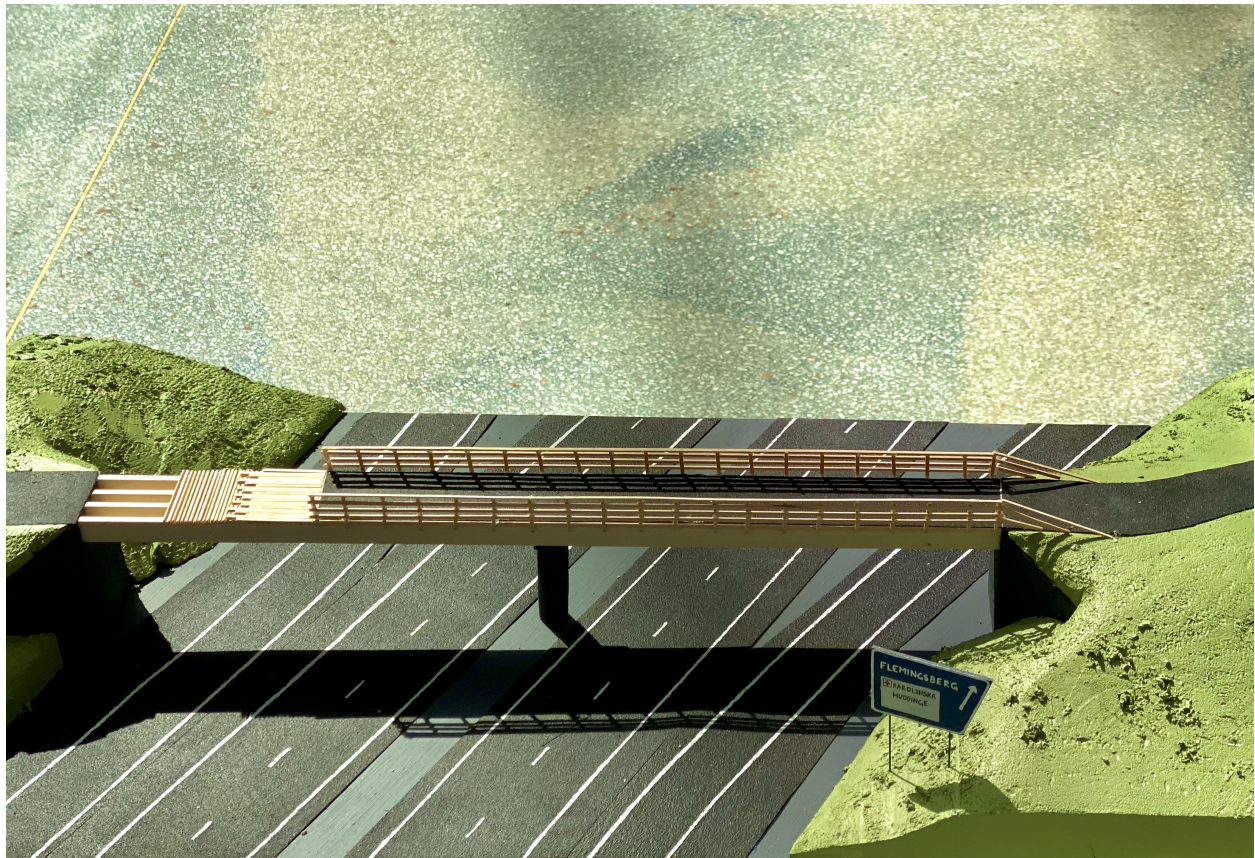




CHALMERS



# Balkbro i limträ för gång- och cykeltrafik på Södertörn

Framtagning av koncept och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet i Samhällsbyggnadsteknik

Ida Eliasson  
Hugo Elmelid  
Amelie Josefsson  
Andreas Karlsson  
Evelina Källhage  
Adam Kölnäs

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



KANDIDATARBETE 2024

# Balkbro i limträ för gång- och cykeltrafik på Södertörn

Framtagning av koncept och preliminär dimensionering

IDA ELIASSON  
HUGO ELMELID  
AMELIE JOSEFSSON  
ANDREAS KARLSSON  
EVELINA KÄLLHAGE  
ADAM KÖLNÄS



**CHALMERS**

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2024

Balkbro i limträ för gång- och cykeltrafik på Södertörn  
Framtagning av koncept och preliminär dimensionering  
IDA ELIASSON  
HUGO ELMELID  
AMELIE JOSEFSSON  
ANDREAS KARLSSON  
EVELINA KÄLLHAGE  
ADAM KÖLNÄS

© IDA ELIASSON, 2024.  
© HUGO ELMELID, 2024.  
© AMELIE JOSEFSSON, 2024.  
© ANDREAS KARLSSON, 2024.  
© EVELINA KÄLLHAGE, 2024.  
© ADAM KÖLNÄS, 2024.

Handledare: Alexander Kjellgren, Chalmers Tekniska Högskola, Staffan Lindén, COWI,  
Marcus Davidson, COWI  
Examinator: Carlos Gil Berrocal, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Kandidatarbete 2024  
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Skiss av tänkt brokoncept

Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg 2024

Balkbro i limträ för gång- och cykeltrafik på Södertörn  
Framtagande av koncept och preliminär beräkning  
*Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik*

IDA ELIASSON

HUGO ELMELID

AMELIE JOSEFSSON

ANDREAS KARLSSON

EVELINA KÄLLHAGE

ADAM KÖLNÄS

Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Rapporten beskriver processen av framtagning och dimensionering av ett brokoncept ämnat för tvärförbindelse Södertörn över nya väg 259. Vägen planeras bli en 2 mil lång förbindelse mellan Vårby och Jordbro där syftet med GC-bron är att öka trafiksäkerheten och möjliggöra för smidiga transporter.

Arbetet som behandlas i rapporten delas in i två delar, framtagning av ett brokoncept och en preliminär dimensionering. Första delen innebär analys och faktasökning kring olika brotyper och material som därefter leder vidare till utformning av ett antal koncept. Konzepten bedöms utifrån kriterier och en poängsättning utförs för ta fram ett slutgiltigt koncept. Det framtagna konceptet resulterar i en balkbro i limträ. Den preliminära dimensioneringen innefattar beräkningar på bronns överbyggnad samtidigt som grundläggning och infästningar beskrivs teoretiskt.

Nyckelord: Brokonstruktion, Gångbro, Cykelbro, Konstruktion, Träbalk bro, Limträ, Balkbro

Beam bridge in gluelam for pedestrian and bicycle traffic on Södertörn  
Development of concepts and preliminary dimensioning  
*Bachelor's thesis in Civil Engineering*

IDA ELIASSON

HUGO ELMELID

AMELIE JOSEFSSON

ANDREAS KARLSSON

EVELINA KÄLLHAGE

ADAM KÖLNÄS

Department of Architecture and Civil Engineering  
Chalmers University of Technology

## **Abstract**

The report describes the process of developing and dimensioning of a pedestrian and bicycle bridge intended to be built over the new road 259, Tvärförbindelse Södertörn. The road is planned to be a 20 km long connection between Vårby and Jordbro, where the purpose of the bridge is to increase traffic safety and methods for flexible transport.

The report is divided into two parts, the development of a bridge concept and a preliminary dimensioning. The first part involves analysis and research on different types of bridges and materials, which then leads to the design of various concepts. The concepts are assessed based on different criterias and a final concept is selected. The chosen concept results in a beam bridge made out of glued laminated timber. The preliminary dimensioning includes calculations of the bridge structure, while foundation and anchorage are theoretically described.

Keywords: Bridge Construction, Pedestrian Bridge, Bicycle Bridge, Construction, Timber Beam Bridge, Gluelam, Beam Bridge

# Förord

Rapporten är ett kandidatarbete skrivet av civilingenjörers studenter inom samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet är utfört i samarbete med konsultföretaget COWI som har försett oss med projektet. Underlaget bygger på ett verkligt fall och arbetsprocessen i projektet kan komma att likna våra framtida arbetsuppgifter.

Ett stort tack till vår handledare Alexander Kjellgren samt brokonstruktörerna Staffan Lindgren och Marcus Davidson från COWI. Även tack till examinatorn Carlos Gil Berrocal, föreläsare som inspirerat till arbetet samt till Tabita och Peter som stöttat vårt arbete i A-verkstaden.

Göteborg, maj 2024

IDA ELIASSON  
HUGO ELMELID  
AMELIE JOSEFSSON  
ANDREAS KARLSSON  
EVELINA KÄLLHAGE  
ADAM KÖLNÄS



# Ordlista

Nedan listas några i rapporten frekvent förekommande begrepp i bokstavsordning samt tillhörande beskrivning:

Brobana	Övre lastfördelande del av bron varpå trafiken färdas.
Brottsgränstillstånd	När belastningen av en konstruktionsdel är precis så stor att den går sönder.
Bruksgränstillstånd	Tillstånd då en konstruktionsdel är belastad såsom den förväntas under användning.
CALFEM	Paket av MATLAB-funktioner för analys av system med finita element metoden.
Cc-mått	Avser måttet mellan centrum av två objekt.
Egentyngd	Belastning av konstruktionen från dess egna vikt.
Fast inspänd	Upplagsvillkor som varken tillåter rotation vid änduplag eller expansion/kompression horisontellt av konstruktionen.
Fri höjd	Avstånd mellan mark och lägsta del av bron i spannet.
Fritt upplagd	Upplagsvillkor som tillåter fri rotation vid änduplag samt fri expansion/kompression horisontellt av konstruktionen.
Fält	Term som syftar på området på en balk mellan två stöd
GC-bro	Gång-och cykelbro.
Isotropi	Samma egenskaper oavsett riktning.
Koldioxidekvivalent	Ekvivalent mått för utsläpp av växthusgaser uttryckt i kg koldioxid.
MATLAB	Beräkningsprogram som används vid dimensionering.
Nyttiglast	Gång- och cykeltrafik som belastar brobanan.
Spännvidd	Avstånd mellan stöd i en bro.
Stöd	Term som syftar på området på en balk över ett stöd.
Underbyggnad	Delen av en bro nedanför upplag eller pelaröverkant ned till konstruktionens underkant (Trafikverket, 2021a).
Vindlast	Last i horisontalled orsakad av vind.
Vippning	Instabilitetsfenomen där en balk böjer ut i sidled mestadels antingen i ovankant eller underkant.
Överbyggnad	Delen av en bro som inte är underbyggnad (Trafikverket, 2021a).

# Innehåll

<b>Ordlista</b>	<b>VIII</b>
<b>Figurer</b>	<b>XI</b>
<b>Tabeller</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	1
1.3 Problemformulering . . . . .	2
1.4 Metodbeskrivning . . . . .	2
<b>2 Förutsättningar</b>	<b>3</b>
2.1 Geologiska förutsättningar . . . . .	3
2.2 Krav och mått . . . . .	3
2.3 Utvärdering av mittstöd . . . . .	4
2.4 Grundläggande kriterier . . . . .	4
<b>3 Underlag till val av brokoncept</b>	<b>5</b>
3.1 Material . . . . .	5
3.2 Brotyper . . . . .	5
3.2.1 Plattbro . . . . .	5
3.2.2 Balkbro . . . . .	5
3.2.3 Samverkansbro . . . . .	6
3.2.4 Fackverksbro . . . . .	6
3.2.5 Bågbro . . . . .	6
3.2.6 Hångbro . . . . .	6
3.2.7 Snedkabelbro . . . . .	7
3.3 Produktion . . . . .	7
3.4 Förvaltning . . . . .	8
3.5 Grundläggning och upplag . . . . .	8
<b>4 Analys av möjliga brotyper</b>	<b>9</b>
4.1 Viktningskriterier . . . . .	9
4.2 Poängsättning och värdering . . . . .	9
4.3 Urval utifrån grundläggande kriterier . . . . .	10
<b>5 Urval av framtagna koncept</b>	<b>11</b>
5.1 Balkbro i trä . . . . .	11
5.2 Samverkansbro i stål och betong . . . . .	12
5.3 Fackverksbro i trä samt stål . . . . .	12
5.4 Bågbro i stål . . . . .	13
5.5 Snedkabelbro i betong och stål samt trä . . . . .	14
5.6 Kriterier . . . . .	15

5.7	Viktning av kriterier . . . . .	15
5.8	Bedömning av brokoncept . . . . .	16
<b>6</b>	<b>Framtaget brokoncept</b>	<b>17</b>
6.1	Konstruktion . . . . .	17
6.2	Produktionsplan . . . . .	18
6.3	Underhållsplan . . . . .	19
6.4	Systemmodell . . . . .	19
<b>7</b>	<b>Dimensionering</b>	<b>20</b>
7.1	Laster . . . . .	20
7.2	Syll och slitplank . . . . .	20
7.2.1	Lastfall . . . . .	21
7.2.2	Kontroll av bärförmåga och nedböjning . . . . .	22
7.3	Huvudbalkar . . . . .	22
7.3.1	Lastfall . . . . .	22
7.3.2	Kontroll av bärförmåga och nedböjning . . . . .	23
7.3.3	Dimensionering av förband . . . . .	24
7.4	Upplagstryck . . . . .	25
7.5	Slutgiltiga dimensioner . . . . .	26
7.6	Beräkningsavgränsningar . . . . .	26
<b>8</b>	<b>Diskussion</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>Slutsats</b>	<b>30</b>
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>32</b>
	<b>Bilagor</b>	<b>I</b>
<b>A</b>	<b>Förslagsskiss</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Hållbar utveckling</b>	<b>IV</b>
B.0.1	Social hållbarhet . . . . .	IV
B.0.2	Ekonomisk hållbarhet . . . . .	IV
B.0.3	Ekologisk hållbarhet . . . . .	IV
<b>C</b>	<b>Material</b>	<b>VI</b>
C.1	Betong . . . . .	VI
C.1.1	Beställare och konstruktion . . . . .	VI
C.1.1.1	Armerad betong . . . . .	VI
C.1.1.1.1	Förspänd armering . . . . .	VI
C.1.1.1.2	Efterspänd armering . . . . .	VI
C.1.2	Produktion . . . . .	VII
C.1.3	Förvaltning . . . . .	VII
C.2	Trä . . . . .	VIII
C.2.1	Beställare och konstruktion . . . . .	VIII
C.2.2	Produktion . . . . .	IX

C.2.3	Förvaltning . . . . .	X
C.3	Stål . . . . .	X
C.3.1	Beställare och konstruktion . . . . .	X
C.3.2	Produktion . . . . .	XI
C.3.3	Förvaltning . . . . .	XI
<b>D</b>	<b>Bilder av modell</b>	<b>XIII</b>
<b>E</b>	<b>Beräkningar i matlab för dimensionering av valt brokoncept</b>	<b>XV</b>
E.1	Dimensionering av syll . . . . .	XV
E.1.1	Indata för syllberäkningar . . . . .	XV
E.1.2	Analys av syll i brottgräns - lastfall med laster placerade i fält	XVIII
E.1.3	Analys av syll i brottgräns - lastfall med laster placerade över stöd . . . . .	XXVI
E.1.4	Kontroll av moment- och tvärkraftkapacitet för syll. . . . .	XXXIV
E.1.5	Analys av syll i bruksgräns - kontroll av nedböjning vid lastfallet då laster är placerade i fält . . . . .	XXXVII
E.1.6	Analys av syll i bruksgräns - kontroll av nedböjning vid lastfallet då laster placerade över stöd . . . . .	XLVII
E.2	Dimensionering av huvudbalkar . . . . .	LVII
E.2.1	Indata huvudbalkar . . . . .	LVII
E.2.2	Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 1 huvudbalkar . . . .	LXI
E.2.3	Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 2 huvudbalkar . . . .	LXVII
E.2.4	Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 3 huvudbalkar - maximering av fältmoment . . . . .	LXXIII
E.2.5	Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 3 huvudbalkar - maximering av stödmoment . . . . .	LXXXI
E.2.6	Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 3 huvudbalkar - maximering av tvärkraft . . . . .	LXXXIX
E.2.7	Moment- och tvärkraftsdiagram alla lastfall huvudbalkar . . .	XCVII
E.2.8	Kontroll av moment- och tvärkraftskapacitet huvudbalkar . .	CIV
E.2.9	Nedböjning lastfall 1 huvudbalkar . . . . .	CVII
E.2.10	Nedböjning lastfall 2 huvudbalkar . . . . .	CXII
E.2.11	Nedböjning lastfall 3 huvudbalkar . . . . .	CXVII
E.2.12	Kontroll av maximal nedböjning från alla lastfall huvudbalkar	CXXIV
E.2.13	Dimensionering av förband . . . . .	CXXVIII
E.3	Kontroll av upplagstryck . . . . .	CXXXVI
E.3.1	Indata för kontroll av Upplagstryck . . . . .	CXXXVI
E.3.2	Kontroll av upplagstryck på syllen från balkarna . . . . .	CXXXVIII
E.3.3	Kontroll av upplagstryck på huvudbalkarna från syllen . . . .	CXLI
E.3.4	Kontroll av upplagstryck från ytterpelare på huvudbalkar . . .	CXLIV
E.3.5	Kontroll av upplagstryck från mittpelare på huvudbalkar . . .	CXLVII

# Figurer

5.1	Skiss av en balkbro i trä. . . . .	11
5.2	Skiss av en samverkansbro i stål och betong. . . . .	12
5.3	Skiss av en fackverksbro i stål (till vänster) respektive trä (till höger). . . . .	13
5.4	Skiss av en bågbro i stål. . . . .	14
5.5	Skiss av en snedkabelbro i stål och betong (till vänster) respektive trä (till höger). . . . .	15
6.1	Tvärsektion med mått angivna i mm. . . . .	17
6.2	Ändskärmarnas utformning uppifrån (vänster) och från sidan (höger). . . . .	18
6.3	Utformning av pelarens infästning till brobanan. . . . .	18
6.4	Strukturmodell för hela systemet. . . . .	19
6.5	Strukturmodell för överbyggnad i tvärled. . . . .	19
7.1	Lastfall i tvärled där $g$ är egentygnd och $Q_{sv}$ är hjultrycket där dess utbredning är satt med hänsyn till lastspridningen i syllen. . . . .	21
7.2	Lastfall i längsled, där $g$ är egentygnd, $q$ är nyttiglast och $Q_{sv}$ är punktlast från servicefordon. . . . .	23
7.3	Förbandets utformning från balk till balk vid skarv. . . . .	25
A.1	Förslagsskiss för det aktuella projektet . . . . .	II
A.2	Karta som visar den geografiska positionen av trafikplatsen där bron ska byggas . . . . .	III
D.1	Modellen i perspektiv. . . . .	XIII
D.2	Modellen sedd ovanifrån. . . . .	XIII
D.3	Närbild av modellen där konstruktionens bärverk visas i avskalade lager. . . . .	XIV
E.1	Lastspridningen från slitplanket till syllen ger att 4 syllar som minst belastas av hjultrycket . . . . .	XV
E.2	Beräkningsmodell för syll med laster placerade i fält . . . . .	XVIII
E.3	FEM modell för syll med laster placerade i fält . . . . .	XVIII
E.4	Lastspridningen i syllen . . . . .	XIX
E.5	Momentdiagram för syll med last placerad över fält . . . . .	XXIV
E.6	Tvärkraftsdiagram för syll med last placerad över fält . . . . .	XXV
E.7	Beräkningsmodell för syll med last placerad över stöd . . . . .	XXVI
E.8	FEM modell för syll med last placerad över stöd . . . . .	XXVI
E.9	Lastspridningen i syllen . . . . .	XXVII
E.10	Momentdiagram för syllar med lasten placerad över stöd . . . . .	XXXIII
E.11	Tvärkraftdiagram för syllar med lasten placerad över stöd . . . . .	XXXIII
E.12	Beräkningsmodell för syll med laster placerade i fält . . . . .	XXXVII
E.13	FEM modell för syll med laster placerade i fält . . . . .	XXXVII
E.14	Lastspridningen i syllen . . . . .	XXXVIII
E.15	Nedböjningsdiagram för syllen då lasten placeras i fält . . . . .	XLVI
E.16	Beräkningsmodell för syll med last placerad över stöd . . . . .	XLVII

E.17 FEM modell för syll med last placerad över stöd . . . . .	XLVII
E.18 Lastspridningen i syllen . . . . .	XLVIII
E.19 Nedböjningsdiagram för syllen då lasten placeras över stöd . . . . .	LVI
E.20 Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	LXI
E.21 Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	LXI
E.22 Momentdiagram lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	LXVI
E.23 Tvärkraftsdiagram lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	LXVI
E.24 Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	LXVII
E.25 FEM-modell lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	LXVII
E.26 Momentdiagram lastfall 2 huvudbalkar. . . . .	LXXII
E.27 Tvärkraftsdiagram lastfall 2 huvudbalkar. . . . .	LXXII
E.28 Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	LXXIII
E.29 FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	LXXIII
E.30 Momentdiagram lastfall 3 max fältmoment huvudbalkar. . . . .	LXXIX
E.31 Tvärkraftsdiagram lastfall 3 max fältmoment huvudbalkar. . . . .	LXXX
E.32 Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	LXXXI
E.33 FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	LXXXI
E.34 Momentdiagram lastfall 3 max stödmoment huvudbalkar. . . . .	LXXXVII
E.35 Tvärkraftsdiagram lastfall 3 max stödmoment huvudbalkar. . . . .	LXXXVIII
E.36 Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	LXXXIX
E.37 FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	LXXXIX
E.38 Momentdiagram lastfall 3 max tvärkraft huvudbalkar. . . . .	XCVI
E.39 Tvärkraftsdiagram lastfall 3 max tvärkraft huvudbalkar. . . . .	XCVI
E.40 Tvärkraftsdiagram alla lastfall . . . . .	CIII
E.41 Momentdiagram alla lastfall . . . . .	CIII
E.42 Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	CVII
E.43 FEM-modell lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	CVII
E.44 Nedböjning lastfall 1 huvudbalkar. . . . .	CXI
E.45 Beräkningsmodell lastfall 2 huvudbalkar. . . . .	CXII
E.46 FEM-modell lastfall 2 huvudbalkar. . . . .	CXII
E.47 Nedböjning lastfall 2 huvudbalkar . . . . .	CXVI
E.48 Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	CXVII
E.49 FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	CXVII
E.50 Nedböjning lastfall 3 huvudbalkar. . . . .	CXXIII
E.51 Slutlig medböjning från alla lastfall . . . . .	CXXVII
E.52 Måttfatt skiss över inslitsat förband, måtten redovisas i resultatet av beräkningen nedan. . . . .	CXXVIII
E.53 Måttfatt skiss över ovanliggande förband, måtten redovisas i resultatet av beräkningen nedan. . . . .	CXXVIII
E.54 Beräkningsmodell för upplagstryck på syll från huvudbalkar . . . . .	CXXXVIII
E.55 Beräkningsmodell för upplagstryck på huvudbalkar från syll . . . . .	CXLI
E.56 Beräkningsmodell för upplagstryck på huvudbalkar från ytterpelare . . . . .	CXLIV
E.57 Beräkningsmodell för upplagstryck på huvudbalkar från mittpelare . . . . .	CXLVII

# Tabeller

2.1	Kravställda mått utifrån förslagsskissen. . . . .	4
4.1	Analys av brotyper i olika material. . . . .	10
5.1	Viktningskriterier för urval. . . . .	16
5.2	Poängsättning av brokoncept i urvalet. . . . .	16
7.1	Resultaterande moment och tvärkraft samt kapacitet och utnyttjandegrad för syllarna. . . . .	22
7.2	Slutlig nedböjning och tillåten nedböjning i konsol och fält för syllarna. . . . .	22
7.3	Momentkapacitet och tvärkraftskapacitet samt maximal tillåten nedböjning för huvudbalkarna. . . . .	24
7.4	Dimensionerande lasteffekt och utnyttjandegrad för varje lastfall för huvudbalkarna. . . . .	24
7.5	Initiell och slutgiltig nedböjning samt utnyttjandegrad för varje lastfall. . . . .	24
7.6	Resultat på erforderliga dimensioner på upplag för att klara upplagstrycket där $b_{stöd}$ är längden på upplaget i balkarnas längsled medan $d_{stöd}$ är måttet i tvärled vilket sätts till samma som bredden på balkarna (430 mm). . . . .	26
7.7	Tvärsnittens slutgiltiga dimensioner . . . . .	26
B.1	Klimatdata för betong, klimatförbättrad betong, konstruktionsstål och limträ (Boverket, 2023b). . . . .	V

# 1 Inledning

Den ökande debatten kring klimatförändringar har styrt politiken mot att främja en ökad gång- och cykeltrafik (GC-trafik). Utöver en GC-bros självklara syfte att möjliggöra transport över hinder kan den fylla fler syften. Genom noggrann planering och gott estetisk uttryck kan bron styra människors beteenden och skapa acceptans hos tilltänkta användare i syfte att främja en hållbar samhällsutveckling.

Med en GC-bro kan oskyddade trafikanter och bilister med hög hastighet helt separeras och passagen blir både säkrare och effektivare, vilket skapar förutsättningar för en ökad GC-trafik. Ur ett samhällsperspektiv får detta många goda konsekvenser såsom minskad miljöpåverkan, förbättrad folkhälsa, ökad trafiksäkerhet och minskade störningar på djur och människor i form av buller. Miljöpåverkan är en aspekt som kommer behandlas med stor vikt i arbetet då rätt val av material, produktionsmetod och brokoncept kan reducera miljöpåverkan. Projektet kan föra med sig störningar av det befintliga ekosystemet och för de människor som bor i intilliggande bostadsområden. Det är därför viktigt att produktionen utförs på sätt som reducerar störningarna. Speciellt viktigt är det att minska mängden buller och markpåverkan.

## 1.1 Bakgrund

Bron som ska byggas är en del av Trafikverkets projekt, väg 259 tvärförbindelse Södertörn, vars syfte är att öka trafiksäkerheten och möjliggöra för smidigare transporter (Trafikverket, 2024b). Den färdiga vägen, som kommer att bli två mil lång, ska förbinda Stockholmsförorterna Vårby och Jordbro. Vid trafikplats Kästa (se bilaga A, figur A.1) ska en GC-bro byggas vilken det ska tas fram ett koncept för i detta arbete. I höjd med den aktuella trafikplatsen passerar den nya vägförbindelsen båda tätorterna Huddinge och Flemingsberg vilket betyder att bron kommer ligga relativt nära ett tätbebyggt område. Bron skapar således både en passage för GC-banan som ska gå parallellt med tvärförbindelsen samt en förbindelse mellan orterna. I bilaga A, figur A.2 syns den planerade sträckningen av bron samt platsens geometri.

## 1.2 Syfte

Syftet med projektet är att arbeta fram ett lämpligt brokoncept samt utföra en preliminär dimensionering av en GC-bro. I utformningen av GC-bron beaktas konstruktion, produktion och förvaltning med hänsyn till krav och förutsättningar samt med fokus på hållbarhet.

## 1.3 Problemformulering

Brokonstruktionen ska sträcka sig över den planerade vägbanan med närliggande bostadsområden. För att tillgodose projektets syfte ska nedan listade problem lösas:

- Hur kan olika brokoncept se ut som uppfyller de aktuella förutsättningarna och kraven?
- Vilket av brokoncepten är mest optimal utifrån kraven och platsens förutsättningar samt vad avgör det?
- Hur dimensioneras, produceras och förvaltas detta koncept utifrån givna förutsättningar?

## 1.4 Metodbeskrivning

Projektet delas in i två faser, fas ett och två, där den första berör framtagning av brokoncept och den andra innefattar preliminär dimensionering. Till en början studeras den berörda platsen och förutsättningarna samt allmän information kring olika brotyper. Flera brotyper utvärderas utifrån lämplighet, med syftet att rensa bort mindre passande alternativ. Därefter tas ett antal olika brokoncept fram. Brokoncepten beskrivs och utvärderas gentemot framtagna kriterier som viktas mot varandra vilket resulterar i ett slutgiltigt brokoncept. Första fasen avslutas sedan med att valt brokoncept presenteras och en systemmodell för bron tas fram.

Därefter inleds projektets andra fas som avser en preliminär dimensionering av den valda bron samt att viktiga infästningar utformas. Dimensionerande laster tas fram och ligger till grund för konstruktionsberäkningarna. Beräkningar utförs till största delen i beräkningsprogrammet MATLAB och CALFEM medan ekvationer och modeller hämtas från Eurocode, men också från regler och förordningar från Trafikverket och andra aktörer. Efter dimensioneringen av bron är klar görs en rimlighetsbedömning och vid behov justeras brokonceptet. Tillsist byggs en miniatyrmodell utifrån slutgiltigt brokoncept.

## 2 Förutsättningar

Nedanstående kapitel presenterar platsens förutsättningar utifrån förslagsskissen för projektet tillhandahållen av COWI (se bilaga A, figur A.1). Dessutom inkluderas beskrivningar av de grundläggande kriterier som framkommit. GC-bron är lokaliserad väster om trafikplats Kästa i Huddinge kommun. Den nya vägsträckningen finns redovisad i bilaga A, figur A.2 (Trafikverket, 2024a).

GC-bron som är lokaliserad vid trafikplats Kästa i höjd med Flemingsberg och är därmed närliggande tätbebyggt område. Därmed utgör bron en förbindelse och ett pendelstråk för gångtrafikanter och cyklister mellan Glömstavägen och Katrinebergsvägen över den nya vägensträckningen. Under byggnationen av bron kommer ingen hänsyn till biltrafik på underliggande väg att tas då denna vid byggtiden ännu inte kommer att vara i bruk.

### 2.1 Geologiska förutsättningar

Vid brons södra brofäste finns berg i direkt anslutning till markytan och berget uppvisar en lutning på 1:3 från väst till öst enligt förslagsskissen (se bilaga A, figur A.1). Jordlagret bestående av lera mellan vägbanorna är uppmätt till 10 m tjockt och underliggande berg uppvisar en lutning på 1:3 i samma riktning som de södra brofästet. Vid norra brostödet uppmäts jordlagret till 15 m djupt, men där antas underliggande berggrund vara plan utan någon lutning. Vid brons ändar kommer slänter att anläggas för att fungera som ramper upp till brobanan. Inga beräkningar kommer att göras inom området utan det kommer endast beskrivas teoretiskt.

### 2.2 Krav och mått

Utifrån förslagsskissen har ett antal kravsställande mått tagits fram, vilka redovisas i tabell 2.1 nedan. Utöver dessa har en bredd på 1,2 m mellan fordon och hinder fastställts enligt Trafikverkets VGU, med en estimerad väghastighet på 80 km/h (Trafikverket, 2021b). Den minsta spännvidden inkluderar kantavståndet mellan yttre vägbanor på 47 m samt avståndet mellan hinder och fordon, vilket uppgår till 50 m. En önskad fri brobredd enligt förslagsskissen är 4,6 m. Kraven för den fria höjden mellan motorvägen och bron fastställs även utifrån förslagsskissen, vilket leder till en maximal konstruktionshöjd på 2 m under brobanans nivå för hela spannet. Möjligheten till att placera ett mittstöd i brospannet mellan motorvägens östergående och västergående körfält beaktas, och den tillgängliga fria bredden uppskattas till 5,6 m. Emellertid begränsar kravet på sidoavstånd från VGU till 1,2 m mittstödet eventuella bredd till 3,2 m.

**Tabell 2.1:** Kravställda mått utifrån förslagsskissen.

Brons minimilängd	50 m
Fri brobredd	4,6 m
Vägbanans nivå mitt i brospannet	32,6 m
Max konstruktionshöjd	2,0 m
Maxbredd på eventuellt mittstöd	3,2 m

### 2.3 Utvärdering av mittstöd

Möjligheten till mittstöd i brospannet ger fördelar sådana att spännviden minskas och ökar antalet möjliga brotyper. Det medför dessvärre ökade grundläggningskostnader och längre produktionstid. För en konstruktion utan mittstöd blir pålning endast aktuellt för upplaget vid bronns norra infästning medan det även skulle behövas vid mittstödet ifall ett sådant används. Mittstödet har även potentiell estetisk och siktmässig påverkan på bron. Risker såsom kollisioner och begränsningar i materialval för mittstödet kan också uppstå till följd av den begränsande utrymmet mellan körbanorna.

### 2.4 Grundläggande kriterier

I projektet har det beslutats att formulera önskemål och prioriteringar som ska utgöra en grund för urvalet av brokoncept. Hållbarhet har varit ett stort fokus i projektet och följande prioriteringsordning har tagits fram med utgångspunkt från de tre nedanstående huvudkategorierna.

1. Miljö
2. Estetik
3. Ekonomi

Projektet ska eftersträva en så miljövänlig utformning av bron som möjligt, därav prioriteras miljö högst. Kostnaden kan då komma att öka jämfört med det billigaste alternativet. Ekonomin anses förhållandevis relevant att ta i beaktning och sätts därför till trea i prioritetsordningen. Prioritet två har beslutats vara estetiken, aspekten anses ha stor betydelse för acceptansen av projektet och målet är att bron ska vara uppskattad av allmänheten. Därav prioriteras estetiken högre än ekonomin. Prioriteringarna går hand i hand med FN's globala mål kring hållbar utveckling, ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet (Globala målen, uå). Detta beskrivs mer i bilaga B.

# 3 Underlag till val av brokoncept

Nedan presenteras information som ligger till grund för framtagning och val av brotyper. Kapitlet behandlar de vanligaste byggnadsmaterialen och innehåller korta beskrivningar av olika brotyper.

## 3.1 Material

I arbetet ligger fokus på de tre vanligaste byggnadsmaterialen; trä, betong och stål. Trä är ett naturligt, lättbearbetat och miljövänligt material som lämpar sig för GC-broar och mindre broar. Trä kan anses vara estetiskt tilltalande och passa bra i natursköna områden men som samtidigt kräver korrekt behandling för att undvika fukt- och växtlighetsproblem (Pousette et al., 2004) Betong är känt för sin höga tryckhållfasthet och beständighet mot väder och kemikalier. Armerad betong är vanligt förekommande i större broar och motorvägsbroar där god hållfasthet är avgörande. Armerad betong är också lämpligt för fundament och vägbanor och kräver minimalt underhåll över tid. Stål erbjuder god styrka i förhållande till sin egenvikt och möjliggör för flexibla konstruktioner med långa spännvidder. Stål kräver normalt regelbundet underhåll för att förhindra rost och korrosion (Reuterswärd, 2011). För mer ingående information om materialen, se bilaga C.

## 3.2 Brotyper

Broar delas även in i olika brotyper utifrån utformning och konstruktionens verkningssätt (Brosamverkan, 2022). Valet av brotyp har till stor del att göra med platsens förutsättningar, olika brotyper lämpar sig vid olika grundläggningsförhållanden och passar bra in i olika miljöer. Spännvidder som presenteras gäller broar avsedda för vägtrafik, för GC-trafik kan längre spännvidder uppnås. Nedan beskrivs några vanligt förekommande brotyper.

### 3.2.1 Plattbro

En plattbro består av en eller flera plattor som vilar på upplag, där upplagen kan bestå av pelare eller skivor (Brosamverkan, 2022). På grund av att bron bärvärk utnyttjar hela brobredden möjliggörs små konstruktionshöjder. Spännvidder på cirka 25 m kan uppnås när bron utgörs av slakarmerad betong medan den kan uppnå 35 m i spännvidd när plattan består av spännarmerad betong. Görs bron i trä kan istället en spännvidd på ungefär 17 m nås (Trafikverket, 2014).

### 3.2.2 Balkbro

Balkbroar har sitt huvudbärverk av balkar med överliggande platta. Bron är relativt materialeffektiv då mindre material kan användas vid konstruktion av balkarna jämfört med en platta. En högre balkhöjd krävs dock vilket kan vara ett problem

när konstruktionshöjden är begränsad (Brosamverkan, 2022). För balkbroar gjorda av stål eller betong kan spännvidder på över 20 m uppnås. I fallet med betong uppnår spännvidden mellan 10 och 30 m. Trä är aktuellt för spännvidder upp till 30 m (Westerlund et al., 1998).

#### 3.2.3 Samverkansbro

En samverkansbro har till syfte att genom sin utformning utnyttja materialens egenskaper effektivt för att minimera materielbehovet, samverkan mellan två material sker vilket gör broarna starka nog att motstå böjande moment och yttre påfrestningar (Brosamverkan, 2022). Oftast är det samverkan mellan stål och betong där betongen hanterar kompressionskrafter medan stålet hanterar dragkrafter. Samverkansbro med lådbalk är ett bra alternativ om bron kröker sig eftersom det slutna tvärsnittet ger hög styvhet. Samverkansbroar lämpar sig för spännvidder mellan 60-70 m och grundförhållandena är sämre.

#### 3.2.4 Fackverksbro

Fackverksbro är en typ av balkbro där sidorna består av fackverk i stål eller trä utformad så att varje komponent tar axiella laster vilket medför att de inte behöver dimensioneras för böjande moment (Trafikverket, 2014). Materialets utnyttjandegrad blir hög då både trä och stål är svagare i böjning än rent tryck och drag. Bron kan antingen vara konstruerad med fackverk under eller över brobanan, varav det senare alternativet kan vara lämpligt då konstruktionshöjden nedåt är begränsad. För fackverksbroar i stål, avsedda för vägtrafik, kan spännvidder på cirka 100 m uppnås och motsvarande är cirka 30 m för trä.

#### 3.2.5 Bågbro

Bågbrons huvudbärverk kan vara utformad i armerad betong, stål eller trä och bågbroar med parallella bågar förbinds alltid med tvärbalkar (Trafikverket, 2014). Bågbron har ett huvudsakligt bärverk med antingen en överliggande eller underliggande båge i ett eller flera spann. Bågformen och brons egentygnd skapar stora tryckkrafter i bågen vilket bidrar till bärförmågan. Om bågbron utformas i ett spann kan en spännvidd på ca 260 m uppnås.

#### 3.2.6 Hängbro

Hängbroar är konstruerade med pylontorn där bärkablar bär lasten från brobanan via vertikala linor (Trafikverket, 2014). Pylonerna arbetar i tryck medan bärkablarerna bär lasterna i drag. Horisontalkrafterna i en hängbro förs vanligtvis ned i marken intill brobanans ändar via brons bärkablar. De horisontella krafterna tas upp i bärkablarerna och brobanan hanterar endast vertikala krafter och moment, detta resulterar i att brobanan kan konstrueras slankare än i exempelvis snedkabalbroar där även horisontella krafter behöver tas upp i brobanan. Dock kräver lösningen starka infästningar av bärkablarerna eftersom de ska överföra stora horisontella krafter. Därför kan markförhållandena begränsa möjligheterna till att bygga en hängbro.

Hängbroar är generellt aktuella vid mycket stora spännvidder.

#### 3.2.7 Snedkabelbro

Snedkabelbron bärs upp av tryckta pyloner och draglinor, där linorna går direkt mellan brobanan och pylonerna (Trafikverket, 2014). Den konstrueras vanligen i tre spann men förekommer också i två spann med endast en pylon. Snedkabelbron är självförankrad då kablarna fäster i brobanan istället för i berg vid upplagen och därmed spänns bron upp av sin egentyngd (Brosamverkan, 2022). Horisontella kraftkomponenter i kablarna upptas alltså av brobanan och inte av omkringliggande mark, därför krävs endast vertikala upplagskrafter för denna brotyp som således lämpar sig väl vid dåliga grundläggningsförhållanden. Konstruktionen är aktuell för spännvidder över 100 m med bärvärk i stål och betong. I trä utnyttjas brotypen främst för GC-trafik med spännvidder från 50 m.

### 3.3 Produktion

För projektet behöver ingen hänsyn tas till att pausa eller leda om trafik under produktion, eftersom GC-bron planeras byggas på en ny väg där ingen befintlig trafik finns. Valet av produktionsmetod, material och arbetsmetoder varierar beroende på entreprenörens erfarenheter och avgör vilken arbetsmiljö som skapas (Brosamverkan, 2022). Konstruktionens utformning avgör vilka produktionsmetoder som anses lämpliga och det är viktigt att vid konstruktionsutformningen ta hänsyn till hur monteringen ska utföras så att goda arbetsförhållanden kan säkerställas.

Konstruktionsdelarna i en bro kan vara platsbyggd eller prefabricerad. För platsbyggda konstruktioner är betong vanligt förekommande, den tillåter stor frihet i utformning medan prefabricerade element optimeras genom produktionen vid kontrollerade förhållanden. För prefabricerade konstruktioner tillverkas de olika elementen i fabrik och sedan fraktas till byggplatsen där de monteras ihop. Montage av prefabricerade element genomförs med hjälp av lyftkranar och/eller lansering. Fördelar med prefabricerade element är effektivisering i arbetet, reducering av betongspill, minskad arbetskraft på byggplatsen samt att det minskar störningar för förbipasserande trafik. Det bidrar även till mer kontrollerade arbetsförhållanden då arbetsprocesserna vid platsgjuten betong inte är standardiserade på samma sätt som i fabrik.

Under byggnationstiden kan det finnas behov av tillfälliga konstruktionslösningar för att genomföra projektet och minimera störningar. Exempelvis tillfälliga vägar för att leda om trafiken eller för att transportera byggnadsmaterialet. Även byggnadsställningar och andra skyddsanordningar kan vara väsentliga. Lasteffekterna på elementen under monteringsfasen kan skilja sig stort från belastningen vid användningen av bron vilket ställer ytterligare krav på konstruktionens bärighet och vikten i planering av produktionsmetod och utförande (TräGuiden, 2018). För mer detaljerade produktionsmetoder för respektive material se bilaga C.

## 3.4 Förvaltning

En bro ska vara beständig under hela sin livslängd. Påfrestningar från variabla laster, vatten, salter och smuts är några av faktorerna som påverkar konstruktionens element under lång tid. Regelbundna inspektioner och underhållsarbeten är nödvändiga för att upprätthålla god beständighet och trafiksäkerhet, det är därför viktigt att utforma bron så kontroller är möjliga att utföra på ett säkert och effektivt sätt.

För att minska framtida underhålls- och förvaltningskostnader skall regelbundna inspektioner göras med ett intervall på max 6 år för att planera åtgärder (Maxstadh, 2018). Under inspektion kontrolleras de vanligaste problemområden som uppstår under bronns livslängd, exempelvis anslutningar och fästen där det lagras smuts och vatten som leder till korrosion av stål och får trä att ruttna. Inspektionen kontrollerar även nedböjningen på balkarna och att det inte uppstått sprickor som kan påverka bärrigheten, utöver det kontrolleras bronns räcken, kantbalkar, täckfärger etc. Underhållsarbetet är olika beroende på vilket material som används i brokonstruktionen, men det mest grundläggande underhållet för samtliga material är att tvätta broarna för att avlägsna salter och vatten. För mer detaljer kring förvaltning av de olika materialen se bilaga C.

## 3.5 Grundläggning och upplag

Valet av grundläggningsmetod påverkas av vilken brotyp som ska byggas samt jord- och bergförhållandena på platsen. Viktiga aspekter att kontrollera är jordens bärförmåga, att sättningarna inte blir för stora samt problem som uppstår vid tjäle (Brosamverkan, 2022). Om jorden har tillräcklig bärförmåga kan platt-grundläggning nyttjas vilket kan utföras på två sätt; platta på packad fyllning och platta på berg. Vid svaga jordar såsom lera krävs pålning, antingen genom mantelburna pålar som bär genom friktion mellan påle och jord eller spetspålar som slås ner till fast berg. I detta projekt lämpar sig platta på packad fyllning för det södra stödet då berget är nära markytan, men på grund av att berget sluttar behövs utfyllnadsmassor mellan plattan och berget. För den norra sidan och ett eventuellt mittstöd kommer pålning behövas då markprofilen består av lera (se bilaga A, figur A.1).

Utöver grundläggningen behöver det ses över hur överbyggnaden ska anslutas till underbyggnaden, det vill säga upplagsförhållandena. Det kan för det första utföras genom ledade fasta upplag som begränsar rörelse i horisontal- och vertikalled. För det andra kan rullager nyttjas som begränsar rörelse i vertikal- men inte horisontalled. Vilket upplag som ska nyttjas beror på brotyp. På grund av att fasta upplag föreskriver horisontella förskjutningar tillåts inte konstruktionen att röra sig vid temperaturförändringar, markrörelser och deformationer, vilket skapar inre spänningar som kan medföra problem (Brosamverkan, 2022). För att ta hand om horisontalkrafter på ändstöden kan ändskärmar och vingmurar nyttjas, vilka leder lasten till marken. Vingmurar kan även användas för att hålla omkringliggande slänt på plats.

# 4 Analys av möjliga brotyper

I kapitlet tas kriterier fram som visar på vilka grunder brotyperna utvärderas, vilka sedan används i en första analys av vilka brotyper som är möjliga att använda på platsen utifrån förutsättningarna.

## 4.1 Viktningskriterier

Vid första utsällningen av brotyper väljs övergripande kriterier, vars syfte är att konstatera ifall brotypen kan användas till ett koncept som är möjligt utifrån förutsättningarna. Det styrs främst av spännvidd och grundläggningsförhållanden på platsen. Utöver det undersöks även ifall hela spännvidden kan uppnås utan mittstöd. Estetik beaktas övergripande, där en allt för icke-estetiskt tilltalande bro sorteras bort. Slutligen undersöks om bron är lämplig för de laster som en GC-bro ska dimensioneras för, eller om den främst är lämplig för tyngre laster. Varje brotyp undersöks för de tre materialen betong, trä och stål. Nedan listas kriterierna för en första sällning.

- Estetik
- Spännvidd
  - Klarar den hela spännvidden?
  - Klarar den spännvidden med ett mittstöd?
- Hur lämplig är brotypen utifrån grundförhållandena?
- Passar brotypen för GC-trafik?
- Vilket material är mest lämpligt för brotypen?

## 4.2 Poängsättning och värdering

För att kunna utvärdera de olika brokoncepten införs en skala på -,0 och + där ”-” innebär ”uppfyller ej krav”, ”0” är ”uppfyller krav” och ”+” är ”uppfyller krav väl”. I tabell 4.1 har brokoncepten utvärderats utifrån kriterierna i avsnitt 4.1. Kriteriet om spännvidd har beslutats delas upp i om bron klarar hela spännvidden eller om ett mittstöd behövs. Om en brotyp klarar alla kriterier med eller utan mittstöd samt för något av materialen har det gått vidare för att utvecklas till ett brokoncept. För vardera brotyp har även vissa materialval sällats bort utifrån projektets prioriteringar som beskrivs vidare i avsnitt 4.3. Värderingarna är baserade på tidigare nämnd information om brotyper och material, förutom estetiken som är baserad på författarnas värderingar.

Tabell 4.1: Analys av brotyper i olika material.

		Estetik	Klarar hela spannet	Med mittstöd	Möjlig att grundlägga	Lämplig för GC-trafik	Lämpligt material	Utvald
<b>Balkbro</b>	Betong	0	-	+	+	+	-	<b>Nej</b>
	Trä	0	-	+	+	+	+	<b>Ja</b>
	Stål	0	+	+	+	+	-	<b>Nej</b>
<b>Samverkansbro</b>	Betong/ Stål	0	+	+	+	+	+	<b>Ja</b>
	Trä/ Stål	0	+	+	+	+	-	<b>Nej</b>
<b>Fackverksbro</b>	Betong	0	-	+	-	-	-	<b>Nej</b>
	Trä	0	-	+	+	0	+	<b>Ja</b>
	Stål	0	+	+	+	0	+	<b>Ja</b>
<b>Bågbro</b>	Betong	+	+	+	0	0	-	<b>Nej</b>
	Trä	+	-	+	0	0	-	<b>Nej</b>
	Stål	+	+	+	0	0	+	<b>Ja</b>
<b>Hängbro</b>	Betong	+	+	+	-	0	+	<b>Nej</b>
	Trä	+	+	+	-	0	+	<b>Nej</b>
	Stål	+	+	+	-	0	+	<b>Nej</b>
<b>Snedkabelbro</b>	Betong/ Stål	+	+	+	+	+	+	<b>Ja</b>
	Trä/ Stål	+	+	+	+	+	+	<b>Ja</b>

### 4.3 Urval utifrån grundläggande kriterier

Efter tidigare analys prioriteras ett eller två materialval för vardera brotyp, se sista kolumnen i tabell 4.1. Hängbro passerar inte urvalet då grundförhållandena är för dåliga för att byggas på ett effektivt sätt och tas på så sätt inte vidare. Koncept med en balkbro i trä prioriteras utifrån miljöpåverkan och därför stryks balkbroar i betong respektive stål. I bilaga C beskrivs materialens olika styrkor där betongens hållfasthet i tryck och svaghet i drag betonas samt stålets hållfasthet i drag. Därför tas konceptet om en samverkansbro av stål och betong vidare då den utnyttjar materialens styrkor på ett effektivt och materialsnålt sätt. Konceptet med en bågbro med båge av betong väljs bort på grund av att den enligt broprojekteringshandboken har konkurrerats ut (Brosamverkan, 2022). Dessutom anses den inte vara optimal utifrån platsens grundläggningsförhållanden. Bågbron i stål prioriteras utifrån dess höga hållfasthet och anses vara mer passande än en bågbro i trä som därför väljs bort. Resterande tas vidare och brokoncept utvecklas.

