . . . .	XXIII
F.4	Snittkraftberäkning i längsled . . . . .	XXVII
F.5	Snittkraftsberäkning i tvärled . . . . .	XXXV
F.6	Beräkning av räcke . . . . .	XLII
F.7	Beräkning av pelare . . . . .	XLIII
F.8	Beräkning av balk-pelare förband . . . . .	XLV
F.9	Beräkning av laster i skarv-position . . . . .	XLIX
F.10	Beräkning av skarvförband 1 . . . . .	LV
F.11	Beräkning av skarvförband 2 . . . . .	LVIII
F.12	Beräkning av ledad infästning av pelare . . . . .	LXI
F.13	Kontroll av stämpeleffekt . . . . .	LXII
F.14	Beräkning av tryck från fundament . . . . .	LXIII
F.15	Beräkning av egenfrekvens . . . . .	LXIV
F.16	Kontroll för vippning . . . . .	LXV

# Figurer

4.1	Koncept 1: Betongbro med konsolutbyggnad. . . . .	9
4.2	Koncept 2: Balkbro i betong. . . . .	9
4.3	Koncept 3: Fackverksbro i trä med betongpelare. . . . .	9
4.4	Koncept 4: Bågbro i trä med dragstag. . . . .	9
4.5	Koncept 5: Platttribro i betong. . . . .	9
4.6	Koncept 6: Snedkabelbro, limträbalkar och träpyloner med stålvaror. . . . .	9
4.7	Koncept 7: Balkbro av limträbalkar och sneda stöd. . . . .	10
4.8	Koncept 8: Valvbro i betong. . . . .	10
4.9	Koncept 9: Bågbro i trä med tre fack och mellanliggande farbana. . . . .	10
4.10	Koncept 10: Bågbro i trä med fast inspänd båge tvärsöver farbana. . . . .	10
6.1	Slutgiltigt brokoncept. . . . .	16
7.1	Beräkningsmodell i längsled. . . . .	19
7.2	Beräkningsmodell för överbyggnad i tvärlängd. . . . .	19
8.1	Tvärsnitt för överbyggnad. . . . .	22
8.2	Förbandets utformning mellan pelare och balk där inslitsade plåtar och dymlingars position kan ses. . . . .	24
8.3	Förbandets utformning mellan pelare och balk sett från sidan. . . . .	24
8.4	Förbandets utformning från balk till balk vid skarv. . . . .	24
8.5	Förbandets utformning mellan pelare och fundament sett från ovan. . . . .	25
8.6	Förbandets utformning mellan pelare och fundament sett från sidan. . . . .	25
8.7	Principiell utformning av ändstöd och ändskärm. . . . .	26
A.1	Förslagshandling från Trafikverket tillsammans med COWI. . . . .	II
B.1	Jordprofil och skärningsprofil för planerat läge för byggnation. Axlar- na avser höjdmeter respektive meter till höger och vänster om skär- ningens mittpunkt. . . . .	IV
B.2	Preliminär design av fundament till pelare. . . . .	VI
E.1	Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk. . . . .	XV
E.2	Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk. . . . .	XVI
E.3	Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk. . . . .	XVI
E.4	Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk. . . . .	XVII
E.5	Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk. . . . .	XVII
F.1	Influenslinje, moment . . . . .	XXV

## Figurer

---

F.2	Influenslinje, tvärkraft . . . . .	XXVI
F.3	Momentdiagram för lastfall i längsled . . . . .	XXXIII
F.4	Tvärkraftsdiagram för lastfall i längsled . . . . .	XXXIV
F.5	Momentdiagram för syllarna i brons tvärriktning för de olika lastfallen	XL
F.6	Tvärkraftsdiagram för syllarna i brons tvärriktning för de olika lastfallen	XLI
F.7	Dymlingförband mellan pelare-balk och resulterande krafter från varje dymling . . . . .	XLVIII
F.8	Moment för skarvar . . . . .	LIV
F.9	Tvärkrafter för skarvar . . . . .	LIV

# Tabeller

5.1	Utvärderingskriterier för första urvalet. . . . .	11
5.2	Första utvärdering av brokoncepten. . . . .	12
5.3	Utvärderingskriterier för andra urvalet. . . . .	15
5.4	Andra utvärderingen av brokoncepten. . . . .	15
8.1	Dimensionerande moment och tvärkraft för värsta lastfall. . . . .	21
8.2	Analys av huvudbalkar i olika lastfall för moment och tvärkraft. . . . .	22
8.3	Analys av syllar i olika lastfall för moment och tvärkraft. . . . .	22
8.4	Analys av pelare i olika lastfall för moment-, tvär- och normalkraft. . . . .	23

# 1

## Introduktion

Europaväg 22 är en av de viktigaste vägarna i Sverige då den sammanbinder stora delar av östra och södra Sverige och sträcker sig över totalt 560 km. Den långa sträckan har renoverats etappvis under lång tid och har därför varierande utförande och kvalitet på olika delar av sträckningen. En del av upprustningen innebär att sträckan förbi Söderköping ska dras om (Trafikverket, 2023). Detta innebär att flera nya broar kommer att behöva byggas för att skapa förbindelser över E22an.

### 1.1 Bakgrund

I samband med omdragningen av E22 kommer mitträcken att installeras och korsningar elimineras. Ombyggnationen innebär att gång- och cykelvägar kommer att separeras från biltrafiken och säkra passager ska konstrueras (Trafikverket, 2022). En av dessa säkra passager är en gång- och cykelbro som kommer att byggas i närheten av Trafikplats Norra i utkanten av staden, vid Brobyvägen.

Uppdraget att dimensionera denna bro har getts till konsultbolaget COWI och de har tillsammans med Chalmers Tekniska Högskola utformat detta kandidatarbete. I verkligheten ska en vägbro byggas på denna plats, men i detta kandidatarbete valde COWI att utforma uppgiften som en gång- och cykelbro.

### 1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att ta fram ett passande brokoncept samt utföra en preliminär dimensionering av valt koncept för att få fram en preliminär utformning. Detta ska göras med avseende på gällande avgränsningar, förutsättningar och krav. Beställarens intressen samt brons produktion och förvaltning ska beaktas.

### 1.3 Problemformulering

Projektet omfattar en gång- och cykelbro över väg E22 i Söderköping. Arbetet utgår från förslagshandlingen som tillhandahållits av COWI. Förslagshandling kan hittas i bilaga A. Brons totala längd ska vara 50 m, fri bredd på farbanan är 5,2 m och den fria höjden under bron ska vara minst 4,7 m. Ett lämpligt brokoncept ska väljas utifrån en förstudie och en urvalsprocess för att sedan preliminärdimensioneras för den tekniska livslängden på 80 år. Bron ska uppfylla alla tekniska krav och dimensioneringen ska utgå ifrån rådande förhållanden och förutsättningar. Produktion och förvaltning ska vara i åtanke vid urval och dimensionering.

## 1.4 Avgränsningar

I rapporten läggs ingen tyngd på ljud- och bullermiljö. Ekonomi och miljö kommer endast att beaktas på ett övergripligt plan i urvalsprocessen och inga beräkningar kommer att göras på dessa aspekter. Vid detaljer, så som förband, dimensioneras framförallt de mest centrala samt kritiska förbanden för konstruktionens utformning. Olyckslast, utmattning och brand kommer ej beaktas. Även andra förenklingar i beräkningarna och beräkningsmodellerna kan komma att göras, eftersom detta endast är en preliminär dimensionering.

## 1.5 Metodbeskrivning

Omkringliggande miljö, krav och begränsningar studeras för att skapa förutsättningar för projektet. Mål och förväntningar från gruppen samt önskemål från intressenter beaktas. Med detta framställs och jämförs ett flertal olika koncept. De olika koncepten jämförs efter utvärderingskriterier som utformas och viktas genom att beakta åtråvärda egenskaper. Sist värderas samtliga koncept och rangordnas för att ta fram det förslag som är mest lämpligt.

När det slutgiltiga brokonceptet är valt påbörjas arbetet med den preliminära dimensioneringen. Merparten av beräkningar kommer att ske med hjälp av beräkningsprogrammet MATLAB. Beräkningar och modeller kommer att användas för att kontrollera brons verknings sätt, förskjutningar och kritiska punkter, samt för att kontrollera att dimensioneringen tål erforderliga laster.

Litteraturstudien innefattar föreläsningar, standarder, böcker, artiklar samt diskussion med handledare. Beräkningar sker med hjälp av Eurocode och Svensk Standard samt förordningar och regler från bland annat Trafikverket. En skalenlig presentationsmodell av gång- och cykelbron konstrueras i A-verkstaden för att visualisera resultatet och ställs sedan ut på Chalmers. Bromodellen redovisas även i slutpresentationen.

## 1.6 Samhälleliga och etiska aspekter

Samhälleliga och etiska aspekter kommer att beaktas i projekteringen sett till brons utformning och materialval. Miljö är ett av kriterierna som broförslagen utvärderas mot i urvalet. Utifrån ett samhälleligt perspektiv kommer denna bro att främja trafiksäkerheten längs E22 samt bidra till mindre avskärmning mellan de två sidorna av vägen. I utformningen kommer även Boverkets allmänna råd gällande tillgänglighet på allmänna platser (Boverket, 2022) att tas hänsyn till för att säkerställa att alla i området kan bruka bron och därmed korsar den nya vägen utifrån samma förutsättningar.

# 2

## Förutsättningar och krav

Trafikverket har tillhandahållit en förslagshandling över konstruktionen som utgör grunden till de förutsättningar och krav som finns på arbetet. Utöver denna kommer även omgivningen att utgöra förutsättningar.

### 2.1 Geotekniska förutsättningar

Vid dimensionering av konstruktioner är geotekniska förutsättningar viktiga att analysera. De laster konstruktionen utsätts för ska även bäras av den underliggande marken. På grund av jordens och berggrundens varierande egenskaper krävs undersökningar för att förhindra brott och säkerställa en stabil konstruktion.

#### 2.1.1 Stabilitet

För brokonstruktioner blir beräkningar av den underliggande jordens deformations-egenskaper avgörande för resultatet. Beroende på valet av brokonstruktion blir olika moment kritiska och kommer behöva undersökas olika noga. Grundläggningen sker i så hög grad som möjligt utan risk för skred, ras och sättningar. Skulle underliggande mark deformera i någon riktning, riskeras hållfastheten av konstruktionen. För fördjupning, se bilaga B.1

#### 2.1.2 Förbifart Söderköping

De geologiska förutsättningarna denna plats är goda för grundläggning av en brokonstruktion. Genomförda studier visar ett tunt jordlager över berg. Detta möjliggör en stabil kraftöverföring av de bärande fundamenten till berggrunden för att säkerställa sättnings- och stabilitetsproblem som annars kan uppstå vid tjocka jordlager och dålig grundläggning. Vidare studie presenteras i bilaga B.2

### 2.2 Trafikförutsättningar

I samband med att den nya dragningen av E22 anläggs, kommer planskilda korsningar samt gång- och cykelpassager byggas (Trafikverket, 2022). Detta innebär att, bortsett från byggtrafik, finns det ingen trafik att ta hänsyn till under arbetet.

Enligt Söderköpings kommuns översiktsplan är visionen att expandera staden västerut (Söderköpings kommun, 2015). Detta innebär att gång- och cykelbron kommer ha en väsentlig betydelse för stadens utveckling. Mängden trafikanter som passerar bron antas öka med expansionen.

### 2.3 Tekniska krav

Förslagshandlingen tillhandahållen av COWI redovisar tekniska krav på bronns utformning. Ritningen ger bland annat bronns fria höjd över väg E22, minst 4,7 m, samt information om vägen som passerar under. Vid bronns placering kommer underliggande väg vara en 2+1 väg som består av en 14 m bred vägbana med 0,5 m vägren.

Enligt kraven för brobyggande från Trafikverket (2019) ska den underliggande vägen vara framkomlig för lastbilar. Är den fria höjden lägre än 5,2 m ska broöverbyggnaden inte utgöras av en stålkonstruktion, aluminiumkonstruktion eller träkonstruktion, på grund av påkörningsrisk. Detta gäller även betongkonstruktioner där minsta tvärsnittsmått är mindre än 0,2 m. Däremot, efter diskussion med COWI, behöver detta krav inte beaktas och vi kan använda oss av en fri höjd på 4,7 m oavsett konstruktionsmaterial.

För att cyklister och fotgängare ska kunna mötas, samt för att ett räddningsfordon ska kunna passera över bron, bör den fria bredden på farbanan vara minst 3 meter (Trafikverket, 2019). Enligt förslagshandlingen krävs en fri bredd på 5,2 m vilket i detta fallet blir det dimensionerande kravet.

### 2.4 Beställarnas intressen

Trafikverket i samspel med Söderköpings kommun står som beställare för detta projekt. Vid byggnationer som broar är många intressenter inblandade. Kommunen och dess invånare representerar de lokala intressenterna men även trafikanterna som passerar förbi har förväntningar och krav på resultatet.

Trafikverket menar i planbeskrivningen för Förbifart Söderköping att vägplanen innebär stor markanvändning och skapar ett hinder i det nuvarande öppna landskapet (Trafikverket, 2022). De påpekar däremot att den nya vägen bidrar till en ökad säkerhet för oskyddade trafikanter. Detta bland annat då trafiken genom Söderköping kommer minska. Något Trafikverket också påpekar är att orsaken till omledningen är att minska risken för olyckor med fordon som fraktar farligt gods i tätorten.

I Söderköpings översiktsplan nämns att omdragningen kommer bidra till en väsentlig förbättring av stadsmiljön och att korta ner restider, genom och till, Söderköping från kringliggande kommuner. Det ligger också i kommunens intresse att bygga ut gång- och cykelnätet i staden, de menar att *"Cykelpendling mellan Söderköping och omkringliggande orter och samhällen kan vara ett sätt att minska biltrafiken både innanför och utanför staden"* (Söderköpings kommun, 2015, s. 51). Något som också nämns i Söderköpings översiktsplan är funktionsmål och hänsynsmål. Funktionsmålen innebär i stort att tillgängligheten ska vara grundläggande och likvärdig för alla i staden. Hänsynsmålen syftar till att samhällets utformning ska anpassas efter säkerhet och miljöpåverkan. Dessa två mål tas i beaktning vid utformning av brokonceptet.

# 3

## Bakgrund och underlag för urval

I detta kapitel presenteras den bakgrund och teori som ligger till grund för urvalsprocessen. De vanligaste materialen redovisas i bilaga C och brotyperna samt hur dessa produceras och underhålls över tid redovisas nedan.

### 3.1 Material

Materialet som används för en konstruktion är avgörande för hur denna kan konstrueras och designas i många aspekter. Detta eftersom de olika materialen som finns att tillgå har varierande egenskaper och verkningssätt. De vanligaste konstruktionsmaterialen presenteras i bilaga C.

### 3.2 Brotyper

När det kommer till utformningen av en bro finns det ett stort antal olika brokoncept och brotyper att utgå ifrån. Dessa bygger på olika verkningssätt och konstruktionsmetoder och varje brotyp kan variera något i utformning beroende på förutsättningar och estetiska önskemål. Varje brotyp har fördelar och nackdelar och lämpar sig vid olika tillfällen. All information nedan om de olika brotyperna är tagen från Trafikverket (2014).

#### 3.2.1 Balkbro

Balkbro är en av de vanligaste och enklaste brotyperna. Principen bygger på att ett antal balkar läggs ovanpå två eller fler stöd. Balkbroar finns i trä, betong och stål samt i olika tvärsnitt. Fackverk och lådtvärsnitt är exempel på varianter som är vanligt förekommande.

#### 3.2.2 Plattbro

Plattbron bygger på samma princip som balkbron, med skillnaden att en plattbro har en platta med integrerat bärverk istället för längsgående balkar.

#### 3.2.3 Rambro

Rambro är den vanligaste typen av bro i Sverige. Den kan utformas som plattbro eller balkbro, med skillnaden att broplattan eller balken är inspänd i rambenen vid änden. Rambro är i armerad betong. Den maximala spännvidden varierar mellan 25-35 meter beroende på om betongen är slak- eller spännarmerad.

#### 3.2.4 Fackverksbro

Fackverksbron är vanligtvis en balkbro, där balken är ersatt med fackverk som utnyttjar stångverkan för att skapa styvhet och minska materialåtgången. Det som kännetecknar ett fackverk är att det bara finns tryck- eller dragkraftar i respektive stång. Fackverksbroar är vanligast i stål, men förekommer även i trä. Idag är fackverksbroar ovanliga för vägtrafik på grund av sin höga produktionskostnad.

#### 3.2.5 Bågbro

Bågbroar finns i flera olika utföranden men det alla har gemensamt är att det finns en eller flera bågar som bär last. Bågbroar kan ha överliggande, underliggande eller mellanliggande brobana. Vanligtvis finns två parallella bågar med tvärgående balkar mellan.

Huvudbärverket i bågbroen är bågen och lasten bärs genom att egentyngheten skapar tryckkrafter i bågen, vilket gör att bärförmågan blir högre. Detta skapar i sin tur dragkrafter i brobanan. Brobanan bärs upp av hängstag vid underliggande brobana. Vid överliggande brobana bärs brobanan upp av pelare. Är brobanan mellanliggande finns hängstag där bågen är över brobanan och pelare där bågen är under banan.

#### 3.2.6 Hängbro

Hängbroens bärverk grundar sig i att brobanan hängs upp i två längsgående huvudkablar fästa i toppen av två pyloner. Kablarna förankras på andra sidan pylonerna i berg eller andra landfästen. Mindre kablar löper mellan huvudkablarna och farbanan, dessa kallas för hängare. Hängare och huvudkablar belastas endast med dragkrafter medan pylonerna bär tryckkrafter. Hängbroar är den brotyp som klarar högst spännvidd.

#### 3.2.7 Snedkabelbro

Likt hängbron har snedkabelbron kablar som löper över pyloner. Skillnaden är att snedkabelbron har flera parallella kablar som går från brobana, över pylontoppen, och ner till mark. Även här är kablar endast belastade med drag, medan pylonerna i huvudsak bär stora tryckkrafter. Spännvidden för snedkabelbroar kan uppgå till ca 400 m.

#### 3.2.8 Valvbro

Valvbron är en äldre variant av bågbro. Gamla valvbroar är ofta byggda av huggen sten men det finns även exempel med betong, både armerad och oarmerad. Valvbroar är idag ovanliga på grund av höga produktionskostnader.

#### 3.2.9 Rörbro

Rörbroar kan byggas med olika material. Principen bygger på en samverkan mellan rörtaket och jorden ovanför, som bidrar till bärförmågan i bron. Undantaget är om

rörbron är i armerad betong, då själva röret anses vara styvt nog att det inte sker samverkan. Spännvidden för rörbroar är oftast liten, och kan uppgå till cirka 15 m.

## 3.3 Produktion

I produktionsfasen av en bro finns det många viktiga aspekter. Om produktionsmetoden som används för bron inte är väl utförd kan det få ekonomiska, arbetsmiljö- och tidsmässiga konsekvenser.

Broelement kan antingen platsbyggas eller prefabriceras. De olika metoderna är olika frekvent använda för olika material. Stål- och träelement produceras oftast i fabrik medan betongelements produktion beror på elementets funktion, placering och transportmöjlighet.

Betongkonstruktioner kan produceras på olika sätt. De vanligaste produktionsmetoderna för betongkonstruktioner är platsgjutning och prefabricering. För fundament, bågar och pelare är platsgjutning standard inom byggindustrin. Prefabricering används främst till balkelement och formplattor enligt Ehlonsson och Palmqvist (2010). Fördelen med platsgjutning är framförallt flexibilitet, eftersom varje gjutningsform kan specialbyggas till önskade dimensioner vilket leder till ökad utnyttjandegrad av material. Sett till produktion är det i regel enklare att få fram en betongbil till gjutningsplats än en prefabricerad konstruktion, vilket måste tas i beaktning vid svårtillgängliga arbetsplatser.

Temporära konstruktioner finns av olika anledningar. Det kan vara ställningar, som används för att bära bronns egentyngd under byggnation eller vägar för få tillgång till platsen där bron ska byggas (Brosamverkan, 2022). Byggnadsställning kan vara olämplig vid höga konstruktioner eller vid bro över vatten. Ibland behöver även temporära vägar byggas för att leda om trafik eller för att maskiner och andra fordon ska ha tillgång till platsen.

## 3.4 Förvaltning och underhåll

En konstruktion behöver under sin livstid underhållas och inspekteras för att bibehålla sin funktion och sitt utseende. För att underlätta underhåll och på så sätt förlänga bronns livslängd finns det regelverk som säkerställer att tillgängligheten och säkerheten kan upprätthållas vid reparationer och inspektioner. Dessa åtgärder kan bestå av till exempel byte av delar såsom räcken, kantbalk eller tätskikt, men även betongreparationer och ommålningar (Brosamverkan, 2022). Vilka åtgärder som behöver utföras beror på bronns material och tekniska förutsättningar samt vilka förhållanden och slitage den utsätts för.

Det är viktigt att alla delar som kommer att behöva inspekteras placeras så att det är möjligt att inspektera dem. Detta gäller till exempel övergångskonstruktioner, stegar, lager, räcken, kantbalkar och liknande (Trafikverket, 2019). Detta innebär att vissa avstånd till dessa delar kan krävas. Vid reparationer och underhåll är det dessutom viktigt att trafiken på bron antingen kan ledas om eller att trafiken kan

passera på en begränsad del av bron.

Underhåll och förvaltning räknas även med i bronns totala livcykelkostnad. Med mindre underhållsbehov och lättare laster kan kostnaden reduceras. Detta betyder att en gång- och cykelbro generellt har relativt låga kostnader jämfört med järnvägs- och biltrafiksbroar.

För att minska underhållsbehovet och därmed underhållskostnaden bör bron konstrueras med så få underhållskrävande delar som möjligt (Brosamverkan, 2022). I de fall där detta inte är möjligt bör hänsyn tas till att ge god möjlighet för att utföra nödvändiga underhållsarbeten. Om bron har ett behov av ommålning bör det säkerställas att en sådan ommålning är praktiskt möjlig att genomföra utan för mycket störningar för till exempel undergående trafik samt att det ska kunna utföras på ett säkert sätt. En viktig aspekt att ha i åtanke för byggnationer i Sverige är snöröjning som ska kunna genomföras under vinterhalvåret. Till exempel bör kantbalken vara utformad så att denna inte skadas av snöröjningsfordonen. Utöver det ska bron också klara av att ett räddningsfordon kan passera över (Trafikverket, 2019). Brons belysning ska placeras och utformas så att de inte är utsatta för vandalisering men samtidigt är lättåtkomligt för underhåll. Detta gäller även kopplingskåpet (Brosamverkan, 2022).

För att hantera nederbörd och snösmältningsvatten bör bron utrustas med ett ytavlopp och eventuellt ett grundavlopp för det vatten som tränger igenom beläggningen (Brosamverkan, 2022). Även ledningar och stuprör bör utformas på ett sätt som inte tillåter allt för stora mängder vatten på farbanan samt skyddar trafiken på vägen under.

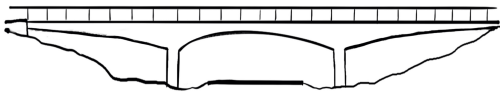
# 4

## Preliminära brokoncept

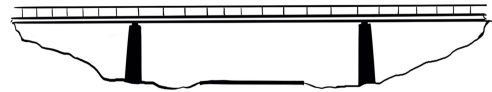
I det första steget kondenserades mängden förslag ned till tio stycken brotyper. Kriterierna som användes baserades på att få en så stor spridning på brotyper och material som möjligt för att sedan utveckla vidare utifrån bestämda utvärderingskriterier samt bakgrunden ovan.

Ur ett förvaltningsperspektiv antas alla broförslag vara breda nog samt klara lasten från aktuella och nödvändiga laster.

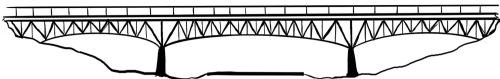
De preliminära brokoncepten som nästkommande urval kommer att utgå ifrån redovisas nedan.



**Figur 4.1:** Koncept 1: Betongbro med konsolutbyggnad.



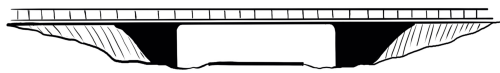
**Figur 4.2:** Koncept 2: Balkbro i betong.



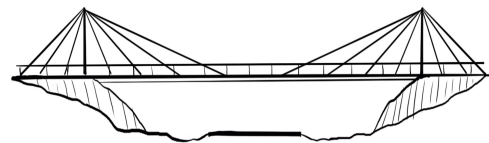
**Figur 4.3:** Koncept 3: Fackverksbro i trä med betongpelare.



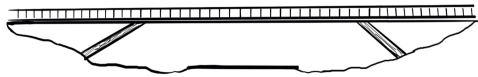
**Figur 4.4:** Koncept 4: Bågbro i trä med dragstag.



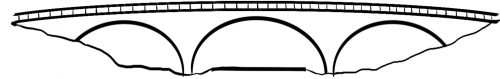
**Figur 4.5:** Koncept 5: Platttrambro i betong.



**Figur 4.6:** Koncept 6: Snedkabelbro, limträbalkar och träpyloner med stål-vajrar.



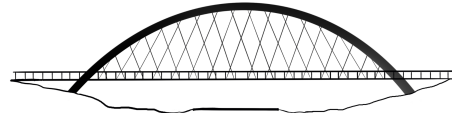
**Figur 4.7:** Koncept 7: Balkbro av limträbalkar och sneda stöd.



**Figur 4.8:** Koncept 8: Valvbro i betong.



**Figur 4.9:** Koncept 9: Bågbro i trä med tre fack och mellanliggande farbana.



**Figur 4.10:** Koncept 10: Bågbro i trä med fast inspänd båge tvärsöver farbana.

# 5

## Urvalsprocess

De preliminära brokoncepten som redovisas i avsnittet ovan har utvärderats mot de grundläggande kriterierna som tagits fram. Kriterier samt sammanvägning presenteras i tabell 5.1. Brokoncepten värderas i tabell 5.2 och de tre som värderas högst redovisas nedan.

### 5.1 Framtagning av grundläggande kriterier

För att utvärdera de framtagna koncepten och senare välja ut de tre främsta alternativen togs fem grundläggande kriterier fram; miljö, pris, estetik, underhåll och produktion.

För att utvärdera de framtagna koncepten och senare välja ut de tre främsta alternativen togs, i enlighet med Broprojekteringshandboken från Brosamverkan (2022), en tabell med grundläggande kriterier fram vilka grundas i kraven som beställarna ställt. Alla kriterier ställs mot varandra och ges från 1 till 3 poäng. 1 poäng till det kriterie som prioriteras lägst och 3 till det högst prioriterade. Om de prioriteras lika ges 2 poäng. De fält där ett kriterie ställs mot sig själv lämnas tomma. Poängen sammanställs och kriterierna rankas samt får en procentsats baserat på dess poäng. Denna viktning används sedan för att poängsätta brokoncepten. Fördjupning av kriterierna hittas i bilaga D.1.

