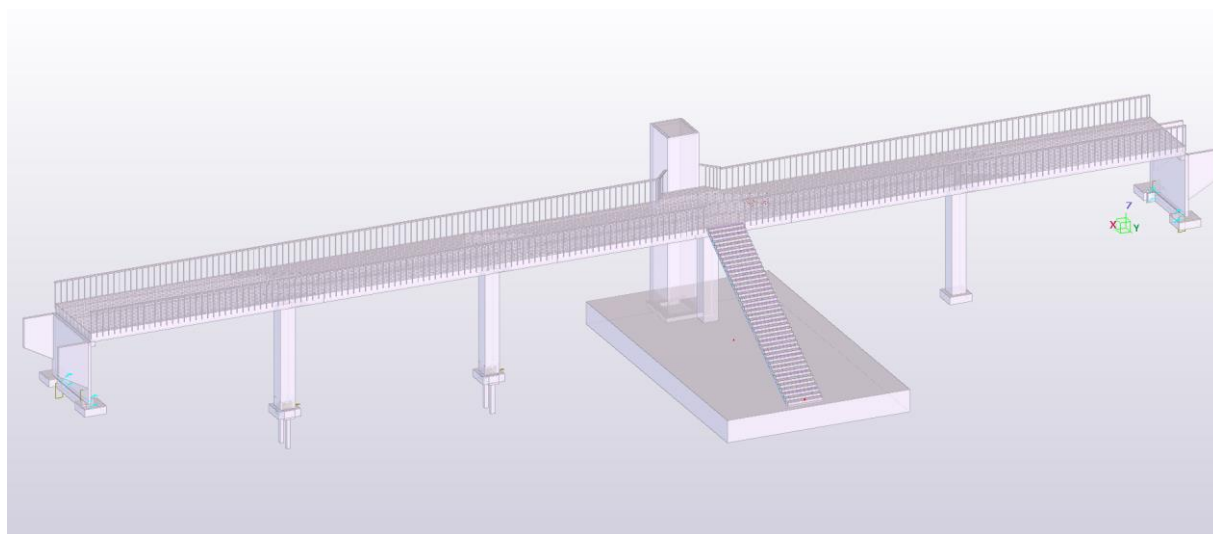


*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*



## Gång- och cykelbro över Hägernäs station

Framtagning och preliminärdimensionering av brokoncept

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

MARTIN EKSTRÖM  
RASMUS KRONBERG  
JOHANNA KULLBERG  
VIKTOR NORBÄCK  
DAVID NYGREN  
MARTIN SÖDERBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2018



Gång- och cykelbro över Hägernäs station

Framtagning och preliminärdimensionering av brokoncept

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

MARTIN EKSTRÖM, RASMUS KRONBERG, JOHANNA KULLBERG, VIKTOR  
NORBÄCK, DAVID NYGREN, MARTIN SÖDERBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

För att uppnå ökad kapacitet över Roslagsbanan och minska störningarna i tågtrafiken ska nuvarande järnväg utvidgas till dubbelspårig järnväg. Detta görs i kombination med att öka antalet säkra passager över och under järnvägen. Därmed ska en gång- och cykelbro anläggas över järnvägen vid Hägernäs station. Projektet syftar därför till att ta fram och utvärdera olika brokoncept där det valda konceptet sedan ska preliminärdimensioneras.

I processen för att ta fram brokoncept gjordes en litteraturstudie där ingående beskrivningar av konstruktionsmaterial, brotyper, produktionsmetoder, nödvändiga inspektioner och underhåll samt krav och restriktioner behandlades. Urvalsprocessen baserades därefter på litteraturstudien som ledde fram till de möjliga koncept vilka viktades emot varandra.

Det brokoncept som sedan preliminärdimensionerades är en plattbro i trä med fem brospann. Brobanaplattan utgörs av tvärsända limträbalkar med en asfaltsbeläggning och är 450 mm hög och 5400 mm bred. Alla fyra mittstöd är i trä och anslutning till perrongen finns i form av hiss och trappa. Den totala brolängden är 74 meter med längsta spännvidd på 17 meter. Preliminärdimensioneringen utfördes i enlighet med Eurokoder och beräkningar gjordes i Mathcad och Matlab med hjälp av CALFEM.

Avgränsningar har främst gjorts i form av att geotekniska eller ekonomiska beräkningar ej utförts utan att endast rimlighet i utförandet beaktats. Detta för att begränsa omfattningen av projektet och kunna fokusera på dimensionering av själva bron.

Nyckelord:

Kandidatarbete, gång- och cykelbro, tvärspänt plattbro, preliminärdimensionering, träbro, Chalmers tekniska högskola.

Omslag:

Författarnas egen bild över brobanans utformning och placering av mittstöd.

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Göteborg 2018

Pedestrian and bicycle bridge over Hägernäs Station  
Conceptual design and preliminary dimensioning

*Bachelor Thesis*

Building and Civil Engineering

MARTIN EKSTRÖM, RASMUS KRONBERG, JOHANNA  
KULLBERG, VIKTOR NORBÄCK, DAVID NYGREN,  
MARTIN SÖDERBERG

Department of Civil and Environmental Engineering

Chalmers University of Technology



## ABSTRACT

To increase Roslagsbanan's capacity and reduce the interruptions in the rail bound traffic, the current railroad will be expanded to double tracks. In addition to this the number of safe passageways above and below the railroad will be increased. A pedestrian and bicycle bridge will therefore be built above the railroad at Hågernäs Station. The purpose of this project was to come up with and evaluate different suggestions for the design of the bridge. Then a final concept was chosen and preliminary dimensioned.

In the process of developing a conceptual bridge design, a literature study was made. The study included a description of structural materials, types of bridges, production methods, necessary inspections, risks and maintenance. The selection process of finding the most suitable bridge design were based on the literature study, and a number of different concepts were developed. The concepts were compared and evaluated against each other to find the most suitable option for this bridge.

The chosen concept that is preliminary dimensioned is a slab bridge made of laminated wood with five spans. The bridge deck is made of cross tensioned laminated wood beams with asphalt as surface layer. The pillars are made of wood and a staircase and an elevator connect the bridge with the platform.

The final dimensions of the slab is 450 mm high and 5400 mm wide. The length of the bridge is 74 meters and the longest span is 17 meters. The preliminary dimensioning is made according to Eurocodes and the calculations are made using Mathcad and Matlab with CALFEM.

Delimitations has been set to exclude geotechnical and economical calculations. Only their reasonability has been taken into consideration. This has been done in order to focus on the bridge itself.



# Innehåll

SAMMANFATTNING	II
ABSTRACT	VI
INNEHÅLL	VII
FÖRORD	XI
BETECKNINGAR OCH BEGREPPSFÖRKLARING	XII
DEL 1 - IDÉFAS	1
1 INTRODUCTION	1
1.1 Syfte	1
1.2 Problembeskrivning	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	1
2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH KRAV	3
2.1 Geografisk placering	3
2.2 Geologiska förutsättningar	4
2.3 Tekniska specifikationer och krav	4
2.4 Lokala miljömål	5
3 KONSTRUKTIONSMATERIAL	6
3.1 Trä	6
3.1.1 Egenskaper	6
3.1.2 Beständighet	6
3.1.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan	7
3.2 Stål	7
3.2.1 Egenskaper	7
3.2.2 Beständighet	7
3.2.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan	8
3.3 Betong	8
3.3.1 Egenskaper	8
3.3.2 Beständighet	8
3.3.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan	8
3.4 FRP-material	9
3.4.1 Egenskaper	9
<b>CHALMERS</b> Bygg- och miljöteknik	VII

3.4.2	Beständighet	9
3.4.3	Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan	9
4	BROTYPEN	10
4.1	Balkverkansbroar	10
4.1.1	Balkbro och plattbro	10
4.1.2	Rambro	11
4.2	Bågverkansbroar	11
4.2.1	Valvbro	11
4.2.2	Bågbro	11
4.3	Linverkansbroar	12
4.3.1	Hångbro	12
4.3.2	Snedkabelbro	12
4.4	Fackverksbro	13
5	MÖJLIGA BROKONCEPT	14
5.1	Fokusområden vid val av brokoncept	14
5.2	Uteslutning av brotyper och material	14
5.2.1	Rambro	14
5.2.2	Valvbro	14
5.2.3	Bågbro	15
5.2.4	Hångbro och snedkabelbro	15
5.2.5	FRP-kompositer	15
5.3	Utvärdering av lämpligt antal mittstöd	15
5.4	Förslag på möjliga brotyper	16
5.4.1	Balkbro	16
5.4.2	Plattbro	17
5.4.3	Fackverksbro	17
5.4.4	Sammanställning av möjliga broutföranden	17
5.5	Risker	17
6	PRODUKTIONSMETODER	18
6.1	Prefabricerade konstruktioner	18
6.2	Platsbyggda konstruktioner	18
6.3	Produktion av balkbro	18
6.4	Produktion av plattbro	19
6.5	Produktion av fackverksbro	19
6.6	Grundläggningsmetoder	20
7	INSPEKTIONER OCH UNDERHÅLL	20
7.1	Broinspektion	21

7.2	Underhåll	21
7.2.1	Trä	21
7.2.2	Stål	22
7.2.3	Betong	22
8	SLUTGILTIGT VAL AV BROKONCEPT	23
8.1	Viktning av utvärderingskriterier	23
8.2	Bedömning av de olika brokoncepten	24
9	BESKRIVNING AV VALT BROKONCEPT	25
9.1	Utformning av brokonstruktion	25
9.1.1	Tvårsnitt och tvärsektion	25
9.1.2	Avrinning	26
9.1.3	Stöd och övergångskonstruktioner	27
9.1.4	Hiss- och trappanslutning till perrongen	28
9.2	Samhällets intressen	29
9.2.1	Hållbar utveckling	29
9.2.2	Ekonomi	29
9.2.3	Trafikanter	30
9.3	Produktion	30
9.3.1	Grundläggning	30
9.3.2	Brokana	31
9.4	Underhåll och inspektioner	31
	DEL 2 – PRELIMINÄRDIMENSIONERING	33
10	LASTER OCH LASTKOMBINATIONER	33
10.1	Karakteristiska laster	34
10.2	Lastkombinationer i brottgränstillstånd	36
10.3	Dimensionerande lasteffekter	37
10.4	Lasteffekter med ett stöd ur funktion	39
10.5	Överslagsberäkning	40
11	DIMENSIONERING AV BROBANAN I BROTTGRÄNSTILLSTÅND	41
11.1	Kontroll av tvärkraftskapacitet	41
11.2	Kontroll av böjning med inverkan av normalkraft	41
11.3	Dimensionering av tvärspänning	42
11.3.1	Dimensionering av spännstag	42
11.3.2	Dimensionering av stagbricka och tryckfördelningsplatta.	46
11.3.3	Kontroll av krossning i brobanan.	47
12	DIMENSIONERING AV STÖDKONSTRUKTIONER	48
	<b>CHALMERS</b> Bygg- och miljöteknik	<b>IX</b>

12.1	Dimensionering av mittstöd	48
12.2	Utformning av lager	49
12.3	Utformning av ändstöd	50
13	KONTROLLER I BRUKSGRÄNSTILLSTÅND	52
13.1	Kontroll av brobaneplattans nedböjning	52
13.2	Brobaneplattans rörelseutvidgning	53
13.3	Kontroll av vibrationer	53
14	KOLDIOXIDUTSLÄPP OCH LAGRAD KOLDIOXID	54
14.1	Beräkning av lagrad koldioxid och substitutionseffekter <b>Fel! Bokmärket är inte definierat.</b>	
15	RESULTAT AV PRELIMINÄRDIMENSIONERING	55
15.1	Broana och mittstöd	55
15.2	Detaljutformning	56
16	DISKUSSION	59
17	REFERENSER	61
17.1	Litteraturförteckning	61
17.2	Bilagor	1
17.2.1	Bilaga 1	1
17.2.2	Bilaga 2	1
17.2.3	Bilaga 3	1
17.2.4	Bilaga 4	1
17.2.5	Bilaga 5	1
17.2.6	Bilaga 6	1
17.2.7	Bilaga 7	1
17.2.8	Bilaga 8	1
17.2.9	Bilaga 9	1
17.2.10	Bilaga 10	1
17.2.11	Bilaga 11	1
17.2.12	Bilaga 12	1
17.2.13	Bilaga 13	1
17.2.14	Bilaga 14	1
17.2.15	Bilaga 15	1
17.2.16	Bilaga 16	1
17.2.17	Bilaga 17	1
17.2.18	Bilaga 18	1

# Förord

Kandidatarbetet har gjorts på Chalmers tekniska högskola, vid institutionen för bygg- och miljöteknik med handledning från COWI. Omfattningen på arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och är en del av civilingenjörsutbildningen Samhällsbyggnadsteknik vilken omfattar 300 högskolepoäng.

Extra tack riktas till handledare Filip Nilenius, Staffan Lindén, samtliga gästföreläsare under arbetets gång och tidigare konstruktionstekniska föreläsare.

Göteborg juni 2018

Martin Ekström, Rasmus Kronberg, Johanna Kullberg, Viktor Norbäck, David Nygren,  
Martin Söderberg

## Beteckningar och begreppsförklaring

**Ballast** – Material som ingår i betong. Utgörs ofta av bergkross, grus eller makadam.

**Biaxiellt spänningstillstånd** – Spänningar verkar i två riktningar.

**Broana** – Den del av en bro som trafik färdas på.

**Brottgräns** – Stadiet då en konstruktion förlorar sin bärförmåga.

**Bruksgräns** – Stadiet som används för att kontrollera en konstruktions funktion vid normal användning under hela dess livslängd.

**Böjstyvhet** – En balks förmåga att motstå deformationer vid belastning. Produkten av tvärsnittets yttröghetsmoment och materialets E-modul.

**CALFEM** – Paket med tilläggsfunktioner till MATLAB.

**cc-mått** – Centrumavstånd mellan två intilliggande enheter.

**Element** – Del av en större enhet.

**Elementarfall** – Härledda samband mellan laster och dess påverkan på en konstruktion för ett antal grundläggande belastningsfall och randvillkor.

**E-modul** – Parameter som beskriver sambandet mellan spänning och deformation för ett material.

**Eurokoder** – Europeisk beräkningsnorm för konstruktioner. Innehåller både krav och råd.

**Frihetsgrad** – Definierar i vilka riktningar rörelse kan ske i en nod.

**FRP** – Fiber reinforced plastics. Samlingsbegrepp för flertalet kompositmaterial.

**Fältmoment** – Momentet som uppstår i spannet mellan två upplag.

**Förskjutningsvektor** – Vektor som i en beräkningsmodell samlar förskjutningen för samtliga angivna noders frihetsgrader.

**Krypning** – Lastberoende deformation som ökar med tiden.

**Krympning** – Lastberoende volymminskning av ett material.

**Lameller** – De enskilda träbalkarna i en större träplatta.

**Landfäste** – Konstruktionsdel som överför last från broänden till marken.

**Lansering** – Produktionsmetod där bron succesivt skjuts ut på pelare.

**Lasteffekter** – Den påverkan givna laster ger på en konstruktion i form av moment, tvärkraft och normalkraft.

**Lastvektor** – Vektor som i en beräkningsmodell samlar lasterna för samtliga angivna noders frihetsgrader.

**Mathcad** – Beräkningsprogram som används för att strukturera och analysera beräkningar.

**MATLAB** – Ett programmeringsprogram som är kraftfullt för hantering av matriser.

**Mittstöd** – Fristående brostöd i form av pelare som bär upp brobanan.

**Nod** – Punkt där ett eller flera element slutar.

**Ortotropt material** – Material vars egenskaper skiljer sig i olika riktningar.

**Pylon** – Hög bärande pelare i en brokonstruktion.

**Randvillkor** – Yttre krav som sätts för att få en entydig lösning av en differentialekvation. Inom balkteorin handlar det främst om att ange föreskrivna förskjutningar.

**Reaktionskraft** – Den kraft ett stöd måste svara mot givna yttre laster för att yttre jämvikt vara uppfylld.

**SL** – Storstockholms lokaltrafik

**Slakarmering** – Armering som läggs i betongkonstruktion utan att spännas.

**Spännarmering** – Armering som spänns upp för att bland annat motverka sprickbildning i betongen.

**Stumfog** – Metod för att skarva ihop flera plattor i längd.

**Stödmoment** – Moment som uppstår över ett upplag. Verkar ofta motriktat fältmomentet.

**Substitutionseffekter** – Uppstår som konsekvens av att ett alternativ byts mot ett annat.

**Tvärstag** – Höghållfasta stålstag som spänns upp tvärs broplattan för att denna ska verka som en enhet.

**Upplag** – Anslutning mellan en bros överbyggnad och stöd.

**Vingmur** – Del av landfästet som ska hålla tillbaka jordmassor.

**Yttröghetsmoment** – Ett tvärsnitts förmåga att uppta spänningar vid böjning.

**Ändstöd** – Brostöd placerat vid broände.





# DEL 1 - IDÉFAS

## 1 Introduktion

Då kommunerna i Stockholmsregionen expanderar ökar också antalet resenärer. För att öka Roslagsbanans kapacitet och minska störningarna i tågtrafiken projekteras det för en utbyggnad till dubbelspårig järnväg mellan Täby, Kyrkby och Kragstalunds station (Stadsbyggnadskontoret, 2014). Detta görs i kombination med att öka antalet säkra passager över och under järnvägen. En del i arbetet, som genomförs av Trafikförvaltningen vid Stockholms läns landsting via SL, är att anlägga en gång- och cykelbro över järnvägen vid Hägernäs station. Detta kommer öka tillgängligheten till tågtrafiken men även förbinda gång- och cykelvägarna med koloniområdet norr om Hägernäs station.

### 1.1 Syfte

Syftet med projektet är att preliminärdimensionera en gång- och cykelbro över Roslagsbanan vid Hägernäs station.

### 1.2 Problembeskrivning

För att minska den dubbelspåriga järnvägens barriäreffekter och möjliggöra gång och cykeltrafik över järnvägen ska en gång- och cykelbro anläggas. Från bron ska det finnas hiss- och trappanslutning ner till den 11,6 meter breda perrongen. Brons fria höjd ovanför järnvägsspåren ska vara minst 6,1 meter. Längden ska vara 74 meter med en fri brobredd på 5 meter, se bilaga 1. Eftersom bron främst kommer användas av fotgängare och cyklister önskas en gestaltning av bron som bidrar till en trygg och tilltalande miljö för de människor som rör sig i området. Utformningen bör göras sådan att bron upplevs som lätt och genomskinlig, med en återhållsam färgsättning som passar in i omgivningen (Stadsbyggnadskontoret, 2014).

### 1.3 Avgränsningar

Projektet behandlar utformning och dimensionering av en gång- och cykelbro mellan dess ändstöd, med laster föreskrivna enligt Eurokod och Trafikverket i brott- och bruksgränstillstånd. Bron kommer ansluta ner till perrongen med hiss och trappa och till detta kommer ett preliminärt lösningsförslag tas fram men ej dimensioneras. Inga beräkningar för grundläggning kommer tas med utan enbart analyseras för att undersöka om konstruktionen är genomförbar. De ekonomiska aspekterna kommer analyseras för att avgöra rimligheten i brons produktionskostnad men inga ekonomikalkyler kommer upprättas.

### 1.4 Metod

Arbetet kommer att delas in i två större delar, en litteraturstudie och en beräkningsdel. Litteraturstudiens syfte är att ta fram och utvärdera olika typer av förslag till lösningar som kan vara lämpliga för byggnationen av gång- och cykelbron. För att få ett underlag som tar hänsyn till flera olika aktörer vid valet av brokoncept delas arbetet upp i följande ansvarsområden:

- Beställare/konstruktion
- Produktion

· Förvaltning/miljö och underhåll.

Beställare/konstruktion ansvarar för att identifiera risker, ta tillvara på samhällets intressen och se till att dessa aspekter beaktas vid valet av brokonstruktion. De har ytterligare ansvar för arbetsprocessen och ser till att den blir effektiv och smidig.

Produktion ansvarar för att identifiera en produktionsordning samt föreslå lämpliga produktionsmetoder för de olika brokoncepten. De ska även identifiera vilka temporära konstruktioner, till exempel byggnadsställningar som behövs för att utföra de valda produktionsmetoderna och vilka möjliga risker som finns inom produktionsområdet.

Förvaltning/miljö och underhåll ansvarar för att identifiera vilka inspektioner och allmänt underhåll som är nödvändigt för bron. De ska även studera vilka kritiska punkter som kan uppkomma med hänsyn till underhåll. Dessutom har de ansvar för att hitta en lösning för ett framtida önskemål om ökad trafiklast och identifiera eventuella risker inom deras ansvarsområde.

Förslagen från de olika ansvarsområdena ska sedan vägas mot varandra utefter ett antal valda kriterier för att identifiera vilket koncept som lämpar sig bäst. Det valda konceptet ska sedan preliminärdimensioneras och beräkningar utförs i Mathcad och MATLAB.

## 2 Förutsättningar och krav

Platsens förutsättningar och krav kommer ligga till grund för det slutgiltiga valet av brokoncept. Här behandlas den tekniska beskrivningen av bron tillsammans med geologiska och geografiska förutsättningar. Vidare beskrivs också de lokala miljömålen som ska beaktas.

### 2.1 Geografisk placering

Hägernäs station är beläget i Täby kommun och planområdet för Hägernäs station utgörs främst av järnvägsanläggning som sträcker sig i ost-västlig riktning. Söder om stationen finns ett bostadsområde och norr om bostadsområdet ligger ett relativt kuperat stråk med blandskog, som är klassat som naturpark i kommunens grönplan. Norr om Hägernäs station ligger ett rekreationsområde med kolonilotter och i anslutning till detta ett skogbevuxet höjdparti. Längs med järnvägsrälisen rinner Rönningebäcken som gång-och cykelbron kommer att byggas över (Forsberg & Lundgren, 2014).



Figur 2-1 Kartbild över byggnadsområde. Inrutat område markerar byggnadsplats.

## 2.2 Geologiska förutsättningar

Jordlagerföljden under Hägernäs station består av ett ytskikt med torrskorpe-lera följt av lera, friktionsmaterial och slutligen berg enligt Figur 2-2, Bilaga 2 (COWI, 2015).

	+ 7.22 m
<i>Torrskorpa - Lera</i>	
	+ 6.5 m
<i>Lera</i>	
	+ 5.0 m
<i>Friktionsmaterial</i>	
	+ 4.0 m
<i>Berg</i>	

Figur 2-2 Jordlagerföljd Hägernäs station

På norra sidan av järnvägen rinner en bäck vinkelrätt mot brobanan där grundvattennivån ligger i höjd med jordskorpan. Här kommer det bli en större utmaning vid grundläggning på grund av de fuktiga förhållandena Bilaga 1.

## 2.3 Tekniska specifikationer och krav

Enligt Bilaga 1 slås det fast att gång- och cykelbron ska vara 74 meter lång med 5 meter fri brobredd. Vidare framgår det att bron kommer vara rak i horisontalplanet, med en skärning mot spåren om 83 grader samt att släntlutningen vid landfästena ska vara 1:1.7. I Täby kommuns detaljplan över området framgår det att anslutning från bron till perrongen ska finnas i form av hiss och trappor. Perrongen kommer breddas till 11,6 meter på det bredaste stället. Det står även att det krävs en fri höjd mellan rälsöverkant, och brons underkant vid maximal nedböjning om minst 6,1 meter.

Den avsedda tekniska livslängden för broar är generellt 40, 80 eller 120 år. För broar som vid reparation eller utbyte påverkar järnvägstrafik ska livslängden vara 120 år, vilket gäller som livslängd för den här bron (Trafikverket, 2016). Ett lämpligt minsta avstånd från spårmitt till brons mellanstöd är 5,5 meter (Trafikverket, 2018). Vad gäller gestaltning ska bron ”utformas så att den upplevs som lätt och genomsiktig” samt att ”färgsättningen på brons räcke och annat

stål bör göras återhållsam och anpassas till omgivningen” (Täby kommun, 2015). Räckena ska utföras enligt Birsta GC-räcke eller likvärdigt.

## 2.4 Lokala miljömål

Täby kommun har fyra prioriterade inriktningsmål gällande miljömålen. Klimatpåverkan, vattenmiljö, Halva Täby grönt och god bebyggd miljö (Stadsbyggnadskontoret, 2014). Utöver det finns ett särskilt relevant inriktningsmål om att antal boende som är störda av trafikbuller ska minska. I och med att Roslagsbanan byggs ut och effektiviseras kan tågen köra både snabbare och oftare. Detta kommer leda till en ökad bullerpåverkan längsmed järnvägen. För att motverka detta i enlighet med detaljplanen planeras det för bullerdämpande åtgärder i form av bullerplank, vilket medför att ljudnivån från tågtrafiken kommer bli betydligt lägre för omgivningen än vad den är idag. En effektivare och mer tillgänglig kollektivtrafik kan dessutom öppna upp möjligheten för fler att välja detta färdmedel och biltrafiken kan på så sätt minska och bullret från biltrafiken med det.

Det andra stora problemet med utbyggnaden är barriäreffekten som uppstår då nästan alla passager kommer att förhindras när stängsel och bullerskydd sätts upp längs den planlagda sträckan. Däremot kommer de nya gång- och cykelpassagerna vara säkrare än tidigare och kommer dessutom att ingå i det regionala cykelnätet. Trafikförvaltningen har även angett krav på att största möjliga tillgänglighet eftersträvas vid utformningen. Sammantaget anses utbyggnadens totala miljöpåverkan vara övervägande positiv. Någon miljökonsekvensbeskrivning har därför inte utförts för detaljplanen (Täby kommun, 2015).

## 3 Konstruktionsmaterial

I utformningen av en bro är materialvalet en central del. Detta ur såväl en ekonomisk aspekt som ur utformnings- och hållfasthetskänslighet. I broar används främst materialen trä, stål och betong men under de senaste åren har även FRP-material börjat användas.

### 3.1 Trä

Trä är ett lätt material med hög hållfasthet i förhållande till sin vikt. I och med utvecklingen av limträ har träets användningsområden utökats och idag finns goda möjligheter att tillverka flertalet brotyper med trä som huvudbärande material.

#### 3.1.1 Egenskaper

Trä är ett material som i grunden kommer från naturen vilket gör att det har en del egenskaper i hur det fungerar. Till att börja med är trädstammen uppbyggd av långsträckta ihåliga fibrer, detta gör att träets hållfasthetsegenskaper varierar stort beroende på vilken riktning det belastas i. Vid materialmodellering ses trä därför som ett ortotropt material där hållfastheten skiljer sig longitudinellt, tangentiellt och radiellt fiberriktningen.

Träets fukthalt varierar med luftens fuktighet, det är alltså ett hygroskopiskt material (Nationalencyklopedin, a, 2018). Det är viktigt att ha med sig då träets egenskaper beror på dess fukttinhåll, där torrare trä har högre hållfasthet. Fuktvariationer ger även upphov till fuktrörelser, i form av krympning och svällning. Jämfört med stål och betong är trä ett lätt material, med hög hållfasthet i förhållande till sin vikt. Den låga vikten gör det även lätt att bearbeta, hantera och transportera vid byggen.

De två huvudtyper av trä som idag används som bärande konstruktionsmaterial är konstruktionsvirke och limträ. Konstruktionsvirke sågas ut till önskade dimensioner direkt ur redan kvalitets sorterade timmerstockar för att sedan torkas och hyvlas. Storleken på trästockarna begränsar vilka dimensioner som är möjliga för konstruktionsvirket. Limträ består istället av flera på varandra limmade trälameller, vilka möjliggör större frihet vad gäller både dimensioner och former. Exempelvis är det möjligt att tillverka böjda limträbalkar, eller med hjälp av skivmaterial åstadkomma materialsnåla tvärsnitt såsom I-balkar. Limträet får också en jämnare hållfasthet då eventuella svagheter i det naturliga träet sprids ut när de sågade lamellerna fästs på varandra (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner del 1, 2013).

#### 3.1.2 Beständighet

En av nackdelarna med trä är de många faktorer som kan försämra dess mekaniska egenskaper. Brand och biologisk nedbrytning är exempel på sådana faktorer. Redan vid fuktkvoter över 20 % kan träet angripas och förstöras av nedbrytande mikroorganismer. Skydd mot detta är således viktigt och kan utföras antingen genom att utforma konstruktionen så att träet generellt skyddas från fukt, så kallat konstruktionstekniskt träskydd, eller genom kemiskt träskydd såsom impregnering (Nationalencyklopedin, a, 2018). Trä kan även skyddas mot brand med brandskyddsfärg.

### 3.1.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan

Då utformningen och grundläggningen av träbroar ofta skiljer sig mot stål- och betongbroar är det svårt att göra en kostnadsjämförelse mellan dessa. I regel kan dock sägas att små enklare broar historiskt sett kunnat byggas till lägre kostnader i trä jämfört med betong (Svenska Kommunförbundet, 1998). De goda möjligheter som finns för prefabricering av byggnadsdelar i trä gör att byggtiden för träbroar kan göras kort. Detta är väldigt fördelaktigt vid byggnation över järnvägar där störning av järnvägstrafiken medför stora kostnader.

Under rätt förutsättningar växer skogen kontinuerligt, vilket gör att uttag av träråvara kan göras kontinuerligt i takt med återväxten utan att riskera att tömma några förråd, trä är alltså en fondresurs (Gröndahl & Svanström, 2010). Medan skogen växer binder den koldioxid samtidigt som den vid användning istället för mer koldioxidkrävande material ger upphov till stora substitutionseffekter. Enligt en undersökning visar det sig att substitutionseffekterna är i storleksordningen att för varje ton kol som finns lagrat i en träkonstruktion så undviks utsläpp av ytterligare 2,1 ton (Sathre & González-García, 2014). Allt detta talar för trä som ett av de miljömässigt absolut bästa alternativen.

## 3.2 Stål

Stål är ett tungt material men med mycket goda hållfasthetsegenskaper. Jämfört med betong och trä kan mindre tvärsnitt utföras på grund av dess höga hållfasthet och samtidigt uppnå samma bärförmåga. Stålpriiserna varierar dock mycket under tiden vilket kan få stor inverkan vid valet av material för en konstruktion.

### 3.2.1 Egenskaper

Stålets formbarhet och höga hållfasthet gör det möjligt att utföra konstruktioner med förhållandevis små dimensioner, detta gör det till ett bra material för att bygga gång- och cykelbroar. Med stål är det lätt att få en speciell utformning och anpassa den till omgivningen (Stålbyggnadsinstitutet, 2016). När stål belastas har materialet först ett elastiskt beteende där deformationerna är små, men när sträckgränsen för materialet är nådd börjar stålet flyta fram till att brott uppkommer. Detta ger upphov till ett segt brott till skillnad från exempelvis betong som har ett sprött brottbeteende.

Stålets sträck- och brottgräns sänks i allmänhet vid ökad temperatur och sträckgränsen kan sjunka till 50% vid en temperaturökning på 500 °C. Ett annat vanligt förekommande fenomen är krypning. Det uppkommer då stål utsätts för en tillräckligt hög spänning som leder till en plastisk töjning av materialet. Krypning ökar med den pålagda spänningen och med temperaturen (Jernkontorets Forskning, 1996).

### 3.2.2 Beständighet

Ett av de största beständighetsproblem för stål är när det uppstår korrosion, då materialet bryts ner och reducerar dess bärförmåga. För att korrosion ska uppstå krävs tillgång till syre och vatten men det kan förhindras om stålet rostskyddas med exempelvis målning eller förzinkning (Stålbyggnadsinstitutet, 2016).

### **3.2.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan**

Stål innehåller alltid en viss mängd kol vilket gör det hårdbart och ger förhöjda hållfasthetsegenskaper. Nuförtiden pågår det forskning om att försöka ersätta kolet då detta har stor miljöpåverkan och bör undvikas (Jernkontoret, 2017). Däremot anses stål ha relativt låg miljöpåverkan då bland annat dess långa livslängd, höga återvinningsbarhet och materialeffektivitet kompenserar för detta (Stålbyggnadsinstitutet, 2017).

## **3.3 Betong**

Betong är en blandning av ballast som sammanbinds med cementpasta och är idag ett av de vanligaste konstruktionsmaterialen.

### **3.3.1 Egenskaper**

Betongens mest utmärkande egenskap är att den fungerar bra vid tryckspänningar medan dess draghållfasthet endast uppgår till en tiondel av tryckhållfastheten (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner del 1, 2013). Till följd av detta införs armering vars uppgift är att överföra dragkrafterna i konstruktionen vilket kräver att betongen är sprucken.

Betong anses vara ett relativt billigt konstruktionsmaterial, slitstarkt och underhållsfritt. Det är även möjligt att tillverka stora spännvidder och stora möjligheter finns även när det kommer till formgivning. Nackdelen är däremot betongens stora egentyngd. Detta gör att bärförmågan till viss del redan förbrukats.

Ett sätt att kompensera för betongens låga draghållfasthet är att förspänna betongen. Förspänning innebär att tryckkrafter införs redan vid tillverkningen vilket kan senarelägga sprickbildningen eftersom dragpåkänningen förskjuts. Vid förspänning finns det två alternativ för hur stålet läggs i. Man skiljer därför på förespänning vilket innebär att stålet späns innan betongen gjuts och efterspanning där stålet späns in i den hårdnade betongen.

### **3.3.2 Beständighet**

Ett stort beständighetsproblem gällande betong är armeringskorrosion. Detta beror på att sprickor uppkommer i betongen vid belastning. Ett sätt att reducera sprickbildningen är att förspänna armeringen. Detta har ingen inverkan på betongens bärförmåga i brottgräns, utan gör endast att sprickor uppkommer vid högre belastning. Ett annat sätt att skydda armeringen från inträngande vatten är att öka det skyddande betongskiktet, öka densiteten och betongkvaliteten. Det som påverkar betongens hållfasthetsegenskaper i störst utsträckning är dess vattencementtal som anger förhållandet mellan vatten och cement.

### **3.3.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan**

Det mest miljöpåfrestande i betongtillverkningen är framställningen av cement som står för ca 4–5 % av världens alla koldioxidutsläpp (Betonglarsson, 2018). Däremot har betong en livslängd på minst 100 år och efter det kan den största delen återvinnas som bland annat fyllnadsmaterial och ballast (Svensk Betong, 2018). Detta gör att betong anses ha relativt lågt



energiinnehåll (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner del 1, 2013).

### **3.4 FRP-material**

FRP står för Fiber Reinforced Plastic och är ett samlingsnamn för en grupp kompositmaterial. FRP består huvudsakligen av höghållfasta fibrer som ligger inuti ett skyddande plasthölje. De vanligaste fibrerna är fiberglas, aramidfibrer och kolfiber. Fibrerna läggs i en väv där varje fiber är mellan 6–30 µm i diameter, med minskande styrka med ökad fiberdiameter. Valet av fibrer samt strukturen de ligger i avgör egenskaperna (Friberg & Olsson, 2014).

#### **3.4.1 Egenskaper**

FRP-materialen har en väldigt stor draghållfasthet och samtidigt en låg vikt. Draghållfastheten för dessa ligger mellan 3000–4000 MPa beroende på vilken fiber som används. Detta kan jämföras med stål som ligger mellan 200–400 MPa, alltså en tiondel av FRP-materialens draghållfasthet. Densiteten varierar även den beroende på vilken fibersort som används och har ett spann mellan 1500 – 2500 kg/m<sup>3</sup> att jämföra med stålet vars densitet är 7850 kg/m<sup>3</sup>. Längdutvidgningskoefficient för glasfiber och kolfiber ligger på  $5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  respektive  $7.2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  att jämföra med stålets  $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , alltså ungefär hälften (Friberg & Olsson, 2014).

#### **3.4.2 Beständighet**

Eftersom FRP-kompositerna är en relativt ny typ av material finns begränsad information att tillgå. Av det som setts hittills är beständigheten mycket god. FRP har den stora fördelen gentemot armerad betong och stål att det inte rostar. Det som kan skada FRP-kompositerna är fukt, alkaliska ämnen, frost och UV-strålning. Fukt påverkar olika mycket beroende på vilken fibersort som används, men gemensamt är att de sväller och försvagas vid fuktabsorption. Det är därför viktigt att man har ett tillräckligt tjockt omslutande plasthölje eller en täckande gel för att hålla fukt borta. Både frost och UV-strålning kan orsaka mikrosprickor i materialet vilket i kombination med fukt och saltinträngning kan vara skadligt. Även om informationen är bristfällig kan slutsatsen dras att i jämförelse med de klassiska byggmaterialen stål, trä och betong är beständigheten god, där särskilt kolfiberkompositerna visar bäst beständighet (Chlosta, 2012).

#### **3.4.3 Kostnadseffektivitet och miljöpåverkan**

Kostnaden är den stora nackdelen med FRP-kompositerna jämfört med de klassiska materialen, men priserna är på kraftig nedgång. Förbättrade produktionstekniker och större volymer har halverat priserna de senaste 20 åren, en nedgång som kan förväntas fortsätta. Priset per kilogram är mycket högt, men då konstruktionerna blir signifikativt lättare kan totalsumman bli likvärdig jämfört med andra material. Vidare kan det på grund av sin låga vikt levereras i större konsoler vilket kraftigt kan förkorta byggtider och störning av trafiken etcetera.

På grund av att materialåtgången är mycket mindre blir därav den totala miljöpåverkan mindre än för de konventionella materialen. Den stora energiåtgången i tillverkningsprocessen kommer från de höga temperaturerna som krävs under tillverkningen av fibrerna. Den totala energiåtgången blir omkring 30 % av den för stål men 50 % större än för trä (Chlosta, 2012).

## 4 Brotyper

Brotyperna kan delas in i fyra kategorier beroende på hur de bär last. Dessa kategorier är balkverkans-, bågverkans-, linverkans- och fackverksbroar.

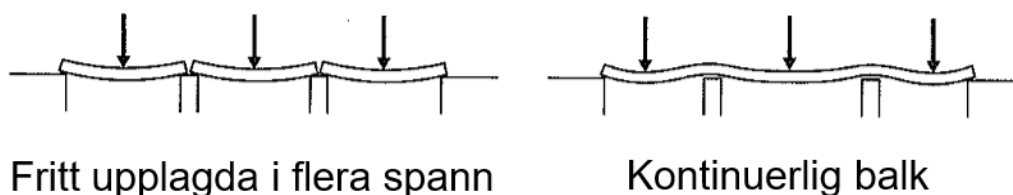
### 4.1 Balkverkansbroar

Broar så som balkbroar, plattbroar och rambroar bär last genom balkverkan. Det innebär att ett böjande moment ger upphov till ett kraftpar med en inre hävarm, där en del av balken blir tryckt och den andra delen blir dragen.

#### 4.1.1 Balkbro och plattbro

Idag är balkbron den vanligaste brotypen i Sverige (Nationalencyklopedin,b, 2018). Balkbron är en relativt enkel konstruktion och huvudbärverket består av en eller flera balkar. Balkarna är oftast tillverkade av stål eller armerad betong men kan även förekomma i trä. Sekundärbärverket är i sin tur brobaneplattan som ligger ovanpå balkarna (Trafikverket, 2014).

Det finns två sätt att utföra balkbroar på, antingen med en fri uppläggning eller en kontinuerlig uppläggning. Vid fri uppläggning ligger balkbron oftast upplagd direkt på ändstöden dock förekommer fritt upplagda balkar över mellanstöd också men då är fogarna inte kraftöverförande. Vid en kontinuerlig balkbro finns inga skarvar på brobaneplattan. En plattbro kan också utföras på samma vis som balkbroarna (Trafikverket, 2014).



*Figur 4-1 Illustration av hur en fritt upplagd respektive en kontinuerlig balk- eller plattbro kan utformas.*

Genom att göra ursparningar i plattan reduceras egenvikten och längre spännvidder kan uppnås. Det kan även göras ursparningar i balkarna på balkbroarna för att uppnå samma effekt som för plattbroarna (Trafikverket, 2014).

Huruvida en bro betraktas som en balkbro eller en plattbro är en definitionsfråga och avgörs beroende på huvudbärverkets uppbyggnad. För en plattbro ska huvudbärverket bestå av ett element, där bredden är större än fem gånger höjden. Balkbrons huvudbärverk ska bestå av en eller flera balkar där balkarnas bredd ska vara mindre än fem gånger höjden (Trafikverket, 2014). Plattbron sägs vara en vidareutveckling av balkbron (Nationalencyklopedin,c, 2018).

För längre spännvidder, upp till 70 meter, är stål det lämpligaste materialvalet. Träbalkbroar används främst för spännvidder upp till 30 meter och fungerar bra som gång- och cykelbroar (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008). Även betongbalkbroar passar bäst för spännvidder upp till 30 meter. Plattbroar är lämpade för användning vid relativt korta spännvidder, upp till 25–30 meter, där det önskas en låg höjd på bron. Dessa kan tillverkas i både trä och betong (Trafikverket, 2018).

### 4.1.2 Rambro

Rambro är en betongbro som kännetecknas av att hela brodäcket är sammangjutet med ändstöden vilket ger en fast inspänning. Detta ger en hög styvhet och konstruktionen fungerar som en ram som tar upp de horisontella och vertikala krafterna på ett effektivt sätt. Momentet i mittpartiet av brodäcket har visat sig vara lägre än för ett fritt upplagt brodäck, vilket resulterar i att brodäcket kan göras tunnare för en rambro (Maryland State Highway Administration, u.d.). Spännvidden hos en slakarmerad rambro varierar ofta mellan 20–25 meter medan en spännarmerad rambro kan nå spännvidder upp till 35 meter. Tjockleken på brodäcket kan variera mellan 0,3–1,3 meter (Welinder & Karlsson, 2011). Rambro används frekvent över vägar och i parker.

## 4.2 Bågverkansbroar

Bågverkansbroar bär ner laster från brobanan genom en tryckbåge. Bågens form varierar beroende på last och spännvidd för att på effektivast möjliga sätt utnyttja materialet. Bågverkansbroar kan byggas i ett eller fler spann, där valvbro och bågbro är de två huvudtyperna.

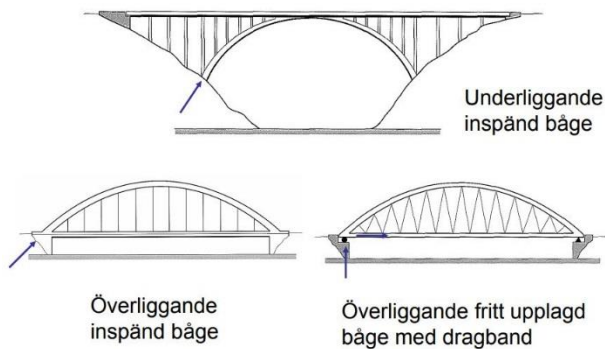
### 4.2.1 Valvbro

Principen för en valvbro är att valvet utvändigt förses med fyllning som ansluter mot brobanan. Fyllningen ger upphov till tryckkrafter vilka bärs ner längs valvbågen. I och med att valvbron bär i tryck så har material som är starka i tryck, så som sten och betong ofta använts. Det finns väldigt gamla valvbroar byggda i sten bevarade, men det byggs nästan inga nya på grund av de höga produktionskostnaderna (Trafikverket, 2014).