# 5 Urval av framtagna koncept

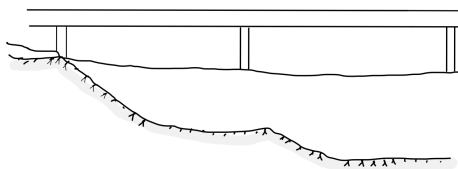
I kapitlet presenteras sju specifika brokoncept som beskrivs mer ingående gällande konstruktion, produktion och underhåll. Konzepten har valts utifrån de brotyper som gick vidare från kapitel 4. Nedanstående beskrivning utgår från underlaget i kapitel 3. Kapitlet beskriver även val och viktning av kriterier samt poängsättning kring hurvida brokoncepten uppfyller kriterierna.

## 5.1 Balkbro i trä

En balkbro i trä bärs huvudsakligen upp av träbalkar med en överliggande brobana utformad som en platta eller med tvärbalkar och slitplank (Brosamverkan, 2022). En träbalkbro är fördelaktigt ur ett miljöperspektiv utifrån att trä är ett förnybart material med lågt koldioxid utsläpp under produktion. Konzeptet är också fördelaktigt ur ett geotekniskt perspektiv eftersom att den lätta egenvikten underlättar grundläggningen vid stöden i lera.

Bron produceras genom prefabricerade balkelement som på platsen kan fästas i varandra med skruv- eller dymlingsförband. Träets lätta egenvikt möjliggör för att stora delar av konstruktionen monteras i fabrik, begränsningen på elementens längd avgörs utifrån transportsynpunkt. Elementens storlek begränsas eventuellt också av lyftkapaciteten på platsen. Konstruktionen innebär ett mittstöd vilket innebär påläggning i lera med ca 10 m till berg.

Underhållsarbete och inspektioner av bronns undersida behöver genomföras. För att möjliggöra inspektion och säkerställa en god arbetsmiljö behöver delar av trafik på underliggande väg stängas av. Balkbroar är utifrån förvaltningsperspektiv ett fördelaktigt alternativ eftersom det är få svåråtkomliga utrymmen som behöver kontrolleras. För trä som material behöver fukthalten och sprickbildning kontrolleras och även kontroller på ståldetaljer behöver göras för att se till så att de inte degraderar, där används oftast rostfria eller rostskyddade material (Westerlund et al., 1998). En skiss av det tänkta konceptet syns i figur 5.1.



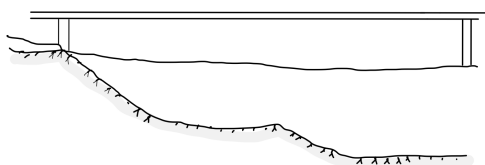
**Figur 5.1:** Skiss av en balkbro i trä.

## 5.2 Samverkansbro i stål och betong

I en samverkansbro utnyttjar konstruktionen samverkan mellan stål och betong. På så sätt utnyttjas materialen maximalt och en minimal materialåtgång kan uppnås. Däremot har både stål och betong betydligt större klimatpåverkan per använd volym än trä (se bilaga B, tabell B.1), vilket gör konceptet något mindre hållbart ur ett klimatperspektiv.

Brotypen prefabriceras i färdiga stålelement som lanseras eller lyfts på plats och därefter gjuts en betongplatta ihop med stålelementen. Balklängderna avgörs av transportmöjligheterna och elementen kan svetsas ihop eller fästas med skruvförband på plats.

Samverkansbro i stål och betong är, precis som balkbron, enkel att förvalta på grund av lättillgängligheten på delarna i konstruktionen. Däremot blir mestadelen av underhållet på undersidan av bron vilket kan påverka biltrafiken på undeliggande väg. Stålbalkarna behöver blästras och målas då grundfärgen flagnar, det kräver ställningsarbete och uppsamling av restprodukter vilket stoppar biltrafiken. Spjälkning behöver kontrolleras för betongplattan samt att betongen kräver tvättning för att klorider och karbonater inte ska tränga in i betongen och påverka armeringen. En skiss av det tänkta konceptet syns i figur 5.2.



**Figur 5.2:** Skiss av en samverkansbro i stål och betong.

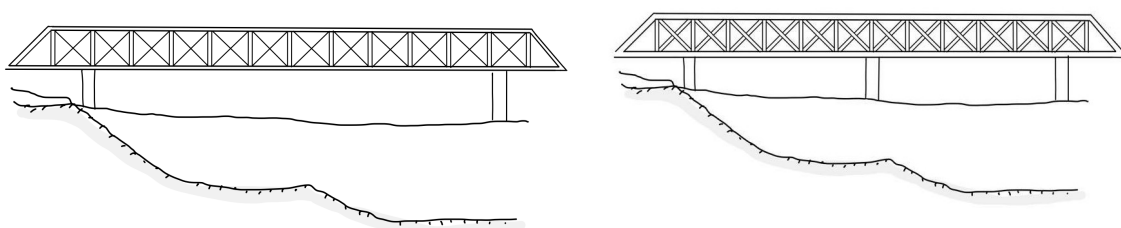
## 5.3 Fackverksbro i trä samt stål

Fackverksbron konstrueras med ett bärande fackverk som på grund av begränsad konstruktionshöjd placeras ovanför GC-banan. En fackverksbro i stål klarar hela spannet utan mittstöd medan en konstruktion i trä kräver ett mittstöd. Ur ett miljöperspektiv är materialet trä att föredra på grund av dess låga utsläpp per volymenhet (se bilaga B, tabell B.1). Att stålkonstruktionen inte behöver mittstöd innebär dock en mindre materialåtgång för grundläggning och mindre markpåverkan vilket också är att föredra ur miljösynpunkt. Generellt är fackverk en effektiv konstruktion för att minimera materialåtgången då de ingående elementen enbart tar axiella spänningar vilket generellt ger mindre dimensioner. Detta reducerar såväl utsläpp som kostnader.

Fackverksbron produceras med prefabricerade fackverkelement både i trä och stål som monteras ihop på plats. Elementen svetsas eller fästs med skruv- eller dymlings-

förband. Grundläggningsmetoderna kommer att skilja sig mellan de olika materialen där fackverksbron av trä kräver ett mittstöd.

En fackverksbro består av många skarvar och knutpunkter som gör inspektion och underhåll av bron svår och tidskrävande. Det är därför viktigt att skarvarna utformas på ett sätt som undviker att vatten ansamlas som leder till att trä ruttnar och stålet att korroderar. Fackverk i stål kommer behöva behandlas med en zinkrik färg för att minska risken för korrosion i konstruktionen, bron behöver målas om 2 gånger under livstiden vilket medför att bron och eventuellt vägen under kan behövas stängas av delvis eller helt till följd av ommålningen. Träkonstruktion måste tvättas och målas om med jämna mellanrum och för detta koncept tillkommer ett mittstöd som måste inspekteras. En skiss av tänkta konceptet syns i figur 5.3.



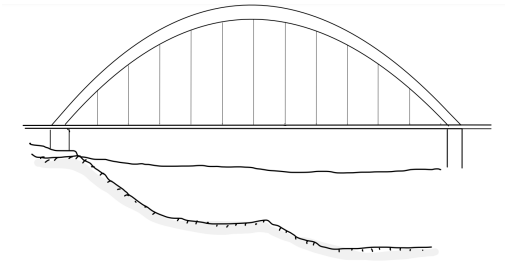
**Figur 5.3:** Skiss av en fackverksbro i stål (till vänster) respektive trä (till höger).

## 5.4 Bågbro i stål

Bågbron i stål konstrueras med en tryckbåge som spänner ovanför brobanan. De fäster i huvudbalkarna som fungerar som ett dragband vilket leder till att bron spänner upp sig själv. Den är fritt upplagd över spannet vilket gör att den kan grundläggas med ett horisontellt och vertikalt upplag vid bronns södra infästning där berg finns nära markytan medan enbart vertikalt upplag behövs vid den norra änden.

Stålproduktionen medför stora utsläpp av koldioxidekvivalenter och bron är därför inte särskilt miljövänlig (se bilaga B, tabell B.1), ifall återvunnet stål eller stål framtaget med väte istället för kol används kan utsläppen reduceras. (bilaga C, kapitel C.3.1). Produktion av en bågbro i stål sker genom mindre prefabriceras element som monteras ihop på plats med skruv- eller svetsförband. Konceptet bygger på en tryckbåge som spänns ihop längs brobanan vilket genomförs på platsen. De vertikala stagen monteras även dem på platsen. Bågen kräver transport i flera delar på grund av storleken vilket genererar svårigheter vid montage och infästning av bågen.

En bågbro i stål kräver inspektionsmöjligheter av både bågen och dragbandet. Kritiska områden blir infästningarna för de vertikala stagen. Överlag blir underhåll och inspektion på samma sätt som för fackverksbron i stål som är beskriven i avsnitt 5.3. En skiss av det tänkta konceptet syns i figur 5.4.



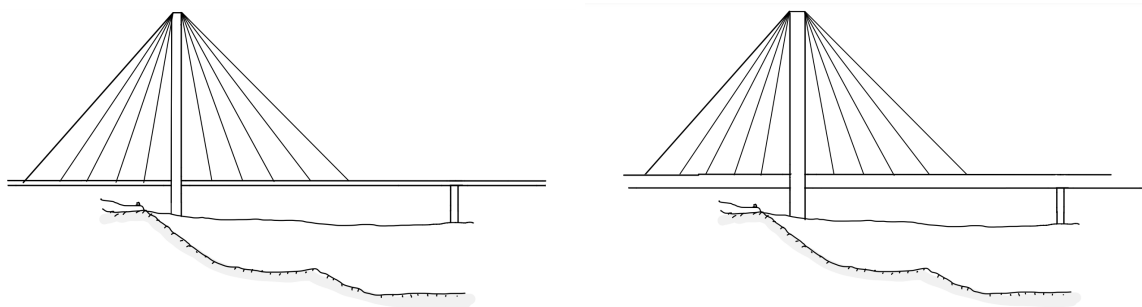
**Figur 5.4:** Skiss av en bågbro i stål.

### 5.5 Snedkabelbro i betong och stål samt trä

Bron bärs upp genom dragna kablar som förankras längs med brodäcket och för lasten upp till pylonen som bär ner den genom tryck till grunden. I båda koncepten konstrueras kablarna i stål, de förankras i berget och brobanan vid södra änden för att motverka moment i- och stabilisera pylonen. För konceptet i trä görs brobanan och pylonen i trä. För snedkabelbron i stål och betong byggs pylonen i betong och brodäcket genom samverkan mellan betong och stål (Brosamverkan, 2022). På grund av grundläggningsförhållande har ett snedkabel-koncept med en pylon designats. Konceptet innebär mindre grundläggningsarbete och därmed lägre kostnader, materialåtgång och markpåverkan.

Vid produktion av snedkabelbron med betongpelare gjuts dessa på plats med gjutformar. De prefabricerade stålelementen fästs ihop med skruv- eller svetsförband. Beroende på spännvidden kan balkarna läggas på plats med hjälp av lyftkranar alternativt lansering. För konceptet i trä fraktas prefabricerade element till platsen där montering kan ske på liknande sätt.

Utifrån ett förvaltningsperspektiv är det viktigt att utformningen på kabelförankringen görs på ett sätt så att utbyte av kablar kan utföras smidigt och säkert. Infästningarna i brobanan har god inspekterbarhet då de sitter på ovansidan av bron, dock behöver infästningarna i pylonen inspekteras på hög höjd. Infästningspunkterna blir områden som behöver extra tillsyn då smuts och vatten ansamlas lätt. En skiss av det tänkta konceptet syns i figur 5.5.



**Figur 5.5:** Skiss av en snedkabelbro i stål och betong (till vänster) respektive trä (till höger).

## 5.6 Kriterier

Nedan presenteras mer specifika urvalskriterier för de brokoncept som kvarstår. Huvudsyftet är att jämföra de brokoncept som beskrivits ovan och ta fram det brokoncept som är mest lämpligt.

1. **Ekonomi:** Att uppskatta kostnaden för att brokoncept är komplicerat eftersom priser och mängd material måste uppskattas övergripande. Standardiserade och enklare lösningar kan generellt anses billigare.
2. **Estetik:** Utformningen är viktig utifrån att den ska uppskattas av befolkningen samt passa in i omkringliggande miljö.
3. **Miljö:** Bygg- och fastighetssektorn strävar efter att nå netto-noll utsläpp vilket gör miljön till en viktig aspekt. Hänsyn till miljö tas i produktion av material och mängden underhåll.
4. **Produktionstid:** Tiden det tar för bron att produceras är betydande för projektet och kan generera i mindre kostnader.
5. **Produktionsmetod:** Vilken produktionsmetod som används är betydande för tid samt arbetsmiljö.
6. **Geoteknisk grundläggning:** Brokoncepten medför olika typer av grundläggning där vissa är enklare och bättre för platsen än andra.
7. **Underhåll/inspektionsmöjligheter:** Materialval och detaljerna styr hur mycket underhåll bron kommer att behöva samt att bron utformning kommer påverka hur lätt eller svår den är att inspektera.
8. **Beständighet:** En bros beständighet bestäms utifrån vilket materialval som väljs att använda. Både utifrån hur mycket underhåll som krävs och vilken livslängd den förväntas ha.

## 5.7 Viktning av kriterier

Nedan viktas bedömningskriterierna mot varandra, se tabell 5.1. Detta görs genom att kriterium A jämförs med kriterium B. Om kriterium A anses vara viktigare än B så får A 3 poäng medan B får 1 poäng och de får båda 2 poäng om de anses lika viktiga. Poängen som tillhör varje kriterium summeras sedan för att få en procentuell viktning som senare används för att utse det bästa broalternativet utifrån framtagna koncept.

Tabell 5.1: Viktningskriterier för urval.

Kriterium Nr		1	2	3	4	5	6	7	8	Poäng	Viktning
Ekonomi	1		1	1	3	3	2	1	1	12	10,6 %
Estetik	2	3		1	3	3	3	2	1	17	15 %
Miljö	3	3	3		3	3	3	3	2	20	17,7 %
Produktionstid	4	1	1	1		1	1	1	1	7	6,2 %
Produktionsmetod	5	1	1	1	3		2	1	1	10	8,9 %
Geoteknisk grundläggning	6	2	1	1	3	2		1	1	11	9,7 %
Underhåll/inspektion	7	3	2	1	3	3	3		1	16	14,2 %
Beständighet	8	3	3	2	3	3	3	3		20	17,7 %

## 5.8 Bedömning av brokoncept

Efter viktningen bedöms brokoncepten på en skala 1–5 (se tabell 5.2). Poängen baseras på hur väl de uppfyller de olika bedömningskriterierna och poängen innebär följande:

1. = Oacceptabelt
2. = Dåligt
3. = Okej
4. = Bra
5. = Våldigt bra

Tabell 5.2: Poängsättning av brokoncept i urvalet.

Kriterium Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	Slutbetyg
Balkbro trä	4	3	5	5	5	3	3	2	<b>3,585</b>
Samverkansbro stål och betong	3	2	3	5	4	4	2	4	3,195
Fackverksbro stål	2	3	2	3	2	4	1	4	2,618
Fackverksbro trä	3	3	5	4	3	3	2	2	3,097
Bågbro stål	1	5	1	2	1	2	1	4	2,29
Snedkabelbro betong och stål	1	5	2	1	2	4	2	3	2,653
Snedkabelbro trä och stål	1	5	4	2	3	4	1	2	2,839
Viktning [%]	10,6	15	17,7	6,2	8,9	9,7	14,2	17,7	

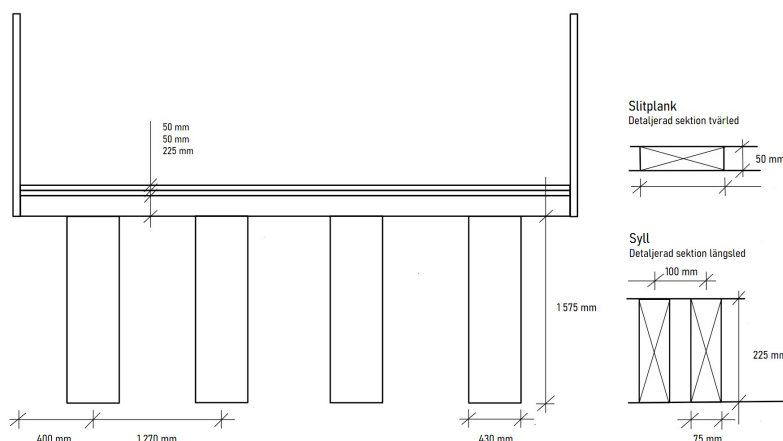
Efter viktningprocessen blev det vinnande konceptet en balkbro i trä. Den anses väldigt bra ur ett miljöperspektiv, framför allt på grund av trä som material och fördelaktig grundläggning. Utifrån produktionstid och produktionsmetod värderas den högt då den kan prefabriceras vilket innebär snabb montering och säker arbetsmiljö. Ur ett ekonomiskt perspektiv värderas bron som relativt billig, främst med tanke på den enkla konstruktionen. En träbalkbro är neutral i sitt estetiska uttryck och kan anpassas till omgivningen vid utformningen av räcke och andra detaljer. Ur ett underhålls- och inspektionsperspektiv är bron en fördel. Däremot leder materialvalet till ett mer omfattande underhållsarbete om bron ska anses vara beständig.

# 6 Framtaget brokoncept

I nedanstående kapitel beskrivs utformning och detaljer av det brokoncept som tagits fram i avsnitt 5.8. Kapitlet beskriver även hur den framtagna träbalkbron är tänkt att produceras och underhållas med hänsyn till konstruktionens utformning. Även en systemmodell presenteras som innehåller konstruktionens upplagsförhållanden för hela systemet samt brons tvärsnitt som används vid kommande beräkningar.

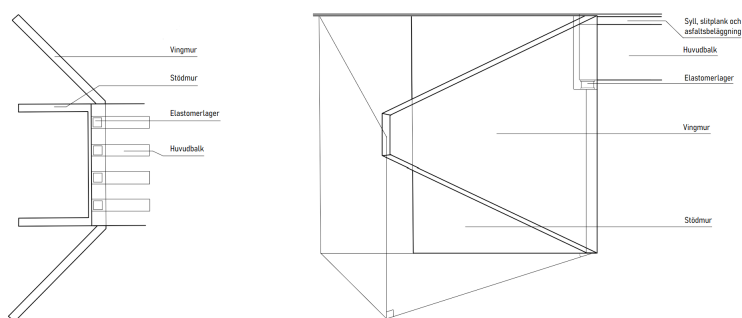
## 6.1 Konstruktion

Huvudbärverket i bron är fyra ytbehandlade limträbalkar. De dimensioneras med ett rektangulärt tvärsnitt och ovanpå placeras tvärbalkar, så kallade syllar som också dimensioneras med ett rektangulärt tvärsnitt. Dessa vilar på huvudbalkarna med en mellanliggande täckskiktsmatta. Tvärs över tvärbalkarna läggs farbanan bestående av slitplank, tätskikt och asfalt för att minska halka och ge fäste för cyklister och gående. För att förhindra att regnvatten rinner rakt av ner på vägen under, fästs hängrännor på sidan som leder undan vattnet. Konstruktionens tvärsnitt och de ingående elementens dimensioner redovisas i figur 6.1.



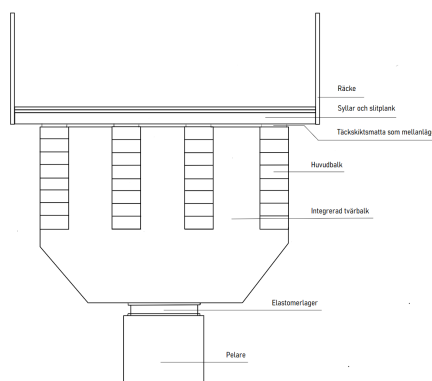
**Figur 6.1:** Tvärsnitt med mått angivna i mm.

Brons underbyggnad utgörs av en mittpelare och två ändskärmar i armerad betong som leder lasten från överbyggnaden ner till marken. Ändskärmarna konstrueras med tillhörande vingmurar som balanserar jordtrycket från slänterna bakom konstruktionen. Vingmurarna grundläggs inte separat utan bär sig själva och vilar på samma grund som resterande del av ändskärmen. Därför är vingmurens längd i det horisontella planet enligt S. Lindén begränsad till 6 m (Personlig kommunikation, 19 april 2024). Det tillsammans med en relativt hög nivåskillnad mellan vägbana och brobana, samt kravet att slänlutningen ska vara 1:1,5 eller flackare gör att konstruktionen även behöver bäras upp av en stödmur. Skiss av vingmurar och ändstöd redovisas i figur 6.2.



**Figur 6.2:** Ändskärmarnas utformning uppifrån (vänster) och från sidan (höger).

Mittpelaren konstrueras med ett cirkulärt tvärsnitt och fästs mot brobanan med en integrerad tvärbalk. Tvärbalken integreras mellan huvudbalkarna i brons tvärgående riktning, vilket både skapar ökad bärförmåga hos tvärbalken och stadgar huvudbalkarna mot att vippa. Tvärbalken sträcker sig även en bit under huvudbalkarna för att kunna bära ned stödreaktionerna från samtliga 4 balkar i pelaren, se figur 6.3. Infästningen mellan pelare och tvärbalk utgörs av ett elastomerlager, alltså en mellanliggande gummiplatta som förhindrar rörelse vertikalt med viss dämpning.



**Figur 6.3:** Utformning av pelarens infästning till brobanan.

## 6.2 Produktionsplan

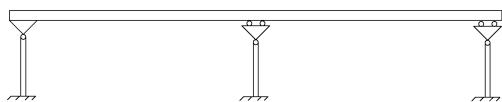
När vägen under bron är lagd kan arbetet på platsen påbörjas. Det första steget i processen är grundläggningen vid brons ändar och för mittstödet. Vid den södra änden läggs platta på packad fyllning medan det på norra sidan samt vid mittstödet krävs pålar, vilka utgörs av kalk-cement blandning. Transporter med det material och fyllning som behövs anordnas. Därefter monteras former så att mittstödet, vingmurarna och ändskärm kan gutas på plats. Under tiden färdigställs huvudbalkarna och resterande element i fabrik. På grund av begränsad transportlängd levereras huvudbalkarna i tre delar som sedan skarvas ihop på plats med dymlingsförband. Elementen lyfts på plats med lyftkran och monteras till underbyggnaden med mellanliggande lager. Slutligen läggs asfalt på bron och broräcket monteras.

### 6.3 Underhållsplan

För att maximera bronns livslängd behöver detaljer och bärverk utformas på ett sätt som underlättar för inspektioner och underhåll. Vid lager och upplag utformas omgivande ytor så att inspektion från alla sidor kan ske utan svårigheter. Överbyggnaden utformas med möjligheten att kunna lyftas för avlastning om lagren behöver bytas ut. För att skydda konstruktionen mot vatten så målas träet med en färg som behöver förnyas med 7 till 12 års intervall. Ett val som görs här är att måla istället för att tryckimpregnera då de miljövänliga fördelarna med trä blir diskutabla med impregnering även om underhållet med målning blir större (Westerlund et al., 1998). Specifikt för landfästen och pelare av betong så tvättas dessa men hela bron rengörs årligen för att avlägsna smuts. Träbroar kräver regelbundet underhåll, därför bör det göras årliga inspektioner så att akuta skador ska kunna åtgärdas, sedan görs mer grundliga inspektioner vart tredje år och en huvudinspektion var sjätte år. Huvudinspektionerna ligger till grund för att ta fram underhållsplaner för att begränsa kostnaderna för underhållet av konstruktionen men även för att bronns dimensionerade livslängd ska uppnås.

### 6.4 Systemmodell

Balkarna utformas kontinuerligt över mittstödet. Vid det södra brofästet utförs ledat upplag som föreskriver horisontal- och vertikalförskjutning, motiverat av bättre grundförhållanden jämfört med norra sidan. Ledade stöd, bestående av rullager, används vid det norra stödet och mittstödet för att tillåta horisontella rörelser samt rotation, medan de begränsar vertikala förskjutningar. Figur 6.4 presenterar en systemmodell för hela konstruktionen där stödvillkor för anslutningar mellan underbyggnad och överbyggnad specificeras. Detta möjliggör långsgående expansion för mitt- och högerstöd samtidigt som vertikal förskjutning är begränsad. Pelarna är fast förankrade i fundamenten, vilket även innebär att horisontalkrafter på överbyggnaden överförs genom moment i den vänstra pelaren. I figur 6.5 illustreras systemmodellen för bärverket i tvärsnitt. Syllarna sträcker sig kontinuerligt över fyra balkar som fungerar som stöd. För den vänstra balken fästs syllarna så att horisontella förskjutningar föreskrivs genom ledad infästning. Vid de övriga balkarna används rullager som stöd.



**Figur 6.4:** Strukturmodell för hela systemet.



**Figur 6.5:** Strukturmodell för överbyggnad i tvärsnitt.

# 7 Dimensionering

Nedan följer beskrivning av dimensionering av brons ingående element. Beräkningar har utförts med hjälp av programvaran MATLAB med det tillhörande funktionspaketet CALFEM (Austrell et al., 2004). Beräkningsgångar redovisas i bilaga E.

Element som omfattas av beräkningar är huvudsakligen huvdbalkar samt syll och slitplank. Syll och slitplank utformas i konstruktionsvirke klass C24 medan balkarna utformas i limträ klass GL30c. För framtagning av materialparametrar som påverkas av temperatur och luftfuktighet har klimatklass 3 antagits.

Varje element dimensioneras för moment- och tvärkraftskapacitet i brottsgränstillstånd och för nedböjning i bruksgränstillstånd. Moment- och tvärkraftskapaciteten bestäms utifrån hållfasthetsvärden och andra materialparametrar som finns givna för trärelementens virkesklasser. Nedböjningen dimensioneras utifrån trafikverkets krav om att inte överstiga  $L/400$  (Trafikverket, 2019).

## 7.1 Laster

Bron dimensioneras enligt de laststandarder som specificeras i Eurocode. (Svenska institutet för standarder, 2007). De tre lasterna som behandlas är:

- Nyttiglast
- Egentyngd
- Last från servicefordon

Nyttiglasten från GC-trafiken uppgår till  $5 \text{ kN/m}^2$  och fördelas jämnt över aktuell del av broarean med hänsyn till varje lastfall. Egenvikten beräknas genom att ta hänsyn till materialets volym och densitet. För limträ av typen GL30c antas en medeldensitet på  $430 \text{ kg/m}^3$  (Träguiden, 2015b), medan densiteten för konstruktionsvirke C24 antas vara  $420 \text{ kg/m}^3$  (AL-Emrani et al., 2019). Förutom vikten från trästommen inkluderas även vikten från räcken och asfaltsbeläggningen i egenvikten för bron. Tyngden för räcket antas vara  $0,5 \text{ kN/m}$  och  $420 \text{ kN/m}^3$  för asfaltsbeläggningen (Trafikverket, 2019). I vissa lastfall ingår även lasten från ett servicefordon, bestående av två hjulaxellaster på  $80 \text{ kN}$  respektive  $40 \text{ kN}$ , vilka placeras längsledes med 3 meters axelavstånd och vardera delas upp i två däcklaster med 1,3 meters centrumavstånd i tvärled. Kontaktytan mellan däck och brobana uppgår till 0,2 gånger 0,2 m för vart och ett av fordonets fyra däck (Svenska institutet för standarder, 2007).

## 7.2 Syll och slitplank

Slitplanket ligger i brons längsriktning och utgör en yta att lägga asfalten på. Slitplanket dimensioneras ej då den faktiska spännvidden mellan syllarna är liten

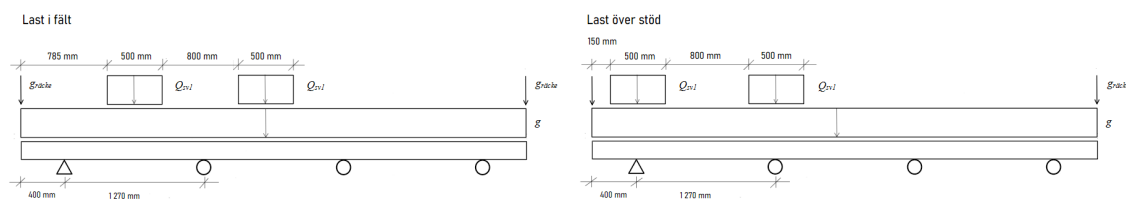
(100 mm enligt avsnitt 7.2.1) vilket gör att lasten istället kommer föras direkt ner i syllarna. Därav väljs istället en dimension som använts vid en tidigare brodimensionering där tjockleken på planket valdes till  $h_{plank} = 50$  mm (Träguiden, 2019). Plankets bredd behandlas vid beräkning som en 4,6 m bred enhet (brons bredd), men vid produktion anses 170 mm breda brädor vara lämpliga.

Syllarna ligger tvärs huvudbalkarna med fiberriktningen i brons tvärled och fördelar lasten från slitplanket ner till huvudbalkarna. De fyller även en viktig funktion i att stadga konstruktionen mot vippning, men även genom att skapa styvhet i horisontalled vilket ökar kapacitet mot laster i den ledden, såsom vindlast.

### 7.2.1 Lastfall

Syllarna belastas av de utbredda lasternas egentyngd, nyttig last och servicefordonets tyngd samt staketets tyngd. Staketet avses ha en infästning i syllan varje meter och lasten förblir därför 0,5 kN, vilken verkar som punktlast i syllarnas ändar. Syllan anses vara mest kritiskt belastad då den belastas av servicefordonet, egentyngheten och staketet, under antagandet att den nyttiga lasten inte verkar samtidigt på samma syll som servicefordonet. Mest kritiska hjullasten från servicefordonet är  $80 \text{ kN}/2 = 40 \text{ kN}/\text{hjul}$ . Med hänsyn till en lastspridning på 1:1 till syllens centrum så antas lasten dela upp sig på 4 syllar  $40 \text{ kN}/\text{hjul}/4 = 10 \text{ kN}/(\text{hjul} \cdot \text{syll})$ , se lastspridningen i figur E.1 i bilaga E.1 (Träguiden, 2019). Här antas initiala referenshöjderna 200 mm och 50 mm för syll respektive plank. Så länge dessa inte underskrids i de slutliga dimensionerna är antagandet konservativt. För att uppnå denna lastfördelning valdes ett cc-mått mellan syllarna till 100 mm.

I brons tvärled (syllarnas längsled) appliceras egentyngd och två stycken av ovan nämnda hjullaster. Precis som i brons längsled tas hänsyn till en lastspridning på 1:1 ner till syllens centrum, vilket ger hjullasten en utbredning på 500 mm istället för däckbredden 200 mm, se figur E.9. I analysen av syllarnas kapacitet utreds två lastfall som anses vara de mest kritiska; att hjullasterna placeras över stöd eller i fält, se figur 7.1. I det förstnämnda sätts lastens ytterkant 0.15 m från syllens ytterkant enligt VGU (Trafikverket, 2021b).



**Figur 7.1:** Lastfall i tvärled där  $g$  är egentyngd och  $Q_{sv}$  är hjultrycket där dess utbredning är satt med hänsyn till lastspridningen i syllan.

I brottgränstillstånd sätts hjullasten till variabel huvudlast vilket ger en uppskalningsfaktor på 1.5 och egentyngd till permanent last som ger faktor 1.35 (AL-Emrani

et al., 2019). I bruksgränstillstånd används quasi-permanent lastkombination där egentygnd sätts till dess karakteristiska värde och variabla lasten (servicefordonet på 10 kN enligt ovan) skalas ner med  $\psi_2 = 0.6$ . Eftersom beräkningarna i bruksgränstillstånd avser att ta hänsyn till långtidseffekter, beaktas på så sätt de variabla lasternas variation i intensitet över tid.

## 7.2.2 Kontroll av bärförmåga och nedböjning

I brottgräns tas dimensioner på syllan fram för att uppnå tillräcklig moment- och tvärkraftskapacitet utifrån belastningen, vilket redovisas i tabell 7.1. Detta resulterar i  $h_{syll} = 226$  mm och  $b_{syll} = 75$  mm. Tvärkraften blir dimensionerande och utnyttjandegraden för den är med marginal större än för momentet. I bruksgräns kontrolleras nedböjningen mot trafikverkets krav ( $L/400$ ) såväl i syllens ytterkonsol som i fält och resultatet ses i tabell 7.2. Kontrollen inkluderar långtidseffekter genom att superponera de olika lasternas bidrag till nedböjningen. Långtidseffekterna beaktas genom att skala upp nedböjningen med en faktor  $k_{def} = 2$  (AL-Emrani et al., 2014). Se bilaga E.1 för beräkningar.

**Tabell 7.1:** Resulteraande moment och tvärkraft samt kapacitet och utnyttjandegrad för syllarna.

Lastfall	$M_{ed,max}$ [kNm]	$V_{ed,max}$ [kN]	$M_{rd}$ [kNm]	$V_{rd}$ [kN]	$\frac{M_{ed,max}}{M_{rd}}$ [%]	$\frac{V_{ed,max}}{V_{rd}}$ [%]
Över stöd	1.1	8.1	10.7	10.2	10.3	79.5
I fält	3.1	10.0	10.7	10.2	28.9	98.1

**Tabell 7.2:** Slutlig nedböjning och tillåten nedböjning i konsol och fält för syllarna.

Lastfall	$w_{fin.fält}$ [mm]	$w_{tillåten.fält}$ [mm]	$w_{fin.konsol}$ [mm]	$w_{tillåten.konsol}$ [mm]
Över stöd	0.075	3.2	0.18	1
I fält	0.5	3.2	0.5	1

## 7.3 Huvudbalkar

Konstruktionen bär lasterna över brospannet i längsled genom huvudbalkarna. Balkarna är dimensionerade och framtagna i standarddimensioner för att minska kostnader kopplade till transport och produktion (Träguiden, 2018).

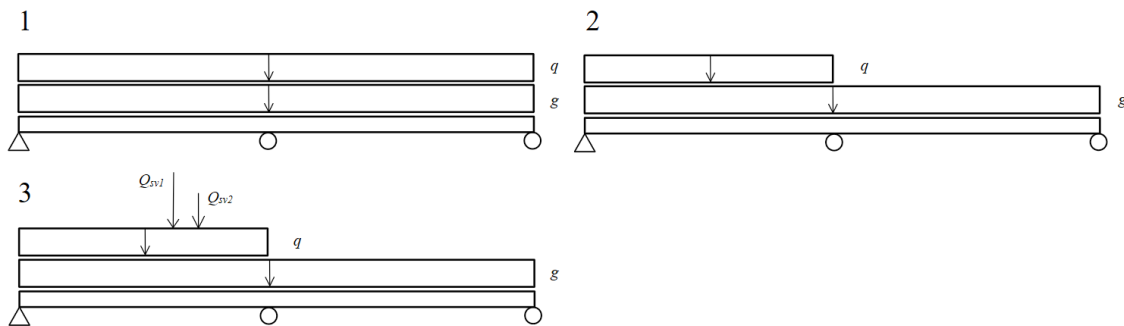
### 7.3.1 Lastfall

Huvudbalkarna dimensioneras utifrån konstruktionens egentygnd, nyttiglast samt två punktlaster från ett servicefordons axellast. Nyttiglast och egentygnd från övre konstruktionsdelar (Vägbeläggning, staket, slitplank och syllar) belastar balkarna genom reaktionskrafter från syllarna medan balkarnas egentygnd breder ut sig konstant över båda spannen. I dimensioneringen betraktas dock både hela egentygnden

och nyttiglasten som jämnt utbredda laster. Då syllarna breder ut sig kontinuerligt över balkarna och dess centrumavstånd är litet antas en sådan approximation vara god nog.

Vid dimensionering beaktas tre lastfall, vilka finns redovisade i figur 7.2. I lastfall 1 är nyttiglasten jämnt utbredd över båda spannen medan den endast är jämnt utbredd i vänster spann i lastfall 2. Det tredje lastfallet liknar lastfall 2, men belastas även av de två punktlasterna från servicefordonet, också placerade i det vänstra facket. I verkligheten verkar aldrig lasten från servicefordonet och den nyttiga lasten på samma yta samtidigt, men för att inte tvingas stänga av bron helt under service görs ett konservativt antagande om att båda lasterna uppträder i samma fack samtidigt. Avståndet mellan servicefordonet och ytterstöd itereras fram till tre olika lägen där fältmoment, stödmoment och tvärkraft maximeras. Egentyngden betraktas jämnt utbredd över hela bron i samtliga lastfall.

Lasterna skalas sedan om på liknade sätt med samma faktorer som i avsnitt 7.2.1. I brottsgränstillstånd betraktas nyttiglasten och lasten från servicefordonet som fria variabla huvudlaster i de lastfall endast en av dem uppträder. I lastfall 3, där både last från servicefordon och nyttiglast existerar samtidigt, betraktas istället endast lasten från servicefordonet som huvudlast. Nyttiglasten reduceras då enligt Al-Emrani et al. (2019) med en faktor  $\psi_0 = 0.7$  medan lasten från servicefordonet fortsatt skalas upp med faktorn 1,5. I bruksgränstillstånd sätts egentyngden även här till dess krakteristiska värde medan samtliga variabla laster skalas ner med faktorn  $\psi_2 = 0.6$ .



**Figur 7.2:** Lastfall i längsled, där  $g$  är egentyngd,  $q$  är nyttiglast och  $Q_{sv}$  är punktlast från servicefordon.

### 7.3.2 Kontroll av bärförmåga och nedböjning

Beräkningar som ligger till grund för huvudbalkarnas utformning redovisas i bilaga E.2 och erhållna resultat från beräkningarna presenteras i tabell 7.3, 7.4 och 7.5. I brottsgränstillstånd kontrolleras det antagna tvärsnittets moment- och tvärkraftskapacitet mot dimensionerade lasteffekt från samtliga lastfall. Här blir utnyttjandegraden för det slutgiltiga tvärsnittet oavsett lastfall relativt låg, se tabell 7.4. I bruksgränstillstånd kontrolleras nedböjning med hänsyn till långtidseffekter på samma sätt som i avsnitt 7.2.2. Detta görs för de tre lastfallen och i lastfall 3 antas störst

nedböjning orsakas i det fall servicefordonets placering ger maximalt fältmoment. Därav genomförs kontroll endast för den placeringen. För huvudbalkarna blir nedböjningen dimensionerande och ger balkhöjden  $h_{balk} = 1575$  mm och balkbredden  $b_{balk} = 430$  mm.

**Tabell 7.3:** Momentkapacitet och tvärkraftskapacitet samt maximal tillåten nedböjning för huvudbalkarna.

	$M_{Rd}$ [kNm]	$V_{Rd}$ [kN]	$w_{max}$ [m]
Kapacitet/krav	11 948	2372	0.0625

**Tabell 7.4:** Dimensionerande lasteffekt och utnyttjandegrad för varje lastfall för huvudbalkarna.

	$M_{Ed}$ [MNm]	$V_{Ed}$ [kN]	$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$ [%]	$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$ [%]
Lastfall 1	4 660	932	39,0	39,3
Lastfall 2	3 313	878	27,7	37,0
Lastfall 3 max fältmoment	2 997	718	25,1	30,3
Lastfall 3 max stödmoment	3 021	741	25,3	31,2
Lastfall 3 max tvärkraft	2 763	790	23,1	33,3

**Tabell 7.5:** Initiell och slutgiltig nedböjning samt utnyttjandegrad för varje lastfall.

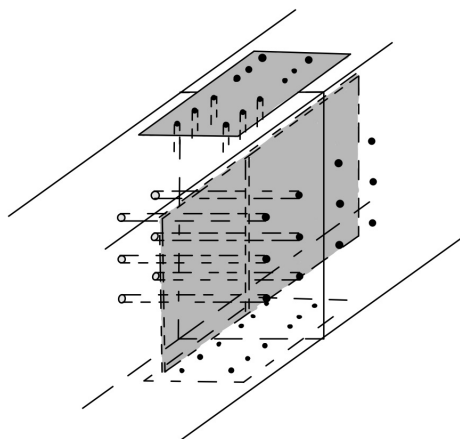
	$w_{inst}$ [mm]	$w_{fin}$ [mm]	$\frac{w_{fin}}{w_{max}}$ [%]
Lastfall 1	8.3	21.2	33,9
Lastfall 2	13.3	32.1	51,4
Lastfall 3	24.6	59.3	95,0

### 7.3.3 Dimensionering av förband

Utöver kontrollerna ovan utförs även en dimensionering och utplacering av förband. Förbanden placeras i varje spann symmetriskt kring mittstödet, på ett avstånd där maximalt moment med hänsyn till alla lastfall är minimalt, se bilaga E.2.

Dimensioneringen av förbandet sker enligt Johansens ekvationer (AL-Emrani et al., 2014). Förbandet är utformat med en inslitslad plåt som tar upp tvärkrafter från de dimensionerande lasterna i skarven samt ovanliggande och underliggande plåt som tar upp skarvmoment från lasterna och även det moment som skapas av tvärkraftens excentricitet. Den inslitsade plåtens tjocklek är 10mm och har totalt 12 genomgående dymlingar med diameter 18 mm. Den ovanliggande och underliggande plåten har en tjocklek på 10mm och har också totalt 12 st dymlingar med diameter 16 mm och med en längd på 100mm. Både den inslitsade och de över/underliggande plåtarna har 6 dymlingar på var sida om skarven, vilket illustreras i Figur 7.3. Avstånd mellan dymlingar och kantavstånd mellan plåt och dymlingar har följts enligt Eurocode

som redovisas i bilaga E.2.13 och antalet dymlingar har tagits fram genom en iterativ process. Vidare i bilaga E.2.13 redovisas även beräkning av skarvförbandens kapaciteter.



**Figur 7.3:** Förbandets utformning från balk till balk vid skarv.

## 7.4 Upplagstryck

Vid upplag mellan balkar och pelare samt mellan balkar och syll uppstår ett lokalt tryck vinkelrät träfibrerna som behöver kontrolleras. Detta görs i brottgränstillstånd, varav samma lastkombinationer används som i avsnitt 7.2.1. Trycket beräknas sedan genom metoden beskriven av Al-Emrani et al. i avsnitt T6.1.3 (2014) som går ut på att en större kontaktyta,  $A_{ef}$ , tillgodoräknas beroende på lastsituation. Kontroller har gjorts i bilaga E.3 vid följande situationer:

1. Upplagstryck på balk från mittpelare
2. Upplagstryck på balk från ytterpelare
3. Upplagstryck på balk från syll
4. Upplagstryck på syll från balk

I situation ett och två gavs totala tryckkraften som maximala upplagskraften på huvudbalkarna beräknade i bilaga E.2 utifrån de olika lastfallen beskrivna i avsnitt 7.3.1. Tryckkraften dividerades sedan med fyra då alla balkar samverkar vid upplagstrycket. Eftersom syllarna har ett litet cc-mått på 100 mm så sågs balkarna ligga mot ett kontinuerligt upplag med belastning från pelarna. Utifrån kapaciteten mot upplagstryck för balkarna kunde erforderliga dimensioner på tvärbalken vid pelare (se figur 6.3) tas fram, vilka redovisas i tabell 7.6.

**Tabell 7.6:** Resultat på erforderliga dimensioner på upplag för att klara upplagsstrycket där  $b_{stöd}$  är längden på upplaget i balkarnas längsled medan  $d_{stöd}$  är måttet i tvärlid vilket sätts till samma som bredden på balkarna (430 mm).

Stöd	$b_{stöd}$ [mm]	$d_{stöd}$ [mm]
Mittstöd	520	430
Ytterstöd	190	430

I situation tre och fyra gjordes endast en kontroll av kapacitet. Tryckkraften gavs som maximala upplagskraften på den mest belastade syllen från dimensioneringen av syllarna (bilaga E.1). Vid situation tre kontrollerades fallet med minsta möjliga  $A_{ef}$  vilket uppstår nära mittstöd (se figur E.55). Dessutom görs ett konservativt antagande att all tryckkraft antas bäras av en balk. Situation fyra kontrollerades vid ytterbalken då det innebär att avståndet "a" är som minst, vilket kan resultera i minskad  $A_{ef}$ , se figur E.54. Resultatet för situation tre och fyra blev att både syll och huvudbalkarna klarar upplagsstrycket.

## 7.5 Slutgiltiga dimensioner

Efter genomförda beräkningar på moment- och tvärkraftskapacitet samt kontroll av nedböjning och upplagsstryck ges mått som uppfyller kraven. De slutgiltiga tvärsnitts dimensionerna sammanställs i nedanstående tabell 7.7. Limträbalkar tillverkas som bredast 215 mm, så här antas två sådana balkar limmas ihop till en (AL-Emrani et al., 2019).

**Tabell 7.7:** Tvärsnittens slutgiltiga dimensioner

	Balk [mm]	Syll [mm]	Slitplank [mm]
Höjd	1575	225	50
Bredd	430	75	170

## 7.6 Beräkningsavgränsningar

För att färdigställa bron krävs ytterligare beräkningar, som inte genomförts i detta projekt. Dimensionering av underbyggnaden, det vill säga pelare och ändstöd, har inte omfattats av några beräkningar och måste båda kontrolleras för knäckning till följd av de vertikala lasterna från brobanan. Pelaren behöver även dimensioneras för påkörningslast och underbyggnaden vid ändstöd, som utformas med vingmur och stödmur, måste dimensioneras för jordtryck. Vid infästning mellan pelare och brobana bärs lasterna från balkarna ned till pelarens topp via en tvärbalk, som således, precis som huvudbalkarna, måste dimensioneras för både moment och tvärkraft i brons tvärgående riktning.

En del av överbyggnaden som inte heller dimensionerats är räcket, vilket måste kontrolleras med hänsyn till såväl vindlast som påkörningslast från cykeltrafik.

Huvudbalkarna har inte heller dimensionerats för vindlast, vilket modelleras som en horisontell last jämnt utbredd på balkarna från sidan. En kontroll är antagligen nödvändig då balkarna är relativt höga och smala, vilket gör böjmotståndet litet i horisontalled. Dessutom behövs extra kontroll för last i två riktningar göras för trä genom en interaktion (AL-Emrani et al., 2014). Då vindlasten verkar i horisontalled och de övriga lasterna i vertikalled så kan dimensioner på balkar behövas att ökas trots att de enskilt klarar lasterna i horisontal- och vertikalled. Balkarna antas även vara stadgade mot vippning, dels tack vare tvärgående syllar, dels på grund av tvärbalkar vid upplag. Någon kontroll av av syllarna och tvärbalkarnas stadgande effekt har dessvärre inte gjorts. Vid en sådan kontroll skulle även dimensionering av eventuella extra tvärbalkar kunna komma att bli aktuell.

## 8 Diskussion

Information och riktlinjer har sammanställts från källor givna av handledare och utifrån branschens normer, Svensk Standard och trafikverket. Föreläsningar och personlig kommunikation har också använts som inspiration till arbetet. Information har samlats från personer som är erkänt kunniga och som har goda erfarenheter inom området vilket därför gör dem trovärdiga.