**Tabell 5.1:** Utvärderingskriterier för första urvalet.

Krav	1	2	3	4	5	Andel	Summa	Rank
1. Miljö		3	3	2	1	22,5%	9	2
2. Pris	1		1	1	1	10,0%	4	5
3. Estetik	1	3		1	1	15,0%	6	4
4. Underhåll	2	3	3		1	22,5%	9	2
5. Produktion	3	3	3	3		30,0%	12	1
						100%	40	

### 5.2 Betygsättning, första urvalet

Brokoncepten betygsattes på en skala 1 till 5 utifrån miljö, pris, estetik, underhåll och produktion. Dessa kriterier viktades enligt tabell 5.1 och ett slutbetyg sammanställdes. Betyget användes sedan för att välja ut de tre bästa brodesignerna. Detta genom att välja de med högst summa vilket resulterade i att koncept 2, 4, och 7 valdes.

Tabell 5.2: Första utvärdering av brokoncepten.

	Miljö	Pris	Estetik	Underhåll	Produktion	Summa
Koncept 1	1	3	2	5	1	2,25
Koncept 2	2	4	2	4	4	<b>3,25</b>
Koncept 3	3	3	3	1	2	2,25
Koncept 4	5	5	2	2	3	<b>3,275</b>
Koncept 5	2	3	1	5	4	3,225
Koncept 6	3	1	5	1	2	2,35
Koncept 7	4	4	4	3	4	<b>3,775</b>
Koncept 8	1	2	4	3	2	2,3
Koncept 9	3	1	3	2	2	2,275
Koncept 10	3	1	5	1	3	2,65

### 5.3 Balkbro i betong (Koncept 2)

Som tidigare nämnt är balkbron en av de enklare konstruktionerna. Detta koncept består av en kontinuerlig farbana i armerad betong. Bron vilar på två pelare, även dessa i betong, och är fritt upplagd.

#### 5.3.1 Produktion

Brons största spännvidd är mindre än 20 m och därför är det lämpligast att bygga balkarna i slakarmerad betong (Brosamverkan, 2022). Detta möjliggör också att prefab-element kan användas, vilket innebär att tiden och kostnaden för byggnation kan minimeras.

Eftersom E22 kommer att färdigställas efter att bron byggs, kan den befintliga berggrunden användas vid byggnation, vilket gör att mängden tillfälliga konstruktioner kan minskas.

#### 5.3.2 Förvaltning

En balkbro är relativt förvaltnings- och underhållsvänlig med få underhållskrävande element och anslutningar. Däremot kommer inte hela konstruktionen att gjutas som ett enda element, vilket innebär att det kommer att finnas lager mellan pelare och överbyggnad (Brosamverkan, 2022). Bron bör därför konstrueras på ett sätt som gör det möjligt att lyfta överbyggnaden från sina stöd.

Att införa fler huvudbalkar kan vara gynnsamt ur underhållssynpunkt då reparationer underlättas (Brosamverkan, 2022). Dessa balkar bör läggas under konstruktionen för att underlätta åtkomst och skydda dem från yttre påverkan som väder och slitage. Hos den armerade betongen är det främst frostsador och armeringskorrosion som är orsaken till underhållsarbete (Naderahmadi, 2009). Skador i betongen bör därför repareras omgående för att undvika att skadorna förvärras och att större reparationsarbete krävs.

### 5.4 Balkbro av trä med sneda stöd (Koncept 7)

Detta koncept är likt balkbron i betong, fast med limträbalkar och vilar på sneda stöd. En träbro har fördelarna att vara miljövänligare, ha en lägre egenvikt och ofta vara billigare än betong. Nackdelarna är däremot att trä är fuktkänsligt och kan behöva mer underhåll än broar i andra material.

#### 5.4.1 Produktion

För att hålla ned produktionskostnaderna av en träbro är det fördelaktigt att så mycket arbete som möjligt görs i fabrik (Ritter, 1990). Limträbalkar och pelare tillverkas i fabrik för att sedan levereras som färdiga element och monteras på byggsplatsen. Detta gör att produktionskostnad och byggtid kan reduceras.

Första steget i brons assemblering är att göra grundläggning för ändstöd. Sedan monteras pelare samt balkar och lyfts på plats. Sista steget är att bygga brobanan samt räcket, som byggs direkt på huvudbalkarna.

#### 5.4.2 Förvaltning

Detta brokoncept är liksom det förra utformat som en balkbro och förvaltning och underhåll kan till viss del liknas med föregående brokoncept. Huvudbalkarna och resten av konstruktionen bör projekteras med hänsyn till underhållsbehovet.

En träbro kan ha en livslängd på över 100 år, om den vårdas väl. Eftersom trä är ett organiskt material som är känsligt för fukt och angrepp från skadedjur så används impregnerat eller målat material. Utöver det så bör exponering för fukt undvikas (Ritter, 1990). Farbanan kan göras med limträbalkar eller förspända balkar vilka i sig är något resistent mot fukt.

En träbro är en lätt konstruktion som kan ta stor skada vid påkörning. Sådana skador orsakar både stora kostnader och avancerat underhållsarbete. Ritter (1990) beskriver i sin rapport hur, vid lindriga skador, specifika delar kan bytas ut genom att använda systerdelar. Utöver de förebyggande åtgärderna genomförs regelbundna inspektioner både på de mer underhållskrävande detaljerna samt på virket i bron generellt för att upptäcka skador som kan påverka brons resistens mot angrepp (Svenska Kommunförbundet, 1998).

### 5.5 Bågbro i limträ med dragstag (Koncept 4)

Idén med detta brokoncept är att ha låga bågar i limträ som farbanan vilar på, samt ett dragstag i nederkant. I bågarna verkar både drag- och tryckkrafter, eftersom denna kommer att ha en relativt flack vinkel. Dragstaget motverkar horisontella krafter i fundamenten så att enbart vertikala krafter leds ned i marken.

Enligt Boverkets Byggregler (BBR) (Boverket, 2022) finns krav på maxlutning på 1:12. Detta blir således dimensionerande för bågarnas höjd. Bågbron kommer ha en blandning av bågverkan och balkverkan eftersom bågarna är så låga, vilket medför

komplexitet i dimensionering av leder och tvärsnitt. Det finns en påkörningsrisk för dragstaget som måste beaktas. Skulle dragstaget gå sönder kan det få allvarliga konsekvenser för konstruktionen.

### 5.5.1 Produktion

Likt produktionen för balkbron i limträ kommer bågbron kunna dra nytta av pre-fabricering. Eftersom den totala båglängden kommer överstiga 50 meter, behöver bågen produceras i mindre komponenter och sammanfogas på plats. Leder utformas vid upplagen och skarvarna i fält görs momentstyva.

### 5.5.2 Förvaltning

En bågbro innehåller många mindre detaljer som eventuellt behöver bytas ut under dess livstid (Brosamverkan, 2022). I konstruktionen finns flera lager, ansträngda delar och förankringar, som kräver mycket underhåll. Dessa delar bör vara lättåtkomliga för inspektioner och underhåll.

Om staget behöver bytas krävs det att underliggande väg stängs av, vilket innebär en kostnad till följd av omledning och störning av trafik. Av den anledningen bör staget konstrueras för att underlätta reparationer samt ha så lång livslängd som möjligt.

## 5.6 Noggrannare utvärdering av de kvarvarande brokoncepten

I detta avsnitt görs en noggrannare utvärdering av de tre brokoncepten från fördjupningen ovan för att nå det slutgiltiga brokonceptet. Detta görs likt föregående metod med jämförelse och viktning av kriterier.

### 5.6.1 Utvärderingskriterier för andra urvalet

I andra urvalet delas de fem kriterierna från urval 1 upp i två underkriterier vardera. Kriterierna vägs mot varandra enligt samma system som i urval 1. Andelen poäng varje delkriterier fick i sin kategori multipliceras med andelen poäng kategorin fick i urval 1. Den totala procentsatsen anger vikten av kriteriet när betygsättning görs. Se tabell 5.3. Fördjupning av kriterierna finns i bilaga D.2.

**Tabell 5.3:** Utvärderingskriterier för andra urvalet.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summa	a	b	a*b
1	Miljö produktion		3	3	3	3	3	2	2	3	1	23	67.65%		15%
2	Miljö underhåll	1		1	1	1	1	1	1	3	1	11	32.35%	22.5%	7%
3	Byggnadskostnad	1	3		3	1	3	1	1	3	1	17	56.67%		6%
4	Underhållskostnad	1	3	1		1	1	1	1	3	1	13	43.33%	10.0%	4%
5	Utseende	1	3	3	3		3	1	1	3	1	19	57.58%		9%
6	Omkringlig. miljö	1	3	1	3	1		1	1	2	1	14	42.42%	15.0%	6%
7	Underhållsbehov	2	3	3	3	3	3		1	3	1	22	46.81%		11%
8	Reparationsbehov	2	3	3	3	3	3	3		3	2	25	53.19%	22.5%	12%
9	Produktionstid	1	1	1	1	1	2	1	1		1	10	27.03%		8%
10	Produktionsteknik	3	3	3	3	3	3	3	3	3		27	72.97%	30.0%	22%
															100%

### 5.6.2 Betygsättning i andra urvalet

Likt första urvalet betygsattes kvarvarande brokoncept på en skala 1 till 5, där högre betyg betyder att brokonceptet bättre uppfyller de önskade egenskaperna i det kriteriet. Se tabell 5.4.

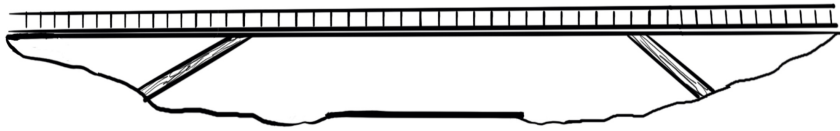
**Tabell 5.4:** Andra utvärderingen av brokoncepten.

			Koncept 2	Koncept 4	Koncept 7
Miljö	1	Miljöpåverkan produktion	1	4	5
	2	Miljöpåverkan underhåll	4	2	3
Pris	3	Byggnadskostnad	3	3	4
	4	Underhållskostnad	5	2	3
Estetik	5	Utseende	2	3	5
	6	Omkringliggande miljö	2	3	3
Förvaltning	7	Underhållsbehov	5	2	3
	8	Reparationsbehov	4	2	3
Produktion	9	Produktionstid	4	2	4
	10	Produktionsteknik	4	2	5
			3.34	2.51	<b>4.05</b>

# 6

## Slutgiltigt brokoncept

Nedan kommer det slutgiltiga brokonceptet att presenteras i mer detalj. Det koncept som valts är en balkbro i limträ med sneda stöd, ses i figur 6.1 nedan, tidigare presenterat som brokoncept 7.



**Figur 6.1:** Slutgiltigt brokoncept.

### 6.1 Överbyggnad

Överbyggnaden kommer, precis som resten av bron, att vara konstruerad i impregnerat limträ. Överbyggnaden kommer att bäras upp av fyra huvudbalkar som kommer att ha rektangulära tvärsnitt. Mellan huvudbalkarna kommer det att finnas tvärbalkar, också de med rektangulära tvärsnitt. På dessa kommer sedan farbanan att ligga. Farbanan kommer att bestå av ett slitlager av impregnerat virke som kommer att tillverkas med ett mönster på ovansidan för att skydda bättre mot halka.

Ytan på farbanan kommer att ha en liten lutning både i sidled och längsled, vilket skapar förutsättningar för att leda vattnet bort från farbanan mot bronns ena kant och därifrån genom ytavlopp längs med bron till stuprör. Detta för att undvika vattensamling på bron samt avrinning ned på vägen under bron.

### 6.2 Pelare och ändstöd

Underbyggnaden kommer att utgöras av fyra sneda pelare samt ändstöd på varje sida. Dessa kommer att överföra laster från överbyggnaden till grundläggningen. Ändstöden kommer att vara enklare fundament, medan den huvudsakliga lasten från bron kommer att bäras upp av de sneda pelarna. Pelarna kommer att ha rektangulära tvärsnitt.

### 6.3 Detaljer

Mellan ändstöden och överbyggnaden kommer det behövas övergångskonstruktioner. Vid ändstöden kommer det vara ett rörligt lager på vardera sida som är fästa i en betongplatta. Pelarna kommer att vara fast inspända i överbyggnaden via dymlingsförband i huvudbalkarna och ha en momentfri led nere vid markfundamenten. Detta för att kunna ta hand om brons laster på ett önskvärt sätt.

För att krafterna som finns i konstruktionen ska överföras på önskvärt sätt sammanfogas byggnadsdelarna med förband utformade efter behov.

### 6.4 Grundläggning

Vid grundläggning är det viktigt att anpassa konstruktionen efter de geologiska förutsättningarna på anläggningsplatsen. På denna plats är mäktigheten av leran uppskattningsvis mellan 1 m till 5 m, detta innebär att djup grundläggning inte kommer vara nödvändigt. En ytlig grundläggning i form av fundament på berggrunden kommer att tillämpas för pelarna. Vid ändstöden kommer en annan lösning för att låta berggrunden bära lasterna att tillämpas. Detta är att föredra då bärformågan i berg är väsentligt mycket bättre än andra material (Brosamverkan, 2022). Detta medför att materialkostnader för bottenplattor blir relativt låga.

Utmaningen i detta projekt blir istället pelarna och de horisontella krafterna de kommer att bidra till. Då jordtrycket troligtvis inte kommer att klara detta horisontella tryck, kan grundläggningen också antas behöva bäras av berggrunden. För detta kommer en lokal sprängning behövas göras för att göra plats för fundamentet. Vid sprängning i berg är det viktigt att beakta eventuella sprickbildningar innan gjutningen sker (Brosamverkan, 2022). Detta eftersom om sprickbildningarna blir för tätta kan bergets kvalitet försämrans och därav utmana berggrundläggningens stabilitet.

### 6.5 Produktion

För att optimera produktionen av bron är det viktigt att planera väl och ha en genomtänkt plan för byggskedet. Även kostnad och tid är viktiga aspekter. Däremot är tidsaspekten en variabel som i detta projektet inte är en begränsande faktor, eftersom att projektet ska ske innan byggnationen av motorvägen som ska gå under bron. Detta skapar fördelen att brons byggske kan ske under en längre period, eftersom ingen trafik behöver tas hänsyn till. Däremot påverkar byggnadstiden andra faktorer, till exempel ekonomiska.

Första steget i produktionen är att transportera maskiner, arbetsbodar och eventuellt bygga temporära vägar till byggplatsen. Efter detta inleds byggnationen med att schakta ner till berggrunden där grundläggningen ska anläggas. Sprängning av berg kommer också som tidigare nämnt att ske. Därefter gjuts fundamenten och anslutningar mellan platta och brostöd. Sett till produktionstid och logistik på byggplatsen är det fördelaktigt att fundamenten för bron är färdiga innan de prefabricerade

elementen levereras. Därefter levereras de komponenter som tillhör stöden till byggplatsen. De sneda pelarna förankras sedan i berget via infästningen. Här kommer en temporär konstruktion behöva användas för att hålla pelarna uppe.

Huvudbalkarna kommer i färdiga delar och skarvas ihop på byggplatsen (Pousette, 2008). Det är fördelaktigt att sätta skarven där momentet i balken är så litet som möjligt. Brobanan och räcken byggs när huvudbalkar och pelare finns på plats.

Transport av broelement via lastbil kräver inga speciella åtgärder vid längder under 24 m (Pousette, 2008). Därför begränsas längderna på balkdelarna. Broelementen lyfts på plats med lyftkran, vilket kan kräva temporära vägar för att transporteras till platsen (Axelsson, 2018). Marken måste även kontrolleras så att den tål belastningen från lyftkranen.

### 6.6 Förvaltning

För att maximera brons livslängd behöver både komponenter och struktur utformas och behandlas med hänsyn. Bron bör konstrueras på ett sätt som underlättar inspektioner och underhåll. Detta innebär bland annat att alla känsliga delar ska vara lättillgängliga från alla håll samt ska vara möjliga att underhålla, reparera eller byta ut (Brosamverkan, 2022). Detta kan uppnås genom att se till att dessa detaljer inte byggs in i för snäva utrymmen, samt se till att det är möjligt att lyfta överbyggnaden så att trycket lättas från lagrena.

Träet bör vara impregnerat och behandlat på ett sätt så att det står emot klimatet som bron kommer att utsättas för och inte ta åt sig fukt eller ta skada på andra sätt, till exempel på grund av skadedjur eller mögel- och svampangrepp. Detta går att åstadkomma genom att använda obehandlat material som målas men det innebär dock ett underhållsbehov då ommålning krävs relativt ofta. Förband och liknande bör också utformas så att dessa inte påverkar träets förmåga att motstå fukt och andra angrepp mer än nödvändigt.

Varje år genomförs en mindre inspektion för att upptäcka uppenbara skador. Var tredje år görs en grundligare inspektion och var sjätte år görs en huvudinspektion där konstruktionen får en ingående genomgång (Svenska Kommunförbundet, 1998). Om skador har uppstått utan att påverkas av olyckslast behöver komponenten utvärderas och bytas mot en som håller för förutsättningarna.

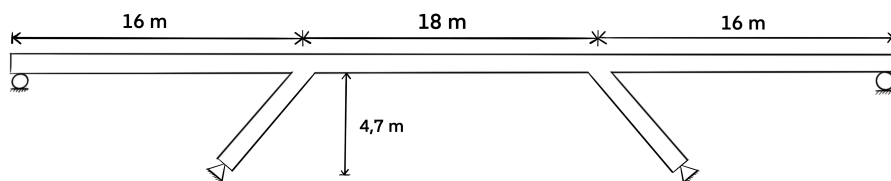
# 7

## Beräkningsförutsättningar

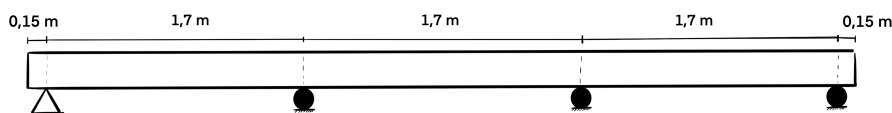
Nedan listas de förutsättningar som legat till grund för beräkningar som gjorts.

### 7.1 Beräkningsmodell

I figur 7.1 och 7.2 nedan visas beräkningsmodellen som använts i längsled och tvärlid. Figuren för längsled redovisar de randvillkor som antagits för systemets stöd. Överbyggnaden antas vila på ett rullstöd vid ändstöden för att undvika att stänga in spänningar i den mån som går. Den är sedan fast inspänd vid pelarnas infästning. Pelarna är ledade vid marken. Lutning av brobaneplattan har försumrats.



Figur 7.1: Beräkningsmodell i längsled.



Figur 7.2: Beräkningsmodell för överbyggnad i tvärlid.

### 7.2 Laster

Bron kommer att dimensioneras utifrån de laster som antas belasta bron vid olika tillfällen enligt Svensk Standard för trafiklast på broar (SIS, 2009).

#### 7.2.1 Konstant last

I detta fall kommer endast en konstant last att belasta bron, egentyngheten. Egentyngheten beror på de olika konstruktionsdelarnas dimensioner och tungheter. I detta fall beaktas enbart det huvudsakliga materialet i den bärande konstruktionen samt räcke. Förband och liknande komponenter försummas.

### 7.2.2 Variabel last

De variabla lasterna på en gång- och cykelbro utgörs dels av en utbredd trafiklast som i detta fall sätts till det rekommenderade värdet  $5 \text{ kN/m}^2$  (SIS, 2009). Denna last är utbredd över hela bronns längd samt över hela bronns fria bredd, 5,2 m.

I detta fall har bron även en variabel last i form av ett servicefordon tagits hänsyn till. Denna har två axellaster om 40 kN respektive 80 kN, eller fyra punktlaster där två av dem är 20 kN och de andra två är 40 kN. I längsled är det 3 m mellan punktlasterna, och i tvärlid 1,3 m (SIS, 2009). I vissa fall bör även en så kallad koncentrerad last beaktas, men detta är inte nödvändigt i de fall då bron dimensioneras för ett servicefordon.

Utöver dessa laster kommer även vindlast och temperaturlast att beaktas. Vindlasten verkar egentligen i alla tre huvudriktningar, men i denna preliminära dimensionering beaktas enbart vindlasten i horisontal led tvärs bron. Detta görs i bilaga F.2 i kombination med bilaga F.5 utifrån Svensk Standard (SIS, 2015) samt anteckningar från Sören Lindgren. Temperaturlasten uppkommer som följd av att de temperaturutvidgningar som sker i materialet förhindras. I de två yttre delarna av överbyggnaden kommer bron att kunna röra sig fritt på rullagrena vilket gör att temperaturlaster inte kommer att uppstå där. Mittendelen av överbyggnaden beaktas i vissa beräkningar som fast inspänd. Konstruktionen är dock utformad så att det finns utrymme för viss rörelse. Detta gör att den temperaturutvidgning som uppstår inte ger upphov till några större inre spänningar. Bronns längdutvidgning har beräknats i bilaga F.4 och F.5 utifrån Svensk Standard (SIS, 2005). I vissa fall beaktas även snölast, men det anses inte nödvändigt i detta fall eftersom bron kommer att vinterväghållas och saknar tak var snö annars kan samlas.

### 7.3 Säkerhetsklass

I denna dimensionering har säkerhetsklass 3 använts, eftersom en kollaps av bronns bärverk med stor sannolikhet hade orsakat allvarlig personskada, då trafikanter kommer att befinna sig både på och under bron (Boverket, 2023). Detta medför att partialkoefficienten, som används vid brottgränstillstånd, sätts till 1.

# 8

## Preliminär Dimensionering

I detta kapitel redovisas de dimensionerande krafterna samt preliminära dimensioner på de ingående delarna. I bilaga E redovisas bilder på den fysiska modellen.

### 8.1 Lastfall

För att dimensionera de längsgående huvudbalkarna och de tvärgående syllarna, som utgör den största delen av överbyggnadens bärverk, togs olika lastfall fram. Det är ej nödvändigt att anta att både servicefordonet och den utbredda trafiklasten verkar samtidigt (SIS, 2009). De olika lastfallen som kan inträffa är därmed antingen enbart den utbredda trafiklasten, eller enbart ett servicefordon. I bilaga F.1 beräknas de olika lasterna, där materialdata även redovisas.

I längsled delades överbyggnaden in i 1 m långa element. En influenslinje användes för att hitta den minst gynnsamma placeringen av servicefordonet och därmed det dimensionerande momentet och tvärkraften för balkarna, se bilaga F.3. Totalt användes fyra lastfall vid dimensioneringen i längsled. Dessa var; (1) utbredd last endast i mittspannet, (2) utbredd last över hela bron, (3) servicefordon vid 6 m samt (4) servicefordon vid 36 m. Placeringen av servicefordonet vid 6 m och 36 m resulterar i värst lastfall sett till momentet respektive tvärkraft.

I tvärlid kontrollerades syllarna först för (1) en utbredd last över hela tvärsnittet, och efter konsultation med handledare enbart två placeringar av servicefordonet. Dessa var (2) mitt över en av de mellersta balkarna, (3) samt längst ut åt ena kanten på farbanan. Syllarna delades upp i 1 cm långa element. Dessa beräkningar finns i bilaga F.5, och dimensionerande moment och tvärkrafter redovisas i tabell 8.1.

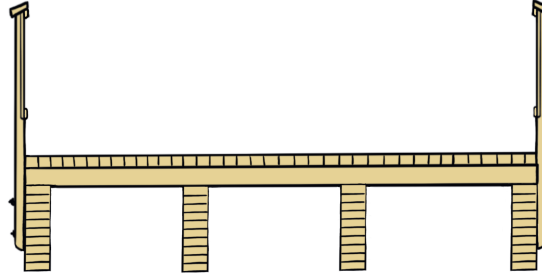
**Tabell 8.1:** Dimensionerande moment och tvärkraft för värsta lastfall.

	$V_{Ed}[kN]$	$M_{Ed}[kNm]$
Längsled	206,11	513,44
Tvärlid	18,10	6,99

### 8.2 Överbyggnad

Överbyggnaden består som tidigare nämnt av fyra huvudbalkar i längsled. Ovanpå dessa ligger syllar av konstruktionsvirke i tvärlid. Högst upp på farbanan ligger ett

slitplank, även detta i konstruktionsvirke. Längs med bron löper ett räck som fungerar både som säkerhet för trafikanterna på bron och som stänkskydd för att skydda trafiken som passerar under bron. I figur 8.1 syns tvärsnittet för överbyggnaden.



**Figur 8.1:** Tvärsnitt för överbyggnad.

### 8.2.1 Huvudbalkar

De fyra huvudbalkarna löper längs hela bron längd och ligger på fyra upplag, det vill säga de två pelarna samt ändstöden. Dessa är konstruerade utav limträ av hållfasthetsklass GL32k och deras moment- och tvärkraftkapacitet jämfördes med de dimensionerande värdena, som redovisas i tabell 8.2. Fullständiga beräkningar finns i bilaga F.4 och balkarnas slutliga dimensioner resulterade i bredden 300 mm och höjden 765 mm. Balkarna behöver även delas i flera delar för att transport till byggplatsen ska vara möjlig. Detta behandlas i avsnitt 8.4.2.

**Tabell 8.2:** Analys av huvudbalkar i olika lastfall för moment och tvärkraft.

	$M_{Ed}$ [kN m]	$M_{Rd}$ [kN m]	$M_{Ed}/M_{Rd}$	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{Rd}$ [kN]	$V_{Ed}/V_{Rd}$
Lastfall 1	254,95	524,36	0,486	79,74	325,58	0,245
Lastfall 2	238,37	524,36	0,455	72,18	325,58	0,222
Lastfall 3	513,44	524,36	0,979	124,64	325,58	0,383
Lastfall 4	354,53	524,36	0,676	206,11	325,58	0,633

### 8.2.2 Syllar och slitplank

Syllarna håller ihop huvudbalkarna samt fördelar kraften mellan dem. De utgörs av konstruktionsvirke av hållfasthetsklass C35 och går tvärs bron och är totalt 5,4 m långa, varav 5,2 m farbana. Även dessa kontrollerades mot sin moment- och tvärkraftkapacitet. Beräkningarna finns i bilaga F.5 och syllarnas dimensioner är 80 mm i bredd och 200 mm i höjd. I tabell 8.3 redovisas resultaten för de maximala krafterna och momenten utifrån alla tre lastfall.

**Tabell 8.3:** Analys av syllar i olika lastfall för moment och tvärkraft.

	$M_{Ed}$ [kN m]	$M_{Rd}$ [kN m]	$M_{Ed}/M_{Rd}$	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{Rd}$ [kN]	$V_{Ed}/V_{Rd}$
Lastfall 1	0,27	56,94	0,005	0,94	18,44	0,051
Lastfall 2	6,99	56,94	0,123	18,09	18,44	0,981
Lastfall 3	5,40	56,94	0,095	18,10	18,44	0,982

Slitplanket är ett 50 mm tjockt solitt plank av konstruktionsvirke i hållfasthetsklass C18. Dess huvudsakliga syfte är att skydda syllarna från slitage av trafik och väder, samt bidra till säkerhet och användbarhet hos bron.