### 4.2.2 Bågbro

Bågbron kan anses vara en vidareutveckling av valvbron där valvbrons stora mängder fyllnadsmassor ersatts med pelare, skivor eller hängstag för att få en effektivare struktur. Bågbron var förr en vanlig brotyp för spännvidder mellan 50–200 meter. Det finns bågbroar uppförda med såväl trä, stål och betong som huvudbärande material (Nationalencyklopedin, d, 2018).

Precis som valvbron fungerar bågbron genom bågverkan där laster tack vare bågformen huvudsakligen bärs i rent tryck. Generellt kan sägas att brobanan kan placeras över, under eller mellan de primärbärande bågarna. Laster överförs från brobanan till bågarna via dragna hängstag eller tryckta bågpelare. Då bågens landfästen är inspända på så vis att både vertikala och horisontella krafter bärs ner direkt i marken uppstår stora tryckkrafter. För att motverka de horisontella komposanterna av dessa tryckkrafter kan ett så kallat dragband, i form av en huvudbalk, placeras mellan bågarnas ändar för att i drag uppta de horisontella krafterna från bågändarna. I det fallet kan brospannet betraktas som fritt upplagd direkt på ändstöden, och således blir de horisontella påkänningarna på omkringliggande mark betydligt mindre. Den metoden används gärna då bron inte kan grundläggas på fast berg (Trafikverket, 2014). Idag byggs det väldigt få bågbroar då den till stor del konkurrerats ut av spännbetong- och stålbalkbroar (Trafikverket, 2018).



Figur 4-2 Principiella skisser över hur laster bärs ner till grunden i tre typer av bågbro (Ahlberg & Spade, 2001).

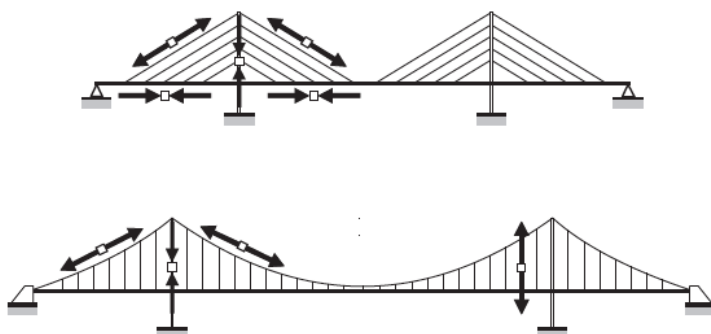
## 4.3 Linverkansbroar

Linverkansbroar innebär att brobanan bärs upp av linor som verkar i rent drag. I dagens brobyggnade är det den brotyp som kan uppnå längst spännvidder.

### 4.3.1 Hängbro

Idén med hängbroar är att man till största delen tar upp krafterna i drag. Detta gör att man kan bygga mycket långa spännvidder och om spännvidder över 1000 meter krävs är det enda alternativet (Nationalencyklopedin, e, 2018).

Brokablarna tillverkas oftast av spunna stålkablar och själva brobanan i stål. Pylonerna som utgör det vertikala stödet kan vara i antingen betong eller stål men förekommer även i trä. Kablarna är tänkta att ta upp dragspänningarna och pylonerna tryckkrafterna. Om pylonerna är väl förankrade kan de ta en nästintill obegränsad vikt. Däremot är brokonstruktionen känsligare för de horisontella lasterna såsom vindlast.



Figur 4-3 Lastbärning i snedkabelbro och hängbro (Lebet & Hirt, *Steel Bridges, Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*, 2013)

### 4.3.2 Snedkabelbro

Snedkabelbroar är en typ av hängbro som används när långa spännvidder efterfrågas där brospannet behöver bära upp sig själv utan att vara förankrad i marken. Snedkabelbroar är vanligtvis passande med spännvidder upp till 1000 meter. Den idag längsta snedkabelbron,

Russky Bridge i Ryssland, har ett mittspann med en spännvidd på 1185 meter (Road Traffic Technology, 2013).

I en snedkabelbro hängs brobanan upp i sneda kablar som är fastsatta i en pylon. Kablarna arbetar i rent drag, medan pyloner och brobanan är tryckt. I brobanan ligger den stora skillnaden mellan snedkabelbro och vanlig hängbro, då brobanan i en snedkabelbro arbetar i rent tryck. Därför måste den dimensioneras mycket kraftigare än hos en vanlig hängbro. På grund av sin vanligtvis långa spännvidd och därav storlek blir de huvudsakliga lasterna egentyngd och vindlast.

## **4.4 Fackverksbro**

Fackverksbroar består av bärverkselement som genom momentfria knutpunkter sätts ihop i triangelformer. Bärverkselementen arbetar tack vare detta i rent tryck eller drag. Det gör att materialet kan utnyttjas betydligt effektivare jämfört med när det utsätts för böjning.

Underhållskostnaderna är väldigt höga för fackverksbroar, det gör att de sällan används till större broar. Det är ett bra val för temporära broar, mindre gångbroar eller cykelbroar då produktionstiden är kort och bron kan byggas utan att eventuell trafik förhindras. Fackverksbroar byggs huvudsakligen i stål, men kan även uppföras i trä (Trafikverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996). För fackverksbroar i trä är det inte lämpligt att ha en större bredd än 3,5 meter (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008).

## 5 Möjliga brokoncept

Att ta fram eventuellt brokoncept är ett öppet problem som genomförs i flera steg. För att börja genomförs en litteraturstudie på allt som kan tänkas ha med bron att göra. Kunskapen om material, olika brotyper, geologiska förutsättningar, tekniska krav etcetera är en förutsättning för att kunna gå vidare i valet av brokoncept. Detta avhandlas i kapitel 2 till 4. I kapitel 5 vägs för- och nackdelar hos olika varianter av broutföranden och matchas mot de specifika förhållanden för just gång- och cykelbron över Hågernäs station.

### 5.1 Fokusområden vid val av brokoncept

Processen för val av brokoncept grundar sig i följande sex huvudsakliga fokusområden:

- Funktion
- Byggtid
- Ekonomi
- Trafiksituation
- Hållbar utveckling
- Gestaltning

Dessa har valts till stor del utifrån information som ges i detaljplanen, förfrågningsunderlaget samt de tekniska krav som ställs från Trafikverket. En noggrann beskrivning av förutsättningar och krav finns i kapitel 2.

### 5.2 Uteslutning av brotyper och material

Det första steget i denna del av processen är uteslutning av brotyper och material som inte lämpar sig för byggnation i det här specifika fallet. Genom att ställa brotypernas och materialens egenskaper mot förutsättningar och krav i de olika fokusområdena kunde direkt följande brotyper och material väljas bort.

#### 5.2.1 Rambro

Rambroar lämpar sig bäst för kortare spännvidder även om det går att utföra en rambro med flera spann. Bron blir relativt grov i framförallt stöden, detta talar emot detaljplanen om en ”lätt och genomsläpplig” bro vilket gör att rambron utesluts.

#### 5.2.2 Valvbro

En valvbro av den här storleken är väldigt kostsam att uppföra vilket talar emot de ekonomiska aspekterna. Även geotekniskt vore valvbron svår att uppföra. Då det finns såväl en gångväg som en bäck under broprofilen skulle valvbron behöva uppföras med antingen ett stort eller tre mindre valv. Oavsett vilket så är det ett högst olämpligt alternativ. Då det dessutom i detaljplanen slås fast att gång- och cykelbron ska utformas ”lätt och genomsläpplig” kan valvbron uteslutas.

### 5.2.3 Bågbro

Bågbron utesluts då den anses vara onödigt komplex, där andra alternativ kan uppfylla de önskade behoven på ett billigare och enklare sätt. Även gestaltningen talar emot bågbron i och med att det fordras en ordentlig båge för att överbrygga spännvidden vilket inte passar in i önskemålet om en ”lätt” bro.

### 5.2.4 Hängbro och snedkabelbro

Hängbron valdes bort då den lämpar sig för längre spännvidder och kändes därför ej motiverad för den efterfrågade brotypen. Även här väger den ekonomiska aspekten tungt, då en hängbro inte anses vara kostnadseffektiv i jämförelse med andra alternativ. Snedkabelbron utesluts på samma grunder som hängbron.

### 5.2.5 FRP-kompositer

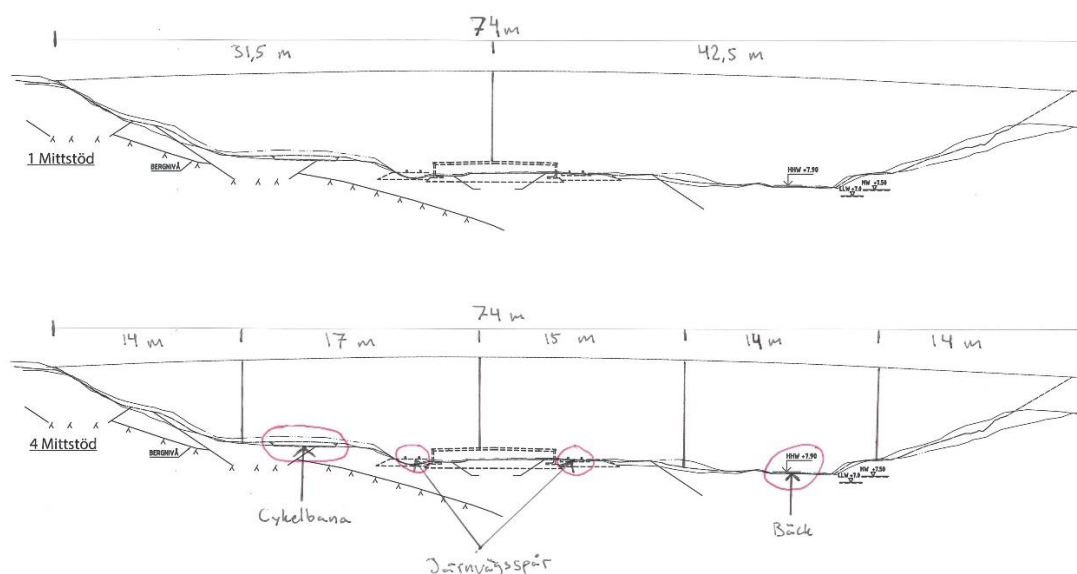
FRP-kompositer har som det framgår i avsnitt 3.4 väldigt många fördelar. De har en extremt hög hållfasthet, låg vikt och är tack vare det smidigt att prefabricera, transportera och montera med kort byggtid som följd. Även beständigheten anses vara god i jämförelse med de traditionella materialen. Problemet med FRP-material är att det är relativt nytt och väldigt lite information finns att tillgå i hur det praktiskt används. Även om det är en teknik och ett material som troligen kommer utvecklas starkt inom de närmsta åren så finns det idag få exempel på tidigare byggda broar i Sverige. Det finns heller inte några Eurokoder som specifikt redovisar hur materialet ska hanteras. Dessutom så kan kostnaden för brobyggnation i FRP-material bli väsentligt högre än för exempelvis trä eller betong. Sammantaget gör detta att FRP-material utesluts som alternativ för just den här bron.

## 5.3 Utvärdering av lämpligt antal mittstöd

Då hängbro, snedkabelbro och bågbro redan uteslutits är noll mittstöd inte något alternativ. Detta eftersom en konstruktion utan mittstöd får en lång spännvidd, vilket skulle vara väldigt kostsamt och ge grova dimensioner för de andra brotyperna. Genom att utvärdera sammanställningsritningen som finns i Bilaga 1, kan positionerna hos en bäck norr om perrongen och en gång- och cykelväg söder om perrongen fastställas. Detta medför problematik vid två respektive tre mittstöd i och med att stöd varken kan ställas i bäcken eller på gång- och cykelvägen. Vid två mittstöd skulle ett stöd vara på perrongen och det andra mellan perrongen och bäcken vilket gör spännvidden i mittspannet onödigt kort. Samtidigt blir spännvidderna ut till ändstöden väldigt stora i förhållande till mittspannet. Tre mittstöd skulle kunna placeras lite olika men symmetrin går inte att få ihop då stöden inte får placeras för nära järnvägsspåren. Det gör att ett av stöden behöver stå på perrongen. Även då blir det svårt med symmetrin för att inte skapa alldeles för korta spännvidder mellan vissa stöd som i sin tur ger längre spännvidder mellan andra stöd.

Ett mittstöd respektive fyra mittstöd är mer lämpliga utifrån symmetri och grundläggning. I fallet med ett mittstöd skulle detta placeras på perrongen, och med färre antal stöd att grundlägga bör grundläggningens kostnader minska. Dock uppstår längre spännvidder vilket i sin tur kan vara kostsamma att överbrygga. För fyra stöd placeras ett stöd på perrongen, ett på varsin sida om bäcken och det sista placeras till söder om gång- och cykelvägen. Fyra mittstöd ger kortare spännvidder vilket anses vara mindre kostsamt, dock kan grundläggningen norr om perrongen bli besvärlig och dyr eftersom pålning är nödvändig. Om det är relativt enkelt för

pålningsmaskiner att ta sig ut och påla, skulle troligtvis detta vara mer lönsamt rent ekonomiskt. Vilket alternativ som är bäst mellan ett och fyra mittstöd beror på brotyp och materialval och utvärderas närmare i följande avsnitt.



Figur 5-1 Skiss över broprofil med möjlig stödplacering för ett eller fyra mittstöd.

## 5.4 Förslag på möjliga brotyper

I det första urvalet har ett antal möjliga brotyper, material och mittstödskonstellationer uteslutits. Kvar finns då tre möjliga brotyper som uppfyller de krav där fokus ligger; balkbro, plattbro och fackverksbro, vilka kan byggas med antingen ett eller fyra mittstöd. De material som ansetts lämpliga att uppföra bron i är trä, stål och betong. Genom att kombinera alternativen på olika sätt finns alltså 18 olika varianter kvar i urvalet, där vissa är mer lämpliga än andra. Därför måste dessa alternativ utvärderas mer noggrant.

I nästa steg av processen skissas alla tänkbara förslag till bron upp. Sedan utvärderades samtliga förslag baserat på kunskapen från litteraturstudien för att få fram de sex förslag som är bäst lämpade. Nedan följer en motivering på vilka materialutföranden och mittstödskonstellationer som bäst anses tillvarata styrkorna för respektive brotyp. De kombinationer som nämns kommer sedan vidare utvärderas.

### 5.4.1 Balkbro

Balkbroar i trä och slakarmerad betong fungerar bäst för spännvidder upp till 30 meter. För att bygga en trä- eller slakarmerad betongbalkbro är det alltså nödvändigt att korta ner spännvidderna väsentligt genom att anlägga fyra mittstöd. Däremot är det möjligt att använda sig av förspänning i betongbalkbron. Detta gör det möjligt att nå betydligt längre spännvidder, vilket gör att den kan byggas med endast ett mittstöd. Därför utesluts slakarmerad betongbalkbro då den förspända anses vara ett bättre alternativ. En stålbalkbro kan utföras för spännvidder upp till 70 meter, vilket gör det möjligt att uppföra även den med ett mittstöd.



## 5.4.2 Plattbro

Plattbron är framförallt fördelaktig då det krävs låg brohöjd. Den är bäst lämpad för kortare spännvidder upp till 25–30 meter. Därför anses det nödvändigt med fyra mittstöd för att korta ner spännvidden. Trä och betong är lämpliga materialval i en plattbro. En plattbro i trä förspänns med stag tvärs brobanan, medan en plattbro i betong förspänns med längsgående spännarmering.

## 5.4.3 Fackverksbro

Då fackverksbroar i trä inte är lämpliga för bredare broar än 3,5 meter är stål det enda kvarvarande alternativet för en fackverksbro. På samma sätt som en balkbro i stål kan även fackverksbron utföras med längre spännvidder, vilket gör att en tvåspansbro med ett mittstöd förefaller vara det mest lämpade alternativet för en fackverksbro i stål.

## 5.4.4 Sammanställning av möjliga broutföranden

Ovanstående resonemang leder fram till följande broutföranden som möjliga alternativ. Dessa är alla realistiska alternativ och kommer vidare utvärderas för att hitta det mest optimala konceptet.

Alternativ	Brotyp	Material	Antal mittstöd	Största spännvidd [m]
1	Balkbro	Trä	4	17
2	Balkbro	Stål	1	42
3	Balkbro	Betong, förspänd	1	42
4	Plattbro	Trä	4	17
5	Plattbro	Betong, förspänd	4	17
6	Fackverksbro	Stål	1	42

Tabell 5-1 Sammanställning över lämpliga broutföranden.

## 5.5 Risker

Vid byggnation av bro är det viktigt att utföra en riskbedömning. De risker som identifierats är bland annat transporter som löper risk att försenas samt miljö i närområdet som riskerar att påverkas negativt av byggnationen. Under produktionsprocessen finns risker för arbetsskador eller förseningar med koppling till platsbyggnation. I och med att bron löper över en järnväg och tågtrafiken prioriteras högst finns en risk för att produktionen försenas. Vidare går det inte att veta med säkerhet hur markförhållanden ser ut vilket även det ger risker förknippade med grundläggning. Under bronns livslängd finns risker för störning av tågtrafik eller arbetsskador i samband med underhåll.

## 6 Produktionsmetoder

En bra produktionsmetod är säker, hållbar, har en förutsägbar tidsåtgång och är så kostnadseffektiv som möjligt. För att minska kostnaderna i produktionskedet är det lämpligt att begränsa mängden temporära konstruktioner som inte har någon funktion under bronns livslängd. Att använda så få temporära konstruktioner som möjligt kan även korta ner byggtiden. Vid uppförandet av broar finns huvudsakligen två produktionsmetoder, antingen prefabricering eller platsbyggt. Generellt kan sägas att metoderna där prefabricerade element används ger en högre kvalitet på elementen och kortare byggtider men med en lägre anpassningsgrad. För platsgjutna konstruktioner blir istället byggtiden på plats längre med krav på fler tillfälliga konstruktioner men här går det att skapa helt specialanpassade lösningar. Metodvalet påverkar flera faktorer så som arbetsmiljö, ekologisk hållbarhet, enkelhet i utförandet, hög materialutnyttjad och kostnad. Vilken metod som är bäst lämpad beror på plats-specifika förutsättningar, varje bro är i någon mån unik och därför måste produktionsmetoden anpassas därefter.

### 6.1 Prefabricerade konstruktioner

Prefabricering innebär att byggnadselement förtillverkas i fabrik eller i provisoriska fabriker i anslutning till arbetsplatsen för att sedan monteras på plats (Nationalencyklopedin, f, 2018). Vanligt förekommande prefabriceringar är enskilda balkar och pelare samt hela broar och brodelar. Eftersom de tillverkas i fabrik blir inte byggnadselementen utsatta för väder och vind i produktionskedet. Det ökar kvalitén på byggelementen och effektiviserar byggprocessen vilket också ger kortare produktionstid (Heda, 2018).

### 6.2 Platsbyggda konstruktioner

Att platsbygga är en annan produktionsmetod för betong, stål och trä vilket innebär att konstruktionen byggs på arbetsplatsen. För stål och trä kommer regler, balkar och pelare till byggarbetsplatsen där de sedan skruvas, spikas eller svetsas ihop beroende på material och situation. Stål svetsas eller bultas och trä skruvas, spikas eller bultas.

För betong kallas det platsgjutning och innebär att ny betong körs ut till byggarbetsplatsen med roterbilar. Betongen pumpas eller rinner sedan ner i formar från roterbilens kana. Formning utförs vanligen på tre olika sätt. Traditionell formning eller med färdiga formelement som monteras ihop och som kan återanvändas. Det tredje sättet är att låta formen sitta kvar.

### 6.3 Produktion av balkbro

En balkbro i betong kan antingen platsgjutas eller prefabriceras. Produktionen av prefabricerad kontra platsgjuten betongbalkbro ger inga större skillnader på materialåtgången. Den prefabricerade bron är enklare, kräver inga formar och ställningar för gjutning samt har en kortare byggtid. Om däremot mängden betong och storleken på betongelementen i kombination med transportsträckorna blir för stora, kan prefab vara ett sämre alternativ än det platsgjutna. Ytterligare en nackdel är att prefabelementen behöver lyftas på plats med kranar, vilket kan medföra att temporära vägar måste byggas för att de tunga fordonen ska kunna ta sig fram. För en platsgjuten betongbro finns nackdelar kring gjutningsprocessen då den är känslig för väderförhållanden och riskerar att förskjutas i tid vid oväntade händelser. Arbetsställningar vid platsgjutning av en bro riskerar att bli mer krävande än för en prefabricerad bro (Eriksson &

Jakobson, 2009). Balkarna till betongbalkbron förtillverkas i fabrik, men här läggs ursparingsrör med spännkablar i utan att spännas upp. Dessa förläggs parabelformat så att kablarna följer momentkurvan någorlunda. Väl på plats spänns kablarna upp och förankras. Ursparingsrören injekteras sedan med injekteringsbruk för att ge vidhäftning och korrosionsskydd för kablarna.

Tack vare materialets låga vikt prefabriceras i så hög grad som möjligt träbroar där prefabriceringsgraden främst begränsas av storleken på elementen vid transport och montage. Den övre gränsen för transport av element begränsas till längder upp till 40 meter samt en höjd och bredd på 4,50 meter. Mindre träbroar tillverkas färdiga i ett stycke på fabrik, men vanligtvis görs färdiga delar i fabrik som sedan monteras ihop på plats (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008). En effekt av denna höga färdigställandegrad gör arbetstiden på plats kort och effektiv. Detta gäller även för stålkonstruktioner men här ligger begränsningen mer i materialvikten istället för storleken.

## 6.4 Produktion av plattbro

Produktionsmetoderna för prefabricerade balkbroar och plattbroar är snarlika. Plattbroar kännetecknas av en något högre prefabriceringsgrad där större färdigproducerade element kommer till byggplatsen och placeras ut över stöden med antingen kran eller lansering. Efter hopmontering av delarna läggs en beläggning av vanligtvis asfalt.

Plattbroar i trä består uteslutande av prefabricerade limträbalkar som förspänns med tvärsgående höghållfasta stålstag. Vanligtvis används stumskarvar för att kunna få längre kontinuerliga brobanor där skarven förskjuts en balk per tvärstag för att få en jämn och stark skarv, se Figur 9-8 (Träguiden, a, 2003).

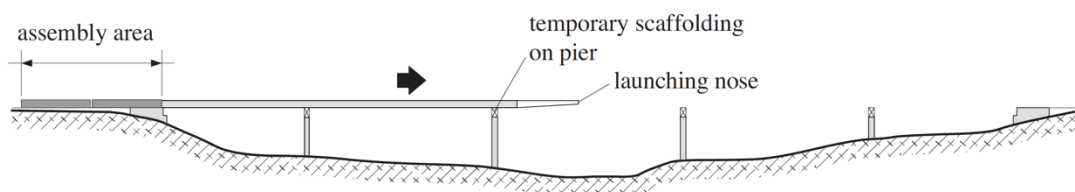
För plattbroar i betong med den aktuella spännvidden 17 meter levereras färdiga massiva förspända broplattor från fabrik till byggplats. De gjuts i fabrik i formar med utplacerad armering som sitter spänd i spännkonstruktioner utanför formen. Armeringen kapas sedan när betongen stelnat och vidhäftning och drag mellan betongen och det förspända stålet uppkommit (Engström, 2018).

## 6.5 Produktion av fackverksbro

Fackverksbroar i stål förtillverkas i fabrik i så stora element som möjligt. Dessa transporteras sedan till och monteras på byggplatsen. På plats kan två monteringsmetoder användas och valet av metod beror på platsens förutsättningar. Finns goda uppställningsytor för en kran lyfts den hopmonterade fackverksbron på plats segment för segment. För att lyfta brobanan på plats finns två grundförutsättningar. Dels att brobanan går max 15 meter över marken och att goda utrymmen för uppställning av kran och hopmontering av fackverk och brobana finns. Den övre gränsen för hur stora spännvidder som går att lyfta på plats beror på hur stor kran som finns tillgänglig och ligger kring 60–70 meter eller på en vikt av elementet på kring 100 ton (Lebet & Hirt, *Erection of the Steel Structure*, 2013).

Om det vid konstruktionsplatsen är svårt att arbeta med kran är lansering ett bra alternativ. Vid lansering skjuts bron ut från landfästet upp över stöden med hjälp av domkrafter. Under lanseringen monteras en uppåtvinklad nos längst fram på brobanan för att enkelt kunna glida upp på stödet trots sin nedböjning. Den här metoden används för brospann upp till 150 meter, men kan utökas till längre spännvidder med hjälp av kabelstag eller tillfälliga stöd. Lansering

har dock vissa begränsningar. Det kräver stora öppna ytor rakt bakom brofästet, ett konstant tvärsnitt och att brobanan antingen är helt rak eller svängd med en konstant radie (Lebet & Hirt, *Erection of the Steel Structure*, 2013).



Figur 6-1 Lansering av brobana (Lebet & Hirt, *Erection of the Steel Structure*, 2013)

Viktigt för båda ovannämnda produktionsmetoder är att det vid dimensionering av brobanan tas hänsyn till de onaturliga laster som uppstår vid antingen kranlyft eller lansering. Gemensamt för de båda metoderna är att en fackverksbro får mängder med skarvar och svetsar, vilket gör monteringen av elementen mycket arbetskrävande och kostsamt (Bjerstedt, 2014).

## 6.6 Grundläggningsmetoder

De krav som ställs vid grundläggning för en bro är att sättningarna inte får vara för stora i förhållande till spännvidderna samt att det inte ska finnas risk för markbrott. Den vanligaste typen av grundläggning är platta på mark. Denna metod kräver att jorden är av tillräckligt god kvalitet, dessutom måste grundvattennivån tas i beaktning. (Vägverket, 1996)

Vid mer sättningsbenägna jordarter så som lera och silt kan pålning vara ett bättre alternativ. Några typer av pålning är kohesionspålning, friktionspålning och berggrundläggning med spetsburna pålar. Kohesionspålning används vid lösare jordar så som lera där lasterna tas upp av kohesionskrafter mellan jorden och pålarna. Friktionspålning fungerar som kohesionspålning men lasterna tas upp av friktionskrafter istället för kohesionskrafter. Friktionspålning är bättre vid mindre lösa jordar så som sand. Vid berggrundläggning slås pålarna ner till berggrunden med spetsburna pålar. Då spelar det ingen roll i vilken typ av jord grundläggningen sker då lasterna leds raka vägen ned i berget. Denna metod fungerar bra när avståndet till berggrunden är relativt kort.

Vid grundläggning måste det finnas utrymme och möjlighet för tunga maskiner att kunna ta sig fram till platsen. För den blöta jorden i området kommer det behöva byggas temporära vägar för brokonceptet med fyra mittstöd, då stöden som inte ligger på perrongen befinner sig i mycket våt mark. Däremot kan perrongen utnyttjas för brokoncepten med ett mittstöd där grundläggningen eventuellt skulle kunna vara tillräcklig i befintligt skick.

## 7 Inspektioner och underhåll

För att uppnå hög säkerhet och framkomlighet krävs regelbundna inspektioner och noggrant underhåll. Det finns flera olika typer av broinspektioner som utförs beroende på brokonstruktion. Inspektionerna har till uppgift att utreda brons fysiska och funktionella tillstånd samt ge underlag för åtgärder som krävs på kort och lång sikt (Trafikverket, 1993). Vid konstruktion av bron måste hänsyn tas till att inspektioner och underhåll ska kunna utföras utan större svårigheter.

## 7.1 Broinspektion

Enligt Trafikverkets *Handbok för broinspektion* utförs det fem olika typer av broinspektioner som presenteras i korthet nedan.

*Fortlöpande inspektion* – omfattar bronns ovansida och anslutande vägbankar. Syftet är att upptäcka skador som kan påverka konstruktionen negativt på kort sikt. Inspektionerna utförs kontinuerligt under hela livslängden för bron.

*Översiktlig inspektion* - avser de element på konstruktionen där krav på egenskaper och åtgärder finns. Ska kontrollera att de krav som finns uppsatta i underhållsentreprenaden uppfylls. Inspektionerna genomförs minst två gånger per år för broar på nationellt vägnät och minst en gång per år för övriga broar.

*Allmän inspektion* – innefattar samtliga konstruktionselement samt anslutande delar, förutom de i vatten. Undersöker skador som hade lett till ökade förvaltningskostnader eller mindre betryggande trafiksäkerhet och bärighet om de inte upptäckts innan nästa huvudinspektion. Genomförs med maximalt tre års intervall eller när det anses nödvändigt.

*Huvudinspektion* – berör samtliga konstruktionsdelar och syftar till att upptäcka och utvärdera skador som kan påverka konstruktionen eller trafiksäkerheten negativt inom en tioårsperiod. Här utförs också mätningar på bottenprofil, kloridhalt och karbonatisering i betong, korrosion på armering och sprickor i stålkonstruktionen. Inspektionerna genomförs på ett tidsintervall med maximalt sex års mellanrum.

*Särskild inspektion* – görs för att närmare undersöka brister som konstaterats eller förmodats vid tidigare inspektioner. Utförs med maximalt tre års mellanrum.

## 7.2 Underhåll

Att aktivt arbeta med underhållsarbetet är avgörande för bronns livslängd. Därför är det viktigt att bron utformas på ett sådant sätt att alla delar är åtkomliga så att underhållsarbetet kan ske smidigt. Oavsett koncept så utgör alltid detaljerna en kritisk punkt. Därför är det ur ett underhållsperspektiv mer gynnsamt att utforma en bro med så lite detaljer som möjligt.

### 7.2.1 Trä

När det kommer till träbroar så är det i första hand höga fuktkvoter som bron behöver skyddas ifrån. Vid fuktkvoter över 20 % finns det risk för röta och om fuktkvoten överstiger 30 % anses det vara skadat och måste därför åtgärdas. Oftast är höga fuktkvoter ett tecken på att det kommer in vatten i konstruktionen där kritiska punkter kan vara i infästningar och skarvar. För att skydda bron från fuktkvotsändringar är det därför viktigt att ha ett ordentligt ytskikt. Ytskiktet utgör ett primärt skydd mot nederbörd men skyddar även mot UV-ljus som leder till en uttorkning av träet vilket då kan spricka. Ytskiktets beständighet varierar kraftigt med klimatet och därför bör inspektioner göras var sjätte år för att tidigt upptäcka och åtgärda missfärgade ytor (Pousette & Fjellström, SP Träteknik, 2004).

Träets vattenkänslighet ställer också krav på en fungerande vattenavrinning och att ingen fukt byggs in i konstruktionen utan hinner torka ut. Att detta görs på rätt sätt är avgörande för

livslängden. Det är även viktigt att ytorna kring bron är rena och fria från växlighet då detta kan leda till ett extra fukttillskott.

Enligt Träguiden så är underhållskostnaderna för välbyggda träbroar samma som för liknande broar i andra material och motsvarar en årlig kostnad på ungefär 2 % av den totala byggkostnaden (Träguiden, b, 2003).

### **7.2.2 Stål**

En av de stora underhållskostnaderna för stålbroar är att förhindra korrosion. Detta görs ofta genom kontinuerlig tvättning och/eller målning. Vid tvättning görs ytan rent och korrosiva ämnen avlägsnas. En ren yta leder till att vattnets upptorkningstid minskar och därmed också korrosionshastigheten. Underhållet för målningen består ofta av att förbättra rostskyddsfärgen som lossnat, men i vissa fall utförs även en helommålning av bron där all färg först avlägsnas och en ny rostskyddsfärg appliceras på stålet. Trafikverket har uppskattat att de viktigaste underhållsåtgärderna för stålbroar kostar cirka 9000 kr per löpmeter och år (Reuterswärd, 2010).

### **7.2.3 Betong**

Då salt har en nedbrytande effekt på betongen tvättas kantbalkar rena för att förebygga en försämrad kvalitet. Tätskiktet under asfalten behöver bytas med jämna mellanrum för att förhindra nedbrytning av konstruktionen (Trafikverket, 2016). Ytbehandlingen som skyddar bron från kloridinträngning ska förnyas vart 10 år och skydd mot karbonatisering görs med hjälp av ett täckande betongskikt. Enligt Vägverket måste även sprickor i beläggningen och mellan beläggningen och anslutande konstruktionsdelar tätas (Vägverket, 1994).

## 8 Slutgiltigt val av brokoncept

För att på ett relativt enkelt och överskådligt sätt välja den bästa brotypen utifrån så många avseenden som möjligt viktas olika utvärderingskriterier mot varandra. De kvarvarande brotyperna betygssätts sedan utifrån de viktade utvärderingskriterierna.

### 8.1 Viktning av utvärderingskriterier

Utifrån litteraturstudien har ett antal utvärderingskriterier som ansetts avgörande tagits fram tillsammans med krav och restriktioner från detaljplanen och Trafikverket. Viktningen är tänkt som ett extra hjälpmedel i framtagningen av det slutgiltiga konceptet men kommer inte vara det som i slutändan avgör. För att skapa en överblick valdes därför vidare kriterier. De kriterier som tagits fram och viktats mot varandra beskrivs nedan.

*Passa in i landskapet* – Detta kriterium tas i beaktning eftersom det tydligt står i detaljplanen att en genomskådig bro efterfrågas.

*Byggutförande* – Med byggutförandet avses komplexiteten i produktionsskedet och byggtiden.

*Trafikpåverkan* – Eftersom bron ska byggas över en järnväg är det viktigt att trafikstörningar beaktas då förhindrad trafik kan få stora ekonomiska påföljder.

*Miljöpåverkan* – Med miljöpåverkan menas hur stor inverkan den färdiga bron har på omgivningen men även vid produktion och vid framtagningen av material.

*Arbetsmiljö* – Arbetsmiljö avser arbetarnas arbetsförhållanden under produktionsskedet och i underhållsarbetet.

*Byggkostnad* – Med byggkostnader avses kostnader som uppkommer i byggskedet.

*Underhållskostnad* – Underhållskostnader är de kostnader som avses efter uppförandet av bron.

*Beständighet* – Beständighet är ett centralt kriterium för en gång-och cykelbro eftersom den ska dimensioneras för en livslängd på 120 år. En bro med fler detaljer blir också känsligare för nedbrytning.

*Risker* – Tas i beaktning för att minimera oplanerade kostnader och eventuella olyckor.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
		Passa in i landskapet	Byggtutförande	Trafikpåverkan	Miljöpåverkan	Arbetsmiljö	Byggkostnad	Underhållskostnad	Beständighet	Risker		
Passa in i landskapet	1	■	3	1	1	1	3	3	1	1	13	10%
Byggtutförande	2	1	■	1	1	2	1	1	1	1	8	6%
Trafikpåverkan	3	3	3	■	2	2	2	3	2	1	17	13%
Miljöpåverkan	4	3	3	2	■	1	3	3	3	2	18	13%
Arbetsmiljö	5	3	2	2	3	■	3	3	2	2	18	13%
Byggkostnad	6	1	3	2	1	1	■	1	1	1	10	7%
Underhållskostnad	7	1	3	1	1	1	3	■	1	1	11	8%
Beständighet	8	3	3	2	1	2	3	3	■	1	17	13%
Risker	9	3	3	3	2	2	3	3	3	■	22	16%
<b>Summa:</b>											<b>134</b>	<b>100%</b>

1=Mindre viktig, 2=Lika viktig, 3=Viktigare

Tabell 8-1 Viktning av kriterier där dessa rankas mot varandra och får utifrån det en procentandel som sedan multipliceras med de olika brotypernas poäng. Exempelvis syns att i viktningen mellan och "Passa in i landskapet" och "Byggtutförande" anses "Passa in i landskapet" vara viktigare och ges därför betyget 3.

## 8.2 Bedömning av de olika brokoncepten

I det sista skedet vid framtagningen av brotyp värderas de olika koncepten med avseende på kriterierna. Utifrån det fås ett värde där kriteriets viktningspoäng slås ihop med brotypens betyg. Detta ger ett slutligt poäng för vart och ett av brokoncepten.



Brorankning		Passa in i landskapet Byggutförande Trafikpåverkan Miljöpåverkan Arbetsmiljö Byggekostnad Underhållskostnad Beständighet Risker									Totalpoäng:	Viktat poäng:	Rankning:
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Balkbro	Trä 4-M.S.	4	4	5	5	5	4	4	4	4	39	4.396	2
	Betong 1-M.S.	4	3	4	3	4	4	4	4	3	33	3.642	3
	Stål 1-M.S.	3	4	4	3	3	2	4	4	3	30	3.321	5
Plattbro	Trä 4-M.S.	5	5	5	5	5	4	4	4	4	41	4.552	1
	Betong 4-M.S.	3	4	4	3	4	3	4	4	2	31	3.366	4
Fackverksbro	Stål 1-M.S.	3	3	4	4	3	4	2	3	3	29	3.254	6

Tabell 8-2 Bedömning av brokoncepten i en femgradig skala. Brokoncepten betygsätts i de olika kategorierna och ställs inte mot varandra förrän de fått sitt viktade poäng. 4-M.S. står för fyra mittstöd och 1-M.S. står för ett mittstöd.

Resultatet från bedömning visade att en plattbro i trä med fyra stycken mittstöd var bäst lämpad för uppgiften. Detta överensstämmer även med gruppens uppfattningar. Därför väljs också det alternativet som det brokoncept som vidare beskrivs och utvecklas i resterande delar av rapporten.

## 9 Beskrivning av valt brokoncept

Det valda konceptet beskrivs utförligare utifrån produktionsmetod, utformning, nödvändiga inspektioner och underhåll samt samhällsintressen.

### 9.1 Utformning av brokonstruktion

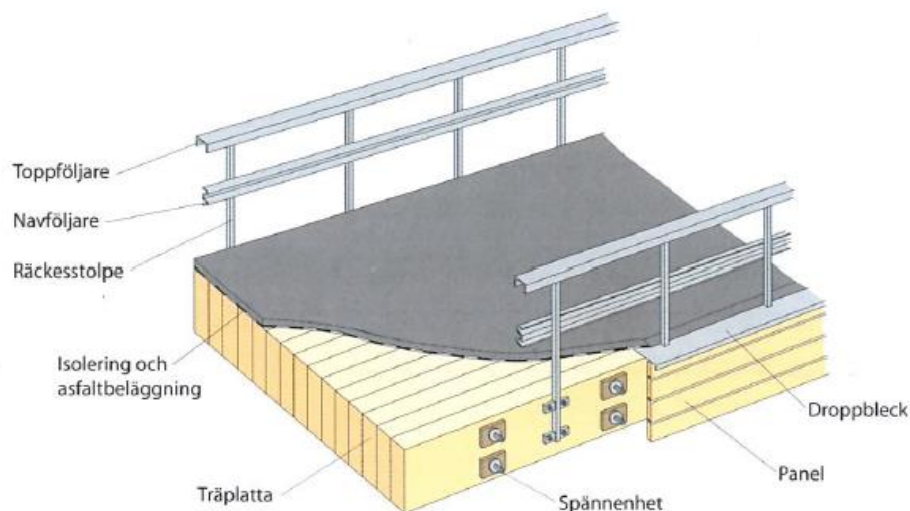
Brons huvudbärverk består av trä och bärs upp av fyra mittstöd och två ändstöd. Här görs en generell utformning av tvärsnittet samt design för avrinning och stödkonstruktioner. Inspiration till utformning av tvärsnitt och tvärsnittsdetaljer har hämtats ur Anna Pousettes bok om träbroar (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008) samt Robert Kliger's föreläsning om träbroar (Kliger, Träbroar, 2018).

#### 9.1.1 Tvärsnitt och tvärsektion

Brobanepattan består av tvärsända limträbalkar som bildar en massiv bärande träplatta. Plattan tvärsänns genom att föra in stålstänger tvärs över plattan som sedan spänns upp med bultar. Träplattans överkant ska ha en lutning på 2 % i tvärsnittsprofilen, enligt Bilaga 3. Vidare täcks träplattan först med ett tätskikt där en asfaltsbeläggning läggs ovanpå. Lutningen på ytskiktet ska vara samma som träplattans ovansida. Av säkerhetsskäl fästs räcken in i brokonstruktionen med andra stålstänger än de som spänner ihop själva plattan. Detta eftersom en skada på räcket inte ska påverka konstruktionens bärförmåga. Räcket förstärks dessutom med en stålbalk nedtill som skyddar vid påkörning av exempelvis plogbil. Räcket utförs i stål och ska vara 1400 mm över farbanan. Den fria öppningen får ej överstiga 450 mm.

Över järnvägsspårens kontaktledningar skall ett fallskydd utföras, detta ska enligt Trafikverket placeras 1100 mm över brobanans beläggning (Trafikverket, 2011). Ändarna på stålstängerna som spänner träplattan behöver skyddas för att undvika beständighetsproblem och det görs

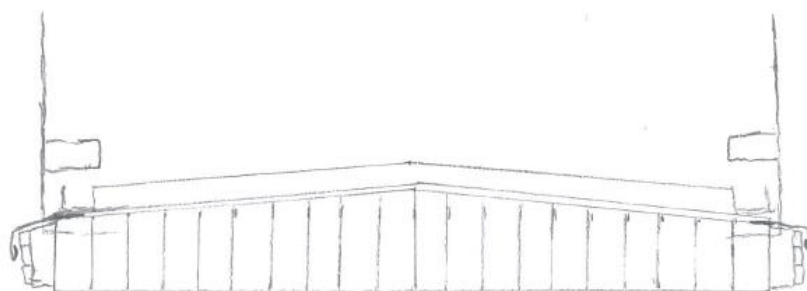
genom att montera målad panel på sidorna. Sedan avslutas det med en plåt mellan träplattan och panelen. Exempel på tvärsnittsutformningen ses i Figur 9-1.



Figur 9-1 Exempel av en plattbros utformning. Hämtad från (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008).

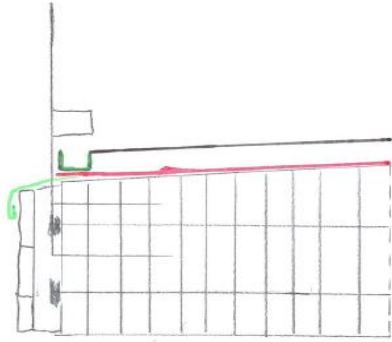
### 9.1.2 Avrinning

För att bevara bronns hållbarhet och livslängd är det viktigt att utföra vattenavrinning på ett korrekt sätt för att undvika att träet blir fuktigt. Tvärsnittets högsta punkt ligger i mitten och lutar utåt åt båda hållen, lutningen sätts till 2 %, enligt Bilaga 3. Plåten mellan brobanaplattan och panelen måste vara ordentligt utformad så att vatten inte rinner in i konstruktionen. Exempel på lämplig utformning ses i Figur 9-2.