Utifrån underlaget givet av COWI gjordes antaganden kring hur berggrunden och markens profil förväntas se ut. Då begränsad information och krav från beställare gavs, sattes egna önskemål för att ha en prioritering att förhålla sig till för urvalen av brokoncepten. Önskemålen arbetades fram av gruppen och grundas på författarnas preferenser kring vad som ansågs viktigt och var fokuset skulle läggas. Vidare gjordes litteratursökning för att öka förståelsen kring brotypernas utformning samt i vilka sammanhang de lämpar sig. På grund av att det finns ett stort antal material- och brokombinationer har begränsningar gjorts. Det kan därmed finnas lämpliga koncept som inte utvärderats.

Efter att information kring material och brotyper tagits fram gjordes ett grovt första urval där tillvägagångssättet går att diskuteras. Bedömningskriterierna var ”uppfyller ej krav”, ”uppfyller krav” och ”uppfyller krav väl”. I efterhand har vi kommit fram till att ett urval som enbart byggt på ”uppfyller ej krav” eller ”uppfyller krav” skulle varit ett mer passande för en första sortering. Det hade resulterat i att vissa kriterier hade förändrats, exempelvis hade estetik tagits bort då det är ett subjektivt kriterium.

Vid framtagningen av koncepten gjordes antaganden och beslut togs utifrån författarnas kunskaper och erfarenheter som kan ha påverkat utformningen. Urvalet görs utifrån egna framtagna kriterier där exempelvis estetik kan anses subjektiv. I poängsättningen dras slutsatser utifrån våra kunskaper gällande konstruktionslösningarna, produktionsmetoden och underhållet. Poängsättningen sker genom en öppen poängsättning för att möjliggöra diskussion och resonemang i bedömningen. Om urvalsprocessen skulle göras om idag hade kanske resultatet sett annorlunda ut då våra kunskaper har fördjupats under arbetets gång.

Från dimensioneringen som utfördes erhålls en bro som klarar laster enligt beräkningsstandarder från Eurocode. Däremot är den erhållna utnyttjandegraden emellanåt väldigt låg medan den i andra fall är väldigt nära 1. En mer noggran optimering hade antagligen resulterat i en jämnare högre utnyttjandegrad.

För syllen och slitplanket blir tvärkraften dimensionerande med stor marginal gentemot momentet. I kombination med ett litet cc-mått ifrågasätts huruvida valet av att använda syll och slitplank verkligen var ett bra tillvägagångssätt. Istället skulle alternativa lösningar såsom tvärspädd platta analyserats vars egenskap att kunna fördela laster i två riktningar hade lett till reducerad tvärkraft och på så sätt minskade dimensioner och bättre materialoptimering.

För huvudbalkarna blir nedböjningen dimensionerande och ger väldigt höga och ganska breda balkar medan moment- och tvärkraftskapaciteten utnyttjas till mindre än hälften. En högre hållfasthetsklass av limträ hade med sin ökade elasticitetsmodul kunnat klara nedböjningen med ett mindre tvärsnitt, vilket i sin tur hade gett en jämnare utnyttjandegrad och mindre materialåtgång. Då spannet är bland de längre som vanligtvis byggs med träbalkbroar, kan det även vara rimligt att använda trä med en hög hållfasthetsklass.

Även en del förenklingar har gjorts i beräkningarna då detta arbete endast behandlat den preliminära dimensioneringen. Vindlast och risk för vippning har inte beräknats för överbyggnaden. Det är förenklingar som kan innebära en viss osäkerhet i utformningen av det slutliga konceptet. En beräkning av vindlast hade antagligen resulterat i ett behov av snedstag mellan huvudbalkarna för att balkarna ska klara böjning kring den vertikala axeln. Även den uteblivna kontrollen för vippning hade kunnat resultera i behov av extra tvärbalkar. I båda fallen ger detta en extra egentyngd som inte beaktats i beräkningarna, vilket hade kunnat orsaka ett behov av större dimensioner på huvudbalkarna. Tyngden bör däremot inte påverka mer än den minsta marginal som erhöles vid dimensionering av huvudbalkarna.

## 9 Slutsats

Syftet med arbetet var att ta fram en gång och cykelbro över väg 259, tvärförbindelse Södertörn. Brokonceptet skulle anpassas till given förslagshandling, till rådande standarder samt egna uppsatta kriterier. Hänsyn skulle tas till produktion och förvaltning samt att en preliminär dimensionering skulle genomföras av det valda brokonceptet.

Genom olika kriterier och urvalprocesser kom arbetets första del fram till 7 olika brokoncept. De olika koncepten hade med olika fördelar kunnat utformats och byggas på den aktuella platsen

Efter sammanställningen av förutsättningar och med hänsyn till tidigare nämnda aspekter ansågs en balkbro i limträ med en mittpelare i betong som ett bra alternativ för platsen. Detta utifrån att grundläggningen gynnas av den lätta egenvikt hos trä samt att konstruktionen underlättar både produktion och förvaltning av bron. Gruppen valde att prioritera miljö högt vid utvärdering av koncepten vilket också ligger till grund för beslutet. Balkbron i trä anses också vara estetiskt tilltalande där räckdesignen kan påverka uttrycket.

Utifrån de preliminära beräkningarna som utförts anses de framtagna konceptet vara lämpligt för de lastfall som kontrollerats och i den mån beräkningarna genomförts. För att maximera utnyttjandegraden och minimera materialanvändningen skulle fler beräkningar behöva göras på alternativa lösningar för att utreda optimeringsmöjligheter.

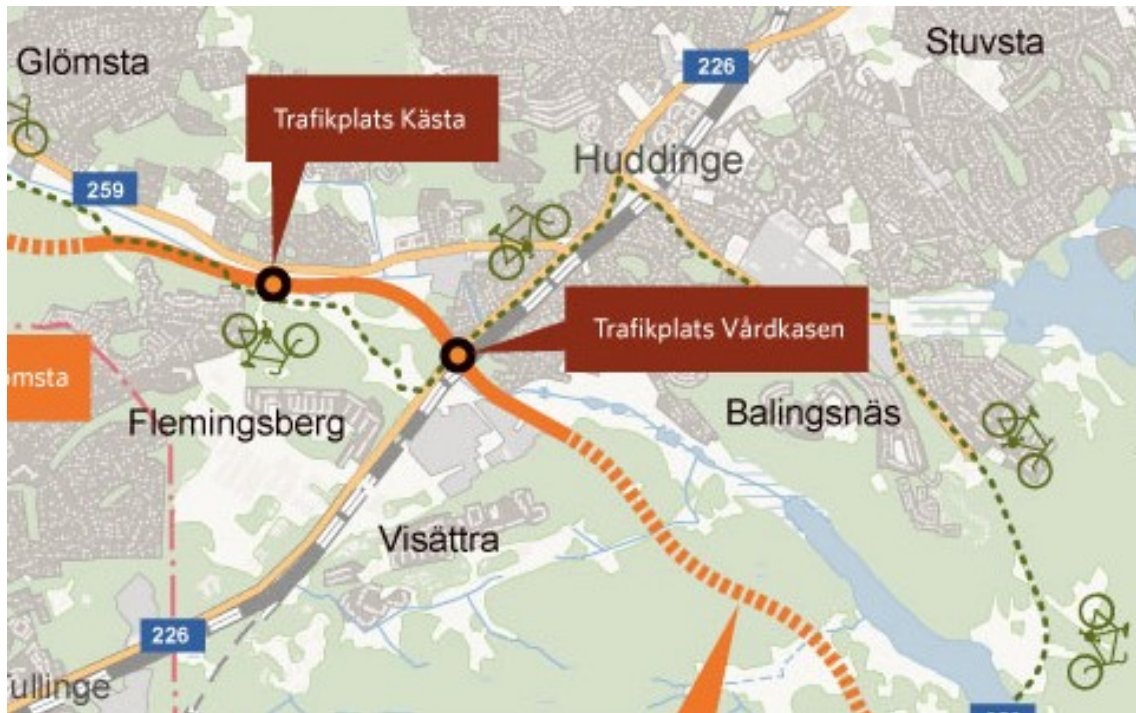
# Litteraturförteckning

- AL-Emrani, M., B, J., Johansson, M., and Johansson, P. (2014). *Bärande konstruktioner del 2*. Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Avdelning för konstruktionsteknik. Göteborg: Chalmers Reproservice.
- AL-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., and Johansson, P. (2019). *Bärande konstruktioner del 1*. Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Avdelning för konstruktionsteknik. Göteborg: Chalmers Reproservice.
- Austrell, P.-E., Dahlbom O, B., Lindeman, J., Olsson, A., Olsson, K.-G., Persson, K., Petersson, H., Ristinmaa, M., Sandberg, G., and Wernberg, P.-A. (2004). *Calfem - A finite element toolbox*. Structural Mechanics, LTH, Sweden.
- Boverket (2020). Hållbart byggande och förvaltning.
- Boverket (2023a). Förhållningsätt till global utveckling.
- Boverket (2023b). Om Boverkets klimatdatabas.
- Boverket (2024a). Balkar B, förspänd, klimatförbättrad .
- Boverket (2024b). Byggsektorns utsläpp av växthusgaser ökar.
- Boverket (2024c). Konstruktionsstål, alla sorter, 80 % primär råvara (exkl. objektanpassningar).
- Boverket (2024d). Limträ, u 12 %, gran.
- Brosamverkan (2022). *Broprojekteringshandboken utgåva 1*.
- Globala målen (u.å.). Om globala målen.
- kth (2021). Byggande i betong.
- Lebet, J.-P. and Hirt, M. A. (2013). Steel bridges, Conceptual and structural design of steel and steel-concrete composite bridges. Technical report.
- Maxstadh, P. (2018). Förvaltning, en övergripande brohandledning.
- Nilsson, K. (2012). *Reparation och underhåll ur ett livscykelperspektiv*. PhD thesis, Samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå.
- Pousette, A., F, and Fjellström, P. (2004). Broinspektion - träbroar. Technical report, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.
- Reuterswärd, P. (2011). Optimal skötsel av stålbroar.
- SSAB (u.å.a). COR-TEN.
- SSAB (u.å.b). Fossilfritt stål.
- Svensk Betong (u.å.). Produktion.
- Svenska institutet för standarder (2007). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*.
- The-Constructor (2024). Prestressed Concrete- Advantages and Disadvantages.
- TL Steelstructures (2022). Underhåll av stålkonstruktioner.
- Trafikverket (2014). *Batman - Kodförteckning och beskrivning av brotyper*.
- Trafikverket (2019). Krav brobyggande. Technical report.
- Trafikverket (2021a). Bro och broliknande konstruktion, Allmänna Krav. Technical report.
- Trafikverket (2021b). Krav – VGU, Begrepp och grundvärden.
- Trafikverket (2024a). Väg 259, Tvärförbindelse Södertörn. Technical report.
- Trafikverket (2024b). Väg 259 Tvärförbindelse Södertörn.
- Träguiden (2015a). Bågbroar.
- Träguiden (2015b). Hållfasthetsklasser för limträ. Technical report, Svenskt trä.

- Träguiden (2015c). Plattbroar.
- Träguiden (2015d). Tillverkning transport och montering.
- Träguiden (2018). Dimensioner.
- TräGuiden (2018). Tillfälliga konstruktioner.
- Träguiden (2019). Balkbro för gång- och cykeltrafik samt servicefordon. Technical report, Svenskt trä.
- Westerlund, L., Abellsson, B., and Båge, P. (1998). Träbroar: ett alternativ till stål och betong.







**Figur A.2:** Karta som visar den geografiska positionen av trafikplatsen där bron ska byggas

# B Hållbar utveckling

FNs globala mål är aktuella i dagens samhälle och arbetet mot hållbar utveckling där Sverige ligger i framkant inom många områden (Globala målen, uå).

## B.0.1 Social hållbarhet

Den sociala hållbarheten inom samhällsbyggnad handlar om att skapa ett tryggt, rättvist och inkluderande samhälle (Boverket, 2020).

Genom att göra en GC-bro över den planerade vägen skapas möjligheter för människors frihet. En cykel och gångpassage som inte begränsas av biltrafik skapar trygghet för de oskyddade trafikanterna samtidigt som vägtrafiken också gynnas. Brokonstruktionens estetiska utformning kan ge ett uttryck som bidrar till en gemenskap, skapar en diskussion eller någonting som människor kan enas kring och vara stolta över. Dessutom passerar GC-bron ett stråk där många människor dagligen kommer att passera vilket ger möjlighet att med materialval och utformning skapa något intressant.

## B.0.2 Ekonomisk hållbarhet

Inom byggsektorn ligger stort fokus på den ekonomiska hållbarheten och det är inte sällan som det billigaste konceptet väljs till den slutgiltiga konstruktionen (Boverket, 2020). Ekonomin kommer i slutändan vara en faktor som i verkligheten styr mycket av projektet.

Ekonomisk hållbarhet måste ses över hela konstruktionens livslängd och utifrån detta kan ett projekt anses som ekonomiskt försvarbart eller inte (Boverket, 2020). Detta innefattar alltså kostnaderna för bland annat material, produktion, arbetstid, underhåll och livslängd. Billiga lösningar i byggskedet kan komma att leda till stora kostnader vid underhållning eller renovering av konstruktionen vilket måste beaktas. Ekonomisk hållbarhet kan även syfta till att sträva mot en cirkulär ekonomi samt värdesättas i att gynna lokala företag och organisationer.

## B.0.3 Ekologisk hållbarhet

Den ekologiska hållbarheten syftar till att minimera markanvändningen och påverkan på platsen (Boverket, 2023a). Detta bör beaktas vid val av grundläggning och produktionsmetod. Utifrån de givna projektets förutsättningar och eftersom annan byggnation kommer att ske i samband med brobygget, innebär detta inget avgörande avtryck på omkringliggande mark men beroende på projekt kan detta variera.

Ekologisk hållbarhet inom byggsektorn handlar i stort om att minska energianvändning, mark och naturresurser vilket ställer krav på konstruktionens utformning, grundläggning, transport, produktion och materialval (Boverket, 2020). Detta

**Tabell B.1:** Klimatdata för betong, klimatförbättrad betong, konstruktionsstål och limträ (Boverket, 2023b).

	Balkar Betong, förspänd	Balkar Betong, förspänd, klimatförbättrad	Konstruktionsstål, alla sorter, 80% primär råvara	Limträ, u 12%, gran
$\left[ \frac{kg CO_2}{m^2 material} \right]$	684	540	26 615	76
$\left[ \frac{kg CO_2}{kg material} \right]$	0.285	0.225	3.39	0.176

kan göras genom att se byggnationen ur ett livscykelperspektiv samt anpassa konstruktionen till klimatet och platsens förutsättningar. Vilket kan uppnås genom att minska transporter, använda lokala material, spara naturresurser, minska materialvändningen och maximera materialutnyttjandet i konstruktionen.

Byggsektorn står idag för stor del av Sveriges utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2024b). Positiva trender inom byggsektorn är när det gäller utsläppen av växthusgaser och kväveoxider. Däremot kan en ökning i utsläpp av partiklar och miljö- och hälsofarliga ämnen noteras samt även en ökning av energianvändning. Exempel på hållbarhetsfokus inom olika material är forskningen inom miljövänlig betong samt produktionen av fossilfritt stål. I tabell B.1 sammanställs materialens klimatdata utifrån  $CO_2$ -utsläpp. Dessa har sammanställts av data från produktionen, transport samt byggspill (Boverket, 2023b).

Transporten beräknas utifrån en sträcka med lastbil på 400 km för trä och betong samt 1000 km för stål. Betongen är prefabricerad i fabrik med kontrollerade förhållanden och den klimatförbättrade betongen utgår från värden på vanliga betongrecept som används på marknaden idag (Boverket, 2024a). Klimatpåverkan för betongspill motsvarar 0 kg  $CO_2$  ekvivalenter utifrån produktionsmetoden med prefabricerade element. Detta skiljer sig för platsgjuten betong, men detta har ej beaktats i tabellen ovan. Återvunnet stål kan reducera energiåtgången under produktionen med 60-90% men begränsningen landar i tillgängligheten av metallskrot på marknaden (Boverket, 2024c). Stålets klimatpåverkan är baserat på konstruktionsstål med 20% skrotbaserat stål och är ett genomsnitt av konstruktionsstålen på marknaden idag. För limträ baseras klimatdata utifrån värden av de största producenterna på den svenska marknaden (Boverket, 2024d).

# C Material

I denna bilaga beskrivs de olika materialen mer ingående samt vilka produktionsmöjligheter som finns för vardera material och hur dessa förvaltas.

## C.1 Betong

### C.1.1 Beställare och konstruktion

Betongens främsta egenskap är dess höga hållfasthet i tryck med, beroende på hållfasthetsklass, en karakteristisk tryckhållfasthet,  $f_{ck}$  mellan 12 och 90 MPa (AL-Emrani et al., 2019). Materialets främsta nackdel är dess låga hållfasthet i drag,  $f_{ctm}$  vilken varierar mellan 1.6 och 5 MPa. Detta medför att betong är ett effektivt material för att bära i tryck men på grund av dess låga draghållfasthet har det utvecklats varianter av betong vilka förklaras nedan.

#### C.1.1.1 Armerad betong

Armerad betong kompenserar för betongens låga draghållfasthet. Detta görs genom att lägga in armeringsstänger av stål vid den dragna sidan av betongen vilket gör att konstruktionsdelens dragande krafter tas upp av armeringen medan tryckkrafterna tas upp av betongen. Armerad betong kan förekomma i flera varianter:

**C.1.1.1.1 Förspänd armering** Betongkonstruktioner med förspänd armering är vanliga för prefabricerade betongelement (The-Constructor, 2024). Förspänningen medför att elementet bli styvare, senarelägger sprickbildning, minskar risk för armeringskorrosion, minskar nedböjning och reducerar risk för utmattningsbrott. Metoden innebär att innan betongen gjuts spänns armeringen upp med en viss kraft för att sedan, efter gjutning av betongen, släppa på spännkraften i armeringen. Detta skapar en tryckande kraft på betongen och det resulterar i ovan nämnda fördelar. Med avseende på de positiva konsekvenserna av förspänd betong möjliggörs längre spännvidder gentemot vanligt armerade balkar däremot ökar inte den maximala lastkapaciteten.

**C.1.1.1.2 Efterspänd armering** Utförs utifrån samma syfte som den förspända men med skillnaden att man utför spännandet efter man gjutit betongen. Den efterspända armeringen kan placeras i rör som gjutits in i betongen eller placeras på utsidan av konstruktionen. Denna metod kan nyttjas vid redan befintliga konstruktioner men även nybyggen (kth, 2021).

### C.1.2 Produktion

Betongkonstruktioner kan platsgjutas eller prefabriceras. Platsgjutning sker med hjälp av formar som byggs upp på platsen (Svensk Betong, uå). Denna metod kräver att formen kan stå på platsen under en längre tid, för att placera och förspänna armering samt under tiden betongen härdar.

Platsens förutsättningar påverkar möjligheten för användning av prefabricerade element (Svensk Betong, uå). Detta begränsas av transportens framkomlighet samt möjlighet att lyfta eller lansera dem på platsen. Omkringliggande vägar och deras bärighet kan vara begränsande för hur stora och tunga element som kan fraktas till platsen och detta bör kontrolleras tidigt i planeringsprocessen. Transportsträckor är ytterligare en faktor som kan variera mellan dessa produktionsmetoder.

Platsgjuten betong möjliggör för gjutformen att konstrueras exakt som man önskar för varje projekt och är inte beroende av att anpassas till de prefabricerade elementens begränsningar (Svensk Betong, uå). En betongbro kan konstrueras genom en kombination av prefabricerade betongdelar och element av platsgjuten betong. Olika typer av gjutformor kan användas, fördelaktigt blir det ur både tids- och ekonomiaspekter, om formarna kan återanvändas vid gjutningen. Detta kan då påverka den geometriska utformningen av bron. För höga konstruktioner kan glidformor eller klätterformor användas.

Nackdelar med att gjuta betong på plats är att väderförhållandena inte går att påverka mer än att planera genomförandet av gjutningen på en dag med bra förhållanden och eventuellt skydda konstruktionen (Svensk Betong, uå). Betong är känsligt under tiden för gjutning och härdning. Vid prefabricering av betongelement säkerställs optimala förhållanden för att minimera sprickor och spänningar i betongen. Platsgjutning resulterar ofta i att byggtiden ökar jämfört med prefabricerade element då fabriksmetoder är effektiviserade och sker under optimala förutsättningar. Dessutom kan det under kontrollerande förhållanden säkerställas att materialen arbetar effektivt och att materialspill minimeras.

### C.1.3 Förvaltning

Betongbroars förebyggande underhåll innefattar rengöring och spolning av betongen för att avlägsna klorider och karbonater, detta för att undvika att ämnena kommer i kontakt med armeringen för dessa kan börja korrodera stålet (Nilsson, 2012). De största riskerna för armerade betongkonstruktioner är frostsprängning, karbonatisering och kloridinträngning. Frostsprängning uppstår då vatten tränger in i betongen och sedan expanderar då det fryser vilket skapar ett inre tryck i betongen. Detta skapar problem både för betongen och att det täckande skiktet av betongen skalas av vilket leder till att armering kan påverkas lättare av korroderande salter och karbonater. Kloridinträngning är då salter från vägsaltning/havsvatten eller klorerat vatten tar sig in i betongen och korroderar armeringen. Kloriderna bryter ner armeringens hölje vilket leder till både utvändigt och invändigt korrosion. När armeringen korroderar tappar den en del av sin bärförmåga då tvärsnittet minskar men även

så har produkterna som uppstår vid korrosion större volym än den ursprungliga armeringen vilket leder till att ett inre tryck i betongen uppstår. Karbonatisering sker då koldioxid i luften reagerar med kalk i cementen vilket i sin tur genererar karbonater, hållfastheten i betongen påverkas inte av detta utan det är då dessa karbonater kommer i kontakt med armeringen så korroderar stålet. De flesta av dessa problem tänker man på i designprocessen av betongelementet med val av vattentementtal(vct) där ett lägre vct ger en god täthet, men även tänka på att göra betongens täcksikt tillräckligt tjocka.

Underhållsarbetet innefattar också att säkerställa att bron har en god dränering för att skydda underkonstruktionen, reparationer av kantbalkar och räcken och bekämpa ovälkomen växtlighet som kan ha en förstörande effekt (Silfwerbrand, 2021).

## C.2 Trä

### C.2.1 Beställare och konstruktion

Trä är ett något mindre vanligt byggmaterial i broar historiskt sett, men det betyder inte att det nödvändigtvis behöver vara sämre. Till följd av att trä är ett ortotrop material varierar hållfastheten beroende på belastningsriktningen, parallellt, tangentiellt eller radiellt fibrerna (AL-Emrani et al., 2019). Generellt är hållfastheten mycket högre parallellt fibrerna än vinkelrät fibrerna (tangentiellt och radiellt). För drag parallellt fibrerna kan träet vara mycket starkt och hållfastheten kan uppgå till 80-100 MPa för små provkroppar, vilket är omkring 200 gånger starkare än för provkroppar som testats vinkelrät fibrerna. Tryckhållfastheten parallellt fibrerna blir något lägre än draghållfastheten då stabilitetsbrott blir dimensionerande och brottspänningarna hamnar på ungefär 70-90 MPa. Vinkelrät fibrerna klarar träet högre tryck jämfört med drag då fibrerna i träet trycks ihop, stora deformationer uppstår i förhållande till spänningar men inget direkt brott sker på grund av denna belastning. Ifall tryckbelastningen sker radiellt eller tangentiellt har även viss betydelse. Karaktäristiska hållfasthetsvärden som används vid dimensionering av träkonstruktioner enligt Eurocode 5 skiljer sig dock från hållfastheten erhållen från provkroppsförsök på grund av träets stora spridning i hållfasthet. I drag uppgår de karaktäristiska värdena för olika träkomponenter således till 8-26 MPa samt 0,4-0,6 MPa för parallellt respektive vinkelrät fibrerna. Karaktäristiska tryckhållfastheten är istället 16-31 MPa respektive 2-2,6 MPa.

Vanligtvis delas trä in i de två underkategorierna konstruktionsvirke och limträ (AL-Emrani et al., 2019). Konstruktionsvirke syftar till sågade timmerstockar i specifika mått och begränsas därför utifrån trädens storlek. Limträ består istället av ihoplimmade trälammeller ovanpå varandra och kan därför i princip byggas till så stora dimensioner som önskas. Av limträbalkar kan dessutom plattelement genom tvärspänning med hjälp av spännstag i stål skapas, vilket skapar en konstruktion som är styv och är bra underlag för tätskit och beläggning (Brosamverkan, 2022).

Limträbalkar tillverkas med en maxhöjd på 2 meter och finns i några standard-

bredder där den bredaste är 215 mm. Större dimensioner än så kan dock erhållas genom att limma ihop flera färdiga balkar till ett element. Normala transportmetoder begränsar balkens längd till 24 m, men längre sammanhängande element kan konstrueras om alternativa transportmedel är möjliga (AL-Emrani et al., 2019).

Trä är det av de tre vanligaste byggmaterialen som har lägst densitet och är känt för sin lätta egenvikt i förhållande till hållfasthet (Westerlund et al., 1998). Denna egenskap bidrar till en rad karakteristiska beteenden ur ett brokonstruktionsperspektiv, såväl negativa som positiva. Detta gör materialet bättre lämpat för vissa konstruktionstyper och förutsättningar. Inledningsvis ger träets låga egenvikt mindre laster att bära ned i marken och en träkonstruktion innebär därför vanligen mindre behov av grundläggningskonstruktioner. Vid svåra grundläggningsförhållanden som exempelvis djupgående lera kan därför en konstruktion i trä vara lämplig. Vidare är träets låga egenvikt dessvärre ett problem gällande dynamiska laster såsom vindlaster och påkörningslaster. Detta kan vara ett extra stort problem vid dimensionering av gång- och cykelbroar som ofta är lättare i konstruktionen till följd av lägre belastningsgrad.

Ur ett miljöperspektiv är trä ett fördelaktigt alternativ. Dels på grund av utsläpp under transport till följd av träets låga egenvikt, dels eftersom träd lagrar koldioxid under sin livslängd (AL-Emrani et al., 2019). Det senare innebär att träkonstruktionen fungerar som ett lager koldioxid och ifall återplantering av skogen sker har träet nästintill noll koldioxid under tillverkningen. Den största miljöpåverkan från träet i sig är istället kopplad till eventuell impregnering där det snarare rör sig om miljögifter än koldioxidutsläpp (Westerlund et al., 1998).

### C.2.2 Produktion

På grund av träets låga egenvikt är lasten vid transport oftast inte någon begränsning gällande storleken på elementen (Träguiden, 2015d). Begränsningarna på elementens storlek handlar snarare om framkomligheten på vägarna.

Tvärspända plattbroar av träbalkar med kortare spänvidder kan monteras ihop i fabrik (Träguiden, 2015c). För längre broar kan elementen till viss del vara monterade och därefter transporteras till platsen för slutgiltig montering. Där behöver endast ett fåtal stålstänger spännas ihop. Konstruktionsmetoden möjliggör för de separata balkelementen i en plattbro att inte spänna över hela vidden i och med kraftfördelningen som sker när balkarna är hopspända. För att klara längre spändvidder kan balkarna utformas med T- eller lådtvärnsnitt.

Liksom plattbroar kan även fackverksbroars element färdigställas i fabrik för att sedan sättas samman på platsen där de monteras. Bågbroar med spännvidder över 20 meter är svåra att transportera som kontinuerliga element, därför kan längre bågbroar delas upp i en treledsbåge vilket även är positivt ur aspekten att kunna hantera sättningar i marken (Träguiden, 2015a). Hängbroar är konstruerade av olika element där produktionen av dessa sker i fabrik för att sedan monteras på platsen genom att hängkablarna monteras först och därefter monteras elementen i hängarna

(Brosamverkan, 2022).

### C.2.3 Förvaltning

För träbroar kontrolleras den relativa fuktigheten i materialet för att se om vatten rinner av på rätt sätt och ligger stilla vilket kan leda till att träet ruttnar. Om fuktkvoten i träet är över 20% finns det risk för röta, är det över 30 % bör en utredning göras för att ta reda på orsaken till detta (Pousette et al., 2004). I trä konstruktioner blir det därför väldigt viktigt att kunna avleda vatten på ett effektivt sätt genom att tänka på att undvika plana ytor och att i riskzoner som vid förband och upplag tänka på att ha lutande ytor. Det är även viktigt att tänka på att inte utforma smala fickor eller hålrum i konstruktionen där vatten kan samlas. Konstruktionen måste även ha möjlighet att ventileras så konstruktionsdelar som utsätts för fukt kan torka. Träet ytbehandlas på något sätt med antingen tryckimpregnering eller målning av något slag för att skyddas mot fuktkvotsändringar men även mot UV-strålning som torkar ut träet och leder till att ytan spricker upp pga av krympning. Underhållsarbetet innefattar också rengöring av virket, avlägsning av färg som flagnat/spruckit och sedan ommålas ytan direkt förutsatt att det är bra vidhäftning i virket och inga synliga sprickor syns (Westerlund et al., 1998). Små sprickor kan åtgärdas med målning förutsatt att grundbehandlingen är gjord på ett adekvat sätt.

## C.3 Stål

### C.3.1 Beställare och konstruktion

Traditionellt stål är en legering mellan järn och kol vilket benämns med kolstål (AL-Emrani et al., 2019). På senare tid har nya legeringar med andra metaller tagits fram som ger stålet andra egenskaper, till exempel har SSAB tagit fram ett rosttrögt stål vilket är legerat med koppar, krom, nickel och fosfor (SSAB, uåa).

Stålet lämpar sig bra för en standardiserad förtillverkning där man på ett industriellt sätt kan tillverka färdiga element för en snabb och smidig installation på byggplatsen. Då stålet, likt betongen, tillverkas genom sammansättning av olika råvaror har man möjlighet att påverka dess egenskaper såsom rosttrögt- och rostfritt stål.

Ytterligare fördelar med stål är för det första dess isotropi vilket gör materialet förutsägbart och enklare att dimensionera. Däremot, trots dess isotropi, så medför tryckbelastade konstruktionsdelar för instabilitetsproblem såsom buckling, vippning och knäckning, vilka sänker dess bärförmåga (AL-Emrani et al., 2019). För det andra har det en hög hållfasthet med en flytgräns (oberoende riktning) som varierar mellan 215 och 570 MPa beroende på stålkvalité och godstjocklek (AL-Emrani et al., 2019).

En nackdelen med stål är dess höga utsläpp på 3.39 kg  $CO_2$  per kg material (Boverket, 2023b). Anledningen till detta är när man i produktionsprocessen avlägsnar syre från järnmalm med hjälp av kol, vilka reagerar med varandra och bildar  $CO_2$ . För att minska utsläppen har SSAB tagit fram en alternativ produktionsmetod där

man tillsätter väte i stället för kol och vatten bildas i stället för  $CO_2$  (SSAB, uåb). En annan nackdel är att dess korrosivitet vilket har en negativ inverkan på dess hållfasthet. Av denna anledning måste stålet i någon utformning förses med rostskydd vilket förklaras mer under avsnitt C.3.3. Andra lösningar som tidigare nämnts är genom speciella legeringar som blir rostfria eller rosttröga.

Stål kan tillverkas i olika utformningar där två av dem är varmvalsade- och svetsade profiler. Varmvalsning innebär att man hettar upp stålet som sedan får passera genom valsspår som formar stålet till önskade tvärsnitt, exempel HE-balk (AL-Emrani et al., 2019). Svetsade tvärsnitt går i stället ut på att man svetsar samman plåtar till ett önskat tvärsnitt vilket möjliggör för goda optimeringsmöjligheter då det går att utforma unika tvärsnitt speciellt anpassad för situationen.

### C.3.2 Produktion

På samma sätt som träkonstruktioner produceras stålkonstruktioner som prefabricerade element. Beroende på brons storlek varierar antalet element som sedan svetsas ihop på plats eller fästs ihop med hjälp av skruvförband. För att säkerställa god kvalitet på utförandet av förbandet kan det vara fördelaktigt att välja skruvförband framför svetsförband vid montering på byggarbetsplatsen (AL-Emrani et al., 2014). För extra säkerhet kan element som ska konstrueras med skruvförband kontrolleras i fabriken innan transport. Det görs genom en preliminär montering för att säkerställa att byggelementen passar ihop (Lebet and Hirt, 2013). Detta är möjligt om konstruktionens storlek och komplexitet är relativt liten och kan generera i att mindre korrigeringar och justeringar behöver göras på plats vilket är fördelaktigt ur både tid- och ekonomiaspekter.

Även om stål kan få instabilitetsproblem i tryck, som vippning och knäckning, byggs det många bågbroar i stål, pga stålets låga egentyngd i förhållande till dess hållfasthet. Stål är också ett bra alternativ utifrån svetsbarhet, hastighet att montera det samt lyftkapaciteten som krävs vid montering vilket minskar på kostnaderna jämfört med tyngre konstruktioner (Lebet and Hirt, 2013).

### C.3.3 Förvaltning

Sverige har sedan 1988 använt Vägverkets ”brosystem” S7.09 som rostskyddssystem för stålbroar (Reuterswärd, 2011). Detta innefattar bland annat att stålet först blästras, sedan appliceras en zinkrik grundfärg som fördröjer utbredning av korrosion i stålet. Efter detta appliceras två färglager, en mellanfärg som är förstärkt med järnglimmer och en täckfärg av polyuretan som är väderbeständig som tillsammans med mellanfärgen skapar en tät barriär då grundfärgen rinner av i samband med regn. Dessa åtgärder ger stålet ett litet underhållsbehov även vid mindre skador i färgskiktet. Stål har ett problem som påverkar hållfastheten, korrosion, detta åtgärdas med någon typ av målning, många stålprodukter skyddas även med en applicering av zink utanpå som gör att zinkskiktet oxiderar och förhindrar att underliggande lager korroderar. Vid regn sker dock en viss avrinning av zink, därför målas det också

för att ytterligare skydda ytan. Någon sorts brandsäker beläggning/brandsäker färg måste användas, för stålet tappas draghållfasthet och E-modul vid temperaturer runt 430-540 grader (TL Steelstructures, 2022). För att fördröja att bärförmåga tappas och människor kan evakuera, rädda material och släcka branden. Viktigt är även att undersöka anslutningar t.ex svetsningar, bultar, nitar för att se om det skapats sprickor/lossning, även kontrollera komponenternas deformationer, om det är något som är onormalt mycket på kan visa på fel dimensionering osv.

## D Bilder av modell

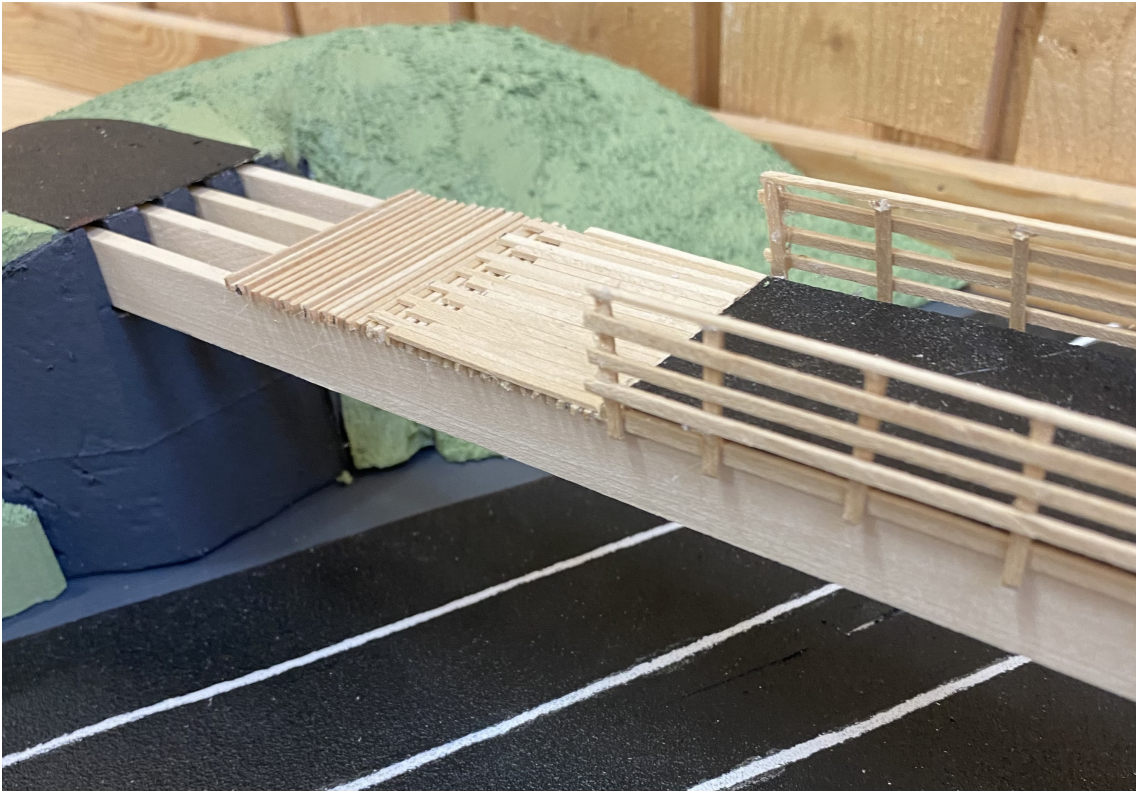
I följande bilaga presenteras bilder av den fysiska modell som byggts under projektets slutfas. Modellen är byggd i skala 1:100 och intill ena stödet visas brons bärverk i avskalade lager, detta syns tydligast i figur D.3. Figur D.1 och D.2 visar istället hela bron och delar av dess omgivning.



Figur D.1: Modellen i perspektiv.



Figur D.2: Modellen sedd ovanifrån.

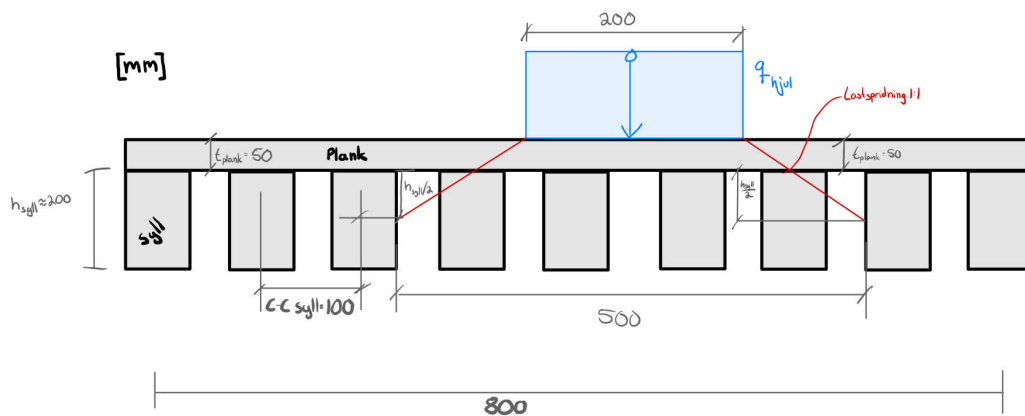


**Figur D.3:** Närbild av modellen där konstruktionens bärverk visas i avskalade lager.

# E Beräkningar i matlab för dimensionering av valt brokoncept

## E.1 Dimensionering av syll

### E.1.1 Indata för syllberäkningar



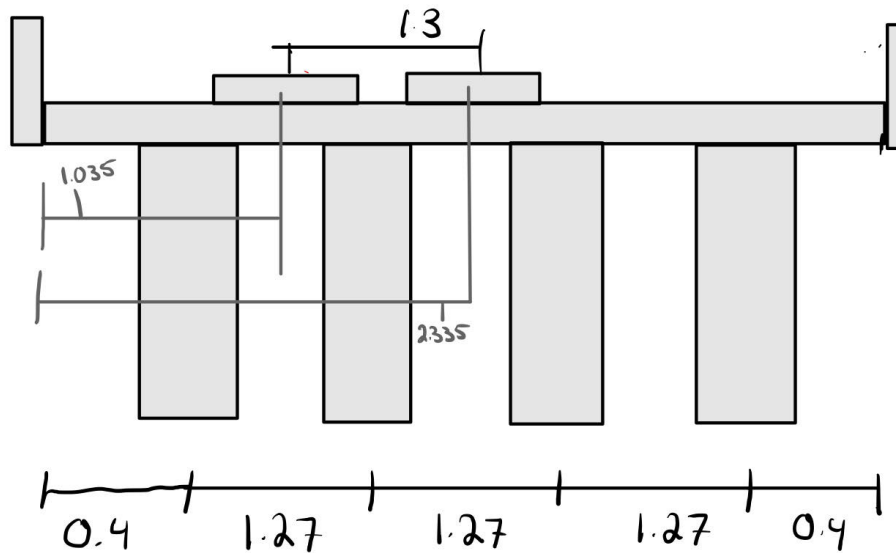
**Figur E.1:** Lastspridningen från slitplanket till syllen ger att 4 syllar som minst belastas av hjultrycket

```
1 clc,clf,clear
2 b_syll=75e-3;      %[m]
3 t_syll=226e-3;    %[m]
4 t_plank=50e-3;   %[m]
5 L_syll=4.6;      %[m]
6 ro_syll=420;     %[kg/m^3] %medelvärde Tabell T2.3(AL-E
   mrani et al., 2019)
7 ro_plank=ro_syll; %[kg/m^3] %medelvärde
8 E_syll=11e9;     %[Pa] %Paralell Tabell T2.3(AL-E
   mrani et al., 2019)
9 cc_syll=0.1;     %[m]
10
11 %Spara ner indatan
12 save b_syll t_syll , save t_syll t_syll, save t_plank
   t_plank,
```

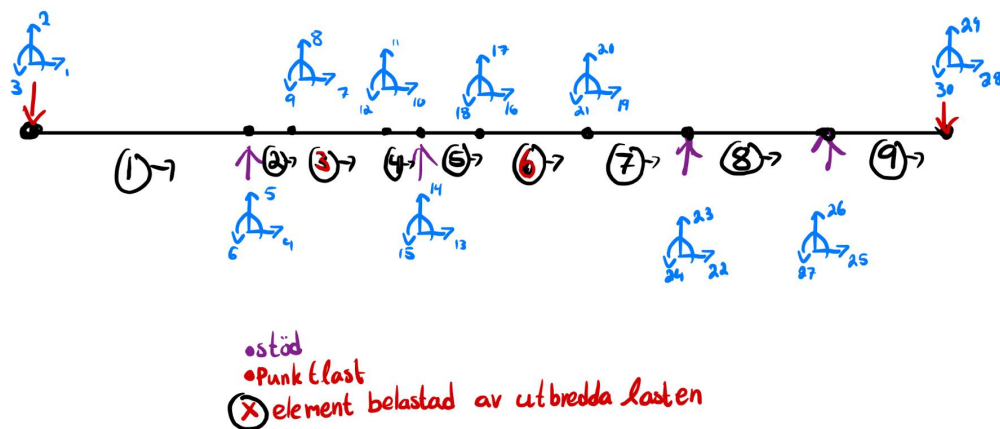
```
13 save L_syll L_syll , save ro_syll ro_syll,
14 save ro_plank ro_plank, save E_syll E_syll, save cc_syll
    cc_syll
15
16
17 %-----Laster -----
18 %Last från servicefordon, med hänsyn till lastspridningen
    i figur E.1 ovan
19 % så sprids lasten på 4 syllar.
20
21 P1=40e3/4; %40 är halva axeltrycket=hjultrycket (80kN/2)
22 P2=P1;
23
24 q_last=P1/0.5; %N/m %Lasten sprider sig, efter
    lastspridningantagandet om 1:1
25 % , på en yta om 500mm enligt figur E.4 nedan
26
27
28 q_last=P1/0.5; %N/m %Lasten sprider sig, efter
    lastspridningantagandet om 1:1
29 % , på en yta om 500mm.
30 % Egentyngden är inte medräknad i punktlasten
31 P_staket=0.5e3/2; %N Staketet fäst varje meter. Delas på
    2 då 0.5kN per
32 % meter längsled gäller staketet för båda sidor
33 %----asfalt----
34 tyngd_asfalt=22e3; %N/m^3
35 t_asfalt=0.05; %m
36 q_asfalt=cc_syll*t_asfalt*tyngd_asfalt;
37
38 %---egentyngd plank----
39 g_plank=ro_plank*t_plank*cc_syll*9.81; %N/m
40
41 %---egentyngd syll----
42
43 g_syll=ro_syll*t_syll*b_syll*9.81; %N/m
44
45 %---total utbredd last-----
46 q_tot=q_asfalt+g_plank+g_syll; %N/m
47 %-----
48
49 save q_tot q_tot, save q_last q_last, save P_staket
    P_staket
50
51 % ----- Tvärsnittstorheter -----
52 I_syll=b_syll*t_syll^3/12; %[m^4]
```

```
53 A_syll=b_syll*t_syll;           %[m^2]
54
55 save I_syll I_syll, save A_syll A_syll
```

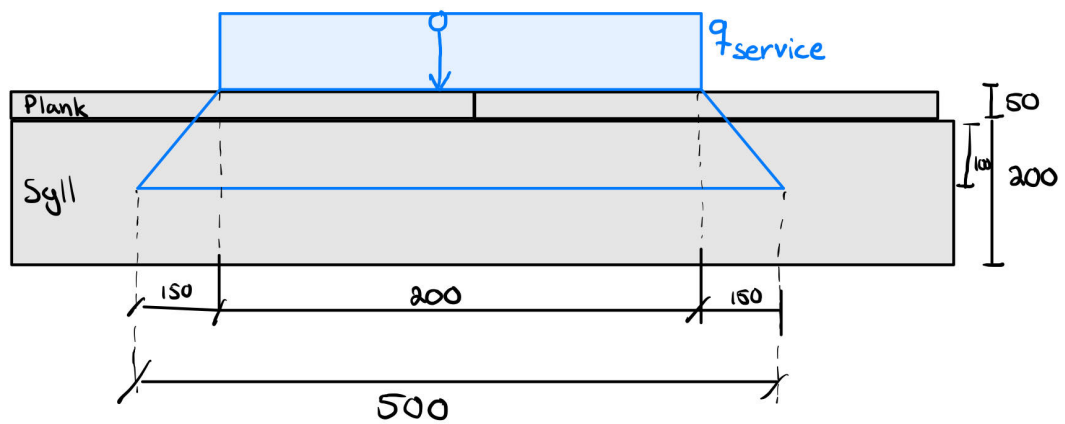
### E.1.2 Analys av syll i brottgräns - lastfall med laster placerade i fält



Figur E.2: Beräkningsmodell för syll med laster placerade i fält



Figur E.3: FEM modell för syll med laster placerade i fält



Figur E.4: Lastspridningen i syll

```

1  clc, clf, clear, close all
2
3  %-----Hämta INDATA-----
4  load b_syll    %[m]
5  load t_syll    %[m]
6  load t_plank   %[m]
7  load L_syll    %[m]
8  load ro_syll   %[kg/m^3]
9  load ro_plank  %[kg/m^3]
10 load ro_syll   %[kg/m^3]
11 load E_syll    %[Pa]
12 load cc_syll   %[m]
13
14 %-----
15 load I_syll
16 load A_syll
17 %-----
18
19 %-----element properties-----
20 ep=[E_syll A_syll I_syll];
21
22 %-----definiera noder och dess frihetsgrader-----
23
24 % 5dm bred last efter hänsyn till 1:1 lastpridning varav 5
    dm mellan
25 % Vänstra last-noden och högra last-noden

```

```

26
27 coord=[0      0      %Vänster ände
28         0.4    0      %Stöd 1
29         0.785  0      %Last 1 vänster
30         1.285  0      %Last 1 höger
31         1.67   0      %Stöd 2
32         2.085  0      %Last 2 vänster
33         2.585  0      %Last 2 Höger
34         2.94   0      %Stöd 3
35         4.21   0      %Stöd 4
36         4.6    0]; %Höger ände
37
38 dof = [1 2 3;
39        4 5 6;
40        7 8 9;
41        10 11 12;
42        13 14 15;
43        16 17 18;
44        19 20 21;
45        22 23 24;
46        25 26 27
47        28 29 30];
48
49 %-----
50
51 edof=[ 1 1 2 3 4 5 6;
52        2 4 5 6 7 8 9;
53        3 7 8 9 10 11 12;
54        4 10 11 12 13 14 15;
55        5 13 14 15 16 17 18
56        6 16 17 18 19 20 21
57        7 19 20 21 22 23 24
58        8 22 23 24 25 26 27
59        9 25 26 27 28 29 30];
60
61 [Ex,Ey]=coordxtr(edof,coord,dof,2);
62
63 %----- Hämta Laster -----
64 load q_tot
65 load q_last
66 load P_staket
67
68 % Lastkombination enligt Tabell K1.5(AL-E mrani et al.,
69   2019) -----
70 q_tot=1.35*q_tot;