### 8.2.3 Räck

Räcket består av stolpar och överliggare i trä. Mellan stolparna spänns vertikala vajrar. Räckesstolparna dimensioneras för att klara av en punktlast på 1 kN högst upp på räcket i horisontalriktning. Detta kan hittas i bilaga F.6.

## 8.3 Pelare

Pelarna dimensioneras med huvudbalkarna i åtanke och dessa har således samma bredd för att skapa en estetisk övergång mellan pelare och balk. Virkesklassen på pelarna är samma som som huvudbalkarna, GL32k, och har en lutning på 45°. Totalt finns det 8 pelare, två för varje huvudbalk. Dimensionerna på pelaren är 300 mm i bredd och 720 mm i höjd. Höjden på pelarens tvärsnitt har dimensionerats för att klara den maximala spänningen som inträffar i pelarens överkant vid infästningen mellan pelare och balk. I tabell 8.4 redovisas moment-, tvär- och normalkraft för de fyra lastfallen, samt utnyttjandegrad. Dessa har beräknats i bilaga F.7.

**Tabell 8.4:** Analys av pelare i olika lastfall för moment-, tvär- och normalkraft.

	$M_{Ed}[kNm]$	$M_{Ed}/M_{Rd}$	$V_{Ed}[kN]$	$V_{Ed}/V_{Rd}$	$N_{Ed}[kN]$	$N_{Ed}/N_{Rd}$
Lastfall 1	66,07	0,143	14,26	0,070	224,00	0,070
Lastfall 2	102,49	0,221	20,70	0,101	174,45	0,054
Lastfall 3	346,06	0,745	63,76	0,311	155,51	0,048
Lastfall 4	354,53	0,763	65,25	0,318	253,89	0,079

## 8.4 Förband

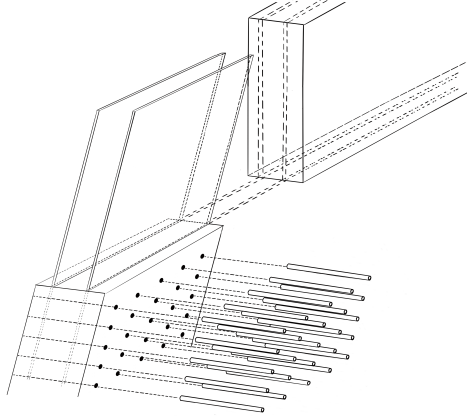
För att länka samman de olika konstruktionsdelarna krävs förband som klarar erforderliga krafter. Dymlingsförband har använts i stor utsträckning för att skapa styva och starka förband. Även en momentfri led är dimensionerad i form ett skruvförband.

### 8.4.1 Förband mellan pelare och överbyggnad

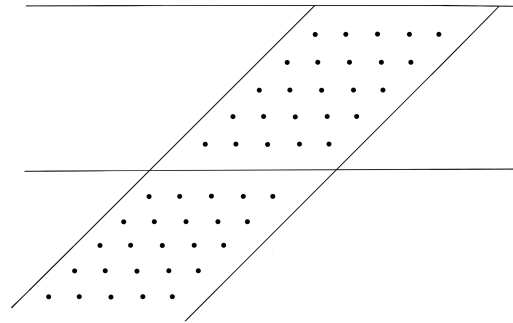
För att få fast inspänning mellan pelare och huvudbalk används dymlingar med inslitsade plåtar, se figur 8.2 och 8.3 nedan. Dimensioneringen har skett enligt Svenskt Trä (2019) och redovisas i bilaga F.8. Förbandet har totalt 50 dymlingar, 25 i varje dymlingsgrupp, med diameter 22 mm och längd 300 mm. De inslitsade plåtarna har en tjocklek på 10 mm. Plåtarna är kontinuerliga och inslitsade i både huvudbalk och pelare vilket gör att en kraftjämvikt uppstår i plåten.

Dymlingsgrupperna har utformats symmetriskt. Symmetrin resulterar i att dimensionering bara behövs göras en gång eftersom de två dymlingsförbanden är i kraftjäm-

vikt (Svenskt Trä, 2016). Antalet dymlingar har tagits fram med en iterativ process och avstånd mellan dymlingar samt kantavstånd följer Eurokod. Brottmoder har analyserats för att hålkantsbrott inte ska uppstå vid maximalt lastfall.



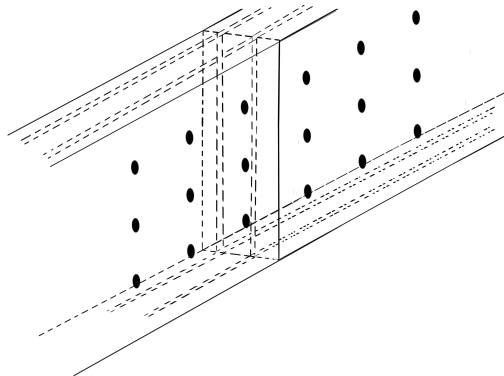
**Figur 8.2:** Förbandets utformning mellan pelare och balk där inslitsade plåtar och dymlingars position kan ses.



**Figur 8.3:** Förbandets utformning mellan pelare och balk sett från sidan.

#### 8.4.2 Skarvning av huvudbalkar

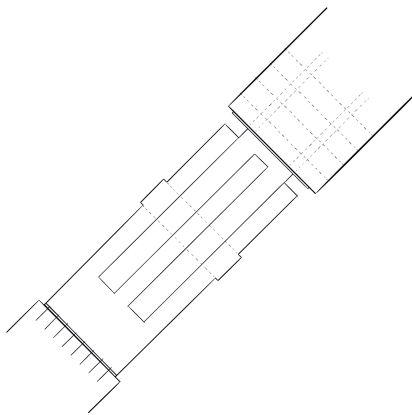
Limträbalkar kan prefabriceras och fraktas utan extra åtgärder via lastbil vid längder upp till 24 m. Detta innebär att skarvar behöver dimensioneras. För att inte skapa leder utformas dessa förband på samma sätt som mellan pelare och balk, med två inslitsade plåtar och dymlingar, se figur 8.4. Två skarvar behövs och placeras med fördel där momentet för det värsta lastfallet är som minst. Momentdiagrammet samt tvärkraftsdiagram för samtliga lastfall plottades och två punkter valdes ut där momentet var så lågt som möjligt, samt att avståndet mellan skarvarna inte överskrider 24 m. Plottarna hittas i bilaga F.9. Resultatet blir skarvar vid 13 m respektive 37 m in på bron. Båda skarvarna har 9 dymlingar på var sida om skarven, med diametern 18 mm respektive 16 mm. Beräkningar för skarvarna finns i bilaga F.10 och F.11.



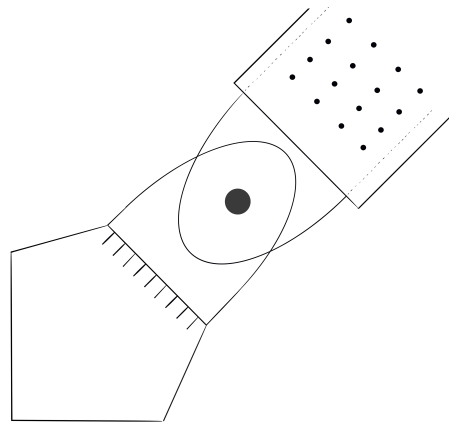
**Figur 8.4:** Förbandets utformning från balk till balk vid skarv.

### 8.4.3 Ledad infästning av pelare

Varje pelares infästning vid marken består av en momentfri led stående på ett betongfundament. Leden är utformad enligt figur 8.5 och 8.6 och består av två stålplåtar varav den nedre fäster via svetsar i en stålplatta som i sin tur är fäst ned i betongfundamentet. Den övre plåten i leden fästs även den i en metallplatta vinkelrät mot botten på limträpelaren, som sedan fästs i pelaren med hjälp av inslitsade plåtar och dymlingar. En skruv med diametern 92 mm utgör själva leden. Dimensioneringen för leden finns i bilaga F.12 och utgår ifrån beräkningsgången i Bärande Konstruktioner Del 2 (Al-Emrani m. fl., 2011). Dimensioneringen för ledens infästning i pelare och fundament samt tillhörande svetsar faller utanför ramen för den preliminära dimensioneringen, men bör beaktas i senare skede.



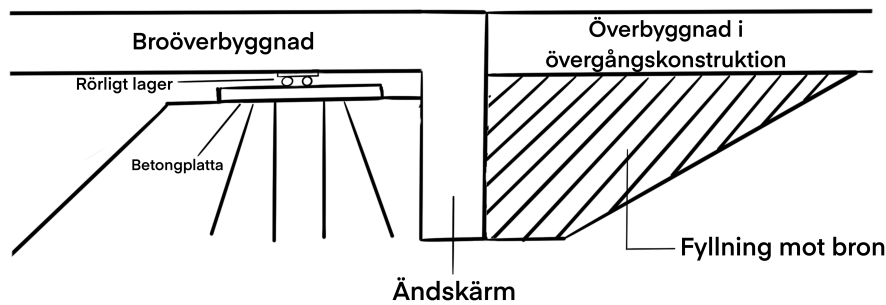
**Figur 8.5:** Förbandets utformning mellan pelare och fundament sett från ovan.



**Figur 8.6:** Förbandets utformning mellan pelare och fundament sett från sidan.

## 8.5 Ändstöd

Efter konsultation med COWI beslutades att broänden kommer utformas med en ändskärm som kommer hantera de horisontella krafterna med hjälp av jordtrycket som uppstår vid rörelse mot jorden. Ändstödet utgörs av ett rullager förankrad i en betongplatta. Principiell design av ändstöd och ändskärm ses i figur 8.7 nedan. Vid ändstöden har stämpeltryckeffekt kontrollerats med beräkningar som hittas i bilaga F.13. För att undvika intryckning av balkarna vid ändstöden kommer det krävas en mellanliggande platta under varje balk med minst 9 cm i bredd och en längd som är densamma som balkarnas bredd på 30 cm.



Figur 8.7: Principiell utformning av ändstöd och ändskärm.

## 8.6 Grundläggning

Grundläggning dimensioneras för både pelare och ändstöd. Fundamentet för pelare kommer vila på berggrunden och ändstöden på en betongplatta uppbyggd på en vall av makadam. Fundamentet dimensioneras utefter uppskattad storlek på förband mellan pelare och betongfundamentet. Då studier presenterade i bilaga B påvisar goda grundläggningsförhållande, har inte bergets hållfasthet varit dimensionerande för fundamentets utformning. Likaså gäller vid ändstöden där varken vallen eller bergets hållfasthet är dimensionerande. Trycket mot berget vid fundamenten kommer med nuvarande design uppnå 0,958 MPa i vertikalled och 1,18 MPa i horisontalled vilket innebär att kapaciteten om 3 MPa inte överskrids, se F.14 för beräkningar. Båda grundläggningarna är planerade att förankras i berget med hjälp av bergbultar. För exakta dimensioner se figur B.2 i bilaga B.4.

## 8.7 Kontroll av egenfrekvens, nedböjning och vippning

För att undvika resonans bör bronns egenfrekvens kontrolleras så att denna inte hamnar inom området för de frekvenser som orsakas av fotgängare. Detta innebär att bronns egensvängningar ej bör underskrida 5 Hz i vertikalled och 2,5 Hz i horisontalled (SIS, 2011). Beräkningar för egenfrekvens kan hittas i bilaga F.15.

Nedböjningen hos en gång- och cykelbro bör inte överstiga  $L/400$  (Trafikverket, 2019). Detta krav gäller för både längs- och tvärled och vid kontroll klarar bron detta krav. Beräkningarna för denna kontroll finns i bilaga F.5 för tvärled och bilaga F.4 för längsled.

Även kontroll för vippning hos syllarna och huvudbalkarna har kontrollerats. Denna kontroll hittas i bilaga F.16.

# 9

## Diskussion

I detta kapitel diskuteras litteraturen som används i rapporten, val av brokoncept samt hur olika förenklingar och antaganden har påverkat resultatet. Därtill resoneras det kring återstående dimensionering.

### 9.1 Förstudie

Den första delen av rapporten innehåller bakgrundsinformation som använts för att ta fram passande kriterier samt för att få ett brett underlag för att bedöma och värdera de olika koncepten. Med hjälp av informationen är förhoppningen att även de läsare som saknar tidigare kunskap om ämnet kan få en grundläggande förståelse.

Informationen som använts i förstudien har hämtats från flera olika källor. Regler och riktlinjer har hämtats från till exempel Svensk Standard och Trafikverket, vilket är normen inom byggbranschen. Övrig fakta har tagits från böcker, föreläsningar eller personliga kontakter från personer som är verifierat duktiga inom området eller från källor som dessa personer tipsat om. Därför anses dessa vara trovärdiga och ge en bra grund för arbetet.

### 9.2 Urvalsprocessen

De tio grundförslagen som togs fram i kapitel 4 utgår ifrån den grundläggande bakgrundsinformation om material, brotyper och övrigt som presenterats innan. Dock speglar dessa grundförslag författarnas preferenser i någon mån eftersom dessa endast är en bråkdel av alla möjliga utformningar och kombinationer av material och brotyper. Även om målet med urvalsprocessen var att uppnå så hög grad av objektivitet som möjligt så är även urvalskriterierna något subjektiva eftersom kriterierna valdes av författarna själva. Vissa av kriterierna är i sin natur även subjektiva, såsom estetik. Betygsättningen i urvalet bygger även i viss grad på antaganden kring konstruktionsutformning och förhållanden.

### 9.3 Beräkningsmodell och dimensionering

Vissa förenklingar har gjorts i beräkningarna på grund av att de i denna rapport endast utgör den preliminära dimensioneringen. Nedan redovisas dessa, samt en diskussion om huruvida detta påverkat resultatet och ifall andra lösningar skulle kunna användas.

### 9.3.1 Överbyggnad

I huvudbalkarnas dimensionering beaktas enbart konstruktionens egentyngd samt den utbredda trafiklasten eller lasten från servicefordonet. Till exempel vindlast och moment från krafter på räcket har inte beaktats i detta skede. Inte heller olyckslast eller förbandet mellan ytterbalk och räckesstolparna har dimensionerats eller beräknats. Om detta beaktas i ett senare skede skulle det kunna leda till att balkarnas kan behöva ändras något, alternativt stagas upp i tvärled. I CALFEM-modellen har elementen satts till 1 m långa vilket skapar en begränsning i modellen. Dessutom har dimensioneringen endast skett för en av huvudbalkarna i mitten av bron, vilket ansågs som den värst belastade balken. CALFEM-modellen är även förenklad på det viset att upplagen endast utgörs av en punkt.

För beräkningarna i tvärled har endast syllarna beaktats. Även i CALFEM-modellen i tvärled är stöden, som i detta fall utgörs av huvudbalkarna, modellerade som endast en punkt. I tvärled är syllarna däremot uppdelade i en centimeter stora element, vilket ger en något bättre modell, men den kommer ändå att skilja sig något från verkligheten. I tvärled har även vindlasten beaktas, då denna vindriktning antogs ha störst påverkan.

Slitplanket har inte kontrollerats i brott- eller bruksgränstillstånd då det antas kunna stå emot de aktuella krafterna och momenten då mellanrummet mellan syllarna endast är någon enstaka centimeter brett. Beräkningarna för överbyggnaden har heller inte tagit hänsyn till hur slitplank, syllar och huvudbalkar samverkar i någon större utsträckning och därmed inte heller infästningarna mellan dessa. Detta bör beaktas noggrannare vid vidare dimensionering.

### 9.3.2 Pelare och förband

En förenkling vid kontrollering av knäckning i pelare i den veka riktningen är att momentet har försummats i tvärled. Moment kan komma att uppstå i tvärled som följd av till exempel dynamiska laster och differentialsättningar. Dock antas inte dessa vara den dimensionerande faktorn i pelarens utformning men bör beaktas i vidare beräkningar. Det finns även möjlighet att optimera pelarens tvärsnitt genom att minska tvärsnittet närmre fundamentet. Detta eftersom pelarens spänningar minskar ju närmre fundamentet man kommer.

Förenklingar har gjorts i beräkningar vid dimensioneringen av förbandet mellan pelare och huvudbalk. Efter konsultation med examinator har brottmoder för slitsplåt och dymlingar försummats, med förklaring att brott sker i regel i trädelen.

Dymlingshålen har dimensionerats för den maximala kraften som en dymling mottar i värsta fallet. Förbandet kan även optimeras genom att minska dymlinghålens diameter beroende på dess kraftresultanter som i sin tur beror på position i förbandet. Dock kan detta ofta ses som onödigt i praktiken då produktionstiden skulle förlängas medan kostnadsbesparingarna för material skulle vara minimal.

Vid botten av pelarna har leden dimensionerats i form av ett skruvförband. Däremot har inte anordningens infästning i pelare dimensionerats, vilken antagligen kommer att utformas som ett dymlingsförband likt övriga förband. Inte heller infästningen i

betongfundamentet har dimensionerats. I vidare dimensionering bör dessa förband med eventuella tillhörande svetsar kontrolleras.

### 9.3.3 Grundläggning, ändstöd och landfästen

De geoteknikniska förutsättningarna bygger på stickprov och kan inte garanteras. Vid dimensionering av grundläggning har flertal förenklingar gjorts. Parametrar som inte har beaktas är leders och rullagers infästning i grundläggningen. Armering i fundamenten och betongplattorna i ändarna har heller inte dimensionerats. Ytterligare beräkningar kommer därför behövas göras för att ta fram den slutliga utformningen av grundläggningen.

Grundplattans dimensionering har heller inte tagits i beaktning. Detta då kapaciteten av vallen och berget ansetts vara långt över gällande laster.

Det har konstaterats att ändstöden kommer bestå av rullager fästa i en betongplatta och med en ändskärm fäst i överbyggnaden men inga beräkningar på detta har genomförts. Landfästena har inte dimensionerats i detta skede och troligtvis kommer ett kontinuerligt gummilager krävas i anslutning mellan bro och landfästen, som även kommer behöva dimensioneras vid fortsatt projektering.

# 10

## Slutsats

Syftet med detta arbete var att ta fram ett lämpligt brokoncept för en gång- och cykelbro över E22 utanför Söderköping. Brokonceptet skulle sedan utformas enligt beställarens önskemål med angivna mått och nivåer utifrån förslagshandlingen. Detta brokoncept skulle också uppfylla de krav som finns för aktuella standarder, platsens förutsättningar och samtidigt ta hänsyn till aspekter inom produktion och förvaltning. Valt brokoncept skulle sedan preliminärdimensioneras.

Efter att ha sammanvägt de olika aspekterna nämnda ovan resulterade förstudien och urvalsprocessen i en balkbro av limträ med sneda stöd. Denna uppfyller kraven och de uppsatta utvärderingskriterierna väl. Det är en relativt enkel konstruktion, vilket underlättar i förvaltnings- och produktionssynpunkt. Dessutom bidrar utförandet i limträ samt de sneda pelarna till ett estetiskt uttryck som passar väl in i den omgivande miljön.

De preliminära beräkningarna visar på att detta brokoncept är rimligt utformat och kommer att hålla för de aktuella lasterna samt för de kontroller som gjorts. Dock bör vidare beräkningar göras för en mer ingående dimensionering. Det finns även möjlighet för ytterligare optimering i många konstruktionsdelar.

# Referenser

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2011). *Bärande Konstruktioner Del 2* (tekn. rapport). Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik. Göteborg.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2020). *Bärande konstruktioner Del 1* (tekn. rapport Nr 1). Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Bygg- och Miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik. Göteborg.
- Axelsson, L. e. (2018). *Limträhandbok del 4*. [www.traguiden.se](http://www.traguiden.se), Boverket. (2022). Tillgänglighet på allmänna platser och områden för andra anläggningar. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/krav-pa-byggnadsverk-tomter-mm/allmanna/tillganglighet/>
- Boverket. (2023). Indelning i säkerhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-konstruktionsregler/overgripande-bestammelser/indelning-i-sakerhetsklasser/>
- Brosamverkan. (2022). Broprojekteringshandboken, utgåva 1-2.
- Brynhildsen, H. (2020). *Advantages of steel as a building material from a sustainability perspective* (tekn. rapport).
- Buström, P. G., & Nilvér, K. (2018). *Byggnadsmaterial* (3. utg.). Studentlitteratur AB.
- Ehlonsson, V., & Palmqvist, V. (2010). Prefabricerade betongbroar - är det möjligt? FAS, S. A. (u. å). *Stenmaterial - FAS Metod 259-02* (tekn. rapport).
- Fiberline. (u. å). Kompletta glasfiber-broar | Fiberline. <https://fiberline.com/se/loesningar/broar/kompletta-glasfiber-broar>
- Isaksson, T., Mårtensson, A., & Thelandersson, S. (2010). *Byggkonstruktion* (2:3). Studentlitteratur AB.
- Karlsson, M., & Moritz, L. (2014). *Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TK Geo 13* (tekn. rapport).
- Naderahmadi, F. (2009). *Bedömning av underhållsbehov på broar med hjälp av fönsterundersökningar* (tekn. rapport).
- Pousette, A. (2008). *Träbroar - Konstruktion och Dimensionering*.
- Prefabsystem. (2015). Sex anledningar att välja prefabricerat | Prefabsystem. <https://prefabsystem.se/sex-anledningar-att-valja-prefab/>
- Ritter, M. A. (1990). *Timber Bridges Design, Construction, Inspection, and Maintenance* (tekn. rapport).
- SGU. (u. å-a). Jordskred. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/risker/skred-och-ras/>

- SGU. (u. å-b). Kartvisare. <https://apps.sgu.se/kartvisare/>
- SGU. (u. å-c). Risker. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/risker/>
- SGU. (2021). Bergarter. <https://www.sgu.se/om-geologi/berg/bergarter/>
- SIS. (2005). *Svensk Standard SS-EN 1991-1-5, Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-5: Allmänna laster – Temperaturpåverkan* (tekn. rapport).
- SIS. (2009). *Svensk Standard SS-EN 1995-2:2004, Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner-Del 2: Broar* (tekn. rapport). [www.eurokoder.se](http://www.eurokoder.se),
- SIS. (2011). *Svensk Standard SS-EN 1990, Eurokod-Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk* (tekn. rapport). [www.sis.se](http://www.sis.se)
- SIS. (2015). *Svensk Standard SS-EN 1991-1-4:2005, Eurokod 1: Laster på bärverk-Del 1-4: Allmänna laster-Vindlast* (tekn. rapport). [www.eurokoder.se](http://www.eurokoder.se),
- Stålbyggnadsinstitutet. (u. å-a). Fossilfri stålproduktion - Stålbyggnadsinstitutet. <https://www.sbi.se/fossilfri-stalproduktion/>
- Stålbyggnadsinstitutet. (u. å-b). Miljöfordelar - Stål bygger en hållbar framtid. <https://byggahallbart.se/miljofordelar/>
- Svenska Kommunförbundet. (1998). *Träbroar - Ett Alternativ till stål och betong*.
- Svenskt Trä. (2016). Limträhandboken del 3 - Dimensionering av limträkonstruktioner. [www.traguiden.se](http://www.traguiden.se),
- Svenskt Trä. (2019). Knutpunkt med inslitsade plåtar - TräGuiden. <https://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/berakningsexempel/hallbyggnader/knutpunkt-med-inslitsade-platar/>
- Sällfors, G. (2013). *Geoteknik* (5. utg.). Cremona.
- Söderköpings kommun. (2015). *Översiktsplan Söderköpings kommun 2015-2030 - Prioriteringar för en hållbar utveckling* (tekn. rapport).
- Trafikverket. (2014). *BaTMan - Kodförteckning och beskrivning av brotyper* (tekn. rapport). Trafikverket. Borlänge.
- Trafikverket. (2019). *Krav Brobyggande* (tekn. rapport).
- Trafikverket. (2022). E22, Förbifart Söderköping, ny väg. <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-ostergotlands-lan/E22-forbifart-soderkoping/>
- Trafikverket. (2023). E22 genom Skåne. <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/alla-strak/e22-genom-skane/>
- United Nations Environment Programme. (2017). *Eco-efficient cements: potential economically solutions for a low-CO2 cement-based materials industry* (tekn. rapport).





# B

## Fördjupning grundläggning

Följande kapitel kommer presentera mer djupgående studier gällande de geotekniska undersökningar och analyser som gjorts. Som tidigare nämnt är markförhållandena unika för varje plats och kan även skiljas kraftigt lokalt. Det är därav mycket invecklat att estimerade de exakta egenskaperna marken äger. Tillsammans med råd och krav från Trafikverket och Eurokod har handledningar och material av COWI samt andra sakkunniga personer legat i grund för denna studie och dimensionering av grundläggning.

### B.1 Stabilitet

Följande avsnitt är en fortsättning på förutsättningarna för projektet som presenterar vertikala och horisontella deformationer mer djupgående.

#### B.1.1 Sättningar

Sättningar kan definieras som deformation av jorden under längre tid. Likt en belastad betongbalk med underdimensionerad armering deformeras och får en nedböjning deformeras också konstruktioner och sätter sig vid en underdimensionerad grundläggning. Beräkningar och estimeringar av jordartens deformationsegenskaper är därav viktiga vid beräkningar av framtida sättningar.

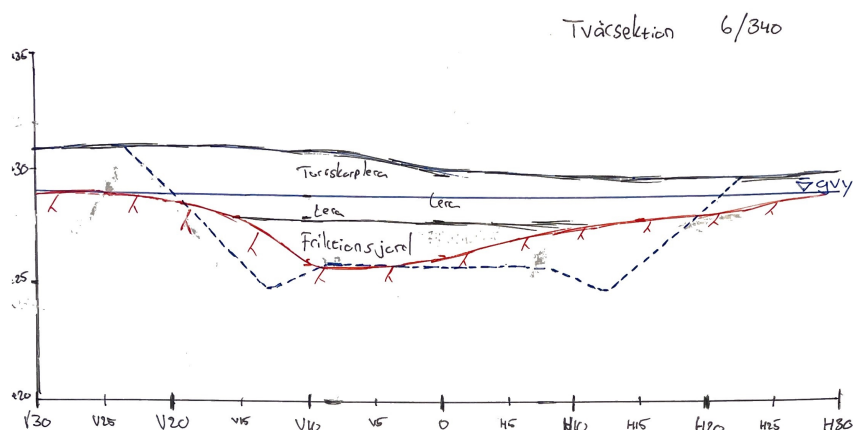
Grundläggningen ska ske i så hög grad som möjligt utan risk för sättningar och om detta inte är möjligt med minimala differentialsättningar. Differentialsättningar är när olika grundläggande element sätter sig olika mycket i en konstruktion. Differentialsättningar påverkar fördelningen av tvärkrafter och moment i konstruktionen (Sällfors, 2013), det kan komma att påverka konstruktionen negativt då den inte är dimensionerad för dessa oönskade krafterna och riskerar att skadas.