Figur 9-2 Brons tvärsnitt visar att det är träplattan som lutar och asfalten har samma höjd över hela tvärsektionen.

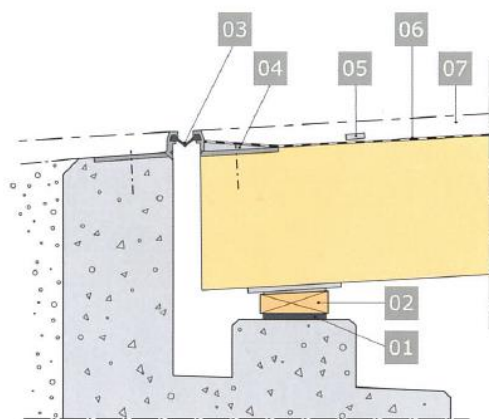
För att undvika okontrollerad vattenavrinning från bron kommer en integrerad rostfri ränna monteras längsmed hela bron. Brobanan lutar längsmed bron vilket gör att vattnet kan ledas bort ifrån brobanan. Vattnet leds ner via stuprör monterade på stöden. För de stöd som ligger närmast bäcken kan åtgärder för att förhindra att förorenat vatten tar sig ut i vattendraget eventuellt vara nödvändiga.



Figur 9-3 Detaljutförning av den integrerade rännan. Det gröna är plåt, det röda är tätskiktet och det svarta sträcket är asfaltens ovkant.

### 9.1.3 Stöd och övergångskonstruktioner

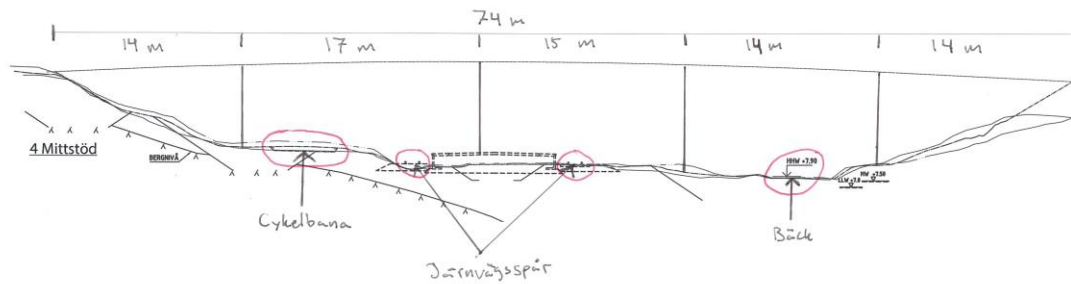
Vid ändstöden kommer bron vara fritt upplagd på ett lager så att bron ska kunna röra sig fritt i horisontalled. Båda ändstöden kommer utföras i betong men grundläggningen skiljer dem åt. I söder kommer det endast att grundläggas med en betongplatta medan i norr kommer det påslas ner till berget på grund av sämre jordförhållanden. Mellan bron och ändstöden kommer övergångskonstruktioner uppföras. Det gör att bron har möjlighet att utvidga sig utan att tvångsspänningar uppstår. Övergångskonstruktionen ska utformas som en Maurerfog. Exempel på en sådan ses i Figur 9-4.



1. Gummiremselager
2. Träsyll
3. Maurerfog
4. Kil
5. Dräneringskanal
6. Tätskikt
7. Asfaltsbeläggning

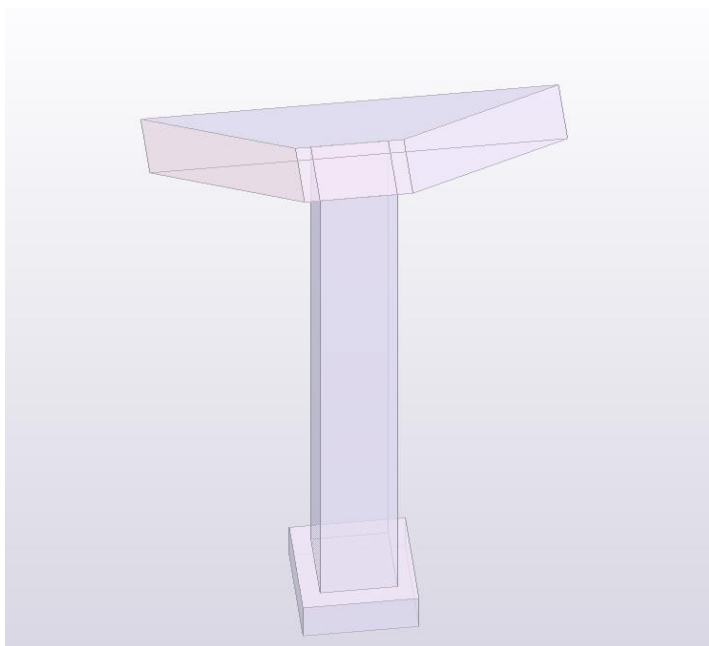
Figur 9-4 Exempel på en övergångskonstruktion med Maurerfog. Hämtad från (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008).

Bron ska uppföras i fem spann, med fyra mittstöd, vilka placeras enligt skiss i Figur 9-5. Ett stöd placeras på perrongen, ett precis bredvid cykelbanan samt ett stöd på var sida om bäcken. Placeringen är gjord som sådan att minsta avstånd från spårmitte till närliggande stöd är större än 5,5 meter för att möjliggöra underhållsarbete utan störning av järnvägstrafik. Den längsta spannvidden mellan två stöd är 17 meter och den kortaste är 14 meter. Bron kommer utformas som kontinuerlig över samtliga mittstöd med fast lager i stödet på perrongen och rörliga lager i övriga. Detta för att påkänningarna från temperaturskillnader ska bli så små som möjligt.



Figur 9-5 Skiss av brostödens placering.

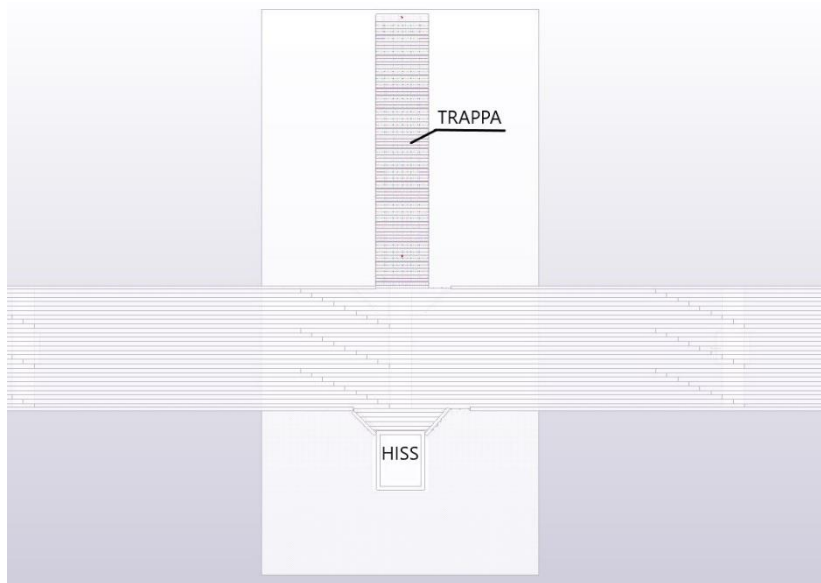
Mittstödens formgivning redovisas i Figur 9-6. Utformningen ska vara densamma för samtliga mittstöd. På grund av att lagret i perrongens mittstöd är fast så kommer det här uppstå större krafter i horisontalled än hos övriga stöd. Dess spårnära placering gör att det behöver dimensioneras för olyckslast. Konsekvensen av detta är att det fordras ett grovt stöd, och därför ska det utföras i betong. Övriga mittstöd ska tillverkas i trä och kan göras mindre men med samma form som perrongens mittstöd. Anledningen till att dessa ska göras i trä är främst av estetiska skäl, men även för att underlätta i produktionsfasen genom ökad prefabriceringsgrad och att det ses som ett bättre miljömässigt alternativ.



Figur 9-6 Tvärsnittsform för mittstöden.

### 9.1.4 Hiss- och trappanslutning till perrongen

I förfrågningsunderlaget från Trafikverket framgår det att anslutningar ner till perrongen finns. Detta kommer att göras med en glashiss på den östra sidan av det mittstöd som är placerat på perrongen. Glashiss väljs för ökad trygghet och ljusinsläpp eftersom detta ofta upplevs som en otrygg plats. På den västra sidan ska en tre meter bred trappa i trä anläggas eftersom materialvalet matchar med resterande konstruktion. De två anslutningarna kommer ej vara en bärande del av brokonstruktionen. All last ska istället bäras ner av stödet. En enkel skiss ses i Figur 9-7.



Figur 9-7 Anslutningar med trappa och hiss ned till perrongen.

## 9.2 Samhällets intressen

Samhällets intressen i form av hållbar utveckling, ekonomi och trafikanternas upplevda miljö har vägt tungt vid framtagningen av brokonceptet. Nedan beskrivs på vilka sätt den valda bron uppfyller dessa förväntningar.

### 9.2.1 Hållbar utveckling

Hållbar utveckling behandlas med utgångspunkt i ”triple bottom line”, alltså att såväl ekonomiska, miljömässiga och sociala aspekter vägs in i bedömningen av vad som är hållbart. Punkterna miljöpåverkan och arbetsmiljö kan direkt knytas till miljömässiga och sociala faktorer. Dessa två viktades allra högst och den valda bron fick också högsta poäng i båda dessa kategorier.

Materialvalet trä anses ur miljösynpunkt vara väldigt fördelaktigt, då trä är förnyelsebart och dessutom binder koldioxid i konstruktionen under hela brons livslängd. Att bron till stor del kommer prefabriceras i kontrollerade verkstadsmiljöer, samt träets förhållandevis låga vikt vid transporter och lyft på byggplatsen är faktorer som talar för att bron kommer kunna produceras på ett säkert sätt med en god arbetsmiljö. Sverige är dessutom ett land med stor tillgång och tradition vad gäller såväl träråvaran som förädlingen av denna. Att i så stor utsträckning som möjligt lägga produktionen inom landets gränser bör också ligga i samhällets intresse.

### 9.2.2 Ekonomi

Vid framtagning av brokoncept har ekonomibegreppet delats upp i två delar, byggkostnad och underhållskostnad. Detta för att se till kostnaderna under brons hela livslängd och på så sätt nå en hög kostnadseffektivitet på lång sikt.

I byggskedet kommer grundläggning krävas för samtliga stöd, där pålning är nödvändig för fyra av dessa. Det medför en ökad kostnad jämfört med grundläggning av endast ett mittstöd. Detta är dock helt nödvändigt för att nå tillräckligt korta spännvidder för att en plattbro i trä ska vara möjlig. De korta spännvidderna ger dessutom en mer kostnadseffektiv lösning av

själva brokonstruktionen då dimensionerna hos de bärande delarna kan minskas. Träets låga vikt och möjligheten för prefabricering ger också en förhållandevis enkel hantering i byggprocessen. Sammantaget är det valda alternativet ekonomiskt fördelaktigt i byggskedet.

Vad gäller underhåll är det precis som för alla broar att med en väl genomtänkt utformning av brokonstruktionen och dess detaljer kan kostnaderna minskas både för det planerliga och oförutsedda underhållet. Detta stämmer bra in på en träbro, i och med materialets fukt känslighet. Med noggrant planerade lösningar för avvattnings och skydd av brons känsliga delar och detaljer kan underhållskostnaderna hållas nere. Här gäller alltså att ökade kostnader i byggskedet kan vara befogade om de genererar en bro som sammantaget blir billigare under hela dess livslängd.

### **9.2.3 Trafikanter**

I begreppet social hållbarhet ingår hur bron upplevs av de som påverkas av och nyttjar den. Tanken är att den ska bidra till att motverka de barriäreffekter som järnvägen innebär, genom att binda ihop båda sidornas gång- och cykelvägnät. Den ska även öka trafikanternas säkerhet genom att ersätta en befintlig järnvägs korsning i marknivå med en planskild sådan. Anslutningen till perrongen ska bidra till god tillgänglighet för tågresenärer. Det är också viktigt att bron upplevs som trygg under såväl dygnets mörka som ljusa timmar. Området runt en tågstation kan ofta upplevas som otrygg och öde under de timmar trafiken inte är speciellt stor. Därför är genomsiktighet och ljussättning viktiga delar för en ökad trygghet.

Bron ska ses som ett trevligt och naturligt inslag i omgivningen. En plattbro i trä har de fördelarna att konstruktionshöjden kan göras relativt låg, alltså kommer bron upplevas som smäcker. Materialvalet trä genomsyrar hela konstruktionen, där även synliga detaljer såsom trappor och räcken i så stor utsträckning som möjligt ska utföras i trä. Detta för att bidra till ett trivsamt helhetsintryck, där bron ses som en naturlig förlängning av de omkringliggande skogspartierna.

## **9.3 Produktion**

Brobanan kommer bestå av en kontinuerlig tvärspäänd platta av limträbalkar. Byggprocessen påbörjas med att grundläggningen görs med pålning på norrsidan av perrongen och plattgrundläggning på sydsidan. Sedan platsgjuts ändstöden och perrongens mittstöd, samtidigt som de tre återstående stöden kommer färdiga från fabrik och lyfts på plats. Broplattan levereras sedan i konsoler som sammanfogas och tvärspanns enligt tidigare beskrivning. Därefter läggs en asfaltsbeläggning och montage av räcken, vattenskydd och skarvar sker.

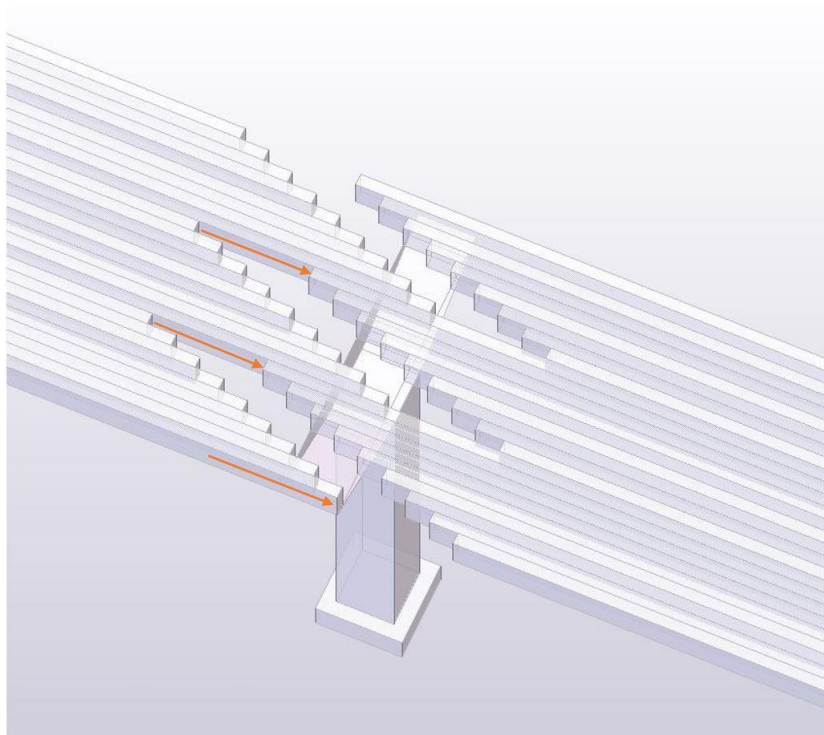
### **9.3.1 Grundläggning**

I och med att marken norr om perrongen består av lös kohesionsjord kommer grundläggningen här ske genom pålning för stöden. Eftersom avståndet till berget är kort används spetsburna pålar. Jordförhållandena söder om perrongen är av högre kvalitet vilket gör att pelarna grundläggs med platta på mark. Mittstödet som är placerat mitt i perrongen behöver grundläggas om på nytt på grund av brons egentyngd och de dimensionerande laster som tillkommer. Perrongens grundläggning förstärks därför genom pålning ner till berget. Pelaren är gjord av prefabricerad betong och lyfts på plats likt träpelarna. För att underlätta för pålningsmaskinerna kommer en temporär väg att anläggas.



### 9.3.2 Brobana

Den tvärspända plattbron kommer att prefabriceras och komma i stycken förberedda för att sammanfogas till en kontinuerlig platta. Plattan görs utav cirka 600 mm höga limträbalkar som limmas och sedan spänns ihop av stålstänger som ligger tvärs genom plattan. För att få en kontinuerlig platta för hela brospannet kapas limträbalkarna i plattan stegvis, på detta vis fås en stark stumskarv som limmas och tvärspänns på byggplatsen.



Figur 9-8 Sammanfogning till stumskarv för kontinuerlig platta.

## 9.4 Underhåll och inspektioner

Då bron livslängd är satt till 120 år ska en underhållsplan upprättas. Inspektioner utförs på liknande sätt som för andra broar och sker enligt Trafikverkets rekommendationer, se kapitel 7.1. I tillägg till dessa finns mer specifika mätmetoder för trä. Inspektion av brobanans undersida med tillhörande anslutningar och dess pelare kan göras med hjälp av en liftanordning från marken utan att påverka tågtrafiken. De vanligaste underhållsåtgärderna för träbroar har visat sig vara räcken som skadats, tvärspänning som behövs efterspännas och ytbehandlingar som förbättringsmålats (Pousette, Träbroar - konstruktion och dimensionering, 2008). Dessa delar blir därför extra viktiga att inspektera.

För att öka beständigheten på bron behandlas träet med ett impregneringsskydd. Det är också viktigt att träet hålls torrt så att fukt får möjlighet att torka ut. Detta görs med kontinuerlig rengöring så att fuktbindande material avlägsnas från konstruktionen och växtligheten runt omkring bron röjs bort. För att ytterligare skydda konstruktionen från klimatpåverkan kläs den bärande konstruktionen och ändträet in med träpanel. Resistiva fuktmätare används vid kontroll av fuktt innehåll för att inte skada konstruktionen. Om inspektionerna visar skador på träet kommer dessa förbättringsmålats eller bytas ut och återvinnas.

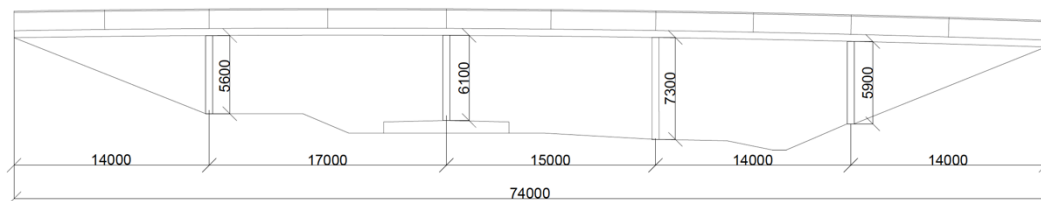
Enligt Pousette kan träets fuktegenskaper vid uttorkning medföra att de tvärspända plattornas spännkraft minskar. Detta måste kontrolleras och spännkrafterna uppmäts då med domkraft och lastcell.



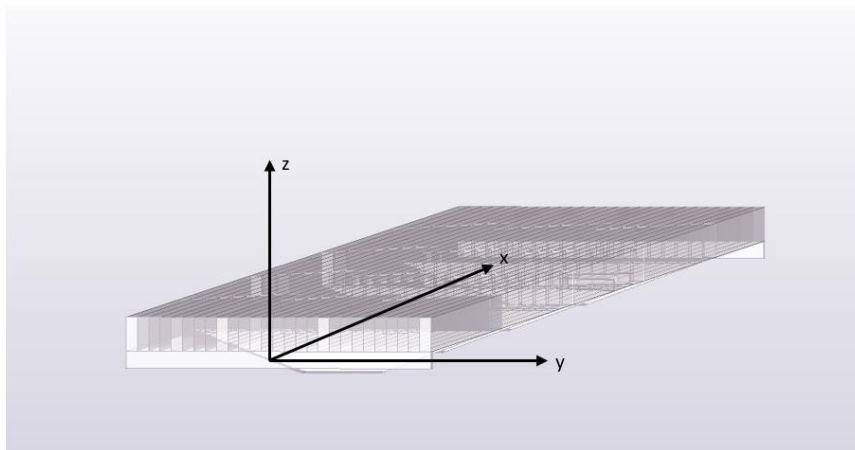
## Del 2 – Preliminärdimensionering

I denna del görs en preliminärdimensionering av tidigare valt brokoncept. Detta innebär att de dimensionerande lasteffekterna beräknas. Brobanepattan, pelare och övriga konstruktionsdetaljer dimensioneras sedan för att klara dessa lasteffekter. Krav och råd för beräkningar har hämtats från Trafikverket och Eurokoder. Bron kontrolleras både i brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd.

Att dimensionera innebär en iterativ process där man utgår från uppskattade värden och kontrollerar dessa. Om kontrollen är okej kan lägre dimensioner användas för att på så sätt få ner materialåtgången. Detta upprepas tills en optimerad konstruktion är dimensionerad. I beräkningarna nedan har ett startvärde antagits vid dimensionering, men dessa redovisas ej i bilagorna. I bilagorna redovisas de slutgiltiga värdena på bronns dimensioner, efter itereringsprocessen är klar.



Figur 1 Visar brobanans profil. Brostöden numreras från vänster till höger där ändstöden utgör nummer ett och sex.



Figur 2 Visar koordinatsystemet som använts vid alla beräkningar där x-led är längsmed brobanan, y-led är tvärs brobanan och z-led är vinkelrät mot brobanan.

## 10 Laster och lastkombinationer

De laster som ska tas i beaktning vid dimensionering av bron anges i Trafikverkets kravskrift Krav Brobyggande (Trafikverket, 2016). Karakteristiska laster som anges i Eurokoder har

använts tillsammans med partialkoefficienter och kombinationsfaktorer för att räkna fram dimensionerande lasteffekter.

## 10.1 Karakteristiska laster

Brons egentygnd beror på dess dimensioner. Att beräkna denna kräver därför ett iterativt förfarande där preliminära brodimensioner sätts för att få en uppskattning av storleksordningen hos egentygnden. När brobanans slutliga dimensioner i ett senare skede slagits fast krävs en uppdatering av egentygnden så att dessa stämmer överens. Kontroller av brons bärförmåga måste därefter göras ytterligare en gång för att verifiera att bärförmågan är stor nog att klara de nya lasteffekter som en justerad egentygnd ger. För att få egentygnden som en ytbelastning multipliceras träplattan och asfaltsbeläggnings tjocklek med dess karakteristiska tungheter angivna i (SS-EN 1991-1-1). Räcket anges i Eurokod som en utbredd last i brons längsriktning. En förenkling görs i form av att de tvärspända stålstagens tillskott till träplattans egentygnd anses vara försumbara. Detta då dess volym är liten i förhållande till broplattans totala volym. Egentygnden modelleras som en permanent jämnt utbredd last.

Då bron ligger i anslutning till en tågstation anses det troligt att folksamlingar uppstår i samband med på- och avstigning. Gång- och cykelbron dimensioneras därför för en trafiklast som motsvarar det karakteristiska värdet för folksamling som anges i (SS-EN 1991-2). Trafiklasten ses som en variabel last som ska placeras i ett eller flera fack på ett så ogynnsamt sätt som möjligt.

Servicefordon och plogbil ska ha möjlighet att köra på bron. Detta modelleras som en punktlast som kan placeras vart som helst på brobanan, på ett så ogynnsamt sätt som möjligt. Punktlasten från servicefordon är dimensionerande varvid andra mindre punktlaster ej behöver beaktas. I och med att bron anses plogad dimensioneras den ej för snölaster.

I (SS-EN 1991-2) anges att bron ska dimensioneras för en horisontell punktlast,  $Q_{fwk}$ . Storleken på denna bör vara det största av:

- 10 % av den utbredda lasten
- 60% av servicefordonets totala tyngd

I detta fallet är den förstnämnda störst och används därför vid beräkning av lasteffekter.

Då två av brofacken ligger över järnväg kommer aerodynamiska laster att uppstå vid förbipasserande tåg. Framför tåget trycks luften uppåt vilket ger en gynnsam inverkan då denna är betydligt mindre än egentygnden och verkar motriktat denna. Bakom tåget uppkommer däremot en sugande kraft som verkar på brobanan i samma riktning som egentygnd och trafiklast. Denna aerodynamiska last modelleras som en variabel utbredd last som kan ligga i de två fack som tåg passerar under. Den beräknas enligt Eurokod (SS-EN 1991-2) med dimensionerande hastighet 120 km/h och 5,3 meter mellan tåg och stöd. Lasten fås i Eurokod som en ytlast och multipliceras med bredden för respektive brofack för att få lasten i N/m längs spännvidden.

Aerodynamiska laster påverkar även mittstöden stående vid sidan av rälsen, dessa modelleras som en utbredd last längsmed pelarens höjd. Storleken på lasterna beräknas på samma sätt som de aerodynamiska laster som verkar på brobanaplattan. Den enda skillnaden är att ytlasten multipliceras med stödets bredd istället för broplattans bredd. Ingen aerodynamisk last beaktas mot stöden i tågets färdriktning, inte heller görs någon reduktion för tågets utformning då alla tågtyper förväntas åka på spåret.

Vindlasten i x- och y-led beräknas med en förenklad metod enligt (SS-EN 1991-1-4:2005). Där anges följande samband för att beräkna vindlasten i y-led,  $F_{vy}$ . Detta görs enligt nedanstående ekvation. Rekommenderat värde för plattbroar är att vindlasten i brobanans längdriktning uppgår till 25 % av vindlasten i y-riktningen.

$$F_{vy} := \frac{\rho \cdot V_b^2 \cdot C_y \cdot A_{refy}}{2}$$

där

- $\rho$ , densiteten för luft.
- $V_b$ , luftens medelhastighet för den specifika platsen.
- $C_y$ , formfaktor.
- $A_{refy}$ , referensarea.

Formfaktorn beror på en mängd faktorer, bland annat terrängtyp som sattes till Typ 1, vilket är den värsta av relevanta terrängtyper för bron. Formfaktorn beror även på referenshöjden vilket motsvarar den uppskattade konstruktionshöjden, 8 meter. Även räckets utformning påverkar värdet på formfaktorn. Referensarean togs fram i x-z-planet och likt formfaktorn beror den på valet av räcke.

Vindlasten i z-led beräknas på samma sätt som i y-led men med en annan referensarea. Referensarean sätts till överbyggnadens area i x-y-planet. Även formfaktorn skiljer sig men beror på samma sätt av brobredden samt räckesvalet.

Temperaturlaster hanteras genom att se till att bron har möjlighet att utvidga sig i längdled genom rörelsefogar. Detta avhandlas i kapitel 13.2.

Enligt (SS-EN 1991-1-7:2006) behöver inte olyckslast på brons pelare beaktas då avståndet från järnvägens spårmit till brostöd är större än fem meter. Istället görs en kontroll av att lasteffekterna då ett stöd skulle vara avkört inte överskrider de dimensionerande lasteffekterna. Detta görs i kapitel 10.4.

Noggranna beräkningar av karakteristiska laster finns i bilagor. I Tabell 10-1 återfinns en sammanställning av de karakteristiska laster som bron behöver dimensioneras för. Där finns även partialkoefficienter och nedräkningsfaktorer vid lastkombinationer som använts. Dessa är hämtade från (SS-EN 1990).

TYP AV LAST	BETECKNING		KÄLLHÄNVISNING	$\gamma$	$\Psi_0$	BILAGA
EGENTYNGD	$g_z$ [kN/m]	18,36	(SS-EN 1991-1-1)	1,35	1	10
PERSONLAST	$q_{\text{person}}$ [kN/m]	27,00	(SS-EN 1991-2)	1,5	-	-
SERVICEFORDON	$Q_{\text{serv}}$ [kN]	120,00	(SS-EN 1991-2)	1,5	-	-
HORISONTELL PUNKTLAST	$Q_{\text{fik}}$ [kN]	199,80	(SS-EN 1991-2)	1,5	1	-
VINDLASTER PÅ BROBANA	$F_{\text{vxb}}$ [kN]	35,87	(SS-EN 1991-1-4:2006)	1,5	0,3	11
	$F_{\text{vy}}$ [kN]	143,50		1,5	-	
	$F_{\text{vz}}$ [kN]	349,60		1,5	-	
VINDLASTER PÅ PELARE	$q_{\text{vxp}}$ [kN/m]	0,95	(SS-EN 1991-1-4:2005)	1,5	0,3	15
	$q_{\text{vyp}}$ [kN/m]	0,79		1,5	0,3	
AERODYNAMISK LAST PÅ BROBANA	$q_{\text{aerob}}$ [kN/m]	1,25	(SS-EN 1991-2)	1,5	0,8	-
AERODYNAMISK LAST PÅ PELARE	$q_{\text{aerop}}$ [kN/m]	0,06	(SS-EN 1991-2)	1,5	0,8	15

Tabell 10-1 Visar de karaktäristiska lasterna som verkar på bron, partialkoefficienter,  $\gamma$  och nedräkningsfaktorer,  $\Psi_0$ .

## 10.2 Lastkombinationer i brottgränstillstånd

För att få fram de dimensionerande lasteffekterna måste ett antal lastkombinationer undersökas. Detta görs enligt en modell som bygger på antaganden vilka är en förenkling av verkliga förhållanden. De karaktäristiska laster som redovisas i avsnitt 10.1 delas in i permanenta och variabla laster som verkar antingen som en punktlast eller en jämnt utbredd last. Exempel på en permanent last är brobanans egentyngd medan en variabel last kan vara laster från servicefordon eller gångtrafikanter. Utbredda variabla laster anses verka antingen i ett eller flera hela fack. De karaktäristiska lasterna multipliceras med en partialkoefficient  $\gamma$  för att få lastens dimensionerande värde. Då olika laster kan uppträda samtidigt används i dessa fall en lastreduktionsfaktor  $\psi_0$  för de variabla laster som ej är huvudlast. Samtliga variabla laster testas som huvudlast. I och med att vindlasten i vertikalled verkar uppåt och är betydligt mindre än brons egentyngd kommer den alltid att ha gynnsam inverkan och får ej tillgodoräknas. Laster från gång- och cykeltrafik anses ej kunna verka samtidigt som last från servicefordon. Övriga laster anses kunna verka samtidigt. De partialkoefficienter och lastreduktionsfaktorer som använts för olika laster redovisas i Tabell 10-1 ovan.

Den största lasteffekten fås då lasterna placeras på ett så ogynnsamt sätt som möjligt. För att hitta de dimensionerande lastfallen utvärderas samtliga kombinationer för variabla utbredda laster placerade i olika fack, samt att punktlast placeras antingen i mitten av ett fack eller strax intill ett stöd. Samtliga lastkombinationer testas för såväl vertikala laster som horisontella vindlaster tvärs bron i Matlab, för att få fram dimensionerande lasteffekter. Se Bilaga 5 och Bilaga 7 för beräkningar.

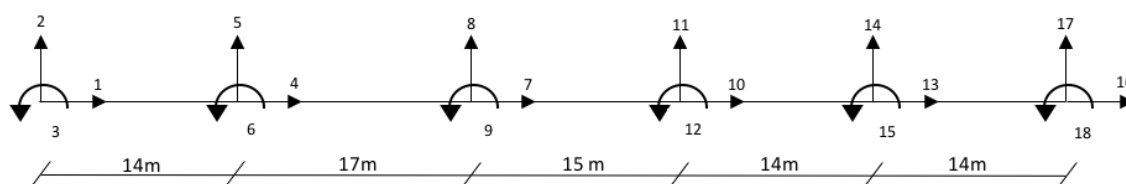
## 10.3 Dimensionerande lasteffekter

De dimensionerande lasteffekterna beräknas i Matlab med hjälp av CALFEMs 2-dimensionella beräkningsmodell. De tvärsända träbalkarna ses som en samverkande enhet och modelleras således som en balk. Beräkningsmodellen bygger på att hela bron delas upp i ett antal element och noder. Varje nod förses med en vertikal-, en horisontell- samt en rotationsfrihetsgrad. Styvhetsmatrisen hos varje element införs för att bilda en global styvhetsmatris. De yttre laster som verkar på bron införs i en lastvektor där punktlaster verkar direkt i en frihetsgrad medan utbredda laster verkar över ett helt element. Randvillkor sätts så att vertikala förskjutningen i stöden är lika med noll, för stödet på perrongen låses även förskjutningen i horisontell ledd. Detta är en förenkling av verkligheten då en liten förskjutning kan ske även i stöden om dessa ”trycks ihop”, en mer noggrann modellering hade varit att se stöden som styva fjädrar. Styvhetsmatrisen,  $K$ , förskjutningsvektorn,  $a$ , lastvektorn,  $f_i$ , och en nodkraftvektor,  $f_b$ , kan genom balkteori härledas fram till sambandet:

$$Ka = f_b + f_l$$

Styvhetsmatrisen är uppbyggd av varje elements elasticitetsmodul, area och yttröghetsmoment. Således är styvhetsmatrisens alla positioner kända. Sedan bygger modellen på att förskjutningarna är kända på de positioner där nodkrafterna är okända och vice versa. Då är ekvationssystemet lösningsbart och det är möjligt att lösa ut de förskjutningar och nodkrafter som ej varit kända sedan tidigare. Detta används för att få fram reaktionskrafter i de positioner där stöden är låsta och förskjutningen är satt till noll. På samma sätt fås förskjutningarna i de positioner som ej varit låsta, vilket då kan användas för att visa brons utböjning vid belastning. Nodförskjutningarna används sedan för att beräkna snittkrafter i varje enskilt element längs balken. Genom att undersöka den största normalkraft, tvärkraft och moment som uppkommer längs balken fås de dimensionerande lasteffekterna.

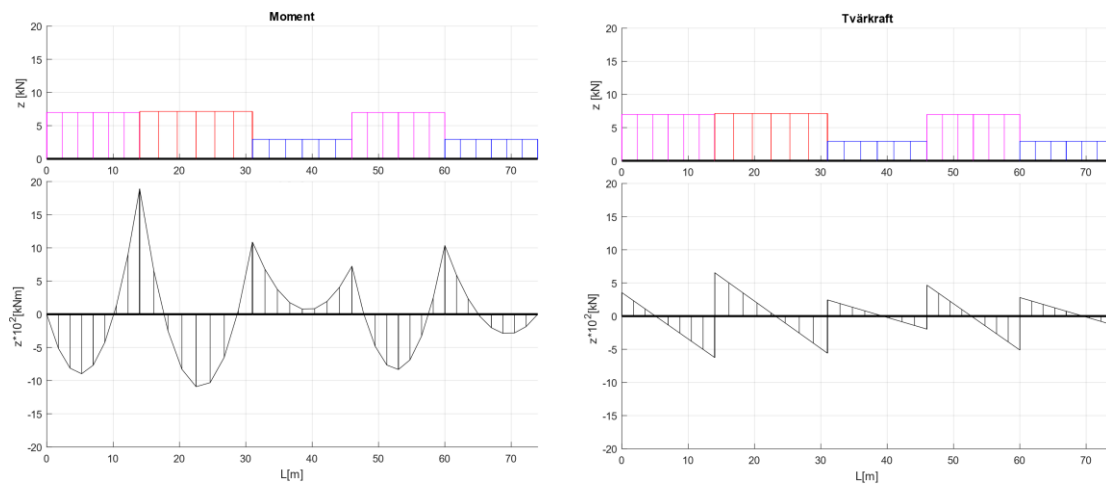
I Figur 10-1 visas exempel på hur beräkningsmodellen ser ut för fem element där noder sätts i varje stöd. I detta fall skulle randvillkoren sättas så att förskjutningen i frihetsgraderna 2, 5, 7, 8, 11, 14 och 17 är lika med noll. För att vid beräkningar få en modell som ligger närmare verkligheten delas varje fack upp i flera element.



Figur 10-1 Visar beräkningsmodellen över bron som använts vid beräkningarna i Matlab.

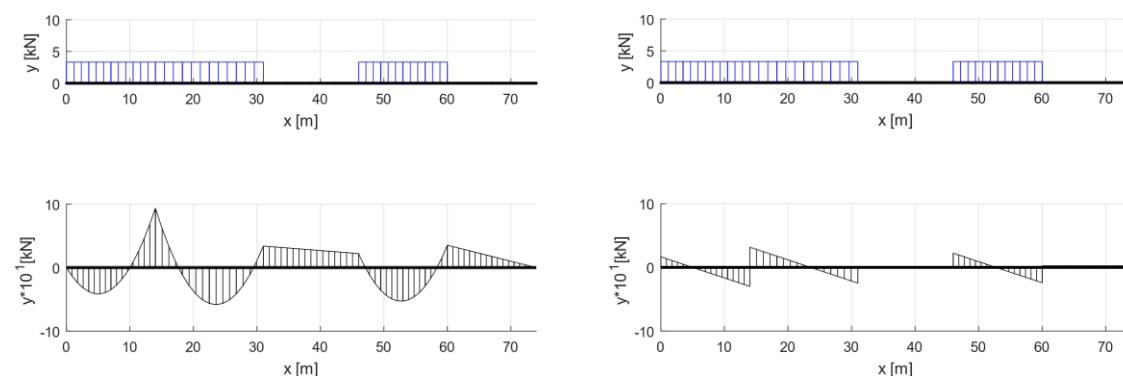
För att beakta laster verkande i såväl x-, y- som z-riktningen görs två modeller av bron. I den första modellen där bron ses i x-z planet verkar vertikala laster i form av egentynngd, trafiklast samt punktlast från servicefordon. Längs bron verkar vindlast och en horisontell punktlast. Storleken och kombinationer av dessa laster görs enligt det som avhandlas i kapitel 10.1 och Lastkombinationer i brottgränstillstånd. Modellen ger stödets vertikala reaktionskrafter, moment kring y-axeln samt tvärkrafter för skjuvning i z-riktningen. Även normalkrafter längs bron beräknas. Storleken på dessa dimensionerande lasteffekter redovisas i Tabell 10-2 och

Tabell 10-3. I Figur 10-2 visas moment och tvärkraftsdiagram samt vilka laster som verkar i det dimensionerande fallet.



Figur 10-2 Blått symboliserar egentyngheten, rosa är egentynghet och variabel last från folkmassa och rött är egentynghet, folksamling samt aerodynamisk last från tåg. Lastfördelning samt momentdiagram för dimensionerande moment t.v. och lastfördelning samt tvärkraftsdiagram för dimensionerande tvärkraft t.h.

I den andra modellen som görs ses bron ovanifrån, i x-y planet. De laster som nu verkar på bron är horisontella vindlaster både längs och tvärs bron samt horisontell punktlast längs bron. Då normalkraften är frikopplad från tvärkraft och moment i CALFEM-beräkningarna kommer normalkraften vara densamma i båda beräkningsmodellerna. Lasteffekter och reaktionskrafter som uppkommer av horisontella laster i y-led redovisas i diagramform i Figur 10-3. Storleken på dimensionerande lasteffekter och reaktionskrafter visas i Tabell 10-2 och Tabell 10-3.



Figur 10-3 Visar dimensionerande lastfall för horisontella krafter. I de spann det är blått verkar vindlast. Lastfördelning samt momentdiagram för dimensionerande moment t.v. och lastfördelning samt tvärkraftsdiagram för dimensionerande tvärkraft t.h.

Dimensionerande reaktionskrafter i stöd						
Reaktionskraft i:	Stöd 1	Stöd 2	Stöd 3	Stöd 4	Stöd 5	Stöd 6
x-led [kN]	0	0	315,9	0	0	0
y-led [kN]	21,2	61,7	61,5	56,4	57,3	21,0
z-led [kN]	388,2	1198,1	1179,9	1039,8	1091,5	392,7

Tabell 10-2 Visar de reaktionskrafter som blir dimensionerande i de olika riktningarna. I x-led fås endast en reaktionskraft eftersom endast ett stöd är låst i denna riktning.

Dimensionerande lasteffekter					
	Fältmoment [kNm]	Stödmoment [kNm]	Maxtvärkraft [kN]	Mintvärkraft [kN]	Normalkraft [kN]
Vertikalt	1206,7	1775,5	603,1	-614,2	
Horisontellt	61,9	81,7	27,5	-27,8	309,1

Tabell 10-3 Visar de dimensionerande momenten, tvärkrafterna och normalkrafterna som verkar på bron.

## 10.4 Lasteffekter med ett stöd ur funktion

Vid den händelse att ett av stöden närmast järnvägen skulle köras av görs en kontroll av att resterande bro och brostöd klarar av att bära sin egentyngd. Genom att i beräkningsmodellen för lasteffekter låsa upp förskjutningsfrihetsgraden för det stöd som körs på görs en modell för att få fram de lasteffekter som uppstår på bron efter att detta skett. Den enda last som i ett sådant scenario anses verka på bron är dess karakteristiska egentyngd. Analysen utförs för stöd två, tre eller fyra och de lasteffekter och reaktionskrafter som uppstår i övriga stöd redovisas i Tabell 10-4 och Tabell 10-5. Där ses att samtliga lasteffekter och reaktionskrafter är lägre än de som använts för dimensionering i brottgränstillstånd. Alltså skulle bron teoretiskt klara att bära sin egentyngd i ett sådant fall. Dock är en beräkning utförd på detta viset förenklad då det vid själva påkörningstillfället skulle uppstå stora krafter som ej analyserats hur de påverkar den övriga strukturen.

Reaktionskrafter i övriga stöd, med ett stöd ur funktion						
	Stöd 1	Stöd 2	Stöd 3	Stöd 4	Stöd 5	Stöd 6
z-led [kN]	230,9	517,6	590,8	504,6	473,1	119,4

Tabell 10-4 Visar de vertikala reaktionskrafter som blir i övriga stöd efter att ett av de stöden intill järnväg körs av.

Största lasteffekter med ett stöd ur funktion				
	Fältmoment [kNm]	Stödmoment [kNm]	Maxtvärkraft [kN]	Mintvärkraft [kN]
Vertikalt	1450,9	1664,2	338,3	-294,7

Tabell 10-5 Visar de största moment och tvärkrafter som verkar på bron efter att ett av stöden intill järnväg körs av.