```

```
70 q_last=1.5*q_tot; %hjulasten är variabel och huvudlast =>
    1.5
71 P_staket=1.35*P_tot;
72
73 f=zeros(30,1); f(2,1)=-P_staket; f(29,1)=-P_staket;
74
75 eq=zeros(9,2);
76 eq(:,2)=-q_tot;
77 eq(3,2)=-q_last-q_tot; %element 3 och 6 har den utbredda
    hjullasten.
78 eq(6,2)=-q_last-q_tot;
79
80
81
82 %-----STYVHETSMATRIS-----
83
84 K=zeros(30);
85 for i=1:9
86     [Ke, fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq(i,:));
87     [K, f]=assem(edof(i,:),K,Ke, f, fe);
88 end
89 %-----
90
91 %-----Randvillkor-----
92
93 bc=[4  0
94     5  0
95     14 0
96     23 0
97     26 0];
98
99 %-----
100
101 %-----Lös systemet-----
102 [a, r]=solveq(K, f, bc);
103
104 Ed=extract(edof, a);
105 % -----
106
107 % Plocka ut Moment, Tvärkraft och Normalkraft
108 es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq(1,:),21);
109 es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq(2,:),21);
110 es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq(3,:),21);
111 es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq(4,:),21);
112 es5=beam2s(Ex(5,:),Ey(5,:),ep,Ed(5,:),eq(5,:),21);
113 es6=beam2s(Ex(6,:),Ey(6,:),ep,Ed(6,:),eq(6,:),21);
```

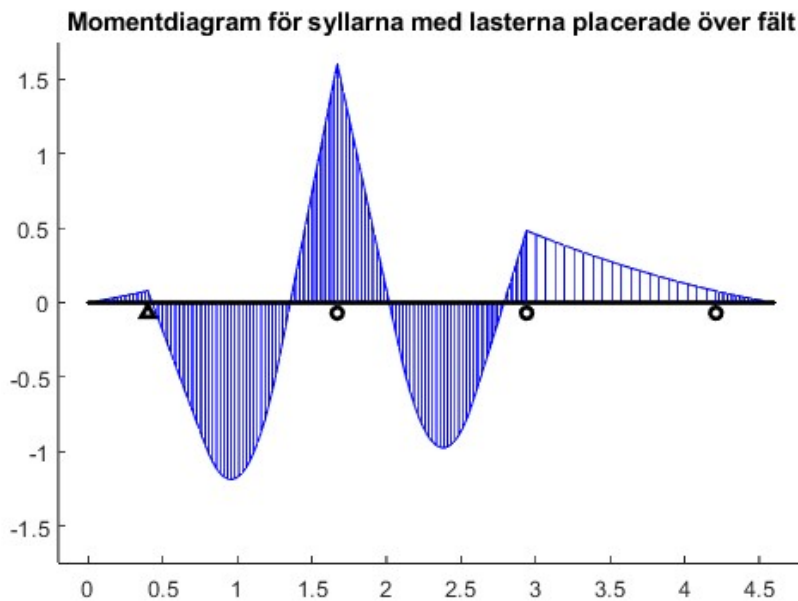
```
114 es7=beam2s(Ex(7,:),Ey(7,:),ep,Ed(7,:),eq(7,:),21);
115 es8=beam2s(Ex(8,:),Ey(8,:),ep,Ed(8,:),eq(8,:),21);
116 es9=beam2s(Ex(9,:),Ey(9,:),ep,Ed(9,:),eq(9,:),21);
117
118 %Samlar alla element i en vektor
119 Es=[es1;es2;es3;es4;es5;es6;es7;es8;es9];
120
121 %----- Momentdiagram-----
122 figure(1)
123 title('Momentdiagram för syllarna med lasterna placerade ö
      ver fält')
124 for i=1:9
125     plotpar=[1 1 0];
126 eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
127 end
128
129 sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),0.2); %skalfaktor
130 plotpar=[2 1]; %utseende
      på graf
131
132 eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
133 eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
134 eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
135 eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
136 eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
137 eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
138 eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);
139 eldia2(Ex(8,:),Ey(8,:),es8(:,3),plotpar,sfac);
140 eldia2(Ex(9,:),Ey(9,:),es9(:,3),plotpar,sfac);
141 hold on
142 plot(0.4,-0.07,'^k','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
143 plot(0.4+1.27,-0.07,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
144 plot(0.4+2*1.27,-0.07,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
145 plot(0.4+3*1.27,-0.07,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
146 axis([-0.2 4.8 -1.75 1.75])
147 %----- Tvärkraftdiagram -----
148 figure(2)
149 title('Tvärkraftdiagram syllarna med lasterna placerade ö
      ver fält')
150 for i=1:9
151     plotpar=[1 1 0];
152 eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
153 end
154
155 sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),0.07); %skalfaktor
```

```
156 plotpar=[2 1]; %utseende
    på graf
157
158 eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
159 eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
160 eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
161 eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
162 eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
163 eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
164 eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);
165 eldia2(Ex(8,:),Ey(8,:),es8(:,2),plotpar,sfac);
166 eldia2(Ex(9,:),Ey(9,:),es9(:,2),plotpar,sfac);
167 hold on
168 plot(0.4,-0.07,'^k','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
169 plot(0.4+1.27,-0.07,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
170 plot(0.4+2*1.27,-0.07,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
171 plot(0.4+3*1.27,-0.07,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
172 axis([-0.2 4.8 -1.75 1.75])
173
174 %Rita balken
175 for i=1:9
176     plotpar=[1 1 0];
177     eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
178 end
179 % Plocka ut max moment och tvärkraft
180
181 Max_stod_moment_last_over_faelt=min(Es(:,3));
182 Max_faelt_moment_last_over_faelt=max(Es(:,3));
183
184 Max_tvarkraft_last_over_faelt=max(abs(Es(:,2)));
185 %Spara ner Max moment och tvärkraft till
    kapacitets-kontroll
186 save Max_stod_moment_last_over_faelt
    Max_stod_moment_last_over_faelt
187 save Max_faelt_moment_last_over_faelt
    Max_faelt_moment_last_over_faelt
188 save Max_tvarkraft_last_over_faelt
    Max_tvarkraft_last_over_faelt
189
190 Max_reaktionskraft_syll_faelt=max(abs(r));
191
192 %spara reaktionskrafterna för upplagstrycks-beräkningar.
193 save Max_reaktionskraft_syll_faelt
    Max_reaktionskraft_syll_faelt
194
195 %----Resultat----
```

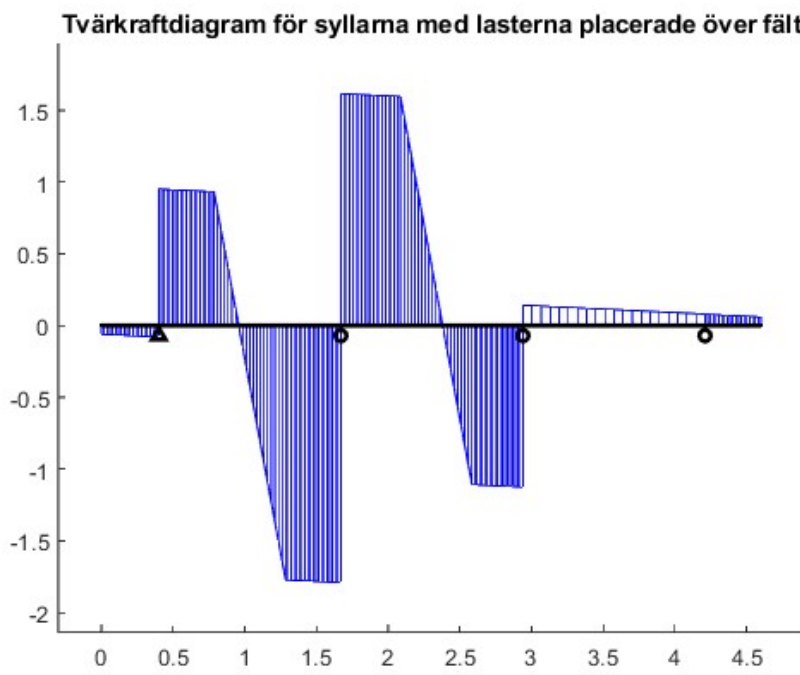
```

196 disp('-----Resultat för last placerad över
      fält-----')
197 disp(['Max stödmoment = ',
        num2str(Max_stod_moment_last_over_faelt/1000), '[kNm]'])
198 disp(['Max fältmoment = ',
        num2str(Max_faelt_moment_last_over_faelt/1000),
        '[kNm]'])
199 disp(['Max tvärkraft = ',
        num2str(Max_tvarkraft_last_over_faelt/1000), '[kN]'])
200 disp('-----')
201
202
203 -----Resultat för last placerad över fält-----
204 Max stödmoment = -3.1387[kNm]
205 Max fältmoment = 2.3228[kNm]
206 Max tvärkraft = 10.0199[kN]
207 -----

```

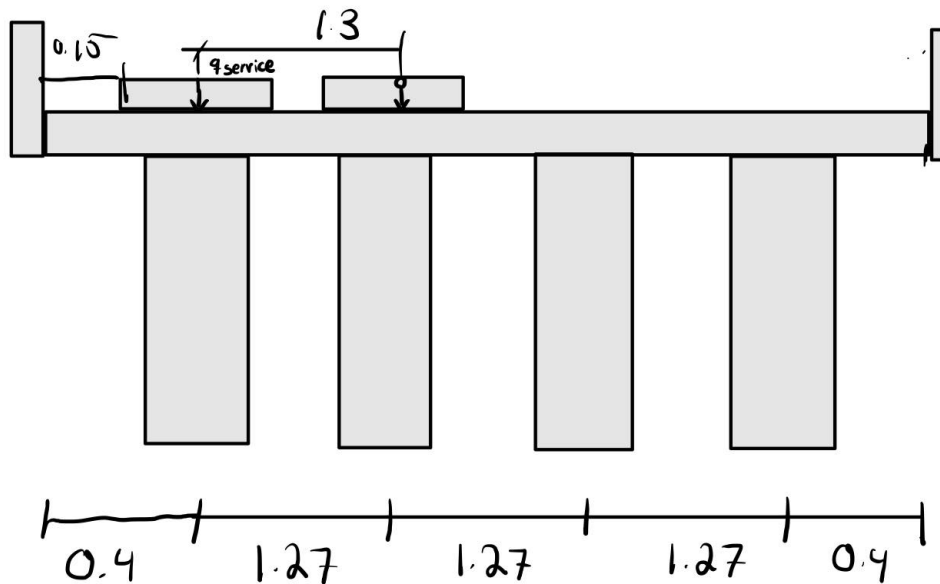


Figur E.5: Momentdiagram för syll med last placerad över fält

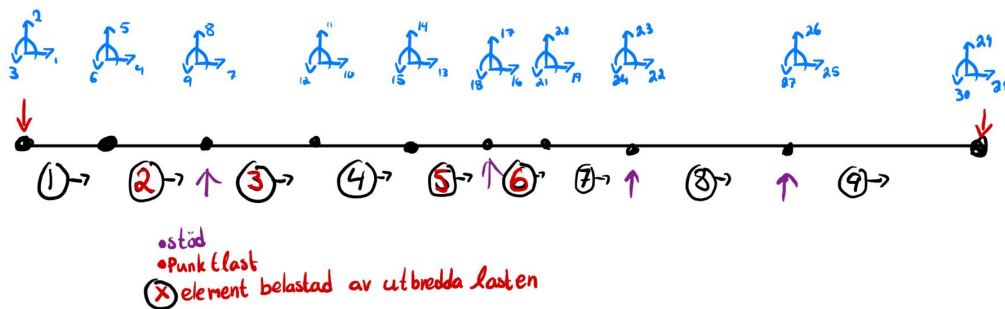


**Figur E.6:** Tvärkraftsdiagram för säll med last placerad över fält

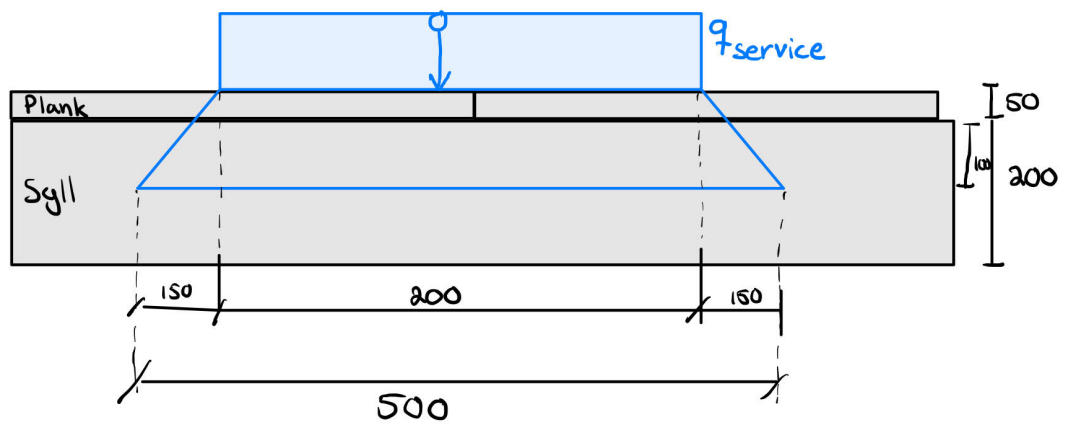
### E.1.3 Analys av syll i brottgräns - lastfall med laster placerade över stöd



Figur E.7: Beräkningsmodell för syll med last placerad över stöd



Figur E.8: FEM modell för syll med last placerad över stöd



Figur E.9: Lastspridningen i syll

```

1
2
3
4
5 clc, clf, clear, close all
6 %-----Hämta INDATA-----
7 load b_syll      %[m]
8 load t_syll      %[m]
9 load t_plank     %[m]
10 load L_syll      %[m]
11 load ro_syll     %[kg/m^3]
12 load ro_plank    %[kg/m^3]
13 load ro_syll     %[kg/m^3]
14 load E_syll      %[Pa]
15 load cc_syll     %[m]
16
17 %-----Hämta Laster -----
18 load q_tot
19 load q_last
20 load P_staket
21
22 % Lastkombination enligt Tabell K1.5(AL-E mrani et al.,
    2019) -----
23 q_tot=1.35*q_tot;
24 q_last=1.5*q_last; %hjulasten är variabel och huvudlast =>
    1.5

```

```
25 P_staket=1.35*P_staket;
26
27 %-----Hämta tvärnsittsstorheter
   -----
28 load I_syll
29 load A_syll
30 %-----
31
32 %-----element properties-----
33 ep=[E_syll A_syll I_syll];
34
35 %-----definiera noder och dess frihetsgrader-----
36
37 % sätter att service fordon ej närmare staket än 0.15dm
38 % 5dm bred last efter hänsyn till 1:1 lastpridning varav 5
   dm mellan
39 % Vänstra last-noden och högra last-noden
40
41 coord=[0      0      %Vänster ände
42         0.15 0      %Last 1 vänster
43         0.4  0      %Stöd 1
44         0.65 0      %Last 1 höger
45         1.45 0      %Last 2 vänster
46         1.67 0      %Stöd 2
47         1.95 0      %Last 2 Höger
48         2.94 0      %Stöd 3
49         4.21 0      %Stöd 4
50         4.6   0]; %Höger ände
51
52 dof = [1 2 3;
53        4 5 6;
54        7 8 9;
55        10 11 12;
56        13 14 15;
57        16 17 18;
58        19 20 21;
59        22 23 24;
60        25 26 27
61        28 29 30];
62
63 %-----
64
65 edof=[ 1 1 2 3 4 5 6;
66        2 4 5 6 7 8 9;
67        3 7 8 9 10 11 12;
68        4 10 11 12 13 14 15;
```

```
69     5 13 14 15 16 17 18
70     6 16 17 18 19 20 21
71     7 19 20 21 22 23 24
72     8 22 23 24 25 26 27
73     9 25 26 27 28 29 30];
74
75 [Ex,Ey]=coorxtr(edof,coord,dof,2);
76
77
78
79 %----- Skapa lastvektor -----
80
81
82 f=zeros(30,1); f(2,1)=-P_staket; f(29,1)=-P_staket;
83
84 eq=zeros(9,2);
85 eq(:,2)=-q_tot;
86 eq(2,2)=-q_last-q_tot; %element 2,3,5 och 6 har den
      utbredda hjullasten.
87 eq(3,2)=-q_last-q_tot;
88 eq(5,2)=-q_last-q_tot;
89 eq(6,2)=-q_last-q_tot;
90
91
92 %-----
93 %-----STYVHETSMATRIS-----
94
95 K=zeros(30);
96 for i=1:9
97     [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq(i,:));
98     [K,f]=assem(edof(i,:),K,Ke,f,fe);
99 end
100 %-----
101
102 %-----Randvillkor-----
103
104 bc=[7  0
105     8  0
106     17 0
107     23 0
108     26 0];
109
110 %-----
111
112 %-----Lös systemet-----
113 [a,r]=solveq(K,f,bc);
```

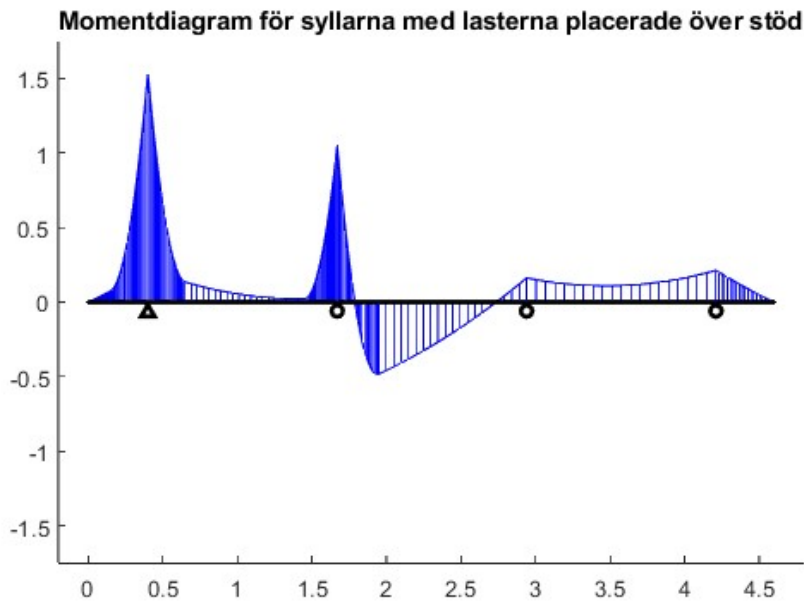
```
114
115 Ed=extract(edof,a);
116
117 % Plocka ut Moment, Tvärkraft och Normalkraft
118 es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq(1,:),21);
119 es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq(2,:),21);
120 es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq(3,:),21);
121 es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq(4,:),21);
122 es5=beam2s(Ex(5,:),Ey(5,:),ep,Ed(5,:),eq(5,:),21);
123 es6=beam2s(Ex(6,:),Ey(6,:),ep,Ed(6,:),eq(6,:),21);
124 es7=beam2s(Ex(7,:),Ey(7,:),ep,Ed(7,:),eq(7,:),21);
125 es8=beam2s(Ex(8,:),Ey(8,:),ep,Ed(8,:),eq(8,:),21);
126 es9=beam2s(Ex(9,:),Ey(9,:),ep,Ed(9,:),eq(9,:),21);
127
128 %Samlar alla element i en vektor
129 Es=[es1;es2;es3;es4;es5;es6;es7;es8;es9];
130
131 %----- Momentdiagram-----
132 figure(1)
133 title('Momentdiagram för syllarna med lasterna placerade ö
      ver stöd')
134
135 for i=1:9
136     plotpar=[1 1 0];
137 eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
138 end
139
140     sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),0.5);
141     plotpar=[2 1];
142
143 eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
144 eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
145 eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
146 eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
147 eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
148 eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
149 eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);
150 eldia2(Ex(8,:),Ey(8,:),es8(:,3),plotpar,sfac);
151 eldia2(Ex(9,:),Ey(9,:),es9(:,3),plotpar,sfac);
152 hold on
153 plot(0.4,-0.07,'^k','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
154 plot(0.4+1.27,-0.06,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
155 plot(0.4+2*1.27,-0.06,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
156 plot(0.4+3*1.27,-0.06,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
157 axis([-0.2 4.8 -1.75 1.75])
158
```

```
159 %----- Tvärkraftdiagram -----
160 figure(2)
161 title('Tvärkraftdiagram syllarna med lasterna placerade ö
      ver stöd')
162 for i=1:9
163     plotpar=[1 1 0];
164     eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
165 end
166
167     sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),0.07);
168     plotpar=[2 1];
169
170     eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
171     eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
172     eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
173     eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
174     eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
175     eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
176     eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);
177     eldia2(Ex(8,:),Ey(8,:),es8(:,2),plotpar,sfac);
178     eldia2(Ex(9,:),Ey(9,:),es9(:,2),plotpar,sfac);
179 hold on
180 plot(0.4,-0.07,'^k','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
181 plot(0.4+1.27,-0.06,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
182 plot(0.4+2*1.27,-0.06,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
183 plot(0.4+3*1.27,-0.06,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
184 axis([-0.2 4.8 -1.75 1.75])
185
186 for i=1:9
187     plotpar=[1 1 0];
188     eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
189 end
190 % Plocka ut max moment och tvärkraft
191 Max_stod_moment_last_over_stod=min(Es(:,3));
192 Max_faelt_moment_last_over_stod=max(Es(:,3));
193
194 Max_tvarkraft_last_over_stod=max(abs(Es(:,2)));
195
196
197 %Spara ner Max moment och tvärkraft till
      kapacitets-kontroll
198 save Max_faelt_moment_last_over_stod
      Max_faelt_moment_last_over_stod
199 save Max_stod_moment_last_over_stod
      Max_stod_moment_last_over_stod
```

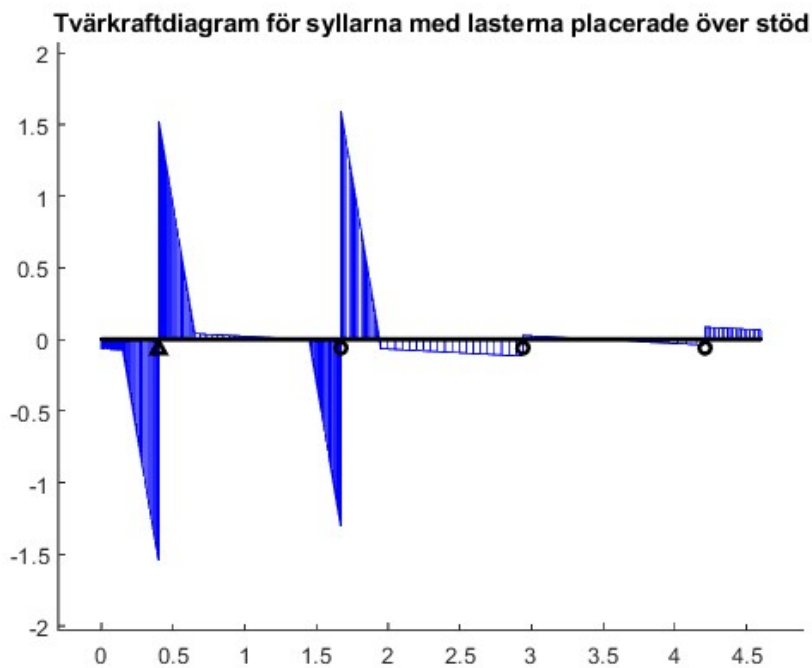
```

200 save Max_tvarkraft_last_over_stod
    Max_tvarkraft_last_over_stod
201
202 Max_reaktionskraft_syll_stod=max(abs(r));
203 %spara reaktionskrafterna för upplagstrycks-beräkningar.
204 save Max_reaktionskraft_syll_stod
    Max_reaktionskraft_syll_stod
205
206 %----Resultat----
207 disp('-----Resultat för last placerad över
    stöd-----')
208 disp(['Max stödmoment = ',
    num2str(Max_stod_moment_last_over_stod/1000), '[kNm]'])
209 disp(['Max fältmoment = ',
    num2str(Max_faelt_moment_last_over_stod/1000), '[kNm]'])
210 disp(['Max tvärkraft = ',
    num2str(Max_tvarkraft_last_over_stod/1000), '[kN]'])
211 disp('-----')
212
213
214 -----Resultat för last placerad över stöd-----
215 Max stödmoment = -1.0941[kNm]
216 Max fältmoment = 0.34552[kNm]
217 Max tvärkraft = 8.1454[kN]
218 -----

```



**Figur E.10:** Momentdiagram för syllar med lasten placerad över stöd



**Figur E.11:** Tvärkraftdiagram för syllar med lasten placerad över stöd

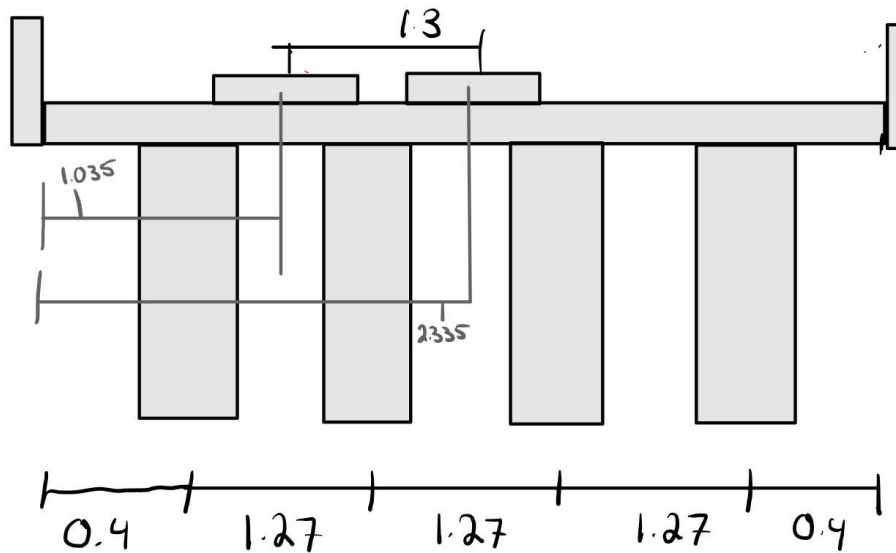
### E.1.4 Kontroll av moment- och tvärkraftkapacitet för syll.

```
1
2 clc,clf,clear
3 % Max moment och tvärkraft från de två lastfallen i
   brottsgräns för syll
4 %Last över stöd:
5 load Max_faelt_moment_last_over_stod
6 load Max_stod_moment_last_over_stod
7
8 %Last över fält
9 load Max_stod_moment_last_over_faelt
10 load Max_faelt_moment_last_over_faelt
11
12
13 M_ed=max(abs([Max_faelt_moment_last_over_stod;
14               Max_stod_moment_last_over_stod;
15               Max_stod_moment_last_over_faelt;
16               Max_faelt_moment_last_over_faelt]));
17
18 %Maximal tvärkraft
19 load Max_tvarkraft_last_over_stod %Last över stöd
20 load Max_tvarkraft_last_over_faelt %Last över fält
21 V_ed=max(abs([Max_tvarkraft_last_over_stod; ...
22               Max_tvarkraft_last_over_faelt]));
23
24 % Kapacitet syllpank
25
26 %----Karakteristiska Hållfasthetsvärden----
27 f_mk=24e6; % C24 Tabell T2.3 (AL-Emrani et al.,
   2019).
28 f_vk=2.5e6; %Pa C24 Tabell T2.3 (AL-Emrani et al.,
   2019).
29
30 %-----
31 %----Dimensioner-----
32 load b_syll
33 load t_syll
34 load L_syll
35
36
37 % ----- kmod-----
38 %klimatklass 3 och lastvaraktighet kort (service fordonet
   belastar kort
39 %tid) =>
```

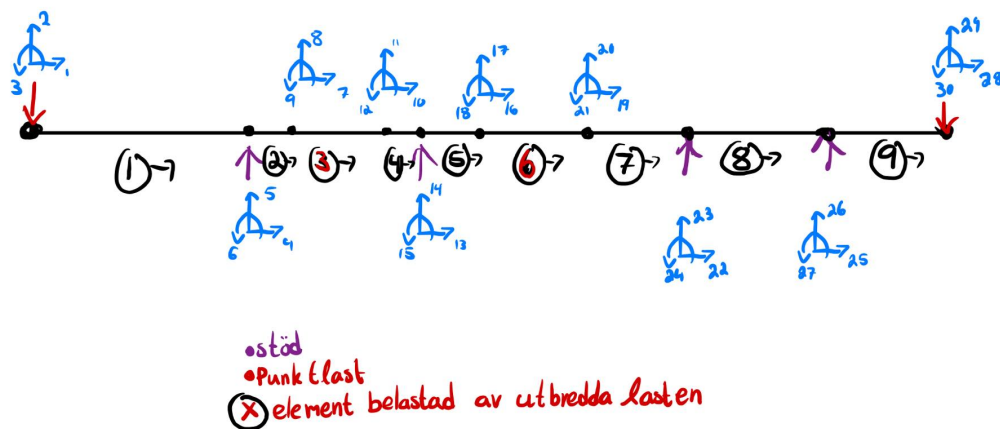
```
40 kmod=0.7; %Tabell 2.8 AL-Emrani et al., 2019).
41
42 %----höjd-omräkningsfaktor, kh
43
44 kh=min(((150/t_syll)^0.2),1.3); %ekv. (T2-15) (AL-Emrani
    et al., 2019).
45
46 %----- dimensionerande hållfasthetsvärden-----
47 ym=1.3; %pga konstruktionsvirkeym=1.3; %pga
    konstruktionsvirke
48 f_md=kmod*kh*f_mk/ym;
49 f_vd=kmod*f_vk/ym; %endast böjning som får tillgodoräkna
    höjd-omräkningen
50
51 % ----- Moment och tvärkraftskapacitet-----
52 W=(b_syll*t_syll^2)/6; %ekv. (T3-3) (AL-Emrani et al.,
    2019).
53 M_rd=W*f_md; %ekv. (T3-14) (AL-Emrani et al.,
    2019).
54
55 k_cr=0.67; %pga sågat virke (AL-Emrani et al.,
    2019).
56 b_ef=b_syll*k_cr; %ekv. (T4-9) (AL-Emrani et al.,
    2019).
57 V_rd=2/3*b_ef*t_syll*f_vd; %ekv. (T4-4) (AL-Emrani et al.,
    2019).
58
59
60 if V_rd>V_ed
61     disp('syllen Ok mht Tvärkraft')
62 else
63     disp('syllen Ej ok mht Tvärkraft')
64 end
65
66
67 if M_rd>M_ed
68     disp('syllen Ok mht Moment')
69 else
70     disp('syllen Ej ok mht Moment')
71 end
72
73 disp(['Uttnyttjandegrad moment = ',
    num2str(M_ed/M_rd*100), '%'])
74 disp(['Uttnyttjandegrad tvärkraft = ',
    num2str(V_ed/V_rd*100), '%'])
75
```

```
76 -----Resultat-----  
77 syllen Ok mht Tvärkraft  
78 syllen Ok mht Moment  
79 Uttnyttjandegrad moment = 29.2629[%]  
80 Uttnyttjandegrad tvärkraft = 98.3142[%]  
81 -----
```

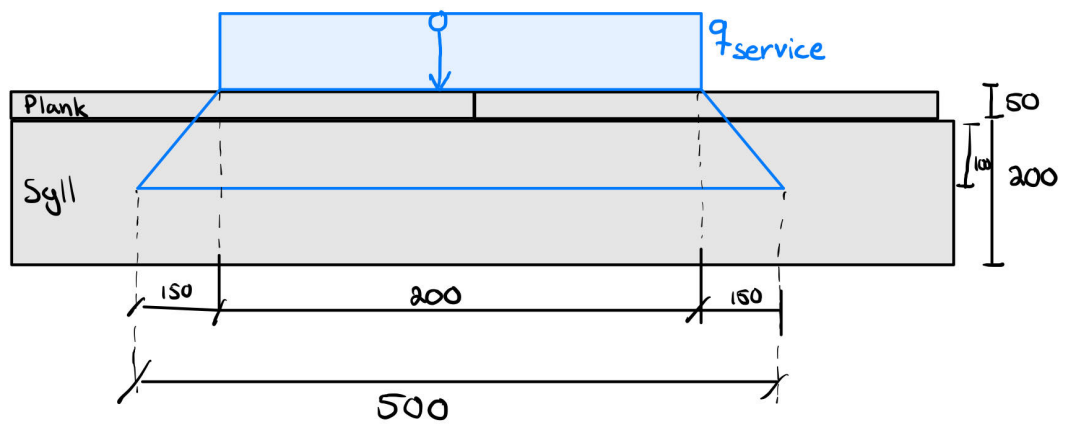
### E.1.5 Analys av syll i bruksgräns - kontroll av nedböjning vid lastfallet då laster är placerade i fält



Figur E.12: Beräkningsmodell för syll med laster placerade i fält



Figur E.13: FEM modell för syll med laster placerade i fält



Figur E.14: Lastspridningen i syll

```

1  clc, clf, clear, close all
2
3  %-----Hämta INDATA-----
4  load b_syll      %[m]
5  load t_syll     %[m]
6  load t_plank    %[m]
7  load L_syll     %[m]
8  load ro_syll    %[kg/m^3]
9  load ro_plank   %[kg/m^3]
10 load E_syll     %[Pa]
11 load cc_syll    %[m]
12
13 %-----Tvärsnittsstorheter-----
14 load I_syll     %[m^4]
15 load A_syll     %[m^2]
16
17 %-----
18
19 %-----element properties-----
20 ep=[E_syll A_syll I_syll];
21
22 %-----definiera noder och dess frihetsgrader-----
23
24 % 5dm bred last efter hänsyn till 1:1 lastspridning
25
26 coord=[0      0      %Vänster ände

```

```

27     0.4    0    %Stöd 1
28     0.785  0    %Last 1 vänster
29     1.285  0    %Last 1 höger
30     1.67   0    %Stöd 2
31     2.085  0    %Last 2 vänster
32     2.585  0    %Last 2 Höger
33     2.94   0    %Stöd 3
34     4.21   0    %Stöd 4
35     4.6    0]; %Höger ände
36
37 dof = [1  2  3;
38        4  5  6;
39        7  8  9;
40       10 11 12;
41       13 14 15;
42       16 17 18;
43       19 20 21;
44       22 23 24;
45       25 26 27
46       28 29 30];
47
48 %-----
49
50 edof=[ 1  1  2  3  4  5  6;
51        2  4  5  6  7  8  9;
52        3  7  8  9 10 11 12;
53        4 10 11 12 13 14 15;
54        5 13 14 15 16 17 18
55        6 16 17 18 19 20 21
56        7 19 20 21 22 23 24
57        8 22 23 24 25 26 27
58        9 25 26 27 28 29 30];
59
60 [Ex,Ey]=coordxtr(edof,coord,dof,2);
61
62
63 % ----- Laster -----
64 load q_tot    %[N/m] %Totala egentynghden som verkar som
        utbredd last
65 load q_last  %[N/m] %Last från servicefordon
66 load P_staket %[N]   % Staketet är end el av egentynghden
        men verkar som
67                                     % punktlast
68 %-----
69

```

```

70 % För att kunna räkna med långtidseffekter så behöver varje
    lasts bidrag
71 % beräknas för att multipliceras med långtids-faktorer.
    Slutligen så
72 % superponderas de.
73
74 %skapar två lastvektorer, en med egenvikten och en för
    hjulasten
75 f_egen=zeros(30,1); f_egen(2,1)=-P_staket;
    f_egen(29,1)=-P_staket;
76 f_last=zeros(30,1);
77
78 eq_egen=zeros(9,2);
79 eq_last=zeros(9,2);
80
81 eq_egen(:,2)=-q_tot;
82 eq_last(3,2)=-q_last; %element 3 och 6 har den utbredda
    hjullasten.
83 eq_last(6,2)=-q_last;
84
85
86
87 %-----
88 %-----STYVHETSMATRISER-----
89
90 K_egen=zeros(30);
91 for i=1:9
92     [Ke_egen, fe_egen]=
93     beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq_egen(i,:));
94     [K_egen, f_egen]=
95     assem(edof(i,:),K_egen,Ke_egen,f_egen,fe_egen);
96 end
97
98 K_last=zeros(30);
99 for i=1:9
100     [Ke_last, fe_last]=
101     beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq_last(i,:));
102     [K_last, f_last]=
103     assem(edof(i,:),K_last,Ke_last,f_last,fe_last);
104 end
105 %-----
106
107
108
109 %-----Randvillkor-----
110

```

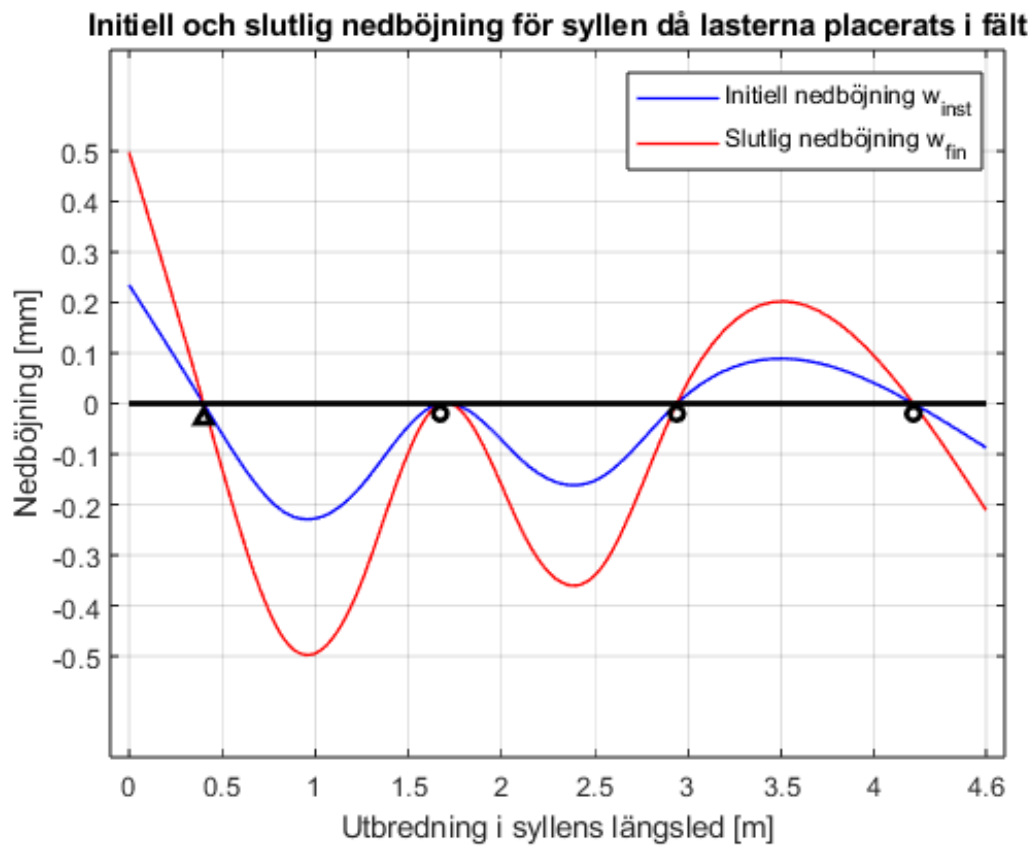
```
111 bc=[4  0
112      5  0
113      14 0
114      23 0
115      26 0];
116
117 %-----
118
119 %-----Lös systemen-----
120 [a_egen,r_egen]=solveq(K_egen,f_egen,bc);
121 [a_last,r_last]=solveq(K_last,f_last,bc);
122
123 Ed_egen=extract(edof,a_egen);
124 Ed_last=extract(edof,a_last);
125
126 %Nedan plockar utböjning ut i ett antal punkter längs ett
127   element
128 % & dess position sparas som "x.."
129 %---utböjning i ytterkonsoler---
130
131
132 [x_utboj_konsol_vanster_egen,w_inst_konsol_vanster_egen]=
133 beam2crd(Ex(1,:),Ey(1,:),Ed_egen(1,:),1);
134 [x_utboj_konsol_hoger_egen,w_inst_konsol_hoger_egen]=
135 beam2crd(Ex(9,:),Ey(9,:),Ed_egen(9,:),1);
136
137 [x_utboj_konsol_vanster_last,w_inst_konsol_vanster_last]=
138 beam2crd(Ex(1,:),Ey(1,:),Ed_last(1,:),1);
139 [x_utboj_konsol_hoger_last,w_inst_konsol_hoger_last]=
140 beam2crd(Ex(9,:),Ey(9,:),Ed_last(9,:),1);
141
142
143 %-- Superponerar initiella nedböjningarna i vänster och
144   höger konsol
144 w_inst_konsol_vanster=w_inst_konsol_vanster_egen+
145 w_inst_konsol_vanster_last;
146 w_inst_konsol_hoger=w_inst_konsol_hoger_egen+
147 w_inst_konsol_hoger_last;
148
149
150
151
152
153 %-----Långtidseffekter-----
```

```
154 k_def=2; % [-] Reduktionsfaktor icke-huvudlast, fri
      variabel last (nyttiglast i det fallet med punktlast)
      (AL-Emrani mfl., 2019) tabell K1.8
155 psi_2=0.6; % [-] Reduktionsfaktor kvasi-permanent last, fri
      variabel last (punktlast och nyttiglast) (AL-Emrani
      mfl., 2019) tabell K1.8
156
157
158 %egenvikten ökas med faktorn k_def enligt ekv. T9-8
      (AL-Emrani mfl., 2014)
159 w_fin_konsol_vanster_egen=
160 w_inst_konsol_vanster_egen*(1+k_def);
161 w_fin_konsol_hoger_egen=
162 w_inst_konsol_hoger_egen*(1+k_def);
163
164 %lasten ökas med faktor psi_2*k_def enligt ekv. T9-9
      (AL-Emrani mfl., 2014)
165 w_fin_konsol_vanster_last=
166 w_inst_konsol_vanster_last*(1+psi_2*k_def);
167 w_fin_konsol_hoger_last=
168 w_inst_konsol_hoger_last*(1+psi_2*k_def);
169
170 % Suerponerar lasternas bidrag och bildar en
      utböjningsvektor för vänster
171 % och en för höger konsol
172 w_fin_konsol_vanster=w_fin_konsol_vanster_egen+
173 w_fin_konsol_vanster_last;
174 w_fin_konsol_hoger=w_fin_konsol_hoger_egen+
175 w_fin_konsol_hoger_last;
176
177
178 %---Utböjningen i fält -----
179
180 %Skapar två matriser med varje element på varsin nod med
      ett antal punkter
181 %kring hur utböjningen varierar längs elementet samt dess
      x-koordinat
182
183 % För egenvikt
184 for i=2:8
185     [x_utboj_faelt_egen(i,:),w_inst_faelt_egen(i,:)]=
186     beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_egen(i,:),1);
187 end
188
189 % För lasten
190 for i=2:8
```

```
191 [x_utboj_faelt_last(i,:),w_inst_faelt_last(i,:)] =
192 beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_last(i,:),1);
193 end
194
195 %--- superponerar initell nedböjning i fält -----
196 w_inst_faelt=w_inst_faelt_egen+w_inst_faelt_last;
197
198 % ---- Långitdeffekter -----
199 %ekv. T9-8 (AL-Emrani mfl., 2014):
200 w_fin_faelt_egen=w_inst_faelt_egen.*(1+k_def);
201 %ekv. T9-9 (AL-Emrani mfl., 2014):
202 w_fin_faelt_last=w_inst_faelt_last.*(1+psi_2*k_def);
203
204 %----- Superponerar båda lasternas bidrag -----
205 w_fin_faelt=w_fin_faelt_egen+w_fin_faelt_last;
206
207
208 % ---- Plocka ut maximal nedböjning ----
209 %----- initiala -----
210 w_inst_max_konsol =
211 max(abs([w_inst_konsol_vanster;w_inst_konsol_hoger]),[],'all');
212 w_inst_max_faelt=max(abs(w_inst_faelt),[],'all');
213 %----- slutliga -----
214 w_fin_max_konsol =
215 max(abs([w_fin_konsol_vanster;w_fin_konsol_hoger]),[],'all');
216 w_fin_max_faelt=max(abs(w_fin_faelt),[],'all');
217
218
219
220
221 %-----KRAV-----
222 w_fin_krav_konsol=0.4/400; %(Trafikverket,2019) (L/400)
223 w_fin_krav_faelt=1.27/400; %(Trafikverket,2019) (L/400)
224
225
226 disp('-----RESULTAT-----')
227 disp('Initiella nedböjningar:')
228 disp(['Max initiell nedböjning i ytterkonsol
229 w_{inst.konsol}= ', num2str(w_inst_max_konsol*1000), '
230 [mm]'])
229 disp(['Max initiell nedböjning i fält w_{inst.fält}= ',
230 num2str(w_inst_max_faelt*1000), ' [mm]'])
231
232 disp('Slutliga nedböjningar:')
232 disp(['Max slutlig nedböjning i ytterkonsol
233 w_{fin.konsol}= ', num2str(w_fin_max_konsol*1000), '
234 [mm]'])
```

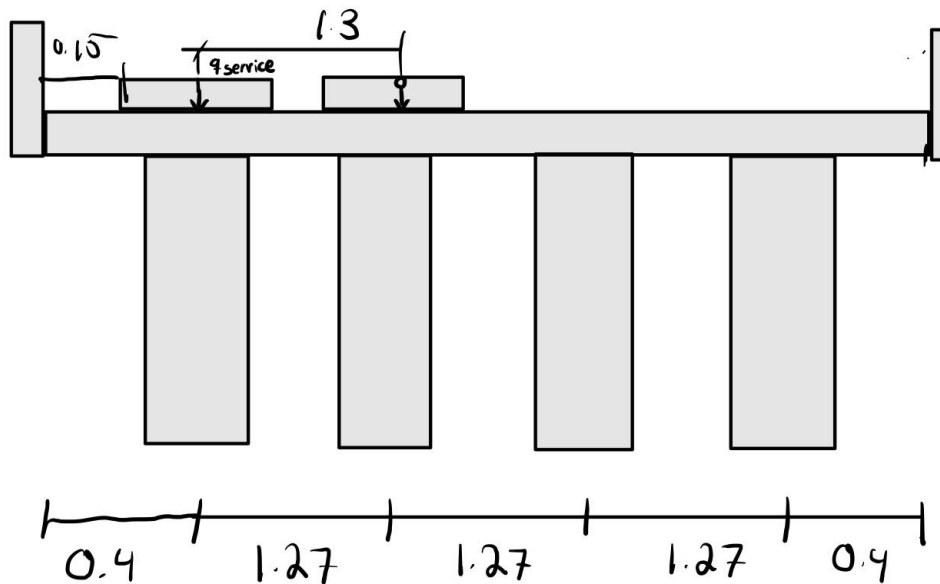
```
[mm]'])
233 if w_fin_krav_konsol>w_fin_max_konsol
234     disp('Syllen OKEJ med avseende på utböjning i
          ytterkonsol, laster placerade över fält')
235 else
236     disp('Syllen EJ OKEJ med avseende på utböjning i
          ytterkonsol, laster placerade över fält')
237 end
238 disp(['Max slutlig nedböjning i fält w_{fin.fält = ',
        num2str(w_fin_max_faelt*1000), ' [mm]'])
239 if w_fin_krav_faelt>w_fin_max_faelt
240     disp('Syllen OKEJ med avseende på utböjning i fält,
          laster placerade över fält')
241 else
242     disp('Syllen EJ OKEJ med avseende på utböjning i fält,
          laster placerade över fält')
243 end
244 disp('-----')
245
246
247
248
249
250 % ----- Plotta nedböjningarna -----
251 %initiell nedböjning
252 w_inst=[w_inst_konsol_vanster;
253         w_inst_faelt;w_inst_konsol_hoger];
254 x_inst=[x_utboj_konsol_vanster_last;
255         x_utboj_faelt_last;x_utboj_konsol_hoger_last];
256 % Slutlig nedböjning
257 % Lägg konsol utböjning och fältnedbäjning i en matris
258 w_fin=[w_fin_konsol_vanster;
259        w_fin_faelt;w_fin_konsol_hoger];
260 % Lägg dess tillhörande x - värden i en matris
261 x_fin=[x_utboj_konsol_vanster_last;
262        x_utboj_faelt_last;
263        x_utboj_konsol_hoger_last];
264
265 figure(5)
266 for i=1:10
267     plot(x_inst(i,:),w_inst(i,)*1000,'blue','LineWidth',1)
268     hold on
269 end
270 for i=1:10
271     plot(x_fin(i,:),w_fin(i,)*1000,'red','LineWidth',1)
272     hold on
```