#### B.1.2 Släntstabilitet

Sättningar påverkar jorden som nämnt innan i vertikalled men konstruktioner och grundläggningar kan också påverka jordprofilen i horisontalled. Om jorden inte är stabil nog och jordtrycket överstiger markens deformationsegenskaper riskeras en horisontell spänning (SGU, u. å-a). Om denna horisontella spänningen skulle ske vid en slänt eller exempelvis ett vattendrag kan det uppstå skred eller ras av jord.

## B.2 Jordprofil

Kartverktyg från SGU visade goda grundläggningsförhållanden med att ett jorddjup på ungefär 1 m till 3 m kan förväntas med en jordart av glacial lera och berggrund av Tonalit-granodiorit. Tonalit-granodiorit är en magmatisk djupbergart som bildats av att magma långsamt stelnat och skapat den väldigt grovkorniga bergarten som också är mycket lik granit (SGU, 2021). Efter vidare studier av sonderingar utförda av COWI kan detta bekräftas. En jordprofil med ett varierande jorddjup mellan 1 m och 5 m djup av lera och friktionsjord befinner sig vid planerat område för gång- och cykelbron, se figur B.1.



**Figur B.1:** Jordprofil och skärningsprofil för planerat läge för byggnation. Axlarna avser höjdmeter respektive meter till höger och vänster om skärningens mittpunkt.

## B.3 Bergskvalitet

Trafikverket klassificerar berggrundens kvalitet efter kulkvartsvärde. Kulkvartsvärdet är ett procentuellt värde som beskriver hur mycket av en given mängd stenmaterial som malts ner till fraktioner mindre än 2,0 mm (FAS, u. å). Stenmaterialet är från början mellan 8,0 mm och 11,2 mm och mals sedan av stålkulor i kvarn i en timme.

Då det inte gjorts några tester på bergskvaliteten i detta område har istället närliggande områdens värden studerats hjälp av SGU:s verktyg kartvisare (SGU, u. å-b). Dessa värden är goda och varierar mellan 6 % och 16 % vilket gör det rimligt att anta att kvaliteten på berggrunden vid bronns läge kan antas ligga inom detta spann. Detta spann kan då kvalificeras som bergtyp 1 enligt TKGEO 13 (Karlsson och Moritz, 2014). Detta medför att grundläggning kan dimensioneras på berggrunden med ett maximalt grundtryck om 3,0 MPa. Detta gäller vid enklare undersökningar av berget likt den nyligen presenterad. Kartorna visar också att lokala sprickbildningar inte bedöms ligga inom räckvidd för att ha betydelse för hållfastheten.

## B.4 Preliminär design grundläggning

Den preliminära designen av grundläggningsfundamenten vid stödpelarna har gjorts med hänsyn till flera olika parametrar. Processen har däremot som tidigare nämnt förenklats. Då skärningen av underliggande väg är i berg kommer också dessa fundament att gjutas och vila på berggrunden.

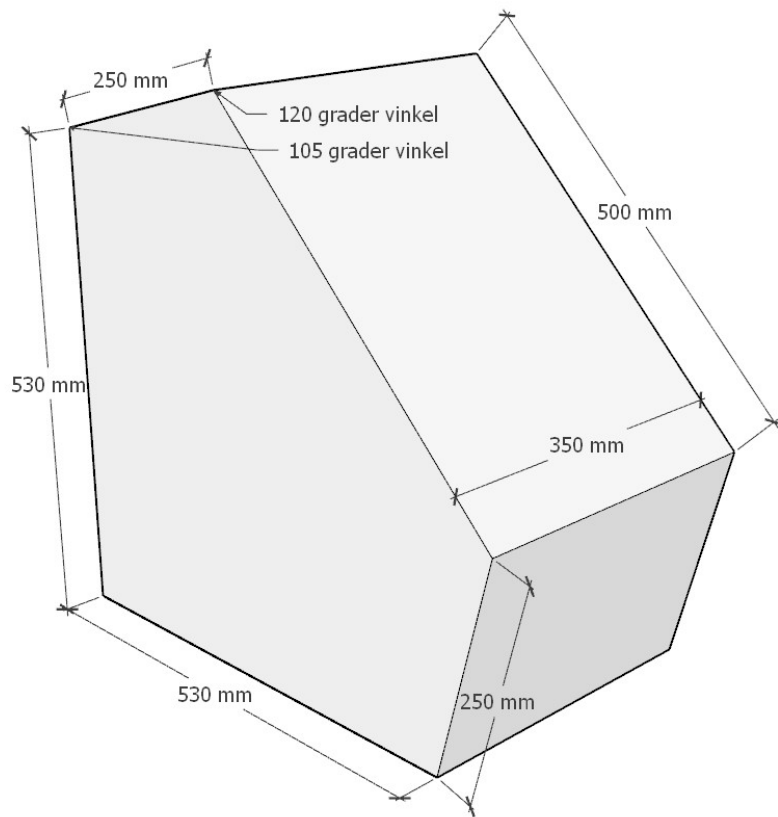
För ändstöden kommer bron vara upplagda på rullstöd i båda ändarna. Rullstöden kommer vidare bäras upp av en betongplatta. Då postglaciära leror ofta är drabbade av sättnings- och stabilitetssvårigheter har åtgärder vidtagits vid ändstöden (SGU, u. å-c). För att undvika stabilitetsproblem och inte riskera en minskad livslängd som följd av differentialsättningar och oönskade randvilkor, kommer marken under ändstöden att fyllas med makadam för att ersätta den nuvarande leran.

### B.4.1 Lastspridning

Lastspridningen vid snedpelarna har estimerats till en lutning med 2:1. Detta innebär att ett fundament med skarpa 90° hörn ersatts med kanter utformade utefter lastspridningsmodellen.

### B.4.2 Glidning och stjälpning

Åtgärder för att minimera risk för glidning av grundläggning har tagits i form av att mekaniskt låsa de mot berget. Detta har designats i form utav att fundamentet planerats gjutas in i berget med en horisontell och en vertikal yta som bär lasterna av bron. Se figur B.2 för tydligare visualisering.



**Figur B.2:** Preliminär design av fundament till pelare.

Gällande stjälpning riskeras detta inte. Enligt TKGEO avsnitt 2.6.3 (Karlsson och Moritz, 2014) ska lastresultantens minsta avstånd till plattkanten vara minst 0,1 m på berg vilket den preliminära dimensionering av fundamentet uppfyller.

### **B.4.3 Övriga parametrar**

Utöver redovisad grundläggning kommer även som tidigare nämnt grundläggningen förankras i berget med hjälp av bergbultar. Detta för att förhindra eventuella rörelser i grundläggningen.

# C

## Material

Nedan redovisas information om de vanligaste byggnadsmaterialen.

### C.1 Trä som byggnadsmaterial

Trä som byggmaterial har använts under en lång tid och kan historiskt sett ses som det viktigaste byggmaterialet i Sverige. Materialet trä är anisotropt, vilket innebär att dess egenskaper varierar i olika riktningar (Al-Emrani m. fl., 2020). Det är stor skillnad på hur materialet reagerar på tryck och drag vinkelrätt respektive parallellt med fibrerna. Vid rent drag är trät betydande starkare parallellt fibrerna jämfört med vinkelrätt fibrerna. Även i tryck är hållfastheten högre parallellt fibrerna och kan anses relativt låg vinkelrätt fibrerna.

Att bygga med trä kan ha flera fördelar. Med sin höga hållfasthet i förhållande till dess vikt är det både tekniskt och ekonomiskt fördelaktigt att använda sig av trä (Svenska Kommunförbundet, 1998). Den låga vikten förenklar transport och medför enklare bearbetning med lättare maskiner som är enklare att manövrera när trät behöver specialanpassas ute på byggarbetsplatsen. Att arbeta med trä möjliggör även mer prefabricering, vilket kan minska avfall och korta ner byggprocessen. En ytterligare fördel med trä är att materialet har en bra isoleringsförmåga.

Även ur ett miljömässigt perspektiv är trä väldigt bra då det är förnybart och utifrån ett svenskt perspektiv finns gott om i vår närmiljö. Sverige är ett av världens mest skogstätta länder där det finns god tillgång och snabb tillväxt av skog. Skogen har det senaste århundradet, från 1900-talet och framåt, växt mer än vad som har avverkats. Den största delen av Sveriges skog består av gran (42 %) och tall (39 %), och största delen av sågat virke i Sverige går till byggindustrin (Al-Emrani m. fl., 2020). Bildningen av trä sker naturligt där CO<sub>2</sub> tas upp ur luften in i ett ekologiskt kretslopp (Svenska Kommunförbundet, 1998). Trä kräver relativt lite energi vid tillverkning jämfört med andra byggnadsmaterial och binder även koldioxid vilket kan resultera i koldioxidnegativa byggnader.

De främsta nackdelarna med trä som byggnadsmaterial är dess fuktkänslighet, brännbarhet och dess känslighet för röt- och insektsangrepp. Numera är dessa faktorer lätta att hantera ur ett byggnadstekniskt perspektiv (Al-Emrani m. fl., 2020). Till exempel är brandförloppet för trä möjligt att förutse och man har därmed lärt sig dimensionera för att klara brandkraven. För att skydda mot fukt och röt- och insektsangrepp kan man ytbehandla träet.

Den ökade kunskapen i hur man bygger med trä har möjliggjort mer komplexa träkonstruktioner, som till exempel broar med längre brospann. Ett bidrag till detta

är limträ som började tillverkas i Sverige på 1920-talet och som bidragit till att större virkesdimensioner är möjliga. Limträ är lamellerade träkonstruktioner som i varje tvärsnitt består av minst fyra lameller av trä med dess fiberriktningar parallellt mot varandra och sammanfogade med limning (Al-Emrani m. fl., 2020). På så sätt utgörs de statistiskt sett som en enda starkare enhet.

## C.2 Stål som byggnadsmaterial

Stålets främsta fördelar och nackdelar är dess låga vikt i förhållande till sin styrka samt materialets känslighet mot korrosion och brand (Isaksson m. fl., 2010). Dess höga hållfasthet betyder att det är ett utmärkt material att använda för designer med till exempel slanka pelare. Svagheter kan minimeras genom att måla materialet med skyddande färg. Vidare kan rostfritt stål väljas.

Ur ett hållbarhetsperspektiv råder det delade meningar. Beroende på hur man räknar så kan stål ha väldigt stor miljöpåverkan eller minst av alla de vanligaste materialen. Detta beror på flera saker, till exempel hur långt tillbaka i produktionskedjan mätningen börjar. På kort sikt orsakar stål stora utsläpp på grund av nyproduktion av materialet, på samma gång kan stål återanvändas, så länge det inte utsatts för utmattning, eller återvinnas till 100 % (Brynhildsen, 2020). I Sverige står ståltillverkningen för den största mängden koldioxidutsläpp, vilket SSAB, LKAB och Vattenfall har gått ihop för att ändra på (Stålbbyggnadsinstitutet, u. å-a). Deras mål är att till år 2045 ha kommit fram till ett genomförbart sätt att göra stålproduktionen fossilfri.

För att undvika korrosion är det viktigt att, förutom att använda rostskyddande färg, se till att detaljerna utformas med eftertanke. Stålet som ska målas behöver ha rundade hörn för att färgen inte ska spricka och till exempel L- eller U-formade komponenter måste placeras så att det inte kan samlas något vatten i vinklarna. Vid höga temperaturer, såsom vid en brand, förlorar materialet en del av sin hållfasthet vilket kan leda till stor förödelse. För att undvika det kan stålet täckas med ett material som är mer brandbeständigt, till exempel en brandskyddsfärg (Isaksson m. fl., 2010). I konstruktioner som broar finns också en påtaglig risk för mekanisk påverkan, i form av påkörning (Trafikverket, 2019). Om stål-pelarna under bron eller stålkonstruktionen på sidorna av bron blir påkörda kan skador som buckling och avskavning av skyddande färg uppstå. Den mest uppenbara lösningen på detta är att placera pelarna en bit från körbanan och se till att trafiksituationen i övrigt är säker genom att till exempel sätta upp räcken längs vägen.

Stålbalkar produceras i fabriker och standardiseringen är långt framskriden (Prefabsystem, 2015). Detta betyder att processen kan effektiviseras och miljöpåverkan minimeras men eftersom stålbalkar inte går att modifiera när de väl är på plats innebär det att produktionen måste vara väldigt noggrann för att delarna ska passa.

Eftersom stål är ett oorganiskt material finns ingen risk för skadedjur eller för gas- eller kemikalieutsläpp till skillnad från i träkonstruktioner (Stålbbyggnadsinstitutet, u. å-b).

## C.3 Betong som byggnadsmaterial

Betong är ett kompositmaterial som i regel består av cement, ballast och vatten. Utöver detta kan tillsatsmedel, tillsatsmaterial och förstärkning adderas för att få unika egenskaper hos betongen (Buström och Nilvér, 2018). Betong är ett byggnadsmaterial som funnits länge och är dominerande i flera delar av byggsektorn, till exempel anläggning-, hus- och den marina sektorn.

Fördelar med betong är många. Det är ett material med hög tryckhållfasthet, hög värmetålighet mot brand, är vattentåligt och möglar inte (Al-Emrani m. fl., 2020). Vidare krävs det ingen energitillförsel för betongen att härda, då en exoterm reaktion bildas mellan det hydrauliska materialet cement och vatten. Denna aspekt är fördelaktig ute i produktion då man slipper tillföra energi som man behöver vid exempelvis svetsning.

Normalt uppgår draghållfastheten till en tiondel av tryckhållfastheten, vilket medför komplexitet. För att öka betongens draghållfasthet placeras armeringsjärn, som har en betydligt högre draghållfasthet, i större och/eller mer komplexa betongkonstruktioner (Al-Emrani m. fl., 2020). Ett armerat betongelement måste kontrolleras för sprickor och sprickbredder samt för förankringsbrott. Betong är tåligt mot fukt och påverkas inte av mikrobiella organismer, utsätts ett sprucket betongelement för fukt finns dock risk för korrosion av armeringen. Egenskaperna gör att ett väldimensionerat element fördelaktigt kan användas för såväl konstruktioner som bågar eller pelare som för konstruktioner i mark.

De främsta nackdelarna med betong är dess låga draghållfasthet, känsligheten för sprickbildning, krympning, krypning och dess stora miljöpåverkan. Betong har låg draghållfasthet och är ett sprött material, vilket leder till att sprickor bildas i dragzoner. Sprickor i betongen möjliggör att fukt och klorider tränger sig in i materialet vilket dels kan leda till rostangrepp på armeringen, dels till en sänkning av pH värdet i betongen, vilket påverkar materialet negativt (Buström och Nilvér, 2018). Krympning uppstår när betongen torkar och mängden fukt i materialet minskar. Uttorkningen gör att materialet krymper vilket kan skapa sprickor, framförallt om det finns armering som stretar emot. Krypning är ett fenomen som uppstår vid långtidslaster. Krypning leder till deformationer och interna spänningar som måste tas i beaktning vid dimensionering. För att tillverka betong krävs stor mängd energi. Största mängden utsläpp kommer från cementtillverkningen och då framförallt från transporter, utvinning av råmaterial och vatten samt extrem upphettning.

För att förändra materialets egenskaper eller för att förbättra dess avtryck på miljön så kan andelen cement minskas för att ersättas av andra tillsatsmaterial. Cementen bidrar till ungefär 90% av betongens utsläpp (United Nations Environment Programme, 2017) och för att minska dessa kan till exempel flygaska, silikastoft eller granulerad masugnsslagg användas. I vissa fall kan dessutom betong från andra konstruktioner krossas och på så sätt återanvändas som ballast.

Betong tillverkas i fabrik och kan sedan antingen gjutas i formar direkt eller transporteras och gjutas på plats. Ur en tidssynpunkt är det fördelaktigt att använda prefabbetong som gjuts i fabrik då betongen måste hårdas i minst en vecka innan

den uppnått tillräcklig hållfasthet, vilket annars kan leda till stillestånd i produktionen (Prefabsystem (2015)). Nackdelen med prefab-element är att egentyngden är hög och transporter kan bli problematiska för större delar . Egentyngden kan vara till konstruktionens fördel då påverkan av yttre kraftfaktorer som vind inte har lika stor inverkan som på en lättare konstruktion men vid större spännvidder går stor del av materialets kapacitet åt för att bära upp egentyngden, vilket snabbt blir ineffektivt.

## C.4 Övriga material

Ovan har de tre vanligaste materialen diskuterats. Utöver dessa finns flera material som antingen inte har slagit igenom på grund av brister eller som fortfarande testas. Ett exempel på material som är på uppgång, men som ännu används väldigt sällan, är glasfiber. Materialet har hög hållfasthet men passar bäst för kortare broar med laster mindre än 12 ton (Fiberline, u. å). Vidare utvecklas även de tre vanligaste materialen, framförallt för att förbättra deras miljöpåverkan. Som nämnts ovan testas olika bindemedel i betong och framtagandet av en fossilfri stålproduktion är på god väg.

# D

## Kriterier i urval

I bilagan presenteras kriterierna som ligger till grund för urval 1 och 2.

### D.1 Fördjupning av kriterier i urval 1

Nedan presenteras kriterierna som används i urval 1.

#### D.1.1 Miljö

Kriteriet miljö avser den påverkan brons placering, produktion, materialval, och materialmängd kommer ha på både lokal och global miljö. Påverkan på lokala ekosystem och utsläpp av  $CO_2$ -ekvivalenter beaktas.

#### D.1.2 Pris

Kriteriet pris avser produktionskostnad och förvaltningskostnad. Hur mycket kommer bron kosta med avseende på material, arbetstimmar, inspektion och underhållning av bron under hela dess livstid.

#### D.1.3 Estetik

Kriteriet estetik avser hur estetiskt tilltalande brons utformning är samt hur väl bron smälter in och är anpassad till sin omgivning.

#### D.1.4 Underhåll

Kriteriet underhåll avser hur ofta bron kommer behöva inspekteras och underhållas samt hur lättillgängligt och säkert det är att inspektera och underhålla bron.

#### D.1.5 Produktion

Kriteriet produktion avser aspekterna byggtid, arbetsmiljö, temporära konstruktioner, rationellt byggande, och lämplighet. Hur lång tid kommer bron ta att bygga, hur säker och lättutförbart är produktionen av bron för byggarbetarna, hur många temporära konstruktioner kommer behövas och hur avancerade kommer de behöva vara, hur stor är möjligheten att använda sig av ett repetitivt produktions sätt, och hur överlag lämpligt är byggandet i den befintliga sträckningen.

## D.2 Fördjupning av kriterier i urval 2

Nedan presenteras kriterierna som används i urval 2.

### D.2.1 Miljöpåverkan produktion

Med miljöpåverkan avses mängden  $CO_2$ -ekvivalenter som släpps ut under produktionen av bron. Detta innefattar den direkta miljöpåverkan som sker under byggnadsfasen av bron. Alltså ingår den miljöpåverkan som kommer från materialtillverkning och den miljöpåverkan som de transporter och processer som sker under produktionen av bron.

När det kommer till material, så är trä det materialet som har lägst miljöpåverkan jämfört med stål och betong. Därför har brokoncept 7, som helt består av trä rankats bättre än de andra. Brokoncept 4 har vissa delar i stål, och rankas därför lite sämre. Betongbron rankas sämst eftersom att betong har betydligt större miljöpåverkan än trä.

Arbetsbodar och maskiner kräver energi. Hur denna energi framställs får stor påverkan på miljöutsläppen. Om det inte finns tillgängliga anslutningar till elnätet, används i stor utsträckning dieselgeneratorer som ökar utsläppen sett till produktionsfasen. Enligt Naturvårdsverket (2021) är merparten av arbetsmaskiner drivna av fossila bränslen vilket står för 6,5% av Sveriges totala utsläpp. Detta måste tas i beaktning när beräkning av miljöpåverkan för produktion görs.

### D.2.2 Miljöpåverkan underhåll

Om en bro uppnår en lång livslängd kommer mer resurser gå åt för underhåll och reparationer. Desto äldre bron är desto mer resurser kommer att behöva läggas på detta i snitt per år, däribland materiella resurser, såsom nya byggnadsdelar, nytt tätskikt, ny beläggning, eller liknande. Den miljöpåverkan som skapas av dessa typer av reparationer är däremot mycket liten i jämförelse med att istället riva befintlig bro och bygga en ny.

För att minimera behovet av reparationer så bör man undvika delar som kräver extra underhåll eller är extra utsatta i den mån det är möjligt. Detta innefattar bland annat lager, förankringar, övergångskonstruktioner och förband.

### D.2.3 Byggnadskostnad

Med byggnadskostnad anses den kostnad som bron kostar att bygga med avseende på kostnad för material och arbete.

### D.2.4 Underhållskostnad

Underhållskostnaden är starkt sammankopplad med det tidigare kriteriet om underhållets miljöpåverkan. Ju fler extra utsatta delar i konstruktionen, desto mer underhåll och reparationer kommer att behövas. Underhåll och reparationer kostar

pengar och gör att den totala livscykelkostnaden kan öka drastiskt om dessa aspekter inte beaktas. Broar med många utsatta delar behöver ofta även inspekteras oftare, vilket också kostar pengar.

### **D.2.5 Utseende**

Broarna värderas utefter hur estetiskt tilltalande de är. Aspekter som väger in är hur slank konstruktionen är, stödets utformning, och allmänt intryck av deras utseende. Här kommer gruppens åsikter spela en större roll vid värdering av de tre olika brokoncepten.

Samtliga broar anses ha en relativt slank konstruktion, koncept 4 kan anses väldigt elegant med sin båge och avsaknaden av stöd men draglinan som går horisontellt under bron kan anses något störande då den delvis avskärmar det naturliga flödet som bågen ger vilket gör att betyget blir något lägre. Koncept 2 och 7, som båda är balkbroar, är slanka i sin design men balkbron i trä har något mer eleganta stöd vilket höjer dess betyg. Sedan anser gruppen att trä som material ger en mer tilltalande visuell bild vilket medför att koncept 7 och 4 fick högre betyg.

### **D.2.6 Omkringliggande miljö**

Detta kriterium avser hur väl anpassad bron är till miljön, dvs hur bra den smälter in i omgivningen. Viktigt är att bron inte ska ses som ett visuellt störningsmoment, utan den ska kännas väl utformad för sin omgivning. Här spelar aspekter som material, konstruktionshöjd, och slankhet roll vid värdering av brokoncepten.

De tre broarna hade här relativt lika förutsättningar och betygsattes därefter. Även här ansågs trä vara det material som gav en mer visuellt tilltalande bild då det bättre passar in i landskapet och naturen runt omkring.

### **D.2.7 Underhållsbehov**

En träbro som är byggd med eftertanke och som blir väl omhändertagen kräver mindre underhåll. Det som krävs är regelbundna inspektioner där akuta och begynnande skador upptäcks och kan repareras i ett tidigt skede. Enligt Ritter (Ritter, 1990) är det oftast mycket billigare, i det långa loppet, att göra frekventa undersökningar än att låta skadorna bero för att sedan behöva byta ut större delar eller hela bron i förtid.

Balkbroar har dessutom få kritiska delar eller element som är extra känsliga. Alltså har bron förutsättningar för att vara en bro med litet underhållsbehov.

### **D.2.8 Reparationsbehov**

Det som kan orsaka det mest frekventa reparationsbehovet är det skyddande lagret med asfalt på farbanan. Eftersom bron kommer att röra sig finns en överhängande risk att asfalten spricker. Sprickorna behöver rengöras och fyllas så fort som möjligt för att undvika fuktskador.

Skulle brons träkomponenter utsättas för fukt eller angrepp av skadedjur så kommer dessa att behöva bytas ut. Det är därför lämpligt om de komponenter som på förhand kan antas vara mest utsatta placeras så att de enkelt går att ersätta.

### **D.2.9 Produktionstid**

Eftersom bron byggs innan den underliggande motorvägen, är produktionstid inte en faktor som begränsar projektet till så stor grad. Detta beror på att ingen trafik begränsar byggandet och gör att produktionstid rankats lågt jämfört med de andra kriterierna.

Brokoncept 2 och 7 har ansetts vara hyfsat bra ur tidssynpunkt. Detta beror på att bron till stor del kan byggas med prefabricerade element, vilket gör att den går snabbt att montera. Brokoncept

### **D.2.10 Produktionsteknik**

Det gynnar produktionstekniken att bron kommer byggas innan motorvägen som den ska korsa, vilket underlättar sett till framkomlighet och temporära konstruktioner. Brokoncept 4 anses vara mer komplicerad än balkbroarna eftersom bågen har en lång spännvidd där momentstyva förankringar krävs mellan de prefabricerade limträbågarna. Bågens geometri kräver lyftanordningar för att sammansluta bågdelarna. Att dragstagen ska förankras i brofundamenten på rätt sätt bidrar till komplexitet eftersom stagen behöver spännas upp. Balkbroarna i koncept 2 och 7 anses vara enklare att bygga eftersom det är enklare anslutningar än i bågbron. Betongbalkarna har en större tyngd än limträbalkarna vilket är en nackdel sett till produktionsteknik, men konceptet har desto enklare utformning på pelare. De lutande pelarna i brokoncept 7 är en utmaning att tillverka och ansluta till fundament och farbana.

# E

## Bilder på bromodell

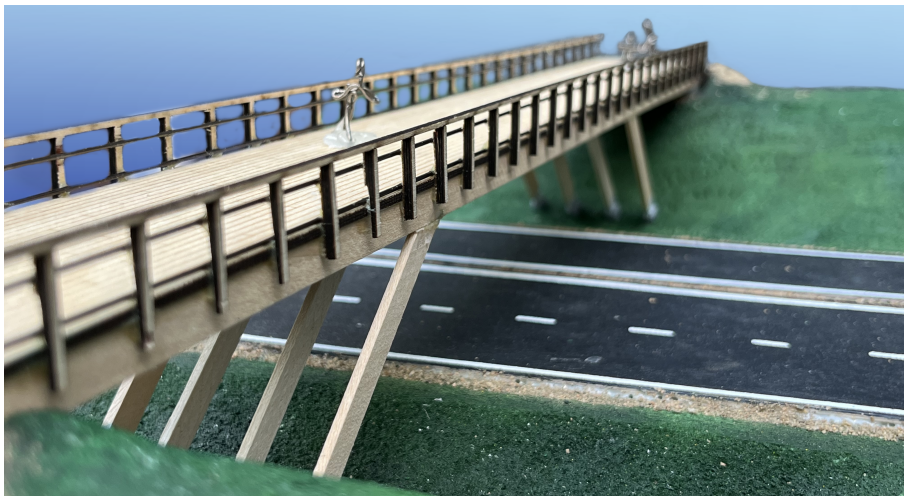
Nedan presenteras bilder på den fysiska modellen.