## 10.5 Överslagsberäkning

För att uppskatta rimligheten i de beräknade värdena gjordes en överslagsberäkning för hand i Mathcad. Denna utfördes med hjälp av elementarfall i enlighet med vinkeländringsmetoden (Ekh, Hansbo, & Brouzoulis, 2015). Det lastfall som gav de dimensionerande momenten användes för att sedan kunna göra jämförelsen, se Figur 10-2. Resultatet visade att överslagsberäkningens moment skiljde sig som mest cirka 20 % från de beräknade värdena. Därmed drogs slutsatsen att beräkningarna och modellen som använts är rimliga och kan därför användas vid fortsatt dimensionering. Utförligare beräkningssteg redovisas i Bilaga 12.



# 11 Dimensionering av brobanan i brottgränstillstånd

Dimensionering av brobaneplattan har gjorts i enlighet med Eurokoder samt krav från beställaren. Dimensioneringen utförs genom att först beräkna bärförmågan och därefter kontrollera kapaciteten utifrån de lasteffekter som erhöles i kapitel 10. Utifrån detta kan brobaneplattans dimensioner sedan itereras fram. Utförligare beräkningar återfinns i Bilaga 13-15.

Bron har dimensionerats med virkeskvalitet GL36c och alla karakteristiska hållfasthetsvärden är hämtade från Bärande konstruktioner Del 1 (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, 2013). I beräkningarna som gjorts har ett rektangulärt tvärsnitt använts då lutningen på brobanan anses försumbar. Klimatklass 2 väljs för bron (Trafikverket, 2011).

## 11.1 Kontroll av tvärkraftskapacitet

Kontroll av brobaneplattans tvärkraftskapacitet görs enligt metod från Bärande konstruktioner del 1 (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, 2013). För att få fram skjuvspänningen används en förenkling av Jourawskis formel med hänsyn till rektangulära tvärsnitt. Ekvationen beräknas med brobaneplattans effektiva bredd som tar hänsyn till att träet kan vara sprucket.

$$\tau(z) = \frac{S(z) \cdot V}{I \cdot b(z)} = \frac{\frac{bh}{2} \cdot \frac{h}{4} \cdot V}{\frac{bh^3}{12} \cdot b} = \frac{3V}{2bh}$$

Enligt Eurokod ska en kontroll göras så att skjuvspänningen på grund av last är mindre än träets skjuvhållfasthet. Detta kan också uttryckas som ett villkor av tvärkraft, där tvärkraften på grund av lasteffekt  $V_{Ed}$  ska vara mindre än den tvärkraft som tvärsnittet kan bära upp då skjuvhållfastheten är uppnådd,  $V_{Rd}$ . Detta uttrycks då som:

$$\tau(z) \leq f_{vd}$$

eller villkor som form av tvärkraft

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Kontrollen visar att 3 % av tvärsnittskapaciteten utnyttjas för de valda dimensionerna.

## 11.2 Kontroll av böjning med inverkan av normalkraft

Kontroll av brobaneplattans kapacitet görs för böjning med inverkan av både en tryckande respektive dragande normalkraft. Kontrollerna görs i enlighet med (SS-EN 1995-1-1:2004). För att träets hållfasthet inte skall överstigas får summan av spänningskvoterna inte överskrida ett. För att ta hänsyn till det biaxiella spänningstillståndet och den ökade kapaciteten på grund av plasticering används faktorn  $k_m$ .

*Samtidig böjning och axiellt drag*

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.18)$$

*Samtidig böjning och axiellt tryck*

$$\left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.20)$$

Beräkningarna visar att alla krav är uppfyllda och den högsta utnyttjandegrad fås ur ekvation (6.17) och är 43,2%. Det sker alltså då det verkar en dragande normalkraft i x-riktning tillsammans med ett reducerat böjmoment runt y-axeln och ett reducerat moment kring z-axeln. Genomförda beräkningar återfinns i Bilaga 13

## 11.3 Dimensionering av tvärspänning

Syftet med tvärspänningen är att spänna ihop trälamellerna tillräckligt mycket för att dessa ska samverka som en enhetlig platta. Tvärspänningen består av höghållfasta stålstag som spänns upp. Kraften från de uppspända stålstagen fördelas via en spännbricka och en större tryckfördelningsplatta ut i brobaneplattan.

### 11.3.1 Dimensionering av spännstag

För att säkerställa att broplattan verkar som en enhet används metoden som anges i Eurokod (SS-EN 1995-2:2004). Där anges att ”Spännkrafter efter långtidsförluster ska vara så stora att det inte sker någon förskjutning mellan lameller.” Detta säkerställs genom att följande villkor uppfylls:

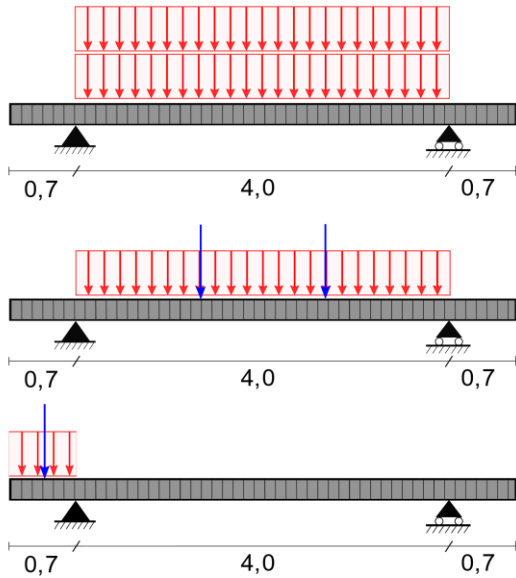
$$F_{v.Ed} \leq \mu_d \cdot \sigma_{p,min} \cdot h$$

Där

- $F_{v.Ed}$ , dimensionerande skjuvkraften per längdenhet.
- $\mu_d$ , dimensioneringsvärde på friktionskoefficienten. Sätts på säker sida till 0,2.
- $\sigma_{p,min}$ , minsta värdet för kvarstående tryckspänning från förspänningen efter långtidsförluster.
- $h$ , plattans tjocklek.

Den dimensionerande skjuvkraften per längdenhet fås genom att undersöka tre olika lastfall för att se vilken som ger störst kraft i stötvärsnitt. De fall som undersöks är:

- Egentyngd tillsammans med trafiklast mellan stödets två lager.
- Egentyngd tillsammans med punktlast för två hjul mellan stödets två lager.
- Egentyngd tillsammans med punktlast för ett hjul utanför stödets lager.



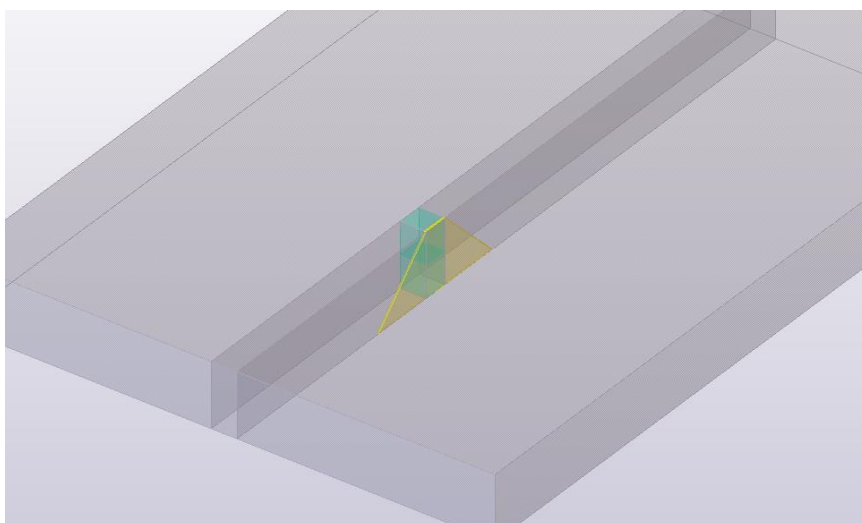
Figur 11-1 Principskisser över vilka lastfall som analyseras. Notera att i de två övre lastfallen finns två friktionsplan mellan upplag och platta, medan det nedre endast har ett.

Dimensionerande skjuvkraft beräknas enligt följande samband:

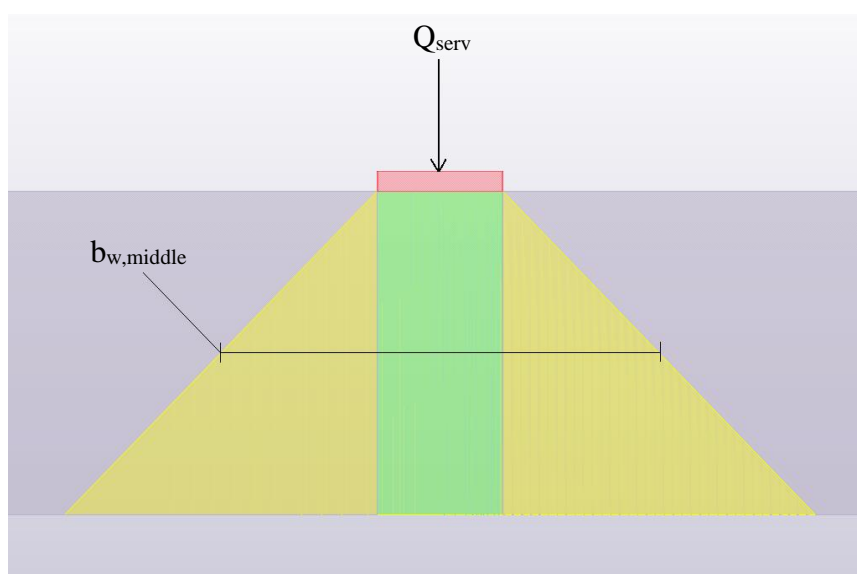
$$F_{vEd,i} = \gamma_G * g_k + \sum_i \gamma_{Qi} * q_{ki} + \sum_j \frac{\gamma_{Q,j} * Q_{serv,j}}{b_{w,middle,j}}$$

Punktlasten kommer från servicefordonets ena hjul och dess karakteristiska värde,  $Q_{serv}$ , verkar på en yta som är 0,2x0,2 meter. Lastspridningsvinkeln genom asfaltsbeläggningen och trälamellerna sätts till 45°. Detta ger att lasten verkar på en större bredd desto längre ner i broplattan den sprids. I mitten av broplattan uppgår bredden till  $b_{w,middle}$ . Punktlastens bidrag till  $F_{v,Ed}$  fås genom att punktlastens dimensionerande värde divideras med längden den verkar på i broplattans mitt. För de jämnt utbredda lasterna verkar lasten per längdenhet, därav adderas den dimensionerande lasten till eventuell punktlast för att få dimensionerande lasteffekt.

Vid jämnt utbredd last kommer ingen förskjutning ske mellan lameller under lasten i och med att varje lamell är lika mycket belastad. Skjuvplan kommer istället uppstå vid uppläggningsen. För en punktlast uppstår skjuvplan på var sida om den belastade lamellen. När egentynghd och punktlast kombineras antas att skjuvplan endast uppstår vid uppläggningsen. Detta antagande är på säker sida i och med att färre antal skjuvplan ger en mindre verkande friktionsyta. Konsekvensen blir att i de lastfall där lasterna är placerade mellan stödets två lager kommer friktionen att verka vid båda upplagen. Friktionsarean blir alltså dubbelt så stor jämfört med när lasterna placeras utanför stödets lager och friktionen endast verkar vid ett upplag.



Figur 11-2 Visar en 3-dimensionell skiss som visar punktlastens lastspridning längs en lamell i plattan. Grön yta motsvarar punktlasten och gul motsvarar arean den sprids över.

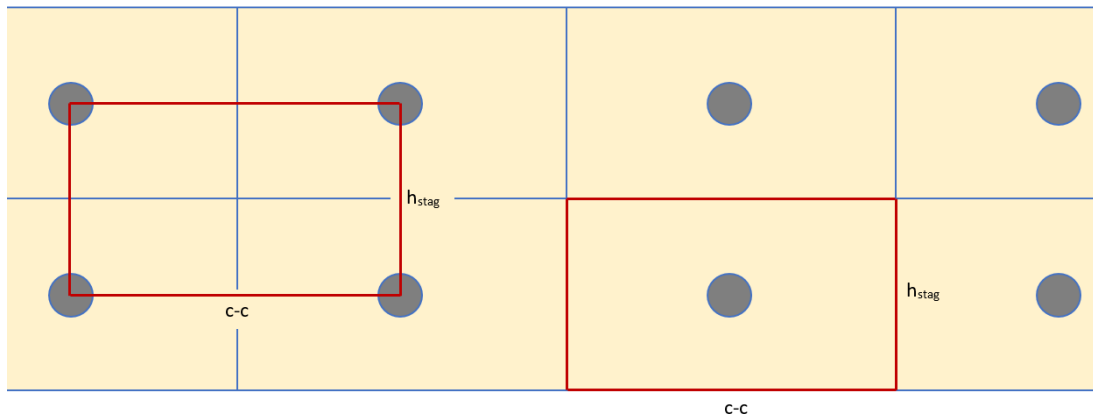


Figur 11-3 Visar en 2-dimensionell skiss över punktlastens lastspridning längs trälamellen. Lastspridningen i träplattans mitt,  $b_{w,middle}$  multipliceras med träplattans höjd för att få den yta som friktionen teoretiskt verkar på för att förhindra vertikal förskjutning på grund av last.

Stagen spänns upp till ett något lägre värde än den dimensionerande flytgränsen,  $f_{yd}$ . Kraften i varje stag blir alltså uppspänningen gånger stagets area,  $\sigma_s \cdot A_s$ . Den initiala tryckspänningen från förspänningen beräknas genom att kraften i varje stag fördelas över den teoretiska yta som ett stag anses verka på, se Figur 11-4. Bredden på den teoretiska ytan utgörs av stagens horisontella cc-mått, och höjden utgörs av stagens vertikala cc-mått, här benämnt som  $h_{stag}$ .

Kvarstående tryckspänning i brobaneplattan efter lång tid antas vara 50 % av den initiala tryckspänningen, vilket visas i nedanstående formler.

$$\sigma_{p,\text{initiell}} := \frac{\sigma_s \cdot A_s}{h_{\text{stag}} \cdot \text{cc}} \quad \sigma_{p,\text{min}} := 0.5 \cdot \sigma_{p,\text{initiell}}$$



Figur 11-4 Illustration av den teoretiska yta som kraften från varje spännstag antas verka på.

Det som principiellt analyserats med den förenklade metoden är tvärspeänningens förmåga att åstadkomma tillräckligt stor friktion mellan trälamellerna för att dessa inte ska förskjutas i förhållande till varandra. Ytan som en punktlast anses verka på i x-z planet består av broplattans hela höjd, samt den längd punktlasten spridits ut på i broplattans mitt, medan en jämnt utbredd last anses verka per längdmeter över broplattans hela höjd. Kraften från friktionen måste alltså vara större på denna ytan än de skjuvande krafterna för att det villkoret ska vara uppfyllt. Analysen har gjorts i det mest kritiska snittet. En mer noggrann analys av tvärspeänningakrafterna i hela broplattan kan göras antingen genom modellering av plattan med finita elementmetoden eller med teorin för en ortotropisk platta. Dessa metoder är dock ej använda.

I (SS-EN 1995-2:2004) ställs krav på hur tätt stumfogarna i brobanan får placeras. I ett område med fyra lameller i bredd bör det inte finnas mer än en stumfog inom avståndet  $l_1$ .  $l_1$  beräknas enligt följande ekvation.

$$l_1 := \min \left( \begin{array}{c} (2 \cdot \text{cc}) \\ 30t \\ 1.2\text{m} \end{array} \right)$$

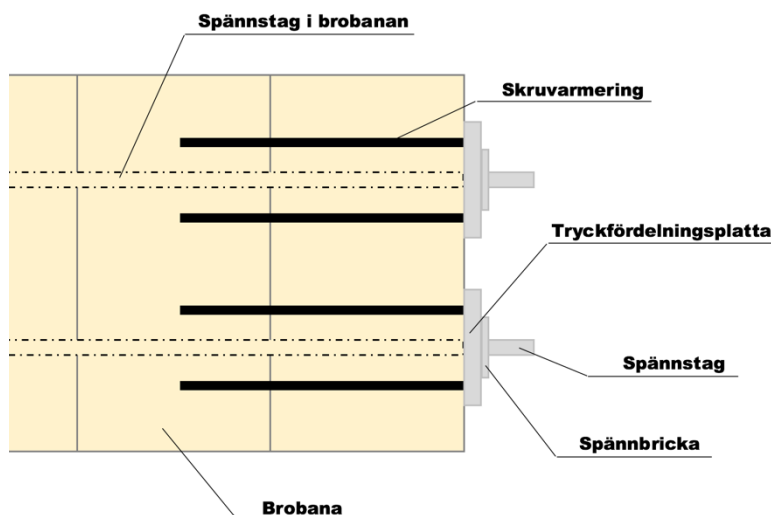
där

- **d**, avståndet mellan förspänningselementen.
- **t**, lamelltjockleken i förspänningens riktning.

Plattans stumfogar placeras utefter detta krav.

### 11.3.2 Dimensionering av stagbricka och tryckfördelningsplatta.

Då tvärstagen genom brobanan spänns upp ger det upphov till en spännkraft från stagens infästningar till sidan av brobanan. För att inte limträplattan ska krossas av spännkrafterna kommer en tryckfördelningsplatta placeras mellan stagfästena och brobanan för att fördela lasten så att limträets tryckhållfasthet inte överskrids. Utöver det kommer skruvarmering monteras under tryckfördelningsplattan för att ta upp en del av spännkraften. Spännstaget kommer att förankras i en spännbricka som trycker mot tryckfördelningsplattan för att förbättra lastspridningen ut i tryckfördelningsplattans kanter.



Figur 11-5 Utformning av staginfästning

Stålbrickans diameter väljs till 100 mm, tjocklek 7 mm och stålqualitén S355. Därefter beräknas brickans tryckkraftskapacitet genom att multiplicera stålbrickans area med dess flytspänning. Tryckkraftskapaciteten kontrolleras så att den är större än spännkraften.

Är kapaciteten inte tillräcklig måste en större diameter på brickan väljas. Efter kontroll enligt Bilaga 14 fastställs att en diameter på 100 mm är tillräcklig.

Skruvarna väljs till 12x300 mm med 280 mm gängor och en huvuddiameter på 15mm. De skruvas fast direkt i brobaneplattan innan tryckfördelningsplattan monteras. Skruvarmeringen kommer att kunna ta upp en del av spännkraften som motsvarar skruvarnas karakteristiska utdragsbärförmåga då skruvarna har lika stor kapacitet när de trycks in i träet som vid utdrag. Karakteristisk utdragsbärförmåga beräknas med följande formel, som hittas i (SS-EN 1995-1-1:2004).

$$F_{ax,k,Rk} := \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2}$$

där

- $n_{ef}$ , effektiva antalet skruvar.
- $f_{ax,k}$ , den karakteristiska utdragsbärförmågan vinkelrätt mot fiberriktningen för skruvarna.

- **d**, gängornas ytterdiameter på skruvarna.
- **l<sub>ef</sub>**, inträngningsdjup för den gängade delen på skruvarna.
- **k<sub>a</sub>**, minsta värdet av 1 och d/8.
- **α**, vinkeln mellan skruvens axel och fiberriktningen.

Enligt (SS-EN 1995-1-1:2004), är det minsta tillåtna avståndet mellan skruvarna fem gånger deras diameter och minsta avståndet från skruvarmeringen till brobanans kanter är fyra gånger skruvarnas diameter. Utefter dessa förhållanden placeras skruvarmeringen enligt Figur 15-5 och Figur 15-6.

Den kraft som inte tagits upp av skruvarmeringen kommer verka på träet i brobanan under tryckfördelningsplattan. För att träet inte ska krossas måste tryckfördelningsplattan ha en så stor area att spänningen i brobanan inte blir större än dess tryckkraftskapacitet vinkelrätt fiberriktningen. Tryckfördelningsplattan kommer att ha en större area än spännbrickan och ha samma stålqualität, därmed kommer tryckfördelningsplattan ha tillräcklig kapacitet för spännkraften. Bredden på tryckfördelningsplattan sätts till 250 mm och höjden till 200 mm.

### 11.3.3 Kontroll av krossning i brobanan.

Vid kontroll av krossning i brobanan jämförs limträets tryckkraftskapacitet med lasteffekten från staginfästningen. Den lasteffekt som limträet utsätts för är spännkraften från staget dividerat med tryckfördelningsplattans effektiva kontaktarea.

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{F_{spänn}}{A_{ef}}$$

Med effektiv kontaktarea menas tryckfördelningsplattans kontaktarea mot limträet plus ett tillägg för att träet parallellt fiberriktningen fördelar lasten ytterligare ut i plattan. Tillägget beräknas med formeln:

$$A_{ef} := h_{sbträ} \cdot b_{sbef} \qquad b_{sbef} := b_{sbträ} + 2 \min \left( \begin{array}{c} 0.03m \\ a_{trä} \\ b_{sbträ} \\ \frac{l_1}{2} \end{array} \right)$$

- **a<sub>trä</sub>** och **l<sub>1</sub>** är avståndet mellan tryckfördelningsplattornas kanter längsmed limträbalken i detta fall.
- **b<sub>sbträ</sub>** är bredden på tryckfördelningsplattan.

Den dimensionerande tryckhållfastheten för limträet multipliceras med en faktor för stämpeltryckseffekt, **k<sub>c,90</sub>** enligt (SS-EN 1995-2:2004). Slutligen kontrolleras att tryckspänningen i limträbalken är mindre än den dimensionerande tryckhållfastheten multiplicerat med faktorn för stämpeltryck.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Enligt beräkningar i Bilaga 14 kommer inte brobanan krossas vid staginfästningarna

## 12 Dimensionering av stödkonstruktioner

Bron över Hägernäs station har tidigare planerats för tre träpelare och en betongpelare på perrongen. Pelaren skulle vara i betong för att stå emot olyckslast från ett urspårat tåg. I och med att olyckslast inte behöver beaktas väljs även denna pelare att utformas i trä.

### 12.1 Dimensionering av mittstöd

Brons fyra mittstöd ska dimensioneras för att bära ner de laster som verkar på brobanepattan. Dessutom verkar vindlast och aerodynamiska krafter direkt på mittstöden. De horisontella laster som överförs från brobanepattan till stöden ses som en horisontell punktlast placerad i toppen av stöden. De vertikala laster som stöden ska bära ner sätts som en vertikal punktlast placerad i stödtvärsnittets mitt. Lasterna i respektive stöd ses i Tabell 10-2. Vindlast och de aerodynamiska laster som verkar direkt på stöden beräknas på det sätt som beskrivs i kapitel 10.1. Figur 12-1 visar hur alla punktlaster, vindlaster och aerodynamiska laster verkar på stöden.

Pelarna ska dimensioneras för knäckning. Detta görs med den metod som beskrivs i Bärande konstruktioner del 2 (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, 2011). Metoden tar hänsyn till andra ordningens moment då pelaren blir belastad i sidled samtidigt som en tryckande normalkraft verkar på pelaren. Ekvationen som används för att kontrollera knäckning är

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0k}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1$$
$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0k}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1$$

I denna metod analyseras bärverkets hållfasthetsvärden i olika riktningar,  $f_{c0k}$ ,  $f_{myd}$  och  $f_{mzd}$ , med lasteffekterna i samma riktningar. För att räkna ut böjspänningarna  $\sigma_{myd}$  och  $\sigma_{mzd}$  behövs knäckfallen för mittstöden i de olika riktningarna vilka fås utifrån ändarnas randvillkor. Knäckfallet ger därmed förutsättningarna för vilket elementarfall som ska användas vid beräkning av maximalt moment. Knäckfallet är nödvändigt även för beräkning av instabilitetsfaktorn  $k_c$ . Med hjälp av elementarfall beräknas maximalt moment för pelarna i både x-led och y-led. Det maximala momentet används i Naviers formel för att beräkna  $\sigma_{myd}$  och  $\sigma_{mzd}$ . Naviers formel används även för att beräkna tryckspänningen  $\sigma_{c0d}$  för den vertikala punktlasten. Instabilitetsfaktor  $k_c$  tar hänsyn till knäckning och beror av arean, yttröghetsmomentet, E-modulen, hållfastheten för tryck parallellt fibrerna,  $f_{c0k}$ , och knäcklängden för pelaren. Knäcklängden är längden på pelaren multiplicerad med en faktor  $\beta$  som beror på vilket Euler knäckfall som används.

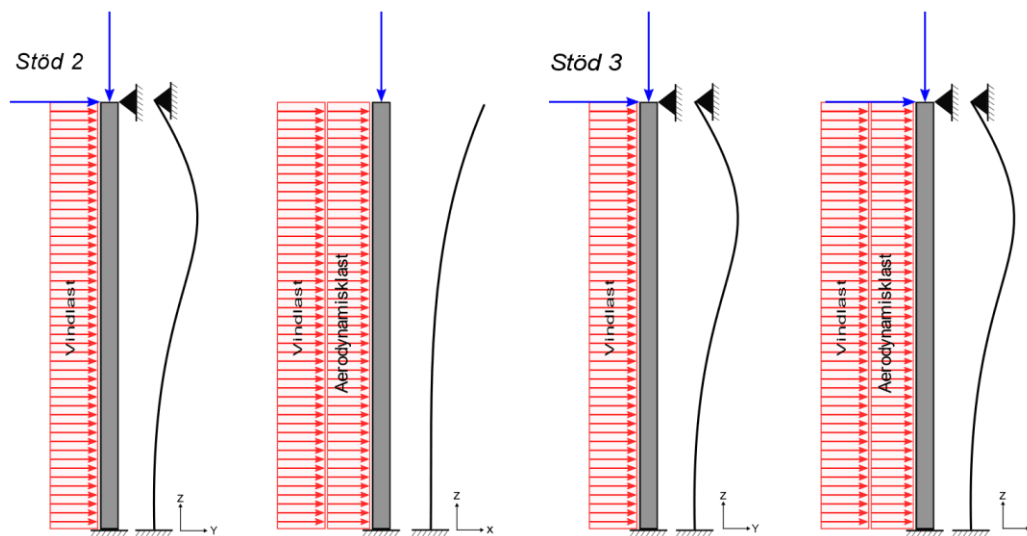
Med de dimensioneringsvillkor som presenterats tidigare blir knäckfallen för pelarna något mellan Eulerfall ett och Eulerfall tre. Här görs en förenkling i modellen där antingen Eulerfall ett eller tre väljs beroende på vilket stöd och i vilken riktning lasten verkar på stödet. Verkligheten är mer komplex än så och kan inte efterliknas exakt i något av de ideala knäckfallen.



Mittstödet på perrongen är låst i bronns x-led och y-led, därför väljs Eulerfall tre för knäckning i båda riktningarna. Resterande mittstöd är låsta i bronns y-led men fria i x-led och därför väljs Eulerfall ett för knäckning i x-riktningen och Eulerfall tre i y-riktningen. För Eulerfall ett är  $\beta$  lika med 2,25, medan  $\beta$  för Eulerfall tre är 0,85.

Kontroll görs för det värst utsatta stödet för respektive knäckfall. De stöd som således kontrolleras blir stöd två (från vänster), samt stödet placerat på perrongen (stöd tre från vänster). Dimensionerande punktlaster som verkar på stöden fås från Matlab-beräkningar och presenteras i Tabell 10-2. De utbredda laster som verkar på pelarna redovisas i kapitel 10.1. Då pelarnas längd varierar på grund av att marken är kuperad används det längsta stödets längd vid dimensionering, för att vara på säker sida. I beräkningen försummas mittstödens utbyggnad i toppen.

Eulerfall ett är det mest ogynnsamma knäckfallet vilket också visar sig i beräkningen då stöd två blir det dimensionerande och får en verkningsgrad på 90,7 %.



Figur 12-1 Beskrivning av hur de två kritiska mittstöden blir belastade i x- respektive y-riktningen. De röda är utbredda laster som verkar direkt på mittstöden och de blå är punktlaster som ska bäras ner från brobanan. Bredvid lastfallet visas det Euler-knäckfall som används vid knäckningsberäkning för respektive fall.

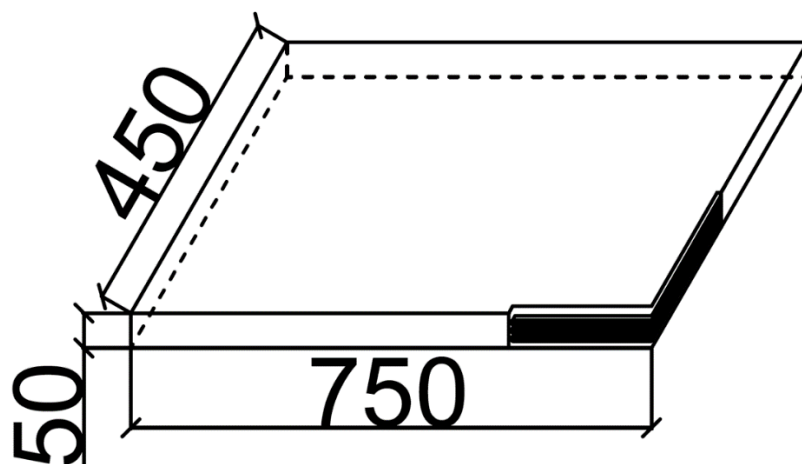
## 12.2 Utformning av lager

Lagera för brostöden utformas med tre stålplåtar med mellanliggande gummi. Ett omslutande gummihölje skyddar lagren från slitage på grund av väderpåverkan. För att brobanepattan ska klara trycket vinkelrätt fiberriktningen måste följande villkor uppfyllas.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

Den dimensionerande tryckspänningen i den effektiva kontaktarea vinkelrätt fiberriktningen,  $\sigma_{c,90,d}$ , måste alltså vara mindre än träets dimensionerande tryckhållfasthet vinkelrätt fibrerna,  $f_{c,90,d}$ , multiplicerat med en korrektionsfaktor  $k_{c,90}$ . Den effektiva kontaktytan beräknas på samma sätt som i avsnitt 11.3.3. Utifrån ovanstående ekvation kan en optimal area för lagerna tas ut med en längd på 750 mm och en bredd på 450 mm, enligt Figur 12-2. Beräkningar för

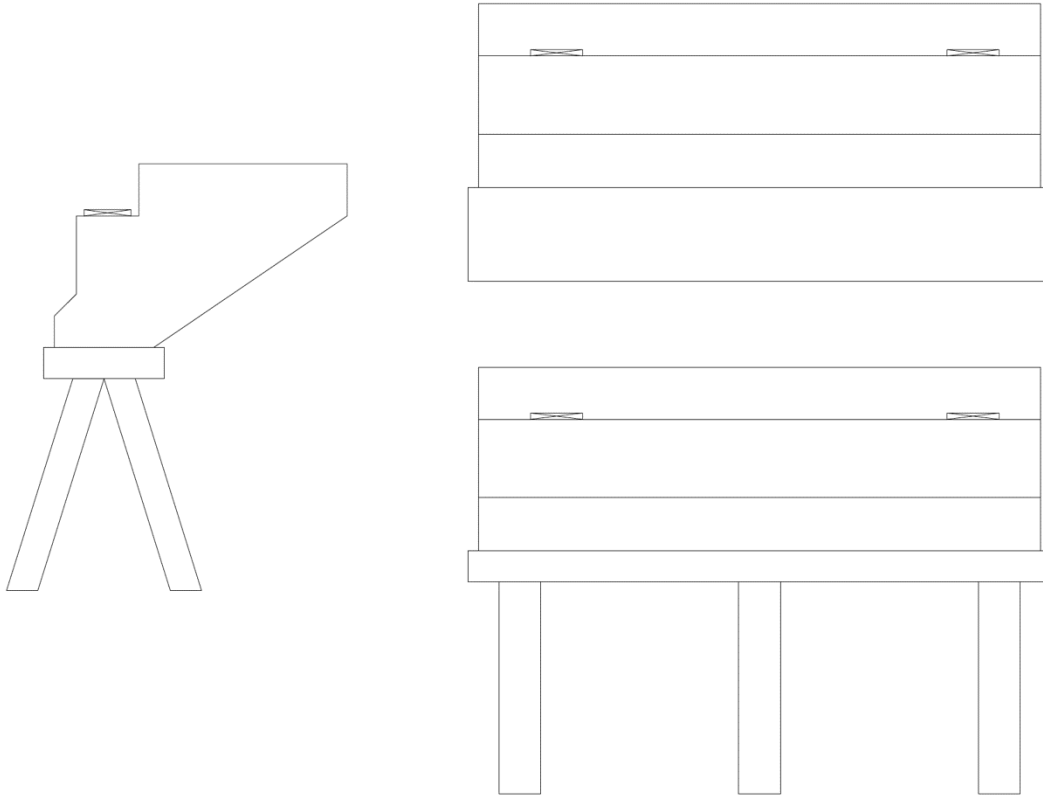
kontroll av upplagstryck återfinns i Bilaga 16. Tjockleken på lagret är endast ett uppskattat värde, här krävs vidare dimensionering för att verifiera tillräcklig hållfasthet.



Figur 12-2 Gummilager med stålskivor

### 12.3 Utformning av ändstöd

Ändstöden kommer tillverkas i betong där en vingmur bär lasterna. De måste dimensioneras för dels de laster som bronns överbyggnad för med sig såsom egentyngd, trafiklast, vind och horisontella bromslaster. De måste även dimensioneras för omkringliggande jordtryck, landfästernas egentyngd samt indirekta laster i form av temperaturändringar och betongens krypning och krympning. I Figur 12-3 visas en preliminär utformning av ändstöden. Ändstöd sex behöver pålas, till skillnad från ändstöd ett som grundläggs med ett betongfundament. De har inte preliminärdimensionerats, därför finns inga mått och detta gör att ändstöden kräver vidare dimensionering för att uppfylla de krav som ställs på dem.



*Figur 12-3 Utformning av ändstöd. Bild t.v. visar pålat ändstöd i profil. T.h. visar övre skiss ändstöd framifrån grundlagt med betongfundament och nedre skiss pålat ändstöd.*

## 13 Kontroller i bruksgränstillstånd

Kontroller görs även i bruksgränstillstånd och för träkonstruktioner handlar detta främst om att kontrollera nedböjningen efter lång tid, så att denna inte överskrider de gränser som finns uppsatta i Eurokod. Även kontroll av vibrationer görs för att uppfylla komfortkriterier samt kontroll av brobanans längdutvidgning.

### 13.1 Kontroll av brobaneplattans nedböjning

Nedböjning för brobaneplattan beräknas enligt (SS-EN 1995-1-1:2004) och Bärande konstruktioner del 2 (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, 2011). Karakteristisk lastkombination används i beräkningen där den permanenta lasten består av egentygden. Den variabla lasten består av en jämnt utbredd trafiklast och en punktlast enligt:

$$\sum_i G_{k,i} + Q_{k,i} + \sum_j \psi_{0,j} Q_{k,j}$$

Eftersom trafiklasten inte kan ligga på tillsammans med punktlasten, i form av ett servicefordon, blir ekvationen för lastkombination:

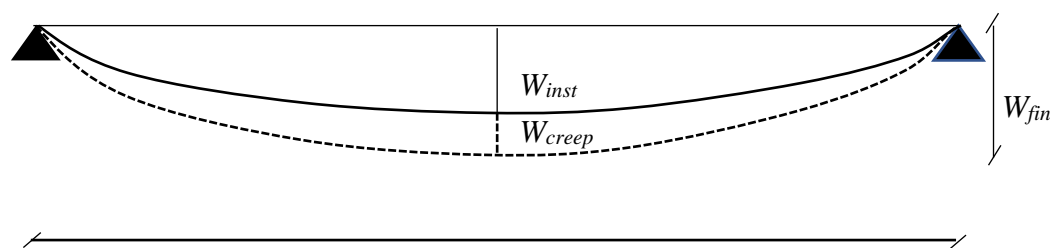
$$G_{k,i} + Q_{k,i}$$

Nedböjningen fås genom att först räkna ut den omedelbara nedböjningen från varje last och sen addera effekterna för krypning. Den slutgiltiga nedböjningen fås då genom:

$$w_{fin} = w_{inst,G}(1 + k_{def}) + w_{inst,Q}(1 + \psi_2 k_{def})$$

Kryptalet  $k_{def}$  väljs till 0,8 enligt (SS-EN 1995-1-1:2004). Reduceringsfaktorn  $\psi_2$  tar hänsyn till hur lång tid den variabla lasten antas ligga på. För variabla laster anger Eurokod (SS-EN 1990)  $\psi_2 = 0$ .

Flera olika lastkombinationer provades där de variabla lasterna fick verka i antingen ett eller flera fack för att hitta det värsta fallet för nedböjningen. Detta sker då den variabla trafiklasten ligger i fack 2 och 4. Den största nedböjningen sker då i fack 2 och uppgår till 37,9 mm, som redovisas i Tabell 13-1. Kravet är att bronns nedböjning ej ska överstiga  $L/400$  (Trafikverket, 2011). Vilket för det facket är 42,5 mm, därav är nedböjningskravet uppfyllt. Beräkningar för nedböjning återfinns i Bilaga 9.



Figur 13-1 Definition av de olika komponenterna i nedböjning.

	Fack 1	Fack 2	Fack 3	Fack 4	Fack 5
<b>Spännvidd [m]</b>	14	17	15	14	14
<b>Slutlig nedböjning [mm]</b>	28,4	37,9	24,9	16,4	30,7
<b>Krav nedböjning L/400 [mm]</b>	35,0	42,5	37,5	35,0	35,0

Tabell 13-1 Nedböjning för dimensionerande lastfall.

## 13.2 Brobaneplattans rörelseutvidgning

Brons rörelser i längdled måste kontrolleras så att brobaneplattans utvidgning ligger inom gränsen för vad Maurerfogen vid ändstödet klarar av. Brons rörelser i längdled beror på temperaturförändringar, de horisontella laster som verkar längsmed brobanan samt rörelseutvidgning på grund av fukt. Rörelser i tvärled kontrolleras inte då de anses försumbara på grund av förspänningen.

Längdutvidgningen räknas ut genom:

$$\Delta L_{II} = \alpha_{II} * L * \Delta T + \varepsilon_N * L$$

Längdutvidgningskoefficienten,  $\alpha_{II}$ , parallellt träets fiberriktning och dimensionerande temperaturer,  $\Delta T$ , för Täby kommun återfinns i (SS-EN 1991-1-5). Töjningen  $\varepsilon_N$  beräknades med Hookes lag och Naviers formel.

Till följd av att brobaneplattan är låst i stödet på perrongen kan brobanan utvidgas åt båda håll. Därmed blir den största längd som utvidgningen kan verka på 43 meter. Hade brobanan istället varit låst i ett av ändstöden hade utvidgningen verkat på 74 meter. Om den däremot varit låst i fler än ett stöd hade oönskade tvångsspänningar uppkommit till följd av utvidgningen. Rörelseutvidgningen för den maximala längden blev 15 mm, som är mindre än de 30 mm som Maurerfogen tillåter. Utförligare beräkningar återfinns i Bilaga 16.

## 13.3 Kontroll av vibrationer

Egenfrekvensen för bron beräknas med en förenklad modell enligt SS-EN 1995-1-1:2004. Den beräknas både kring y-axeln och z-axeln med följande ekvation:

$$f_{n,i} := \left( \frac{\pi}{2 \cdot L_n^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{\text{mean}} \cdot I_i)}{M}}$$

Om  $f_{ny} \leq 5$  Hz eller  $f_{nz} \leq 2,5$  Hz måste komfortkriteriet i form av maximal vertikal- och horisontalacceleration kontrolleras enligt (SS-EN 1990-A1:2005). Beräkningar delas upp för de olika brospannen. Kring z-axeln klarade alla spannen den första kontrollen för egenfrekvens och ytterligare kontroller var därför inte nödvändigt. Kring y-axel klarade däremot inget av brospannen den första kontrollen för egenfrekvensen. Därför beräknas och kontrolleras vertikalaccelerationen dels för när endast en person passerar bron, när flera personer passerar bron samt när en springande person passerar bron. Dessa kontroller klaras med god marginal och utförligare beräkningar och kontroller återfinns i Bilaga 16.

## 14 Koldioxidutsläpp och lagrad koldioxid

En överslagsberäkning görs för att uppskatta minskat koldioxidutsläpp för konstruktionen i jämförelse med betong och stål. Beräkning görs med hjälp av värden från (Träguiden, c, 2003) och erhållna dimensioner för broplattan och pelarna.

När skogen växer binder den koldioxid från luften och lagrar denna i form av kol. När skogen sedan avverkas och förädlas till träprodukter finns detta bundna kolet kvar i träet och frigörs inte förrän träet eventuellt förbränns. Detta gör att konstruktioner i trä kan sägas fungera som en koldioxidbank under hela dess livslängd. Tillverkningsprocessen för trä släpper dessutom ut betydligt mindre koldioxid jämfört med stål och betong. När trä används som konstruktionsmaterial istället för något av dessa material uppstår således positiva substitutionseffekter.

Enligt Träguiden lagrar varje kubikmeter trä som används ett innehåll av kol som motsvarar 0,9 ton koldioxid. Dessutom är substitutionseffekterna i storleksordningen att för varje kubikmeter trä som används istället för stål eller betong minskar utsläppen från produktionen och återvinningen med 1 – 1,5 ton CO<sub>2</sub>. Brobanepplattan och pelarna består av trä. Dessa två delar utgör den största volymen av trä i bron, resterande försummas. Från dimensionerna av brobanan och pelarna kan volymen trä beräknas. Volymen multipliceras sedan med 0,9 ton koldioxid per kubikmeter. Då fås hur mycket koldioxid i ton som är lagrat i brons trämaterial. För beräkning av sparad koldioxidutsläpp jämfört med betong eller stål används 1 ton koldioxid per kubikmeter som multipliceras med volymen trä. Detta ger hur många ton koldioxid som sparas vid produktion och återvinning. Sedan adderas dessa vilket ger den totala minskningen av koldioxidutsläpp jämfört med om brons konstruktion bestod av betong eller stål. Detta uppgick till 345 ton koldioxid. Beräkningen återfinns i Bilaga 18.