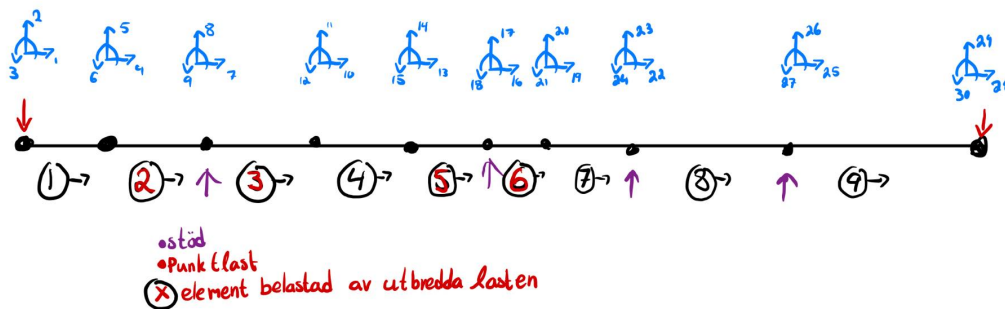


**Figur E.15:** Nedböjningsdiagram för syllen då lasten placeras i fält

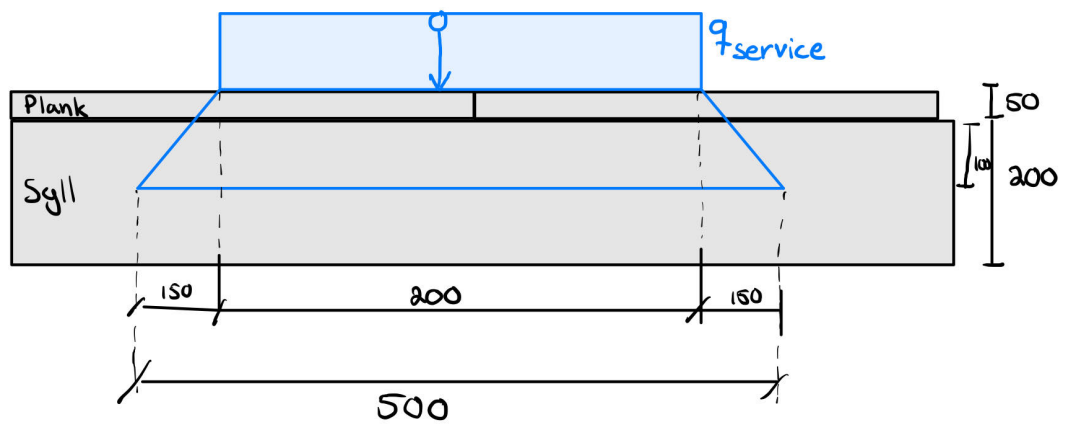
### E.1.6 Analys av syll i bruksgräns - kontroll av nedböjning vid lastfallet då laster placerade över stöd



Figur E.16: Beräkningsmodell för syll med last placerad över stöd



Figur E.17: FEM modell för syll med last placerad över stöd



Figur E.18: Lastspridningen i syll

```

1  %-----Hämta INDATA-----
2  clc,clf, clear,close all
3
4
5  load b_syll    %[m]
6  load t_syll    %[m]
7  load t_plank   %[m]
8  load L_syll    %[m]
9  load ro_syll   %[kg/m^3]
10 load ro_plank  %[kg/m^3]
11 load ro_syll   %[kg/m^3]
12 load E_syll    %[Pa]
13 load cc_syll   %[m]
14
15 %-----
16 load I_syll
17 load A_syll
18 %-----
19
20 %-----element properties-----
21 ep=[E_syll A_syll I_syll];
22
23 %-----definiera noder och dess frihetsgrader-----
24
25 % sätter att service fordon ej närmare staket än 0.15 m
26 % 5dm bred last efter hänsyn till 1:1 lastspridning

```

```
27
28 coord=[0      0      %Vänster ände
29         0.15 0      %Last 1 vänster
30         0.4  0      %Stöd 1
31         0.65 0      %Last 1 höger
32         1.45 0      %Last 2 vänster
33         1.67 0      %Stöd 2
34         1.95 0      %Last 2 Höger
35         2.94 0      %Stöd 3
36         4.21 0      %Stöd 4
37         4.6  0]; %Höger ände
38
39 dof = [1 2 3;
40        4 5 6;
41        7 8 9;
42        10 11 12;
43        13 14 15;
44        16 17 18;
45        19 20 21;
46        22 23 24;
47        25 26 27
48        28 29 30];
49
50 %-----
51
52 edof=[ 1 1 2 3 4 5 6;
53        2 4 5 6 7 8 9;
54        3 7 8 9 10 11 12;
55        4 10 11 12 13 14 15;
56        5 13 14 15 16 17 18
57        6 16 17 18 19 20 21
58        7 19 20 21 22 23 24
59        8 22 23 24 25 26 27
60        9 25 26 27 28 29 30];
61
62 [Ex ,Ey]=coorxtr(edof , coord , dof , 2);
63
64 %----- Hämta Laster -----
65 load q_tot      %[N/m] %Totala egentyngden som verkar som
        utbredd last
66 load q_last    %[N/m] %Last från servicefordon
67 load P_staket %[N]   % Staketet är end el av egentyngden
        men verkar som
68                                     % punktlast
69 %-----
70
```

```
71 % För att kunna räkna med långtideffekter så behöver varje
    lasts bidrag
72 % beräknas för att multipliceras med långtids-faktorer.
    Slutligen så
73 % superponderas de.
74
75 %skapar två lastvektorer, en med egenvikten och en för
    hjulasten
76 f_egen=zeros(30,1); f_egen(2,1)=-P_staket;
    f_egen(29,1)=-P_staket;
77 f_last=zeros(30,1);
78
79 eq_egen=zeros(9,2);
80 eq_last=zeros(9,2);
81
82 eq_egen(:,2)=-q_tot;
83 eq_last(2,2)=-q_last; %element 2,3,5 och 6 har den
    utbredda hjullasten.
84 eq_last(3,2)=-q_last;
85 eq_last(5,2)=-q_last;
86 eq_last(6,2)=-q_last;
87
88
89 %-----
90 %-----STYVHETSMATRISER-----
91
92 K_egen=zeros(30);
93 for i=1:9
94     [Ke_egen, fe_egen]=
95     beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq_egen(i,:));
96     [K_egen, f_egen]=
97     assem(edof(i,:),K_egen,Ke_egen,f_egen,fe_egen);
98 end
99
100 K_last=zeros(30);
101 for i=1:9
102     [Ke_last, fe_last]=
103     beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq_last(i,:));
104     [K_last, f_last]=
105     assem(edof(i,:),K_last,Ke_last,f_last,fe_last);
106 end
107 %-----
108
109
110
111 %-----Randvillkor-----
```

```
112
113 bc=[7  0
114      8  0
115     17 0
116     23 0
117     26 0];
118
119 %-----
120
121 %-----Lös systemen-----
122 [a_egen,r_egen]=solveq(K_egen,f_egen,bc);
123 [a_last,r_last]=solveq(K_last,f_last,bc);
124
125 Ed_egen=extract(edof,a_egen);
126 Ed_last=extract(edof,a_last);
127
128
129 %Nedan plockar ut utböjning i ett antal punkter längs ett
    element
130 % & dess position sparas som x...
131
132 %---utböjning i ytterkonsoler----
133
134
135 for i=1:2
136 [x_utboj_konsol_vanster_egen(i,:),
137  w_inst_konsol_vanster_egen(i,)] =
138 beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_egen(i,:),1);
139 end
140 [x_utboj_konsol_hoger_egen,w_inst_konsol_hoger_egen]=
141 beam2crd(Ex(9,:),Ey(9,:),Ed_egen(9,:),1);
142
143
144 for i=1:2
145 [x_utboj_konsol_vanster_last(i,:),
146  w_inst_konsol_vanster_last(i,)] =
147 beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_last(i,:),1);
148 end
149 [x_utboj_konsol_hoger_last,
150  w_inst_konsol_hoger_last]=
151 beam2crd(Ex(9,:),Ey(9,:),Ed_last(9,:),1);
152
153
154 %-- Superponerar initiella nedböjningarna i vänster och
    höger konsol
155 w_inst_konsol_vanster=
```

```
156 w_inst_konsol_vanster_egen+w_inst_konsol_vanster_last;
157 w_inst_konsol_hoger=
158 w_inst_konsol_hoger_egen+w_inst_konsol_hoger_last;
159
160
161
162
163
164 %-----Långtidseffekter-----
165 k_def=2; % [-] Reduktionsfaktor icke-huvudlast, fri
    variabel last (nyttiglast i det fallet med punktlast)
    (AL-Emrani mfl., 2019) tabell K1.8
166 psi_2=0.6; % [-] Reduktionsfaktor kvasi-permanent last, fri
    variabel last (punktlast och nyttiglast) (AL-Emrani
    mfl., 2019) tabell K1.8
167
168
169 %egenvikten ökas med faktorn k_def enligt ekv. T9-8
    (AL-Emrani mfl., 2014)
170 w_fin_konsol_vanster_egen=
171 w_inst_konsol_vanster_egen*(1+k_def);
172 w_fin_konsol_hoger_egen=
173 w_inst_konsol_hoger_egen*(1+k_def);
174
175 %lasten ökas med faktor psi_2*k_def enligt ekv. T9-9
    (AL-Emrani mfl., 2014)
176 w_fin_konsol_vanster_last=
177 w_inst_konsol_vanster_last*(1+psi_2*k_def);
178 w_fin_konsol_hoger_last=
179 w_inst_konsol_hoger_last*(1+psi_2*k_def);
180
181 % Suerponerar lasternas bidrag och bildar en
    utböjningsvektor för vänster
182 % och en för höger konsol
183 w_fin_konsol_vanster=
184 w_fin_konsol_vanster_egen+w_fin_konsol_vanster_last;
185 w_fin_konsol_hoger=
186 w_fin_konsol_hoger_egen+w_fin_konsol_hoger_last;
187
188
189 %---Utböjningen i fält -----
190
191 %Skapar två matriser med varje element på varsin nod med
    ett antal punkter
192 %kring hur utböjningen varierar längs elementet samt dess
    x-koordinat
```

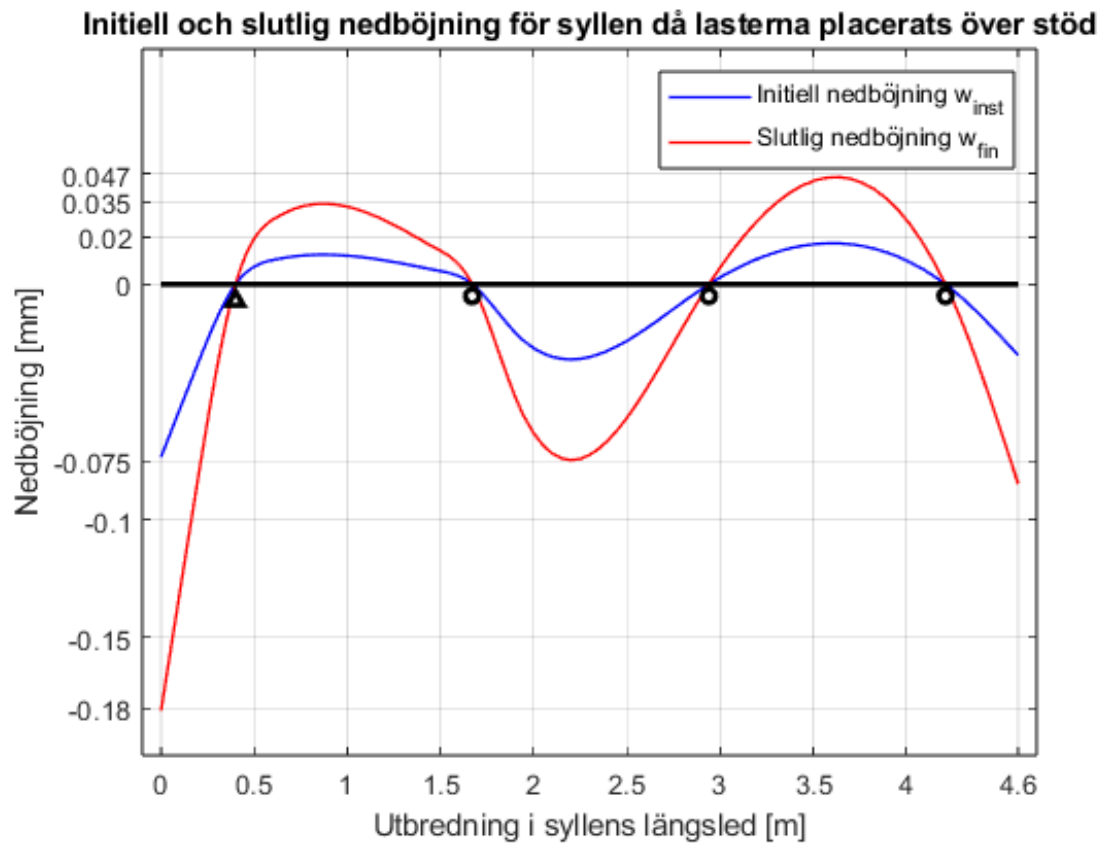
```
193
194 % För egenvikt
195 for i=3:8
196     [x_utboj_faelt_egen(i,:),w_inst_faelt_egen(i,:)]=
197     beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_egen(i,:),1);
198 end
199
200 % För lasten
201 for i=3:8
202     [x_utboj_faelt_last(i,:),w_inst_faelt_last(i,:)]=
203     beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_last(i,:),1);
204 end
205
206 %--- superponerar initell nedböjning i fält -----
207 w_inst_faelt=w_inst_faelt_egen+w_inst_faelt_last;
208
209 % ---- Långitdeflekter -----
210 %ekv. T9-8 (AL-Emrani mfl., 2014):
211 w_fin_faelt_egen=w_inst_faelt_egen.*(1+k_def);
212 %ekv. T9-9 (AL-Emrani mfl., 2014):
213 w_fin_faelt_last=w_inst_faelt_last.*(1+psi_2*k_def);
214
215 %----- Superponerar båda lasternas bidrag -----
216 w_fin_faelt=w_fin_faelt_egen+w_fin_faelt_last;
217
218
219 % ----- Plocka ut maximal nedböjning -----
220 %----- initiala -----
221 w_inst_max_konsol=
222 max(abs([w_inst_konsol_vanster;w_inst_konsol_hoger]),[],'all');
223 w_inst_max_faelt=max(abs(w_inst_faelt),[],'all');
224 %----- slutliga -----
225 w_fin_max_konsol=
226 max(abs([w_fin_konsol_vanster;w_fin_konsol_hoger]),[],'all');
227 w_fin_max_faelt=max(abs(w_fin_faelt),[],'all');
228
229
230
231
232 %-----KRAV-----
233 w_fin_krav_konsol=0.4/400;   %(Trafikverket,2019) (L/400)
234 w_fin_krav_faelt=1.27/400;  %(Trafikverket,2019) (L/400)
235
236
237 disp('-----RESULTAT-----')
238 disp('Initiella nedböjningar:')
```

```
239 disp(['Max initiell nedböjning i ytterkonsol
      w_{inst.konsol}= ', num2str(w_inst_max_konsol*1000), '
      [mm]'])
240 disp(['Max initiell nedböjning i fält w_{inst.fält}= ',
      num2str(w_inst_max_faelt*1000), ' [mm]'])
241
242 disp('Slutliga nedböjningar:')
243 disp(['Max slutlig nedböjning i ytterkonsol
      w_{fin.konsol}= ', num2str(w_fin_max_konsol*1000), '
      [mm]'])
244 if w_fin_krav_konsol>w_fin_max_konsol
245     disp('Syllen OKEJ med avseende på utböjning i
          ytterkonsol, laster placerade över fält')
246 else
247     disp('Syllen EJ OKEJ med avseende på utböjning i
          ytterkonsol, laster placerade över fält')
248 end
249 disp(['Max slutlig nedböjning i fält w_{fin.fält} = ',
      num2str(w_fin_max_faelt*1000), ' [mm]'])
250 if w_fin_krav_faelt>w_fin_max_faelt
251     disp('Syllen OKEJ med avseende på utböjning i fält,
          laster placerade över fält')
252 else
253     disp('Syllen EJ OKEJ med avseende på utböjning i fält,
          laster placerade över fält')
254 end
255 disp('-----')
256
257
258
259
260
261 % ----- Plotta nedböjningarna -----
262 %initiell nedböjning
263 w_inst=[w_inst_konsol_vanster;w_inst_faelt;
264         w_inst_konsol_hoger];
265 x_inst=[x_utboj_konsol_vanster_last;
266         x_utboj_faelt_last;
267         x_utboj_konsol_hoger_last];
268 % Slutlig nedböjning
269 % Lägg konsol utböjning och fältnedbäjning i en matris
270 w_fin=[w_fin_konsol_vanster;
271        w_fin_faelt;w_fin_konsol_hoger];
272 % Lägg dess tillhörande x - värden i en matris
273 x_fin=[x_utboj_konsol_vanster_last;
274        x_utboj_faelt_last;
```



```

314 Syllen OKEJ med avseende på utböjning i ytterkonsol,
    laster placerade över fält
315 Max slutlig nedböjning i fält  $w_{\text{fin.fält}} = 0.074669$  [mm]
316 Syllen OKEJ med avseende på utböjning i fält, laster
    placerade över fält
317 -----
    
```



**Figur E.19:** Nedböjningsdiagram för syllen då lasten placeras över stöd

## E.2 Dimensionering av huvudbalkar

### E.2.1 Indata huvudbalkar

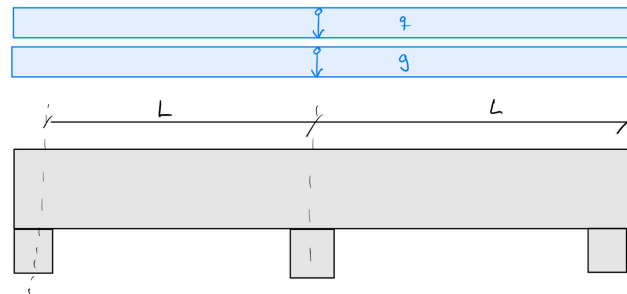
```
1 clear all
2 clc
3
4
5 %-----MATERIALEGENSKAPER-----
6
7 %---Konstruktionsvirke - syll---
8 E_syll=13700e6; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt
   fibrerna C24 (AL-Emrani mfl., 2019) s.T30
9 rohk_syll=420; % [kg/m^3] Karaktäristisk densitet trä
   C24 (AL-Emrani mfl., 2019) s.T30
10
11 save E_syll E_syll
12 save rohk_syll rohk_syll
13
14 %---Limträ - balkar---
15 E_balk=10800e6; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt
   fibrerna GL30c (SS-EN 14080:2013)
16 rohk_balk=430; % [kg/m^3] Karaktäristisk densitet GL30c
   (SS-EN 14080:2013)
17
18 save E_balk E_balk
19 save rohk_balk rohk_balk
20
21 %---Asfalt---
22 roh_asfalt=22e3; % [N/m^3] Tunghet asfaltsmix
   (Trafikverket, 2019) s.59
23
24 save roh_asfalt roh_asfalt
25
26 %---Hållfasthetsvärden---
27 fmk=30e6; % [Pa] Böjkapacitet, GL30c (AL-Emrani
   mfl., 2019) tabell T2.4
28 fvk=3.5e6; % [Pa] Skjuvkapacitet, GL30c (AL-Emrani
   mfl., 2019) tabell T2.4
29 gamma_m=1.25; % [-] Partitalkoefficient, limträ
   (AL-Emrani mfl., 2019) s.T32
30 k_mod=0.7; % [-] Klimatklass 3, kort
   lastvaraktighet (AL-Emrani mfl., 2019) tabell T2.8
```

```
31 k_krit=1;           % [-] Ingen risk för vippning (AL-Emrani
    mfl., 2019) ekv. T3-29
32 k_h=1;            % [-] Omräkningsfaktor, högre balk än
    600 mm (AL-Emrani mfl., 2019) ekv. T2-14
33 kcr=0.67;        % [-] Korrektionsfaktor, limträ
    (AL-Emrani mfl., 2019) s.T56
34 k_def=2.0;       % [-] Omräkningsfaktor mht krypning,
    GL30c Klimatklass 3 (AL-Emrani mfl., 2019) tabell T2.9
35
36 save fmk fmk
37 save k_mod k_mod
38 save gamma_m gamma_m
39 save k_krit k_krit
40 save k_h k_h
41 save kcr kcr
42 save fvk fvk
43 save K_def
44
45 %-----GEOMETRISK INDATA-----
46 %---Broana---
47 L=25;             % [m] Spännvidd, se förslagsskiss (Bilaga
    A)
48 b=4.6;           % [m] Fri brobredd, se förslagsskiss
    (Bilaga A)
49
50 save L L
51 save b b
52
53 %---Geometri överbyggnad---
54 % Slitplank
55 b_plank=175e-3;  % [m] Plankans bredd standarddimensioner
    (Träguiden, 2018)
56 t_plank=50e-3;  % [m] Plankans tjocklek
    standarddimensioner (Träguiden, 2018)
57
58 save b_plank b_plank
59 save t_plank t_plank
60
61 % Syll
62 n_syll=10;       % [st/m] Antal syllar per meter
63 h_syll=226e-3;  % [m] Syllens höjd standarddimensioner
    (Träguiden, 2018)
64 b_syll=75e-3;   % [m] Syllens bredd standarddimensioner
    (Träguiden, 2018)
65
66 save n_syll n_syll
```

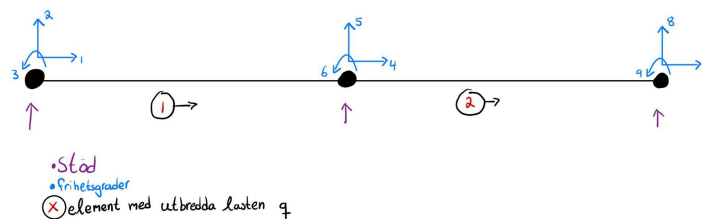
```
67 save h_syll h_syll
68 save b_syll b_syll
69
70 % Balkar
71 n_balk=4;          % [st] Antal huvudbalkar
72 h_balk=1.575;     % [m] Balkens höjd standarddimensioner
    (Träguiden, 2018)
73 b_balk=2*0.215;  % [m] Balkens bredd standarddimensioner
    (Träguiden, 2018)
74
75 save n_balk n_balk
76 save h_balk h_balk
77 save b_balk b_balk
78
79 % Asfaltskikt
80 t_asfalt=0.05;   % [m] PEAB Asfalt
81 b_asfalt=b;      % [m] Fri brobredd, se förslagsskiss
    (Bilaga A)
82
83 save t_asfalt t_asfalt
84 save b_asfalt b_asfalt
85
86 %---Tvärsnittsstorheter---
87 I_balk=n_balk*(b_balk*h_balk^3)/12; % [m^4]
88 A_balk=n_balk*h_balk*b_balk;       % [m^2]
89
90 save I_balk I_balk
91 save A_balk A_balk
92
93 %-----LASTER-----
94 %---Nyttiglast---
95 p=5e3; % [N/m^2] Fri variabel last från GC-trafik
96 q=p*b; % [N/m] Fördelat i längsled
97
98 save p p
99 save q q
100
101 %---Egentyngd---
102 g_racke=0.5e3; % [N/m] Mvh Leppänens föreläsning
103 g_syll=rohk_syll*9.81*n_syll*h_syll*b_syll;
104 g_plank=rohk_syll*9.81*b*t_plank;
105 g_asfalt=roh_asfalt*(t_asfalt*b_asfalt);
106 g_balkar=rohk_balk*9.81*(n_balk*h_balk*b_balk);
107
108 g=g_racke+g_syll+g_plank+g_asfalt+g_balkar; % [N/m] Total
    egentyngd
```

```
109
110 save g g
111
112 %---Servicefordon---
113 Qsv1=80e3; % [N] Punktlast från servicefordonets bakre axel
114 Qsv2=40e3; % [N] Funktlast från servicefordonets främre
    axel
115 P1=Qsv1;
116 P2=Qsv2;
117
118 save Qsv1 Qsv1
119 save Qsv2 Qsv2
120 save P1 P1
121 save P2 P2
122
123
124 %---Reduktiossfaktor långtidslast---
125 psi_1=0.6; % [-] Reduktionsfaktor kvasi-permanent last, fri
    variabel last (punktlast och nyttiglast) (AL-Emrani
    mfl., 2019) tabell K1.8
126
127 save psi_1
128
129 %-----FÖRBAND-----
130 %---Trä---
131 gamma_m_forband=1.3; % [-] Partialkoefficient förband
132
133 save gamma_m_forband gamma_m_forband
134
135 %---Dymlingar---
136 fub=800; % [MPa] Brotthållfasthet dymling (AL-Emrani
    mfl., 2019) s.S103
137 fyb=640; % [MPa] Sträckgräns för dymling (AL-Emrani
    mfl., 2019) s.S103
138
139 save fub fub
140 save fyb fyb
```

## E.2.2 Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 1 huvudbalkar



Figur E.20: Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar.



Figur E.21: Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar.

```

1
2 %-----INDATA-----
3 %---Materialegenskaper trä---
4 load E_balk; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt fibrerna
5
6 %---Broana---
7 load L % [m] Spännvidd
8
9
10 %-----LASTER-----
11 load q; % [N/m] Nyttiglast
12 load g % [N/m] Egentyngd
13
14 %---Total last i brottsgräns---
15 % Fall 1 - Jämmt utbredd last från nyttiglast symetrisk
16 Q1=1.35*g+1.5*q; % [N/m]

```

```

17
18
19 %-----ANALYS I CALFEM-----
20 %---Tvärsnittsstorheter---
21 load I_balk; % [m^4] Yttröghetsmoment
22 load A_balk; % [m^2] Tvärsnittsarea
23
24 %---Topologi---
25 Edof=[1 1 2 3 4 5 6; 2 4 5 6 7 8 9];
26
27 %---Elementegenskaper---
28 ep1=[E_balk A_balk I_balk]; ep2=ep1;
29 ex1=[0 L]; ex2=[L 2*L];
30 ey1=[0 0]; ey2=ey1;
31 eq1=[0 -Q1]; eq2=eq1;
32
33 %---Lastvektor och styvhetsmatris---
34 [Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey1, ep1, eq1);
35 [Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey2, ep2, eq2);
36
37 %---Assemblering---
38 K=zeros(9,9);
39 f=zeros(9,1);
40 [K, f]=assem(Edof(1,:), K, Ke1, f, fe1);
41 [K, f]=assem(Edof(2,:), K, Ke2, f, fe2);
42
43 %---Upplagsvillkor---
44 bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0];
45
46 %---Lös systemet---
47 [a, r]=solveq(K, f, bc);
48
49 %---Inre krafter---
50 Ed=extract(Edof, a);
51 es1=beam2s(ex1, ey1, ep1, Ed(1,:), eq1, 250);
52 es2=beam2s(ex2, ey2, ep2, Ed(2,:), eq2, 250);
53
54 %-----MOMENT- OCH TVÄRKRAFTSMATRIS-----
55 % Matris som redovisar moment (kolon 3) och tvärkrafter
56 % positioner av balken "x", där x ges var 10 cm
57 x=linspace(0, 50, 501);
58 M=[0; es1(:, 3); es2(:, 3)];
59 V=[es1(:, 2); es2(:, 2); r(8)];
60 Momentochtvarkraftmatris=zeros(501, 3);
61 Momentochtvarkraftmatris(:, 1)=x;

```

```

62 Momentochtvarkraftmatrix(:,2)=V;
63 Momentochtvarkraftmatrix(:,3)=M;
64
65
66 %-----MOMENT-----
67 M_max_faelt=max([es1(:,3);es2(:,3)]);
68 M_max_stod=es2(1,3);
69 M_max_fall1=max(abs([M_max_stod M_max_faelt]));
70
71 %---Momentdiagram---
72 figure(1)
73
74 % Skalfaktorer
75 sfac=scalfact2(ex2,ey2,es2(:,3),0.4);
76 s1=0.08; % Skalar positionen för stöd
77 s2=1.4; % Skalar placeringen av text
78
79 % Balken
80 plotpar=[2 1 0];
81 eldraw2(ex1,ey1,plotpar);
82 eldraw2(ex2,ey2,plotpar);
83 hold on
84 plot(0,-M_max_fall1*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
85 'MarkerSize',6)
86 plot(L,-M_max_fall1*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
87 'MarkerSize',6)
88 plot(2*L,-M_max_fall1*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
89 'MarkerSize',6)
90
91 % Moment
92 plotpar=[2 1];
93 eldia2(ex1,ey1,es1(:,3),plotpar,sfac);
94 eldia2(ex2,ey2,es2(:,3),plotpar,sfac);
95
96 % Formatering
97 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.8*(M_max_faelt)*sfac
98 -2*(M_max_stod)*sfac]);
99 pltscalb2(sfac,[1e6 0.5 5]);
100 txt1_falt=int2str(M_max_faelt);
101 txt1_mitt=int2str(M_max_stod);
102 text(0.375*L,-(s2*M_max_faelt*sfac),txt1_falt)
103 text(L+1,-(s2*M_max_stod*sfac),txt1_mitt)
104 text(0.5,-2.8*M_max_faelt*sfac+2,'OBS! Moment för hela
105 bron, för att få per balk, dela på 4')
106 title('Moment [Nm]')
107 subtitle('Fall 1: Variabel last i bägge facken')

```

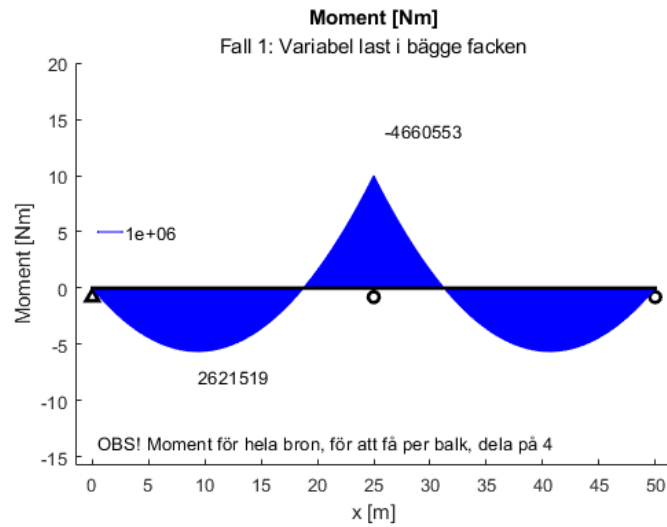
```

106 ylabel('Moment [Nm]')
107 xlabel('x [m]')
108
109
110 %-----TVÄRKRAFT-----
111 V_max_fall1=max(abs([es1(:,2);es2(:,2)]));
112
113 %--Tvärkraftsdiagram--
114 figure(2)
115 sfac=scalfact2(ex2,ey2,es2(:,2),0.3); % Skalfaktor
116
117 % Balken
118 plotpar=[2 1 0];
119 eldraw2(ex1,ey1,plotpar);
120 eldraw2(ex2,ey2,plotpar);
121 x=linspace(0,2*L);
122 hold on
123 plot(0,-V_max_fall1*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
124 'MarkerSize',6)
125 plot(L,-V_max_fall1*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
126 'MarkerSize',6)
127 plot(2*L,-V_max_fall1*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
128 'MarkerSize',6)
129
130 % Tvärkraft
131 plotpar=[2 1];
132 eldia2(ex1,ey1,es1(:,2),plotpar,sfac);
133 eldia2(ex2,ey2,es2(:,2),plotpar,sfac);
134
135 % Formatering
136 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.5*V_max_fall1*sfac
137 2*V_max_fall1*sfac]);
137 pltscalb2(sfac,[1e5 0.5 -5]);
138 txt1_0=int2str(es1(1,2));
139 txt1_mitt1=int2str(es1(250,2));
140 txt1_mitt2=int2str(es2(1,2));
141 txt1_L=int2str(es2(250,2));
142 text(0,-(s2*es1(1,2)*sfac),txt1_0)
143 text(L,-(s2*es1(250,2)*sfac),txt1_mitt1)
144 text(L,-(s2*es2(1,2)*sfac),txt1_mitt2)
145 text(2*L-5,-(s2*es2(250,2)*sfac),txt1_L)
146 text(0.5,-2.5*V_max_fall1*sfac+2,'OBS! Tvärkraft för hela
147 bron, för att få per balk, dela på 4')
147 title('Tvärkraft [N]')
148 subtitle('Fall 1: Variabel last i bägge facken')
149 ylabel('Tvärkraft [N] (omskalad)')

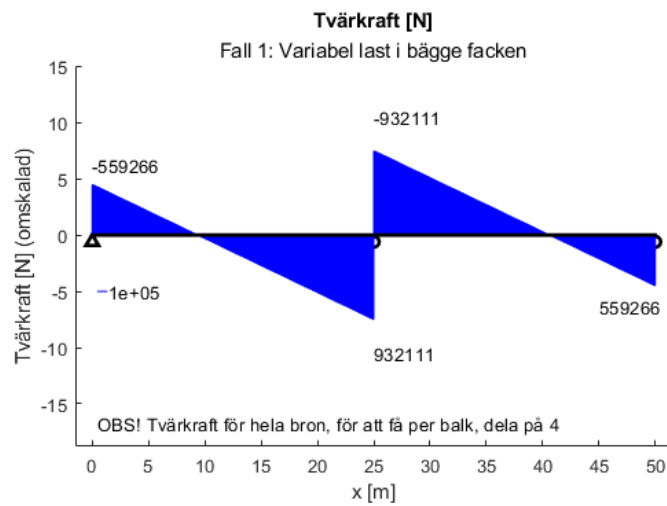
```

```
150 xlabel('x [m]')
151
152
153 %-----SPARA NED RESULTATET-----
154 %---Max moment---
155 save M_max_fall1 M_max_fall1
156
157 %---Max tvärkraft---
158 save V_max_fall1 V_max_fall1
159
160 %---Reaktionskraft för beräkning av upplagstryck---
161 r_ytterstod_fall_1=[r(2);r(8)];
162 r_mittstod_fall_1=r(5);
163
164 r_max_ytterstod_1=max(r_ytterstod_fall_1);
165 r_max_mittstod_1=r_mittstod_fall_1;
166
167 save r_max_ytterstod_1 r_max_ytterstod_1
168 save r_max_mittstod_1 r_max_mittstod_1
169
170 %---Snittkrafter till diagram med alla lastfall---
171 ex_fall1=[ex1; ex2];
172 es1_fall1=es1;
173 es2_fall1=es2;
174
175 save ex_fall1 ex_fall1
176 save es1_fall1 es1_fall1
177 save es2_fall1 es2_fall1
178
179
180 %-----RESULTAT-----
181 disp(' ')
182 disp('-----')
183 disp('RESULTAT:')
184 disp('lastfall 1 - jämnt utbredd last över hela balken')
185 disp(' ')
186 disp(['Maximalt moment = ', num2str(M_max_fall1), ' [Nm]'])
187 disp(['Maximal tvärkraft = ', num2str(V_max_fall1), ' '
188      '[N]'])
188 disp('-----')
189
190 -----
191 RESULTAT:
192 lastfall 1 - jämnt utbredd last över hela balken
193
194 Maximalt moment = 4660553.3367 [Nm]
```

195 Maximal tvärkraft = 932110.6673 [N]  
 196 -----

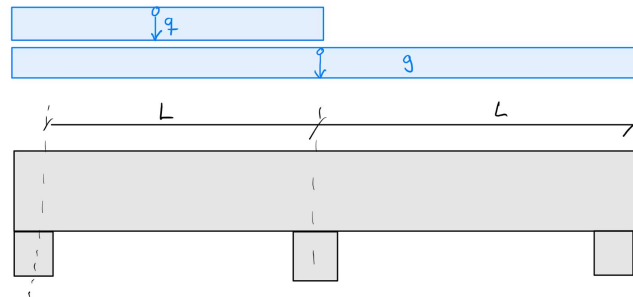


Figur E.22: Momentdiagram lastfall 1 huvudbalkar.

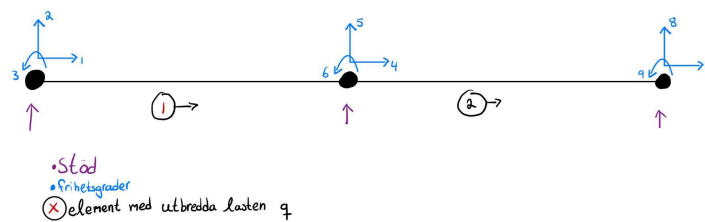


Figur E.23: Tvärkraftsdiagram lastfall 1 huvudbalkar.

### E.2.3 Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 2 huvudbalkar



Figur E.24: Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar.



Figur E.25: FEM-modell lastfall 1 huvudbalkar.

```

1
2 %-----INDATA-----
3 %---Materialegenskaper trä---
4 load E_balk; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt fibrerna
5
6 %---Broana---
7 load L % [m] Spännvidd
8
9
10 %-----LASTER-----
11 load q; % [N/m] Nyttiglast
12 load g % [N/m] Egentyngd
13
14
15 %---Lastfall 2 - Jämnt utbredd last från nyttiglast
    asymetrisk fördelning---
```

```

16 QA=1.35*g+1.5*q;      % [N/m]
17 QB=1.35*g;
18
19
20 %-----ANALYS I CALFEM-----
21 % -- Tvärsnittsstorheter --
22 load I_balk
23 load A_balk
24
25 %---Topologi---
26 Edof=[1 1 2 3 4 5 6; 2 4 5 6 7 8 9];
27
28 %---Elementegenskaper---
29 ep1=[E_balk A_balk I_balk]; ep2=ep1;
30 ex1=[0 L]; ex2=[L 2*L];
31 ey1=[0 0]; ey2=ey1;
32 eq1=[0 -QA]; eq2=[0 -QB];
33
34 %---Elementstyvhetsmatriser och elemntlastvektor---
35 [Ke1 , fe1]=beam2e(ex1 , ey1 , ep1 , eq1);
36 [Ke2 , fe2]=beam2e(ex2 , ey2 , ep2 , eq2);
37
38 %---Assemblering---
39 K=zeros(9,9);
40 f=zeros(9,1);
41 [K , f]=assem(Edof(1 , :), K , Ke1 , f , fe1);
42 [K , f]=assem(Edof(2 , :), K , Ke2 , f , fe2);
43
44 %---Upplagsvillkor---
45 bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0];
46
47 %---Lös systemet---
48 [a , r]=solveq(K , f , bc);
49
50 %---Snittkrafter---
51 Ed=extract(Edof , a);
52 es1=beam2s(ex1 , ey1 , ep1 , Ed(1 , :), eq1 , 250);
53 es2=beam2s(ex2 , ey2 , ep2 , Ed(2 , :), eq2 , 250);
54
55
56 %-----MOMENT- OCH TVÄRKRAFTSMATRIS-----
57 % Matris som redovisar moment (kolon 3) och tvärkrafter
   (kolon 2) vid olika
58 % positioner av balken "x", där x ges var 10 cm.
59 x=linspace(0 , 50 , 501);
60 M=[0; es1(:,3); es2(:,3)];

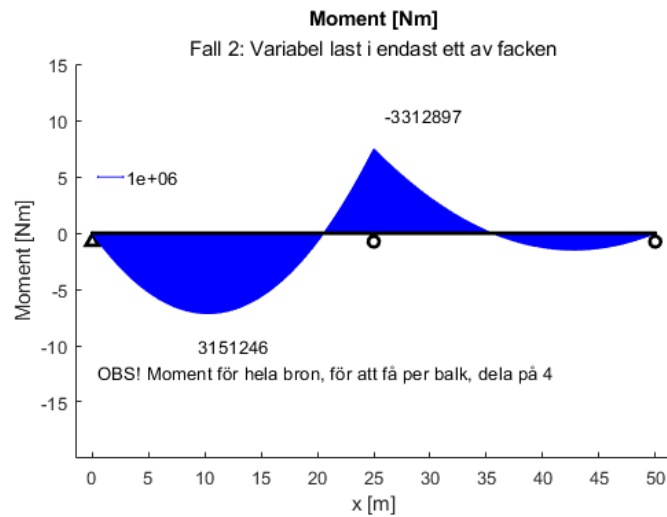
```

```
61 V=[es1(:,2);es2(:,2);r(8)];
62 Momentochtvarkraftmatris=zeros(501,3);
63 Momentochtvarkraftmatris(:,1)=x;
64 Momentochtvarkraftmatris(:,3)=M;
65 Momentochtvarkraftmatris(:,2)=V;
66
67
68 %-----MOMENT-----
69 M_max_faelt=max([es1(:,3);es2(:,3)]);
70 M_max_stod=es2(1,3);
71 M_max_fall2=max(abs([M_max_stod M_max_faelt]));
72
73 %---Momentdiagram---
74 figure(1)
75
76 % Skalfaktorer
77 sfac=scalfact2(ex2,ey2,es2(:,3),0.3);
78 s1=0.1; % Skalar avstånd mellan stöd och balk
79 s2=1.4; % Skalar textplacering
80
81 % Balken
82 plotpar=[2 1 0];
83 eldraw2(ex1,ey1,plotpar);
84 eldraw2(ex2,ey2,plotpar);
85 hold on
86 plot(0,-M_max_fall2*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
87 'MarkerSize',6)
88 plot(L,-M_max_fall2*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
89 'MarkerSize',6)
90 plot(2*L,-M_max_fall2*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
91 'MarkerSize',6)
92
93 % Moment
94 plotpar=[2 1];
95 eldia2(ex1,ey1,es1(:,3),plotpar,sfac);
96 eldia2(ex2,ey2,es2(:,3),plotpar,sfac);
97
98 % Formatering
99 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.8*(M_max_faelt)*sfac
100 -2*(M_max_stod)*sfac]);
101 pltscalb2(sfac,[1e6 0.5 5]);
102 txt1_falt=int2str(M_max_faelt);
103 txt1_mitt=int2str(M_max_stod);
104 text(0.375*L,-(s2*M_max_faelt*sfac),txt1_falt)
105 text(L+1,-(s2*M_max_stod*sfac),txt1_mitt)
```

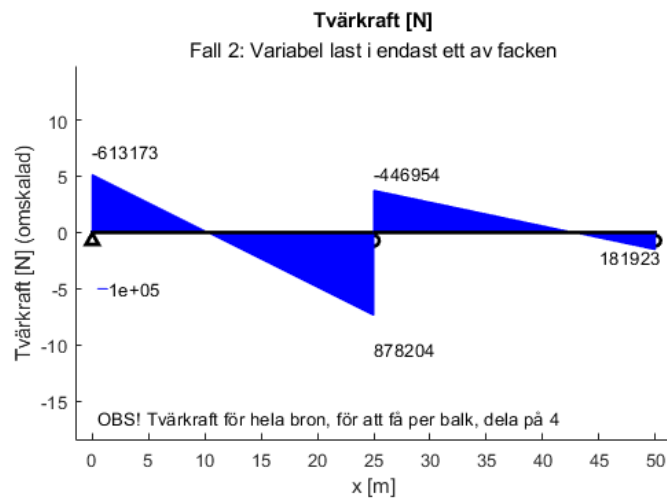
```
105 text(0.5,-2*M_max_faelt*sfac+2,'OBS! Moment för hela bron,  
    för att få per balk, dela på 4')  
106 title('Moment [Nm]')  
107 subtitle('Fall 2: Variabel last i endast ett av facken')  
108 ylabel('Moment [Nm]')  
109 xlabel('x [m]')  
110  
111  
112 %-----TVÄRKRAFT-----  
113 V_max_fall2=max(abs([es1(:,2);es2(:,2)]));  
114  
115 % -- Tvärkraftsdiagram --  
116 figure(2)  
117 sfac=scalfact2(ex2,ey2,es2(:,2),0.15); % Skalfaktor  
118  
119 % Balken  
120 plotpar=[2 1 0];  
121 eldraw2(ex1,ey1,plotpar);  
122 eldraw2(ex2,ey2,plotpar);  
123 hold on  
124 plot(0,-V_max_fall2*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,  
125 'MarkerSize',6)  
126 plot(L,-V_max_fall2*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,  
127 'MarkerSize',6)  
128 plot(2*L,-V_max_fall2*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,  
129 'MarkerSize',6)  
130  
131 % Tvärkraft  
132 plotpar=[2 1];  
133 eldia2(ex1,ey1,es1(:,2),plotpar,sfac);  
134 eldia2(ex2,ey2,es2(:,2),plotpar,sfac);  
135  
136 % Formatering  
137 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.5*V_max_fall2*sfac  
    2*V_max_fall2*sfac]);  
138 pltscalb2(sfac,[1e5 0.5 -5]);  
139 txt1_0=int2str(es1(1,2));  
140 txt1_mitt1=int2str(es1(250,2));  
141 txt1_mitt2=int2str(es2(1,2));  
142 txt1_L=int2str(es2(250,2));  
143 text(0,-(s2*es1(1,2)*sfac),txt1_0)  
144 text(L,-(s2*es1(250,2)*sfac),txt1_mitt1)  
145 text(L,-(s2*es2(1,2)*sfac),txt1_mitt2)  
146 text(2*L-5,-(s2*es2(250,2)*sfac),txt1_L)  
147 text(0.5,-2.5*V_max_fall2*sfac+2,'OBS! Tvärkraft för hela  
    bron, för att få per balk, dela på 4')
```

```
148 title('Tvärkraft [N]')
149 subtitle('Fall 2: Variabel last i endast ett av facken')
150 ylabel('Tvärkraft [N] (omskalad)')
151 xlabel('x [m]')
152
153
154 %-----SPARA NED RESULTATET-----
155 %---Max moment---
156 save M_max_fall2 M_max_fall2
157
158 %---Max tvärkraft---
159 save V_max_fall2 V_max_fall2
160
161 %---Upplagskrafter till upplagstyck---
162 r_ytterstod_fall_2=[r(2);r(8)];
163 r_mittstod_fall_2=r(5);
164
165 r_max_ytterstod_2=max(r_ytterstod_fall_2);
166 r_max_mittstod_2=r_mittstod_fall_2;
167
168 save r_max_ytterstod_2 r_max_ytterstod_2
169 save r_max_mittstod_2 r_max_mittstod_2
170
171 %---Snittkrafter till diagram med alla lastfall---
172 ex_fall2=[ex1; ex2];
173 es1_fall2=es1;
174 es2_fall2=es2;
175
176 save ex_fall2 ex_fall2
177 save es1_fall2 es1_fall2
178 save es2_fall2 es2_fall2
179
180
181 %-----RESULTAT-----
182 disp(' ')
183 disp('-----')
184 disp('RESULTAT:')
185 disp('lastfall 2 - jämnt utbredd last över halva balken')
186 disp(' ')
187 disp(['Maximalt moment fall 2 ', num2str(M_max_fall2), '
      [Nm]'])
188 disp(['Maximal tvärkraft fall 2 ', num2str(V_max_fall2), '
      [N]'])
189 disp('-----')
190
191 -----
```

```
192 RESULTAT:  
193 lastfall 2 - jämnt utbredd last över halva balken  
194  
195 Maximalt moment fall 2 3312897.0867 [Nm]  
196 Maximal tvärkraft fall 2 878204.4173 [N]  
197 -----
```

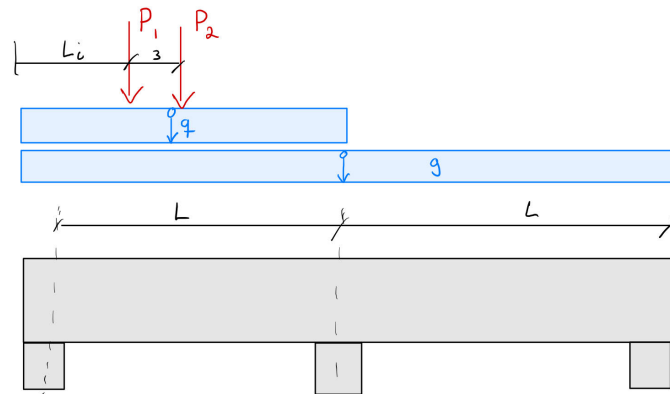


Figur E.26: Momentdiagram lastfall 2 huvudbalkar.