**Figur E.1:** Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk.



**Figur E.2:** Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk.



**Figur E.3:** Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk.



**Figur E.4:** Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk.



**Figur E.5:** Skalenlig bromodell. Författarnas egna verk.

# F

## Matlab beräkning

Nedan redovisas beräkningar som gjorts, i den ordning som de genomförst.

### F.1 Beräkning av laster

```
%% Laster

%% Egentyngder och materialdata
clc

L_bro = 50;           % Brons totala längd [m]
b_bro = 5.4;         % Brons totala bredd [m]
b_farbane = 5.2;    % Farbanans bredd [m]

% Huvudbalkar GL32k
nbalk = 4;           % Antal längsgående huvudbalkar
Lbalk = L_bro;       % Balkarnas totala längd [m]
bbalk = 0.3;         % Balkarnas bredd [m]
hbalk = 0.765;       % Balkarnas höjd [m]
Vbalk = nbalk*Lbalk*bbalk*hbalk; % Alla balkars sammanlagda volym [m3]
ralim = 430*9.82;    % Balkarnas tunghet [N/m3]
mbalk = Vbalk*ralim/9.82; % Alla balkars totala massa [kg]
gk_balk = bbalk*hbalk*ralim; % En balks tyngd per meter [N/m]

% Syll C35
Lsyll = b_bro;       % Syllarnas längd (tvärs brons färdriktning) [m]
hsyll = 0.2;         % Syllarnas höjd [m]
bsyll = 0.08;        % Syllarnas bredd [m]
ccsyll = 0.110;      % Centrumavstånd mellan syllar [m]
nsyll = 456;         % Antal syllar
Vsyll = Lsyll*hsyll*bsyll*nsyll; % Alla syllars sammanlagda volym [m3]
raC35 = 480*9.82;    % Syllarnas tunghet [N/m3]
msyll = Vsyll*raC35/9.82; % Alla syllars totala massa [kg]
gk_syll = bsyll*hsyll*Lsyll*raC35/ccsyll; % Syllarnas tyngd per meter (i brons färdriktning),[N/m]

% Slitplank C18
hslit = 0.050;       % Tjocklek/höjd på slitplanket [m]
Lslit = L_bro;       % Totala längden på slitplanket [m]
bslit = b_bro;       % Bredden på slitplanket [m]
Vslit = hslit*Lslit*bslit; % Totala volymen på slitplanket [m3]
raC18 = 380*9.82;    % Slitplankets tunghet [N/m3]
mslit = Vslit*raC18/9.82; % Slitplankets totala massa [kg]
gk_slit = bslit*hslit*raC18; % Slitplankets tyngd per meter (i brons färdriktning) [N/m]

% Räckes
h_racke = 1.4+0.4;   % Räckets totala höjd (inklusive ned till infästningen i huvudbalk)
mracke = 436.375;    % Räckets totala tyngd per sida (räknat på 50.925 m) [kg]
Lracke = 50.925;     % Räckets längd (avrundat till helt antal stolpar) [m]
gk_racke = mracke/Lracke*9.82; % Räckets tyngd per meter (per sida) [N/m]
b_stolpe = 0.095;    % Stolparnas bredd (kvadratiska tvärsnitt) [m]
c_racke = 1.4+b_stolpe; % Centrumavstånd mellan räcketstolpar [m]

% Hela bron
mbro = mbalk+msyll+mslit+mracke*2; %Total massa för hela bron [kg]
%Hela brons totala tyngd per meter i färdriktningen [N/m]
gk_bro = gk_slit+gk_syll+gk_balk*4+gk_racke*2;
c_balk = (L_bro-4*bbalk)/3+bbalk; %Centrumavstånd mellan huvudbalkarna [m]
```

```

%% Laster
clc

% Trafiklast
q_fk1 = 5000; %Utbredd trafiklast [N/m2]
q_fk = q_fk1*c_balk; %Utbredd trafiklast för en av mittenbalkarna [N/m]

gamma_d = 1; %Partialkoefficient enligt säkerhetsklass 3

%% LIMTRÄBALKAR

% Lastfall i brottgränstillstånd

% Vertikalt

% Egentyngd
G_k = gk_bro*1.35*0.89*gamma_d; % Hela bronns egentyngd [N/m]

% Trafiklast , ytlast
q_trafik1 = gamma_d*1.5*q_fk; % Utbredd trafiklast [N/m]

psi_0 = 0.4; % Lastreduktionstal (kombinationsvärde)
%(Sören Lidgren , "brolaster ")

q_trafik_variabel = gamma_d*1.5*q_fk*psi_0; % Utbredd trafiklast , reducerad [N/m]

% Servicefordon
% Hjullaster
Q_sv1_1 = 40*10^3; % Hjullast från servicefordon [N]
Q_sv2_1 = 20*10^3; % Hjullast från servicefordon [N]

Q_sv1 = Q_sv1_1*1.5*gamma_d; % Hjullast från servicefordon [N]
Q_sv2 = Q_sv2_1*1.5*gamma_d; % Hjullast från servicefordon [N]

% Trafiklast längs bron , ytlast
Q_flk_trafik1 = 0.1*b_farbana*L_bro*q_fk1/nbalk; %Horisontell trafiklast per balk [N]
Q_flk_trafik = gamma_d*1.5*Q_flk_trafik1; %Horisontell trafiklast per balk i USL, [N]
Q_flk_trafik_variabel = gamma_d*1.5*Q_flk_trafik1*psi_0; %Horisontell trafiklast per balk i ULS, [N]

% Trafiklast längst bron , hjullast
% Horisontell last från servicefordon per balk [N]
Q_flk_hjul1 = 0.6*(80+40)*10^3/nbalk;
% Horisontell last från servicefordon per balk [N]
Q_flk_hjul = Q_flk_hjul1*1.5*gamma_d;
% Horisontell last från servicefordon per balk , reducerad [N]
Q_flk_hjul_variabel = Q_flk_hjul1*1.5*gamma_d*psi_0;

% Lastfall i bruksgränstillstånd
% Vertikalt

psi_1 = 0.4; % Lastreduktionstal (frekvent värde eller vanligt värde)

% Egentyngd
G_k_bruk = gamma_d*gk_bro; % Hela bronns egentyngd [N/m]

% Trafiklast , ytlast
q_fk_bruk = gamma_d*q_fk; % Utbredd trafiklast [N/m]
q_fk_bruk_variabel = gamma_d*q_fk*psi_1; % Utbredd trafiklast , reducerad [N/m]

% Trafiklast , hjullast
Q_flk_hjul_bruk_1 = gamma_d*Q_sv1_1; % Hjullast från servicefordon [N]
Q_flk_hjul_bruk_2 = gamma_d*Q_sv2_1; % Hjullast från servicefordon [N]

```

```

%% SYLLAR

l_hjul = 0.2; % Hjulets lastyta [m]
l_hjul_lastfordelning = 0.45; % Lastfordelningens utbredning for 45
%grader lastfordelning till mitten av syllarna [m]

% Lastfall i brottgränstillstånd

% Egentyngd
G_k_syll = (gk_syll+gk_slit*ccsyll)*gamma_d*0.89*1.35; % Egentyngd som bärs av syllarna [N/m]

% Trafiklast
q_fk_syll = gamma_d*1.5*q_fk1*ccsyll; % Utbredd trafiklast [N/m]
Q_flk_hjul_syll = gamma_d*1.5*Q_sv1_1/4; % Utbredd trafiklast per syll
% (lastspridning från hjul över 4 syllar) [N]

% Lastfall i bruksgränstillstånd

% Egentyngd
G_k_syll_bruk = gamma_d*(gk_syll+gk_slit*ccsyll); % Egentyngd som bärs av syllarna [N/m]

% Trafiklast
q_fk_syll_bruk = gamma_d*q_fk1*ccsyll; % Utbredd trafiklast [N/m]
q_fk_syll_bruk_variabel = gamma_d*psi_1*q_fk1*ccsyll; % Utbredd trafiklast, reducerad [N/m]

% Utbredd trafiklast per syll (lastspridning) från hjul över 4 syllar) [N]
Q_flk_hjul_syll_bruk = gamma_d*Q_sv1_1/4;

%% Materialvärden
clc

k_mod = 0.7; % Omräkningsfaktor

k_h_balk = min([(0.6/hbalk)^0.2 1.3]); % Storleksfaktor för balk (T2-15)
k_h_syll = min([(0.15/hsyll)^0.2 1.3]); % Storleksfaktor för syll

% Huvudbalkar: Limträ GL32k
gamma_M_balk = 1.25;

% Materialdata från tabell T2.4
% Böjning på högkant
f_myk_balk = 32*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet för balk [Pa]
f_myd_balk = k_mod*f_myk_balk/gamma_M_balk; % Dimensionerande hållfasthet för balk [Pa] (T2-12)

% Böjning på lågkant, momentvektor vinkelrät mot limfogspanelen
f_mzk_balk = 22.5*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet [Pa]
f_mzd_balk = k_mod*f_mzk_balk/gamma_M_balk; % Dimensionerande hållfasthet [Pa]

% Tryck parallellt fibrerna
f_c0k_balk = 29*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet [Pa]
f_c0d_balk = k_mod*f_c0k_balk/gamma_M_balk; % Dimensionerande hållfasthet [Pa]

% Skjuvning
f_vk_balk = 3.8*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet [Pa]
f_vd_balk = k_mod*f_vk_balk/gamma_M_balk; % Dimensionerande hållfasthet [Pa]

% E-modul
E_005_balk = 11100*10^6; % Elasticitetsmodul för bärförmågeberäkningar [Pa]
E_0_mean_balk = 13700*10^6; % Elasticitetsmodul för deformationsberäkningar [Pa]

% Syllar: konstruktionsvirke C35

gamma_M_syll = 1.3;

% Böjning
f_mk_syll = 35*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet [Pa]
f_md_syll = k_mod*k_h_syll*f_mk_syll/gamma_M_syll; % Dimensionerande hållfasthet [Pa] ((T2-12)

```

```

% samt (T2-14), pga konstruktionsvirke
% mindre än 150 mm)

% Tryck parallellt fibrerna
f_ck_syll = 25*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet [Pa]
f_cd_syll = k_h_balk*k_mod*f_ck_syll/gamma_M_syll; % Dimensionerande hållfasthet [Pa]

% Skjuvning
f_vk_syll = 3.4*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet [Pa]
f_vd_syll = k_h_syll*k_mod*f_vk_syll/gamma_M_syll; % Dimensionerande hållfasthet [Pa]

% E-modul
E_005_syll = 8700*10^6; % Elasticitetsmodul för bärförågeberäkningar [Pa]
E_0_mean_syll = 13000*10^6; % Elasticitetsmodul för deformationsberäkningar [Pa]

%% Vippning
clc

% Balk
% Kritiskt vippningsmoment [Pa] (T3-28)
sigma_m_crit_balk = 0.78*0.3^2*E_0_mean_balk/(hbalk*0.9*L_mittfack);
lambda_rel_m_balk = sqrt(f_myk_balk/sigma_m_crit_balk); % Slankhetsparameter (T3-27)

% Ingen risk för vippning om lambda_rel_m_balk < 0.75 (T3-29)
if lambda_rel_m_balk < 0.75
    k_crit_balk = 1;
    message = sprintf('Balk_riskerar_ej_vippning!')
else
    message = sprintf('Balk_riskerar_vippning, beräkna_k_crit!')
end

% Syll
% Kritiskt vippningsmoment [Pa] (T3-28)
sigma_m_crit_syll = 0.78*bsyll^2*E_0_mean_syll/(hsyll*0.9*Lsyll);
lambda_rel_m_syll = sqrt(f_mk_syll/sigma_m_crit_syll); % Slankhetsparameter (T3-27)

if lambda_rel_m_syll < 0.75
    k_crit_syll = 1;
    message = sprintf('Syll_riskerar_ej_vippning!')
else
    message = sprintf('Syll_riskerar_vippning, beräkna_k_crit!')
end

```

## F.2 Beräkning av vindlast

```
% Vindlast
% Enligt SS-EN 1991-1-4:2005 samt Sören Lindgren, "Brolaster", (2016)

% Horisontell riktning tvärs bron
rho_luft = 1.25; % Rekommenderat värde för luftens densitet [kg/m3]
v_b = 24; % Referensvindhastigheten [m/s]

d_tot = hbalk+hsyll+hslit; % Överbyggnadens höjd (räcket borträknas på grund av dess gleshet) [m]
A_refx = d_tot*L_bro; % Referensarean

if b_bro/d_tot < 0.5
    c_fx = 2.4;
elseif 0.5 < b_bro/d_tot < 5
    c_fx = 2.56-0.311*b_bro/d_tot;
else
    c_fx = 1;
end

q_p = 510;
% Karaktäristiskt hastighetstryck [Pa] för vb 24 m/s samt 6.21 m höjd mellan mark och
% den beaktade delens översta kant (grovt avrundat uppåt till 8 m)

Fw_tvars_1 = q_p*c_fx*A_refx;

Fw_tvars = Fw_tvars_1*1.5*gamma_d;
Fw_tvars_reducerad = Fw_tvars*1.5*gamma_d*psi_0;

% Horisontell riktning längs bron

Fw_langs_1 = 0.25*Fw_tvars;

Fw_langs = Fw_langs_1*1.5*gamma_d;
Fw_langs_reducerad = Fw_langs*psi_0;
```

## F.3 Beräkning av värsta position för servicefordon

```
%%%%%%%%%% INFLUENSLINJE FÖR LASTFALL MED SERVICEFORDON %%%%%%%%%%%
clc
clf

% Egenskaper balk
E = 11.1e9; % Balkens E-modul [Pa]
bbalk = 0.3; % Balkens bredd [m]
hbalk = 0.765; % Balkens höjd [m]
Ibalk = bbalk*hbalk^3/12; % Balkens tröghetsmoment [m^4]
Abalk = bbalk*hbalk; % Balkens tvärsnittsarea [m^2]

% Egenskaper pelare
bpelare = bbalk; % Pelarens bredd [m]
hpelare = 0.72; % Pelarens höjd [m]
Ipelare = bpelare*hpelare^3/12; % Pelarens tröghetsmoment [m^4]
Apelare = bpelare*hpelare; % Pelarens tvärsnittsarea [m^2]
Lpelare = sqrt(32); % Pelarens längd [m]
ra = 430; % Pelarens densitet (GL32k) [kg/m^3]

G_pelare = Apelare*ra*9.82; % Pelarens egentyngd [N/m^2]

nel = 52; % Antal element

% x-koordinater för elementen
ex = zeros(nel,2);
for i = 1:nel
    ex(i,:) = [i-1 i];
end
ex(nel-1,:) = [16 12];
ex(nel,:) = [34 38];

% y-koordinater för elementen
ey = zeros(nel,2);
ey(nel-1,:) = [0 -4];
ey(nel,:) = [0 -4];

% Topologimatrix
edof = zeros(nel,7);
for i = 1:nel
    edof(i,1) = i;
end
j=3;
for i = 1:nel
    j = j-3;
    for k = 2:7
        j = j+1;
        edof(i,k) = j;
    end
end

edof(nel-1,:) = [nel-1 16*3+1 16*3+2 16*3+3 nel*3-2 nel*3-1 nel*3];
edof(nel,:) = [nel 34*3+1 34*3+2 34*3+3 nel*3+1 nel*3+2 nel*3+3];

% Antal frihetsgrader
ndof = nel*3+3;

% Upplagsvillkor
bc = [2 0
      152 0
      154 0
      155 0
      157 0
      158 0];

% Elemntegenskaper
```

```

ep = zeros(nel,3);
for i = 1:50
    ep(i,:) = [E Abalk Ibalk];
end
for i = nel-1:nel
    ep(i,:) = [E Apelare Ipelare];
end

% Lastfall 3, servicefordon
eq3 = zeros(nel,2);
for i = 1:50 % Last i brobanan
    eq3(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 51:52 % Last i pelare
    eq3(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
f(1,1) = Q_flk_trafik1; % Horisontell last
for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq3(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

% Loopen flyttar punktlasterna (servicefordonet) över bronbanan och skapar
% en linje för det största momentet som uppstår i balken vid varje position
Minf = zeros(nel+1,1);
Vinf = zeros(nel+1,1);
for R = 1:nel-2

    f = zeros(ndof,1);
    f(1,1) = Q_flk_trafik1; % Horisontell last
    f(R*3-1,1) = -2*Q_sv1;
    f((R+3)*3-1,1) = -2*Q_sv2;

    [a, r] = solveq(K, f, bc);
    ed = extract(edof, a);

    for i = 1:nel-2
        es3 = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed(i,:), eq3(i,:));
        N(i,:) = es3(:,1);
        V(i,:) = es3(:,2);
        M(i,:) = es3(:,3);
    end

    Minf(R,1) = max(abs(M(:,2)));
    Vinf(R,1) = max(abs(V(:,2)));

end

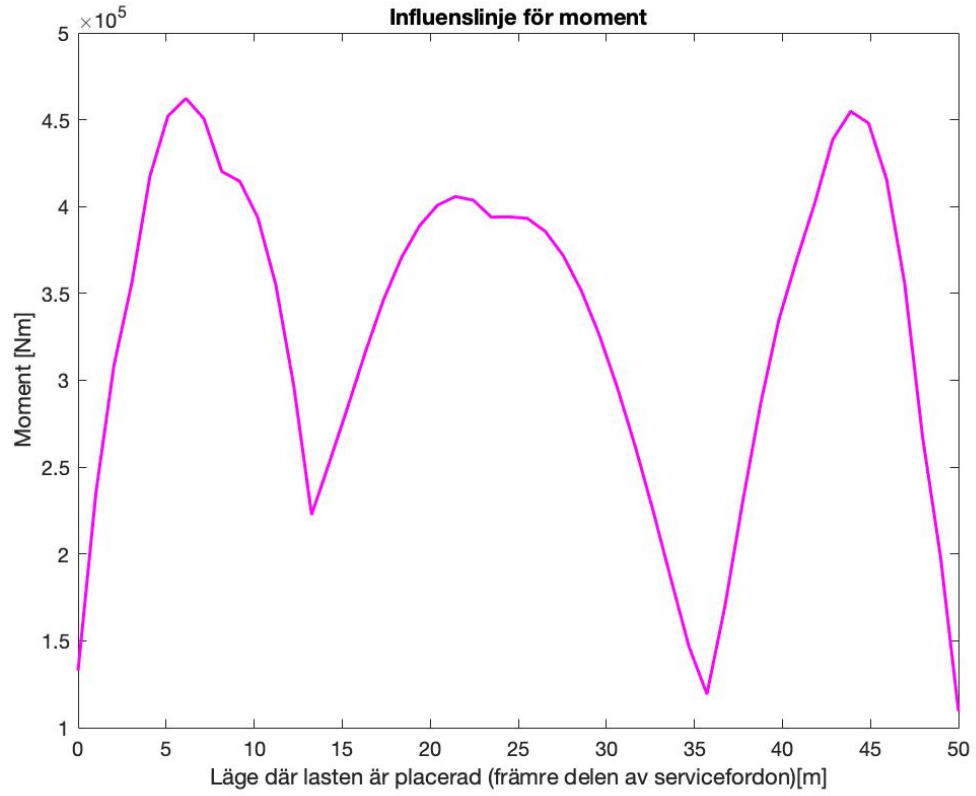
Mmax = max(Minf)
Vmax = max(Vinf)

% Plottar influenslinje för moment
figure(1)
x1 = linspace(0, nel-2, nel-2);
y1 = Minf(1:nel-2);
plot(x1, y1, 'm', 'linewidth', 1.5)
title('Influenslinje för moment')
xlabel('Läge där lasten är placerad (främre delen av servicefordon) [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

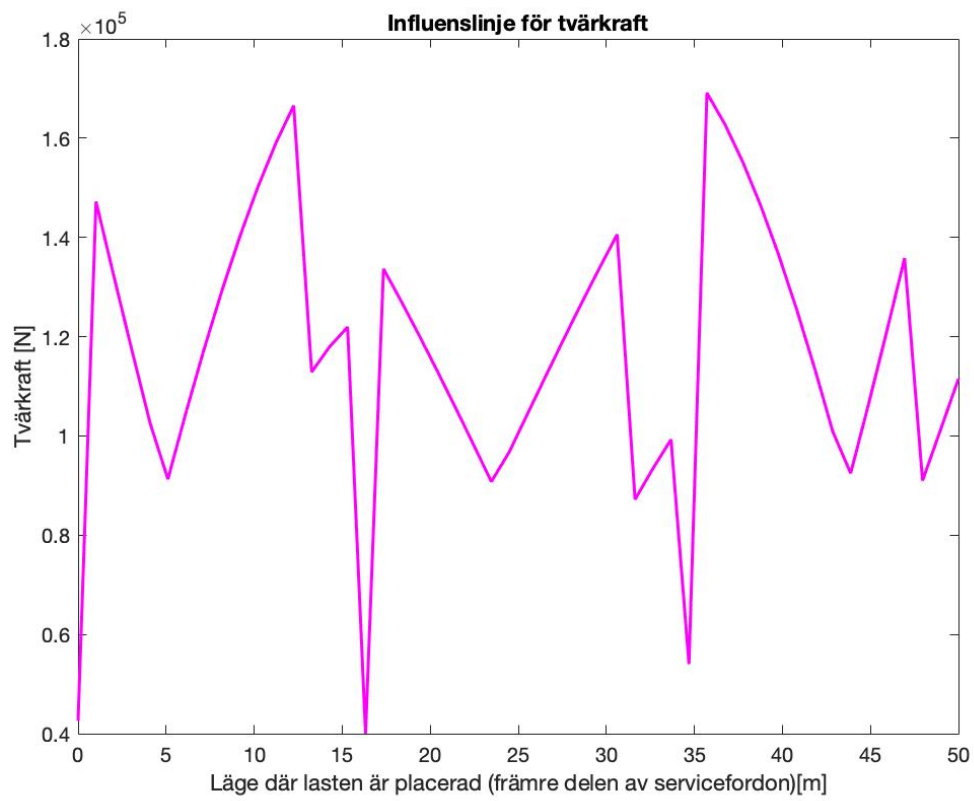
% Plottar influenslinje för moment
figure(2)
x2 = linspace(0, nel-2, nel-2);
y2 = Vinf(1:nel-2);
plot(x2, y2, 'm', 'linewidth', 1.5)
title('Influenslinje för tvärkraft')

```

```
xlabel('Läge där lasten är placerad (främre delen av servicefordon) [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')
```



Figur F.1: Influenslinje, moment



Figur F.2: Influenslinje, tvärkraft

## F.4 Snittkraftberäkning i längsled

%%%% CALFEM MODELL FÖR ETT AV BALK-PELARE PAREN I MITTEN AV BRON %%%

```
clc

% Egenskaper balk
E = 11.1e9; % Balkens E-modul [Pa]
bbalk = 0.3; % Balkens bredd [m]
hbalk = 0.765; % Balkens höjd [m]
Ibalk = bbalk*hbalk^3/12; % Balkens tröghetsmoment [m^4]
Abalk = bbalk*hbalk; % Balkens tvärsnittsarea [m^2]

% Egenskaper pelare
bpelare = bbalk; % Pelarens bredd [m]
hpelare = 0.72; % Pelarens höjd [m]
Ipelare = bpelare*hpelare^3/12; % Pelarens tröghetsmoment [m^4]
Apelare = bpelare*hpelare; % Pelarens tvärsnittsarea [m^2]
Lpelare = sqrt(32); % Pelarens längd [m]
ra = 430; % Pelarens densitet (GL32k) [kg/m^3]

G_pelare = Apelare*ra*9.82; % Pelarens egentynngd [N/m^2]

nel = 52; % Antal element

% x-koordinater för elementen
ex = zeros(nel,2);
for i = 1:nel
    ex(i,:) = [i-1 i];
end
ex(nel-1,:) = [16 12];
ex(nel,:) = [34 38];

% y-koordinater för elementen
ey = zeros(nel,2);
ey(nel-1,:) = [0 -4];
ey(nel,:) = [0 -4];

% Topologimatrix
edof = zeros(nel,7);
for i = 1:nel
    edof(i,1) = i;
end
j=3;
for i = 1:nel
    j = j-3;
    for k = 2:7
        j = j+1;
        edof(i,k) = j;
    end
end

edof(nel-1,:) = [nel-1 16*3+1 16*3+2 16*3+3 nel*3-2 nel*3-1 nel*3];
edof(nel,:) = [nel 34*3+1 34*3+2 34*3+3 nel*3+1 nel*3+2 nel*3+3];

% Antal frihetsgrader
ndof = nel*3+3;

% Upplagsvillkor
bc = [2 0
      152 0
      154 0
      155 0
      157 0
      158 0];

% Elemntegenskaper
ep = zeros(nel,3);
for i = 1:50
```

```

    ep(i,:) = [E Abalk Ibalk];
end
for i = nel-1:nel
    ep(i,:) = [E Apelare Ipelare];
end

% Lastfall 1, Utrebddd last på hela farbanan
eq1 = zeros(nel,2);
for i = 1:16
    eq1(i,:) = [0 Last1_vertikal]; % Last i ytterfack
end
for i = 17:33
    eq1(i,:) = [0 Last1_vertikal]; % Last i mittfack
end
for i = 34:50
    eq1(i,:) = [0 Last1_vertikal]; % Last i ytterfack
end
for i = 51:52
    eq1(i,:) = [0 -G_pelare]; % Last i pelare
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
f(1,1) = Q_flk_trafik1; % Horisontell last
for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq1(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, r] = solveq(K, f, bc);
ed1 = extract(edof, a);
n = 100;
es1 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es1((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed1(i,:), ...
    eq1(i,:), n);
end

% Momentdiagram
figure(1)
% Plottar bron
l = linspace(0,50);
y3 = linspace(0,0);
plot(l,y3,'k','Linewidth',2)
hold on
% Moment lastfall 1
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = es1(1:nel*n-2*n,3);
plot(x,-y1,'r','Linewidth',2)
hold on

figure(2)
% Plottar bron
y3 = linspace(0,0);
plot(l,y3,'k','Linewidth',2)
hold on
% Tvärkraft lastfall 1
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = es1(1:nel*n-2*n,2);
plot(x,-y1,'r','Linewidth',2)
hold on

% Lastfall 2, utbredd last i mittspann
eq2 = zeros(nel,2);
for i = 1:16
    eq2(i,:) = [0 -G_k/3]; % Last i ytterfack
end