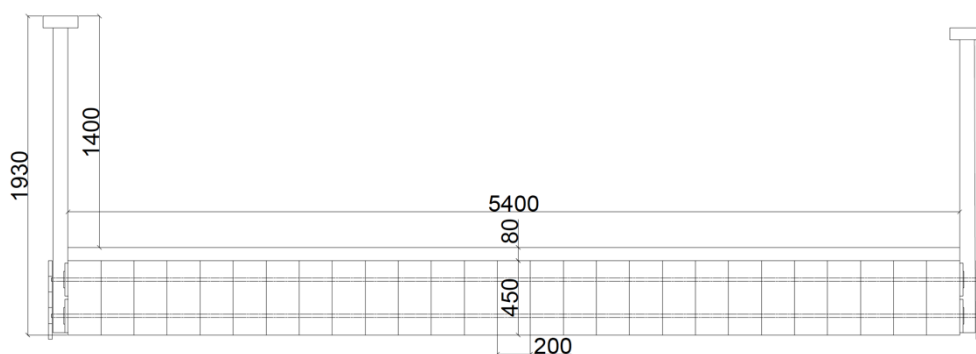
Enligt Utsläppsrätts beräkningsmodell (Utsläppsrätt, 2018) görs en uträkning för att få ett något mer applicerbart värde. En bil som kör ett varv runt jorden, 4000 mil, med bränsleförbrukning 0,8 l/mil släpper ut 8,6 ton koldioxid. Detta innebär att en bil kan köra cirka 40 varv runt jorden innan samma mängd koldioxid släpps ut jämfört med att bygga bron i betong eller stål.

## 15 Resultat av preliminärdimensionering

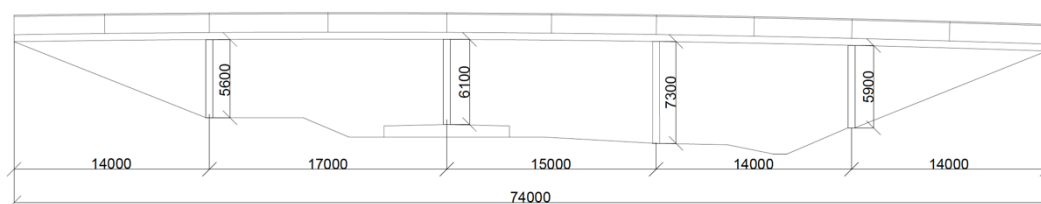
Dimensioneringen har gjorts enligt Eurokod och krav från Trafikverket. Analyser har utförts i både brott- och bruksgränstillstånd. I följande avsnitt visas de preliminära dimensionerna och detaljerna från del 2. Ytterligare utformning återfinns i kapitel 9.1. Preliminärdimensionering utgör en god grund för att göra en slutgiltig dimensionering av bron.

### 15.1 Brobana och mittstöd

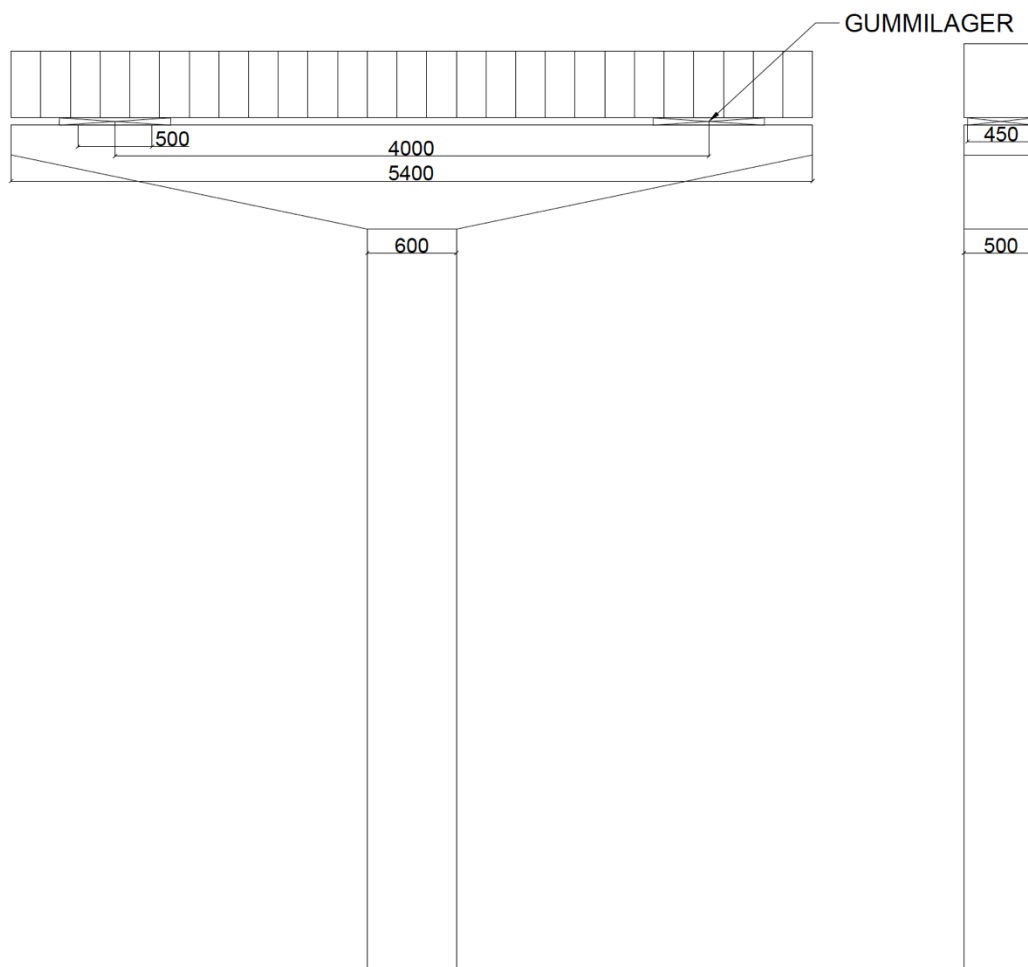
Brobaneplattan är en kontinuerlig platta som utgörs av tvärsända limträbalkar med bredden 200 mm och höjden 450 mm med total brobredd 5400 mm. Beläggning på broplattan utgörs av 80 mm asfalt. Tvärsnittet ses i Figur 15-1. Bron utformas med två ändstöd och fyra mittstöd där de fyra mittstöden tillverkas i trä. Trafikverket kräver en fri brohöjd på 6,1 meter, vilket resulterar i pelarhöjder enligt Figur 15-2. Mittstödens dimensioner är 500 mm i bronns x-led och 600 mm i bronns y-led enligt Figur 15-3. Brons totala längd är 74 meter, med spannvidder enligt Figur 15-2.



Figur 15-1 Tvärsnittets utformning.



Figur 15-2 Längder på brospann och höjder på mittstöd.



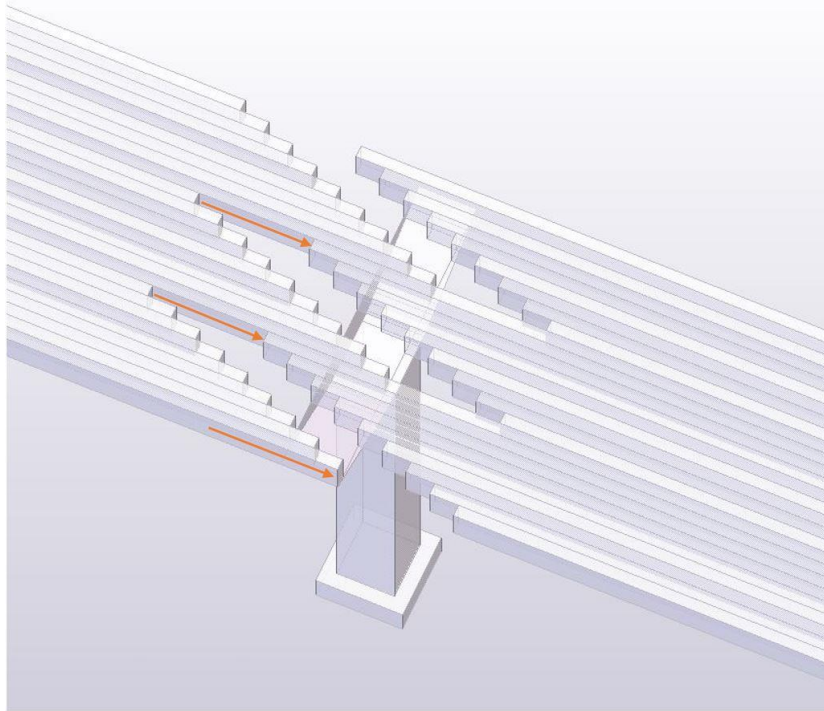
Figur 15-3 Utformning av mittstöd.

## 15.2 Detaljutformning

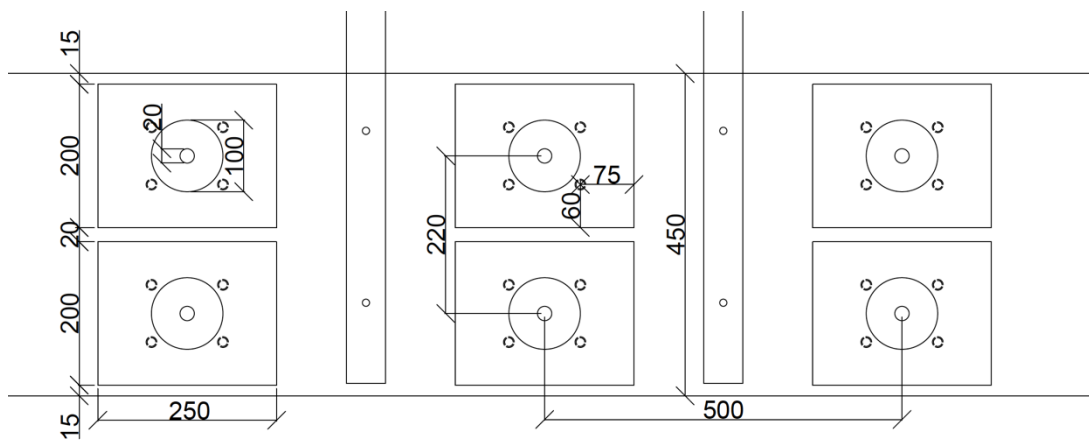
Stagen är utformade i höghållfast stål med flytgräns på 900 MPa och diametern 20 mm. De placeras med ett cc-avståndet 500 mm. För att uppnå önskad kapacitet krävs två stycken stålstag i höjdlid, se Figur 15-5. De förspänns till 750 MPa för att klara lasteffekterna. Lameller placeras för stumfogarna med en förskjutning på 500 mm, detta görs över åtta lameller likt en trappa tre gånger tvärs brobredden. Stagbrickans-, tryckfördelningsplattans- och armeringsskruvarnas dimensioner framgår i Figur 15-5 och Figur 15-6.

Lagren för stöden utformas med tre stålplåtar med mellanliggande gummi, samt ett omslutande gummihölje. Lagren får längden 750 mm, bredden 450 mm och en tjocklek på 50 mm, enligt Figur 15-7.

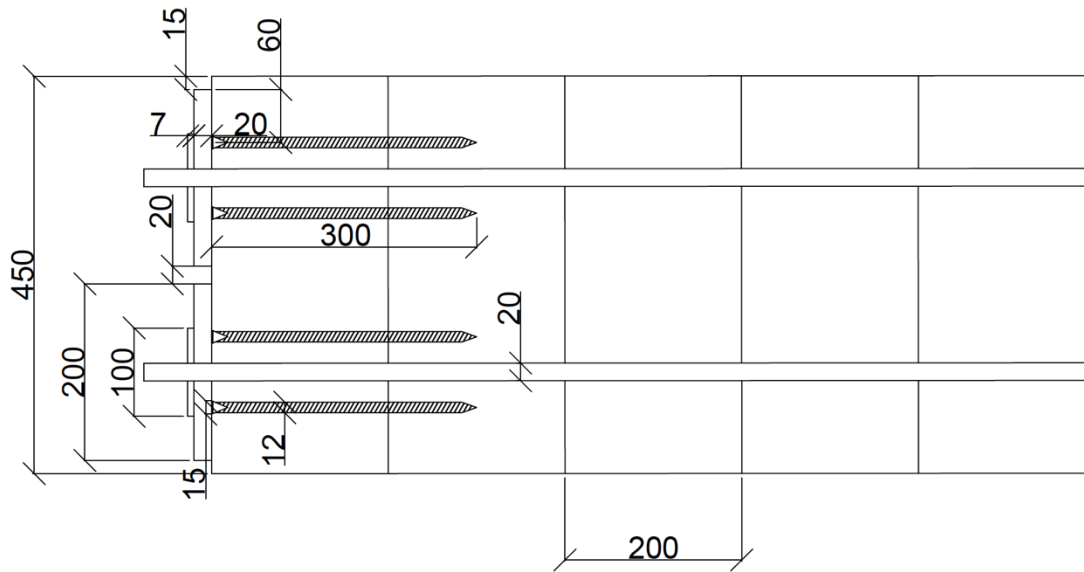




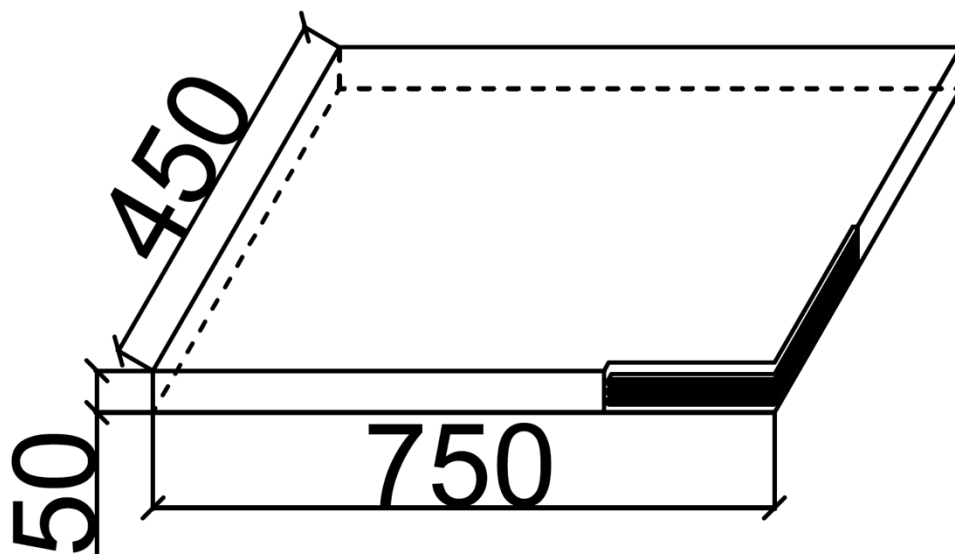
Figur 15-4 Förskjutning av lameller för stumfog.



Figur 15-5 Infästning av stag.



Figur 15-6 Staginfastning och trycksruvar



Figur 15-7 Lager för stöd.

## 16 Diskussion

Syftet med projektet var att preliminärdimensionera en gång- och cykelbro över Roslagsbanan vid Hägernäs station. Förfrågningsunderlaget innehöll en planvy med angiven brobredd, längd och markprofil. Detta skulle beaktas i samråd med de krav och restriktioner som bland annat Trafikverket och detaljplanen uppger. Trots att det är många olika aspekter som måste tas hänsyn till i valet av brokoncept, fanns det till exempel inga krav gällande produktionstid eller någon budget att förhålla sig till. Detta gjorde att uppgiften kan tolkas som öppen och utifrån detta har ett brokoncept tagits fram och preliminärdimensionerats. Syftet med rapporten anses således vara uppfyllt.

Ett kriterium som viktades högt var att bron skulle ha låg miljöpåverkan. Här anses trä ha stora fördelar. En jämförelse av koldioxidutsläpp om bron produceras i trä, betong eller stål görs därför i kapitel 15. Genom att bygga bron i trä minskas koldioxidutsläppen med cirka 345 ton. Koldioxidberäkningen är en ungefärlig uträkning och resultaten kan variera. Beräkningarna gjordes med värden från Träguiden som är en branschorganisation vilket gör att värden kan vara mer fördelaktiga för trä än vad de är i verkligheten. Samtidigt kan beräkningar från Utsläppsrätt vara något högre än de verkligen är. Därför bör resultaten tolkas med viss försiktighet.

I utvärderingen av viktningskriterier beror rangordningen på inblandade personers egenintressen. Om det hade varit andra aktörer inblandade hade ekonomi förmodligen rankats högre. Till följd hade resultatet kunnat se helt annorlunda ut och eventuellt leda till ett annat brokoncept.

Viktningskriterierna som valdes i utvärderingen var inte så specifika, vilket var ett medvetet val. Hade det till exempel varit fler estetiska viktningskriterier utöver "passa in i landskapet" hade konsekvensen blivit att den estetiska aspekten haft större inverkan på beslutet. Då hade även kriterier inom andra områden såsom miljöpåverkan behövt fler kriterier för att kompensera för detta. Det hade resulterat i många fler viktningskriterier, vilket hade gjort utvärderingen svåröverskåd. Av denna anledning är de viktningskriterier som är valda i utvärderingen inte så specifika, utan bredare.

För att ta fram dimensionerande laster gjordes en 2-dimensionell analys av bron i CALFEM. Detta är en förenkling av verkligheten och för att ta hänsyn till det korrigeras värdena med partialkoefficienter. Överlag har värden valts med säkerhetsmarginal då osäkerhet uppkommit för att kunna garantera en tillförlitlig konstruktion. Detta har inneburit att bron blivit överdimensionerad i vissa avseenden och i ett verkligt fall är det förmodligen inte önskvärt till följd av en ökad materialåtgång. Hela brobanan är dimensionerad för att klara nedböjningskravet i det värst belastade facket. Detta ger ett större tvärsnitt på vissa delar av brobanan än vad som faktiskt krävs. Till följd av det blir utnyttjandegraden av tvärkraftskapaciteten och momentkapaciteten låg. Däremot innebär det att tvärsnittet blir enhetligt och därav enklare att konstruera. Vidare gäller samma sak för dimensionering av pelare. Här ansågs symmetri göra bron mer estetiskt tilltalande och därför dimensionerades samtliga pelare för den största reaktionskraften.

Beslutet att utforma bron som en kontinuerlig balk över samtliga stöd istället för fritt upplagd gör beräkningsprocessen mer komplex, då hela brobanan fungerar som en hel enhet. En fördel med den kontinuerliga balken är att den ger den mycket gynnsamma effekten att lasterna sprids i balken, därav minskar nedböjningen kraftigt. En snabb överslagsberäkning ger en halvering av nedböjningen mot en fritt upplagd balk.

Vid dimensionering av en så stor och komplex modell som denna kontinuerliga plattbro är det svårt att avgöra rimligheten i de erhållna svaren. Därför gjordes en förenklad överslagsberäkning. Resultatet visade att överslagsberäkningen skiljer sig som mest med cirka 20 % gentemot de framtagna värdena. Detta bedömdes vara acceptabelt eftersom de ansågs ligga inom samma storleksordning.

Viktigt att poängtera är att preliminärdimensionering inneburit många avgränsningar och därmed har inte allt dimensionerats. Förslag på vidare dimensionering är bland annat räcket för de laster som verkar på det, såsom snölast från snöplogningen. Denna avgränsning gjordes då tillgång till dessa Eurokoder ej fanns tillgängliga men återfinns i SS-EN 1317-2. Ytterligare avgränsningar som gjordes var gällande både ändstöden och grundläggningen. Detta gjordes då tillräcklig information och kunskap saknades. En full geoteknisk beskrivning hade varit nödvändig för att kunna göra en användbar analys. Vidare kan brand tas i beaktning vid dimensionering då det bland annat finns elledningar som hänger ovanför rälsen som skapar gnistor när tåg passerar. Andra delar som bör dimensioneras är vridning, bropelarnas tvärgående balk, hissen och trappan. 0

# 17 Referenser

## 17.1 Litteraturförteckning

(u.d.).

© Sveriges geologiska undersökning. (u.d.). [www.sgu.se](http://www.sgu.se). Hämtat från SGU - Sveriges geologiska undersökning: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-lagerobservationer.html#>

Ahlberg, S. O., & Spade, B. (2001). *Våra broar en kulturskatt*. Borlänge: Banverket och Vägverket.

Al-Emrani, M. (2018). *Stål- och samverkansbroar*. Göteborg: Mohammad Al-Emrani.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner del 2*. Göteborg: Avdelningen för konstruktionsteknik.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner del 1*. Göteborg: Avdelningen för konstruktionsteknik.

Åstedt, B. (den 12 November 2009). Hämtat från [http://sbi.se/uploads/source/files/Artiklar/Stalets\\_egenskaper.pdf](http://sbi.se/uploads/source/files/Artiklar/Stalets_egenskaper.pdf) den 8 Februari 2018

Betonglarsson. (2018). Hämtat från <http://www.betonglarsson.se/betong/vad-ar-betong> den 8 Februari 2018

Bjerstedt, J. (2014). *Produktion och rivning*. Stockholm: Atkins; Lidingö stad.

Chlosta, M. (2012). *Feasibility study on fiber reinforced polymer cylindrical truss bridges for heavy traffic*. Delft: Delft University of Technology.

COWI. (2015). *Förfrågningsunderlag Roslagsbanan*.

Ekh, M., Hansbo, P., & Brouzoulis, J. (den 17 April 2015). *Formelsamling i hållfasthetlära*. Göteborg: Chalmers.

Engström, B. (2018). *Preliminär dimensionering av betongbroar*. Göteborg.

Eriksson, D., & Jakobson, H. (2009). *Prefabricerade betongbroar, ett lönsamt koncept?* Lund: Lunds tekniska högskola.

Forsberg, C., & Lundgren, E. (den 10 April 2014). Hämtat från <https://static.byggjansst.se/projektbevakning/documents/projects/224771%5C1doku.pdf> den 6 Februari 2018

Friberg, E., & Olsson, J. (2014). *Application of fibre reinforced polymer materials in road bridges – General requirements and design considerations*. Göteborg: Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola.

Gröndahl, F., & Svanström, M. (2010). *Hållbar utveckling: en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Stockholm: Liber AB.

- Heda. (2018). Hämtat från <http://www.heda.se/sortiment/byggelement/> den 10 Februari 2018
- Jernkontoret. (2017). *Jernkontoret*. Hämtat från <http://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processernas-miljopaverkan/> den 13 Februari 2018
- Jernkontorets Forskning. (1996). *Järn- och stålframställning*. Hämtat från [http://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handbocker/utbildningspaket/jarn-och-stalframstallning\\_dell1.pdf](http://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handbocker/utbildningspaket/jarn-och-stalframstallning_dell1.pdf) den 8 Februari 2018
- Kliger, R. (2018). *Träbroar*. Göteborg.
- Kliger, R. (den 27 Februari 2018). Träbroar. ((Föreläsning), Intervjuare)
- Lebet, J.-P., & Hirt, M. A. (2013). Erection of the Steel Structure. i *Steel bridges* (ss. 131-146). Lausanne: EPFL Press.
- Lebet, J.-P., & Hirt, M. A. (2013). *Steel Bridges, Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*. Lausanne: EPFL Press.
- Maryland State Highway Administration. (u.d.). Hämtat från <https://www.roads.maryland.gov/OPPEN/IX-RgdFr.pdf> den 31 Januari 2018
- Nationalencyklopedin, f. (2018). *Nationalencyklopedin, elementbyggnad*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/elementbyggnad> den 13 03 2018
- Nationalencyklopedin,a. (den 13 02 2018). *Nationalencyklopedin, trä*. Hämtat från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/tr%C3%A4>
- Nationalencyklopedin,b. (2018). *NE.se*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro> den 31 01 2018
- Nationalencyklopedin,c. (2018). *NE.se*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/plattbro> den 2 02 2018
- Nationalencyklopedin,d. (den 31 01 2018). *NE.se*. Hämtat från Nationalencyklopedin-webbplats: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro> den 28 Januari 2018
- Nationalencyklopedin,e. (2018). *NE.se*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro/brotyper/h%C3%A4n-gbroar-och-snedkabelbroar> den 31 Januari 2018
- Pousette, A. (2008). *Träbroar - konstruktion och dimensionering*. Stockholm: AB Stjärntryck.
- Pousette, A., & Fjellström, P.-A. (2004). *SP Träteknik*. Hämtat från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962290/FULLTEXT01.pdf> den 28 Februari 2018
- Reuterswärd, P. (2010). *Optimal skötsel av stålbroar*. Stockholm: Swerea KIMAB.

- Road Traffic Technology. (2013). Hämtat från <https://www.roadtraffic-technology.com/projects/rusky-island-bridge/> den 02 02 2018
- Sathre, R., & González-García, S. (2014). Life cycle assessment of wood-baser buildin materials. i F. Pacheco-Torgal, L. F. Cabeza, J. Labrincha, & A. de Magalhães, *Eco-efficient Construction and Building Materials* (ss. 311-337). Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Dehli: Woodhead Publishing.
- SB. (2018). Hämtat från <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/betongens-egenskaper> den 12 Februari 2018
- Stadsbyggnadskontoret. (2014). Hämtat från <https://static.byggjtjanst.se/projektbevakning/documents/projects/224771%5C1doku.pdf> den 31 Januari 2018
- Stålbyggnadsinstitutet. (2016). Hämtat från <http://sbi.se/om-stal/brobyggnad> den 8 Februari 2018
- Stålbyggnadsinstitutet. (2016). *SBI*. Hämtat från <http://sbi.se/om-stal/rostskydd> den 13 Februari 2018
- Stålbyggnadsinstitutet. (2017). *SBI*. Hämtat från <http://sbi.se/om-stal/hallbart-byggande> den 13 Februari 2018
- Svensk Betong . (2018). Hämtat från <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/betongens-egenskaper> den 8 Februari 2018
- Svenska Kommunförbundet. (1998). *Träbroar - Ett alternativ till stål och betong*. Stockholm: Svenska Kommunförbundet.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1990. *Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1990-A1:2005. *Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk (Tillägg)*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-1-1. *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-1: Allmänna laster - Tunghet, egentygnd, nyttig last för byggnader*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-1-4:2005. *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-4: Allmänna laster - Vindlast*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-1-4:2005. *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-4: Allmänna laster - Vindlast*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.

- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-1-4:2006. *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-4: Allmänna laster - Vindlast*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-1-5. *Eurokod 1: Laster på bärande konstruktioner - Del 1-5: Allmänna laster - Temperaturpåverkan*.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-1-7:2006. *Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-7: Allmänna laster - Olyckslast*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1991-2. *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1995-1-1:2004. *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-1: Allmänt - Gemensamma regler och regler för byggnader*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Swedish Standard Institute. (u.d.). SS-EN 1995-2:2004. *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 2: Broar*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>.
- Täby kommun. (den 06 Mars 2015). *Detaljplan för dubbelspår Roslagsbanan Hägernäs, del av Roslags-Näsby 2:1 och Hägernäs 7:6 m.fl.* Hämtat från Täby kommuns hemsida: [https://doc.taby.se/handlingar/Kommunfullm%C3%A4ktige/2015/2015-04-27/Handlingar/17\\_5\\_Bilaga%203%20Detaljplan%20Roslagsbanan%20H%C3%A4gern%C3%A4s.pdf](https://doc.taby.se/handlingar/Kommunfullm%C3%A4ktige/2015/2015-04-27/Handlingar/17_5_Bilaga%203%20Detaljplan%20Roslagsbanan%20H%C3%A4gern%C3%A4s.pdf)
- Trafikverket. (03 1993). *Handbok för broinspektion*. Hämtat från [https://batman.trafikverket.se/batman/BiblioteketPDF/30\\_Gamla%20broregler/Broinspektionshandbok%201993/Handbok%20foer%20broinspektion.pdf?WindowGuid=eb2f3340-0757-4dfc-8656-fb6c1e88c2e6](https://batman.trafikverket.se/batman/BiblioteketPDF/30_Gamla%20broregler/Broinspektionshandbok%201993/Handbok%20foer%20broinspektion.pdf?WindowGuid=eb2f3340-0757-4dfc-8656-fb6c1e88c2e6) den 28 Februari 2018
- Trafikverket. (2011). *Trafikverkets tekniska krav Bro 2011:085*. Hämtat från TRVK Bro 11: [https://www.trafikverket.se/contentassets/1ffad0ea826f43308e2c2a5dfe883d5f/filer/2011\\_085\\_trvk\\_bro\\_11.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/1ffad0ea826f43308e2c2a5dfe883d5f/filer/2011_085_trvk_bro_11.pdf)
- Trafikverket. (2011). *Trafikverkets tekniska råd Bro 2011:086*. Hämtat från [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10752/RelatedFiles/2011\\_086\\_trvr\\_bro\\_11.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10752/RelatedFiles/2011_086_trvr_bro_11.pdf)
- Trafikverket. (Juni 2014). *Kodförteckning och beskrivning av brotyper*. Hämtat från Bro and tunnel management, BaTMan: [https://batman.trafikverket.se/batman/BiblioteketPDF/01\\_Dokument%20Batman/Kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf](https://batman.trafikverket.se/batman/BiblioteketPDF/01_Dokument%20Batman/Kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf) den 31 Januari 2018
- Trafikverket. (2016). *Krav Brobyggande, TDOK 2016:0204*. Borlänge: Trafikverket.

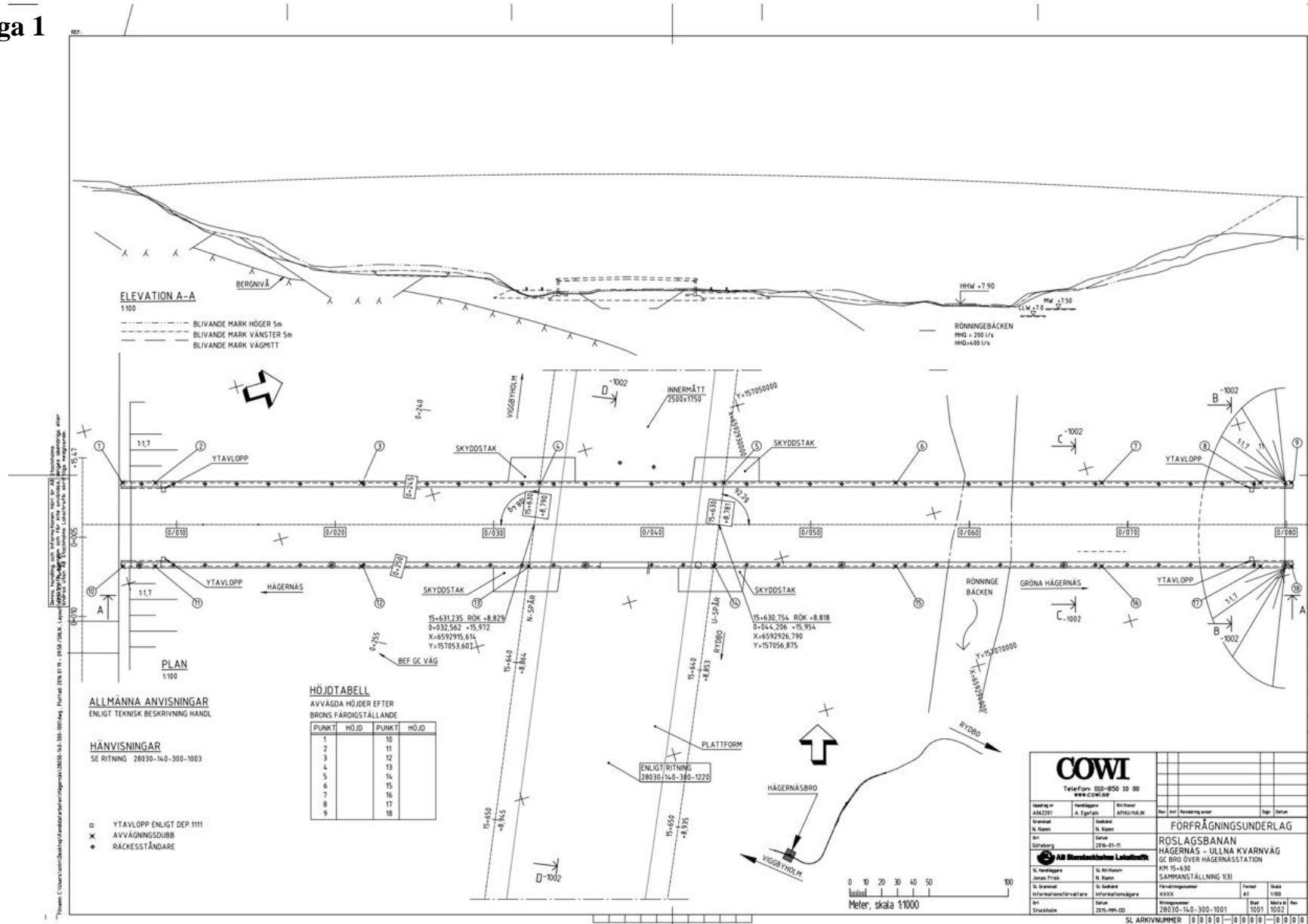


- Trafikverket. (den 11 10 2016). *Trafikverket*. Hämtat från Skötsel av broar: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-broar/>.
- Trafikverket. (den 15 03 2017). *trafikverket*. Hämtat från [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se): <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/buller-och-vibrationer---for-dig-i-branschen/Fakta-om-buller-och-vibrationer/>
- Trafikverket. (2018). *Broprojekteringshandbok förhandsutgåva*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, Avdelningen för bro och tunnel. (November 1996). *Trafikverket.se*. Hämtat från Trafikverket: [https://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/brop-rojektering-en-handbok\\_kap5\\_6.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/brop-rojektering-en-handbok_kap5_6.pdf) den 28 Januari 2018
- Träguiden, a. (den 1 September 2003). *Plattbroar*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/plattbroar/> den 28 02 2018
- Träguiden, b. (2003). *Träguiden*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/inspektion-och-underhall/> den 28 Februari 2018
- Träguiden, c. (den 23 September 2003). *Träprodukter lagrar kol*. Hämtat från Träguiden: <https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljoeffekter/miljoeffekter/traprodukter-lagrar-kol/>
- Utsläppsrätt. (den 10 May 2018). *Utsläppsrätt av utsläpp från bilar*. Hämtat från <http://www.utslappsratt.se/berakna-utslapp/berakning-av-utslapp-fran-bilar/>
- Vägverket . (den 1 Oktober 1994). *BRO 94*. Hämtat från [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11034/RelatedFiles/1994\\_7\\_bro\\_94\\_del\\_7\\_brounderhall.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11034/RelatedFiles/1994_7_bro_94_del_7_brounderhall.pdf) den 28 Februari 2018
- Vägverket. (1996). *www.trafikverket.se*. Hämtat från Trafikverket: [https://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/brop-rojektering-en-handbok\\_bilaga\\_1\\_och-resten\\_av\\_publicationen.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/brop-rojektering-en-handbok_bilaga_1_och-resten_av_publicationen.pdf)
- Welinder, N., & Karlsson, D. (2011). Hämtat från [http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf\\_files/Exjobb/TVBK-5000\\_pdf/TVBK-5196DKNWweb.pdf](http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5196DKNWweb.pdf) den 31 Januari 2018



# 17.2 Bilagor

## 17.2.1 Bilaga 1





### 17.2.2 Bilaga 2

**ALLMÄNNA ANVISNINGAR**  
ENLIGT TEKNISK BESKRIVNING HANDLING 112

FIX: PKT NR: 9156W  
X-KOORD: 6592794.046  
Y-KOORD: 157345.892  
Z-KOORD: +10.626

HÖJDSYSTEM: RH02000

KOORDINATSYSTEM: SWEREF99 1800

BEGELTID: BRON KONSTRUERAS ENLIGT TRVK BRO 11 (TRV PUBL. NR 2011:0451)

LIVSLÄNGSKLASS: TEKNISK LIVSLÄNGD 120 ÅR IL 1001

SÄKERHETSKLASS: SK3 (GEOTEKNISK KATEGORI GK2)

FYLNING MOT BRO UTGÖRS AV SPRÄNGSTEN. MOTFYLNING SKA UTFÖRAS PÅ ETT SÄDANT SÄTT ATT BETONGEN INTE SKADAS. FYLNING SKA SKE MOT BÅDA ÄNDSKÄRHARNA SAMTIDIGT

RÄCHE: RÄCHEN - DEN CYKELBANERÄCKE ENL. DRILTA GC-RÄCHE ELLER LIVRÄCKIGT.

KVALITETSSYSTEM: HANDLINGARNA ÄR UPPRÄTTADE OCH HAR GENOMGÅTT KONTROLL OCH VERIFIERING ENLIGT COWI ABs VERKSAMHETSSYSTEM IMPROVE

GEOTEKNIK				
MATERIAL	NIVÅ	HÅLLFASTHETS-PARAMETER	E- MODUL	TUNGHET
TORRSKORPE- LERA	+7.22 - +6.5	$c_u = 20 \text{ kPa}$	$E_u = 10 \text{ MPa}$	$\gamma_u = 18 \text{ kN/m}^3$
LERA	+6.5 - +5.0	$c_u =$	$E_u = 1 \text{ MPa}$	$\gamma_u = 17.5 \text{ kN/m}^3$
FRIKTIONS- MATERIAL2	+5.0 - +4.0	$\alpha_s = 35^\circ$	$E_s = 20 \text{ MPa}$	$\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$
BERG, TYP1	+4.0 -	$f_c = 3 \text{ MPa}$		

**PLANDATA U-SPÅR**

SEKTION	X	Y	ANM.	Hs
15+521.030	6592964.741	156954.060		
15+729.800	6592882.959	157145.716	R=1000	20

**PLANDATA N-SPÅR**

SEKTION	X	Y	ANM.
15+581.936	6592932.254	157105.955	RL
15+736.112	6592881.249	157131.363	

**PLANDATA GC BRO**

SEKTION	X	Y	ANM.
0+000.000	6592852.454	157190.480	
0+094.000	6592845.234	157208.468	RL
0+111.8150	6592992.209	157272.599	RL
0+114.617	6592995.001	157263.468	RL
0+141.193	6593020.381	157276.498	R=41

**GC-BELÄGGNING**

TÄTSKRITOMATA	5mm
SKYDDSLAGER	20mm
ELITLAGER	60mm

**PROFILDATA U-SPÅR**

**PROFILDATA N-SPÅR**

**PROFILDATA GC BRO**

0 10 20 30 40 50  
Meter, skala 1:1000

SL ARKIVNUMMER 0101010101010101

<b>COWI</b>		Trafik Forsk 020-200 10 00 www.cowi.se	
Ansvarig A. Sjöström	Utförare ABRIKAR	Proj. nr. 14-104-01	Proj. datum 2016-01-11
FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG			
ROSLAGSBANAN HAGERNAS - ULLNA KVARNVÄG GC BRO ÖVER HAGERNASSTATION			
Uppdrags- ansvarig Johan Erik	Uppdrags- ledare S. Sjöström	Proj. nr. 14-104-01	Proj. datum 2016-01-11
Uppdrags- beskrivning S. Sjöström		Proj. nr. 14-104-01	Proj. datum 2016-01-11
Uppdrags- ansvarig S. Sjöström	Uppdrags- ledare S. Sjöström	Proj. nr. 14-104-01	Proj. datum 2016-01-11
Uppdrags- ansvarig S. Sjöström	Uppdrags- ledare S. Sjöström	Proj. nr. 14-104-01	Proj. datum 2016-01-11









## 17.2.4 Bilaga 4

### Beräkning av lasteffekter i vertikal beräkningsmodell

```

clc
close all
clear all

% Indata

% Geometri
hT=0.45;           % Balkhöjd [m]
bT=5.4;           % Brobredd [m]
lT=74;           % Brolängd [m]
L=[14 17 15 14 14]; % Längder brospann [m]

E=11.9*10^9;      % E-modul limträ [Pa]
A=bT*hT;         % Tvärsnittsarea [m^2]
I=(bT*hT^3)/12;  % Ytt röghetsmoment [m^4]

ep=[E A I];      % Brobanans egenskaper

n=20;            % Antal element, måste vara delbart med 10
u=5;            % Antal utvärderingspunkter för varje element

% Input karakteristiska laster
gk=18.36*10^3;   % Egentyngd [N/m]
qk=27*10^3;      % Trafiklast [N/m]
qak=0.25*5*10^3; % Aerodynamisk last [N/m]
qkx=35.85/lT;   % Vindlast, x-led [N/m]
Qflk=0.1*lT*bT*5000; % Horisontell punktlast [N]
Qservk=-120000; % Vertikal punktlast [N]

% Dimensionerande lastkombinationer
gammaG=1.35;     % Partialkoefficient permanent last
gammaQ=1.5;      % Partialkoefficient variabel last
psi0w=0.3;      % Nedräkningsfaktor vindlast
psi0a=0.8;      % Nedräkningsfaktor aerolast

gd=gk*gammaG;
qd=qk*gammaQ;
Qservd=Qservk*gammaQ;
qyad=qak*gammaQ*psi0a;
qxd=qkx*gammaQ*psi0w;
Qfld=Qflk*gammaQ;

```

```

% Beräkningsmodell

% Topologimatrix beroende på antal element
Edof=zeros(n,7);
Edof(:,1)=1:n;

for i=(1:n)
    Edof(i,2)=3*i-2;
    Edof(i,3)=3*i-1;
    Edof(i,4)=3*i;
    Edof(i,5)=3*i+1;
    Edof(i,6)=3*i+2;
    Edof(i,7)=3*i+3;
end

% Frihetsgrader beroende på antal element
nod=(n+1); % Antal noder
Dof=zeros(nod,3);
for i=(1:nod)
    Dof(i,1)=3*i-2;
    Dof(i,2)=3*i-1;
    Dof(i,3)=3*i;
end

% Koordinater för frihetsgraderna
v=length(L); % Antal olika fack
k=n/v; % Hur många element per fack
Coord=zeros(nod,2);
Ltot=0;

for i=2:n+1 % Skapar koordinater
    if i<k+1.5
        Ltot=Ltot+L(1)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<2*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(2)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<3*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(3)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<4*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(4)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<5*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(5)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    end
end
end

```

```

% Flyttar om koordinater nära stöd
Coord(2,1)=0.01;
Coord(k,1)=L(1)-0.01;
Coord(k+2,1)=L(1)+0.01;
Coord(2*k,1)=Coord(2*k+1)-0.01;
Coord(2*k+2,1)=Coord(2*k+1)+0.01;
Coord(3*k,1)=Coord(3*k+1)-0.01;
Coord(3*k+2,1)=Coord(3*k+1)+0.01;
Coord(4*k,1)=Coord(4*k+1)-0.01;
Coord(4*k+2,1)=Coord(4*k+1)+0.01;
Coord(5*k,1)=Coord(5*k+1,1)-0.01;

[EX,EY]=cooordxtr(Edof,Coord,Dof,2); % Placerar noderna i koordinatsystemet

% Anger randvillkor, låser olika beroende på antal element
x_kand=[2      0
        3*k+2  0
        2*3*k+1 0
        2*3*k+2 0
        3*3*k+2 0
        4*3*k+2 0
        5*3*k+2 0];

% Bygger utbredda laster
q1=[qxd -gd]; % Endast egentyngd
q2=[0 -qd]; % Variabel last
q3=[0 -qyad]; % Egentyngd+variabel last+aerolast

a=0:1; b=0:1; c=0:1; d=0:1; e=0:1; f=0:1; g=0:1;
comb=combvec(a,b,c,d,e,f,g)'; % Skapar samtliga lastkombinationer
y=length(comb); % för utbredda lasterna i facken

% Nollställer resultatvariabler innan loop
MMi=[0 0]; MMA=[0 0];
TMi=[0 0]; TMa=[0 0];
NMi=[0 0]; NMa=[0 0];

Stod1=0; Stod2=0; Stod3=0; Stod4=0; Stod5=0; Stod6=0; Stod7=0;

% Startar att loopa samtliga vertikala lastkombinationer
% Horisontella laster längs brobanan måste testas manuellt

for punkt=1:2
for spann=1:5
for pl=1:3
for ts=1:y

% Förser aktuell lastkombination med lasternas storlek
Eq=[q1+q2*comb(ts,1);
    q1+q2*comb(ts,2)+q3*comb(ts,6);
    q1+q2*comb(ts,3)+q3*comb(ts,7);
    q1+q2*comb(ts,4);