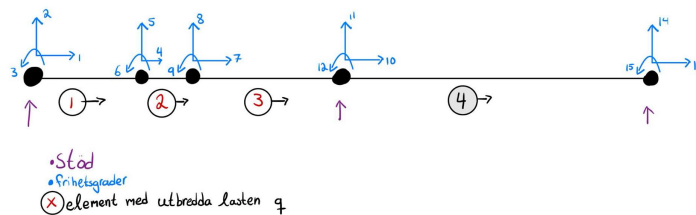


Figur E.27: Tvärkraftsdiagram lastfall 2 huvudbalkar.

### E.2.4 Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 3 huvudbalkar - maximering av fältmoment



Figur E.28: Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar.



Figur E.29: FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar.

```

1
2 %-----INDATA -----
3 %---Materialegenskaper trä---
4 load E_balk; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt fibrerna
5
6 %---Broana---
7 load L % [m] Spännvidd
8
9
10 %-----LASTER -----
11 load q; % [N/m] Nyttiglast
12 load g % [N/m] Egentyngd
13
14 load Qsv1 % [N] Punktlast från servicefordon tyngre del
    
```

```

15 load Qsv2 % [N] Punktlast från servicefordon lättare del
16
17 load psi_0 % [-] Reduktionsfaktor icke-huvudlast
18
19 %---Fall 3---
20 % Ubtredda laster, service fordon och nyttig last och
    egentygnd i ena facket
21 % men endast egentyg i andra facket
22 % punktlast ses som huvudlast
23 QA=1.35*g+psi_0*q; % [N/m]
24 QB=1.35*g; % [N/m]
25
26 P1=Qsv1*1.5; % [N]
27 P2=Qsv2*1.5; % [N]
28
29
30 %-----ANALYS I CALFEM-----
31 % Ittererar värsta fallet på positionen av servicefordonet
32 Li=10.5;
33
34 %---Tvärsnittsstorheter---
35 load I_balk
36 load A_balk
37
38 %---Topologi---
39 Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
40        2 4 5 6 7 8 9;
41        3 7 8 9 10 11 12;
42        4 10 11 12 13 14 15];
43
44 %---Elementegenskaper---
45 ep=[E_balk A_balk I_balk];
46 ex1=[0 Li]; ex2=[Li Li+3]; ex3=[Li+3 L]; ex4=[L 2*L];
47 ex=[ex1; ex2; ex3; ex4];
48 ey=[0 0];
49 eq1=[0 -QA]; eq2=eq1; eq3=eq1; eq4=[0 -QB];
50 eq=[eq1; eq2; eq3; eq4];
51
52 K=zeros(15,15);
53 f=zeros(15,1);
54 f(5)=-P1;
55 f(8)=-P2;
56
57 %---Elementstyhetsmatriser och elemntlastvektor---
58 for i=1:4
59     [Ke, fe]=beam2e(ex(i,:),ey,ep,eq(i,:));

```

```

60 %---Assemblering---
61 [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
62 end
63
64 %---Upplagsvillkor---
65 bc=[1 0; 2 0; 11 0; 14 0];
66
67 %---Lös systemet---
68 [a,r]=solveq(K,f,bc);
69
70 %---Snittkrafter---
71 Ed=extract(Edof,a);
72 es1=beam2s(ex1,ey,ep,Ed(1,:),eq1,Li*10);
73 es2=beam2s(ex2,ey,ep,Ed(2,:),eq2,3*10);
74 es3=beam2s(ex3,ey,ep,Ed(3,:),eq3,(L-(Li+3))*10);
75 es4=beam2s(ex4,ey,ep,Ed(4,:),eq4,L*10);
76
77
78 %-----MOMENT- OCH TVÄRKRAFTSMATRIS-----
79 % Matris som redovisar moment (kolon 3) och tvärkrafter
80 % (kolon 2) vid olika
81 % positioner av balken "x", där x ges var 10 cm.
82 x=linspace(0,2*L,2*L*10+1);
83 M=[0;es1(:,3);es2(:,3);es3(:,3);es4(:,3)];
84 V=[es1(:,2);es2(:,2);es3(:,2);es4(:,2);r(14)];
85 Momentochtvarkraftmatris=zeros(2*L*10+1,3);
86 Momentochtvarkraftmatris(:,1)=x;
87 Momentochtvarkraftmatris(:,3)=M;
88 Momentochtvarkraftmatris(:,2)=V;
89
90 %-----MOMENT-----
91 %---Max moment---
92 M_max_faelt=max([es1(:,3);es2(:,3);es3(:,3)]);
93 M_max_stod=es4(1,3);
94 M_max_fall3faelt=max(abs([M_max_stod M_max_faelt]));
95
96 % -- Momentdiagram --
97 figure(1)
98
99 % Skalfaktorer
100 sfac=scalfact2(ex2,ey,es2(:,3),2);
101 s1=0.1;
102 s2=1.4;
103
104 % Balken

```

```

105 plotpar=[2 1 0];
106 eldraw2(ex1,ey,plotpar);
107 eldraw2(ex2,ey,plotpar);
108 eldraw2(ex3,ey,plotpar);
109 eldraw2(ex4,ey,plotpar);
110 hold on
111 plot(0,-M_max_fall3faelt*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
112 'MarkerSize',6)
113 plot(L,-M_max_fall3faelt*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
114 'MarkerSize',6)
115 plot(2*L,-M_max_fall3faelt*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
116 'MarkerSize',6)
117
118 % Moment
119 plotpar=[2 1];
120 eldia2(ex1,ey,es1(:,3),plotpar,sfac);
121 eldia2(ex2,ey,es2(:,3),plotpar,sfac);
122 eldia2(ex3,ey,es3(:,3),plotpar,sfac);
123 eldia2(ex4,ey,es4(:,3),plotpar,sfac);
124
125 % Formatering
126 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.8*(M_max_faelt)*sfac
127 -2*(M_max_stod)*sfac]);
128 pltscalb2(sfac,[1e6 0.5 5]);
129 txt1_falt=int2str(M_max_faelt);
130 txt1_mitt=int2str(M_max_stod);
131 text(0.375*L,-(s2*M_max_faelt*sfac),txt1_falt)
132 text(L+1,-(s2*M_max_stod*sfac),txt1_mitt)
133 text(0.5,-2.8*M_max_faelt*sfac+2,'OBS! Moment för hela
134 bron, för att få per balk, dela på 4')
135 title(["Moment [Nm], Fall 3 och fallet då positionen av
136 servicefordon har", "bestämts genom maximering av
137 FÄLTmoment"])
138 hold on
139 ylabel('Moment [Nm]')
140 xlabel('x [m]')
141
142 % Pilar för punktlaster
143 p1=[Li,3];p2=[Li,0];dp=p2-p1;
144 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsize',0.6)
145 hold on
146 p1=[Li+3,6];p2=[Li+3,0];dp=p2-p1;
147 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsize',0.35)
148 text(Li+3.2,6,'x=10.5m')

```

```
147
148 %-----TVÄRKRAFT-----
149 %---Max tvärkraft---
150 V_max_fall3faelt=max(abs([es1(:,2);es2(:,2);es3(:,2)]));
151
152 %---Tvärkraftsdiagram---
153 figure(2)
154 sfac=scalfact2(ex2,ey,es2(:,2),0.6); % Skalfaktor
155
156 % Balken
157 plotpar=[2 1 0];
158 eldraw2(ex1,ey,plotpar);
159 eldraw2(ex2,ey,plotpar);
160 eldraw2(ex3,ey,plotpar);
161 eldraw2(ex4,ey,plotpar);
162 hold on
163 plot(0,-V_max_fall3faelt*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
164 'MarkerSize',6)
165 plot(L,-V_max_fall3faelt*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
166 'MarkerSize',6)
167 plot(2*L,-V_max_fall3faelt*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
168 'MarkerSize',6)
169
170 % Tvärkraft
171 plotpar=[2 1];
172 eldia2(ex1,ey,es1(:,2),plotpar,sfac);
173 eldia2(ex2,ey,es2(:,2),plotpar,sfac);
174 eldia2(ex3,ey,es3(:,2),plotpar,sfac);
175 eldia2(ex4,ey,es4(:,2),plotpar,sfac);
176
177 % Formatering
178 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.5*V_max_fall3faelt*sfac
179 2*V_max_fall3faelt*sfac]);
180 pltscalb2(sfac,[1e5 0.5 -5]);
181 txt1_0=int2str(es1(1,2));
182 txt1_mitt1=int2str(es3(length(es3(:,1)),2));
183 txt1_mitt2=int2str(es4(1,2));
184 txt1_L=int2str(es4(length(es4(:,1)),2));
185 text(0,-(s2*es1(1,2)*sfac),txt1_0)
186 text(L,-(s2*es3(length(es3(:,2)),2)*sfac),txt1_mitt1)
187 text(L,-(s2*es4(1,2)*sfac),txt1_mitt2)
188 text(2*L-5,-(s2*es4(250,2)*sfac),txt1_L)
189 text(0.5,-2.5*V_max_fall3faelt*sfac+2,'OBS! Tvärkraft för
hela bron, för att få per balk, dela på 4')
title(["Tvärkraft [N], Fall 3 och fallet då positionen av
servicefordon har", "bestämts genom maximering av
```

```

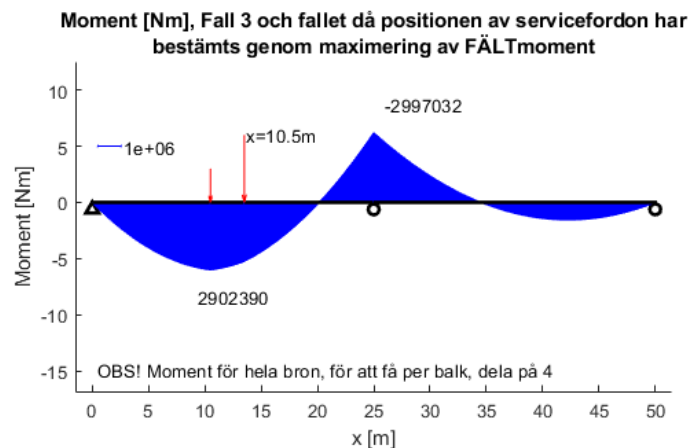
    FÄLTmoment"])
190 ylabel('Tvärkraft [N] (omskalad)')
191 xlabel('x [m]')
192
193 % Pilar för punktlasterna
194 hold on
195 p1=[Li,3];p2=[Li,0];dp=p2-p1;
196 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsize',0.6)
197 hold on
198 p1=[Li+3,6];p2=[Li+3,0];dp=p2-p1;
199 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsize',0.35)
200 text(Li+3.2,6,'x=10.5m')
201
202
203 %-----SPARA NED RESULTATET-----
204 %---Max moment---
205 save M_max_fall3faelt M_max_fall3faelt
206
207 %---Max tvärkraft---
208 save V_max_fall3faelt V_max_fall3faelt
209
210 %---Upplagskrafter till upplagstyck---
211 r_ytterstod_fall_3_faelt=[r(2);r(14)];
212 r_mittstod_fall_3_faelt=r(11);
213
214 r_max_ytterstod_3_faelt=max(r_ytterstod_fall_3_faelt);
215 r_max_mittstod_3_faelt=r_mittstod_fall_3_faelt;
216
217 save r_max_ytterstod_3_faelt r_max_ytterstod_3_faelt
218 save r_max_mittstod_3_faelt r_max_mittstod_3_faelt
219
220 %---Snittkrafter till diagram med alla lastfall---
221 ex_fall3faelt=ex;
222 es1_fall3faelt=es1;
223 es2_fall3faelt=es2;
224 es3_fall3faelt=es3;
225 es4_fall3faelt=es4;
226
227 save ex_fall3faelt ex_fall3faelt
228 save es1_fall3faelt es1_fall3faelt
229 save es2_fall3faelt es2_fall3faelt
230 save es3_fall3faelt es3_fall3faelt
231 save es4_fall3faelt es4_fall3faelt
232
233
234 %-----RESULTAT-----

```

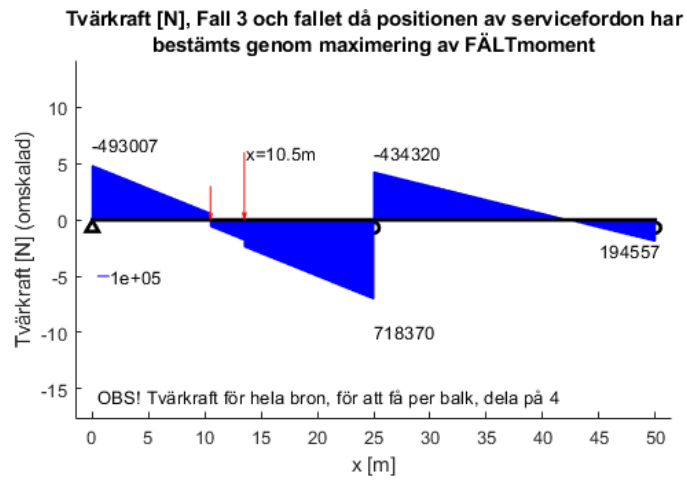
```

235 disp(' ')
236 disp('-----')
237 disp('RESULTAT:')
238 disp('lastfall 3 - servicefordon med placering för
      maximering av fältmoment')
239 disp(' ')
240 disp(['Maximalt moment = ', num2str(M_max_fall3faelt), '
      [Nm]'])
241 disp(['Maximal tvärkraft = ', num2str(V_max_fall3faelt), '
      [N]'])
242 disp('-----')
243
244 -----
245 RESULTAT:
246 lastfall 3 - servicefordon med placering för maximering av
      fältmoment
247
248 Maximalt moment = 2997032.0867 [Nm]
249 Maximal tvärkraft = 718369.8173 [N]
250 -----

```

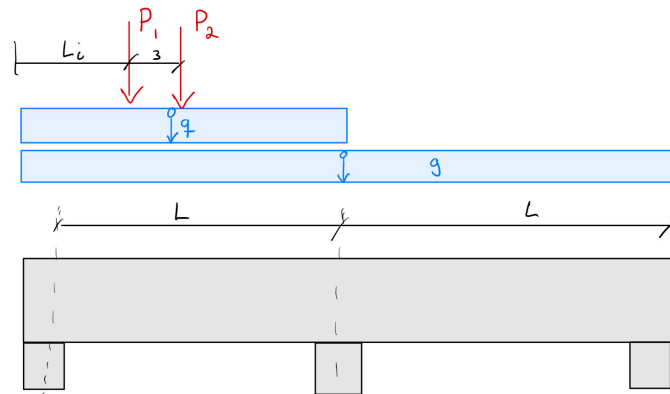


**Figur E.30:** Momentdiagram lastfall 3 max fältmoment huvudbalkar.

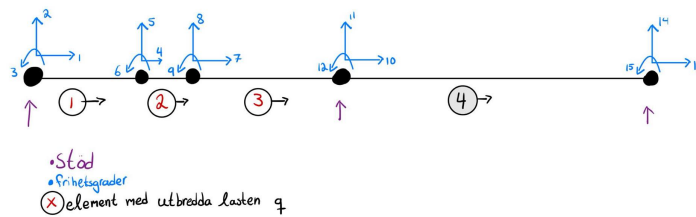


**Figur E.31:** Tvärkraftsdiagram lastfall 3 max fältmoment huvudbalkar.

### E.2.5 Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 3 huvudbalkar - maximering av stödmoment



Figur E.32: Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar.



Figur E.33: FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar.

```

1 clear all
2 clc
3 clf
4 close all
5
6
7 %-----INDATA -----
8 %---Materialegenskaper trä---
9 load E_balk; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt fibrerna
10
11 %---Broana---
12 load L % [m] Spännvidd
13
14

```

```
15 %-----LASTER-----
16 load q; % [N/m] Nyttiglast
17 load g % [N/m] Egentyngd
18
19 load Qsv1 % [N] Punktlast från servicefordon tyngre del
20 load Qsv2 % [N] Punktlast från servicefordon lättare del
21
22 load psi_0 % [-] Reduktionsfaktor icke-huvudlast
23
24 %---Fall 3---
25 % Ubtredda laster, service fordon och nyttig last och
    egentyngd i ena facket
26 % men endast egentyng i andra facket
27 % punktlast ses som huvudlast
28 QA=1.35*g+psi_0*q; % [N/m]
29 QB=1.35*g; % [N/m]
30
31 P1=Qsv1*1.5; % [N]
32 P2=Qsv2*1.5; % [N]
33
34
35 %-----ANALYS I CALFEM-----
36 % Ittererar värsta fallet på positionen av servicefordonet
37 Li=13.5;
38
39 %---Tvärsnittsstorheter---
40 load I_balk
41 load A_balk
42
43 %---Topologi---
44 Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
45        2 4 5 6 7 8 9;
46        3 7 8 9 10 11 12;
47        4 10 11 12 13 14 15];
48
49 %---Elementegenskaper---
50 ep=[E_balk A_balk I_balk];
51 ex1=[0 Li]; ex2=[Li Li+3]; ex3=[Li+3 L]; ex4=[L 2*L];
52 ex=[ex1; ex2; ex3; ex4];
53 ey=[0 0];
54 eq1=[0 -QA]; eq2=eq1; eq3=eq1; eq4=[0 -QB];
55 eq=[eq1; eq2; eq3; eq4];
56
57 K=zeros(15,15);
58 f=zeros(15,1);
59 f(5)=-P1;
```

```

60 f(8)=-P2;
61
62 %---Elementstyvhetmatriser och elemntlastvektor---
63 for i=1:4
64     [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey,ep,eq(i,:));
65     %---Assemblering---
66     [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
67 end
68
69 %---Upplagsvillkor---
70 bc=[1 0; 2 0; 11 0; 14 0];
71
72 %---Lös systemet---
73 [a,r]=solveq(K,f,bc);
74
75 %---Snittkrafter---
76 Ed=extract(Edof,a);
77 es1=beam2s(ex1,ey,ep,Ed(1,:),eq1,Li*10);
78 es2=beam2s(ex2,ey,ep,Ed(2,:),eq2,3*10);
79 es3=beam2s(ex3,ey,ep,Ed(3,:),eq3,(L-(Li+3))*10);
80 es4=beam2s(ex4,ey,ep,Ed(4,:),eq4,L*10);
81
82
83 %-----MOMENT- OCH TVÄRKRAFTSMATRIS-----
84 % Matris som redovisar moment (kolon 3) och tvärkrafter
85   (kolon 2) vid olika
86 % positioner av balken "x", där x ges var 10 cm.
87 x=linspace(0,2*L,2*L*10+1);
88 M=[0;es1(:,3);es2(:,3);es3(:,3);es4(:,3)];
89 V=[es1(:,2);es2(:,2);es3(:,2);es4(:,2);r(14)];
90 Momentochtvarkraftmatris=zeros(2*L*10+1,3);
91 Momentochtvarkraftmatris(:,1)=x;
92 Momentochtvarkraftmatris(:,3)=M;
93 Momentochtvarkraftmatris(:,2)=V;
94
95 %-----MOMENT-----
96 %---Max moment---
97 M_max_fael_t=max([es1(:,3);es2(:,3);es3(:,3)]);
98 M_max_stod=es4(1,3);
99 M_max_fall3stod=max(abs([M_max_stod M_max_fael_t]));
100
101 %---Momentdiagram---
102 figure(1)
103
104 % Skalfaktorer

```

```
105 sfac=scalfact2(ex2,ey,es2(:,3),2);
106 s1=0.11; % Skalar avstånd mellan balk och stöd
107 s2=1.4; % Skalar placeringen av text
108
109 % Balken
110 plotpar=[2 1 0];
111 eldraw2(ex1,ey,plotpar);
112 eldraw2(ex2,ey,plotpar);
113 eldraw2(ex3,ey,plotpar);
114 eldraw2(ex4,ey,plotpar);
115 hold on
116 plot(0,-M_max_fall3stod*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
117 'MarkerSize',6)
118 plot(L,-M_max_fall3stod*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
119 'MarkerSize',6)
120 plot(2*L,-M_max_fall3stod*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
121 'MarkerSize',6)
122
123 % Moment
124 plotpar=[2 1];
125 eldia2(ex1,ey,es1(:,3),plotpar,sfac);
126 eldia2(ex2,ey,es2(:,3),plotpar,sfac);
127 eldia2(ex3,ey,es3(:,3),plotpar,sfac);
128 eldia2(ex4,ey,es4(:,3),plotpar,sfac);
129
130 % Formatering
131 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.8*(M_max_faelt)*sfac
132 -2*(M_max_stod)*sfac]);
133 pltscalb2(sfac,[1e6 0.5 5]);
134 txt1_falt=int2str(M_max_faelt);
135 txt1_mitt=int2str(M_max_stod);
136 text(0.375*L,-(s2*M_max_faelt*sfac),txt1_falt)
137 text(L+1,-(s2*M_max_stod*sfac),txt1_mitt)
138 text(0.5,-2.8*M_max_faelt*sfac+2,'OBS! Moment för hela
139 bron, för att få per balk, dela på 4')
140 title(["Moment [Nm], Fall 3 och fallet då positionen av
141 servicefordon har", "bestämts genom maximering av
142 STÖDmoment"])
143 hold on
144 ylabel('Moment [Nm]')
145 xlabel('x [m]')
146
147 % Pilar för punktlasterna
148 p1=[Li,3];p2=[Li,0];dp=p2-p1;
149 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.6)
150 hold on
```

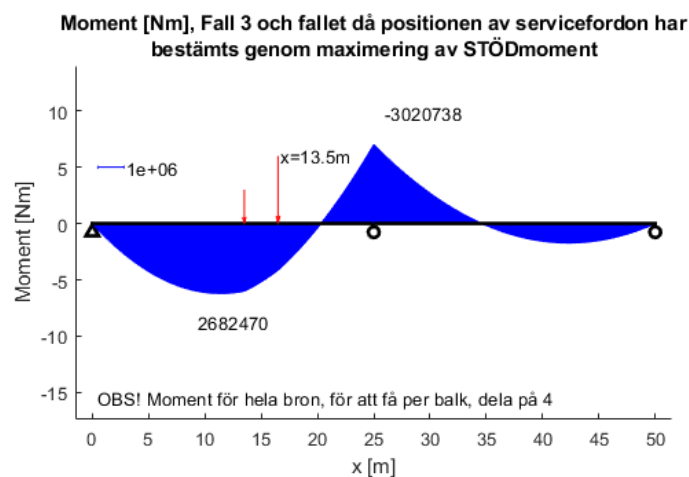
```
147 p1=[Li+3,6];p2=[Li+3,0];dp=p2-p1;
148 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.35)
149 text(Li+3.2,6,'x=13.5m')
150
151
152 %-----TVÄRKRAFT-----
153 V_max_fall3stod=max(abs([es1(:,2);es2(:,2);es3(:,2)]));
154
155 %---Tvärkraftsdiagram---
156 figure(2)
157 sfac=scalfact2(ex2,ey,es2(:,2),1); % Skalfaktor
158
159 % Balken
160 plotpar=[2 1 0];
161 eldraw2(ex1,ey,plotpar);
162 eldraw2(ex2,ey,plotpar);
163 eldraw2(ex3,ey,plotpar);
164 eldraw2(ex4,ey,plotpar);
165 hold on
166 plot(0,-V_max_fall3stod*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
167 'MarkerSize',6)
168 plot(L,-V_max_fall3stod*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
169 'MarkerSize',6)
170 plot(2*L,-V_max_fall3stod*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
171 'MarkerSize',6)
172
173 % Tvärkraft
174 plotpar=[2 1];
175 eldia2(ex1,ey,es1(:,2),plotpar,sfac);
176 eldia2(ex2,ey,es2(:,2),plotpar,sfac);
177 eldia2(ex3,ey,es3(:,2),plotpar,sfac);
178 eldia2(ex4,ey,es4(:,2),plotpar,sfac);
179
180 % Formatering
181 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.5*V_max_fall3stod*sfac
182 2*V_max_fall3stod*sfac]);
182 pltscalb2(sfac,[1e5 0.5 -5]);
183 txt1_0=int2str(es1(1,2));
184 txt1_mitt1=int2str(es3(length(es3(:,1)),2));
185 txt1_mitt2=int2str(es4(1,2));
186 txt1_L=int2str(es4(length(es4(:,1)),2));
187 text(0,-(s2*es1(1,2)*sfac),txt1_0)
188 text(L,-(s2*es3(length(es3(:,2)),2)*sfac),txt1_mitt1)
189 text(L,-(s2*es4(1,2)*sfac),txt1_mitt2)
190 text(2*L-5,-(s2*es4(250,2)*sfac),txt1_L)
```

```
191 text(0.5,-2.5*V_max_fall3stod*sfac+2,'OBS! Tvärkraft för
    hela bron, för att få per balk, dela på 4')
192 title(["Tvärkraft [N], Fall 3 och fallet då positionen av
    servicefordon har", "bestämts genom maximering av
    STÖDmoment"])
193 ylabel('Tvärkraft [N] (omskalad)')
194 xlabel('x [m]')
195
196 % Pilar för punktlasterna
197 hold on
198 p1=[Li,3];p2=[Li,0];dp=p2-p1;
199 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.6)
200 hold on
201 p1=[Li+3,6];p2=[Li+3,0];dp=p2-p1;
202 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.35)
203 text(Li+3.2,6,'x=13.5m')
204
205
206 %-----SPARA NED RESULTATET-----
207 %---Max moment---
208 save M_max_fall3stod M_max_fall3stod
209
210 %---Max tvärkraft---
211 save V_max_fall3stod V_max_fall3stod
212
213 %---Upplagskrafter till upplagstyck---
214 r_ytterstod_fall_3_stod=[r(2);r(14)];
215 r_mittstod_fall_3_stod=r(11);
216
217 r_max_ytterstod_3_stod=max(r_ytterstod_fall_3_stod);
218 r_max_mittstod_3_stod=r_mittstod_fall_3_stod;
219
220 save r_max_ytterstod_3_stod r_max_ytterstod_3_stod
221 save r_max_mittstod_3_stod r_max_mittstod_3_stod
222
223 %---Snittkrafter till diagram med alla lastfall---
224 ex_fall3stod=ex;
225 es1_fall3stod=es1;
226 es2_fall3stod=es2;
227 es3_fall3stod=es3;
228 es4_fall3stod=es4;
229
230 save ex_fall3stod ex_fall3stod
231 save es1_fall3stod es1_fall3stod
232 save es2_fall3stod es2_fall3stod
233 save es3_fall3stod es3_fall3stod
```

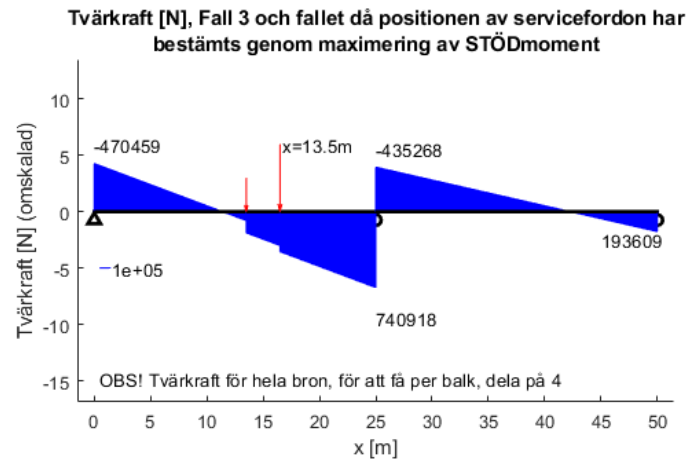
```

234 save es4_fall3stod es4_fall3stod
235
236
237 %-----RESULTAT-----
238 disp(' ')
239 disp('-----')
240 disp('RESULTAT:')
241 disp('lastfall 3 - servicefordon med placering för
      maximering av stödmoment')
242 disp(' ')
243 disp(['Maximalt moment = ', num2str(M_max_fall3stod), '
      [Nm]'])
244 disp(['Maximal tvärkraft = ', num2str(V_max_fall3stod), '
      [N]'])
245 disp('-----')
246
247 -----
248 RESULTAT:
249 lastfall 3 - servicefordon med placering för maximering av
      stödmoment
250
251 Maximalt moment = 3020738.0867 [Nm]
252 Maximal tvärkraft = 740918.0573 [N]
253 -----

```



**Figur E.34:** Momentdiagram lastfall 3 max stödmoment huvudbalkar.



**Figur E.35:** Tvärkraftsdiagram lastfall 3 max stödmoment huvudbalkar.

## E.2.6 Moment- och tvärkraftsdiagram lastfall 3 huvudbalkar - maximering av tvärkraft

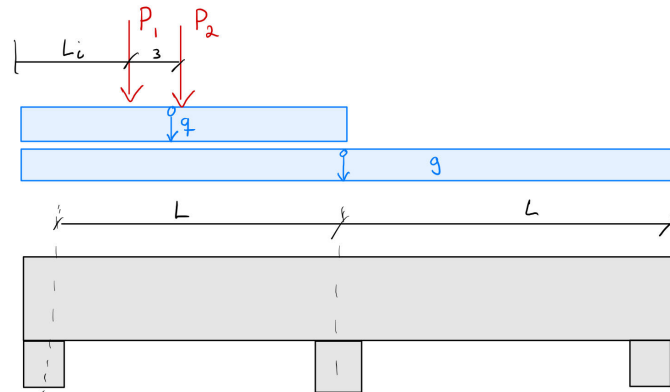


Figure E.36: Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar.

[H]

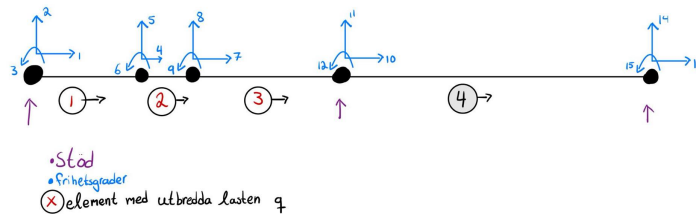


Figure E.37: FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar.

```

1 clear all
2 clc
3 slf
4 close all
5
6 %-----INDATA -----
7 %---Materialegenskaper trä---
8 load E_balk; % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt fibrerna
9
10 %---Broana---
11 load L % [m] Spännvidd
12
13
  
```

```
14 %-----LASTER-----
15 load q; % [N/m] Nyttiglast
16 load g % [N/m] Egentyngd
17
18 load Qsv1 % [N] Punktlast från servicefordon tyngre del
19 load Qsv2 % [N] Punktlast från servicefordon lättare del
20
21 load psi_0 % [-] Reduktionsfaktor icke-huvudlast
22
23 %---Fall 3---
24 % Ubtredda laster, sevice fordon och nyttig last och
    egentyngd i ena facket
25 % men endast egentyng i andra facket
26 % punktlast ses som huvudlast
27 QA=1.35*g+psi_0*q; % [N/m]
28 QB=1.35*g; % [N/m]
29
30 P1=Qsv1*1.5; % [N]
31 P2=Qsv2*1.5; % [N]
32
33
34 %-----ANALYS I CALFEM-----
35 % Itterarar värsta fallet på poitionen av servicefordonet
36 Li=21.7;
37
38 %---Tvärsnittsstorheter---
39 load I_balk
40 load A_balk
41
42 %---Topologi---
43 Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
44       2 4 5 6 7 8 9;
45       3 7 8 9 10 11 12;
46       4 10 11 12 13 14 15];
47
48 %---Elementegenskaper---
49 ep=[E_balk A_balk I_balk];
50 ex1=[0 Li]; ex2=[Li Li+3]; ex3=[Li+3 L]; ex4=[L 2*L];
51 ex=[ex1; ex2; ex3; ex4];
52 ey=[0 0];
53 eq1=[0 -QA]; eq2=eq1; eq3=eq1; eq4=[0 -QB];
54 eq=[eq1; eq2; eq3; eq4];
55
56 K=zeros(15,15);
57 f=zeros(15,1);
58 f(5)=-P1;
```

```

59 f(8)=-P2;
60
61 %---Elementstyvhetmatriser och elemntlastvektor---
62 for i=1:4
63     [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey,ep,eq(i,:));
64     %---Assemblering---
65     [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
66 end
67
68 %---Upplagsvillkor---
69 bc=[1 0; 2 0; 11 0; 14 0];
70
71 %---Lös systemet---
72 [a,r]=solveq(K,f,bc);
73
74 %---Snittkrafter---
75 Ed=extract(Edof,a);
76 es1=beam2s(ex1,ey,ep,Ed(1,:),eq1,Li*10);
77 es2=beam2s(ex2,ey,ep,Ed(2,:),eq2,3*10);
78 es3=beam2s(ex3,ey,ep,Ed(3,:),eq3,(L-(Li+3))*10);
79 es4=beam2s(ex4,ey,ep,Ed(4,:),eq4,L*10);
80
81
82 %-----MOMENT- OCH TVÄRKRAFTSMATRIS-----
83 % Matris som redovisar moment (kolon 3) och tvärkrafter
84   (kolon 2) vid olika
85 % positioner av balken "x", där x ges var 10 cm.
86 x=linspace(0,2*L,2*L*10+1);
87 M=[0;es1(:,3);es2(:,3);es3(:,3);es4(:,3)];
88 V=[es1(:,2);es2(:,2);es3(:,2);es4(:,2);r(14)];
89 Momentochtvarkraftmatris=zeros(2*L*10+1,3);
90 Momentochtvarkraftmatris(:,1)=x;
91 Momentochtvarkraftmatris(:,3)=M;
92 Momentochtvarkraftmatris(:,2)=V;
93
94 %-----MOMENT-----
95 %---Max moment---
96 M_max_faelt=max([es1(:,3);es2(:,3);es3(:,3)]);
97 M_max_stod=es4(1,3);
98 M_max_fall3tvaer=max(abs([M_max_stod M_max_faelt]));
99
100 % -- Momentdiagram --
101 figure(1)
102
103 % Skalfaktorer

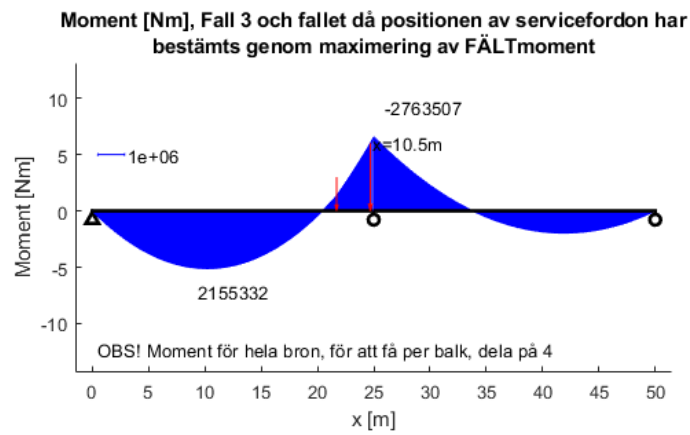
```

```
104 sfac=scalfact2(ex2,ey,es2(:,3),2);
105 s1=0.12; % Skalar avstånd mellan balk och stöd
106 s2=1.4; % Skalar placeringen av text
107
108 % Balken
109 plotpar=[2 1 0];
110 eldraw2(ex1,ey,plotpar);
111 eldraw2(ex2,ey,plotpar);
112 eldraw2(ex3,ey,plotpar);
113 eldraw2(ex4,ey,plotpar);
114 hold on
115 plot(0,-M_max_fall3tvaer*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
116 'MarkerSize',6)
117 plot(L,-M_max_fall3tvaer*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
118 'MarkerSize',6)
119 plot(2*L,-M_max_fall3tvaer*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
120 'MarkerSize',6)
121
122 % Moment
123 plotpar=[2 1];
124 eldia2(ex1,ey,es1(:,3),plotpar,sfac);
125 eldia2(ex2,ey,es2(:,3),plotpar,sfac);
126 eldia2(ex3,ey,es3(:,3),plotpar,sfac);
127 eldia2(ex4,ey,es4(:,3),plotpar,sfac);
128
129 % Formentering
130 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.8*(M_max_faelt)*sfac
131 -2*(M_max_stod)*sfac]);
132 pltscaleb2(sfac,[1e6 0.5 5]);
133 txt1_falt=int2str(M_max_faelt);
134 txt1_mitt=int2str(M_max_stod);
135 text(0.375*L,-(s2*M_max_faelt*sfac),txt1_falt)
136 text(L+1,-(s2*M_max_stod*sfac),txt1_mitt)
137 text(0.5,-2.8*M_max_faelt*sfac+2,'OBS! Moment för hela
138 bron, för att få per balk, dela på 4')
139 title(["Moment [Nm], Fall 3 och fallet då positionen av
140 servicefordon har", "bestämts genom maximering av
141 FÄLTmoment"])
142 hold on
143 ylabel('Moment [Nm]')
144 xlabel('x [m]')
145
146 % Pilar för punktlaster
147 p1=[Li,3];p2=[Li,0];dp=p2-p1;
148 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.6)
149 hold on
```

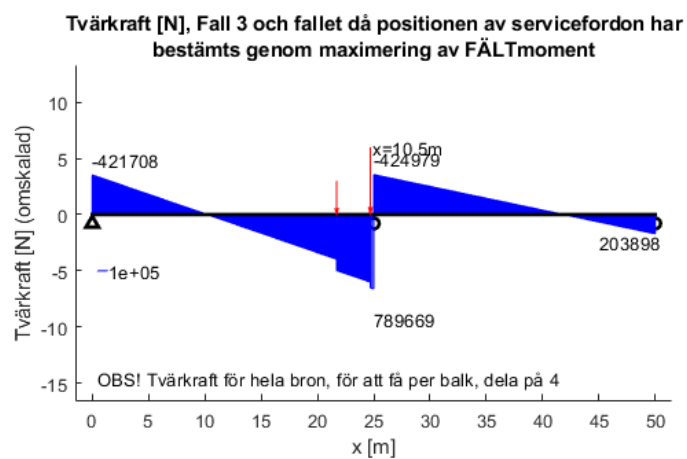
```
146 p1=[Li+3,6];p2=[Li+3,0];dp=p2-p1;
147 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.35)
148 text(Li+3.2,6,'x=10.5m')
149
150
151 %-----TVÄRKRAFT-----
152 V_max_fall3tvaer=max(abs([es1(:,2);es2(:,2);es3(:,2)]));
153
154 %---Tvärkraftsdiagram---
155 figure(2)
156 sfac=scalfact2(ex2,ey,es2(:,2),2); % Skalfaktor
157
158 % Balken
159 plotpar=[2 1 0];
160 eldraw2(ex1,ey,plotpar);
161 eldraw2(ex2,ey,plotpar);
162 eldraw2(ex3,ey,plotpar);
163 eldraw2(ex4,ey,plotpar);
164 hold on
165 plot(0,-V_max_fall3tvaer*s1*sfac,'^k','LineWidth',2,
166 'MarkerSize',6)
167 plot(L,-V_max_fall3tvaer*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
168 'MarkerSize',6)
169 plot(2*L,-V_max_fall3tvaer*s1*sfac,'ok','LineWidth',2,
170 'MarkerSize',6)
171
172 % Tvärkraft
173 plotpar=[2 1];
174 eldia2(ex1,ey,es1(:,2),plotpar,sfac);
175 eldia2(ex2,ey,es2(:,2),plotpar,sfac);
176 eldia2(ex3,ey,es3(:,2),plotpar,sfac);
177 eldia2(ex4,ey,es4(:,2),plotpar,sfac);
178
179 % Formatering
180 axis([-1.5 2*L+1.5 -2.5*V_max_fall3tvaer*sfac
181 2*V_max_fall3tvaer*sfac]);
182 pltscalb2(sfac,[1e5 0.5 -5]);
183 txt1_0=int2str(es1(1,2));
184 txt1_mitt1=int2str(es3(length(es3(:,1)),2));
185 txt1_mitt2=int2str(es4(1,2));
186 txt1_L=int2str(es4(length(es4(:,1)),2));
187 text(0,-(s2*es1(1,2)*sfac),txt1_0)
188 text(L,-(s2*es3(length(es3(2,:)),2)*sfac),txt1_mitt1)
189 text(L,-(s2*es4(1,2)*sfac),txt1_mitt2)
190 text(2*L-5,-(s2*es4(250,2)*sfac),txt1_L)
191 text(0.5,-2.5*V_max_fall3tvaer*sfac+2,'OBS! Tvärkraft för
```

```
hela bron, för att få per balk, dela på 4')
191 title(["Tvärkraft [N], Fall 3 och fallet då positionen av
      servicefordon har", "bestämts genom maximering av
      FÄLTmoment"])
192 ylabel('Tvärkraft [N] (omskalad)')
193 xlabel('x [m]')
194
195 %Rita ut pilar för punktlasterna
196 hold on
197 p1=[Li,3];p2=[Li,0];dp=p2-p1;
198 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.6)
199 hold on
200 p1=[Li+3,6];p2=[Li+3,0];dp=p2-p1;
201 quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'-r','maxheadsiz',0.35)
202 text(Li+3.2,6,'x=10.5m')
203
204 ylabel('Tvärkraft [N] (omskalad)')
205 xlabel('x [m]')
206
207
208 %-----SPARA NED RESULTATET-----
209 %---Max moment---
210 save M_max_fall3tvaer M_max_fall3tvaer
211
212 %---Max tvärkraft---
213 save V_max_fall3tvaer V_max_fall3tvaer
214
215 %---Upplagskrafter till upplagstyck---
216 r_ytterstod_fall_3_tvaerkraft=[r(2);r(14)];
217 r_mittstod_fall_3_tvaerkraft=r(11);
218
219 r_max_ytterstod_3_tvaerkraft=
220 max(r_ytterstod_fall_3_tvaerkraft);
221 r_max_mittstod_3_tvaerkraft=r_mittstod_fall_3_tvaerkraft;
222
223 save r_max_ytterstod_3_tvaerkraft
      r_max_ytterstod_3_tvaerkraft
224 save r_max_mittstod_3_tvaerkraft
      r_max_mittstod_3_tvaerkraft
225
226 %---Snittkrafter till diagram med alla lastfall---
227 ex_fall3tvaer=ex;
228 es1_fall3tvaer=es1;
229 es2_fall3tvaer=es2;
230 es3_fall3tvaer=es3;
231 es4_fall3tvaer=es4;
```

```
232
233 save ex_fall3tvaer ex_fall3tvaer
234 save es1_fall3tvaer es1_fall3tvaer
235 save es2_fall3tvaer es2_fall3tvaer
236 save es3_fall3tvaer es3_fall3tvaer
237 save es4_fall3tvaer es4_fall3tvaer
238
239
240 %-----RESULTAT-----
241 disp(' ')
242 disp('-----')
243 disp('RESULTAT:')
244 disp('lastfall 3 - servicefordon med placering för
      maximering av tvärkraft')
245 disp(' ')
246 disp(['Maximalt moment = ', num2str(M_max_fall3tvaer), '
      [Nm]'])
247 disp(['Maximal tvärkraft = ', num2str(V_max_fall3tvaer), '
      [N]'])
248 disp('-----')
249
250 -----
251 RESULTAT:
252 lastfall 3 - servicefordon med placering för maximering av
      tvärkraft
253
254 Maximalt moment = 2763506.7107 [Nm]
255 Maximal tvärkraft = 789668.8023 [N]
256 -----
```



**Figur E.38:** Momentdiagram lastfall 3 max tvärkraft huvudbalkar.



**Figur E.39:** Tvärkraftsdiagram lastfall 3 max tvärkraft huvudbalkar.

## E.2.7 Moment- och tvärkraftsdiagram alla lastfall huvudbalkar

samt placeing av skarv och framtagning av skarvmoment

```

1 clear all
2 clc
3 clf
4 close all
5
6 %-----INDATA-----
7 load L % [m] Spännvidd
8
9
10 %-----SNITTKRAFTER OCH BALKENS UTBREDNING I
    X-LED-----
11 %---Lastfall 1---
12 load ex_fall1
13 load es1_fall1
14 load es2_fall1
15
16 es_fall1=[es1_fall1; es2_fall1];
17 x_fall1=[linspace(ex_fall1(1,1),ex_fall1(1,2),
18 length(es1_fall1(:,3)))
    linspace(ex_fall1(2,1),ex_fall1(2,2),
19 length(es2_fall1(:,3)))]';
20
21 %---Lastfall 2---
22 load ex_fall2
23 load es1_fall2
24 load es2_fall2
25
26 es_fall2=[es1_fall2; es2_fall2];
27 x_fall2=[linspace(ex_fall2(1,1),ex_fall2(1,2),
28 length(es1_fall2(:,3)))
    linspace(ex_fall2(2,1),ex_fall2(2,2),
29 length(es2_fall2(:,3)))]';
30
31 %---Lastfall 3 maxmoment fält---
32 load ex_fall3faelt
33 load es1_fall3faelt
34 load es2_fall3faelt
35 load es3_fall3faelt
36 load es4_fall3faelt
37