```

```

end
for i = 17:33                                     % Last i mittfack
    eq2(i,:) = [0 Last1_vertikal];
end
for i = 34:50                                     % Last i ytterfack
    eq2(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 51:52                                     % Last i pelare
    eq2(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
f(1,1) = Q_flk_trafik1;                          % Horisontell last
for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq2(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, r] = solveq(K, f, bc);
ed2 = extract(edof, a);
n = 100;
es2 = zeros(i*n, 3);

for i = 1:nel
    es2((i-1)*n+1:n*i, :) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed2(i,:), ...
        eq2(i,:), n);
end

% Moment lastfall 2
figure(1)
x = linspace(0, 50, i*n-2*n);
y1 = es2(1:nel*n-2*n, 3);
plot(x, -y1, 'b', 'Linewidth', 1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 2
figure(2)
x = linspace(0, 50, i*n-2*n);
y1 = es2(1:nel*n-2*n, 2);
plot(x, -y1, 'b', 'Linewidth', 1.5)
hold on

% Lastfall 3, servicefordon (värsta fallet för moment)
eq3 = zeros(nel, 2);
for i = 1:50                                     % Last i brobanan
    eq3(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 51:52                                     % Last i pelare
    eq3(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof, 1);
f(1,1) = Q_flk_hjul1;                            % Horisontell last
R = 6;                                           % Den vänstra lastens placering
% För värsta lastfall antas mittenbalken bära hela servicefordonets
% axellast utan hjälp från de andra balkarna.
f(R*3-1,1) = -2*Q_sv1;
f((R+3)*3-1,1) = -2*Q_sv2;
for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq3(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, r] = solveq(K, f, bc);
ed3 = extract(edof, a);
n = 100;

```

```

es3 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es3((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed3(i,:), ...
        eq3(i,:), n);
end

% Moment lastfall 3
figure(1)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = es3(1:nel*n-2*n,3);
plot(x,-y1,'g','linewidth',1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 3
figure(2)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = es3(1:nel*n-2*n,2);
plot(x,-y1,'g','linewidth',1.5)
hold on

% Lastfall 4, servicefordon (värsta fallet för tvärkraft)
eq4 = zeros(nel,2);
for i = 1:50
    eq4(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 51:52
    eq4(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
f(1,1) = Q_flk_hjul1;
R = 36;
% Horisontell last
% Vänstra lastens placering
% För värsta lastfall antas mittenbalken bära hela servicefordonets
% axellast utan hjälp från de andra balkarna.
f(R*3-1,1) = -2*Q_sv1;
f((R+3)*3-1,1) = -2*Q_sv2;
for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq4(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, r] = solveq(K, f, bc);
ed4 = extract(edof, a);
n = 100;
es4 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es4((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed4(i,:), ...
        eq4(i,:), n);
end

% Moment lastfall 4
figure(1)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = es4(1:nel*n-2*n,3);
plot(x,-y1,'m','linewidth',1.5)
hold on
title('Momentdiagram')
legend('-', 'Lastfall_1, utbredd_hela', 'Lastfall_2, utbredd_mitten', ...
    'Lastfall_3, servicefordon_6m', 'Lastfall_4, servicefordon_36m')
xlabel('Brons_Längd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

% Tvärkraft lastfall 4
figure(2)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);

```

```

y1 = es4(1:nel*n-2*n,2);
plot(x,-y1,'m','Linewidth',1.5)
hold on
title('Tvärkraftsdiagram')
legend('-','Lastfall_1,utbredd_hela','Lastfall_2,utbredd_mitten',...
'Lastfall_3,servicefordon_6m','Lastfall_4,servicefordon_36m')
xlabel('Brons_längd[m]')
ylabel('Tvärkraft[N]')

% Maxmoment för varje lastfall
maxM1 = max(abs(es1(:,3)));
maxM2 = max(abs(es2(:,3)));
maxM3 = max(abs(es3(:,3)));
maxM4 = max(abs(es4(:,3)));

% Max tvärkraft för varje lastfall
maxV1 = max(abs(es1(:,2)));
maxV2 = max(abs(es2(:,2)));
maxV3 = max(abs(es3(:,2)));
maxV4 = max(abs(es4(:,2)));

% Normalkrafter i balk för varje lastfall
maxNB1 = min(es1(1:nel*n-2*n,1));
maxNB2 = min(es2(1:nel*n-2*n,1));
maxNB3 = min(es3(1:nel*n-2*n,1));
maxNB4 = min(es4(1:nel*n-2*n,1));

% Normalkraft i pelare för varje lastfall
NP1 = es1((nel*n-2*n+1):nel*n,1);
NP2 = es2((nel*n-2*n+1):nel*n,1);
NP3 = es3((nel*n-2*n+1):nel*n,1);
NP4 = es4((nel*n-2*n+1):nel*n,1);

% Tvärkraft i pelare för varje lastfall
VP1 = es1((nel*n-2*n+1):nel*n,2);
VP2 = es2((nel*n-2*n+1):nel*n,2);
VP3 = es3((nel*n-2*n+1):nel*n,2);
VP4 = es4((nel*n-2*n+1):nel*n,2);

% Momentfördelning i pelare för varje lastfall
MP1 = es1((nel*n-2*n+1):nel*n,3);
MP2 = es2((nel*n-2*n+1):nel*n,3);
MP3 = es3((nel*n-2*n+1):nel*n,3);
MP4 = es4((nel*n-2*n+1):nel*n,3);

% Dimensionerande moment i balk
M_Ed = ([maxM1,maxM2, maxM3, maxM4]);
% Dimensionerande tvärkraft i balk
V_Ed = ([maxV1,maxV2, maxV3, maxV4]);

% Mormalkraft i pelare för varje lastfall
N_pelare = (min([NP1, NP2, NP3, NP4]));
% Dimensionerande normalkraft i pelare
N_Ed_pelare =min(N_pelare);
% Tvärkraft i pelare för varje lastfall
V_pelare = max(abs([VP1, VP2, VP3, VP4]));
% Dimensionerande Tvärkraft i pelare
V_Ed_pelare =max(V_pelare);
% Maxmoment i pelare för varje lastfall
M_pelare = max(abs([MP1, MP2, MP3, MP4]));
% Dimensionerande moment i pelare
M_Ed_pelare = max(M_pelare);

% Maximal reaktionskraft vid vänstra ändupplag
R_A = es3(1,2);
% Maximal reaktionskraft vid höger upplag
R_B = es1(nel*n-2*n,2);
% Reaktionskraft i vänster pelare i pelarens riktning
N_C = min(NP1)

```

```

% Tvärkraft längst ner i pelare för varje lastfall (v = vänster pelare ,
% h = höger pelare)
VvP1 = es1(nel*n-2*n+1,2);
VvP2 = es2(nel*n-2*n+1,2);
VvP3 = es3(nel*n-2*n+1,2);
VvP4 = es4(nel*n-2*n+1,2);
VhP1 = es1(nel*n-2*n+1,2);
VhP2 = es2(nel*n-2*n+1,2);
VhP3 = es3(nel*n-2*n+1,2);
VhP4 = es4(nel*n-2*n+1,2);
% Reaktionskraft längst ner i pelare för varje lastfall
V_C = max(abs([VvP1,VvP2,VvP3,VvP4,VhP1,VhP2,VhP3,VhP4]))
%% Dimensionering

% Momentkapacitet balkar
Wy = bbalk*hbalk^2/6; % Böjmotstånd [m^3]
k_mod = 0.7; % Omräkningsfaktor [-]
k_crit = 1; % Vippningsfaktor [-]
gamma_M_balk = 1.25; % Säkerhetsfaktor [-]
f_myk_balk = 32*10^6; % Karakteristisk hållf [Pa]
f_myd_balk = k_mod*f_myk_balk/gamma_M_balk; % Dimensionerande hållf [Pa]
M_Rd = Wy*f_myd_balk; % Momentkapacitet [Nm]

for i = 1:4
    sigma_myd = M_Ed(i)/Wy; % Spänning i balk
    if sigma_myd < f_myd_balk
        disp('Momentkapacitet_OK')
    else
        disp('Momentkapacitet_inte_OK')
    end
    ug_M(i)=sigma_myd/(f_myd_balk); % Utnyttjandegrad moment
end

% Tvärkraft balkar
f_vk_balk = 3.8*10^6; % Pa
f_vd_balk = k_mod*f_vk_balk/gamma_M_balk; % Pa
% Skjuvspänning enligt Jouravskijs formel
V_Rd = f_vd_balk*Abalk/1.5;
for i = 1:4
    tao_d = V_Ed(i)*1.5/Abalk;
    if tao_d < f_vd_balk
        disp('Tvärkraft_OK')
    else
        disp('Tvärkraft_inte_OK')
    end
end
% Utnyttjandegrad tvärkraft
ug_V(i) = tao_d/f_vd_balk; % Utnyttjandegrad tvärkraft
end
%% Kontroll av nedböjning
wmax = min([min(ed1(:,2)),min(ed2(:,2)),min(ed3(:,2)),min(ed4(:,2))]);
% Maximal nedböjning
wmaxtill = 16/400; % Maximal tillåten nedböjning

if wmax < wmaxtill
    disp('Nedböjning_OK')
else
    disp('Nedböjning_inte_OK')
end

%% Längdutvidgning
alpha_T = 5e-6; % 1/C
T_max = 36; % C, Söderköping SS_EN_1991_1_5
T_min = -32; % C
delta_T = T_max-T_min; % C

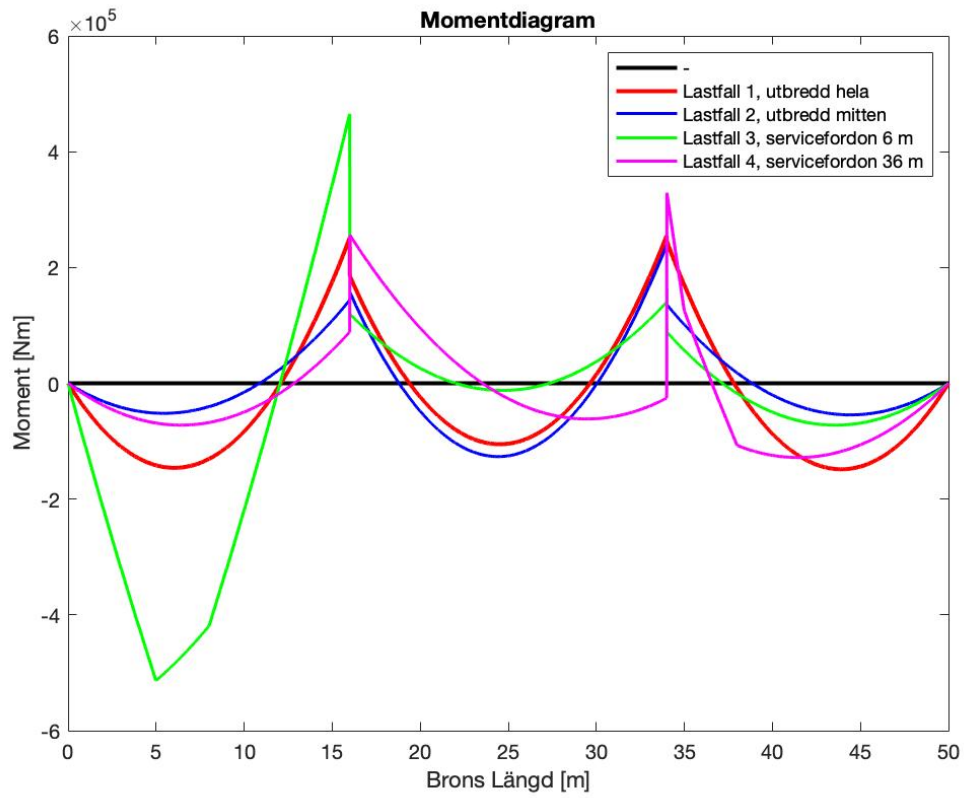
% Längdutvidgning i ytterfack
L_ytterfack = 16; % [m]
delta_L_yf = alpha_T*L_ytterfack; % Längdutvidgning ytterfack

```

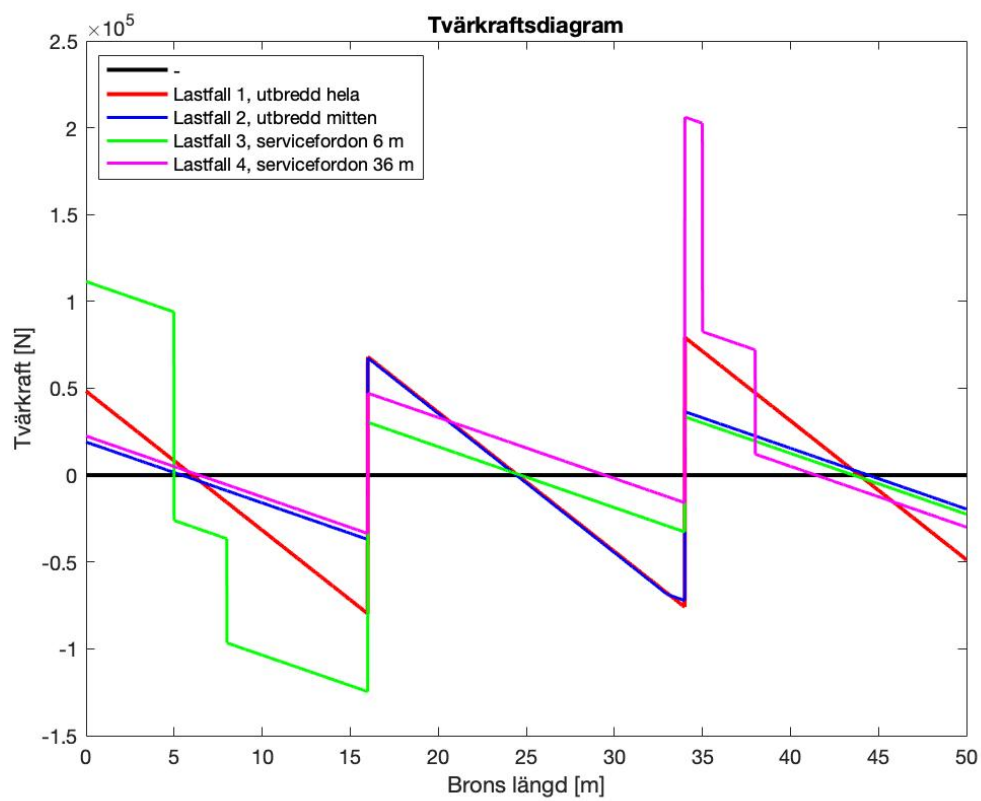
```

% Längdutvidgning i mittfack (ger upphov till tvångsspänning)
L_mittspann = 18; % [m]
delta_L_mittfack = alpha_T*L_mittspann*delta_T; % Längdutvidgning mittfack
sigma_T = E*delta_L_mittfack/L_mittspann; % Tvångsspänning mittfack

```



Figur F.3: Momentdiagram för lastfall i längsled



Figur F.4: Tvärkraftsdiagram för lastfall i längsled

## F.5 Snittkraftsberäkning i tvärled

```
%% Tvärled
clc

% Balkar
Abalk = hbalk*bbalk; % Tvärsnittsarea balk [m2]
Ibalk = bbalk*hbalk^3/12; % Yttröghetsmoment balk [m4]
mellan_balk = (b_bro-4*bbalk)/3; % Centrumavstånd mellan balkar [m]
c_balk = mellan_balk+bbalk;

% Syll
Asyll = hsyll*bsyll; % Tvärsnittsarea syll [m2]
Isyll = bsyll*hsyll^3/12; % Yttröghetsmoment syll [m4]
n_syll_1m = 9; % Antal syllar per meter

% E-moduler
Ebalk = E_0_mean_balk; % Elasticitetmodul balk [Pa]
Esyll = E_0_mean_syll; % Elasticitetmodul syll [Pa]

% Tungheter
rho_balk = ralim; % Tunghet balk [N/m3]
rho_syll = raC35; % Tunghet syll [N/m3]
rho_racke = 200; % Tunghet racke [N/m]
rho_slit = raC18; % Tunghet slitplank [N/m3]

% Permanenta laster
b_sektion = ccsyll; % Bredd sektion [m]

g = -rho_slit*hslit*b_sektion-rho_syll*Asyll; % Tyngd per längdmeter i tvärled [N/m]
g_racke = -rho_racke*b_sektion; % Tyngd racke [N]

% Variabla laster
q_trafik = -gamma_d*q_fk1*1.5*b_sektion; % Utbredd trafiklast , brottgränstillstånd [N/m]

nel = b_bro*100; % Antal element, varje element är en centimeter

ep = zeros(nel,3);

% Elementparametrar
for i = 1:nel
    ep(i,:) = [Esyll Asyll Isyll];
end

% Positioner
ex = zeros(nel,2);
for i = 1:nel
    ex(i,:) = [i*0.01-0.01 i*0.01];
end

ey = zeros(nel,2);

% Frihetsgrader
Edof = zeros(nel,7);

for i = 1:nel
    Edof(i,1) = i;
end
j=3;
for i = 1:nel
    j = j-3;
    for k = 2:7
        j = j+1;
        Edof(i,k) = j;
    end
end

% Randvillkor
```

```

balk1av4 = (bbalk/2)*100*3+2;
balk2av4 = (bbalk*3/2+mellan_balk)*100*3+2;
balk3av4 = (bbalk*5/2+mellan_balk*2)*100*3+2;
balk4av4 = (bbalk*7/2+mellan_balk*3)*100*3+2;

bc = [1 0;
      balk1av4 0;
      balk2av4 0;
      balk3av4 0;
      balk4av4 0];

% LASTFALL 1 – utbredd last

% Lastvektorn
eq1 = zeros(nel,2);

for i = 1:10 % Plats för räckel
    eq1(i,:) = [0 g];
end

for i = 11:nel-1 % Farbana med utbredd last
    eq1(i,:) = [0 g+q_trafik];
end

for i = nel-10:nel % Plats för räckel
    eq1(i,:) = [0 g];
end

% Styvhetsmatris
K1 = sparse(nel*3+3, nel*3+3);

% Lastvektor
f1 = zeros(nel*3+3, 1);

f1(1) = Fw_tvars;

f1(2) = g_racke; % Räckel antas som en punktlast längst ut (förenkling, ger värst fall)
f1(nel*3+3-1) = g_racke;

for i = 1:1:nel
    [Ke1, fe2] = beam2e(ex(i,:), ey, ep(i,:), eq1(i,:));
    [K1, f1] = assem(Edof(i,:), K1, Ke1, f1, fe2);
end

% Löser systemet
[a, Q] = solveq(K1, f1, bc);

ed1 = extract(Edof, a);

n = 20;
es1 = zeros(nel*n, 3);

for i = 1:nel
    es1((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey, ep(i,:), ed1(i,:), eq1(i,:), n);
end

% Momentdiagram
figure(1)
% Plottar bron
l = linspace(0,5.4);
y1 = linspace(0,0);
plot(l,y1,'k','Linewidth',2)
hold on
% Moment (lastfall 1)
x = linspace(0,5.4,i*n);
y1 = es1(1:nel*n,3);
plot(x,-y1,'r','Linewidth',2)
hold on

% Tvärkraft

```

```

figure(2)
% Plottar bron
l = linspace(0,5.4);
y1 = linspace(0,0);
plot(l,y1,'k','Linewidth',2)
hold on
% Tvärkraft lastfall 1
x = linspace(0,5.4,i*n);
y1 = es1(1:nel*n,2);
plot(x,-y1,'r','Linewidth',2)
hold on

maxM_utbredd = max(abs(es1(:,3))) % Maximalt moment i syllarna för utbredd last [Nm]
maxV_utbredd = max(abs(es1(:,2))) % Maximal tvärkraft i syllarna för utbredd last [N]

% LASTFALL 2 – servicefordon

% (Hjules lastyta är 200 mm bred i längdriktningen,
% antar 45 grader lastfördelning ned till syllarnas centrum, då belastas 4 syllar per hjul)

% Variabla laster (hjullast)
Q_sv_syll = -gamma_d*1.5*Q_sv1/4; % Hjullast per syll (för tyngsta hjulet) [N]

eq2 = zeros(nel, 2);
for i = 1:nel % Egentyngd längs hela spannet
    eq2(i,:) = [0 g];
end

% LASTFALL 2.1 – fordonet mitt över mittbalken
f2_1 = zeros(nel*3+3, 1);

f2_1(1) = Fw_tvars;
f2_1(2) = g_racke; % Räckat antas som en punktlast längst ut (förenkling, ger värst fall)
f2_1(nel*3+3-1) = g_racke;

f2_1(balk2av4-130/2*3) = Q_sv_syll; % Placering av serviceforodn
f2_1(balk2av4+130/2*3) = Q_sv_syll;

K2 = sparse(nel*3+3, nel*3+3);

for i = 1:1:nel
    [Ke2, fe2] = beam2e(ex(i,:), ey, ep(i,:), eq2(i,:));
    [K2, f2_1] = assem(Edof(i,:), K2, Ke2, f2_1, fe2);
end

% Lös systemet
[a2_1, Q2_1] = solveq(K2, f2_1, bc);

ed2_1 = extract(Edof, a2_1);

n = 20;
es2_1 = zeros(nel*n, 3);

for i = 1:nel
    es2_1((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey, ep(i,:), ed2_1(i,:), eq2(i,:), n);
end

% Momentdiagram
figure(1)
% Moment lastfall 2.1
x = linspace(0,5.4,i*n);
y1 = es2_1(1:nel*n,3);
plot(x,-y1,'b','Linewidth',2)
hold on

% Tvärkraft
figure(2)
% Tvärkraft lastfall 2.1
x = linspace(0,5.4,i*n);
y1 = es2_1(1:nel*n,2);

```

```

plot(x,-y1, 'b', 'Linewidth', 2)
hold on

% Maximalt moment i syllarna då servicefordonet är placerat mitt över en av mittbalkarna [Nm]
maxM_punktlast_1 = max(abs(es2_1(:,3)))
% Maximal tvärkraft i syllarna då servicefordonet är placerat mitt över en av mittbalkarna [N]
maxV_punktlast_1 = max(abs(es2_1(:,2)))

% LASTFALL 2.2 – fordonet längst ut åt ena kanten

f2_2 = zeros(nel*3+3, 1);

f2_2(1) = Fw_tvvars;
f2_2(2) = g_racke; % Räckret antas som en punktlast längst ut (förenkling, ger värst fall)
f2_2(nel*3+3-1) = g_racke;

f2_2(15*3+2) = Q_sv_syll; % Placering av servicefordon (5 cm in från räckret)
f2_2(135*3+2) = Q_sv_syll;

K2 = zeros(nel*3+3, nel*3+3);

for i = 1:1:nel
    [Ke2, fe2] = beam2e(ex(i,:), ey, ep(i,:), eq2(i,:));
    [K2, f2_2] = assem(Edof(i,:), K2, Ke2, f2_2, fe2);
end

% Lös systemet
[a2_2, Q2_2] = solveq(K2, f2_2, bc);

ed2_2 = extract(Edof, a2_2);

n = 20;
es2_2 = zeros(nel*n, 3);

for i = 1:nel
    es2_2((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey, ep(i,:), ed2_2(i,:), eq2(i,:), n);
end

% Momentdiagram
figure(1)
% Moment lastfall 2.2
x = linspace(0, 5.2, i*n);
y1 = es2_2(1:nel*n, 3);
plot(x,-y1, 'g', 'Linewidth', 2)
hold on
title('Momentdiagram i tvärled')
xlabel('Bronsbredd i tvärled [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
legend('Brobanan', 'Utbredd trafiklast (Lastfall 1)', 'Servicefordon mitt över balk (Lastfall 2)', 'Ser

% Tvärkraft
figure(2)
% Tvärkraft lastfall 2.2
x = linspace(0, 5.2, i*n);
y1 = es2_2(1:nel*n, 2);
plot(x,-y1, 'g', 'Linewidth', 2)
hold on
title('Tvärkraftsdiagram i tvärled')
legend('Servicefordon placerad längst ut på kanten')
xlabel('Bronsbredd i tvärled [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')
legend('Brobanan', 'Utbredd trafiklast (Lastfall 1)', 'Servicefordon mitt över balk (Lastfall 2)', 'Ser

% Maximalt moment i syllarna då servicefordonet är placerat längst ut på sidan av farbanan [Nm]
maxM_punktlast_2 = max(abs(es2_2(:,3)))
% Maximal tvärkraft i syllarna då servicefordonet är placerat längst ut på sidan av farbanan [N]
maxV_punktlast_2 = max(abs(es2_2(:,2)))

%% Dimensionering