```

```

q1+q2*comb(ts,5)];

% Ger utbredda laster för alla element
eq=zeros(n,2);
for i=1:n
    if i<k+0.5
        eq(i,:)=Eq(1,:);
    elseif i<2*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(2,:);
    elseif i<3*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(3,:);
    elseif i<4*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(4,:);
    elseif i<5*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(5,:);
    end
end

% Lastvektor för punktlaster
N=max(max(Dof));
f1=zeros(N,1);
fp=Qservd;
f1(2*3*k+4)=Qf1d;

% Ser till att punktlast ej kan vara samtidigt som trafiklast
if comb(ts,spann)==1
    fp=0;
end

% Sätter punktlast på rätt plats i spann
if p1==1
    s=5+3*k*(spann-1);
elseif p1==2
    s=2+(3*k/2)+(3*k)*(spann-1);
elseif p1==3
    s=3*k*spann-1;
end

% Adderar vertikal och horisontell punktlast i lastvektorn
f1(s,1)=fp*(punkt-1);

% Skapar och assemblerar styvhetsmatris och lastvektor
n=max(Edof(:,1));
K=zeros(N);
f=zeros(N,1);
t=Edof(:,2:7);
plotpar=[1 4 0];
f=f+f1;
for i=1:n
    [Ke, fe]=beam2e(EX(i,:),EY(i,:),ep,eq(i,:));
    K(t(i,:),t(i,:))=K(t(i,:),t(i,:))+Ke;
    f(t(i,:),1)=f(t(i,:),1)+fe;
end

```

```

% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol, fsol]=solveq(K,f,x_kand);

% Tar ut reaktionskrafter
si1=fsol(2+3*k*(1-1)); si2=fsol(2+3*k*(2-1)); si3=fsol(2+3*k*(3-1));
si4=fsol(2+3*k*(4-1)); si5=fsol(2+3*k*(5-1)); si6=fsol(2+3*k*(6-1));
si7=fsol(1+3*k*(3-1));

% Ersätter tidigare stöd krafter eventuella större reaktionskrafter
if si1>Stod1
    Stod1=si1;
    lfs1=ts;
    if fp==0
        pls1=0;
        ss1=0;
    else
        pls1=pl;
        ss1=spann;
    end
end
if si2>Stod2
    Stod2=si2;
    lfs2=ts;
    if fp==0
        pls2=0;
        ss2=0;
    else
        pls2=pl;
        ss2=spann;
    end
end
if si3>Stod3
    Stod3=si3;
    lfs3=ts;
    if fp==0
        pls3=0;
        ss3=0;
    else
        pls3=pl;
        ss3=spann;
    end
end
if si4>Stod4
    Stod4=si4;
    lfs4=ts;
    if fp==0
        pls4=0;
        ss4=0;
    else
        pls4=pl;
        ss4=spann;
    end
end

```

```

end
end

if si5>Stod5
    Stod5=si5;
    lfs5=ts;
    if fp==0
        pls5=0;
        ss5=0;
    else
        pls5=p1;
        ss5=spann;
    end
end
if si6>Stod6
    Stod6=si6;
    lfs6=ts;
    if fp==0
        pls6=0;
        ss6=0;
    else
        pls6=p1;
        ss6=spann;
    end
end
if abs(si7)>Stod7
    Stod7=si7;
    lfs7=ts;
end

ed=extract(Edof,xsol);

% Beräkna normalkraft, tvärkraft och moment mha beam2s

% Tar ut min och max normalkrafter, endast största sparas
MaxN=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);

    MN=zeros(U,4);
    MN(:,2:end)=MN(:,2:end)+ebs;
    MN(:,1)=MN(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MN,2);
    MaxN(i,1)=MU(U,1);
    MaxN(i,2)=MU(U,2);
    MaxN(i,3)=MU(1,1);
    MaxN(i,4)=MU(1,2);
end
nk1=sortrows(MaxN,4); nk2=sortrows(MaxN,2);

```

```

Minnk=nk1(1,3:4);
Maxnk=nk2(n,1:2);

if abs(Minnk(1,2))>abs(NMi(1,2))
    NMi=Minnk;
    lfnMi=ts;
    sNMi=spann;
    pNMi=punkt;
    plNMi=pl;
end
if Maxnk(1,2)>NMa(1,2)
    NMa=Maxnk;
    lfnMa=ts;
    sNMa=spann;
    pNMa=punkt;
    plNMa=pl;
end

% Tar ut min och max tvärkrafter, endast största sparas
MaxT=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    MT=zeros(U,4);
    MT(:,2:end)=MT(:,2:end)+ebs;
    MT(:,1)=MT(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MT,3);
    MaxT(i,1)=MU(U,1);
    MaxT(i,2)=MU(U,3);
    MaxT(i,3)=MU(1,1);
    MaxT(i,4)=MU(1,3);
end
tv1=sortrows(MaxT,4); tv2=sortrows(MaxT,2);
Mintv=tv1(1,3:4);
Maxtv=tv2(n,1:2);

if abs(Mintv(1,2))>abs(TMi(1,2))
    TMi=Mintv;
    lftMi=ts;
    pTMi=punkt;
    if fp==0
        plTMi=0;
        sTMi=0;
    else
        plTMi=pl;
        sTMi=spann;
    end
end
if Maxtv(1,2)>TMa(1,2)
    TMa=Maxtv;
    lftMa=ts;
    pTMa=punkt;
    if fp==0
        plTMa=0;
        sTMa=0;
    end
end

```

```

else
    plTMa=pl;
    sTMa=spann;
end
end

% Tar ut max och min moment, endast största sparas
MaxM=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    MM=zeros(U,4);
    MM(:,2:end)=MM(:,2:end)+ebs;
    MM(:,1)=MM(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MM,4);
    MaxM(i,1)=MU(U,1);
    MaxM(i,2)=MU(U,4);
    MaxM(i,3)=MU(1,1);
    MaxM(i,4)=MU(1,4);
end
mom1=sortrows(MaxM,4); mom2=sortrows(MaxM,2);
Minmom=mom1(1,3:4);
Maxmom=mom2(n,1:2);

if abs(Minmom(1,2))>abs(MMi(1,2))
    MMi=Minmom;
    lfMMi=ts;
    pMMi=punkt;
    if fp==0
        plMMi=0;
        sMMi=0;
    else
        plMMi=pl;
        sMMi=spann;
    end
end
if Maxmom(1,2)>MMa(1,2)
    MMA=Maxmom;
    lfMMA=ts;
    pMMA=punkt;
    if fp==0
        plMMA=0;
        sMMA=0;
    else
        plMMA=pl;
        sMMA=spann;
    end
end
end
end
end

```



```

end
end

% Skapar önskade resultattabeller

Varden = {'x-koordinat [m]'; 'Moment [kNm]'; 'Tvärkraft [kN]';
          'Normalkraft [kN]'; 'Punktlastspann'; 'Position i spann';
          'Variabel fack 1'; 'Variabel fack 2'; 'Variabel fack 3';
          'Variabel fack 4'; 'Variabel fack 5'; 'Tåg fack 2'; 'Tåg fack 3'};

Medfalt = [MMA(1,1); MMA(1,2)/1000; 0; 0; sMMA; p1MMA; comb(1fMMA,1);
           comb(1fMMA,2); comb(1fMMA,3); comb(1fMMA,4); comb(1fMMA,5);
           comb(1fMMA,6); comb(1fMMA,7)];

Medstod = [MMi(1,1); MMi(1,2)/1000; 0; 0; sMMi; p1MMi; comb(1fMMi,1);
           comb(1fMMi,2); comb(1fMMi,3); comb(1fMMi,4); comb(1fMMi,5);
           comb(1fMMi,6); comb(1fMMi,7)];

Vedmax = [TMA(1,1); 0; TMA(1,2)/1000; 0; sTMA; p1TMA; comb(1fTMA,1);
          comb(1fTMA,2); comb(1fTMA,3); comb(1fTMA,4); comb(1fTMA,5);
          comb(1fTMA,6); comb(1fTMA,7)];

Vedmin = [TMI(1,1); 0; TMI(1,2)/1000; 0; sTMI; p1TMI; comb(1fTMI,1);
          comb(1fTMI,2); comb(1fTMI,3); comb(1fTMI,4); comb(1fTMI,5);
          comb(1fTMI,6); comb(1fTMI,7)];

Maxdrag = [NMA(1,1); 0; 0; NMA(1,2)/1000; sNMA; p1NMA; comb(1fNMA,1);
           comb(1fNMA,2); comb(1fNMA,3); comb(1fNMA,4); comb(1fNMA,5);
           comb(1fNMA,6); comb(1fNMA,7)];

Maxtryck = [NMI(1,1); 0; 0; NMI(1,2)/1000; sNMI; p1NMI; comb(1fNMI,1);
            comb(1fNMI,2); comb(1fNMI,3); comb(1fNMI,4); comb(1fNMI,5);
            comb(1fNMI,6); comb(1fNMI,7)];

Dimensionerandelasteffekter = table(Medfalt, Medstod, Vedmax, ...
                                     Vedmin, Maxdrag, Maxtryck, 'RowNames', Varden)

Stod1=[Stod1/1000; 1fs1; ss1; p1s1;];
Stod2=[Stod2/1000; 1fs2; ss2; p1s2;];
Stod3=[Stod3/1000; 1fs3; ss3; p1s3;];
Stod4=[Stod4/1000; 1fs4; ss4; p1s4;];
Stod5=[Stod5/1000; 1fs5; ss5; p1s5;];
Stod6=[Stod6/1000; 1fs6; ss6; p1s6;];
Stodx1ed=[Stod7/1000; 0; 0; 0;];

```

```
St={'Reaktionskraft [kN]';'Lastfall';'Punktlastspann';'Position i spann'};
```

```
Reaktionskrafter = table(Stod1,Stod2,Stod3,Stod4,Stod5,Stod6,Stodx1led,...  
    'RowNames',St)
```

Dimensionerandelasteffekter =

	Medfalt	Medstod	Vedmax	Vedmin	Maxdrag	
Maxtryck						
x-koordinat [m]	22.5	14	31	14	31	
Moment [kNm]	1206.7	-1775.5	0	0	0	
Tvärkraft [kN]	0	0	603.08	-614.23	0	
Normalkraft [kN]	0	0	0	0	299.71	-
Punktlastspann	1	0	1	0	1	
Position i spann	1	0	1	0	1	
Variabel fack 1	0	1	0	1	0	
Variabel fack 2	1	1	1	1	0	
Variabel fack 3	0	0	1	0	0	
Variabel fack 4	1	1	0	1	0	
Variabel fack 5	0	0	1	0	0	
Tåg fack 2	1	1	1	1	0	
Tåg fack 3	0	0	1	0	0	

Reaktionskrafter =

	Stod1	Stod2	Stod3	Stod4	Stod5	Stod6
Reaktionskraft [kN]	388.15	1198.1	1179.9	1039.8	1091.5	392.69
Lastfall	86	44	119	78	59	86
Punktlastspann	0	0	1	0	1	0

Position i	spann	0	0	1	0	1	0
0							

[Published with MATLAB® R2016b](#)



## 17.2.5 Bilaga 5

### Plottning av moment och tvärkraftsdiagram i vertikal beräkningsmodell

```

clc
close all
clear

% Indata

% Geometri
hT=0.45; % Balkhöjd [m]
bT=5.4; % Brobredd [m]
lT=74; % Brolängd [m]
L=[14 17 15 14 14]; % Längder brospann [m]

E=11.9*10^9; % E-modul limträ [Pa]
A=bT*hT; % Tvärsnittsarea [m^2]
I=(bT*hT^3)/12; % Yttroghetsmoment [m^4]

ep=[E A I]; % Brobanans egenskaper

n=20; % Antal element, måste vara delbart med 10
U=5; % Antal utvärderingspunkter för varje element

% Input karakteristiska laster
gk=18.36*10^3; % Egentyngd [N/m]
qk=27*10^3; % Trafiklast [N/m]
qak=0.25*5*10^3; % Aerodynamisk last [N/m]
qzk=35.85/lT; % Vindlast, x-led [N/m]
Qflk=0.1*lT*bT*5000; % Horisontell punktlast [N]
Qservk=-120000; % Vertikal punktlast [N]

% Dimensionerande lastkombinationer
gammaG=1.35; % Partialkoefficient permanent last
gammaQ=1.5; % Partialkoefficient variabel last
psi0w=0.3; % Nedräkningsfaktor vindlast
psi0a=0.8; % Nedräkningsfaktor aerolast

gd=gk*gammaG;
qd=qk*gammaQ;
Qservd=Qservk*gammaQ;
qad=qak*gammaQ*psi0a;
qxd=qzk*gammaQ*psi0w;
Qfld=Qflk*gammaQ;

% Placering av utbredda laster
q1=[-qxd -(gd)]; % Endast egentyngd
q2=[-qxd -(gd+qd)]; % Egentyngd+variabel last
q3=[-qxd -(gd+qd+qad)]; % Egentyngd+variabel last+aerolast

Eq=[q1; q3; q1; q2; q1]; % Placering i fack

% Placering av punktlast
spann=1; % Vilket fack, 1-5

```

```

pl=1; % Vart i facket, 1=till vänster, 2=mitten,3=till höger
% Beräkningsmodell

% Topologimatrix beroende på antal element
Edof=zeros(n,7);
Edof(:,1)=1:n;
for i=(1:n)
    Edof(i,2)=3*i-2;
    Edof(i,3)=3*i-1;
    Edof(i,4)=3*i;
    Edof(i,5)=3*i+1;
    Edof(i,6)=3*i+2;
    Edof(i,7)=3*i+3;
end

% Frihetsgrader beroende på antal element
nod=(n+1); % Antal noder
Dof=zeros(nod,3);
for i=(1:nod)
    Dof(i,1)=3*i-2;
    Dof(i,2)=3*i-1;
    Dof(i,3)=3*i;
end

% Koordinater för frihetsgraderna
v=length(L); % Antal olika fack
k=n/v; % Hur många element per fack
Coord=zeros(nod,2);
Ltot=0;

for i=2:n+1 % Skapar koordinater
    if i<k+1.5
        Ltot=Ltot+L(1)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<2*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(2)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<3*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(3)/(k);
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<4*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(4)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<5*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(5)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    end
end
end

```

```

% Flyttar om koordinater nära stöd
Coord(2,1)=0.01;
Coord(k,1)=L(1)-0.01;
Coord(k+2,1)=L(1)+0.01;
Coord(2*k,1)=Coord(2*k+1)-0.01;
Coord(2*k+2,1)=Coord(2*k+1)+0.01;
Coord(3*k,1)=Coord(3*k+1)-0.01;
Coord(3*k+2,1)=Coord(3*k+1)+0.01;
Coord(4*k,1)=Coord(4*k+1)-0.01;
Coord(4*k+2,1)=Coord(4*k+1)+0.01;
Coord(5*k,1)=Coord(5*k+1,1)-0.01;

[EX,EY]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2); % Placerar noderna i koordinatsystemet

% Plottar odeformerad bro
plotpar=[1 1 0];
eldraw2(EX,EY,plotpar)

% Anger randvillkor, låser olika beroende på antal element
x_kand=[2      0
        3*k+2  0
        2*3*k+1 0
        2*3*k+2 0
        3*3*k+2 0
        4*3*k+2 0
        5*3*k+2 0];

% Ger utbredda laster för alla element
eq=zeros(n,2);

for i=1:n
    if i<k+0.5
        eq(i,:)=Eq(1,:);
    elseif i<2*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(2,:);
    elseif i<3*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(3,:);
    elseif i<4*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(4,:);
    elseif i<5*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(5,:);
    end
end

% Bygger punktlaster
N=max(max(Dof));
f1=zeros(N,1);
f1(2*3*k+4)=Qfld;          % Placerar horisontell punktlast (manuellt)

```

```

% Sätter vertikal punktlast på rätt plats i spann
if p1==1
s=5+3*k*(spann-1);
ppos=Coord(k*(spann-1)+2);
elseif p1==2
s=2+(3*k/2)+(3*k)*(spann-1);
ppos=Coord(k*(spann-1)+k/2+1);
elseif p1==3
s=3*k*spann-1;
ppos=Coord(k*(spann));
end

f1(s,1)=Qservd;

% Skapar och assemblerar styvhetsmatris och lastvektor

n=max(Edof(:,1));
K=zeros(N);
f=zeros(N,1);
t=Edof(:,2:7);
plotpar=[1 4 0];
f=f+f1;
for i=1:n
    [ke,fe]=beam2e(EX(i,:),EY(i,:),ep,eq(i,:));
    K(t(i,:),t(i,:))=K(t(i,:),t(i,:))+ke;
    f(t(i,:),1)=f(t(i,:),1)+fe;
end

% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol, fsol]=solveq(K,f,x_kand);

% Plottar deformationer
sfac=1000; % skalfaktor
ed=extract(Edof,xsol);
eldisp2(EX,EY,ed,plotpar,sfac);
grid on

```



```

% Plottar utbredda laster
plotpar2=[2 1];
sfac=1e-04;
eplot=zeros(k,5);
eplot(1:k,1)=eq(1:k,2);
eplot(1:k,2)=eq(k+1:2*k,2);
eplot(1:k,3)=eq(2*k+1:3*k,2);
eplot(1:k,4)=eq(3*k+1:4*k,2);
eplot(1:k,5)=eq(4*k+1:5*k,2);
for i=1:n
    if i<k+0.1
        a=1;
    elseif i<2*k+0.1
        a=2;
    elseif i<3*k+0.1
        a=3;
    elseif i<4*k+0.1
        a=4;
    elseif i<5*k+0.1
        a=5;
    end

    eldia2(EX(i,:),EY(i,:),eplot(:,a),plotpar2,sfac);
end
hold on
grid on
ylabel('y [kN]')
xlabel('x [m]')
p1=[ppos -Qservd*sfac];           % First Point
p2=[ppos 0];                     % Second Point
dp= p2-p1;                       % Difference

quiver(p1(1),p1(2),dp(1),dp(2),0,'color',[0.75, 0, 0.75])
text(p1(1),p1(2), sprintf('12 kN'))

```

```

% Beräkna normalkraft, tvärkraft och moment mha beam2s
plotpar2=[1 1];

% Tar ut och plottar normalkrafter samt min och max normalkrafter
sfac=1e-04;
figure
title 'Normalkraft'
maxN=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    [sfac]=eldia2(EX(i,:),EY(i,:),ebs(:,1),plotpar2,sfac);
    hold on
    MN=zeros(U,4);
    MN(:,2:end)=MN(:,2:end)+ebs;
    MN(:,1)=MN(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MN,2);
    MaxN(i,1)=MU(U,1);
    MaxN(i,2)=MU(U,2);
    MaxN(i,3)=MU(1,1);
    MaxN(i,4)=MU(1,2);
end
nk1=sortrows(MaxN,4); nk2=sortrows(MaxN,2);
Minnk=nk1(1,3:4);
Maxnk=nk2(n,1:2);
grid on

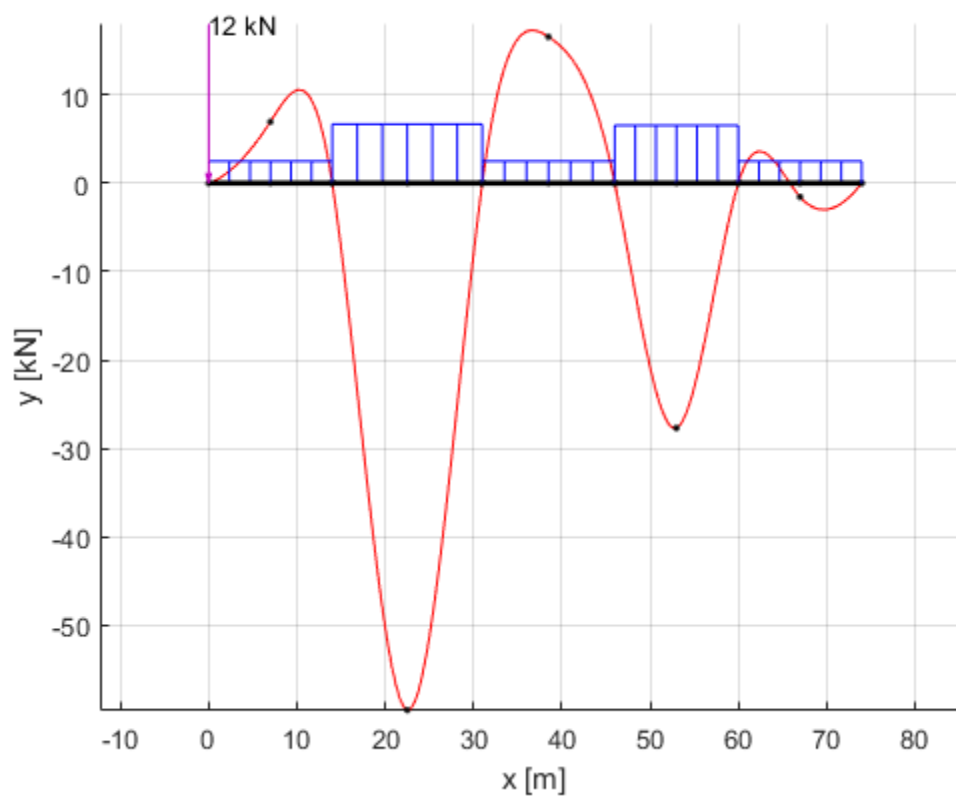
% Tar ut och plottar tvärkrafter samt min och max tvärkrafter
sfac=1e-05;
figure
title 'Tvärkraft'
maxT=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    [sfac]=eldia2(EX(i,:),EY(i,:),ebs(:,2),plotpar2,sfac);
    hold on
    MT=zeros(U,4);
    MT(:,2:end)=MT(:,2:end)+ebs;
    MT(:,1)=MT(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MT,3);
    MaxT(i,1)=MU(U,1);
    MaxT(i,2)=MU(U,3);
    MaxT(i,3)=MU(1,1);
    MaxT(i,4)=MU(1,3);
end
tv1=sortrows(MaxT,4); tv2=sortrows(MaxT,2);
Mintv=tv1(1,3:4);
Maxtv=tv2(n,1:2);
grid on

```

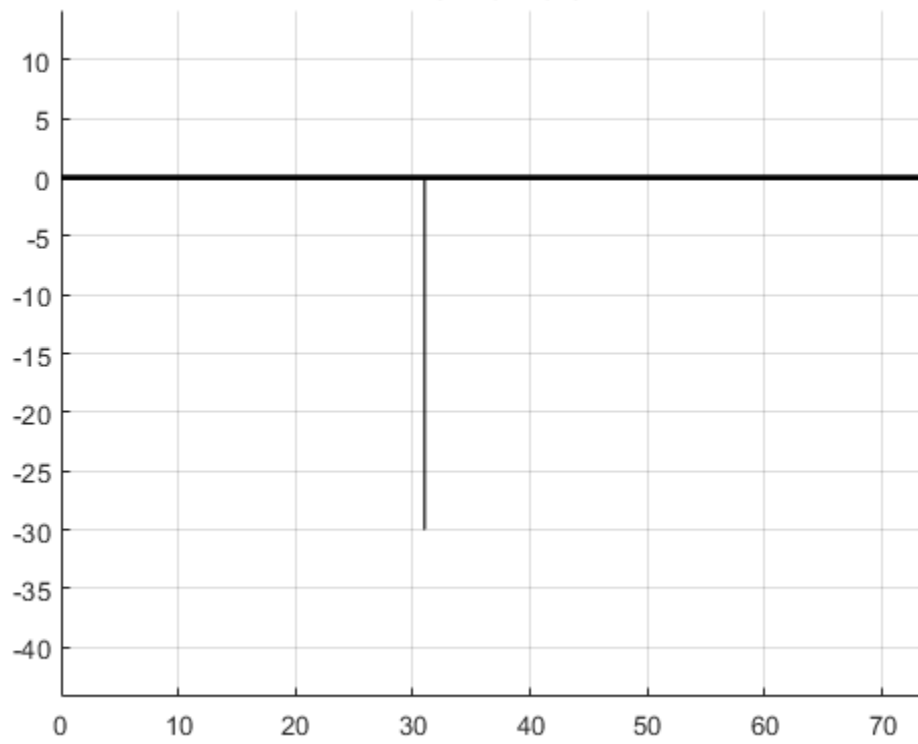
```

% Tar ut och plottar momentdiagram, samt tar ut max och min moment
sfac=1e-05;
figure
title 'Moment'
MaxM=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    [sfac]=eldia2(EX(i,:),EY(i,:),ebs(:,3),plotpar2,sfac);
    hold on
    MM=zeros(U,4);
    MM(:,2:end)=MM(:,2:end)+ebs;
    MM(:,1)=MM(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MM,4);
    MaxM(i,1)=MU(U,1);
    MaxM(i,2)=MU(U,4);
    MaxM(i,3)=MU(1,1);
    MaxM(i,4)=MU(1,4);
end
mom1=sortrows(MaxM,4); mom2=sortrows(MaxM,2);
Minmom=mom1(1,3:4);
Maxmom=mom2(n,1:2);
grid on
xlabel('L[m]')

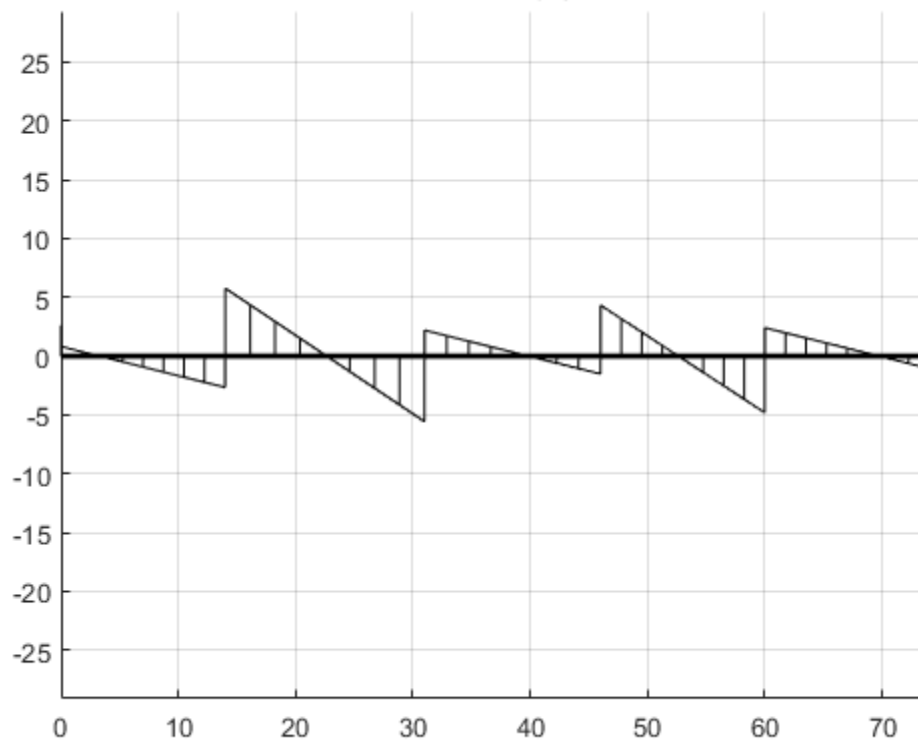
```

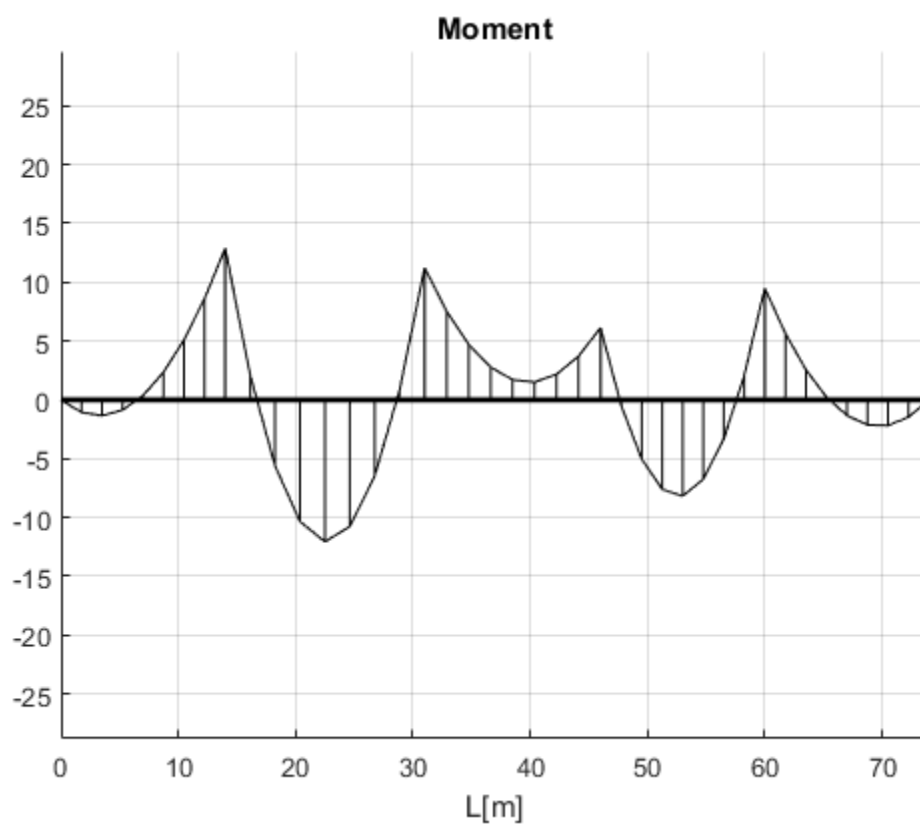


**Normalkraft**



**TvÄrskraft**





[Published with MATLAB® R2016b](#)



## 17.2.6 Bilaga 6

### Beräkning av lasteffekter i horisontell beräkningsmodell

```

clear all
close all
clc

% Geometri
hT=0.45;           % Balkhöjd [m]
bT=5.4;           % Brobredd [m]
lT=74;           % Brolängd [m]
L=[14 17 15 14 14]; % Längder brospann [m]

E=11.9*10^9;      % E-modul limträ [Pa]
A=bT*hT;         % Tvärsnittsarea [m^2]
I=(hT*bT^3)/12;  % Yttröghetsmoment [m^4]

ep=[E A I];      % Brobanans egenskaper

n=20;            % Antal element, måste vara delbart med 10
u=5;            % Antal utvärderingspunkter för varje element

% Input karakteristiska laster
Qwy=143500;      % Total vindlast tvärs bron [N]
Qwx=0.25*Qwy;    % Total vindlast längs bron [N]
qyk=Qwy/lT;      % Utbredd vindlast y [N/m]
qyk=Qwy/lT;      % Utbredd vindlast x [N/m]
qfk=0.1*lT*bT*5000; % Horisontell punktlast [N]

% Dimensionerande lastkombinationer
gammaQ=1.5;      % Partialkoefficient variabel last
psi0w=0.3;      % Nedräkningsfaktor vindlast

qxd=qyk*gammaQ*psi0w;
qyd=qyk*gammaQ;
qfd=qfk*gammaQ;

% Beräkningsmodell

% Topologimatrix
Edof=zeros(n,7);
Edof(:,1)=1:n;
for i=(1:n)
    Edof(i,2)=3*i-2;
    Edof(i,3)=3*i-1;
    Edof(i,4)=3*i;
    Edof(i,5)=3*i+1;
    Edof(i,6)=3*i+2;
    Edof(i,7)=3*i+3;
end

```

```

% Frihetsgrader
nod=(n+1); % Antal noder
Dof=zeros(nod,3);
for i=(1:nod) % Nodfrihetsgrader
    Dof(i,1)=3*i-2;
    Dof(i,2)=3*i-1;
    Dof(i,3)=3*i;
end

% Koordinater för frihetsgraderna
N=max(max(Dof));
v=length(L); % Antal olika fack
k=n/v; % Hur många element per fack
Coord=zeros(nod,2);
Ltot=0;

for i=2:n+1 % Skapar koordinater
    if i<k+1.5
        Ltot=Ltot+L(1)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<2*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(2)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<3*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(3)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<4*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(4)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<5*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(5)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    end
end

[EX,EY]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2); % Placerar noderna i koordinatsystemet

% Anger randvillkor, låser olika beroende på antal element
x_kand=[2 0
        3*k+2 0
        2*3*k+1 0
        2*3*k+2 0
        3*3*k+2 0
        4*3*k+2 0
        5*3*k+2 0];

% Bygger utbredda laster
q1=[0 0]; % Ingen vindlast tvärs bron
q2=[qxd -qyd]; % Vindlast tvärs bron

a=0:1; b=0:1; c=0:1; d=0:1; e=0:1;
comb=combvec(a,b,c,d,e)'; % Skapar samtliga lastkombinationer
nloop=length(comb); % för utbredda lasterna i facken

```



```

% Nollställer resultatvariabler innan loop
MMi=[0 0]; MMA=[0 0];
TMi=[0 0]; TMA=[0 0];
NMI=[0 0]; NMA=[0 0];

Stod1=0; Stod2=0; Stod3=0; Stod4=0; Stod5=0; Stod6=0; Stod7=0;

% Startar att loopa samtliga vertikala lastkombinationer
% Horisontella laster längs brobanan måste testas manuellt

for ts=1:nloop

% Förser aktuell lastkombination med lasternas storlek
Eq=[q1+q2*comb(ts,1);
    q1+q2*comb(ts,2);
    q1+q2*comb(ts,3);
    q1+q2*comb(ts,4);
    q1+q2*comb(ts,5)];

% Ger utbredda laster för alla element
eq=zeros(n,2);

for i=1:n
    if i<k+0.5
        eq(i,:)=Eq(1,:);
    elseif i<2*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(2,:);
    elseif i<3*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(3,:);
    elseif i<4*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(4,:);
    elseif i<5*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(5,:);
    end
end

% Skapar och assemblerar styvhetsmatris och lastvektor
n=max(Edof(:,1));
K=zeros(N);
f=zeros(N,1);
f(2*3*k+4)=Qf1d;
t=Edof(:,2:7);
plotpar=[1 4 0];
for i=1:n
    [Ke, fe]=beam2e(EX(i,:),EY(i,:),ep,eq(i,:));
    K(t(i,:),t(i,:))=K(t(i,:),t(i,:))+Ke;
    f(t(i,:),1)=f(t(i,:),1)+fe;
end

% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol, fsol]=solveq(K,f,x_kand);

```

```

% Tar ut stödkrafter
si1=fso1(2+3*k*(1-1)); si2=fso1(2+3*k*(2-1)); si3=fso1(2+3*k*(3-1));
si4=fso1(2+3*k*(4-1)); si5=fso1(2+3*k*(5-1)); si6=fso1(2+3*k*(6-1));
si7=fso1(1+3*k*(3-1));

% Ersätter tidigare stödkrafter eventuella större reaktionskrafter
if si1>Stod1
    Stod1=si1;
    lfs1=ts;
end
if si2>Stod2
    Stod2=si2;
    lfs2=ts;
end
if si3>Stod3
    Stod3=si3;
    lfs3=ts;
end
if si4>Stod4
    Stod4=si4;
    lfs4=ts;
end
if si5>Stod5
    Stod5=si5;
    lfs5=ts;
end
if si6>Stod6
    Stod6=si6;
    lfs6=ts;
end
if abs(si7)>Stod7
    Stod7=si7;
    lfs7=ts;
end

ed=extract(Edof,xso1);

% Beräkna normalkraft, tvärkraft och moment mha beam2s

% Tar ut min och max normalkrafter, endast största sparas
MaxN=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xso1);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);

    MN=zeros(U,4);
    MN(:,2:end)=MN(:,2:end)+ebs;
    MN(:,1)=MN(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MN,2);
    MaxN(i,1)=MU(U,1);
    MaxN(i,2)=MU(U,2);
    MaxN(i,3)=MU(1,1);
    MaxN(i,4)=MU(1,2);
end

```

```

end
nk1=sortrows(MaxN,4); nk2=sortrows(MaxN,2);
Minnk=nk1(1,3:4);
Maxnk=nk2(n,1:2);

if abs(Minnk(1,2))>abs(NMi(1,2))
    NMi=Minnk;
    lfnMi=ts;
end
if Maxnk(1,2)>NMa(1,2)
    NMa=Maxnk;
    lfnMa=ts;
end

% Tar ut min och max tvärkrafter, endast största sparas
MaxT=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xso1);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    MT=zeros(U,4);
    MT(:,2:end)=MT(:,2:end)+ebs;
    MT(:,1)=MT(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MT,3);
    MaxT(i,1)=MU(U,1);
    MaxT(i,2)=MU(U,3);
    MaxT(i,3)=MU(1,1);
    MaxT(i,4)=MU(1,3);
end
tv1=sortrows(MaxT,4); tv2=sortrows(MaxT,2);
Mintv=tv1(1,3:4);
Maxtv=tv2(n,1:2);

if abs(Mintv(1,2))>abs(TMi(1,2))
    TMi=Mintv;
    lfnMi=ts;
end
if Maxtv(1,2)>TMa(1,2)
    TMa=Maxtv;
    lfnMa=ts;
end

% Tar ut max och min moment, endast största sparas
MaxM=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xso1);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    MM=zeros(U,4);
    MM(:,2:end)=MM(:,2:end)+ebs;
    MM(:,1)=MM(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MM,4);
    MaxM(i,1)=MU(U,1);
    MaxM(i,2)=MU(U,4);
    MaxM(i,3)=MU(1,1);
    MaxM(i,4)=MU(1,4);
end

```

```

end
mom1=sortrows(MaxM,4); mom2=sortrows(MaxM,2);
Minmom=mom1(1,3:4);
Maxmom=mom2(n,1:2);

if abs(Minmom(1,2))>abs(MMi(1,2))
    MMi=Minmom;
    lfMMi=ts;
end
if Maxmom(1,2)>MMA(1,2)
    MMA=Maxmom;
    lfMMA=ts;
end

end

% Skapar önskade resultattabeller
Varden = {'x-koordinat [m]'; 'Moment [kNm]'; 'Tvärkraft [kN]';
          'Normalkraft [kN]'; 'Variabel fack 1'; 'Variabel fack 2';
          'Variabel fack 3'; 'Variabel fack 4'; 'Variabel fack 5'};

Medfalt = [MMA(1,1); MMA(1,2)/1000; 0; 0; comb(lfMMA,1); comb(lfMMA,2);
           comb(lfMMA,3); comb(lfMMA,4); comb(lfMMA,5)];

Medstod = [MMi(1,1); MMi(1,2)/1000; 0; 0; comb(lfMMi,1); comb(lfMMi,2);
           comb(lfMMi,3); comb(lfMMi,4); comb(lfMMi,5)];

Vedmax = [TMa(1,1); 0; TMa(1,2)/1000; 0; comb(lfTMA,1); comb(lfTMA,2);
          comb(lfTMA,3); comb(lfTMA,4); comb(lfTMA,5)];

Vedmin = [TMI(1,1); 0; TMI(1,2)/1000; 0; comb(lfTMI,1); comb(lfTMI,2);
          comb(lfTMI,3); comb(lfTMI,4); comb(lfTMI,5)];

Maxdrag = [NMA(1,1); 0; 0; NMA(1,2)/1000; comb(lfNMA,1); comb(lfNMA,2);
           comb(lfNMA,3); comb(lfNMA,4); comb(lfNMA,5)];

Maxtryck = [NMI(1,1); 0; 0; NMI(1,2)/1000; comb(lfNMI,1); comb(lfNMI,2);
            comb(lfNMI,3); comb(lfNMI,4); comb(lfNMI,5)];

Dimensionerandelasteffekter = table(Medfalt,Medstod,Vedmax,...
    Vedmin,Maxdrag,Maxtryck, 'RowNames', Varden)

Stod1=[Stod1/1000; lfs1;];
Stod2=[Stod2/1000; lfs2;];
Stod3=[Stod3/1000; lfs3;];
Stod4=[Stod4/1000; lfs4;];
Stod5=[Stod5/1000; lfs5;];
Stod6=[Stod6/1000; lfs6;];
x1ed=[Stod7/1000; lfs7;];

Stod={'Reaktionskraft [kN]'; 'Lastfall'};
Reaktionskrafter = table(Stod1,Stod2,Stod3,Stod4,Stod5,Stod6,x1ed,...
    'RowNames', Stod)

```

Dimensionerandelasteffekter =

	Medfalt	Medstod	Vedmax	Vedmin	Maxdrag	Maxtryck
	_____	_____	_____	_____	_____	_____
x-koordinat [m]	22.5	14	31	14	31	31
Moment [kNm]	61.93	-81.693	0	0	0	0
Tvärkraft [kN]	0	0	27.457	-27.789	0	0
Normalkraft [kN]	0	0	0	0	309.08	-6.7629
Variabel fack 1	0	1	0	1	0	1
Variabel fack 2	1	1	1	1	0	1
Variabel fack 3	0	0	1	0	1	0
Variabel fack 4	1	1	0	1	1	0
Variabel fack 5	0	0	1	0	1	0

Reaktionskrafter =

	Stod1	Stod2	Stod3	Stod4	Stod5	Stod6
xled	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____						
Reaktionskraft [kN]	18.548	53.986	53.824	49.31	50.181	18.335
-315.84						
Lastfall	22	12	23	14	27	22
32						

[Published with MATLAB® R2016b](#)