```

```
38 es_fall3faelt=[es1_fall3faelt; es2_fall3faelt;
    es3_fall3faelt; es4_fall3faelt];
39 x1_fall3faelt=linspace(ex_fall3faelt(1,1),
40 ex_fall3faelt(1,2),length(es1_fall3faelt(:,3)));
41 x2_fall3faelt=linspace(ex_fall3faelt(2,1),
42 ex_fall3faelt(2,2),length(es2_fall3faelt(:,3)));
43 x3_fall3faelt=linspace(ex_fall3faelt(3,1),
44 ex_fall3faelt(3,2),length(es3_fall3faelt(:,3)));
45 x4_fall3faelt=linspace(ex_fall3faelt(4,1),
46 ex_fall3faelt(4,2),length(es4_fall3faelt(:,3)));
47 x_fall3faelt=[x1_fall3faelt x2_fall3faelt x3_fall3faelt
    x4_fall3faelt]';
48
49 %---Lastfall 3 maxmoment stöd---
50 load ex_fall3stod
51 load es1_fall3stod
52 load es2_fall3stod
53 load es3_fall3stod
54 load es4_fall3stod
55
56 es_fall3stod=[es1_fall3stod; es2_fall3stod; es3_fall3stod;
    es4_fall3stod];
57 x1_fall3stod=linspace(ex_fall3stod(1,1),ex_fall3stod(1,2)
58 ,length(es1_fall3stod(:,3)));
59 x2_fall3stod=linspace(ex_fall3stod(2,1),ex_fall3stod(2,2)
60 ,length(es2_fall3stod(:,3)));
61 x3_fall3stod=linspace(ex_fall3stod(3,1),ex_fall3stod(3,2)
62 ,length(es3_fall3stod(:,3)));
63 x4_fall3stod=linspace(ex_fall3stod(4,1),ex_fall3stod(4,2)
64 ,length(es4_fall3stod(:,3)));
65 x_fall3stod=[x1_fall3stod x2_fall3stod x3_fall3stod
    x4_fall3stod]';
66
67 %---Lastfall 3 max tvärkraft---
68 load ex_fall3tvaer
69 load es1_fall3tvaer
70 load es2_fall3tvaer
71 load es3_fall3tvaer
72 load es4_fall3tvaer
73
74 es_fall3tvaer=[es1_fall3tvaer; es2_fall3tvaer;
    es3_fall3tvaer; es4_fall3tvaer];
75 x1_fall3tvaer=linspace(ex_fall3tvaer(1,1),
76 ex_fall3tvaer(1,2),length(es1_fall3tvaer(:,3)));
77 x2_fall3tvaer=linspace(ex_fall3tvaer(2,1),
78 ex_fall3tvaer(2,2),length(es2_fall3tvaer(:,3)));
```

```
79 x3_fall3tvaer=linspace(ex_fall3tvaer(3,1),
80 ex_fall3tvaer(3,2),length(es3_fall3tvaer(:,3)));
81 x4_fall3tvaer=linspace(ex_fall3tvaer(4,1),
82 ex_fall3tvaer(4,2),length(es4_fall3tvaer(:,3)));
83 x_fall3tvaer=[x1_fall3tvaer x2_fall3tvaer x3_fall3tvaer
      x4_fall3tvaer]';
84
85
86 %-----MAX MOMENT OCH TVÄRKRAFT-----
87 %---Moment---
88 M=[es_fall1(:,3); es_fall2(:,3); es_fall3faelt(:,3);
      es_fall3stod(:,3); es_fall3tvaer(:,3)];
89 Max_M=max(M);
90 Min_M=min(M);
91
92 %---Tvärkraft---
93 V=[es_fall1(:,2); es_fall2(:,2); es_fall3faelt(:,2);
      es_fall3stod(:,2); es_fall3tvaer(:,2)];
94 Max_V=max(V);
95 Min_V=min(V);
96
97
98 %-----MOMENTDIAGRAM OCH TVÄRKRAFTSDIAGRAM-----
99 s=[(Max_V-Min_V) (Max_M-Min_M)]; % Spann till skalning av
      figurer
100
101 % Ritar upp först tvärkraftsdiagram sedan momentdiagram
102 for i=1:2
103     figure(i)
104     hold on
105
106     %---Balken---
107     x=linspace(0,2*L);
108     y=0*x;
109     plot(x,y,'k','LineWidth',2)
110     plot(0,-s(i)*0.03,'^k','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
111     plot(L,-s(i)*0.03,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
112     plot(2*L,-s(i)*0.03,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
113
114     %---Lastfall 1---
115     plot(x_fall1,-es_fall1(:,i+1),'b')
116
117     %---Lastfall 2---
118     plot(x_fall2,-es_fall2(:,i+1),'g')
119
120     %---Lastfall 3 maxmoment fält---
```

```

121 plot(x_fall3faelt, -es_fall3faelt(:, i+1), 'r')
122
123 %---Lastfall 3 maxmoment stöd---
124 plot(x_fall3stod, -es_fall3stod(:, i+1), 'y')
125
126 %---Lastfall 3 max tvärkraft---
127 plot(x_fall3tvaer, -es_fall3tvaer(:, i+1), 'm')
128
129 %---Formatering---
130 if i==1
131     axis([-3 2*L+1.5 1.2*Min_V 2.8*Max_V]);
132     title('TVÄRKRAFTDIAGRAM')
133     ylabel('Tvärkraft [Nm]')
134 else
135     axis([-1.5 2*L+1.5 1.2*Min_M 2.8*Max_M]);
136     title('MOMENTDIAGRAM')
137     ylabel('Moment [N]')
138 end
139
140 xlabel('Balkens längd [m]')
141 legend('Balken', '', '', '', 'Lastfall 1 - jämnt
142     utbredd över hela balken', 'Lastfall 2 - jämnt
143     utbredd i vänster fack', ...
144     'Lastfall 3 - servicefordon maximalt
145     fältmoment', 'Lastfall 3 - servicefordon
146     maximalt stödmoment', ...
147     'Lastfall 3 - servicefordon maximal tvärkraft')
148 end
149
150 %-----SKARVMOMENT-----
151 % x_fall1 används som approximation av balkens utbredning
152     då alla
153 % x-vektorer är nästintill identiska - god approximation
154     nog
155
156 %---Moment från alla lastfall längs ena halvan av balken i
157     en matris---
158 M_alla_fall=[es_fall1(1:length(x_fall1)/2,3),
159 flip(es_fall1((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),3)),
160     ...
161 es_fall2(1:length(x_fall1)/2,3),
162     flip(es_fall2((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),3)),
163     ...
164 es_fall3faelt(1:length(x_fall1)/2,3),
165     flip(es_fall3faelt((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),3)),

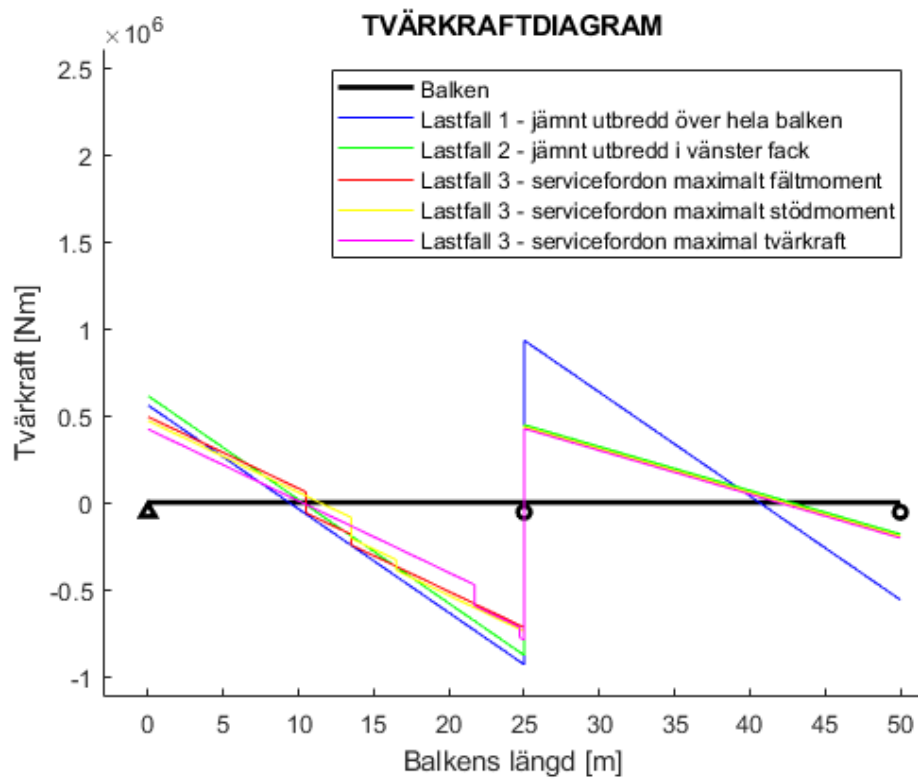
```

```

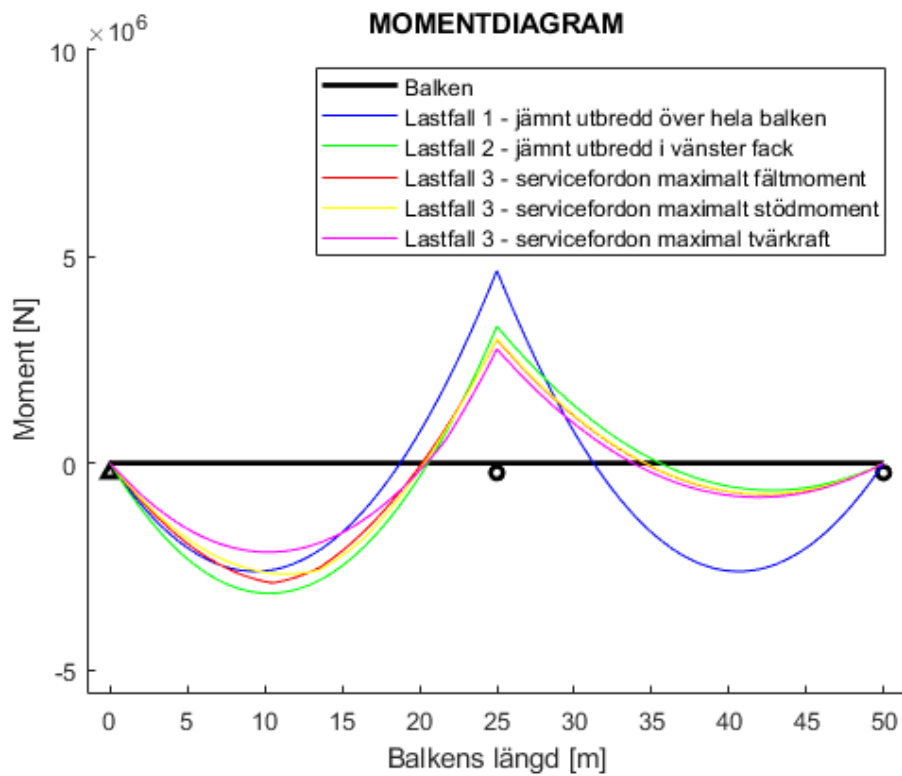
...
156 es_fall3stod(1:length(x_fall1)/2,3),
      flip(es_fall3stod((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),3)),
...
157 es_fall3tvaer(1:length(x_fall1)/2,3),
      flip(es_fall3tvaer((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),3))];
158
159 %---Maximalt moment i varje punkt x längs balken---
160 M_max_alla_fall=zeros(length(x_fall1)/2,1); % Tom
      momentmatrix
161 index_M=zeros(length(x_fall1)/2,1); % Tom indexmatrix
162
163 for i=1:length(x_fall1)/2
164     [M_max_alla_fall(i),
      index_M(i)]=max(abs(M_alla_fall(i,:)));
165 end
166
167 %---Minsta möjliga skarvmoment---
168 M_skarv=min(M_max_alla_fall(0.2*length(x_fall1):
169     0.5*length(x_fall1))); % [Nm] Minsta momentet
      mht det största från alla lastfall
170
171 %---Minsta momentets placering längs balken---
172 index_x=find(M_max_alla_fall==M_skarv);
173 x_skarv=x_fall1(index_x);
174
175
176 %-----TVÄRKRAFT VID SKARV-----
177 %---Tvärkraft från alla lastfall längs ena halvan av
      balken i en matrix---
178 V_alla_fall=[es_fall1(1:length(x_fall1)/2,2),
179 flip(es_fall1((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),2)),
...
180 es_fall2(1:length(x_fall1)/2,2),
      flip(es_fall2((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),2)),
...
181 es_fall3faelt(1:length(x_fall1)/2,2),
      flip(es_fall3faelt((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),2)),
...
182 es_fall3stod(1:length(x_fall1)/2,2),
      flip(es_fall3stod((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),2)),
...
183 es_fall3tvaer(1:length(x_fall1)/2,2),
      flip(es_fall3tvaer((length(x_fall1)/2+1):length(x_fall1),2))];
184
185 %---Elementet som innehåller den dimensionerande

```

```
    tvärkraften i skarven---
186 index_rad=index_x; % Plockar ut rad
187 index_kolumn=index_M(index_x); % Plockar ut kolumn
188
189 %---Dimensionerande tvärkraft i skarven---
190 V_skarv=V_alla_fall(index_rad, index_kolumn); % [N]
    dimensionerande lastfall utläst i grafen
191
192
193 %-----SPARA NED RESULTATET-----
194 save M_skarv M_skarv
195 save V_skarv V_skarv
196 save x_skarv x_skarv
197
198 %-----RESULTAT-----
199 disp(' ')
200 disp('-----')
201 disp('RESULTAT:')
202 disp(['Skarvplacering från ytterstöd = ' int2str(x_skarv)
    ' [m]'])
203 disp(['Skarvmoment = ' int2str(M_skarv) ' [Nm]'])
204 disp(['Tvärkraft vid skarv = ' int2str(V_skarv) ' [N]'])
205 disp('-----')
206
207 -----
208 RESULTAT:
209 Skarvplacering från ytterstöd = 19 [m]
210 Skarvmoment = 1018023 [Nm]
211 Tvärkraft vid skarv = -290367 [N]
212 -----
```



Figur E.40: Tvärkraftsdiagram alla lastfall



Figur E.41: Momentdiagram alla lastfall

## E.2.8 Kontroll av moment- och tvärkraftskapacitet huvudbalkar

```
1 clear all
2 clc
3 clf
4 close all
5
6 %-----MOMENT-----
7 %---Importera indata---
8 load fmk      % [Pa] Böjkapacitet, GL30c
9 load k_mod    % [-] Korrektionsfaktor mht Klimatklass och
   lastvaraktighet
10 load gamma_m % [-] Partitialkoefficient
11 load k_krit  % [-] Korrektionsfaktor mht vippning
12 load k_h     % [-] Omräkningsfaktor mht balkhöjd
13 load kcr     % [-] Korrektionsfaktor
14 load fvk     % [Pa] Skjuvkapacitet, GL30c
15 load b_balk  % [m] Balkens bredd
16 load h_balk  % [m] Balkens höjd
17 load A_balk  % [m] Balkens tvärsnittsarea
18
19 %---Importera maximala tvärkrafter för olika lastfall---
20 load M_max_fall1
21 load M_max_fall2
22 load M_max_fall3faelt
23 load M_max_fall3stod
24 load M_max_fall3tvaer
25
26 %---Dimensionerande moment
27 M_max=[M_max_fall1 M_max_fall2 M_max_fall3faelt
   M_max_fall3stod M_max_fall3tvaer]/4;
28 MEd=max(abs(M_max)); % [Nm]
29
30 %---Momentkapacitet---
31 W=b_balk*h_balk^2/6; % [m^3] Böjmotstånd (AL-Emrani mfl.,
   2019) T3-3
32 fmd=k_mod*(fmk/gamma_m); % [Pa] Dimensionerande
   böjhållfasthet (AL-Emrani mfl., 2019) ekv. T2-12
33 Mrd=fmd*W; % [Nm] Momentkapacitet (AL-Emrani mfl., 2019)
   ekv. T3-13 och T3-14
34
35 %---Utnyttjandegrad---
36 utny_M=MEd/Mrd; % [-]
```

```
37
38
39 %-----TVÄRKRAFT-----
40 %---Importera maximala tvärkrafter för olika lastfall---
41 load V_max_fall1
42 load V_max_fall2
43 load V_max_fall3faelt
44 load V_max_fall3stod
45 load V_max_fall3tvaer
46
47 %---Matris med tvärkraft för varje lastfall (kolonner)
   längs med en av en balkarna---
48 V_max=[V_max_fall1 V_max_fall2 V_max_fall3faelt
   V_max_fall3stod V_max_fall3tvaer]/4;
49 VEd=max(abs(V_max)); % [Nm]
50
51 %---Effektiv balkbredd---
52 kcr=0.67;
53 b_balkef=kcr*b_balk; % [m] Effektiv bredd (AL-Emrani
   mfl., 2019) ekv. T4-9
54
55 %---Tvärkraftskapacitet---
56 fvk=3.5e6;
57 fvd=k_mod*(fvk/gamma_m); % [Pa] Dimensionerande
   skjuvhållfasthet (AL-Emrani mfl., 2019) ekv. T2-12
58 Vrd=(2*b_balkef*h_balk*fvd)/3; % [N] Tvärkraftskapacitet
   (AL-Emrani mfl., 2014) ekv. T4-4
59
60 %---Utnyttjandegrad---
61 utny_V=VEd/Vrd; % [-]
62
63
64 %-----RESULTAT OCH KONTROLL-----
65 disp(' ')
66 disp('-----')
67 disp('RESULTAT:')
68
69 %---Moment---
70 disp(' ')
71 disp(['Momentkapacitet = ', int2str(Mrd), ' [Nm]'])
72 disp(['Dimensionerande moment = ', int2str(MEd), ' [Nm]'])
73
74 if MEd < Mrd
75     disp('Momentkapacitet OK');
76 else
77     disp('Momentkapacitet inte OK')
```

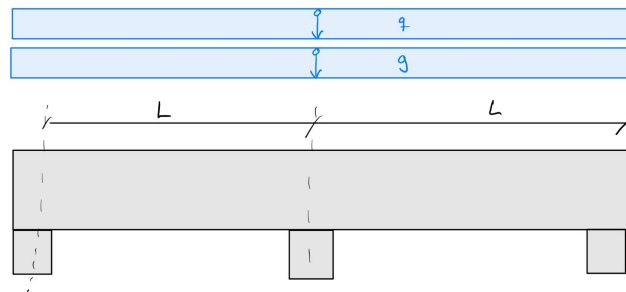
```

78 end
79
80 disp(['Utnyttjandegrad moment = ' num2str(utny_M), ' [-]'])
81
82 %---Tvärkraft---
83 disp(' ')
84 disp(['Tvärkraftskapacitet = ', int2str(Vrd), ' [N]'])
85 disp(['Dimensionerande tvärkraft = ', int2str(VEd), '
      [N]'])
86
87 if VEd < Vrd
88     disp('Tvärkraftskapacitet OK')
89 else
90     disp('Tvärkraftskapacitet inte OK')
91 end
92
93 disp(['Utnyttjandegrad tvärkraft = ' num2str(utny_V), '
      [-]'])
94 disp('-----')
95
96 -----
97 RESULTAT:
98
99 Momentkapacitet = 2986672 [Nm]
100 Dimensionerande moment = 1165138 [Nm]
101 Momentkapacitet OK
102 Utnyttjandegrad moment = 0.39011 [-]
103
104 Tvärkraftskapacitet = 592910 [N]
105 Dimensionerande tvärkraft = 233028 [N]
106 Tvärkraftskapacitet OK
107 Utnyttjandegrad tvärkraft = 0.39302 [-]
108 -----

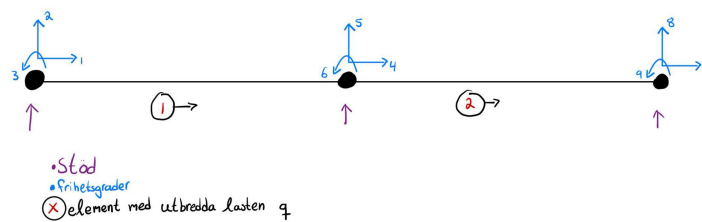
```

## E.2.9 Nedböjning lastfall 1 huvudbalkar

Både egenvikt och nyttig last verkar i båda facken.



Figur E.42: Beräkningsmodell lastfall 1 huvudbalkar.



Figur E.43: FEM-modell lastfall 1 huvudbalkar.

```

1 clear all
2 clc
3 clf
4 close all
5 %----- INDATA -----
6 %---Materialparametrar---
7 load E_balk % Parallellt fibrerna
8
9 %---Spännvidd---
10 load L; % [m]
11
12 %-----LASTER-----
13 %---Nyttiglast---
14 load q % [N/m]
15
16 %---Egentyngd---

```

```
17 load g          %[N/m]
18
19 %---Punktlast från servicefordon---
20 load Qsv1      % [N] Punktlasten axeltryck från servicefordon
21 load Qsv2      % [N] Punktlasten axeltryck från servicefordon
22
23 %---Tvärsnittskostanter----
24 load I_balk    % [m^4] Yttröghetsmoment
25 load A_balk    % [m^2] Tvärsnittsarea
26
27
28 %-----ANALYS I CALFEM-----
29 % En enskild analys för varje last görs för att sedan
    superpositionera lasterna
30 % För Lastfall 1 gäller endast egenvikt och nyttig last
31
32 % XX_nyttig    - gäller bara nyttiglast
33 % XX_egenvikt - gäller bara egenvikt
34 % XX          - gäller båda
35
36 %---Lastvektorer---
37 % Nyttig last
38 f_nyttig=zeros(9,1);
39 eq_nyttig=[0 -q];
40
41 % Egenvikt
42 f_egenvikt=zeros(9,1);
43 eq_egenvikt=[0 -g]; %
44
45 %---Topologi---
46 Edof=[1 1 2 3 4 5 6; 2 4 5 6 7 8 9];
47
48 %---Elementegenskaper----
49 ep=[E_balk A_balk I_balk];
50
51 %---Elementkoordinater---
52 ex1=[0 L]; ex2=[L 2*L]; Ex=[ex1;ex2];
53 ey1=[0 0]; ey2=ey1; Ey=[ey1;ey2];
54
55 %---Elementstyvhetmatriser och elemntlastvektorer---
56 % Nyttig last
57 K_nyttig=zeros(9);
58 for i=1:2
59     [Ke_nyttig, fe_nyttig]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),
60     ep,eq_nyttig);
61     [K_nyttig, f_nyttig]=assem(Edof(i,:),K_nyttig,
```

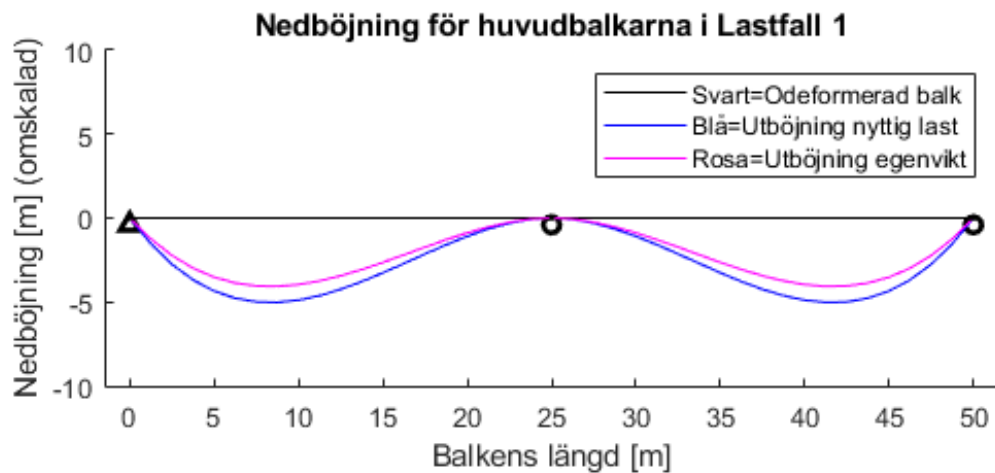
```

62     Ke_nyttig, f_nyttig, fe_nyttig);
63 end
64
65 % Egentyngd
66 K_egenvikt=zeros(9);
67 for i=1:2
68     [Ke_egenvikt, fe_egenvikt]=beam2e(Ex(i,:),
69     Ey(i,:), ep, eq_egenvikt);
70     [K_egenvikt, f_egenvikt]=assem(Edof(i,:),
71     K_egenvikt, Ke_egenvikt, f_egenvikt, fe_egenvikt);
72 end
73
74 %---Upplagsvillkor---
75 bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0];
76
77 %---Lös systemen och framtagning av snittkrafter---
78 % Nyttig last
79 [a_nyttig, r_nyttig]=solveq(K_nyttig, f_nyttig, bc);
80
81 Ed_nyttig=extract(Edof, a_nyttig);
82 es1_nyttig=beam2s(Ex(1,:), Ey(1,:), ep, Ed_nyttig(1,:),
83 eq_nyttig);
84 es2_nyttig=beam2s(Ex(2,:), Ey(2,:), ep, Ed_nyttig(2,:),
85 eq_nyttig);
86
87 % Egentyngd
88 [a_egenvikt, r_egenvikt]=solveq(K_egenvikt, f_egenvikt, bc);
89
90 Ed_egenvikt=extract(Edof, a_egenvikt);
91 es1_egenvikt=beam2s(Ex(1,:), Ey(1,:), ep, Ed_egenvikt(1,:),
92 eq_egenvikt);
93 es2_egenvikt=beam2s(Ex(2,:), Ey(2,:), ep, Ed_egenvikt(2,:),
94 eq_egenvikt);
95
96
97 %-----NEDBÖJNINGEN LÄNGS VARJE ELEMENT-----
98 %---nyttig last---
99 for i=1:2
100     [x_utboj_nyttig(i,:), w_inst_nyttig(i,)] =
101     beam2crd(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed_nyttig(i,:), 1);
102 end
103 w_inst_max_nyttig_fall_1=max(abs(w_inst_nyttig), [], "all");
104
105 %---Egenvikt---
106 for i=1:2
107     [x_utboj_egenvikt(i,:), w_inst_egenvikt(i,)] =

```

```
108     beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_egenvikt(i,:),1);
109 end
110 w_inst_max_egenvikt_fall1=max(abs(w_inst_egenvikt),[],"all");
111
112 %---Nedböjning längs hela balken---
113 w_inst_nyttig_fall1=[w_inst_nyttig(1,:)
114     w_inst_nyttig(2,:)];
114 w_inst_egenvikt_fall1=[w_inst_egenvikt(1,:)
115     w_inst_egenvikt(2,:)];
115 x_utboj_fall1=[x_utboj_egenvikt(1,:)
116     x_utboj_egenvikt(2,:)];
116
117 w_inst_max_fall1=min([w_inst_nyttig_fall1
118     w_inst_egenvikt_fall1],[],'all');
118
119
120 %-----DIAGRAM ÖVER NEDBÖJNINGEN-----
121 figure(3)
122 title('Nedböjning för huvudbalkarna i Lastfall 1')
123
124 %---Skalfaktorer---
125 sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),w_inst_nyttig(1,:),0.2);
126 s1=0.08;
127
128 %---Odeformerade balken---
129 for i=1:2
130     plotpar=[1 1 0];
131     eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
132 end
133 hold on
134 plot(0,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'^k',
135     'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
136 plot(L,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'ok',
137     'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
138 plot(2*L,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'ok',
139     'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
140
141 %---Uppskalad nedböjning---
142 plotpar=[1 2 0];
143 eldisp2(Ex(1,:),Ey(1,:),Ed_nyttig(1,:),plotpar,sfac); %
144     Nyttiglast element 1
144 eldisp2(Ex(2,:),Ey(2,:),Ed_nyttig(2,:),plotpar,sfac); %
145     Nyttiglast element 2
145 hold on
146 plotpar=[1 3 0];
147 eldisp2(Ex(1,:),Ey(1,:),Ed_egenvikt(1,:),plotpar,sfac); %
```

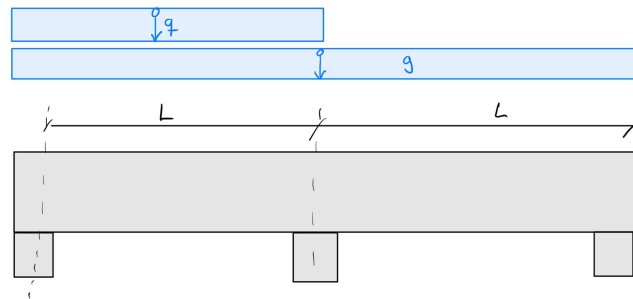
```
Egenvikt element 1
148 eldisp2(Ex(2,:),Ey(2,:),Ed_egenvikt(2,:),plotpar,sfac); %
    Egenvikt element 1
149 hold on
150
151 %---Formatering---
152 axis([-1.5 2*L+1.5 2*w_inst_max_fall1*sfac
    -2*w_inst_max_fall1*sfac])
153 legend('Svart=Odeformerad
    balk','','','','','','','Blå=Utböjning nyttig
    last','','','Rosa=Utböjning egenvikt','')
154 xlabel('Balkens längd [m]')
155 ylabel('Nedböjning [m] (omskalad)')
156
157 %-----SPARA NED RESULTATET-----
158 %---Nedböjning till kontroll av slutlig nedböjning---
159 save w_inst_nyttig_fall1 w_inst_nyttig_fall1
160 save w_inst_egenvikt_fall1 w_inst_egenvikt_fall1
161 save x_utboj_fall1 x_utboj_fall1
```



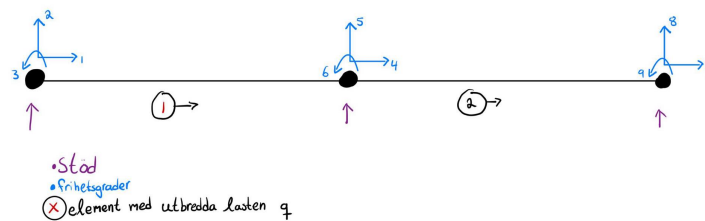
Figur E.44: Nedböjning lastfall 1 huvudbalkar.

## E.2.10 Nedböjning lastfall 2 huvudbalkar

Egenvikt verkar i båda facken, medan nyttiga lasten endast verkar i vänster fack.



Figur E.45: Beräkningsmodell lastfall 2 huvudbalkar.



Figur E.46: FEM-modell lastfall 2 huvudbalkar.

```

1  %----- INDATA -----
2  %---Materialparametrar---
3  load E_balk % [Pa] Parallellt fibrerna
4
5  %---Spännvidd---
6  load L; % [m]
7
8  %---Laster---
9  % Nyttiglast
10 load q % [N/m]
11
12 % Egentyngd
13 load g % [N/m]
14
15 %---Tvärsnittskonstanter---
16 load I_balk % [m^4] Yttröghetsmoment
    
```

```
17 load A_balk % [m^2] Tvärsnittsarea
18
19
20 %-----ANALYS I CALFEM-----
21 % En enskild analys för varje last görs för att sedan
    superpositionera lasterna
22 % För Lastfall 2 gäller endast egenvikt och nyttig last
23
24 % XX_nyttig - gäller bara nyttiglast
25 % XX_egenvikt - gäller bara egenvikt
26 % XX - gäller båda
27
28 %---Laster---
29 % Nyttig last
30 f_nyttig=zeros(9,1);
31 eq_nyttig=[0 -q ; 0 0]; % Nyttig last placeras endast i
    1:a elementet
32
33 % Egenvikt
34 f_egenvikt=zeros(9,1);
35 eq_egenvikt=[0 -g]; %
36
37 %---Topologi---
38 Edof=[1 1 2 3 4 5 6; 2 4 5 6 7 8 9];
39
40 %---Elementegenskaper---
41 ep=[E_balk A_balk I_balk];
42
43 %---Elementkoordinater---
44 ex1=[0 L]; ex2=[L 2*L]; Ex=[ex1;ex2];
45 ey1=[0 0]; ey2=[L L]; Ey=[ey1;ey2];
46
47 %---Elementstyvhetmatriser och elemntlastvektorer---
48 % Nyttig last
49 K_nyttig=zeros(9);
50 for i=1:2
51     [Ke_nyttig, fe_nyttig]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),
52     ep,eq_nyttig(i,:));
53     [K_nyttig,f_nyttig]=assem(Edof(i,:),K_nyttig,
54     Ke_nyttig,f_nyttig,fe_nyttig);
55 end
56
57 % Egentyngd
58 K_egenvikt=zeros(9);
59 for i=1:2
60     [Ke_egenvikt, fe_egenvikt]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),
```

```

61     ep,eq_egenvikt);
62     [K_egenvikt,f_egenvikt]=assem(Edof(i,:),K_egenvikt,
63     Ke_egenvikt,f_egenvikt,fe_egenvikt);
64 end
65
66 %---Upplagsvillkor---
67 bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0];
68
69 %---Lös systemen och framtagning av snittkrafter---
70 % Nyttig last
71 [a_nyttig,r_nyttig]=solveq(K_nyttig,f_nyttig,bc);
72
73 Ed_nyttig=extract(Edof,a_nyttig);
74 es1_nyttig=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed_nyttig(1,:),
75 eq_nyttig);
76 es2_nyttig=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed_nyttig(2,:),
77 eq_nyttig);
78
79 % Egenvikt
80 [a_egenvikt,r_egenvikt]=solveq(K_egenvikt,f_egenvikt,bc);
81
82 Ed_egenvikt=extract(Edof,a_egenvikt);
83 es1_egenvikt=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed_egenvikt(1,:),
84 eq_egenvikt);
85 es2_egenvikt=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed_egenvikt(2,:),
86 eq_egenvikt);
87
88
89 %-----NEDBÖJNINGEN LÄNGS VARJE ELEMENT-----
90 %---Nyttig last---
91 for i=1:2
92     [x_utboj_nyttig(i,:),w_inst_nyttig(i,.)]=
93     beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_nyttig(i,:),1);
94 end
95 w_inst_max_nyttig_fall_2=max(abs(w_inst_nyttig),[],"all");
96
97 %---Egenvikt---
98 for i=1:2
99     [x_utboj_egenvikt(i,:),w_inst_egenvikt(i,.)]=
100     beam2crd(Ex(i,:),Ey(i,:),Ed_egenvikt(i,:),1);
101 end
102 w_inst_max_egenvikt_fall_2=max(abs(w_inst_egenvikt),[],"all");
103
104 %---Nedböjning längs hela balken---
105 w_inst_nyttig_fall2=[w_inst_nyttig(1,:)
    w_inst_nyttig(2,.)];

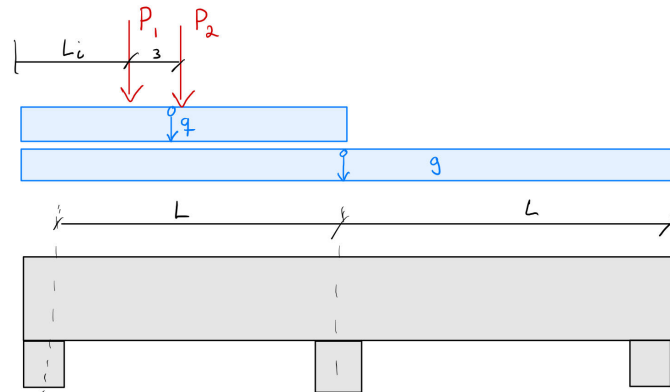
```

```
106 w_inst_egenvikt_fall2=[w_inst_egenvikt(1,:)
    w_inst_egenvikt(2,:)];
107 x_utboj_fall2=[x_utboj_egenvikt(1,:)
    x_utboj_egenvikt(2,:)];
108
109 w_inst_max_fall2=min([w_inst_nyttig_fall2
    w_inst_egenvikt_fall2],[], 'all');
110
111 %-----DIAGRAM ÖVER NEDBÖJNINGEN-----
112 figure(3)
113 title('Nedböjning för huvudbalkarna i Lastfall 2')
114
115 %---Skalfaktorer---
116 sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),w_inst_nyttig(1,:),0.2);
117 s1=0.11;
118
119 %---Odeformerade balken---
120 for i=1:2
121     plotpar=[1 1 0];
122     eldraw2(Ex(i,:),Ey(i,:),plotpar)
123 end
124 hold on
125 plot(0,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'^k',
126 'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
127 plot(L,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'ok',
128 'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
129 plot(2*L,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'ok',
130 'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
131
132 %---Uppskalad nedböjning---
133 plotpar=[1 2 0];
134 eldisp2(Ex(1,:),Ey(1,:),Ed_nyttig(1,:),plotpar,sfac); %
    Nyttig last element 1
135 eldisp2(Ex(2,:),Ey(2,:),Ed_nyttig(2,:),plotpar,sfac); %
    Nyttig last element 2
136 hold on
137 plotpar=[1 3 0];
138 eldisp2(Ex(1,:),Ey(1,:),Ed_egenvikt(1,:),plotpar,sfac); %
    Egenvikt element 1
139 eldisp2(Ex(2,:),Ey(2,:),Ed_egenvikt(2,:),plotpar,sfac); %
    Egenvikt element 2
140 hold on
141
142 %---Formatering---
143 axis([-1.5 2*L+1.5 2*w_inst_max_fall2*sfac
    -3*w_inst_max_fall2*sfac])
```

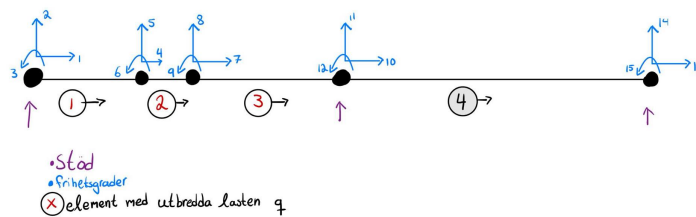


### E.2.11 Nedböjning lastfall 3 huvudbalkar

Laster: Egenvikt, nyttig last, tyngd av servicefordon Egenvikt verkar längs hela bron  
 Nyttig last och tyngd av servicefordon placeras i ett av facken.



Figur E.48: Beräkningsmodell lastfall 3 huvudbalkar.



Figur E.49: FEM-modell lastfall 3 huvudbalkar.

```

1 clear all
2 clf
3 clc
4 close all
5
6
7 %-----INDATA -----
8 load E_balk % [Pa] Elasticitetsmodul parallellt fibrerna
9
10 %---Spännvidd---
11 load L % [m]
12
    
```

```
13 %---Laster---
14 % Nyttig last
15 load q % [N/m]
16
17 % Egenvikt
18 load g % [N/m]
19
20 % Punktlast från servicefordon
21 load Qsv1 % [N] Punktlastens axeltryck från servicefordon
    tyngre del
22 load Qsv2 % [N] Punktlastens axeltryck från servicefordon
    lättare del
23
24 %---Tvärsnittsstorheter---
25 load I_balk % [m^4] Yttröghetsmoment
26 load A_balk % [m^2] Tvärsnittsarea
27
28 %-----ANALYS I CALFEM-----
29 % En enskild analys för varje last görs för att sedan
    superpositionera lasterna
30 % För Lastfall 3 gäller egenvikt, nyttig last och
    punktlast från servicefordon
31
32 % XX_nyttig - gäller bara nyttiglast
33 % XX_egenvikt - gäller bara egenvikt
34 % XX_service - gäller bara last från servicefordon
35 % XX - gäller båda
36
37 % Ittererar värsta fallet på positionen av servicefordonet
38 Li=10.5;
39
40 %---Topologi---
41 Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
42        2 4 5 6 7 8 9;
43        3 7 8 9 10 11 12;
44        4 10 11 12 13 14 15];
45
46 %---Elementegenskaper---
47 ep=[E_balk A_balk I_balk];
48 ex1=[0 Li]; ex2=[Li Li+3]; ex3=[Li+3 L]; ex4=[L 2*L];
49 Ex=[ex1; ex2; ex3; ex4];
50 Ey=[0 0];
51
52 %---Laster och lastvektorer---
53 % Nyttiglast
54 eq_nyttig=[0 -q; % Element 1,2,3 har nyttig last
```

```
55         0 -q;    % dvs. elementen vänster om mittstöd
56         0 -q;
57         0  0];
58 f_nyttig=zeros(15,1);
59
60 % Egentyngd
61 eq_egenvikt=[ 0 -g; % Element 1,2,3,4 belastas med
               egentyngd
62              0 -g; % dvs. hela bron
63              0 -g;
64              0 -g];
65 f_egenvikt=zeros(15,1);
66
67 % Punktlast från servicefordon
68 f_service=zeros(15,1);
69 f_service(5)=-Qsv1;
70 f_service(8)=-Qsv2;
71
72
73 %---Elementstyhetsmatriser och elemntlastvektor---
74 % Egenvikt
75 K_egenvikt=zeros(15); % Tom styvhetsmatris
76 for i=1:4
77     [Ke_egenvikt, fe_egenvikt]=beam2e(Ex(i,:),Ey,ep,
78     eq_egenvikt(i,:));
79     [K_egenvikt, f_egenvikt]=assem(Edof(i,:),K_egenvikt,
80     Ke_egenvikt, f_egenvikt, fe_egenvikt);
81 end
82
83 % Nyttig last
84 K_nyttig=zeros(15); % Tom styvhetsmatris
85 for i=1:4
86     [Ke_nyttig, fe_nyttig]=beam2e(Ex(i,:),Ey,ep,
87     eq_nyttig(i,:));
88     [K_nyttig, f_nyttig]=assem(Edof(i,:),K_nyttig,
89     Ke_nyttig, f_nyttig, fe_nyttig);
90 end
91
92 % Servicefordon
93 K_service=zeros(15); % Tom styvhetsmatris
94 for i=1:4
95     [Ke_service, fe_service]=beam2e(Ex(i,:),Ey,ep);
96     [K_service, f_service]=assem(Edof(i,:),
97     K_service, Ke_service, f_service, fe_service);
98 end
99
```

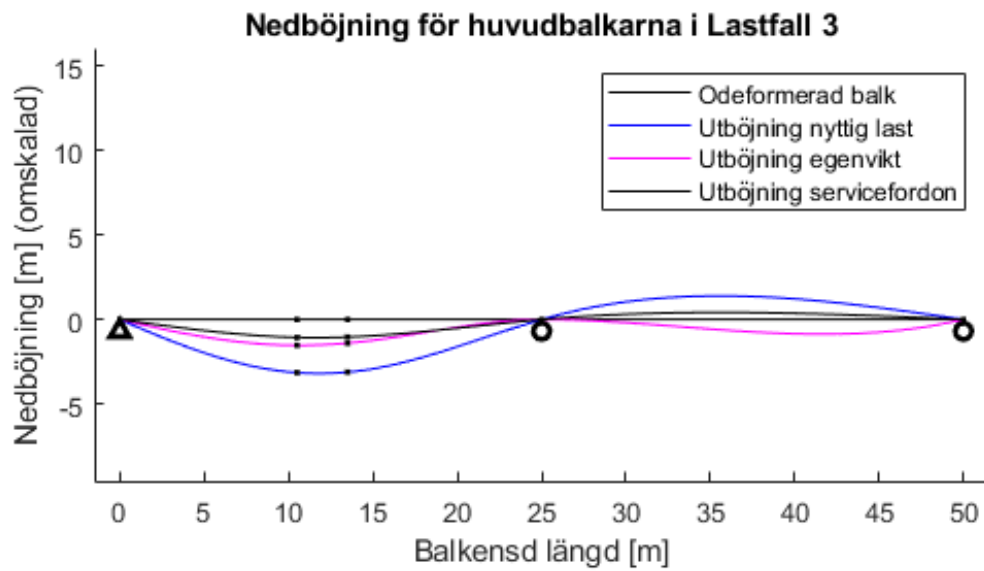
```
100 %---Upplagsvillkor---
101 bc=[1 0; 2 0; 11 0; 14 0];
102
103 %---Lös systemen framtagning av snittkrafter---
104 % Nyttig last
105 [a_nyttig,r_nyttig]=solveq(K_nyttig,f_nyttig,bc);
106
107 Ed_nyttig=extract(Edof,a_nyttig);
108 es1_nyttig=beam2s(Ex(1,:),Ey,ep,Ed_nyttig(1,:),
109 eq_nyttig(1,:),21);
110
111 % Egenvikten
112 [a_egenvikt,r_egenvikt]=solveq(K_egenvikt,f_egenvikt,bc);
113 Ed_egenvikt=extract(Edof,a_egenvikt);
114
115 % Servicefordon
116 [a_service,r_service]=solveq(K_service,f_service,bc);
117 Ed_service=extract(Edof,a_service);
118
119 %-----NEDBÖJNINGEN LÄNGS VARJE ELEMENT-----
120 %---Nyttig last---
121 for i=1:4
122     [x_utboj_nyttig(i,:),w_inst_nyttig(i,:)]=
123     beam2crd(Ex(i,:),Ey,Ed_nyttig(i,:),1);
124 end
125 w_inst_max_nyttig_fall_3=max(abs(w_inst_nyttig),[],"all");
126
127 %---Egenvikt---
128 for i=1:4
129     [x_utboj_egenvikt(i,:),w_inst_egenvikt(i,:)]=
130     beam2crd(Ex(i,:),Ey,Ed_egenvikt(i,:),1);
131 end
132 w_inst_max_egenvikt_fall_3=max(abs(w_inst_egenvikt),[],"all");
133
134 %---Servicefordon---
135 for i=1:4
136     [x_utboj_service(i,:),w_inst_service(i,:)]=
137     beam2crd(Ex(i,:),Ey,Ed_service(i,:),1);
138 end
139 w_inst_max_service_fall_3=max(abs(w_inst_service),[],"all");
140
141 %---Nedböjning längs hela balken---
142 w_inst_nyttig_fall3=[w_inst_nyttig(1,:) w_inst_nyttig(2,:)
143     w_inst_nyttig(3,:) w_inst_nyttig(4,:)];
143 w_inst_egenvikt_fall3=[w_inst_egenvikt(1,:)
144     w_inst_egenvikt(2,:) w_inst_egenvikt(3,:)]
```

```

    w_inst_egenvikt(4,:]);
144 w_inst_service_fall3=[w_inst_service(1,:)
    w_inst_service(2,:) w_inst_service(3,:)
    w_inst_service(4,:)];
145 x_utboj_fall3=[x_utboj_service(1,:) x_utboj_service(2,:)
    x_utboj_service(3,:) x_utboj_service(4,:)];
146
147 w_inst_max_fall3=min([w_inst_nyttig_fall3
    w_inst_egenvikt_fall3 w_inst_service_fall3],[], 'all');
148
149
150 %-----DIAGRAM ÖVER NEDBÖJNINGEN-----
151 figure(1)
152 title('Nedböjning för huvudbalkarna i Lastfall 3')
153
154 %---Skalfaktorer---
155 sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),w_inst_nyttig(1,:),0.3);
156 s1=0.22;
157
158 %---Odeformerade balken---
159 for i=1:4
160     plotpar=[1 1 0];
161     eldraw2(Ex(i,:),Ey,plotpar)
162 end
163 hold on
164 plot(0,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'^k',
165 'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
166 plot(L,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'ok',
167 'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
168 plot(2*L,min(w_inst_nyttig(1,:))*s1*sfac,'ok',
169 'LineWidth',2,'MarkerSize',6)
170
171 %Ritar utböjningen pga nyttig last
172 plotpar=[1 2 0];
173 eldisp2(Ex(1,:),Ey,Ed_nyttig(1,:),plotpar,sfac); % Nyttig
    last element 1
174 eldisp2(Ex(2,:),Ey,Ed_nyttig(2,:),plotpar,sfac); % Nyttig
    last element 2
175 eldisp2(Ex(3,:),Ey,Ed_nyttig(3,:),plotpar,sfac); % Nyttig
    last element 3
176 eldisp2(Ex(4,:),Ey,Ed_nyttig(4,:),plotpar,sfac); % Nyttig
    last element 4
177 hold on
178 plotpar=[1 3 0];
179 eldisp2(Ex(1,:),Ey,Ed_egenvikt(1,:),plotpar,sfac); %
    Egenvikt element 1

```

```
180 eldisp2(Ex(2,:),Ey,Ed_egenvikt(2,:),plotpar,sfac); %  
    Egenvikt element 2  
181 eldisp2(Ex(3,:),Ey,Ed_egenvikt(3,:),plotpar,sfac); %  
    Egenvikt element 3  
182 eldisp2(Ex(4,:),Ey,Ed_egenvikt(4,:),plotpar,sfac); %  
    Egenvikt element 4  
183 hold on  
184 plotpar=[1 1 0];  
185 eldisp2(Ex(1,:),Ey,Ed_service(1,:),plotpar,sfac); %  
    Servicefordon element 1  
186 eldisp2(Ex(2,:),Ey,Ed_service(2,:),plotpar,sfac); %  
    Servicefordon element 2  
187 eldisp2(Ex(3,:),Ey,Ed_service(3,:),plotpar,sfac); %  
    Servicefordon element 3  
188 eldisp2(Ex(4,:),Ey,Ed_service(4,:),plotpar,sfac); %  
    Servicefordon element 4  
189 hold on  
190  
191 %---Formatering---  
192 axis([-1.5 2*L+1.5 3*w_inst_max_fall3*sfac  
    -5*w_inst_max_fall3*sfac])  
193 legend('0deformerad  
    balk',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ','','Utböjning nyttig  
    last',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ','','Utböjning  
    egenvikt',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ','','Utböjning  
    servicefordon')  
194 xlabel('Balkensd längd [m]')  
195 ylabel('Nedböjning [m] (omskalad)')  
196  
197  
198 %-----SPARA NED RESULTATET-----  
199 %---Nedböjning till kontroll av slutgiltig nedböjning---  
200 save w_inst_nyttig_fall3 w_inst_nyttig_fall3  
201 save w_inst_egenvikt_fall3 w_inst_egenvikt_fall3  
202 save w_inst_service_fall3 w_inst_service_fall3  
203 save x_utboj_fall3 x_utboj_fall3
```



Figur E.50: Nedböjning lastfall 3 huvudbalkar.