```

```

clc

% Kontroll av moment- och tvärkraftskapacitet

% Böjning
W_y_syll = b_syll*h_syll^2; % Böjmotstånd för syll [m3]
% Maximalt moment som uppkommer i syll [Nm]
M_max_syll = max([maxM_punktlast_2 maxM_punktlast_1 maxM_utbredd]);

sigma_myd_syll = M_max_syll/W_y_syll; % Dimensionerande böjspänning [Pa]

if sigma_myd_syll < f_md_syll
    Momentkapacitet = sprintf('OK! ');
else
    Momentkapacitet = sprintf('Överskrids ');
end

% Tvärkraft
% Maximal tvärkraft som uppkommer i syll [N]
V_max_syll = max([maxV_utbredd maxV_punktlast_1 maxV_punktlast_2]);

tau_d_syll = V_max_syll*1.5/Asyll; % Dimensionerande spänning p.g.a. tvärkraft [Pa]

if tau_d_syll < f_vd_syll
    Tvärkraftskapacitet = sprintf('OK! ');
else
    Tvärkraftskapacitet = sprintf('Överskrids ');
end

% Utnyttjandegrad för momentkapacitet hos syll
Utnyttjandegrad_syll_moment = sigma_myd_syll/f_md_syll
% Utnyttjandegrad för tvärkraftskapacitet hos syll
Utnyttjandegrad_syll_tvarkraft = tau_d_syll/f_vd_syll

%% Nedböjning syllar
clc

% Maximal nedböjning hos syll
w_max_syll = min([min(ed1(:,2)), min(ed2_2(:,2)), min(ed2_1(:,2))]);

if abs(w_max_syll)*1000 < c_balk/0.4 % Krav: max L/400 nedböjning
    Nedbojning = sprintf('OK! ');
else
    Nedbojning = sprintf('Överskrids ');
end

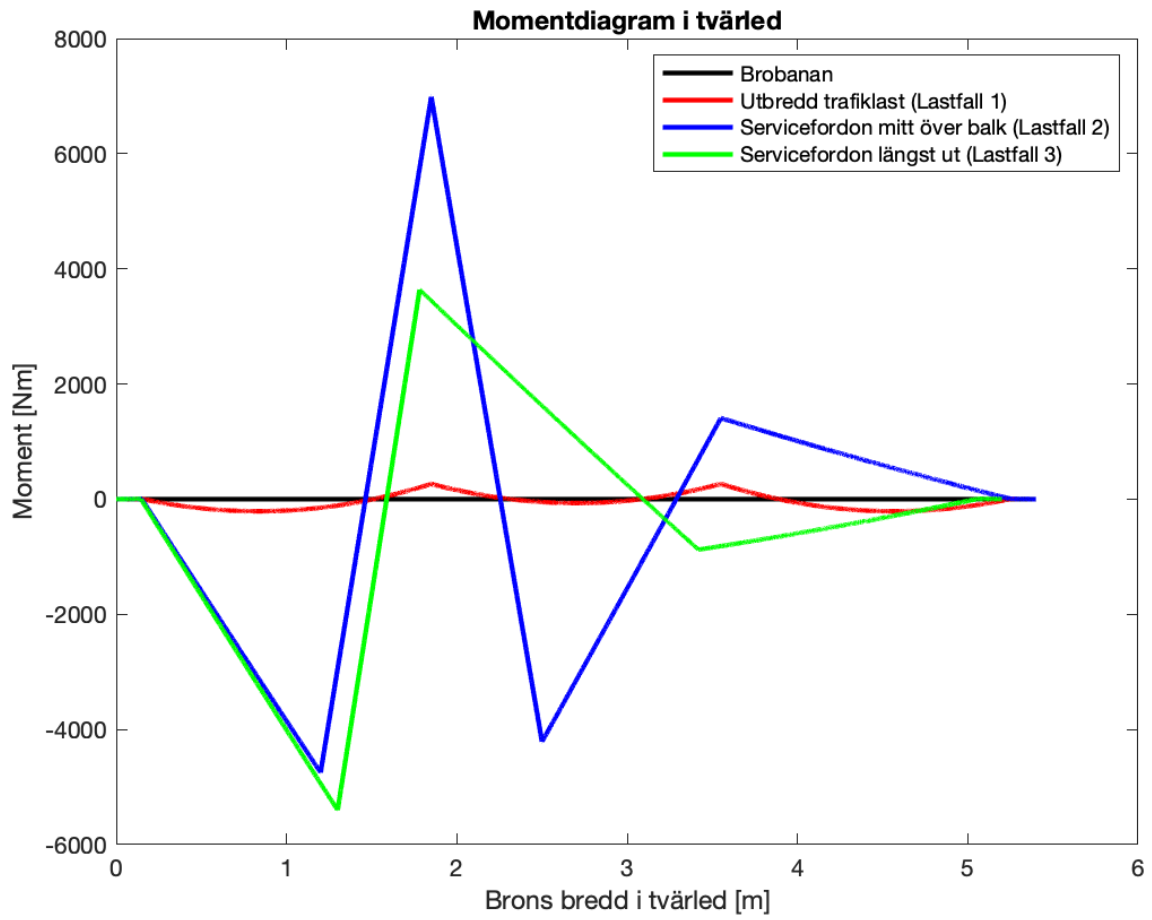
%% Längdutvidgning syll
clc

% Enligt SS_EN_1991_1_5

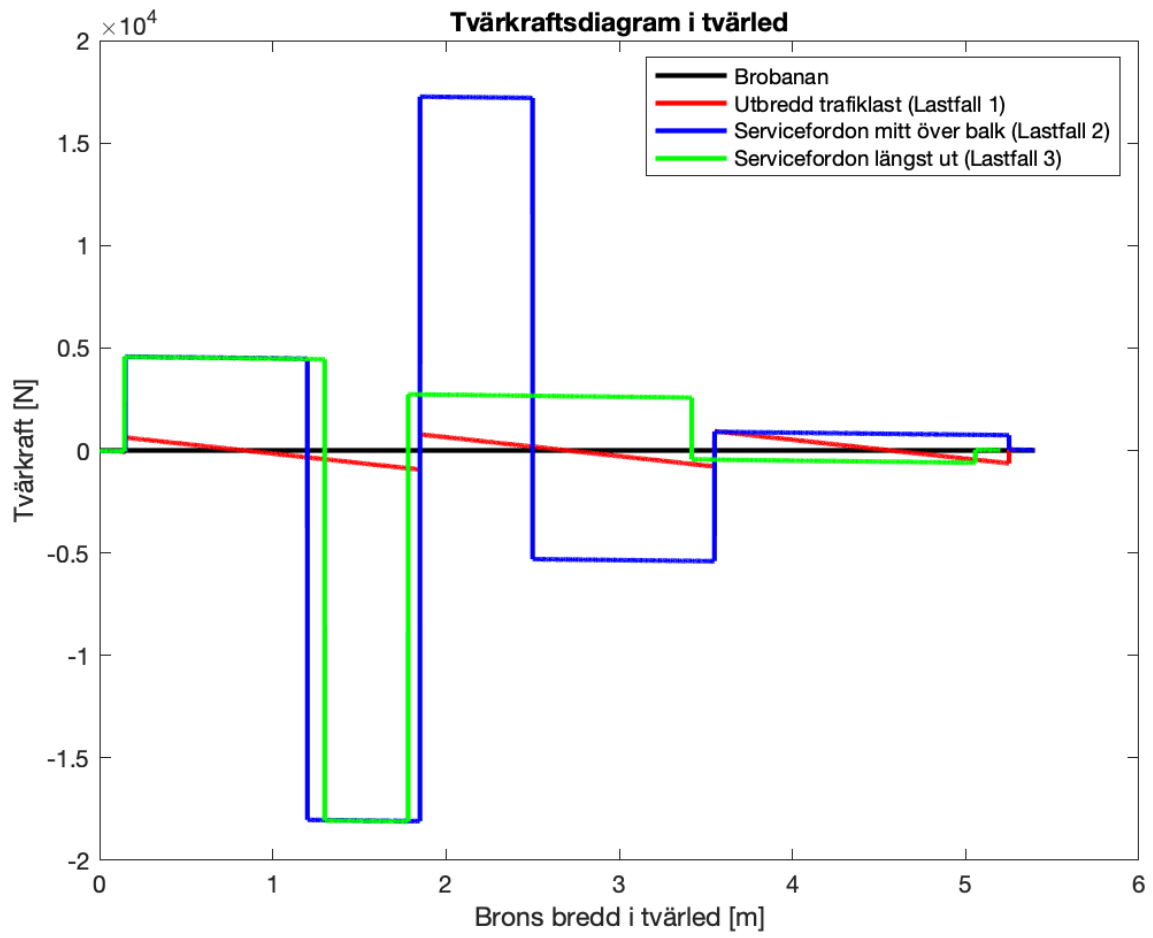
alpha_T = 5*10^-6; % Längdutvidgningskoefficient för trä [1/C]
T_max = 36; % Maximal lufttemperatur för Söderköping [C]
T_min = -32; % Lägsta lufttemperatur för Söderköping [C]
delta_T = T_max-T_min; % Skillnad mellan lägsta och högsta temperatur [C]

% Total längdutvidgning hos en syll längs fibrerna (d.v.s. tvärs brons färdriktning) [m]
delta_L_syll = alpha_T*L_syll*delta_T;

```



**Figur F.5:** Momentdiagram för syllarna i brons tvärriktning för de olika lastfallen



**Figur F.6:** Tvärkraftsdiagram för syllarna i brons tvärriktning för de olika lastfallen

## F.6 Beräkning av räcke

```
%% RÄCKE
% Lastfall i brottgränstillstånd

% Variabel last som verkar horisontellt på toppföljaren [N/m]
q_racke = 1000;

% Horisontell last per räckesstolpe [N]
Q_racke = c_racke*gamma_d*1.5*q_racke;

M_yd_racke = Q_racke*h_racke; % Dimensionerande böjmoment vid räckets infästning [Nm]
d0_stolpe = 0.018; % Diameter skruvhål för räckets infästning [m]
W_y_racke = (b_stolpe-d0_stolpe)*b_stolpe^2; % Böjmotstånd för räckesstolpe [m3]
sigma_myd_racke = M_yd_racke/W_y_racke; % Dimensionerande böjspänning vid räckets infästning [Pa]

f_myk_racke = 14*10^6; % Karaktäristisk hållfasthet för räckesstolpe, C14 [Pa]
f_myd_racke = 0.7*f_myk_racke/1.3; % Dimensionerande hållfasthet för räckesstolpe [Pa]

if sigma_myd_racke < f_myd_racke
    Moment_rackesstolpe = sprintf('OK! ')
else
    Moment_rackesstolpe = sprintf('Överskrids ')
end
```

## F.7 Beräkning av pelare

```

%% Pelare – Knäckning
clear all
clc

% Egenskaper pelare
bpelare=0.300; % [m]
hpelare=0.720; % [m]
Lpelare = sqrt(2*4^2); % [m]
Apelare = bpelare*hpelare; % [m^2]
Wxpelare=bpelare*hpelare^2/6; % [m^3]

fc0k=29e6; % [Pa]
fvk=3.8e6; % [Pa]
fmk=32e6; % [Pa]
Ym=1.25; % Partialkoefficient
kmod=0.70; % Omräkningsfaktor
E005=11.1e9; % [Pa]
Bc=0.1; % Faktor, T65
fc0d=fc0k*kmod/Ym; % T2-12
f_md=fmk*kmod/Ym; % T2-12
f_vd=fvk*kmod/Ym; % T2-12

ix=hpelare/sqrt(12); % T6-16, [m]
iy=bpelare/sqrt(12); % T6-15, [m]
Lc=0.7*Lpelare; % Knäcklängd, [m]
lambdax=Lc/ix; % Slankhetstal, [-]
lambday=Lc/iy; % Slankhetstal, [-]

lambda_relx=lambdax/pi*sqrt(fc0k/E005); % T6-11
lambda_rely=lambday/pi*sqrt(fc0k/E005); % T6-11

kx=0.5*(1+Bc*(lambda_relx-0.3)+lambda_relx^2); % T6-10
ky=0.5*(1+Bc*(lambda_rely-0.3)+lambda_rely^2); % T6-10

kcx=1/(kx+sqrt(kx^2-lambda_relx^2)); % T6-9
kcy=1/(ky+sqrt(ky^2-lambda_rely^2)); % T6-9

Ned=[2.2400e5 % Fyra olika lastfall,
      1.7445e5 % dimensionernade.
      1.5551e5
      2.5389e5];

Med=[0.6607e5
      1.0249e5
      3.4606e5
      3.5453e5];

Ved=[14.259e3
      20.698e3
      63.755e3
      65.254e3];

%Kontroll för knäckning i starka riktning
for i = 1:4
    sigma_c0d= Ned(i)/Apelare;
    sigma_myd= Med(i)/Wxpelare;
    if (sigma_c0d/(kcx*fc0d)+sigma_myd/f_md)> 1;
        disp('Ej OK knäckning ');
    else
        disp('OK knäckning ')
    end
end

%Kontroll för knäckning i veka riktningen
for i = 1:4
    sigma_c0d= Ned(i)/Apelare;
    if (sigma_c0d/(kcy*fc0d))> 1;

```

```

        disp('Ej_OK_knäckning')
    else
        disp('OK_knäckning')
    end
end

%Utnyttjandegrad Moment, Tvär, Normal
Utnyttjandegrad_moment1=Med(1)/(Wxpelare*f_md);           %T3-14
Utnyttjandegrad_moment2=Med(2)/(Wxpelare*f_md);
Utnyttjandegrad_moment3=Med(3)/(Wxpelare*f_md);
Utnyttjandegrad_moment4=Med(4)/(Wxpelare*f_md);

Utnjyttjandegrad_tvarkraft1=Ved(1)*3/(2*bpelare*0.67*hpelare)/f_vd; %T4-7
Utnjyttjandegrad_tvarkraft2=Ved(2)*3/(2*bpelare*0.67*hpelare)/f_vd;
Utnjyttjandegrad_tvarkraft3=Ved(3)*3/(2*bpelare*0.67*hpelare)/f_vd;
Utnjyttjandegrad_tvarkraft4=Ved(4)*3/(2*bpelare*0.67*hpelare)/f_vd;

Utnyttjandegrad_normal1=Ned(1)/(kcy*fc0d*Apelare);       %T6-23
Utnyttjandegrad_normal2=Ned(2)/(kcy*fc0d*Apelare);
Utnyttjandegrad_normal3=Ned(3)/(kcy*fc0d*Apelare);
Utnyttjandegrad_normal4=Ned(4)/(kcy*fc0d*Apelare);

```

## F.8 Beräkning av balk-pelare förband

```
%% Förband
clc
clear all

bbalk=0.30;           %tvärsnittet , [m]
hbalk=0.765;         %tvärsnittet , [m]
bpelare=bbalk;       %tvärsnittet , [m]
hpelare=0.720;       %tvärsnittet , [m]
Ym=1.30;             %Partialkoefficient , [-]

t=0.0010;           %tjocklek plåtslits , [m]
d=0.022;            %diameter dymling , [m]
l=bpelare;          %längd dymling , [m]

t1=(bbalk-2*t)/4;   %dymlingslängd i trä ytterkant , [m]
t2=2*t1;            %dymlingslängd i trä mitten , [m]

e1=hpelare*sqrt(2)/6; %avstånd kant till dymling i x-led , [m]
p1=e1;              %avsätnd mellan dymling i x-led , [m]
e2=hbalk/6;         %avstånd kant till dymling i z-led , [m]
p2=e2;              %avsätnd mellan dymling i z-led , [m]

if (3*d*sqrt(2)<=e1) %Kontrollerar att avstånden mellan dymlingshål
disp('OK_e1')      %samt kantavstånd
else
disp('Ej_OK_e1')
end

if (3*d<=e2)
disp('OK_e2')
else
disp('Ej_OK_e2')
end

if (3.5*d*sqrt(2)<=p1)
disp('OK_p1')
else
disp('Ej_OK_p1')
end

if (5*d<=p2)
disp('OK_p2')
else
disp('Ej_OK_p2')
end

dymling_koordinater= [e1+p1      e2
e1+2*p1    e2
e1+3*p1    e2
e1+4*p1    e2
e1+5*p1    e2
e1+2*p1    e2+p2
e1+3*p1    e2+p2
e1+4*p1    e2+p2
e1+5*p1    e2+p2
e1+6*p1    e2+p2
e1+3*p1    e2+2*p2
e1+4*p1    e2+2*p2
e1+5*p1    e2+2*p2
e1+6*p1    e2+2*p2
e1+7*p1    e2+2*p2
e1+4*p1    e2+3*p2
e1+5*p1    e2+3*p2
e1+6*p1    e2+3*p2
e1+7*p1    e2+3*p2
e1+8*p1    e2+3*p2
e1+5*p1    e2+4*p2]
```

```

        e1+6*p1      e2+4*p2
        e1+7*p1      e2+4*p2
        e1+8*p1      e2+4*p2
        e1+9*p1      e2+4*p2];

% Moment ligger i mitten av förbandet, i tyngdpunkt
M_koordinat=[hpelare*sqrt(2) hbalk/2];

Med=453.3e3;           %Dimensionerande moment
Ved=90.3e3;           %Dimensionerande tvärkraft
n=25;                 %Antal dymlingar
radie=M_koordinat-dymling_koordinater; %Radien för alla dymlingar till
                                %momentpunkten

r = zeros(n,1);
R = 0;
for i = 1:n           %Räkna ut radien från
    r(i,1)=sqrt(radie(i,1)^2+radie(i,2)^2);%momentpunkten till varje skruv.
    R = R+r(i)^2;
end

Fz = zeros(n,1);
for i= 1:n           %Räkna ut kraften i z-riktningen
    Fz(i,1)=-Med*radie(i,1)/R -Ved/n;      %vertikal.
end
Fx = zeros(n,1);
for i= 1:n           %Räkna ut kraften i x-riktningen
    Fx(i,1)=Med*radie(i,2)/R;             %horisontell
end

alpha= zeros(n,1);
for i= 1:n
    alpha(i,1)=atan(abs(Fz(i,1))/abs(Fx(i,1))); %Vinkel kraftresultant
end                                     %för alla dymlingar

Ftot=zeros(n,1);
for i= 1:n
    Ftot(i,1)= sqrt(Fx(i)^2+Fz(i)^2);
end

max(Ftot);                                     %[N]

%Visualisera dymlingförbandet
scalfac=1e5;

figure(1)
plot(dymling_koordinater(:,1), dymling_koordinater(:,2), 'mh', 'LineWidth', 4)
hold on
for i=1:length(dymling_koordinater(:,1))
    quiver(dymling_koordinater(i,1), dymling_koordinater(i,2), ...
        Fx(i)/scalfac, Fz(i)/scalfac, 'b')
    hold on
end
title('Dymlingsförband')
xlim([0.2 1.9]);
ylim([-0.8 1.4]);

%% Kontroll av brottmoder
fyk = 480e6;           %flythållfasthet dymling, [Pa]
l_dym = bbalk;        %längd dymling, [m]
ra = 430;              %GL32k, [kg/m^3]
kmod=0.7;              %Omräkningsfaktor

f_h0k = (0.082*(1-0.01*d)*ra)*10^6; % [Pa]
M_yRk = 0.3*fyk*d^(2.6); % [Nm]
k90 = 1.35+0.015*d;    %T8-48

for i = 1:n
    f_hak(i,1) = f_h0k/(k90*sin(alpha(i,1))^2+cos(alpha(i,1))^2);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär I

```

```

F_vRk_Ia(i,1) = f_hak(i,1)*t1*d;
F_vRk_Ib(i,1) = f_hak(i,1)*t1*d*sqrt((2+(4*M_yRk)/(f_hak(i,1)*d*t1^2))-1);
F_vRk_Ic(i,1) = 2.3*sqrt(M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_I(i,1) = min([F_vRk_Ia(i,1), F_vRk_Ib(i,1), F_vRk_Ic(i,1)]);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär II
F_vRk_Ia(i,1) = 0.5*f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_Ib(i,1) = 1.15*sqrt(2*M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_II(i,1) = min([F_vRk_Ia(i,1), F_vRk_Ib(i,1)]);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär III
F_vRk_IIIa(i,1) = f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_IIIb(i,1) = f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_IIIc(i,1) = 2.3*sqrt(M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_III(i,1) = min([F_vRk_IIIa(i,1), F_vRk_IIIb(i,1), F_vRk_IIIc(i,1)]);

F_vRk(i,1) = 2*(F_vRk_I(i,1)+min([F_vRk_II(i,1), F_vRk_III(i,1)]));
F_vRd(i,1) = kmod*F_vRk(i,1)/Ym;

if F_vRd(i,1) > Ftot(i,1)
    disp('OK_brottmoder')
else
    disp('Ej_OK_brottmoder')
end

end

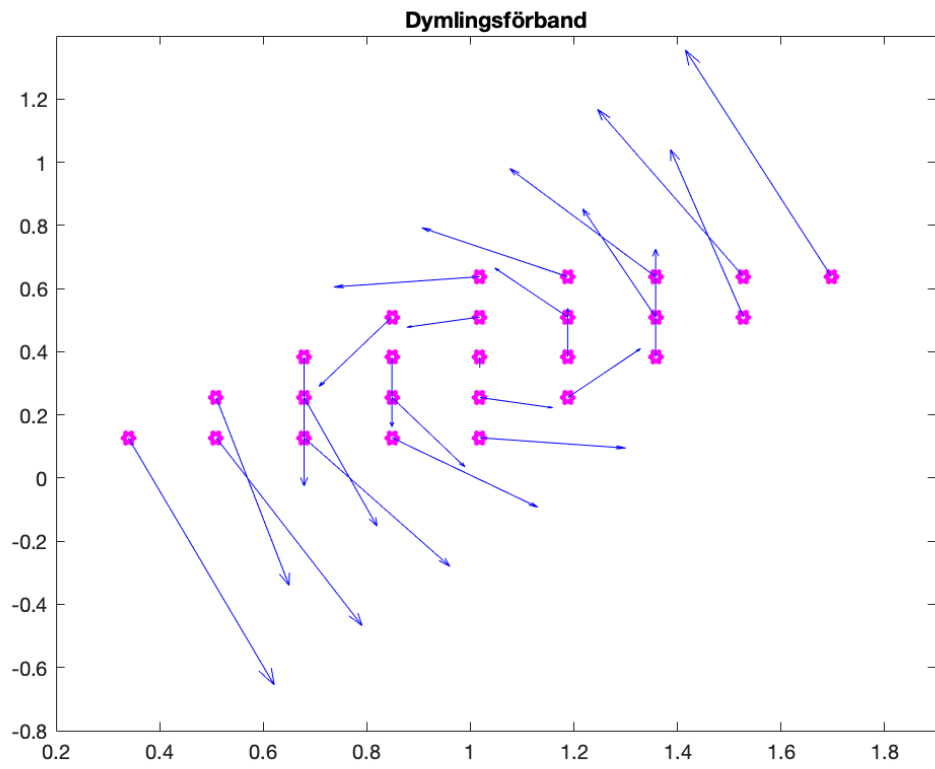
% Kontroll av limträtvärsnitt
kh=min(600/bpelare, 1.1);
Ym=1.25;
fc0k=29e6; % [Pa]
fmk=32e6; % [Pa]
fc0d=fc0k*kmod*kh/Ym; % T2-12
f_md=fmk*kmod/Ym; % T2-12

A=(2*t1+t2)*hpelare; % [m^2]
Wpelare_yttertra=t1*hpelare^2/6; % [m^3]
Wpelare_mitttra=t2*hpelare^2/6; % [m^3]

sigma_myd= Med/(Wpelare_yttertra*2+Wpelare_mitttra); % [Pa]
sigma_c0d= Ved/(sqrt(2)*A); % [Pa]

if ((sigma_c0d/fc0d)+sigma_myd/f_md)> 1;
    disp('Ej_OK_limträtvärsnitt')
else
    disp('OK_limträtvärsnitt')
end
end

```



**Figur F.7:** Dymlingsförband mellan pelare-balk och resulterande krafter från varje dymling

## F.9 Beräkning av laster i skarv-position

```
%%%%%%%%%% CALFEM MODELL FÖR BALK-PELARE PARET I MITTEN AV BRON %%%%%%%%%%%
clc
clf

% Egenskaper balk
E = 11.1e9; % Balkens E-modul [Pa]
bbalk = 0.3; % Balkens bredd [m]
hbalk = 0.765; % Balkens höjd [m]
Ibalk = bbalk*hbalk^3/12; % Balkens tröghetsmoment [m^4]
Abalk = bbalk*hbalk; % Balkens tvärsnittsarea [m^2]

% Egenskaper pelare
bpelare = bbalk; % Pelarens bredd [m]
hpelare = 0.72; % Pelarens höjd [m]
Ipelare = bpelare*hpelare^3/12; % Pelarens tröghetsmoment [m^4]
Apelare = bpelare*hpelare; % Pelarens tvärsnittsarea [m^2]
Lpelare = sqrt(32); % Pelarens längd [m]
ra = 430; % Pelarens densitet (GL32k) [kg/m^3]

G_pelare = Apelare*ra*9.82; % Pelarens egentynngd [N/m^2]

nel = 52; % Antal element

ex = zeros(nel,2);
for i = 1:nel
    ex(i,:) = [i-1 i];
end
ex(nel-1,:) = [16 12];
ex(nel,:) = [34 38];

ey = zeros(nel,2);
ey(nel-1,:) = [0 -4];
ey(nel,:) = [0 -4];

% Topologimatrix
edof = zeros(nel,7);

for i = 1:nel
    edof(i,1) = i;
end
j=3;
for i = 1:nel
    j = j-3;
    for k = 2:7
        j = j+1;
        edof(i,k) = j;
    end
end

edof(nel-1,:) = [nel-1 16*3+1 16*3+2 16*3+3 nel*3-2 nel*3-1 nel*3];
edof(nel,:) = [nel 34*3+1 34*3+2 34*3+3 nel*3+1 nel*3+2 nel*3+3];

ndof = nel*3+3;

% Upplagsvillkor
bc = [2 0
      152 0
      154 0
      155 0
      157 0
      158 0];

ep = zeros(nel,3);
for i = 1:50
    ep(i,:) = [E Abalk Ibalk];
end
```

```

for i = nel-1:nel
    ep(i,:) = [E Apelare Ipelare];
end

% Lastfall 1, Utrebddd last på hela farbanan
eq1 = zeros(nel,2);
for i = 1:16 % Last i ytterfack
    eq1(i,:) = [0 Last1_vertikal];
end
for i = 17:33 % Last i mittfack
    eq1(i,:) = [0 Last1_vertikal];
end
for i = 34:50 % Last i ytterfack
    eq1(i,:) = [0 Last1_vertikal];
end
for i = 51:52 % Last i pelare
    eq1(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);

for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq1(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, r] = solveq(K, f, bc);
ed = extract(edof, a);
n = 100;
es1 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es1((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed(i,:), eq1(i,:), n);
end

% Momentdiagram
figure(1)
% Plottar bron
l = linspace(0,50);
y3 = linspace(0,0);
plot(l, y3, 'k', 'Linewidth', 2)
hold on
% Moment lastfall 1
x = linspace(0,50, i*n-2*n);
y1 = abs(es1(1:nel*n-2*n,3));
plot(x, y1, 'r', 'Linewidth', 2)
hold on

figure(2)
% Plottar bron
y3 = linspace(0,0);
plot(l, y3, 'k', 'Linewidth', 2)
hold on
% Tvärkraft lastfall 1
x = linspace(0,50, i*n-2*n);
y1 = abs(es1(1:nel*n-2*n,2));
plot(x, y1, 'r', 'Linewidth', 2)
hold on

% Lastfall 2, utbredd last i mittspann
eq2 = zeros(nel,2);
for i = 1:16 % Last i ytterfack
    eq2(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 17:33 % Last i mittfack
    eq2(i,:) = [0 Last1_vertikal];
end
for i = 34:50 % Last i ytterfack

```

```

    eq2(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 51:52                                % Last i pelare
    eq2(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);

for i = 1:1:nel
    [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq2(i,:));
    [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, r] = solveq(K, f, bc);
ed = extract(edof, a);
n = 100;
es2 = zeros(i*n, 3);

for i = 1:nel
    es2((i-1)*n+1:n*i, :) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed(i,:), ...
        eq2(i,:), n);
end

% Moment lastfall 2
figure(1)
x = linspace(0, 50, i*n-2*n);
y1 = abs(es2(1:nel*n-2*n, 3));
plot(x, y1, 'b', 'Linewidth', 1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 2
figure(2)
x = linspace(0, 50, i*n-2*n);
y1 = abs(es2(1:nel*n-2*n, 2));
plot(x, y1, 'b', 'Linewidth', 1.5)
hold on

% Lastfall 3, servicefordon (värsta fallet för moment)
eq3 = zeros(nel, 2);
for i = 1:50                                % Last i brobanan
    eq3(i,:) = [0 -G_k/3];
end
for i = 51:52                                % Last i pelare
    eq3(i,:) = [0 -G_pelare];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor definieras
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof, 1);
for R = 10:20
    % Den vänstra lastens placering
    % För värsta lastfall antas mittenbalken bära hela servicefordonets axellast
    % utan hjälp från de andra balkarna.
    f(R*3-1, 1) = -2*Q_sv1;
    f((R+3)*3-1, 1) = -2*Q_sv2;
    for i = 1:1:nel
        [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), eq3(i,:));
        [K, f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
    end

    [a, r] = solveq(K, f, bc);
    ed = extract(edof, a);
    n = 100;
    es3 = zeros(i*n, 3);

    for i = 1:nel
        es3((i-1)*n+1:n*i, :) = beam2s(ex(i,:), ey(i,:), ep(i,:), ed(i,:), eq3(i,:), n);