## 17.2.7 Bilaga 7

### Plottning av moment och tvärkraftsdiagram i horisontell beräkningsmodell

```

clc
clear all
close all

% Geometri
hT=0.45; % Balkhöjd [m]
bT=5.4; % Brobredd [m]
lT=74; % Brolängd [m]
L=[14 17 15 14 14]; % Längder brospann [m]

E=11.9*10^9; % E-modul limträ [Pa]
A=bT*hT; % Tvärsnittsarea [m^2]
I=(hT*bT^3)/12; % Yttröghetsmoment [m^4]

ep=[E A I]; % Brobanans egenskaper

n=20; % Antal element, måste vara delbart med 10
u=5; % Antal utvärderingspunkter för varje element

% Input karakteristiska laster
Qwy=143500; % Total vindlast tvärs bron [N]
Qwx=0.25*Qwy; % Total vindlast längs bron [N]
qyk=Qwy/lT; % Utbredd vindlast y [N/m]
qyk=Qwy/lT; % Utbredd vindlast x [N/m]
qfk=0.1*lT*bT*5000; % Horisontell punktlast [N]

% Dimensionerande lastkombinationer
gammaQ=1.5; % Partialkoefficient variabel last
psi0w=0.3; % Nedräkningsfaktor vindlast

qxd=qyk*gammaQ*psi0w;
qyd=qyk*gammaQ;
qfd=qfk*gammaQ;

q1=[qxd 0]; % Endast egentygnd
q2=[qxd -qyd]; % Egentygnd+variabel last

% Lastkombination för fack
Eq=[q2; q2; q2; q2; q2];

```

```

% Beräkningsmodell

% Topologimatrix
Edof=zeros(n,7);
Edof(:,1)=1:n;
for i=(1:n)
    Edof(i,2)=3*i-2;
    Edof(i,3)=3*i-1;
    Edof(i,4)=3*i;
    Edof(i,5)=3*i+1;
    Edof(i,6)=3*i+2;
    Edof(i,7)=3*i+3;
end

% Frihetsgrader
nod=(n+1); % Antal noder
Dof=zeros(nod,3);
for i=(1:nod) % Nodfrihetsgrader
    Dof(i,1)=3*i-2;
    Dof(i,2)=3*i-1;
    Dof(i,3)=3*i;
end

% Koordinater för frihetsgraderna
N=max(max(Dof));
v=length(L); % Antal olika fack
k=n/v; % Hur många element per fack
Coord=zeros(nod,2);
Ltot=0;

for i=2:n+1 % Skapar koordinater
    if i<k+1.5
        Ltot=Ltot+L(1)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<2*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(2)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<3*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(3)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<4*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(4)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<5*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(5)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    end
end

[EX,EY]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2); % Placerar noderna i koordinatsystemet

% Plottar odeformerad bro
plotpar=[1 1 0];
eldraw2(EX,EY,plotpar)

```



```

% Anger randvillkor, låser olika beroende på antal element
x_kand=[2      0
        3*k+2  0
        2*3*k+1 0
        2*3*k+2 0
        3*3*k+2 0
        4*3*k+2 0
        5*3*k+2 0];

% Ger utbredda laster för alla element
eq=zeros(n,2);

for i=1:n
    if i<k+0.5
        eq(i,:)=Eq(1,:);
    elseif i<2*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(2,:);
    elseif i<3*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(3,:);
    elseif i<4*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(4,:);
    elseif i<5*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(5,:);
    end
end

% Skapar och assemblerar styvhetsmatris och lastvektor
n=max(Edof(:,1));
K=zeros(N);
f=zeros(N,1);
f(2*3*k-2)=Qf1d;
t=Edof(:,2:7);
plotpar=[1 4 0];
for i=1:n
    [Ke, fe]=beam2e(EX(i,:),EY(i,:),ep,eq(i,:));
    K(t(i,:),t(i,:))=K(t(i,:),t(i,:))+Ke;
    f(t(i,:),1)=f(t(i,:),1)+fe;
end

% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol, fsol]=solveq(K,f,x_kand);

% Plottar deformationer
sfac=1000; % Skalfaktor
ed=extract(Edof,xsol);
eldisp2(EX,EY,ed,plotpar,sfac);
grid on

```

```

% Plottar utbredda laster
plotpar2=[2 1];
sfac=1e-03;
eplot=zeros(k,5);
eplot(1:k,1)=eq(1:k,2);
eplot(1:k,2)=eq(k+1:2*k,2);
eplot(1:k,3)=eq(2*k+1:3*k,2);
eplot(1:k,4)=eq(3*k+1:4*k,2);
eplot(1:k,5)=eq(4*k+1:5*k,2);
for i=1:n
    if i<k+0.1
        a=1;
    elseif i<2*k+0.1
        a=2;
    elseif i<3*k+0.1
        a=3;
    elseif i<4*k+0.1
        a=4;
    elseif i<5*k+0.1
        a=5;
    end

    eldia2(EX(i,:),EY(i,:),eplot(:,a),plotpar2,sfac);
end
hold on
grid on
ylabel('y [kN]')
xlabel('x [m]')

% Beräkna normalkraft, tvärkraft och moment mha beam2s
plotpar2=[1 1];

% Tar ut och plottar normalkrafter samt min och max normalkrafter
sfac=1e-04;
figure
title 'Normalkraft'
MaxN=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xsol);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    [sfac]=eldia2(EX(i,:),EY(i,:),ebs(:,1),plotpar2,sfac);
    hold on
    MN=zeros(U,4);
    MN(:,2:end)=MN(:,2:end)+ebs;
    MN(:,1)=MN(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MN,2);
    MaxN(i,1)=MU(U,1);
    MaxN(i,2)=MU(U,2);
    MaxN(i,3)=MU(1,1);
    MaxN(i,4)=MU(1,2);
end
nk1=sortrows(MaxN,4); nk2=sortrows(MaxN,2);
Minnk=nk1(1,3:4);
Maxnk=nk2(n,1:2);
grid on

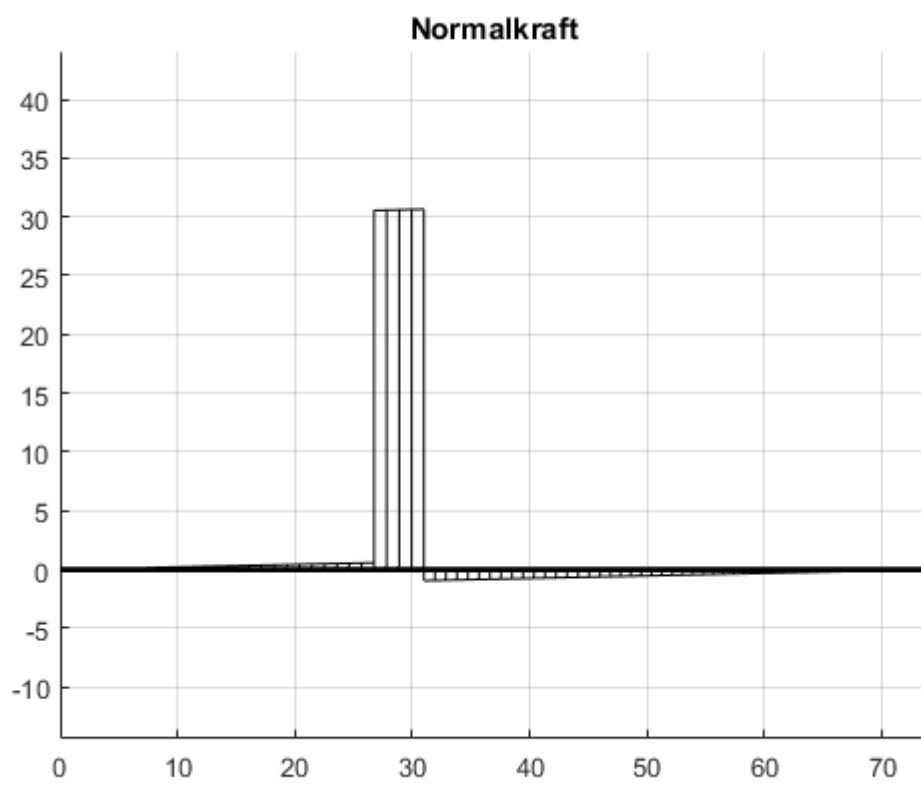
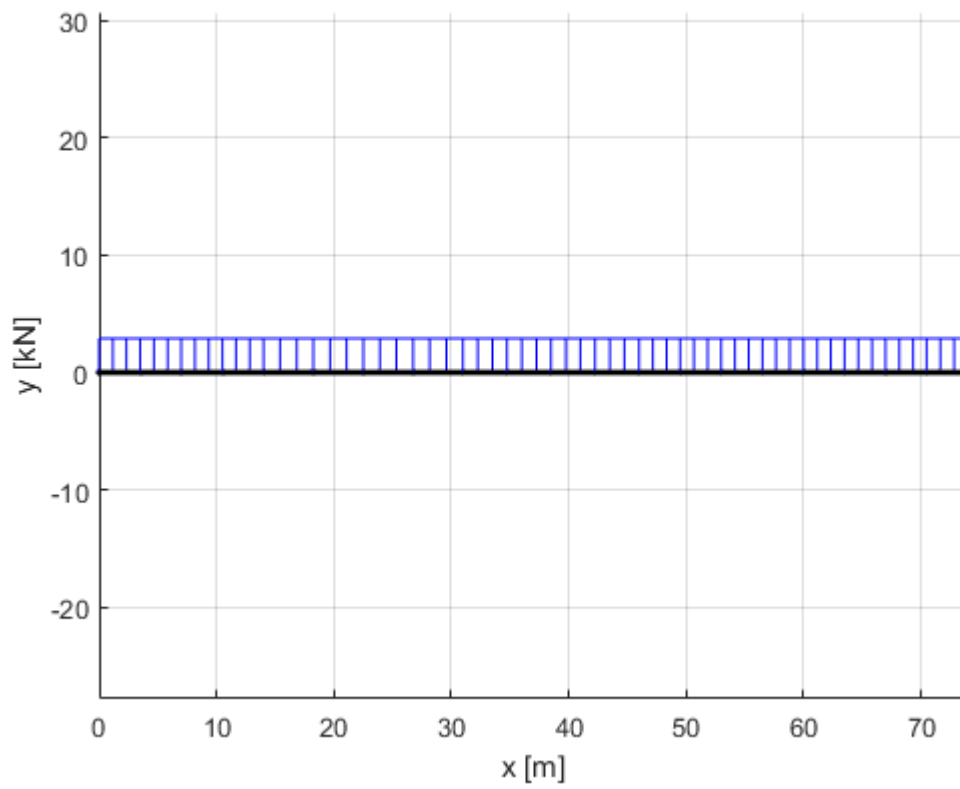
```

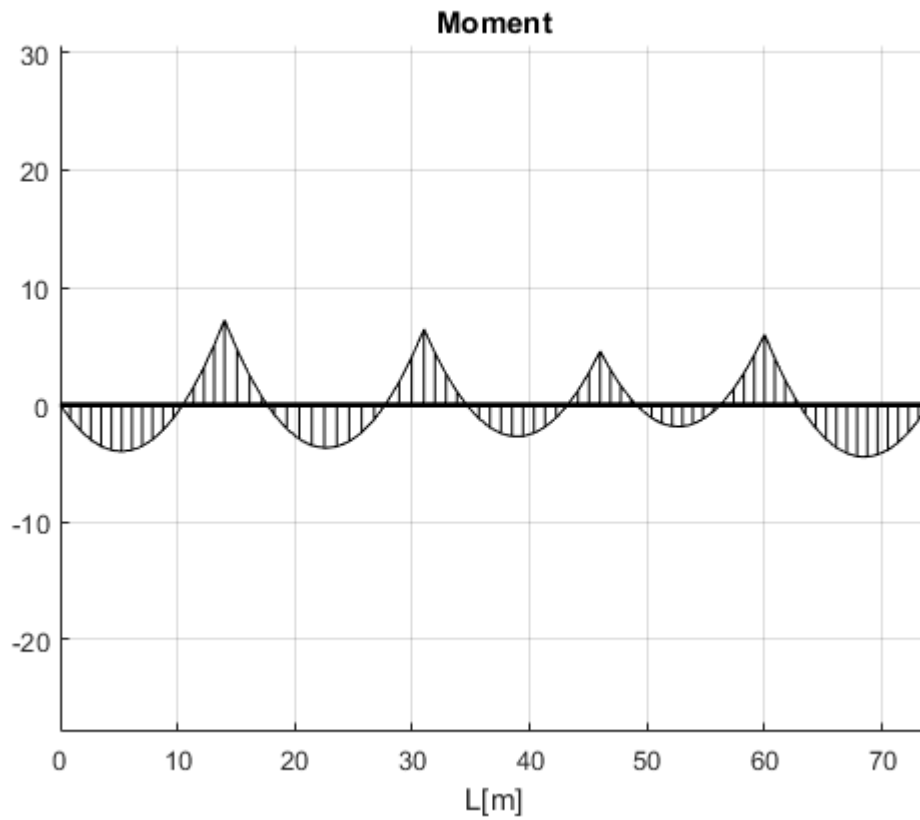
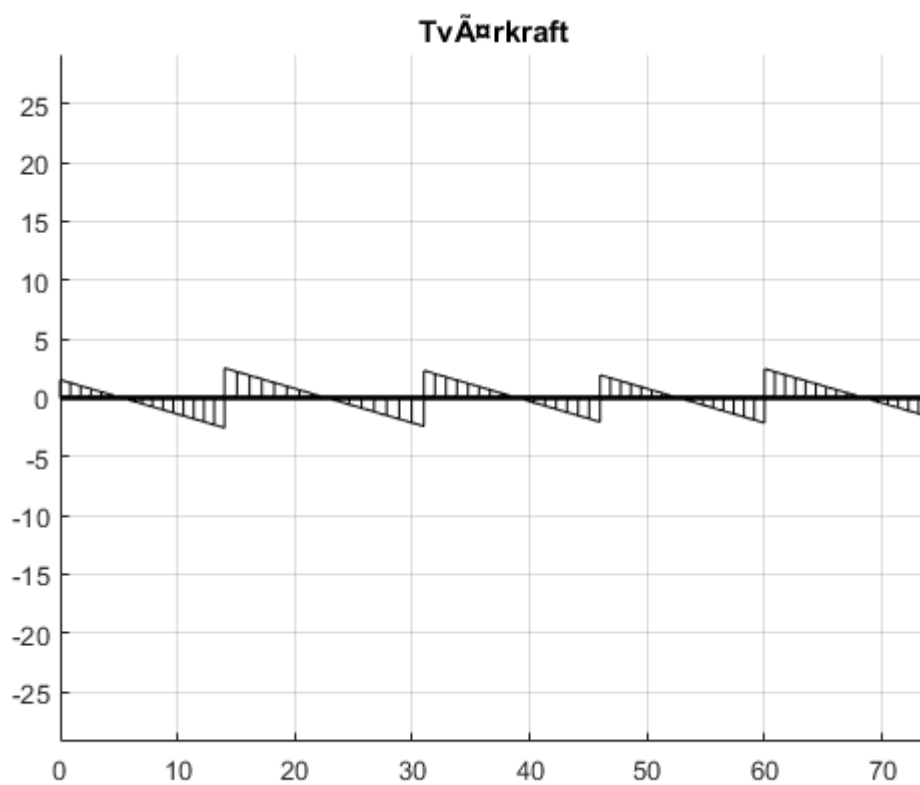
```

% Tar ut och plottar tvärkrafter samt min och max tvärkrafter
sfac=1e-04;
figure
title 'TvÄrkraft'
MaxT=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xso1);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    [sfac]=eldia2(EX(i,:),EY(i,:),ebs(:,2),plotpar2,sfac);
    hold on
    MT=zeros(U,4);
    MT(:,2:end)=MT(:,2:end)+ebs;
    MT(:,1)=MT(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MT,3);
    MaxT(i,1)=MU(U,1);
    MaxT(i,2)=MU(U,3);
    MaxT(i,3)=MU(1,1);
    MaxT(i,4)=MU(1,3);
end
tv1=sortrows(MaxT,4); tv2=sortrows(MaxT,2);
Mintv=tv1(1,3:4);
Maxtv=tv2(n,1:2);
grid on

% Tar ut och plottar momentdiagram, samt tar ut max och min moment
sfac=1e-04;
figure
title 'Moment'
MaxM=zeros(n,4);
for i=1:n
    ed=extract(Edof(i,:),xso1);
    [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq(i,:),U);
    [sfac]=eldia2(EX(i,:),EY(i,:),ebs(:,3),plotpar2,sfac);
    hold on
    MM=zeros(U,4);
    MM(:,2:end)=MM(:,2:end)+ebs;
    MM(:,1)=MM(:,1)+eci+EX(i,1);
    MU=sortrows(MM,4);
    MaxM(i,1)=MU(U,1);
    MaxM(i,2)=MU(U,4);
    MaxM(i,3)=MU(1,1);
    MaxM(i,4)=MU(1,4);
end
mom1=sortrows(MaxM,4); mom2=sortrows(MaxM,2);
Minmom=mom1(1,3:4);
Maxmom=mom2(n,1:2);
grid on
xlabel('L[m]')

```







## 17.2.8 Bilaga 8

### Beräkning av lasteffekter med ett stöd avkört

```

clc
close all
clear all

% Indata

% Geometri
hT=0.45;           % Balkhöjd [m]
bT=5.4;           % Brobredd [m]
lT=74;           % Brolängd [m]
L=[14 17 15 14 14]; % Längder brospann [m]

E=11.9*10^9;      % E-modul limträ [Pa]
A=bT*hT;         % Tvärsnittsarea [m^2]
I=(bT*hT^3)/12;  % Yttroghetsmoment [m^4]

ep=[E A I];      % Brobanans egenskaper

n=20;            % Antal element, måste vara delbart med 10
U=5;            % Antal utvärderingspunkter för varje element

% Input Laster
qk=18.36*10^3;   % Karateristiska laster[N/m]
eq=[0 -qk];

% Anger randvillkor för olika stöd påkörda
v=length(L);    % Antal olika fack
k=n/v;          % Hur många element per fack

% Stöd 2 påkört
x_kand1=[2      0
          2*3*k+1 0
          2*3*k+2 0
          3*3*k+2 0
          4*3*k+2 0
          5*3*k+2 0];

% Stöd 3 påkört
x_kand2=[1      0
          2      0
          3*k+2  0
          3*3*k+2 0
          4*3*k+2 0
          5*3*k+2 0];

% Stöd 4 påkört
x_kand3=[2      0
          3*k+2  0
          2*3*k+1 0

```

```

2*3*k+2 0
4*3*k+2 0
5*3*k+2 0];

% Olika randvillkor i gemensam matris
x_kand=[x_kand1, x_kand2, x_kand3];

% Beräkningsmodell

% Topologimatrix beroende på antal element
Edof=zeros(n,7);
Edof(:,1)=1:n;

for i=(1:n)
    Edof(i,2)=3*i-2;
    Edof(i,3)=3*i-1;
    Edof(i,4)=3*i;
    Edof(i,5)=3*i+1;
    Edof(i,6)=3*i+2;
    Edof(i,7)=3*i+3;
end

% Frihetsgrader beroende på antal element
nod=(n+1); % Antal noder
Dof=zeros(nod,3);
for i=(1:nod) % Nodfrihetsgrader
    Dof(i,1)=3*i-2;
    Dof(i,2)=3*i-1;
    Dof(i,3)=3*i;
end

% Koordinater för frihetsgraderna
Coord=zeros(nod,2);
Ltot=0;

for i=2:n+1 % Skapar koordinater
    if i<k+1.5
        Ltot=Ltot+L(1)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<2*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(2)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<3*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(3)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<4*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(4)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<5*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(5)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    end
end

[EX,EY]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2); % Placerar noderna i koordinatsystemet

```



```

% Skapar och assemblerar styvhetsmatris och lastvektor
N=max(max(Dof));
n=max(Edof(:,1));
K=zeros(N);
f=zeros(N,1);
t=Edof(:,2:7);
plotpar=[1 4 0];

for i=1:n
    [ke, fe]=beam2e(EX(i,:), EY(i,:), ep, eq);
    K(t(i,:), t(i,:))=K(t(i,:), t(i,:))+ke;
    f(t(i,:), 1)=f(t(i,:), 1)+fe;
end

% Nollställer resultatvariabler innan loop
MMi=[0 0]; MMA=[0 0];
Tmi=[0 0]; TMa=[0 0];

Stod1=0; Stod2=0; Stod3=0; Stod4=0; Stod5=0; Stod6=0; Stod7=0;

% Startar att loopa de tre olika fallen för olika stöd påkörda
for j=1:3

% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol, fsol]=solveq(K, f, x_kand(:, 2*j-1:2*j));

% Tar ut reaktionskrafter
si1=fsol(2+3*k*(1-1)); si2=fsol(2+3*k*(2-1)); si3=fsol(2+3*k*(3-1));
si4=fsol(2+3*k*(4-1)); si5=fsol(2+3*k*(5-1)); si6=fsol(2+3*k*(6-1));

% Ersätter tidigare stöd krafter eventuella större reaktionskrafter
if si1>Stod1
    Stod1=si1;
    Sb1=j+1;
end
if si2>Stod2
    Stod2=si2;
    Sb2=j+1;
end
if si3>Stod3
    Stod3=si3;
    Sb3=j+1;
end
if si4>Stod4
    Stod4=si4;
    Sb4=j+1;
end
if si5>Stod5
    Stod5=si5;
    Sb5=j+1;
end
if si6>Stod6
    Stod6=si6;

```

```

        Sb6=j+1;
    end

    ed=extract(Edof,xsol);

    % Beräkna tvärkraft och moment mha beam2s

    % Tar ut min och max tvärkrafter, endast största sparas
    MaxT=zeros(n,4);
    for i=1:n
        ed=extract(Edof(i,:),xsol);
        [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq,U);
        MT=zeros(U,4);
        MT(:,2:end)=MT(:,2:end)+ebs;
        MT(:,1)=MT(:,1)+eci+EX(i,1);
        MU=sortrows(MT,3);
        MaxT(i,1)=MU(U,1);
        MaxT(i,2)=MU(U,3);
        MaxT(i,3)=MU(1,1);
        MaxT(i,4)=MU(1,3);
    end
    tv1=sortrows(MaxT,4); tv2=sortrows(MaxT,2);
    Mintv=tv1(1,3:4);
    Maxtv=tv2(n,1:2);

    if abs(Mintv(1,2))>abs(TMi(1,2))
        TMi=Mintv;
        TMisb=j+1;
    end
    if Maxtv(1,2)>TMa(1,2)
        TMa=Maxtv;
        TMasb=j+1;
    end

    % Tar ut max och min moment, endast största sparas
    MaxM=zeros(n,4);
    for i=1:n
        ed=extract(Edof(i,:),xsol);
        [ebs,edi,eci]=beam2s(EX(i,:),EY(i,:),ep,ed,eq,U);
        MM=zeros(U,4);
        MM(:,2:end)=MM(:,2:end)+ebs;
        MM(:,1)=MM(:,1)+eci+EX(i,1);
        MU=sortrows(MM,4);
        MaxM(i,1)=MU(U,1);
        MaxM(i,2)=MU(U,4);
        MaxM(i,3)=MU(1,1);
        MaxM(i,4)=MU(1,4);
    end
    mom1=sortrows(MaxM,4); mom2=sortrows(MaxM,2);
    Minmom=mom1(1,3:4);
    Maxmom=mom2(n,1:2);

    if abs(Minmom(1,2))>abs(MMi(1,2))
        MMi=Minmom;
        MMisb=j+1;
    end

```

```

end

if Maxmom(1,2)>MMA(1,2)
    MMA=Maxmom;
    MMAsb=j+1;
end

end

% Skapar önskade resultattabeller

Varden = {'x-koordinat [m]'; 'Moment [kNm]'; 'Tvärkraft [kN]'; 'Stöd borta'};

Maxmoment = [MMA(1,1); MMA(1,2)/1000; 0; MMAsb];
Minmoment = [MMi(1,1); MMi(1,2)/1000; 0; MMIsb];
Maxtvärkraft = [TMA(1,1); 0; TMA(1,2)/1000; TMAsb];
Mintvärkraft = [TMI(1,1); 0; TMI(1,2)/1000; TMIsb];

Olyckslasteffekter = table(Maxmoment, Minmoment, Maxtvärkraft, ...
    Mintvärkraft, 'RowNames', Varden)

Stod1=[Stod1/1000; Sb1];
Stod2=[Stod2/1000; Sb2];
Stod3=[Stod3/1000; Sb3];
Stod4=[Stod4/1000; Sb4];
Stod5=[Stod5/1000; Sb5];
Stod6=[Stod6/1000; Sb6];

Stod={'Reaktionskraft [kN]', 'Stöd borta'};
Reaktionskrafter = table(Stod1, Stod2, Stod3, Stod4, Stod5, Stod6, ...
    'RowNames', Stod)

```

Olyckslasteffekter =

	Maxmoment	Minmoment	Maxtvärkraft	Mintvärkraft
x-koordinat [m]	12.25	31	31	14
Moment [kNm]	1450.9	-1664.2	0	0
Tvärkraft [kN]	0	0	338.26	-294.68
Stöd borta	2	2	2	3

Reaktionskrafter =

	Stod1	Stod2	Stod3	Stod4	Stod5	Stod6
Reaktionskraft [kN]	230.9	517.64	590.79	504.64	473.12	119.47
Stöd borta	2	3	2	3	4	3



## 17.2.9 Bilaga 9

### Beräkning av slutlig nedböjning (bruksgränstillstånd)

```

clc
close all
clear all

% Indata

% Geometri
hT=0.45;           % Balkhöjd [m]
bT=5.4;           % Brobredd [m]
lT=74;           % Brolängd [m]
L=[14 17 15 14 14]; % Längder brospann [m]

Emean=14.7*10^9;  % E-modul limträ [Pa]
A=bT*hT;         % Tvärsnittsarea [m^2]
I=(bT*hT^3)/12;  % Ytt röghetsmoment

ep=[Emean A I];  % Brobanans egenskaper

kdef=0.8;        % SSEN1995-1-1:2004, tab 3.2
psi2=0;         % SSEN1990
wkrav=1/400;    % Nedböjningskrav

n=20;           % Antal element, måste vara delbart med 10

% Input Karakteristiska laster
gk=18.36*10^3;  % Egentyngd [N/m]
qk=27*10^3;     % Trafiklast [N/m]
Qservk=-120000; % Punklast [N]

% Beräkningsmodell

% Topologimatrix beroende på antal element
Edof=zeros(n,7);
Edof(:,1)=1:n;

for i=(1:n)
    Edof(i,2)=3*i-2;
    Edof(i,3)=3*i-1;
    Edof(i,4)=3*i;
    Edof(i,5)=3*i+1;
    Edof(i,6)=3*i+2;
    Edof(i,7)=3*i+3;
end

t=Edof(:,2:7);

```

```

% Frihetsgrader beroende på antal element
nod=(n+1); % Antal noder
Dof=zeros(nod,3);
for i=(1:nod) % Nodfrihetsgrader
    Dof(i,1)=3*i-2;
    Dof(i,2)=3*i-1;
    Dof(i,3)=3*i;
end

N=max(max(Dof));

% Koordinater för frihetsgraderna
v=length(L); % Antal olika fack
k=n/v; % Hur många element per fack
Coord=zeros(nod,2);
Ltot=0;

for i=2:n+1 % Skapar koordinater
    if i<k+1.5
        Ltot=Ltot+L(1)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<2*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(2)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<3*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(3)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<4*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(4)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    elseif i<5*k+1.5
        Ltot=Ltot+L(5)/k;
        Coord(i,1)=Ltot;
    end
end

[EX,EY]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2); % Placerar noderna i koordinatsystemet

% Anger randvillkor, låser olika beroende på antal element
x_kand=[2 0
        3*k+2 0
        2*3*k+1 0
        2*3*k+2 0
        3*3*k+2 0
        4*3*k+2 0
        5*3*k+2 0];

% Bygger och löser ekvationssystem för permanenta laster
K1=zeros(N);
f1=zeros(N,1);
eq1=[0 -gk]; % Endast egentygnd

for i=1:n
    [Ke1,fe1]=beam2e(EX(i,:),EY(i,:),ep,eq1);

```

```

    K1(t(i,:),t(i,:))=K1(t(i,:),t(i,:))+ke1;
    f1(t(i,:),1)=f1(t(i,:),1)+fe1;
end
% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol1, fsol1]=solveq(K1,f1,x_kand);

% Tar ut initiellnedböjning för permanenta laster
n11=max(abs((xsol1(2:3:3*k))));
n12=max(abs((xsol1(3*k+2:3:6*k))));
n13=max(abs((xsol1(6*k+2:3:9*k))));
n14=max(abs((xsol1(9*k+2:3:12*k))));
n15=max(abs((xsol1(12*k+2:3:15*k))));

% Bygger utbredda variabla laster

q2=[0 -qk];

a=0:1; b=0:1; c=0:1; d=0:1; e=0:1;
comb=combvec(a,b,c,d,e)'; % Skapar samtliga lastkombinationer
y=length(comb); % för utbredda lasterna i facken

% Nollställer resultatvariabler innan loop
n21=0; n22=0; n23=0; n24=0; n25=0;

% Startar att loopa samtliga lastkombinationer
for punkt=1:2
for spann=1:5
for lf=1:y

% Förser aktuell lastkombiantion med lasternas storlek
Eq=[q2*comb(lf,1);
    q2*comb(lf,2);
    q2*comb(lf,3);
    q2*comb(lf,4);
    q2*comb(lf,5)];

eq=zeros(n,2);

% Ger utbredda laster för alla element
for i=1:n
    if i<k+0.5
        eq(i,:)=Eq(1,:);
    elseif i<2*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(2,:);
    elseif i<3*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(3,:);
    elseif i<4*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(4,:);
    elseif i<5*k+0.5
        eq(i,:)=Eq(5,:);
    end
end

% Lastvektor för punktlaster
N=max(max(Dof));
f1=zeros(N,1);

```

```

fp=Qservk;

% Ser till att punktlast ej kan vara samtidigt som trafiklast
if comb(1f,spann)==1
    fp=0;
end

% Sätter punktlast i rätt spann
s=2+(3*k/2)+(3*k)*(spann-1);
f1(s,1)=fp*(punkt-1);

% Skapar och assemblerar styvhetsmatris och lastvektor för variabla laster
K2=zeros(N);
f2=zeros(N,1);
f2=f2+f1;

for i=1:n
    [ke2, fe2]=beam2e(EX(i,:),EY(i,:),ep,eq(i,:));
    K2(t(i,:),t(i,:))=K2(t(i,:),t(i,:))+ke2;
    f2(t(i,:),1)=f2(t(i,:),1)+fe2;
end

% Löser ekvationssystem Ka=f
[xsol2, fsol2]=solveq(K2,f2,x_kand);
% Tar ut initieellnedböjning för variabel last vid värsta lastfall
n21i=max(abs((xsol2(2:3:3*k))));
n22i=max(abs((xsol2(3*k+2:3:6*k))));
n23i=max(abs((xsol2(6*k+2:3:9*k))));
n24i=max(abs((xsol2(9*k+2:3:12*k))));
n25i=max(abs((xsol2(12*k+2:3:15*k))));

if n21i>n21
    n21=n21i;
    1f1=1f;
    fp1=f1(s,1);
end
if n22i>n22
    n22=n22i;
    1f2=1f;
    fp2=f1(s,1);
end
if n23i>n23
    n23=n23i;
    1f3=1f;
    fp3=f1(s,1);
end
if n24i>n24
    n24=n24i;
    1f4=1f;
    fp4=f1(s,1);
end
if n25i>n25
    n25=n25i;
    1f5=1f;
    fp5=f1(s,1);
end

```



```

end
end
end
end
% Total intieäll nedböjning
winst1=n11+n21;
winst2=n12+n22;
winst3=n13+n23;
winst4=n14+n24;
winst5=n15+n25;

% Total slutlig nedböjning
wfin1=n11*(1+kdef)+n21*(1+psi2*kdef);
wfin2=n12*(1+kdef)+n22*(1+psi2*kdef);
wfin3=n13*(1+kdef)+n23*(1+psi2*kdef);
wfin4=n14*(1+kdef)+n24*(1+psi2*kdef);
wfin5=n15*(1+kdef)+n25*(1+psi2*kdef);

% Skapar tabell

Spann1=[L(1);wfin1*1000;L(1)*wkrav*1000;];
Spann2=[L(2);wfin2*1000;L(2)*wkrav*1000;];
Spann3=[L(3);wfin3*1000;L(3)*wkrav*1000;];
Spann4=[L(4);wfin4*1000;L(4)*wkrav*1000;];
Spann5=[L(5);wfin5*1000;L(5)*wkrav*1000;];

Ned={'Spännvidd [m]';'slutlig nedböjning [mm]';
     'krav nedböjning: L/400 [mm]'};

Nedbojningtabell = table(Spann1,Spann2,Spann3,Spann4,Spann5,...
    'RowNames',Ned)

```

Nedbojningtabell =

	Spann1	Spann2	Spann3	Spann4	Spann5
Spännvidd [m]	14	17	15	14	14
slutlig nedböjning [mm]	28.375	37.867	24.863	16.403	30.658
krav nedböjning: L/400 [mm]	35	42.5	37.5	35	35



## 17.2.10 Bilaga 10

### Egentyngd, enligt SS-EN 1991-1

$$h_{\text{trä}} := 0.45r$$

$$b_{\text{trä}} := 5.4r$$

$$\gamma_{\text{trä}} := 4.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$G_{\text{trä}} := h_{\text{trä}} \cdot b_{\text{trä}} \cdot \gamma_{\text{trä}} = 1.021 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$h_{\text{asfalt}} := 0.08r$$

$$b_{\text{asfalt}} := 5.0r$$

$$\gamma_{\text{asfalt}} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$G_{\text{asfalt}} := h_{\text{asfalt}} \cdot b_{\text{asfalt}} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} = 8 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$G_{\text{række}} := 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{total}} := G_{\text{trä}} + G_{\text{asfalt}} + G_{\text{række}} = 1.836 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$



## 17.2.11 Bilaga 11

<b>Indata</b>	<b>Vindlaster, enligt 1991-1-4:2005</b>	<b>SS-EN</b>
$h := 0.45r$		Höjd balk
$b := 5.4r$		Bredd brobaneplatta
$L_{bro} := 74r$		Brons totallängd
<b>Materialparametrar</b>		
$\rho := 1.25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$		Luftens densitet
$V_b := 24 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$		Trafikverkets författningar
$c_e := 2.7$		Figur 4.2
$c_{fy} := 1.9$		Figur 8.3
$c_{fz} := 0.9$		Sida 83
$d := 0.6r$		Tabell 8.1 med "öppna räckan och öppna barriärer på ena sidan".
<b>Horisontella vindlaster, y-led</b>		
$C_y := c_e \cdot c_{fy} = 5.13$		Formfaktor för kraft
$A_{refy} := (d + h) \cdot L_{bro} = 77.7 \text{ m}^2$		
$F_{vy} := \frac{\rho \cdot V_b^2 \cdot C_y \cdot A_{refy}}{2} = 1.435 \times 10^5 \text{ N}$		
<b>Horisontella vindlaster, x-led</b>		
$F_{vx} := 0.25 \cdot F_{vy} = 3.587 \times 10^4 \text{ N}$		Sida 84
<b>Vertikala vindlaster, z-led</b>		
$C_z := c_e \cdot c_{fz} = 2.43$		
$A_{refz} := b \cdot L_{bro} = 399.6 \text{ m}^2$		
$F_{vz} := \frac{\rho \cdot V_b^2 \cdot C_z \cdot A_{refz}}{2} = 3.496 \times 10^5 \text{ N}$		



## 17.2.12 Bilaga 12

### Överslagsberäkning enligt elementarfall B1

#### Spann 1

$$L_1 := 14\text{m}$$

$$q_1 := 45.36 \cdot 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\theta_1 := M_1 \cdot L_1 + \frac{q_1 \cdot L_1^3}{8}$$

#### Spann 2

$$L_2 := 17\text{m}$$

$$q_2 := 46.61 \cdot 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\theta_2 := M_1 \cdot L_2 + \frac{M_2 \cdot L_2}{2} + \frac{q_2 \cdot L_2^3}{8}$$

$$\theta_3 := \frac{M_1 \cdot L_2}{2} + M_2 \cdot L_2 + \frac{q_2 \cdot L_2^3}{8}$$

#### Spann 3

$$L_3 := 15\text{m}$$

$$q_3 := 18.36 \cdot 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\theta_4 := M_2 \cdot L_3 + \frac{M_3 \cdot L_3}{2} + \frac{q_3 \cdot L_3^3}{8}$$

$$\theta_5 := \frac{M_2 \cdot L_3}{2} + M_3 \cdot L_3 + \frac{q_3 \cdot L_3^3}{8}$$

#### Spann 4

$$L_4 := 14\text{m}$$

$$q_4 := q_1$$

$$\theta_6 := M_3 \cdot L_4 + \frac{M_4 \cdot L_4}{2} + \frac{q_4 \cdot L_4^3}{8}$$

$$\theta_7 := \frac{M_3 \cdot L_4}{2} + M_4 \cdot L_4 + \frac{q_4 \cdot L_4^3}{8}$$

#### Spann 5

$$L_5 := 14\text{m}$$

$$q_5 := q_3$$

$$\theta_8 := M_4 \cdot L_5 + \frac{q_5 \cdot L_5^3}{8}$$

### Villkor, enligt vinkeländringsmetoden

$$\theta_1 := -\theta_2 \quad \text{Ekvation (1)}$$

$$\theta_3 := -\theta_4 \quad \text{Ekvation (2)}$$

$$\theta_5 := -\theta_6 \quad \text{Ekvation (3)}$$

$$\theta_7 := -\theta_8 \quad \text{Ekvation (4)}$$

Kombination av ekvation (1), (2), (3) och (4) ger:

$$M_4 := -789\text{kN}\cdot\text{m}$$

Jämför med  $M_{4,1} := -1.04 \cdot 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$

Kombination av ekvation (1), (2) och (3) ger:

$$M_3 := -855.7\text{kN}\cdot\text{m} - 0.258 \cdot M_4 = -6.521 \times 10^5 \text{J}$$

Jämför med  $M_{3,1} := -0.7 \cdot 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$

Kombination av ekvation (1) och (2) ger:

$$M_2 := -1102.54\text{kN}\cdot\text{m} - M_3 \cdot 0.253 = -9.375 \times 10^5 \text{J}$$

Jämför med  $M_{2,1} := -1.2 \cdot 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$

Ekvation (1) ger:

$$M_1 := -1924\text{kN}\cdot\text{m} - 0.27 \cdot M_2 = -1.671 \times 10^6 \text{J}$$

Jämför med  $M_{1,1} := -1.38 \cdot 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$

$$\text{Kontroll}_1 := \frac{M_1}{M_{1,1}} - 1 = 0.211$$

Anses OK



$$\text{Kontroll}_2 := 1 - \frac{M_2}{M_{2,1}} = 0.219$$

Anses OK

$$\text{Kontroll}_3 := 1 - \frac{M_3}{M_{3,1}} = 0.068$$

Anses OK

$$\text{Kontroll}_4 := 1 - \frac{M_4}{M_{4,1}} = 0.241$$

Anses OK



### 17.2.13 Bilaga 13

<b>Indata</b>	<b>Kontroll av tvärkraftskapacitet samt kontroll av böjning</b>	<b>med inverkan av normalkraft</b>
$h := 0.45r$	Höjd balk	
$b := 5.4r$	Bredd brobaneplatta	
$L_{bro} := 74r$	Brons totallängd	
$z := \frac{h}{2} = 0.225 \text{ m}$		
$A_{bro} := b \cdot h = 2.43 \text{ m}^2$		
$I_y := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = 0.041 \text{ m}^4$	Yttröghetsmoment kring y-axel	
$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = 5.905 \text{ m}^4$	Yttröghetsmoment kring z-axel	
$M_{Ed,y} := -1775.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Dimensionerande moment kring y-axel	
$M_{Ed,z} := -81.693 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Dimensionerande moment kring z-axel	
$V_{Ed,z} := -614.23 \text{ kN}$	Dimensionerande tvärkraft i z-led	
$N_{drag} := 309.08 \text{ kN}$	Dimensionerande dragande normalkraft längs brobanan	
$N_{tryck} := -N_{drag} = -3.091 \times 10^5 \text{ N}$	Dimensionerande tryckande normalkraft längs brobanan	
<b>Materialparametrar</b>		
$E_{mean} := 14700 \text{ MPa}$	Tabell T2.4 Bärande konstruktioner del 1	
$E_{0.05} := 11900 \text{ MPa}$	Tabell T2.4 Bärande konstruktioner del 1	
$f_{mk} := 36 \text{ MPa}$	Böjning parallellt fibrerna, Tabell T2.4 Bärande konstruktioner del 1	
$f_{tk} := 22.5 \text{ MPa}$	Dragning parallellt fibrerna, Tabell T2.4 Bärande konstruktioner del 1	
$f_{ck} := 29 \text{ MPa}$	Tryck parallellt fibrerna, Tabell T2.4 Bärande konstruktioner del 1	
$\gamma_M := 1.25$	Tabell 2.3, SS-EN 1995-1-1:2004	
$k_{mod} := 0.8$	Tabell 3.1, SS-EN 1995-1-1:2004	
$k_{cr} := 0.67$	SS-EN 1995-1-1:2004	
$k_m := 0.7$	6.1.6, SS-EN 1995-1-1:2004	

### ***Momentkapacitet***

$$f_{\text{md}} := k_{\text{mod}} \cdot \left( \frac{f_{\text{mk}}}{\gamma_M} \right) = 2.304 \times 10^7 \text{ Pa}$$

(T2-12), Bärande konstruktioner, del 1

$$W_y := \frac{(b \cdot h^2)}{6} = 0.182 \text{ m}^3$$

Böjmotstånd kring y-axel

$$W_z := \frac{(h \cdot b^2)}{6} = 2.187 \text{ m}^3$$

Böjmotstånd kring z-axel

$$M_{\text{Rd},y} := W_y \cdot f_{\text{md}} = 4.199 \times 10^6 \text{ J}$$

Dimensionerande böjmotstånd kring y-axel

$$M_{\text{Rd},z} := W_z \cdot f_{\text{md}} = 5.039 \times 10^7 \text{ J}$$

Dimensionerande böjmotstånd kring z-axel

$$\left| \frac{M_{\text{Ed},y}}{M_{\text{Rd},y}} \right| = 0.423$$

$$\left| \frac{M_{\text{Ed},z}}{M_{\text{Rd},z}} \right| = 1.621 \times 10^{-3}$$

$$\text{Kontroll}_{M,y} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \left| \frac{M_{\text{Ed},y}}{M_{\text{Rd},y}} \right| \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

$$\text{Kontroll}_{M,z} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \left| \frac{M_{\text{Ed},z}}{M_{\text{Rd},z}} \right| \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