## E.2.12 Kontroll av maximal nedböjning från alla lastfall huvudbalkar

```
1 clear all
2 clc
3 clf
4 close all
5
6 %-----IMPORTERA INDATA-----
7 load k_def % [-] Korrektionsfaktor mht krypning
8 load psi_1 % [-] Reduktionsfaktor mht långtidslast
9 load L % [m] Spännvidd
10
11 %-----NEDBÖJNING LASTFALL 1-----
12 %---Importera nedböjningar---
13 load w_inst_nyttig_fall1 % Initiell nedböjning nyttig
    last fall 1
14 load w_inst_egenvikt_fall1 % Initiell nedböjning egenvikt
    fall 1
15 load x_utboj_fall1 % Balkens utbredning i x-led fall1
16
17 %---Omedelbar nedböjning---
18 w_isnt_fall1=w_inst_nyttig_fall1+w_inst_egenvikt_fall1; %
    T9-7 (AL-Emrani mfl., 2019)
19
20 %---Slutgiltig nedböjning---
21 w_fin_egenvikt_fall1=w_inst_egenvikt_fall1*(1+k_def); %
    T9-8 (AL-Emrani mfl., 2019)
22 w_fin_nyttig_fall1=w_inst_nyttig_fall1*(1+psi_1*k_def); %
    T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)
23
24 w_fin_fall1=w_fin_egenvikt_fall1+w_fin_nyttig_fall1; %
    T9-10 T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)
25
26
27 %-----NEDBÖJNING LASTFALL 2-----
28 %---Importera nedböjningar---
29 load w_inst_nyttig_fall2 % Initiell nedböjning nyttig
    last fall 2
30 load w_inst_egenvikt_fall2 % Initiell nedböjning egenvikt
    fall 2
31 load x_utboj_fall2 % Balkens utbredning i x-led fall 2
32
33 %---Omedelbar nedböjning---
```

```
34 w_isnt_fall2=w_inst_egenvikt_fall2+w_inst_nyttig_fall2; %  
    T9-7 (AL-Emrani mfl., 2019)  
35  
36 %---Slutgiltig nedböjning---  
37 w_fin_egenvikt_fall2=w_inst_egenvikt_fall2*(1+k_def); %  
    T9-8 (AL-Emrani mfl., 2019)  
38 w_fin_nyttig_fall2=w_inst_nyttig_fall2*(1+psi_1*k_def); %  
    T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)  
39  
40 w_fin_fall2=w_fin_egenvikt_fall2+w_fin_nyttig_fall2; %  
    T9-10 T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)  
41  
42  
43 %-----NEDBÖJNING LASTFALL 3-----  
44 %---Importerera nedböjningar---  
45 load w_inst_egenvikt_fall3 % Initiell nedböjning nyttig  
    last fall 3  
46 load w_inst_nyttig_fall3 % Initiell nedböjning egenvikt  
    fall 3  
47 load w_inst_service_fall3 % Initiell nedböjning  
    servicefordon fall 3  
48 load x_utboj_fall3 % Balkens utbredning i x-led fall 3  
49  
50 %---Omedelbar nedböjning---  
51 w_isnt_fall3=w_inst_egenvikt_fall3+w_inst_nyttig_fall3+  
52 w_inst_service_fall3; % T9-7 (AL-Emrani mfl., 2019)  
53  
54 %---Slutgiltig nedböjning---  
55 w_fin_egenvikt_fall3=w_inst_egenvikt_fall3*(1+k_def);  
    % T9-8 (AL-Emrani mfl., 2019)  
56 w_fin_nyttig_fall3=w_inst_nyttig_fall3*(1+psi_1*k_def);  
    % T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)  
57 w_fin_service_fall3=w_inst_service_fall3*(1+psi_1*k_def);  
    % T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)  
58  
59 w_fin_fall3=w_fin_egenvikt_fall3+w_fin_nyttig_fall3+  
60 w_fin_service_fall3; % T9-10 T9-9 (AL-Emrani mfl., 2019)  
61  
62  
63 %-----ALLA LASTFALL-----  
64 w_fin_inst=[w_isnt_fall1 w_isnt_fall2 w_isnt_fall3];  
65 w_fin=[w_fin_fall1 w_fin_fall2 w_fin_fall3];  
66  
67 %---Maximal nedböjning---  
68 Max_w_inst=max(abs(w_fin_inst),[],'all');  
69 Max_w=max(abs(w_fin),[],'all');
```

```

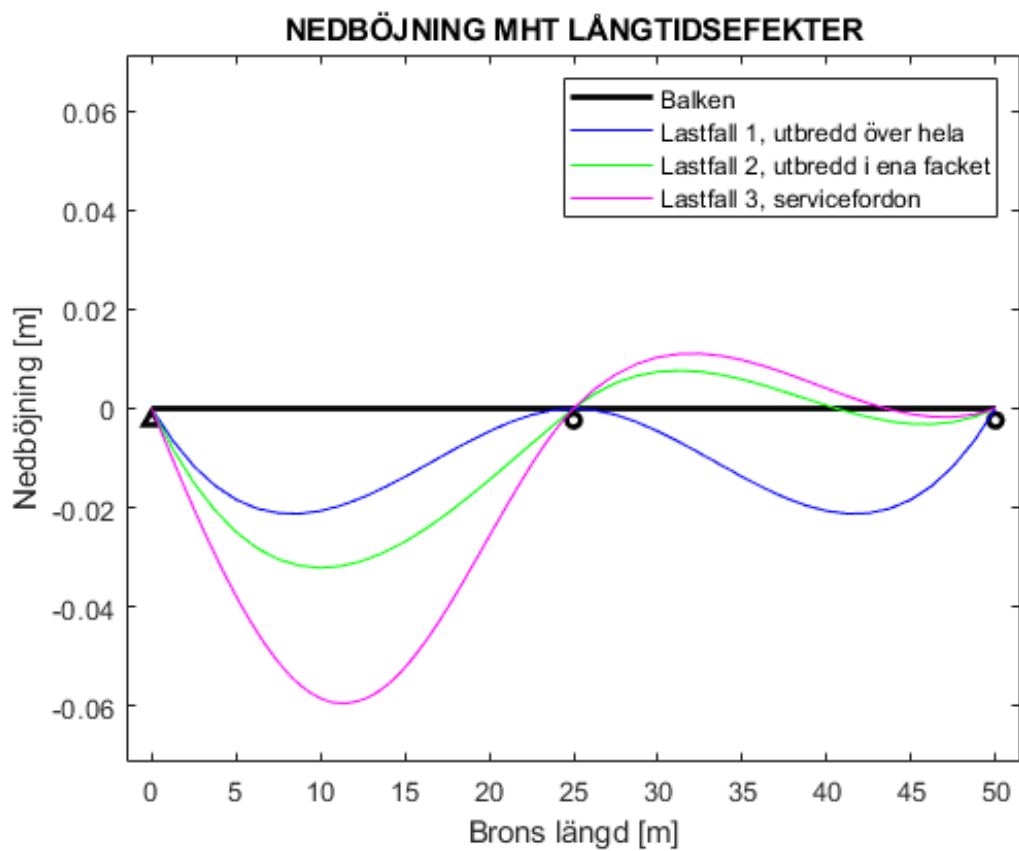
70
71
72 %-----FIGUR ÖVER NEDBÖJNING-----
73 y0=linspace(0,0,length(w_fin_fall1)); % [m] Balkens
      utbredning vertikalt
74
75 figure(1)
76 %---Rita upp balken---
77 plot(x_utboj_fall1,y0,'k','LineWidth',2)
78 hold on
79 plot(0,-Max_w*0.04,'^k','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
80 plot(L,-Max_w*0.04,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
81 plot(2*L,-Max_w*0.04,'ok','LineWidth',2,'MarkerSize',5)
82
83 %---Rita upp nedböjningen---
84 plot(x_utboj_fall1,w_fin_fall1,'b')
85 plot(x_utboj_fall2,w_fin_fall2,'g')
86 plot(x_utboj_fall3,w_fin_fall3,'m')
87
88 %---Formatering---
89 axis([-1.5 51.5 -1.2*Max_w 1.2*Max_w])
90 title('NEDBÖJNING MHT LÅNGTIDSEFEKTER')
91 xlabel('Brons längd [m]')
92 ylabel('Nedböjning [m]')
93 legend('Balken',' ',' ',' ', 'Lastfall 1, utbredd över hela'
      , ...
      'Lastfall 2, utbredd i ena facket', 'Lastfall 3,
      servicefordon');
94
95
96
97 %-----RESULTAT-----
98 disp(' ')
99 disp('-----')
100 disp('RESULTAT:')
101 disp(['Maximal initial nedböjning = ',
      num2str(Max_w_inst), ' [m]'])
102 disp(['Maximal slutlig nedböjning = ', num2str(Max_w), '
      [m]'])
103 disp(['Maximal tillåten nedböjning = ', num2str(L/400), '
      [m]'])
104 disp(['Utnyttjandegrad = ' num2str(Max_w/(L/400)), ' [-]'])
105
106 if Max_w < (L/400)
107     disp('Nedböjningen är OK!')
108 else
109     disp('Nedböjningen är inte OK!')

```

```

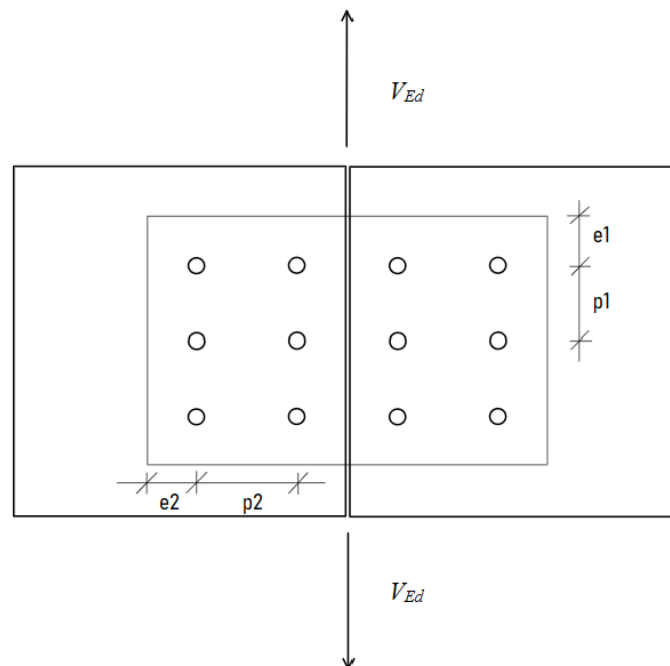
110 end
111 disp('-----')
112
113 -----
114 RESULTAT:
115 Maximal initial nedböjning = 0.024621 [m]
116 Maximal slutlig nedböjning = 0.059344 [m]
117 Maximal tillåten nedböjning = 0.0625 [m]
118 Utnyttjandegrad = 0.94951 [-]
119 Nedböjningen är OK!
120 -----

```

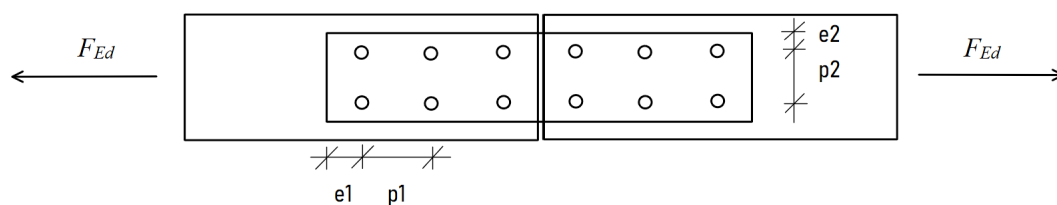


Figur E.51: Slutlig medböjning från alla lastfall

### E.2.13 Dimensionering av förband



**Figur E.52:** Måttsatt skiss över inslitsat förband, måtten redovisas i resultatet av beräkningen nedan.



**Figur E.53:** Måttsatt skiss över ovanliggande förband, måtten redovisas i resultatet av beräkningen nedan.

```

1 clear all
2 clc
3 clf
4 close all
5
6 %-----INDATA -----
7 %---Trä---
8 load b_balk           % [m] Balkbredd

```

```

9 load h_balk % [m] Balkhöjd
10 load rohk_balk % [kg/m^3] Karaktäristisk densitet
    GL30c
11 load k_mod % [-] Korrektionsfaktor
12 load gamma_m_forband % [-] Partialkoefficient förband
13
14 %---Dymlingar---
15 load fub % [Pa] Brotthållfasthet dymling
16 load fyb % [Pa] Sträckgräns för dymling
17
18 %---Dimensiuonerande moment och tvärkraft---
19 load M_skarv % [Nm] Moment vid skarv
20 load V_skarv % [N] Tvärkraft i skarv
21
22 Med=M_skarv/4; % [Nm] Dimensionerande moment för
    en balk
23 Ved=V_skarv/4; % [N] Dimensionerande tvärkraft för
    en balk
24
25
26
27 %-----INSLITSAT FÖRBAND-----
28 % Belastas med dimensionerande tvärkraft i skarvsnittet
29
30
31 %---Förbandsdegenskaper---
32 % Dymlingar
33 d_inslits=0.018; % [m] Dymlingsdimension
34 l_dym_inslits=b_balk; % [m] Dymlingslängd
35 n_inslits=6; % [st] Antal dymlingar
36
37 % Plåt
38 t_plat_inslits=0.01; % [m] Tjocklek plåt
39
40 % Trä
41 k90_inslits=1.30+0.015*d_inslits*1000; % [-] Faktor för
    limträ (AL-Emrani mfl., 2019) s.T105
42 t1_inslits=(b_balk-t_plat_inslits)/2; % [m]
    Tjocklek trä på vardera sida plåt
43 t2_inslits=t1_inslits; % [m] Tjocklek trä
    på vardera sida plåt
44
45 % Avstånd
46 e2_inslits=6*d_inslits; % [m] Avstånd mellan förbindare
    och belastad virkesände

```

```
47 p2_inslits=e2_inslits; % [m] Avstånd mellan förbindare i
    fiverriktning
48 e1_inslits=0.2; % [m] Avstånd mellan förbindare
    och ovankant
49 p1_inslits=e1_inslits; % [m] Avstånd mellan dymlingar i
    vertikalt led
50
51
52 %---Kapacitet---
53 f_h0k_inslits=0.082*(1-0.01*d_inslits*1e3)*rohk_balk*10^6;
    % [Pa] Hålkantstryckhållfasthet
54 M_yrk_inslits=0.3*fub*(d_inslits*1e3)^2.6*1000;
    % [Nm] Karakteristiskt flytmoment
55
56 alpha_inslits=90; %Fiberriktning är i vinkel 90 grader
    från tvärkraften
57 f_hak_inslits=f_h0k_inslits/(k90_inslits* ...
58 sin(alpha_inslits)^2+cos(alpha_inslits)^2);
59
60 % Johansens ekvationer
61 F_vrk_1_inslits=f_hak_inslits*t1_inslits*d_inslits;
62 F_vrk_2_inslits=f_hak_inslits*t1_inslits*d_inslits* ...
63 sqrt(2+(4*M_yrk_inslits)/(f_hak_inslits*d_inslits*t1_inslits^2))-1;
64 F_vrk_3_inslits=2.3*sqrt(M_yrk_inslits*f_hak_inslits* ...
65 d_inslits);
66
67 % Dimensionerande kapacitet
68 F_vrk_inslits=n_inslits*min([F_vrk_1_inslits,
69 F_vrk_2_inslits, F_vrk_3_inslits]);
70
71
72 %---Utnyttjandegrad---
73 Utnyttjandegrad_inslits=abs(Ved/F_vrk_inslits);
74
75
76
77 %-----OVANLIGGANDE PLÅT-----
78 % tar böjande moment och moment från tvärkraft
79
80
81 %---Förbansdegenskaper---
82 % Dymlingar
83 d_ovan=0.016; % [m] Dymlingsdimension
84 l_dym_ovan=0.1; % [m] Dymlingarnas längd
85 n_ovan=6; % [m] Antal dymlingar
86
```

```
87 % Plåt
88 t_plat_ovan=0.01;           % [m] Tjocklek plåt
89
90 % Trä
91 k90=1.30+0.015*d_ovan*1000; % [-] Faktor för limträ
92 i_djup=l_dym_ovan-t_plat_ovan; % [m] Inträningsdjup
93 t1_ovan=min([h_balk,i_djup]); % [m] Tjocklek trä på
    vardera sida plåt
94
95 % Avstånd
96 e2_ovan=0.06;             % [m] Avstånd mellan förbindare
    och belastad virkesände
97 p2_ovan=e2_ovan;         % [m] Avstånd mellan förbindare i
    fiverriktning
98 e1_ovan=0.15;           % [m] Avstånd mellan förbindare
    och ovankant
99 p1_ovan=e1_ovan;         % [m] Avstånd mellan dymlingar i
    vertikalt led
100 TP=e1_ovan+0.5*p1_ovan; % [m] Tyngdpunkt till mitten av
    skruvarna
101
102
103 %---Kapacitet---
104 f_h0k_ovan=0.082*(1-0.01*d_ovan*1e3)*rohk_balk*10^6; %
    [Pa] Hålkantstryckhållfasthet
105 M_yrk_ovan=0.3*fub*(d_ovan*1e3)^2.6*1000; % [Nm]
    Karakteristiskt flytmoment
106
107 alpha_ovan=0; % Fiberriktning är i vinkel 0 grader från
    tvärkraften
108 f_hak_ovan=f_h0k_ovan/(k90*sin(alpha_ovan)^2+ ...
109 cos(alpha_ovan)^2);
110
111 % Johansens ekvationer - skär för trä-stål förband med
    tjock plåt
112 F_vrk_1_ovan=f_hak_ovan*t1_ovan*d_ovan;
113 F_vrk_2_ovan=f_hak_ovan*t1_ovan*d_ovan* ...
114 sqrt(2+(4*M_yrk_ovan)/(f_hak_ovan*d_ovan*t1_ovan^2))-1;
115 F_vrk_3_ovan=2.3*sqrt(M_yrk_ovan*f_hak_ovan*d_ovan);
116
117 % Dimensionerande kapacitet
118 F_vrk_ovan=2*n_ovan*min([F_vrk_1_ovan,F_vrk_2_ovan, ...
119 F_vrk_3_ovan]); % Två plåtar, en över och under
120
121
122 %---Lasteffekt och utnyttjandegrad---
```

```
123 Vdim_ovan=(Med/(h_balk))+((Ved*TP)/(h_balk));
124 Utnyttjandegrad_ovan=abs(Vdim_ovan/F_vrk_ovan);
125
126
127
128 %-----RESULTAT-----
129 %---Inslitsförband---
130 disp(' ')
131 disp('-----')
132 disp('RESULTAT - INSLITSAT FÖRBAND:')
133
134 disp(' ')
135 disp('kontroll av bärförmåga:')
136 if Ved<F_vrk_inslits
137     disp('Förbandskapaciteten är OK')
138 else
139     disp('Förbandskapaciteten är inte OK')
140 end
141 disp(['Tvärkraftskapacitet = ', num2str(F_vrk_inslits), '
      [N]'])
142 disp(['Dimensionerande tvärkraft vid skarv = ',
      num2str(Ved), ' [N]'])
143 disp(['Utnyttjandegrad = ',
      num2str(Utnyttjandegrad_inslits), ' [-]'])
144
145 disp(' ')
146 disp('Förbandets utformning:')
147 disp(['Dymlingsdiameter = ', num2str(d_inslits), ' [m]'])
148 disp(['plåttjocklek = ', num2str(t_plat_inslits), ' [m]'])
149 disp(['e1 = ', num2str(e1_inslits), ' [m]'])
150 disp(['e2 = ', num2str(e2_inslits), ' [m]'])
151 disp(['p1 = ', num2str(p1_inslits), ' [m]'])
152 disp(['p2 = ', num2str(p2_inslits), ' [m]'])
153
154 disp(' ')
155 disp('Kontroll av avståndskrav:')
156
157 % Avståndskrav (Träguiden, 2017) Tabell 13.12
158 if ( 7*d_inslits<=e1_inslits )
159     disp ( 'e1 godkänd' )
160 else
161     disp ( 'e1 ej godkänd')
162 end
163
164 if ( 3*d_inslits<=e2_inslits )
165     disp ( 'e2 godkänd ' )
```

```
166 else
167     disp ( 'e2 ej godkänd' )
168 end
169
170 if ( 5*d_inslits<=p1_inslits )
171     disp ( 'p1 godkänd ' )
172 else
173     disp ( 'p1 ej godkänd' )
174 end
175
176 if ( 3*d_inslits<=p2_inslits )
177     disp ( 'p2 godkänd' )
178 else
179     disp ( 'p2 ej godkänd' )
180 end
181
182 disp(' ')
183 disp(' ')
184 disp('RESULTAT - OVNLIGGANDE FÖRBAND')
185 disp(' ')
186 disp('Kontroll av bärförmåga:')
187 if Vdim_ovan<F_vrk_ovan
188     disp('Förbandskapaciteten är OK')
189 else
190     disp('Förbandskapaciteten är inte OK')
191 end
192 disp(['Tvärkraftskapacitet = ', num2str(F_vrk_ovan), '
193     [N]'])
194 disp(['Dimensionerande kraft i förband = ',
195     num2str(Vdim_ovan), ' [N]'])
196 disp(['Utnyttjandegrad = ', num2str(Utnyttjandegrad_ovan),
197     ' [-]'])
198
199 disp(' ')
200 disp('Förbandets utformning:')
201 disp(['Dymlingsdiameter = ', num2str(d_ovan), ' [m]'])
202 disp(['plåttjocklek = ', num2str(t_plat_ovan), ' [m]'])
203 disp(['e1 = ', num2str(e1_ovan), ' [m]'])
204 disp(['e2 = ', num2str(e2_ovan), ' [m]'])
205 disp(['p1 = ', num2str(p1_ovan), ' [m]'])
206 disp(['p2 = ', num2str(p2_ovan), ' [m]'])
207
208 disp(' ')
209 disp('Kontroll av avståndskrav:')
210
211 % Avståndskrav (Träguiden, 2017) Tabell 13.12
```

```
209 if ( 7*d_ovan<=e1_ovan )
210 disp ( 'e1 godkänd' )
211 else
212 disp ( 'e1 ej godkänd')
213 end
214 if ( 3*d_ovan<=e2_ovan )
215 disp ( 'e2 godkänd ' )
216 else
217 disp ( 'e2 ej godkänd' )
218 end
219 if ( 5*d_ovan<=p1_ovan )
220 disp ( 'p1 godkänd ' )
221 else
222 disp ( 'p1 ej godkänd ' )
223 end
224 if ( 3*d_ovan<=p2_ovan )
225 disp ( 'p2 godkänd' )
226 else
227 disp( 'p2 ej godkänd ' )
228 end
229 disp('-----')
230
231
232 -----
233 RESULTAT - INSLITSAT FÖRBAND:
234
235 kontroll av bärförmåga:
236 Förbandskapaciteten är OK
237 Tvärkraftskapacitet = 450514.4903 [N]
238 Dimensionerande tvärkraft vid skarv = -72591.6383 [N]
239 Utnyttjandegrad = 0.16113 [-]
240
241 Förbandets utformning:
242 Dymlingsdiameter = 0.018 [m]
243 plåttjocklek = 0.01 [m]
244 e1 = 0.2 [m]
245 e2 = 0.108 [m]
246 p1 = 0.2 [m]
247 p2 = 0.108 [m]
248
249 Kontroll av avståndskrav:
250 e1 godkänd
251 e2 godkänd
252 p1 godkänd
253 p2 godkänd
254
```

```
255
256 RESULTAT - OVNLIGGANDE FÖRBAND
257
258 Kontroll av bärförmåga:
259 Förbandskapaciteten är OK
260 Tvärkraftskapacitet = 511805.952 [N]
261 Dimensionerande kraft i förband = 151220.6517 [N]
262 Utnyttjandegrad = 0.29546 [-]
263
264 Förbandets utformning:
265 Dymlingsdiameter = 0.016 [m]
266 plåttjocklek = 0.01 [m]
267 e1 = 0.15 [m]
268 e2 = 0.06 [m]
269 p1 = 0.15 [m]
270 p2 = 0.06 [m]
271
272 Kontroll av avståndskrav:
273 e1 godkänd
274 e2 godkänd
275 p1 godkänd
276 p2 godkänd
277 -----
```

## E.3 Kontroll av upplagstryck

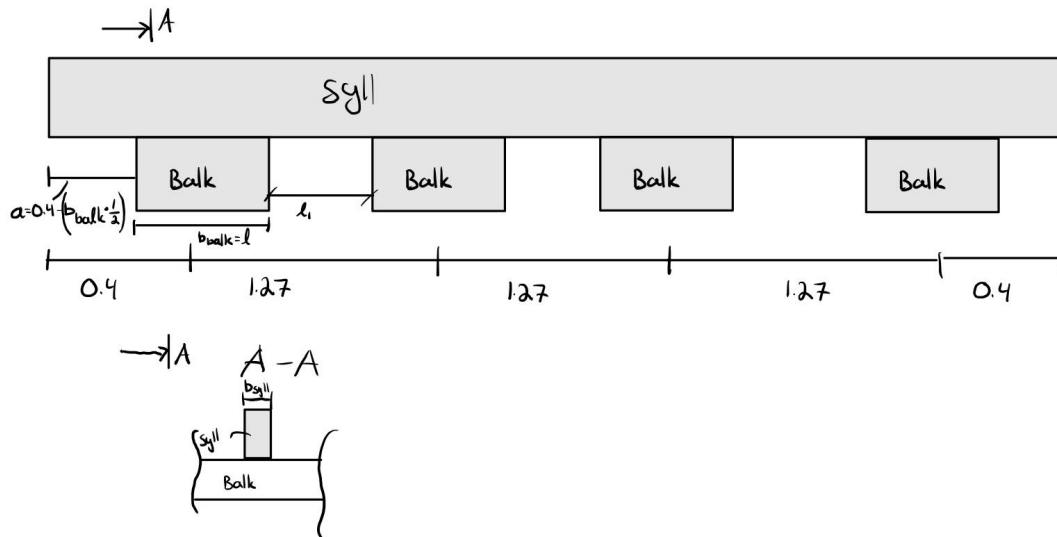
### E.3.1 Indata för kontroll av Upplagstryck

```
1
2 clear,close all
3 % Laster - importerade från beräkning av upplagskrafter.
4
5
6 % Laster som belastar syllen från upplagen på
   huvudbalkarna, dvs.
7 % reaktionskrafterna från beräkningen i tvärled.Hämtas
   från Syll-beräkning
8
9 %Hämtar maximala upplagskraften på syllen när lasten
   placerats över fält
10 load Max_reaktionskraft_syll_faelt
11 %Hämtar maximala upplagskraften på syllen när lasten
   placerats över stöd
12 load Max_reaktionskraft_syll_stod
13
14 % Laster som bealstar huvudbalkarna från syllen, dvs.
   reaktionskrafterna
15 % från beräkningen i tvärled. Dessa är samma som
   reaktionkrafterna som
16 % belastar syllen från huvudbalkarna.
17 load Max_reaktionskraft_syll_faelt
18 load Max_reaktionskraft_syll_stod
19
20 % Laster som bealstar huvudbalkarna från pelare, dvs.
   reaktionskrafterna
21 % från beräkningen i längsled. Hämtas från dimensioneringa
   av huvudbalkar
22
23 %fall 1
24 % Maximal reaktionskraft i ytterstöd fall 1
25 load r_max_ytterstod_1
26 % Maximal reaktionskraft i mittstöd fall 1
27 load r_max_mittstod_1
28
29 %fall 2
30 load r_max_ytterstod_2.mat %ytterstöd
31 load r_max_mittstod_2.mat %mittstöd
32
```

```
33 %fall 3
34 load r_max_ytterstod_3_faelt.mat %ytterstöd
35 load r_max_mittstod_3_faelt.mat %mittstöd
36
37 %fall 3
38 load r_max_ytterstod_3_stod.mat %ytterstöd
39 load r_max_mittstod_3_stod.mat %mittstöd
40
41 %fall 3
42 load r_max_ytterstod_3_tvaerkraft %ytterstöd
43 load r_max_mittstod_3_tvaerkraft %mittstöd
44 close all
45
46 %klimatklass 3 och lastvaraktighet kort (service fordonet
    belastar kort
47 %tid) =>
48 kmod=0.7; %(AL-Emrani et al., 2014).
49 save kmod kmod
50
51 %---karakteristik materialdata
52 f_c_90_k=2.5e6; %Pa virkeskvalite:C24 (AL-Emrani et al.,
    2014).
53 save f_c_90_k f_c_90_k
54
55 % Balk-dimensioner hämtad från tidigare kontroll av balkar
56 load h_balk
57 load b_balk
58
59 % Syll-dimensioner hämtad från tidigare kontroll av syllar
60 load h_syll
61 load b_syll
```

### E.3.2 Kontroll av upplagstryck på syllen från balkarna

Konrollen görs på den syll som blir mest belastad i dimensioneringen av syll



Figur E.54: Beräkningsmodell för upplagstryck på syll från huvudbalkar

```

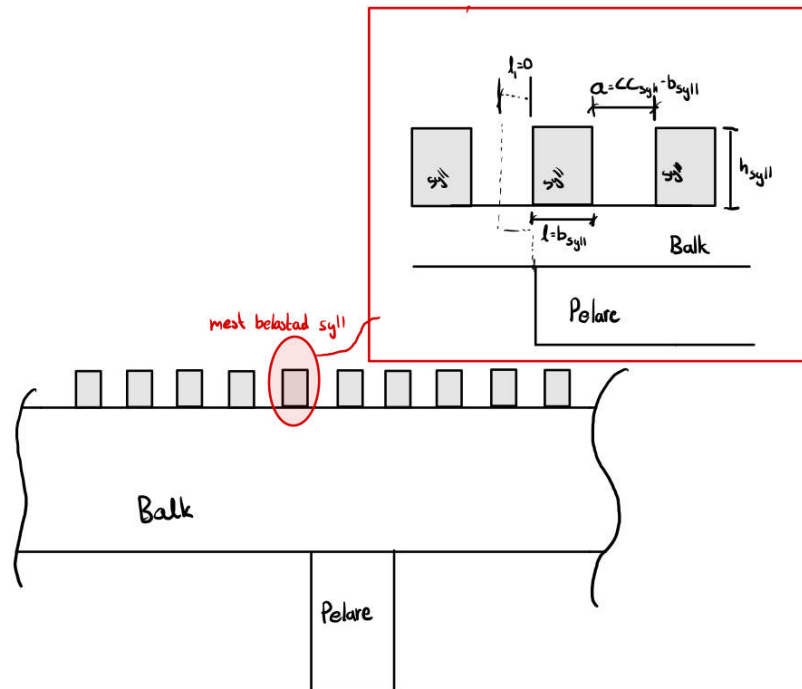
1
2 %maximal upplagskraft från balkar på syll när lasterna
  placerade över stöd
3 load Max_reaktionskraft_stod
4 %maximal upplagskraft från balkar på syll när lasterna
  placerade över fält
5 load Max_reaktionskraft_faelt
6
7 F_c_90_d=
8 max(Max_reaktionskraft_stod,Max_reaktionskraft_faelt); %[N]
9
10
11 %----dimensioner syll -----
12 load h_syll      %[m]
13 load b_syll      %[m]
14
15 %----dimensioner balkar
16
17 load b_balk      %[m]
```

```
18 load h_balk      %[m]
19
20 %---karakteristik materialdata
21 load f_c_90_k    %[N/m^2]
22
23
24 % ----- kmod-----
25 load kmod        %[-]
26
27 %----dimensionerande materialvärden----
28 ym=1.3; %pga sågat virke (AL-Emrani et al., 2019).
29
30 f_c_90_d=kmod*f_c_90_k/ym; %T2-12 (AL-Emrani et al., 2019).
31 %ingen kh pga ej belastad i böj eller drag
32
33 %--- Effektiv area enligt T6.1.3 (AL-Emrani et al., 2014).
34     -----
35 cc_balkar=1.27;
36 l_1=cc_balkar-b_balk;
37 l=b_balk;
38 a=0.4-b_balk/2;
39 l_ef=1+2*min([30e-3; a; l; l_1/2]);
40
41 A_ef=b_syll*l_ef;
42
43 %--- vinkelrät tryckspänning verkande på syllarna ---
44 sigma_c_90_d=F_c_90_d/A_ef; %[N/m^2] ekv (T6-3) (AL-Emrani
45     et al., 2014)
46
47 %---- förhöjningsfaktor k_c_90 enligt T6.1.3 (AL-Emrani et
48     al., 2014)-----
49
50 if l_1>=2*h_syll
51     k_c_90=1.5; %pga konstruktionsvirket (AL-Emrani et
52     al., 2014).
53 else
54     k_c_90=1;
55 end
56
57 % ----- villkor -----
58 disp('-----Resultat-----')
59 if sigma_c_90_d<k_c_90*f_c_90_d %ekv. (T6-2) (AL-Emrani et
60     al., 2014).
61     disp('syll ok map upplagstryck på syll från balk')
```

```
59 else
60     disp('syll ej ok map upplagstryck på syll från balk')
61 end
62 disp('-----')
63
64
65 -----Resultat-----
66 syll ok map upplagstryck på syll från balk
67 -----
```

### E.3.3 Kontroll av upplagstryck på huvudbalkarna från sylv

Mest kritiskt inses vara då balken belastas av en syll nära en av pelarna pga  $l_1$  avståndet blir då = 0



**Figur E.55:** Beräkningsmodell för upplagstryck på huvudbalkar från syll

```

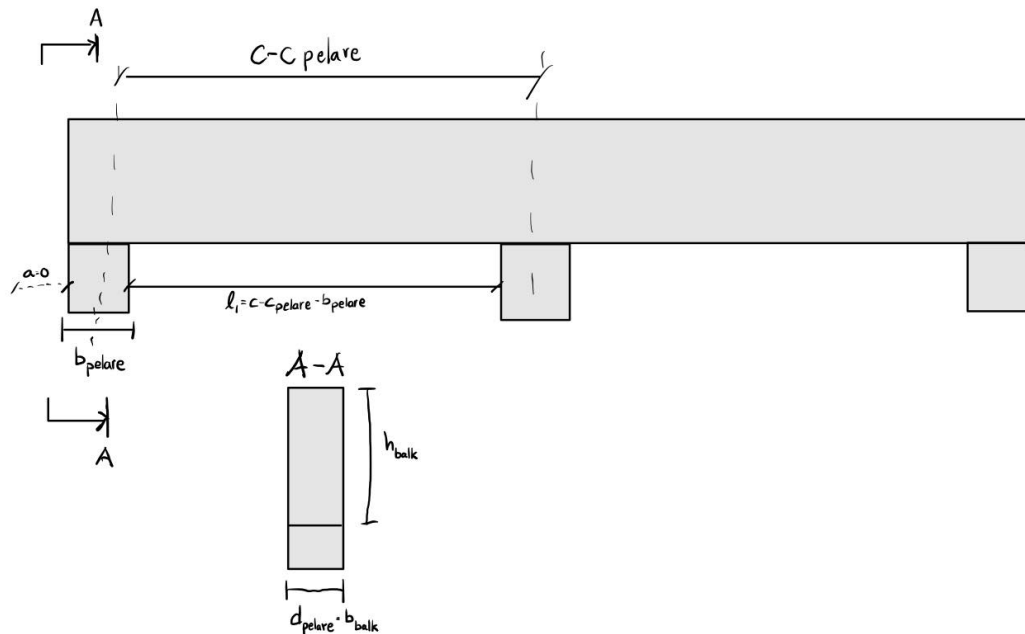
1 clc,clf,clear, close all
2
3 %Maximal tryckkraft från beräkning av upplagskrafter på
  syll
4
5 %maximal upplagskraft från balkar på syll när lasterna
  placerade över stöd
6 load Max_reaktionskraft_syll_stod
7 %maximal upplagskraft från balkar på syll när lasterna
  placerade över fält
8 load Max_reaktionskraft_syll_faelte
9

```

```
10
11 F_c_90_d=
12 max(Max_reaktionskraft_syll_stod,
13      Max_reaktionskraft_syll_faelt); %[N]
14 %Konservativt räknat tas all kraft av en balk, i
15   verkligheten kommer
16   %balkarna samverka.
17 %----dimensioner syll-----
18 load h_syll %[m]
19 load b_syll %[m]
20 %----dimensioner huvudbalkar-----
21
22 load b_balk %[m]
23 load h_balk %[m]
24
25 %---karakteristik materialdata-----
26 load f_c_90_k %[N/m^2]
27
28
29 % ----- kmod-----
30 load kmod      %[-]
31
32
33 %----dimensionerande materialvärden-----
34 ym=1.3; %pga sågat virke
35
36 f_c_90_d=kmod*f_c_90_k/ym; %ingen kh pga ej belastad i böj
37   eller drag
38 %--- Effektiv area enligt T6.1.3 (AL-Emrani et al., 2014)
39   -----
40 cc_syllar=100e-3;      %[m]
41 l_1=0;                %[m]
42 l=b_syll;              %[m]
43 a=cc_syllar-b_syll;   %[m]
44 l_ef=l+2*min([30e-3;  a;  l;  l_1/2]); %[m]
45
46 A_ef=b_balk*l_ef;     %[m^2]
47
48 %--- vinkelrät tryckspänning verkande på huvudbalkarna---
49
50 sigma_c_90_d=F_c_90_d/A_ef; %[N/m^2]
51
52 %---- förhöjningsfaktor k_c_90 enligt T6.1.3 (AL-Emrani et
53   al., 2014).-
```

```
52
53 if l_1 >= 2*h_balk
54     k_c_90 = 1.5; %pga konstruktionsvirket
55 else
56     k_c_90 = 1;
57 end
58
59 % ----- villkor -----
60 disp('-----Resultat-----')
61
62 if sigma_c_90_d < k_c_90*f_c_90_d %ekv. (T6-2) (AL-Emrani et
63     al., 2014).
64     disp('ok map upplagstryck från syll på huvudbalk')
65 else
66     disp('ej ok map upplagstryck från syll på huvudbalk')
67 end
68 disp('-----')
69
70 -----Resultat-----
71 ok map upplagstryck från syll på huvudbalk
72 -----
```

### E.3.4 Kontroll av upplagstryck från ytterpelare på huvudbalkar



Figur E.56: Beräkningsmodell för upplagstryck på huvudbalkar från ytterpelare

```

1  clc,clf,clear, close all
2  %-----Maximal tryckkraft från beräkning av upplagskrafter
   i längsled-----
3  load r_max_ytterstod_1           %fall 1
4  load r_max_ytterstod_2           %fall 2
5
6  load r_max_ytterstod_3_faelt.mat  %fall 3
7  load r_max_ytterstod_3_stod.mat  %fall 3
8  load r_max_ytterstod_3_tvaerkraft.mat %fall 3
9
10 r_ytterpelare=[r_max_ytterstod_1;
11                r_max_ytterstod_2;
12                r_max_ytterstod_3_faelt;
13                r_max_ytterstod_3_stod;
14                r_max_ytterstod_3_tvaerkraft];
15

```

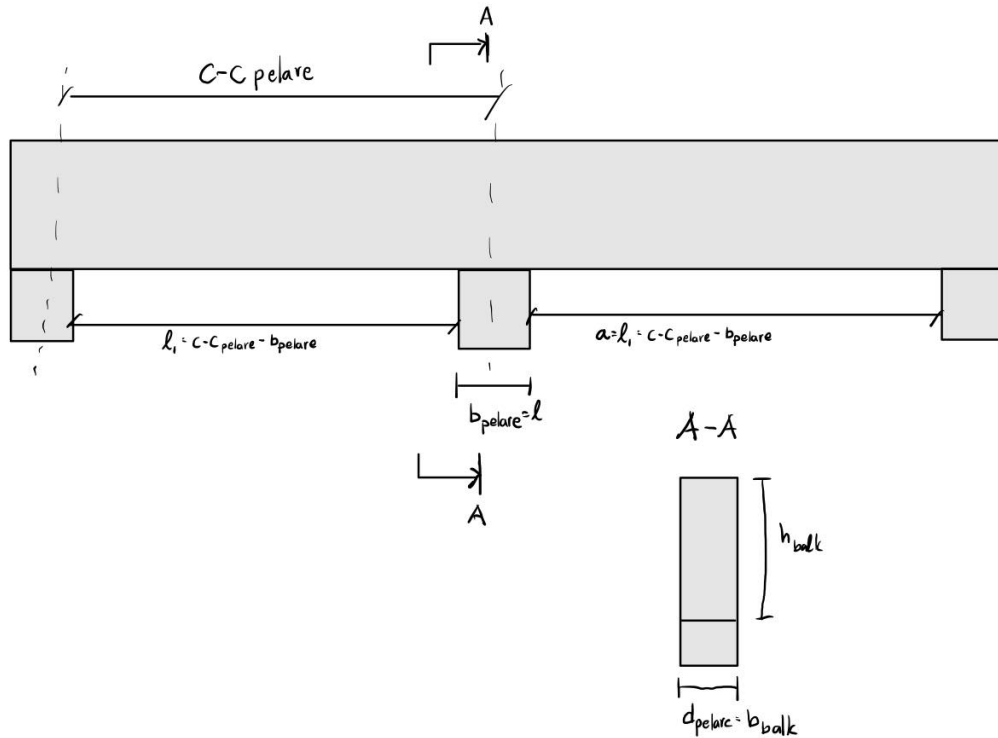
```

16 maximal_upplagskraft_vid_ytterstod=max(r_ytterpelare)/4;
    %delar med 4 pga. 4 balkar
17
18
19 F_c_90_d= maximal_upplagskraft_vid_ytterstod; %[N]
20
21 %DÅ SYLLARNA ÄR MÅNGA OCH AVSTÅNDET LITET SÅ SES BALKAREN
    LIGGA PÅ
22 %KONTINUERLIGT Upplag enligt Figur T6.6 (AL-Emrani et al.,
    2014).
23
24 %---- dimensioner huvudbalk
25 load b_balk;          %[m]
26 load h_balk;          %[m]
27
28 %-----dimensioner ytter pelare-----
29 b_ytterpelare=190e-3; %[m]
30 d_ytterpelare=b_balk; %[m]
31
32 %---karakteristik materialdata
33 load f_c_90_k          %[Pa]
34
35 % ----- kmod-----
36 load kmod              %[-]
37
38 %----dimensionerande materialvärden-----
39 ym=1.3; %pga sågat virke (AL-Emrani et al., 2019).
40
41 f_c_90_d=kmod*f_c_90_k/ym; %T2-12 (AL-Emrani et al., 2019).
42 %ingen kh pga ej belastad i böj eller drag
43
44 %--- Effektiv area enligt T6.1.3 (AL-Emrani et al., 2014).
    -----
45 cc_pelare=25;          %[m]
46 l_1=cc_pelare-b_ytterpelare; %[m]
47 l=b_ytterpelare;      %[m]
48 a=0;                  %[m]
49 l_ef=l+min([30e-3;    a;    l;    l_1/2]); %[m]
50
51 A_ef=b_balk*l_ef;     %[m^2]
52
53 %--- vinkelrät tryckspänning verkande på huvudbalkarna vid
    ytterpelaren---
54
55 sigma_c_90_d=F_c_90_d/A_ef; %[N/m^2] ekv (T6-3) (AL-Emrani
    et al., 2014)

```

```
56
57 %---- förhöjningsfaktor k_c_90 enligt T6.1.3 (AL-Emrani et
    al., 2014). ----
58
59 if l_1>=2*h_balk
60     k_c_90=1.5; %pga konstruktionsvirket (AL-Emrani et
        al., 2014).
61 else
62     k_c_90=1;    %(AL-Emrani et al., 2014).
63 end
64
65 % ----- villkor -----
66 disp('-----Resultat-----')
67 if sigma_c_90_d<k_c_90*f_c_90_d %ekv. (T6-2) (AL-Emrani et
    al., 2014).
68     disp('ok map upplagstryck från YTTERpelare')
69 else
70     disp('ej ok map upplagstryck från YTTERpelare')
71 end
72
73 disp(['Bredd på upplag vid ytterpelare = ',
        num2str(b_ytterpelare*1000), ' [mm]'])
74 disp(['Djup på upplag vid ytterpelare = ',
        num2str(d_ytterpelare*1000), ' [mm] (samma som bredd på
        huvudbalk)'])
75 disp('-----')
76
77 -----Resultat-----
78 ok map upplagstryck från YTTERpelare
79 Bredd på upplag vid ytterpelare = 190 [mm]
80 Djup på upplag vid ytterpelare = 430 [mm] (samma som bredd
    på huvudbalk)
81 -----
```

### E.3.5 Kontroll av upplagstryck från mittpelare på huvudbalkar



Figur E.57: Beräkningsmodell för upplagstryck på huvudbalkar från mittpelare

```

1  clc,clf,clear,close all
2  %-----Maximal tryckkraft från beräkning av
   upplagskrafter-----
3  load r_max_mittstod_1           %fall 1
4  load r_max_mittstod_2           %fall 2
5  load r_max_mittstod_3_faelt.mat %fall 3
6  load r_max_mittstod_3_stod.mat  %fall 3
7  load r_max_mittstod_3_tvaerkraft.mat %fall 3
8
9  r_mittstod=[r_max_mittstod_1;
10             r_max_mittstod_2;
11             r_max_mittstod_3_faelt;
12             r_max_mittstod_3_stod;
13             r_max_mittstod_3_tvaerkraft];
14

```

```
15 Maximal_upplagskraft_vid_mittstod=max(r_mittstod)/4;
    %delar med 4 pga. 4 balkar
16 F_c_90_d=Maximal_upplagskraft_vid_mittstod;
17
18
19 %DÅ SYLLARNA ÄR MÅNGA OCH AVSTÅNDET LITET SÅ SES BALKAREN
    LIGGA PÅ
20 %KONTINUERLIGT Upplag enligt Figur T6.6 (AL-Emrani et al.,
    2014).
21
22 %---- dimensioner huvudbalk -----
23 load b_balk;          %[m]
24 load h_balk;          %[m]
25
26 %-----dimensioner MITTpelare -----
27 b_mittpelare=520e-3;  %[m]
28 d_mittpelare=b_balk;  %[m]
29
30 %---karakteristik materialdata ----
31 load f_c_90_k          %[Pa]
32
33 % ----- kmod-----
34 load kmod              %[-]
35
36 %----dimensionerande materialvärden----
37 ym=1.3; %pga sågat virke (AL-Emrani et al., 2019).
38
39 f_c_90_d=kmod*f_c_90_k/ym; %T2-12 (AL-Emrani et al., 2019).
40 %ingen kh pga ej belastad i böj eller drag
41
42 %--- Effektiv area enligt T6.1.3 (AL-Emrani et al., 2014).
    -----
43 cc_pelare=25;          %[m]
44 l_1=cc_pelare-b_mittpelare; %[m]
45 l=b_mittpelare;       %[m]
46 a=l_1;                %[m]
47 l_ef=l+2*min([30e-3;  a;  l;  l_1/2]); %[m]
48
49 A_ef=b_balk*l_ef;     %[m^2]
50
51 %--- vinkelrät tryckspänning verkande på huvudbalkarna vid
    mittpelaren--
52
53 sigma_c_90_d=F_c_90_d/A_ef; %[N/m^2] ekv (T6-3) (AL-Emrani
    et al., 2014)
54
```

```
55 %---- förhöjningsfaktor k_c_90 enligt T6.1.3 (AL-Emrani et
    al., 2014) --
56
57 if l_1>=2*h_balk
58     k_c_90=1.5; %pga konstruktionsvirket (AL-Emrani et
        al., 2014).
59 else
60     k_c_90=1;
61 end
62
63 % ----- villkor -----
64 disp('-----Resultat-----')
65 if sigma_c_90_d<k_c_90*f_c_90_d %ekv. (T6-2) (AL-Emrani et
    al., 2014).
66     disp('Huvudbalkar ok map upplagstryck från MITTpelare')
67 else
68     disp('Huvudbalkar ej ok map upplagstryck från
        MITTpelare')
69 end
70
71 disp(['Bredd på upplag vid mittpelare = ',
    num2str(b_mittpelare*1000), ' [mm]'])
72 disp(['Djup på upplag vid mittpelare = ',
    num2str(d_mittpelare*1000), ' [mm] (samma som bredd på
    huvudbalk)'])
73 disp('-----')
74
75 -----Resultat-----
76 Huvudbalkar ok map upplagstryck från MITTpelare
77 Bredd på upplag vid mittpelare = 520 [mm]
78 Djup på upplag vid mittpelare = 430 [mm] (samma som bredd
    på huvudbalk)
79 -----
```

INSTITUTIONEN FÖR något ämne  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**