```

```

end

% Moment lastfall 3
figure(1)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,3));
plot(x,y1,'g','linewidth',1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 3
figure(2)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,2));
plot(x,y1,'g','Linewidth',1.5)
hold on
end
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
for R = 20:30
    % Den vänstra lastens placering
    % För värsta lastfall antas mittenbalken bära hela servicefordonets axellast
    %utan hjälp från de andra balkarna.
    f(R*3-1,1) = -2*Q_sv1;
    f((R+3)*3-1,1) = -2*Q_sv2;
    for i = 1:1:nel
        [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep(i,:),eq3(i,:));
        [K, f] = assem(edof(i,:),K,Ke,f,fe);
    end

[a, r] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(edof,a);
n = 100;
es3 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es3((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep(i,:),ed(i,:),eq3(i,:),n));
end

% Moment lastfall 3
figure(1)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,3));
plot(x,y1,'g','linewidth',1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 3
figure(2)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,2));
plot(x,y1,'g','Linewidth',1.5)
hold on
end
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
for R = 30:40
    % Den vänstra lastens placering
    % För värsta lastfall antas mittenbalken bära hela servicefordonets axellast
    %utan hjälp från de andra balkarna.
    f(R*3-1,1) = -2*Q_sv1;
    f((R+3)*3-1,1) = -2*Q_sv2;
    for i = 1:1:nel
        [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep(i,:),eq3(i,:));
        [K, f] = assem(edof(i,:),K,Ke,f,fe);
    end

[a, r] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(edof,a);
n = 100;

```

```

es3 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es3((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep(i,:),ed(i,:),eq3(i,:),n);
end

% Moment lastfall 3
figure(1)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,3));
plot(x,y1,'g','linewidth',1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 3
figure(2)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,2));
plot(x,y1,'g','Linewidth',1.5)
hold on
end
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof,1);
for R = 40:50
    % Den vänstra lastens placering
    % För värsta lastfall antas mittenbalken bära hela servicefordonets axellast
    % utan hjälp från de andra balkarna.
    f(R*3-1,1) = -2*Q_sv1;
    f((R+3)*3-1,1) = -2*Q_sv2;
    for i = 1:1:nel
        [Ke, fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep(i,:),eq3(i,:));
        [K, f] = assem(edof(i,:),K,Ke,f,fe);
    end
end

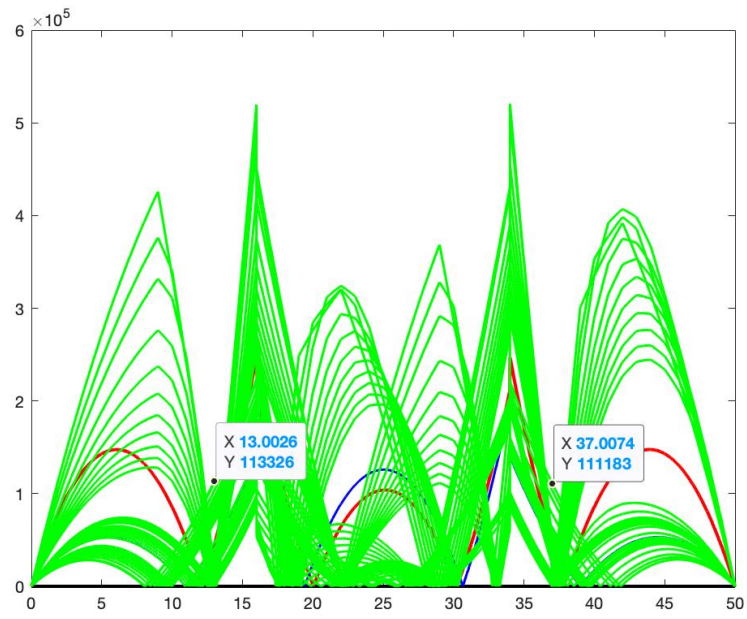
[a, r] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(edof,a);
n = 100;
es3 = zeros(i*n,3);

for i = 1:nel
    es3((i-1)*n+1:n*i,:) = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep(i,:),ed(i,:),eq3(i,:),n);
end

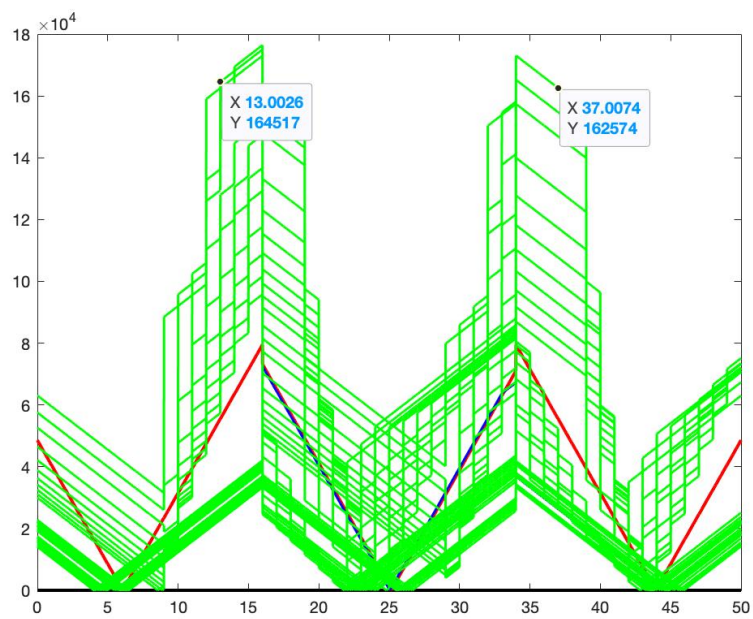
% Moment lastfall 3
figure(1)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,3));
plot(x,y1,'g','linewidth',1.5)
hold on

% Tvärkraft lastfall 3
figure(2)
x = linspace(0,50,i*n-2*n);
y1 = abs(es3(1:nel*n-2*n,2));
plot(x,y1,'g','Linewidth',1.5)
hold on
end

```



Figur F.8: Moment för skarvar



Figur F.9: Tvärkrafter för skarvar

## F.10 Beräkning av skarvförband 1

```
clc
clear all

% Indata
Med = 103.3e3;           % Moment i skarv 2 vid x = 13m
Ved = 164.6e3;          % Tvärkraft i skarv 2 vid x = 13m
bbalk=0.30;             % Balkens bredd [m]
hbalk=0.765;           % Balkens höjd [m]
bpelare = bbalk;       % Pelarens bredd [m]
hpelare = 0.72;        % Pelarens höjd [m]
d = 0.018;             % Dymlingens diameter [m]
fyk = 480e6;           % Flythållfasthet dymling [Pa]
fuk = 600e6;           % Brothållfasthet dymling [Pa]
l_dym = bbalk;        % Dymlingens längd [m]
ra = 430;              % Densitet limträ GL32k [kg/m^3]
k90 = 1.30+0.015*d;   % Faktor som beror på trätyp [-]
t = 0.006;            % Plåtens tjocklek [m]
t1 = (bbalk-2*t)/4;   % Tjocklek mellan ytterkant och plåt [m]
t2 = t1*2;            % Tjocklek mellan plåtar [m]
kmod = 0.7;           % Omräkningsfaktor [-]
gamma_M = 1.3;        % Partialkoefficient (förband)
e1 = 7*d;             % Yttermått till dymling längs balken [m]
p1 = e1;              % Mått mellan dymlingar längs balken [m]
e2 = hbalk/4;         % Yttermått till dymling höjdlid [m]
p2 = e2;              % Mått mellan dymlingar höjdlid [m]

% Krav enligt träguiden
if (7*d<=e1)
    disp('e1_godkänd')
else
    disp('e1_ej_godkänd')
end
if (3*d<=e2)
    disp('e2_godkänd')
else
    disp('e2_ej_godkänd')
end
if (5*d<=p1)
    disp('p1_godkänd')
else
    disp('p1_ej_godkänd')
end
if (3*d<=p2)
    disp('p2_godkänd')
else
    message1 = sprintf('p2_ej_godkänd')
end

dymling_koor=[e1      e2
              e1+p1   e2
              e1+2*p1 e2
              e1      e2+p2
              e1+p1   e2+p2
              e1+2*p1 e2+p2
              e1      e2+2*p2
              e1+p1   e2+2*p2
              e1+2*p1 e2+2*p2];

M_koor = [2*e1+2*p1 hbalk/2]; % Momentcentrum, i skarvsnittet
n = 9; % Antal dymlingar
% Avstånd mellan dymling och momentcentrum i x- resp. y-led
radie=M_koor-dymling_koor;
r = zeros(n,1);
R = 0;
for i = 1:n
    r(i,1)=sqrt(radie(i,1)^2+radie(i,2)^2);
    R = R+r(i)^2;
end
```

```

end

Fz = zeros(n,1);
for i= 1:n
    Fz(i,1)=Med*radie(i,1)/R +Ved/n; % Skjuvkraft i z-led, dvs vertikalt.
end

Fx = zeros(n,1);
for i= 1:n
    Fx(i,1)=Med*radie(i,2)/R; % Skjuvkraft i x-led, dvs horisontellt
end

Ftot=zeros(n,1);
for i= 1:n
    Ftot(i,1)= sqrt(Fx(i)^2+Fz(i)^2);
end
% Vinkel kraftresultantet från dymlingar
alpha= zeros(n,1);
for i= 1:n
    alpha(i,1)=atan(abs(Fz(i,1))/abs(Fx(i,1)));
end
% Vinkel kraftresultantet från dymlingar
alpha= zeros(n,1);
for i= 1:n
    alpha(i,1)=atan(abs(Fz(i,1))/abs(Fx(i,1)));
end

f_h0k = (0.082*(1-0.01*d)*ra)*10^6; % Karaktäristisk bäddhållfasthet i trä
M_yRk = 0.3*fuk*d^(2.6); % karaktäristiskt flytmoment

f_hak = zeros(n,1);
for i = 1:n
    % Bäddhållfasthet beroende på vinkel mot fibrerna
    f_hak(i,1) = f_h0k/(k90*sin(alpha(i,1))^2+cos(alpha(i,1))^2);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär I
F_vRk_Ia(i,1) = f_hak(i,1)*t1*d;
F_vRk_Ib(i,1) = f_hak(i,1)*t1*d*sqrt((2+(4*M_yRk)/(f_hak(i,1)*d*t1^2))-1);
F_vRk_Ic(i,1) = 2.3*sqrt(M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_I(i,1) = min([F_vRk_Ia(i,1), F_vRk_Ib(i,1), F_vRk_Ic(i,1)]);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär II
F_vRk_Ia(i,1) = 0.5*f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_Ib(i,1) = 1.15*sqrt(2*M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_II(i,1) = min([F_vRk_Ia(i,1), F_vRk_Ib(i,1)]);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär III
F_vRk_IIIa(i,1) = f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_IIIb(i,1) = f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_IIIc(i,1) = 2.3*sqrt(M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_III(i,1) = min([F_vRk_IIIa(i,1), F_vRk_IIIb(i,1), F_vRk_IIIc(i,1)]);

% Total karaktäristisk bärförmåga för hela tvärsnittet
F_vRk(i,1) = 2*(F_vRk_I(i,1)+min([F_vRk_II(i,1), F_vRk_III(i,1)]));
% Total dimensionerande bärförmåga för hela tvärsnittet
F_vRd(i,1) = kmod*F_vRk(i,1)/gamma_M;
if F_vRd(i,1) > Ftot(i,1)
    disp('OK')
else
    disp('inte OK')
end
end

%% Kontroll av limträtvärsnitt
A=(2*t1+t2)*hbalk; % Tvärsnittets area [m^2]
I_y=t1*hbalk^3/12; % Tröghetsmoment ytterstrimlan [m^4]
I_m=t2*hbalk^3/12; % Tröghetsmoment mittstrimlan [m^4]

sigma_t=Med/(I_y*2+I_m)*hbalk/2+Ved/A; % Spänning ytter [Pa]
sigma_t_mitt=(Med/2)/(I_m)*hbalk/2+(Ved/2)/(t2*hbalk); % Spänning mitt [Pa]

```

```
kh=min(600/bbalk, 1.1);           % Höjdefeffektfaktor [-]
ftk=19.5e6;                        % Karakteristisk hållf, dragning // [Pa]
ftd=ftk*kmod*kh/gamma_M;          % Dimensionerande hållf [Pa]

if ftd > sigma_t_mitt
    disp('Ok□limträtvärsnitt')
else
    disp('ej□Ok□limträtvärsnitt')
end
```

## F.11 Beräkning av skarvförband 2

```
clc
clear all

% Indata
Med = 92.0e3;           % Moment i skarv 1 vid x = 37m
Ved = 163.3e3;         % Tvärkraft i skarv 1 vid x = 37m
bbalk=0.30;           % Balkens bredd [m]
hbalk=0.765;          % Balkens höjd [m]
bpelare = bbalk;      % Pelarens bredd [m]
hpelare = 0.72;       % Pelarens höjd [m]
d = 0.016;            % Dymlingens diameter [m]
fyk = 480e6;          % Flythållfasthet dymling [Pa]
fuk = 600e6;          % Brothållfasthet dymling [Pa]
l_dym = bbalk;        % Dymlingens längd [m]
ra = 430;              % Densitet limträ GL32k [kg/m^3]
k90 = 1.30+0.015*d;   % Faktor som beror på trätyp [-]
t = 0.006;            % Plåtens tjocklek [m]
t1 = (bbalk-2*t)/4;   % Tjocklek mellan ytterkant och plåt [m]
t2 = t1*2;            % Tjocklek mellan plåtar [m]
kmod = 0.7;           % Omräkningsfaktor [-]
gamma_M = 1.3;        % Partialkoefficient (förband)
e1 = 7*d;              % Yttermått till dymling längs balken [m]
p1 = e1;              % Mått mellan dymlingar längs balken [m]
e2 = hbalk/4;         % Yttermått till dymling höjdlid [m]
p2 = e2;              % Mått mellan dymlingar höjdlid [m]

% Krav enligt träguiden
if (7*d<=e1)
    disp('e1 godkänd')
else
    disp('e1 ej godkänd')
end
if (3*d<=e2)
    disp('e2 godkänd')
else
    disp('e2 ej godkänd')
end
if (5*d<=p1)
    disp('p1 godkänd')
else
    disp('p1 ej godkänd')
end
if (3*d<=p2)
    disp('p2 godkänd')
else
    message1 = sprintf('p2 ej godkänd')
end

dymling_koor=[e1      e2
               e1+p1  e2
               e1+2*p1 e2
               e1      e2+p2
               e1+p1  e2+p2
               e1+2*p1 e2+p2
               e1      e2+2*p2
               e1+p1  e2+2*p2
               e1+2*p1 e2+2*p2];

M_koor = [2*e1+2*p1 hbalk/2]; % Momentcentrum, i skarvsnittet
n = 9; % Antal dymlingar
% Avstånd mellan dymling och momentcentrum i x- resp. y-led
radie=M_koor-dymling_koor;
r = zeros(n,1);
R = 0;
for i = 1:n
    r(i,1)=sqrt(radie(i,1)^2+radie(i,2)^2);
    R = R+r(i)^2;
end
```

```

end

Fz = zeros(n,1);
for i= 1:n
    Fz(i,1)=Med*radie(i,1)/R +Ved/n; % Skjuvkraft i z-led (vertikalt)
end

Fx = zeros(n,1);
for i= 1:n
    Fx(i,1)=Med*radie(i,2)/R;          % Skjuvkraft i x-led (horisontellt)
end

Ftot=zeros(n,1);
for i= 1:n
    Ftot(i,1)= sqrt(Fx(i)^2+Fz(i)^2);
end
% Vinkel kraftresultantet från dymlingar
alpha= zeros(n,1);
for i= 1:n
    alpha(i,1)=atan(abs(Fz(i,1))/abs(Fx(i,1)));
end
% Vinkel kraftresultantet från dymlingar
alpha= zeros(n,1);
for i= 1:n
    alpha(i,1)=atan(abs(Fz(i,1))/abs(Fx(i,1)));
end

f_h0k = (0.082*(1-0.01*d)*ra)*10^6; % Karaktäristisk bäddhållfasthet i trä
M_yRk = 0.3*fuk*d^(2.6);           % karaktäristiskt flytmoment

f_hak = zeros(n,1);
for i = 1:n
    % Bäddhållfasthet beroende på vinkel mot fibrerna
    f_hak(i,1) = f_h0k/(k90*sin(alpha(i,1))^2+cos(alpha(i,1))^2);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär I
F_vRk_Ia(i,1) = f_hak(i,1)*t1*d;
F_vRk_Ib(i,1) = f_hak(i,1)*t1*d*sqrt((2+(4*M_yRk)/(f_hak(i,1)*d*t1^2))-1);
F_vRk_Ic(i,1) = 2.3*sqrt(M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_I(i,1) = min([F_vRk_Ia(i,1), F_vRk_Ib(i,1), F_vRk_Ic(i,1)]);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär II
F_vRk_Ia(i,1) = 0.5*f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_Ib(i,1) = 1.15*sqrt(2*M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_II(i,1) = min([F_vRk_Ia(i,1),F_vRk_Ib(i,1)]);

% Karaktäristisk bärförmåga för skär III
F_vRk_IIIa(i,1) = f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_IIIb(i,1) = f_hak(i,1)*t2*d;
F_vRk_IIIc(i,1) = 2.3*sqrt(M_yRk*f_hak(i,1)*d);
F_vRk_III(i,1) = min([F_vRk_IIIa(i,1), F_vRk_IIIb(i,1), F_vRk_IIIc(i,1)]);

% Total karaktäristisk bärförmåga för hela tvärsnittet
F_vRk(i,1) = 2*(F_vRk_I(i,1)+min([F_vRk_II(i,1), F_vRk_III(i,1)]));
% Total dimensionerande bärförmåga för hela tvärsnittet
F_vRd(i,1) = kmod*F_vRk(i,1)/gamma_M;
if F_vRd(i,1) > Ftot(i,1)
    disp('OK')
else
    disp('inte_OK')
end
end

%% Kontroll av limträtvärsnitt
A=(2*t1+t2)*hbalk;          % Tvärsnittets area [m^2]
I_y=t1*hbalk^3/12;         % Tröghetsmoment ytterstrimlan [m^4]
I_m=t2*hbalk^3/12;         % Tröghetsmoment mittstrimlan [m^4]

sigma_t=Med/(I_y*2+I_m)*hbalk/2+Ved/A;          % Spänning ytter [Pa]
sigma_t_mitt=(Med/2)/(I_m)*hbalk/2+(Ved/2)/(t2*hbalk);% Spänning mitt [Pa]

```

```
kh=min(600/bbalk, 1.1);           % Höjdefeffektfaktor [-]
ftk=19.5e6;                        % Karakteristisk hållf, dragning // [Pa]
ftd=ftk*kmod*kh/gamma_M;          % Dimensionerande hållf [Pa]

if ftd > sigma_t_mitt
    disp('Ok_limträtvärnsnitt')
else
    disp('inte Ok_limträtvärnsnitt')
end
```

## F.12 Beräkning av ledad infästning av pelare

```

%% Ledad infästning vid botten av pelare
clc

% Stålplattor vid led
f_yk = 355*10^6;           % Stålkvalite S355 [Pa]
f_u  = 510*10^6;           % [Pa]
% Tjockleken för varje "finger" i leden [m] (undre stålplattan, 3 st fingrar)
t1 = 0.045;
% Tjockleken för varje "finger" i leden [m] (övre stålplattan, 2 st fingrar)
t2 = 0.055;
t = min([3*t1 2*t2]);     % Minsta tjocklek på stålplatta [m]

% Skruv
f_ub = 800*10^6;           % Skruvqualite 8.8 [Pa]
f_yb = 640*10^6;           % [Pa]

d = 0.092;                 % Diameter för skruvstorlek M92 [m]
d0 = d+0.003;              % Håldiameter [m]
A = pi*d^2/4;              % Stamarea [m2]

gamma_M2 = 1.25;

e1_min = 1.2*d0;           % Minsta avstånd mellan skruv och plåtkant [m] (S8.2.6)
e1_max = 0.4+4*t;         % Maximalt avstånd mellan skruv och plåtkant [m]
e1 = 0.2;                  % Avstånd mellan skruv och plåtkant [m]
e2 = e1;                   % Avstånd mellan skruv och plåtkant (andra ledden) [m]

% Bärförmåga

% Skjuvbrott i skruven
alpha_v = 0.6;
n_skar = 4;                 % Antal skär i leden

F_v_Rd = alpha_v*f_ub*A*n_skar/gamma_M2; % Skjuvkapacitet skruven [N] (S8-20)

% Hålkantbrott i plåten
alpha_d = e1/(3*d0);
alpha_b = min([alpha_d, f_ub/f_u, 1]); % (S8-22)
k1 = min([2.8*e2/d0-1.7 2.5]);

F_b_Rd = k1*alpha_b*f_u*d*t/gamma_M2; % Kapacitet mot hålkantbrott i plåten [N] (S8-21)

% Skjuvspänningar
N = 253.89*10^3;           % Normalkraft per pelare [N]

tau_led = N/(pi*d^2/4)/4; % Skjuvspänningar som uppstår [Pa] (S8-3)

% Hålkantstryck
sigma_h = N/(d*t)/4;       % Hålkanttryck som uppstår [Pa] (S8-4)

% Kontroll
if F_v_Rd < tau_led && F_b_Rd < sigma_h
    message = sprintf('Går sönder i både skjuv och hålkant')
elseif F_v_Rd < tau_led
    message = sprintf('Går sönder i skjuvning')
elseif F_b_Rd < sigma_h
    message = sprintf('Går sönder i hålkantsbrott')
else
    message = sprintf('Leden håller!')
end

% Utnyttjandegrad
% Utnyttjandegrad för skruvens skjuvkapacitet
Utnyttjandegrad_skjuvning = tau_led/F_v_Rd
% Utnyttjandegrad för plåtens kapacitet mot hålkantsbrott
Utnyttjandegrad_halkantbrott = sigma_h/F_b_Rd

```

## F.13 Kontroll av stämpeleffekt

```
% Stämpeltryckseffekt
clc
clear all

Kc90=1.75;           % Limträ, diskret upplag
b=0.3;              % Bredd balk
Kmod=0.7;           % Klimatklass 3
ym=1.3;
fc90k=3.3*10.^6;    % Karaktäristiska hållf tryck vinkelrätt fibrerna GL32k
l=0.09;             % "bredd" på upplag [m]
R=111.8e3;          % Upplagskraft

lef=l+0.03;         % Effektiva längden
fc90d=Kmod*(fc90k/ym); % Dimensionerande hållfasthet trä tryck vinkelrätt fibrerna
Aef=b*lef;          % Effektiva arean upplag

NRd=Kc90*fc90k*Aef

sigmac90d=R/Aef
Kc90*fc90d

if sigmac90d < Kc90*fc90d
message1=sprintf('godkänt ')
else
message1=sprintf('ej godkänt ')
end
```

## F.14 Beräkning av tryck från fundament

```
%% Bergtyp antas vara av klass 1
% Innebär dimensionerande grundtryck 3 MPa
clc
clear all

% Egenskaper snedstag
N=254000;           % Kraft från stöd i Normalkraft [N]
V=63800;           % Kraft från stöd i Vertikalkraft [N]
a=pi/4;            % Vinkel snedstag, radianer

Sh=cos(a)*N+sin(a)*V; % Horisontal kraft [m]
Sv=sin(a)*N;        % Vertikal kraft [m]

% Fundamentets egenskaper
A=0.28;            % Tvärsnittarea [m^2] (från CAD modell)
D=0.350;          % Djup [m]
V=A*D;            % Volym [m^3]
d=2500;           % Densitet armerad betong [kg/m^3]
g=9.81;           % Tyngdacceleration [m/s^2]

Av=0.19;          % Vertikalbäryta [m^2] (från CAD modell)
Ah=0.19;          % Horisontellbäryta [m^2] (från CAD modell)

F=V*d*g;          % Tyngdkraft [N]

Pv=(F+Sv)/Av      % Vertikaltryck [Pa]
Ph=Sh/Ah          % Horisontaltryck [Pa]
```

## F.15 Beräkning av egenfrekvens

```
% Egenfrekvenser
clc

L_mittfack = 18; % Längsta spannet på bron, mittfacket [m]
I_vertikal_balk = bbalk*hbalk^3/12; % Balkens yttröghetsmoment i vertikal riktning
I_horisontell_balk = hbalk*bbalk^3/12; % Balkens yttröghetsmoment i horisontell riktning

m = mbro/(L_bro); % Brons massa per längdenhet [kg/m]

% Vertikal egenfrekvens [Hz] (SS-EN 1995-1-1)
f_vertikal = pi/(2*L_mittfack)*sqrt(E_0_mean_balk*I_vertikal_balk/m);
% Horisontell egenfrekvens [Hz] (SS-EN 1995-1-1)
f_horisontell = pi/(2*L_mittfack)*sqrt(E_0_mean_balk*I_horisontell_balk/m);

% Kontroll
% Kontroll av egenfrekvens i vertikalled (SS-EN 1990)
if f_vertikal > 5
    message = sprintf('Egenfrekvens i vertikalled OK!');
else
    message = sprintf('Egenfrekvens i vertikalled för låg');
end

% Kontroll av egenfrekvens i horisontalled (SS-EN 1990)
if f_horisontell > 2.5
    message = sprintf('Egenfrekvens i horisontalled OK!');
else
    message = sprintf('Egenfrekvens i horisontalled för låg');
end
```

## F.16 Kontroll för vippning

```
%% Vippning
clc

% Balk
% Kritiskt vippningsmoment [Pa] (T3-28)
sigma_m_crit_balk = 0.78*0.3^2*E_0_mean_balk/(hbalk*0.9*L_mittfack);
lambda_rel_m_balk = sqrt(f_myk_balk/sigma_m_crit_balk); % Slankhetsparameter (T3-27)

% Ingen risk för vippning om lambda_rel_m_balk < 0.75 (T3-29)
if lambda_rel_m_balk < 0.75
    k_crit_balk = 1;
    message = sprintf('Balk_riskerar_ej_vippning!')
else
    message = sprintf('Balk_riskerar_vippning ,beräkna_k_crit!')
end

% Syll
% Kritiskt vippningsmoment [Pa] (T3-28)
sigma_m_crit_syll = 0.78*bsyll^2*E_0_mean_syll/(hsyll*0.9*Lsyll);
lambda_rel_m_syll = sqrt(f_mk_syll/sigma_m_crit_syll); % Slankhetsparameter (T3-27)

% Ingen risk för vippning om lambda_rel_m_balk < 0.75 (T3-29)
if lambda_rel_m_syll < 0.75
    k_crit_syll = 1;
    message = sprintf('Syll_riskerar_ej_vippning!')
else
    message = sprintf('Syll_riskerar_vippning ,beräkna_k_crit!')
end
```



**CHALMERS**