***Tvärkraftskapacitet, enligt SS-EN 1995-1-1:2004***

Tvärkraftsvillkor:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad (\text{T4-8), Bärande konstruktioner del 1}$$

$$f_{vd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = 1.856 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 3.618 \text{ m} \quad (6.13a)$$

$$V_{Rd,z} := \left(\frac{2}{3}\right) \cdot b_{ef} \cdot h \cdot f_{vd} = 2.015 \times 10^7 \text{ N}$$

$$\frac{|V_{Ed,z}|}{|V_{Rd,z}|} = 0.03$$

$\text{Kontroll}_{V,z} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \frac{ V_{Ed,z} }{ V_{Rd,z} } \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$
---

**Följande villkor måste uppfyllas:**

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.17)$$

*Samtidig böjning och axiellt drag*

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.18)$$

$$\left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.19)$$

*Samtidig böjning och axiellt tryck*

$$\left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.20)$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 2.304 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$f_{mzd} := f_{myd} = 2.304 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{Ed,y}}{I_y} \cdot (-z) = 9.742 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{Ed,z}}{I_z} \cdot (-z) = 3.113 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$f_{t0d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{tk}}{\gamma_M} = 1.44 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$f_{c0d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = 1.856 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{t0d} := \frac{N_{drag}}{A_{bro}} = 1.272 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_{tryck}}{A_{bro}} = -1.272 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$E_{kv_1} := \frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.432$$

$$E_{kv_2} := \frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_{mod} \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.347$$

$$E_{kv_3} := \left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.423$$

$$E_{kv_4} := \left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.296$$

$$\text{Kontroll}_1 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } E_{kv_1} \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

$$\text{Kontroll}_2 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } E_{kv_2} \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

$$\text{Kontroll}_3 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } E_{kv_3} \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

$$\text{Kontroll}_4 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } E_{kv_4} \leq 1 \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$





## 17.2.14 Bilaga 14

### **Indata**

$cc := 0.5r$	<b>Spänning i stagen enligt SS-EN-1995-2-2004-2</b>	Stagens cc-mått
$n := 2$		Antal stag i höjd
$h := 0.45r$		Limträets höjd
$t_a := 0.08r$		Asfaltens tjocklek
$b_w := 0.2r$		Bredd på hjul från servicefordon
$d_{stag} := 0.02r$		Diameter stag
$f_{yk} := 900\text{MPa}$		<i>Stag väljs från</i>
$Q_{serv.k} := 40\text{kN}$		<i>DYWIDAG Sverige Ab, Type FA, Fy, <math>\phi</math> 20</i>
$g_k := 3.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		<i>Karakteristisk punktlast från servicefordon, ett hjul</i>
$q_k := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		<i>Karakteristisk utbredd last från egentyngd</i>
$b_{stöd1} := 4r$		<i>Karakteristisk utbredd last från</i>
$b_{stöd2} := 0.7r$		<i>trafiklast</i>
$\sigma_s := 750\text{MPa}$		Avstånd mellan stödlager i brotvärsnittet
$A_s := \frac{d_{stag}^2 \cdot \pi}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{m}^2$		Avstånd från kant till stödlager i brotvärsnittet
		Stålstagens förspänning
		Area för ett stålstag

### **Materialparametrar**

$\beta_1 := 45\text{deg}$	<i>Värden för beräkning av lastspridning, enligt Tab (5.3)</i>
$\beta_2 := 45\text{deg}$	
$\gamma_a := 1.15$	Partialkoefficient för dimensionerande flytspänning hos stålstag
$\gamma_G := 1.35$	Partialkoefficient permanent last
$\gamma_Q := 1.5$	Partialkoefficient variabel last
$\mu_d := 0.20$	<i>Friktionskoefficient, Tab 6.1</i>

## Spänning i stagen

### Lasteffekter, lastkombination 1 egentygnd + trafiklast mellan stöd

$$L_{\text{meter}} := 1\text{m} \quad 1 \text{ Längdmeter}$$
$$V_{\text{E1}} := (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot b_{\text{stöd1}} \cdot L_{\text{meter}} = 4.836 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{Total kraft från laster}$$
$$n_{\text{E1}} := 2 \quad \text{Antal friktionsplan för lastfallet}$$
$$F_{\text{vE1}} := \frac{V_{\text{E1}}}{n_{\text{E1}} \cdot L_{\text{meter}}} = 2.418 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{Skjuvkraft per längdmeter, lastfall 1}$$

### Lasteffekter, lastkombination 2 egentygnd + punktlast mellan stöd

$$b_{\text{wmiddle}} := b_w + 2 \tan(\beta_1) \cdot t_a + 2 \cdot \tan(\beta_2) \cdot \frac{h}{2} = 0.81 \text{ m} \quad \text{Lastspridning i brons längsled för punktlast från servicefordons hjul, ekv 5.1}$$
$$n_{\text{E2}} := 2 \quad \text{Antal friktionsplan för lastfallet}$$
$$V_{\text{E2}} := \gamma_G \cdot q_k \cdot b_{\text{stöd1}} \cdot b_{\text{wmiddle}} + \gamma_Q \cdot 2 \cdot Q_{\text{serv.k}} = 1.419 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Total kraft från laster}$$
$$F_{\text{vE2}} := \frac{V_{\text{E2}}}{n_{\text{E2}} \cdot b_{\text{wmiddle}}} = 8.757 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{Dimensionerande skjuvkraft per längdenhet N/m}$$

### Lasteffekter, lastkombination 3 egentygnd + punktlast utanför stöd

$$n_{\text{E3}} := 1 \quad \text{Antal friktionsplan för lastfallet}$$
$$V_{\text{E3}} := \gamma_G \cdot q_k \cdot b_{\text{stöd2}} \cdot b_{\text{wmiddle}} + \gamma_Q \cdot Q_{\text{serv.k}} = 6.383 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{Total kraft från laster}$$
$$F_{\text{vE3}} := \frac{V_{\text{E3}}}{n_{\text{E3}} \cdot b_{\text{wmiddle}}} = 7.88 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{Dimensionerande skjuvkraft per längdenhet N/m}$$

### Kontroll av tillräcklig tvärspänning

$$F_{vEd} := \max \left( \begin{array}{c} F_{vE1} \\ F_{vE2} \\ F_{vE3} \end{array} \right) = 8.757 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$h_{\text{stag}} := \frac{h}{n} = 0.225 \text{ m}$$

$$f_{y,d} := \frac{f_{yk}}{\gamma_a} = 7.826 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\text{Kontroll}_{\sigma_s} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } f_{y,d} \geq \sigma_s \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Höjden varje stag verkar på teoretiskt

*Dimensionerande flytspänning i stag*

$$\sigma_{p,\text{initiell}} := \frac{\sigma_s \cdot A_s}{h_{\text{stag}} \cdot cc} = 2.094 \times 10^6 \text{ Pa}$$

*Initiell uppspanning i plattan*

$$\text{Kontroll}_{\sigma_p} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \sigma_{p,\text{initiell}} \geq 1 \text{ MPa} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Initiell uppspanning i plattan ska överstiga 1MPa

$$\sigma_{p,\text{min}} := \sigma_{p,\text{initiell}}^{0.5} = 1.047 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\mu_d \cdot \sigma_{p,\text{min}} \cdot h = 9.425 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

Spänning i plattan efter långtidsförluster (50%)

$$\text{Kontroll}_{\text{stag}} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{vEd} \leq \mu_d \cdot \sigma_{p,\text{min}} \cdot h \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Kontroll av tillräcklig tvärspänning i träplattan efter långtidsförluster (6.5)

### Minimalt avstånd mellan stumfogar i brobaneplattan

$$l_1 := \min \left( \begin{pmatrix} 2 \cdot c \\ 30 \cdot 0.2 \text{ m} \\ 1.2 \text{ m} \end{pmatrix} \right) = 1 \text{ m}$$

Minimal längd mellan stumfogar,  
(6.6), SS-EN 1995-2:2004

### Kontroll tryckhållfasthet stålbricka

$$d_{sb} := 0.1 \text{ m}$$

Stålbrickans diameter

$$f_{yksb} := 355 \cdot \text{MPa} \quad \gamma_s := 1.0$$

Stålsort S355,  
partialkoefficient enligt  
Eurocode

$$f_{ydsb} := \frac{f_{yksb}}{\gamma_s} = 3.55 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$F_{spänn} := \sigma_s \cdot A_s = 2.356 \times 10^5 \text{ N}$$

Spännkraften i varje enskilt stag

$$A_{sb} := \frac{d_{sb}^2 \cdot \pi}{4} - A_s = 7.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Stålbrickans area

$$F_{vRd.sb} := A_{sb} \cdot f_{ydsb}$$

Stålbrickans  
tryckkraftskapacitet

$$\text{Kontroll}_{sb1} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{spänn} < F_{vRd.sb} \\ \text{"Ej OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Kontroll av tryckhållfasthet för stålbrickan  
längst ut

**Kontroll tryckhållfasthet tryckfördelningsplatta**

$$b_{\text{tfp}} := 0.25r \quad h_{\text{tfp}} := 0.2r$$

$$A_{\text{tfp}} := b_{\text{tfp}} \cdot h_{\text{tfp}} = 0.05 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{vRd.tfp}} := A_{\text{tfp}} \cdot f_{\text{ydsb}}$$

$$\text{Kontroll}_{\text{brickbredd}} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } b_{\text{tfp}} \leq cc \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Stålbrickans mått och area

Stålbrickans tryckkraftskapacitet, samma stålqualität som för stålbricka 1

Kontroll att inre stålbrickan ej överstiger cc-måttet

$$\text{Kontroll}_{\text{brickhöjd}} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } h_{\text{tfp}} \leq h_{\text{stag}} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Kontroll att inre stålbrickan ej överstiger höjd på limträ

$$\text{Kontroll}_{\text{tfp}} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{\text{spänn}} < F_{\text{vRd.tfp}} \\ \text{"Ej OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Kontroll av tryckhållfasthet för stålbrickan längst ut

### Dimensionering av skruvar för att ta upp en del av spännkraften

$$d := 12$$

Gängans ytterdiameter

$$d_1 := 9$$

Gängans innerdiameter

$$a := 5 \cdot d \text{ mm} = 0.06 \text{ m}$$

Minimiavstånd mellan skruvar Tabell 8.6  
SS-EN 1995-1-1:2004

$$\text{Kontroll}_{\text{skruvutrymme}} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } a < \frac{h_{\text{tfp}}}{3} \\ \text{"Ej OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Kontroll om skruvarna får plats under tryckfördelningsplattan.

$$l_{\text{ef}} := 280$$

Inträngningsdjup för den gängade delen av skruven

$$\frac{d_1}{d} = 0.75$$

Villkor för att använda funktion 8.38 SS-EN 1995-1-1:2004

$$\alpha := 90$$

Vinkel mellan träskruvens axel och fiberriktningen.

$$\rho_k := 430 \text{ kg/m}^3$$

Limträets karakteristiska densitet

$$f_{\text{ax.k}} := 0.52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{\text{ef}}^{-0.1} \cdot \rho_k^{0.8} = 10.926$$

(8.39) SS-EN 1995-1-1:2004

$$k_d := \min \left( \left( \frac{d}{8} \right), \left( \frac{d}{1} \right) \right) = 1$$

(8.40), SS-EN 1995-1-1:2004

$$n_{\text{antal}} := 4$$

Antal skruvar

$$n_{\text{ef}} := n_{\text{antal}}^{0.9} = 3.482$$

Effektiva antalet skruvar

$$F_{\text{ax.k.Rk}} := \frac{n_{\text{ef}} \cdot f_{\text{ax.k}} \cdot d \cdot l_{\text{ef}} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} = 1.229 \times 10^5$$

Karakteristisk utdragsbärföråga, (8.38), SS-EN 1995-1-1:2004

$$F_{\text{ax.k.Rk}} := 1.229 \times 10^5 \text{ N}$$

Kraft upptagen av skruvarna

$$F_{\text{spänn}} = 2.356 \times 10^5 \text{ N}$$

Spännkraft

$$F_{\text{kross}} := F_{\text{spänn}} - F_{\text{ax.k.Rk}} = 1.127 \times 10^5 \text{ N}$$

Resterande kraft som verkar på träet

**Kontroll krossning brobana**

$$d_h := 0.015r$$

$$A_{\text{trä}} := b_{\text{tfp}} \cdot h_{\text{tfp}} - d_h^2 \cdot \pi - A_s = 0.049 \text{ m}^2$$

$$k_{\text{mod}} := 0.60$$

$$\gamma_M := 1.25$$

$$f_{c,90,k} := 3.3 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.584 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$k_{c,90} := 1.3$$

$$a_{\text{trä}} := cc - b_{\text{tfp}} = 0.25 \text{ m}$$

$$l_1 := cc - b_{\text{tfp}} = 0.25 \text{ m}$$

$$b_{\text{tfp,ef}} := b_{\text{tfp}} + 2 \min \left( \begin{array}{c} 0.03 \text{ m} \\ a_{\text{trä}} \\ b_{\text{tfp}} \\ \frac{l_1}{2} \end{array} \right) = 0.31 \text{ m}$$

$$A_{\text{ef}} := h_{\text{tfp}} \cdot b_{\text{tfp,ef}} = 0.062 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{F_{\text{kross}}}{A_{\text{ef}}} = 1.818 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{Kontroll}_{\text{trä}} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

Skruvhuvudens diameter

Träarea som utsätts för tryck

Bärande konstruktioner del 1

Tabell T2.8, permanent last  
Partialkoefficient för limträ enligt  
eurocode

Tryckhållfasthet tvärs fiberriktningen,

Bärande konstruktioner del 1, tabell T2.4

Dimensionerande tryckhållfasthet, Bärande  
konstruktioner del 1, T2.12

Faktor för stämpeltryckseffekt,

enligt EN 1995-2\_2004

Enligt fig T6.6,

Bärande konstruktioner, del 2

Beräkning av effektiv area hos

trä enligt T6-4, T6-5,

Bärande konstruktioner del 2

Effektiv träarea som utsätts för tryck

Kontroll att lasteffekten  
vinkelrätt fibrerna ej  
överstiger träets  
tryckhållfasthet vinkelrätt  
fibrerna, med hänsyn taget till  
stämpeltryckseffekt





## 17.2.15 Bilaga 15

### Tryckkraftskapacitet för pelare parallellt fiberriktningen

#### Indata

$E_{0.05} := 11900 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$		$f_{c0k} := 29 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$
$\rho := 1.25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Dimensionering pelarna och upplagstryck	$f_{c90k} := 3.3 \cdot \text{MPa}$
$b_{\text{pelare}} := 0.5 \cdot r$		$f_{mk} := 36 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$
$h_{\text{pelare}} := 0.6 \cdot r$		$\gamma_m := 1.25$
$H_{\text{pelare}} := 7.3 \cdot r$		$\beta_c := 0.1$
$L_{c2} := 2.25 \cdot H_{\text{pelare}} = 16.425 \text{m}$		$\chi_q := 1.5$
$L_{c3} := 0.85 \cdot H_{\text{pelare}} = 6.205 \text{m}$		$\psi_{0a} := 0.8$
$A_{\text{pelare}} := b_{\text{pelare}} \cdot h_{\text{pelare}} = 0.3 \text{m}^2$		$\psi_{0w} := 0.3$
$y_{\text{pelare}} := \frac{b_{\text{pelare}}}{2} = 0.25 \text{m}$		
$z_{\text{pelare}} := \frac{h_{\text{pelare}}}{2} = 0.3 \text{m}$		

#### Laster på stöd söder om perrongen, stöd 2

$$F_{x\text{bro}} := 0 \cdot \text{N}$$

$$F_{z\text{bro}} := 1198.1 \cdot \text{kN}$$

$$F_{y\text{bro}} := 61.7 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{c0dp2} := \frac{F_{z\text{bro}}}{A_{\text{pelare}}} = 3.994 \times 10^6 \text{Pa}$$

$$k_m := 0.7$$

$$k_{\text{mod.z}} := 0.90$$

$$k_{\text{mod.y}} := 0.90$$

#### Laster på stödet på perrongen, stöd 3

$$F_{xx\text{bro}} := 315.89 \cdot \text{kN}$$

$$F_{zz\text{bro}} := 1179.9 \cdot \text{kN}$$

$$F_{yy\text{bro}} := 61.5 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{c0dp3} := \frac{F_{zz\text{bro}}}{A_{\text{pelare}}} = 3.933 \times 10^6 \text{Pa}$$

$$k_{\text{mod.c}} := 0.70$$

$$k_{c90} := 1$$

## Beräkningar enligt SS-EN 1991-1-4

$$F_w := c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}^2$$

Kap 5.2

$$c_{f,0} := 2.15$$

Från figur 7.23, då  $d/b = 1$

$$\psi_r := 1$$

Pga inga avrundade hörn

$$\psi_\lambda := 1$$

Pga ger värsta fallet

$$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2.15$$

$$z := 6.1 \cdot r$$

$$z_e := 6.1 \cdot r$$

Pelarens höjd

$$z_0 := 0.05 \cdot r$$

Tabell 4.1

$$z_{0,11} := 0.05 \cdot r$$

Enligt 4.5

$$k_r := 0.19 \cdot \left( \frac{z_0^{0.07}}{z_{0,11}^{0.07}} \right) = 0.19 \quad (4.5)$$

$$k_1 := 1 \quad (4.7)$$

$$v_b := 24 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Enligt trafikverket

$$\sigma_v := k_r \cdot v_b \cdot k_1 = 4.56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4.6)$$

$$c_r := k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.913 \quad (4.4)$$

$$c_o := 1 \quad \text{Enligt 4.3.1}$$

$$v_m := c_o \cdot c_r \cdot v_b = 21.906 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4.3)$$

$$I_v := \frac{\sigma_v}{v_m} = 0.208$$

$$q_p := (1 + 7 \cdot I_v) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2 = 736.961 \text{ Pa}$$

$$c_d = 1$$

Bärverksfaktor  $C_s C_d$  från kap 6. Eftersom stöden är lägre än 15 meter sätts faktorn till 1

enligt 6.2

### Slutliga vindlaster och aerodynamiska krafter

$$F_{vxpelare} := c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot h_{pelare} = 950.68 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{Vindlaster på pelarna}$$

$$F_{vypelare} := c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot b_{pelare} = 792.233 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{I brobanans koordinater}$$

$$q_1 := 100 \cdot \text{Pa} \quad \text{Från figur 6.22}$$

$$Aero_x := q_1 \cdot h_{pelare} = 60 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

### Beräkning av vilket lastfall som blir dimensionerande

$$F_{vxpearedim} := \chi_q \cdot F_{vxpelare} + \chi_q \cdot Aero_x \cdot \psi_{0a} = 1.498 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{Dimensionerande lastfall}$$

$$F_{vypearedim} := \chi_q \cdot F_{vypelare} + \chi_q \cdot Aero_x \cdot \psi_{0a} = 1.26 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad \text{Dimensionerande lastfall}$$

$$Aero_{dim} := \chi_q \cdot Aero_x + \chi_q \cdot F_{vxpelare} \cdot \psi_{0w} = 517.806 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

### Dimensionerande moment

#### Stöd söder om perrongen

Brons X-led nämns som kring z då detta blir det lokala koordinatsystemet för pelaren.

Brons Y-led nämns som kring y då detta blir det lokala koordinatsystemet för pelaren

$$M_{kring.z} := \chi_q \cdot Aero_x \cdot \psi_{0a} \cdot \frac{H_{pelare}^2}{2} + \chi_q \cdot F_{vxpelare} \cdot \frac{H_{pelare}^2}{2} = 3.991 \times 10^4 \text{ J} \quad \text{Elementarfall B.2 (x=0)}$$

$$M_{kring.y} := \chi_q \cdot F_{vypelare} \cdot \frac{H_{pelare}^2}{8} = 7.916 \times 10^3 \text{ J} \quad (x=0) \quad \text{Behöver ej vara dim}$$

$$R_1 := \chi_q \cdot F_{vypelare} \cdot 3 \cdot \frac{H_{pelare}}{8} + F_{ybro} = 6.495 \times 10^4 \text{ N}$$

$$R_2 := \chi_q \cdot F_{vypelare} \cdot 5 \cdot \frac{H_{pelare}}{8} = 5.422 \times 10^3 \text{ N}$$

$$x := \frac{R_1 - F_{ybro}}{\chi_q \cdot F_{vypelare}} = 2.737 \text{ m}$$

$$M_{kring.y.fält} := R_1 \cdot x - F_{ybro} \cdot x - F_{vypelare} \cdot \frac{x^2}{2} = 5.937 \times 10^3 \text{ J} \quad \text{Maxmoment i fält}$$

$$M_{kring.y.kontroll} := R_2 \cdot H_{pelare} - M_{kring.y} - \chi_q \cdot F_{vypelare} \cdot \frac{H_{pelare}^2}{2} = 3.638 \times 10^{-12} \text{ J} \quad \Rightarrow \text{OK}$$

Dimensionerande moment för stödet söder om perrongen blir  $M_{kring.z}$  och  $M_{kring.y}$

### Stöd på perrong

X-led på samma sätt som för stödet söder om perrongen, skillnaden är knäckfallet för momentet kring z-axeln

$$M_{\text{kringzz}} := \chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a} \cdot \frac{H_{\text{pelare}}^2}{8} + \chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}} \cdot \frac{H_{\text{pelare}}^2}{8} = 9.979 \times 10^3 \text{ J}$$

$$R_3 := \chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a} \cdot 3 \cdot \frac{H_{\text{pelare}}}{8} + \chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}} \cdot 3 \cdot \frac{H_{\text{pelare}}}{8} + F_{\text{xxbro}} = 3.2 \times 10^5 \text{ N}$$

$$x_2 := \frac{R_3 - F_{\text{xxbro}}}{\chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a} + \chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}}} = 2.738 \text{ m}$$

$$R_4 := \chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}} \cdot 5 \cdot \frac{H_{\text{pelare}}}{8} + \chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a} \cdot 5 \cdot \frac{H_{\text{pelare}}}{8} = 6.835 \times 10^3 \text{ N}$$

$$x_3 := \frac{R_4}{\chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}} + \chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a}} = 4.563 \text{ m}$$

$$M_{\text{kringzz.fält}} := -\chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}} \cdot \frac{x_3^2}{2} - \chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a} \cdot \frac{x_3^2}{2} - M_{\text{kringzz}} + R_4 \cdot x_3 = 5.613 \times 10^3 \text{ J}$$

$$M_{\text{kringzz.kontroll}} := -\chi_q \cdot F_{\text{vxpelare}} \cdot \frac{H_{\text{pelare}}^2}{2} - \chi_q \cdot \text{Aero}_x \cdot \psi_{0a} \cdot \frac{H_{\text{pelare}}^2}{2} - M_{\text{kringzz}} + R_4 \cdot H_{\text{pelare}}$$

$$M_{\text{kringzz.kontroll}} = -7.276 \times 10^{-12} \text{ J} \quad \Rightarrow \text{OK}$$

$$M_{\text{kringyy}} := \chi_q \cdot F_{\text{vypelare}} \cdot \frac{H_{\text{pelare}}^2}{8} = 7.916 \times 10^3 \text{ J}$$

$$R_5 := \chi_q \cdot F_{\text{vypelare}} \cdot 3 \cdot \frac{H_{\text{pelare}}}{8} + F_{\text{yybro}} = 6.475 \times 10^4 \text{ N}$$

$$x_{\text{fält}} := \frac{R_5 - F_{\text{yybro}}}{\chi_q \cdot F_{\text{vypelare}}} = 2.737 \text{ m}$$

$$R_6 := \chi_q \cdot F_{\text{vypelare}} \cdot \frac{5 \cdot H_{\text{pelare}}}{8} = 5.422 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_{\text{kringyy.fält}} := R_5 \cdot x_{\text{fält}} - F_{\text{yybro}} \cdot x_{\text{fält}} - \chi_q \cdot F_{\text{vypelare}} \cdot \frac{x_{\text{fält}}^2}{2} = 4.453 \times 10^3 \text{ J}$$

$$M_{\text{kringyy.kontroll}} := -\chi_q \cdot F_{\text{vypelare}} \cdot \frac{H_{\text{pelare}}^2}{2} - M_{\text{kringyy}} + R_6 \cdot H_{\text{pelare}} = 0 \text{ J} \quad \Rightarrow \text{OK}$$

**Kontroll av kapacitet**

$$f_{c0dp} := k_{\text{mod}.c} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_m} = 1.624 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$i_{zp} := \frac{b_{\text{pelare}}}{\sqrt{12}} = 0.144 \text{ m}$$

$$I_{zp} := h_{\text{pelare}} \cdot \frac{b_{\text{pelare}}^3}{12} = 6.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$f_{mzdp} := k_{\text{mod}.z} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 2.592 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\lambda_{zp2} := \frac{L_{c2}}{i_{zp}} = 113.796$$

$$\lambda_{zp3} := \frac{L_{c3}}{i_{zp}} = 42.99$$

$$\lambda_{\text{rel.zp}2} := \frac{\lambda_{zp2} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}}}{\pi} = 1.788$$

$$\lambda_{\text{rel.zp}3} := \frac{\lambda_{zp3} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}}}{\pi} = 0.676$$

$$k_{zp2} := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel.zp}2} - 0.3) + \lambda_{\text{rel.zp}2}^2 \right] = 2.173$$

$$k_{zp3} := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel.zp}3} - 0.3) + \lambda_{\text{rel.zp}3}^2 \right] = 0.747$$

$$k_{c.zp2} := \frac{1}{k_{zp2} + \sqrt{k_{zp2}^2 - \lambda_{\text{rel.zp}2}^2}} = 0.293$$

$$k_{c.zp3} := \frac{1}{k_{zp3} + \sqrt{k_{zp3}^2 - \lambda_{\text{rel.zp}3}^2}} = 0.938$$

$$i_{yp} := \frac{h_{pelare}}{\sqrt{12}} = 0.173 \text{ m}$$

$$I_{yp} := b_{pelare} \cdot \frac{h_{pelare}^3}{12} = 9 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$f_{mydp} := k_{mod,y} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 2.592 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\lambda_{yp} := \frac{L_{c3}}{i_{yp}} = 35.825$$

$$\lambda_{rel,yp} := \frac{\lambda_{yp} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}}}{\pi} = 0.563$$

$$k_{yp} := 0.5 \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yp} - 0.3) + \lambda_{rel,yp}^2 \right] = 0.672$$

$$k_{c,yp} := \frac{1}{k_{yp} + \sqrt{k_{yp}^2 - \lambda_{rel,yp}^2}} = 0.964$$

För stödet söder om perrongen är dimensionerande moment  $M_{kringz}$  och  $M_{kringy}$

$$\sigma_{mydp} := M_{kring,y} \cdot \frac{z_{pelare}}{I_{yp}} = 2.639 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{mzdp} := M_{kring,z} \cdot \frac{y_{pelare}}{I_{zp}} = 1.597 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{Kontroll}_y := \frac{\sigma_{c0dp2}}{k_{c,yp} \cdot f_{c0dp}} + \frac{\sigma_{mydp}}{f_{mydp}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzdp}}{f_{mzdp}} = 0.309$$

$$\text{Kontroll}_z := \frac{\sigma_{c0dp2}}{k_{c,zp2} \cdot f_{c0dp}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mydp}}{f_{mydp}} + \frac{\sigma_{mzdp}}{f_{mzdp}} = 0.907$$

"OK" if  $\text{Kontroll}_y \leq 1$  = "OK"

"EJ OK" otherwise

"OK" if  $\text{Kontroll}_z \leq 1$  = "OK"

"EJ OK" otherwise

För stödet på perrongen är dimensionerande moment  $M_{kringzz}$  och  $M_{kringyy}$

$$\sigma_{mydp2} := M_{kringyy} \cdot \frac{z_{pelare}}{I_{yp}} = 2.639 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{mzdp2} := M_{kringzz} \cdot \frac{y_{pelare}}{I_{zp}} = 3.991 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{Kontroll}_{y2} := \frac{\sigma_{c0dp3}}{k_{c,y} \cdot f_{c0dp}} + \frac{\sigma_{mydp2}}{f_{mydp}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzdp2}}{f_{mzdp}} = 0.272$$

$$\text{Kontroll}_{z2} := \frac{\sigma_{c0dp3}}{k_{c,z} \cdot f_{c0dp}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mydp2}}{f_{mydp}} + \frac{\sigma_{mzdp2}}{f_{mzdp}} = 0.281$$

"OK" if  $\text{Kontroll}_{y2} \leq 1$  = "OK"  
 "EJ OK" otherwise

"OK" if  $\text{Kontroll}_{z2} \leq 1$  = "OK"  
 "EJ OK" otherwise

**Tryck vinkelrätt fiberriktningen enligt SS-EN 1995-1-1:2004**

Följande krav måste uppfyllas:

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d}$$

$$F_{c90d.lager} := \frac{1198.1}{2} \text{ kN}$$

$$a := 32.5 \text{ mm} \quad \text{Avstånd lager till brobaneplattans kant}$$

$$f_{c90d} := k_{mod.c} \cdot \frac{f_{c90k}}{\gamma_m} = 1.848 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$l_{lager} := 0.75 \text{ m} \quad \text{Längd på lager}$$

$$b_{lager} := 0.45 \text{ m} \quad \text{Bredd på lager}$$

$$A_{opt} := \frac{F_{c90d.lager}}{k_{c90} \cdot f_{c90d}} = 0.324 \text{ m}^2$$

$$l_1 := 4.4 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan lager}$$

$$l_{ef.lager} := l_{lager} + \min \left( \begin{array}{c} (0.03 \text{ m}) \\ a \\ l_{lager} \\ \frac{l_1}{2} \end{array} \right) + \min \left( \begin{array}{c} (0.03 \text{ m}) \\ l_{lager} \\ \frac{l_1}{2} \end{array} \right) = 0.81 \text{ m}$$

$$A_{ef.lager} := b_{lager} \cdot l_{ef.lager} = 0.365 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{c90d.lager} := \frac{F_{c90d.lager}}{A_{ef.lager}} = 1.643 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$\text{Kontroll}_{lager} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \sigma_{c90d.lager} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$
--



## 17.2.16 Bilaga 16

### Indata

$$h := 0.45\text{m}$$

Höjd balk

$$b := 5.4\text{m}$$

Brobanans bredd

$$A_{\text{bro}} := h \cdot b = 2.43\text{m}^2$$

Tryck vinkelrätt  
fiberriktningen  
enligt SS-EN  
1995-1-1:2004

$$F_{\text{Nx}} := 309.08\text{kN}$$

Normalkraft längs brobanan.

$$L_{\text{utvidgning}} := 43\text{m}$$

Maximal längd väljs med hänsyn till inspänningsförutsättningarna vid stödet på perrongen.

### Materialparametrar

$$\alpha_{\text{II}} := 5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{C}}$$

Längdutvidgningskoefficient parallellt träets fiberriktning.

$$T_{\text{min}} := -33\text{C}$$

SS-EN 1991-1-5, Tabell C.1

Maximal- och minimal temperatur för Täby kommun.

$$T_{\text{max}} := 36\text{C}$$

SS-EN 1991-1-5, Tabell 2a

$$\Delta_{\text{fukt,II}} := \text{C}$$

Fuktrörelse längs fiberriktningen enligt TRVR Bro 11, (B.3.2.10)

$$E_{0.05} := 11900\text{MPa}$$

Tabell T2.4, Bärande konstruktioner del 1

### Rörelser i längsled

$$\Delta L_{\text{temp},x} := \alpha_{\text{II}} \cdot L_{\text{utvidgning}} \cdot (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) = 0.015\text{m}$$

Utvidgning pga temperaturförändring.

$$N_x := F_{\text{Nx}} = 3.091 \times 10^5\text{N}$$

$$\sigma_{\text{Nx}} := \frac{N_x}{A_{\text{bro}}} = 1.272 \times 10^5\text{Pa}$$

$$\varepsilon_{\text{Nx}} := \frac{\sigma_{\text{Nx}}}{E_{0.05}} = 1.069 \times 10^{-5}$$

$$\Delta L_{\text{Nx}} := \varepsilon_{\text{Nx}} \cdot L_{\text{utvidgning}} = 4.596 \times 10^{-4}\text{m}$$

Utvidgning p.g.a. normalkraft

$$\Delta L_{\text{II}} := \Delta L_{\text{Nx}} + \Delta L_{\text{temp},x} = 0.015\text{m}$$

Total rörelseutvidgning längsled.



## 17.2.17 Bilaga 17

### Vibrationer, enligt SS-EN-1995-1-1 2004

$$h := 0.45r$$

Höjd balk

$$b := 5.4r$$

Bredd brobaneplatta

$$I_y := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = 0.041 \text{ m}^4$$

Yttröghetsmoment kring y-axel

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = 5.905 \text{ m}^4$$

Yttröghetsmoment kring z-axel

#### Materialparametrar

$$E_{\text{mean}} := 14700 \text{ MPa}$$

Tabell T2.4 Bärande konstruktioner del 1

$$M := \frac{18360 \text{ kg}}{9.81 \text{ m}} = 1.872 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Brobaneplattans egentyngd

$$L_{\text{bro}} := 74r$$

Brons totallängd

$$f_{n,i} := \left( \frac{\pi}{2 \cdot L_n^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{\text{mean}} \cdot I_i)}{M}}$$

*Om egenfrekvensen  $f_{ny} \leq 5 \text{ Hz}$  eller  $f_{nz} \leq 2,5 \text{ Hz}$  behöver vertikalaccelerationen kontrolleras enligt SS-EN-1990-A1:2005*

#### Fall 1: Spann 1, 4, 5

$$L_1 := 14r$$

$$f_{1y} := \left( \frac{\pi}{2 \cdot L_1^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{\text{mean}} \cdot I_y)}{M}} = 4.548 \frac{1}{\text{s}}$$

SS-EN-1995-1-1:2004 (7.5)

Kontroll <sub>1y</sub> :=	"OK" if $f_{1y} \geq 5 \text{ Hz}$ = "EJ OK" "EJ OK" otherwise
---------------------------	---

*Kontroll av vertikalacceleration krävs.*

## Fall 2: Spann 2

$$L_2 := 15\pi$$

$$f_{2y} := \left( \frac{\pi}{2 \cdot L_2^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{\text{mean}} \cdot I_y)}{M}} = 3.962 \frac{1}{s} \quad \text{Brobaneplattans rörelseutvidgning}$$

$$\text{Kontroll}_{2y} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } f_{2y} \geq 5\text{Hz} & = \text{"EJ OK"} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*Kontroll av vertikalacceleration krävs.*

## Fall 3: Spann 3

$$L_3 := 17\pi$$

$$f_{3y} := \left( \frac{\pi}{2 \cdot L_3^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{\text{mean}} \cdot I_y)}{M}} = 3.085 \frac{1}{s}$$

$$\text{Kontroll}_{3y} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } f_{3y} \geq 5\text{Hz} & = \text{"EJ OK"} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*Kontroll av vertikalacceleration krävs.*

**Kontroll av vertikala vibrationer orsakade av fotgängare**

$$M_{\text{bro}} := M \cdot L_{\text{bro}} = 1.385 \times 10^5 \text{ kg}$$

$$\zeta := 0.01 \frac{\text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}}$$

*Dämpningsfaktorn,*

*enligt SS-EN 1995-2:2004 (7.3.1)*

$$f_{\text{vert1}} := f_{1y}$$

$$f_{\text{vert2}} := f_{2y}$$

$$f_{\text{vert3}} := f_{3y}$$

**Om en person passerar**

$$a_{\text{vert1}} := \begin{cases} \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert1}} > 5\text{Hz} & = 0.072 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ \frac{200}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } f_{\text{vert1}} \leq 2.5\text{Hz} \\ \frac{100}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } 2.5\text{Hz} < f_{\text{vert1}} \leq 5\text{Hz} \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

$$a_{\text{vert2}} := \begin{cases} \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert2}} > 5\text{Hz} & = 0.072 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ \frac{200}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } f_{\text{vert2}} \leq 2.5\text{Hz} \\ \frac{100}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } 2.5\text{Hz} < f_{\text{vert2}} \leq 5\text{Hz} \end{cases}$$

$$a_{\text{vert3}} := \begin{cases} \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert3}} > 5\text{Hz} & = 0.072 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ \frac{200}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } f_{\text{vert3}} \leq 2.5\text{Hz} \\ \frac{100}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } 2.5\text{Hz} < f_{\text{vert3}} \leq 5\text{Hz} \end{cases}$$

Då  $a_{\text{vert1}}=a_{\text{vert2}}=a_{\text{vert3}}$  görs bara en kontroll enligt nedan.

$$\text{Kontroll}_1 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } a_{\text{vert1}} \leq 0.7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} & = \text{"OK"} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*Enligt*  
*(A2.4.3.2)*

*SS-EN-1990-A1:2005*

Om flera personer passerar

Denna kontroll utförs enbart för Fall 3, då detta har längst spann och blir dimensionerande

$$A_{\text{bro.3}} := \frac{(b \cdot L_3)}{m^2} = 91.8$$

$$n_1 := 13$$

$$n_2 := 0.6 \cdot A_{\text{bro.3}} = 55.08$$

$$k_{\text{vert}} := 0.3$$

$$a_{\text{vert3.n1}} := 0.23 \cdot a_{\text{vert3}} \cdot n_1 \cdot k_{\text{vert}} = 0.065 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{\text{vert3.n2}} := 0.23 \cdot a_{\text{vert3}} \cdot n_2 \cdot k_{\text{vert}} = 0.274 \frac{m}{s^2}$$

Kontroll <sub>2,1</sub> :=	"OK" if $a_{\text{vert3.n1}} \leq 0.7 \frac{m}{s^2}$ = "OK"
	"EJ OK" otherwise

Kontroll <sub>2,2</sub> :=	"OK" if $a_{\text{vert3.n2}} \leq 0.7 \frac{m}{s^2}$ = "OK"
	"EJ OK" otherwise

*Brobaneplattans area för brospannet*

*För en sammanhållen grupp fotgängare*

*För en kontinuerlig ström av fotgängare*

Figur (B.1)

(B.2)

*Enligt  
(A2.4.3.2)*

*SS-EN-1990-A1:2005*

Om springande person passerar bron

$$a_{\text{vert.spring1}} := \begin{cases} \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert1}} \leq 2.5\text{Hz} & = \text{"EJ KRITISKT"} \\ \frac{600}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } 2.5\text{Hz} < f_{\text{vert1}} \leq 3.5\text{Hz} \\ \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert1}} > 3.5\text{Hz} \end{cases} \quad (\text{B.3})$$

$$a_{\text{vert.spring2}} := \begin{cases} \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert2}} \leq 2.5\text{Hz} & = \text{"EJ KRITISKT"} \\ \frac{600}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } 2.5\text{Hz} < f_{\text{vert2}} \leq 3.5\text{Hz} \\ \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert2}} > 3.5\text{Hz} \end{cases}$$

$$a_{\text{vert.spring3}} := \begin{cases} \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert3}} \leq 2.5\text{Hz} & = 0.433 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ \frac{600}{M_{\text{bro}} \cdot \zeta} & \text{if } 2.5\text{Hz} < f_{\text{vert3}} \leq 3.5\text{Hz} \\ \text{"EJ KRITISKT"} & \text{if } f_{\text{vert3}} > 3.5\text{Hz} \end{cases}$$

$$\text{Kontroll}_3 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } a_{\text{vert.spring3}} \leq 0.7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} & = \text{"OK"} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### *Horisontella vibrationer orsakade av fotgängare*

$$f_{nz} := \left( \frac{\pi}{2 \cdot L_n^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{mean}} \cdot I_z}{M}}$$

#### **Fall 1: Spann 1, 4, 5**

$$f_{1z} := \frac{\pi}{2 \cdot L_1^2} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{mean}} \cdot I_z}{M}} = 54.579 \frac{1}{s}$$

*Om egenfrekvensen  $f_{nz} \leq 2.5\text{Hz}$  behöver vertikalaccelerationen kontrolleras enligt SS-EN-1990-A1:2005*

$$\text{Kontroll}_{1z} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } f_{1z} \geq 2.5\text{Hz} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

#### **Fall 2: Spann 3**

$$f_{2z} := \frac{\pi}{2 \cdot L_2^2} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{mean}} \cdot I_z}{M}} = 47.545 \frac{1}{s}$$

$$\text{Kontroll}_{2z} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } f_{2z} \geq 2.5\text{Hz} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

#### **Fall 2: Spann 3**

$$f_{3z} := \frac{\pi}{2 \cdot L_3^2} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{mean}} \cdot I_z}{M}} = 37.016 \frac{1}{s}$$

$$\text{Kontroll}_{3z} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } f_{3z} \geq 2.5\text{Hz} \\ \text{"EJ OK"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$



## 17.2.18 Bilaga 18

$$H_{\text{bro}} := 0.45n$$

$$L_{\text{bro}} := 74n$$

$$B_{\text{bro}} := 5.4n$$

$$H_{\text{pelare}} := 0.6n$$

$$B_{\text{pelare}} := 0.5n$$

$$\text{lagrats} := 0.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{produktion} := 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

*0,9 är givet från Träguiden och motsvarar hur mycket koldioxid trä kan*

*lagra i jämförelse med betong och stål*

*1 är givet från träguiden och motsvarar hur mycket koldioxid som*

*sparas vid tillverkning av träprodukter jämfört med betong och stål*

$$V_{\text{bro}} := L_{\text{bro}} \cdot H_{\text{bro}} \cdot B_{\text{bro}} = 1.798 \times 10^5 \text{ L}$$

### Koldioxidberäkning

$$V_{\text{pelare}} := L_{\text{pelare}} \cdot H_{\text{pelare}} \cdot B_{\text{pelare}} = 2.19 \times 10^3 \text{ L}$$

$$L_{\text{pelare}} := 7.3n$$

$$V_{\text{bro}} + 4 \cdot V_{\text{pelare}} = 1.886 \times 10^5 \text{ L}$$

$$V_{\text{tot}} := V_{\text{bro}} + V_{\text{pelare}} = 1.82 \times 10^5 \text{ L}$$

*CO<sub>2</sub> som lagrats:*

$$\text{CO}_{2\text{lagrats}} := \text{lagrats} \cdot V_{\text{tot}} = 163.809 \text{ kg CO}_2$$

*CO<sub>2</sub> som minskat i produktion och återvinning:*

$$\text{CO}_{2\text{produktion}} := \text{produktion} \cdot V_{\text{tot}} = 182.01 \text{ kg CO}_2$$

*Totala CO<sub>2</sub> som lagrats och minskat av produktion och återvinning:*

$$\text{CO}_{2\text{tot}} := \text{CO}_{2\text{lagrats}} + \text{CO}_{2\text{produktion}} = 345.819 \text{ kg CO}_2$$