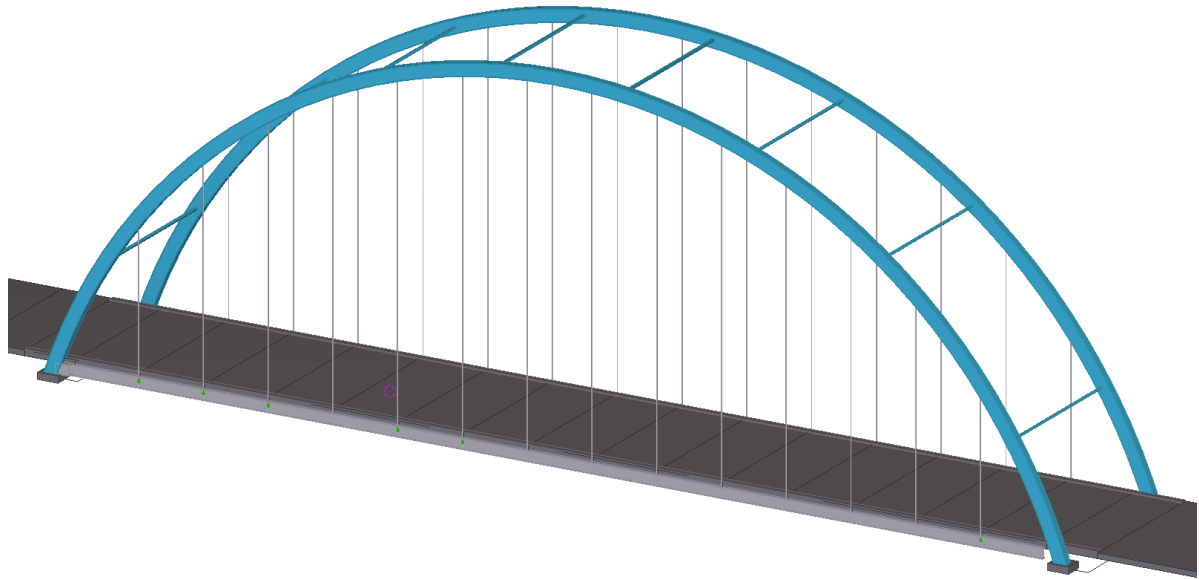


# CHALMERS



## Vägbro vid Ulricehamnsmotet

-Idéutveckling och preliminärdimensionering av brokoncept över väg 40

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet*

*Väg- och vattenbyggnad*

MARCUS AHLSTRÖM  
FREDRIK BENGTSSON  
EMMY DAHLSTRÖM  
RIKARD LANDEGREN HAGEN  
JOHAN RÖÖS  
AUGUST UDDMYR

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2015



Vägbro vid Ulricehamnsmotet  
-Idéutveckling och preliminärdimensionering av brokoncept över väg 40

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet  
Väg- och vattenbyggnad*

MARCUS AHLSTRÖM  
FREDRIK BENGTSSON  
EMMY DAHLSTRÖM  
RIKARD LANDEGREN HAGEN  
JOHAN RÖÖS  
AUGUST UDDMYR  
Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Chalmers tekniska högskola



## SAMMANDRAG

Vägförbindelsen väg 40 mellan Göteborg och Jönköping är i slutskedet av en utbyggnad för att skapa en mötesfri väg. Ulricehamnsmotet är en del av den pågående ombyggnationen och byggs om till en planskild korsning, motet består av en vägbro med två körfält och en gång- och cykelväg. För denna bro ska ett lämpligt koncept utvecklas och en preliminär dimensionering genomföras.

För att ta fram det lämpligaste konceptet för givna förhållanden, som COWI har tillhandahållit, genomförs en urvalsprocess. Denna process tar hänsyn till estetik, genomförbarhet, trafiksäker miljö, underhåll, produktionskostnad, produktionstid och miljöpåverkan. När det lämpligaste konceptet har valts genomförs en preliminär dimensionering. Resultatet av urvalet blev en stålbågbro med dragband.

I preliminärdimensioneringen utvecklas och kontrolleras det valda konceptet efter de förutsättningar som gäller för platsen. Dimensioneringen utförs enligt Eurokod och behandlar konstruktionen globalt samt lokalt vid brobana och detaljer.

Nyckelord: Ulricehamnsmotet, konceptutveckling, bågbro, preliminär dimensionering

Omslag:  
Förslag till bro vid Ulricehamnsmotet av Marcus Ahlström

Road bridge at Ulricehamnsmotet  
-Development and pre-design of bridge concepts over road 40.  
*Bachelor Thesis*  
Building and Civil Engineering

MARCUS AHLSTRÖM  
FREDRIK BENGTSSON  
EMMY DAHLSTRÖM  
RIKARD LANDEGREN HAGEN  
JOHAN RÖÖS  
AUGUST UDDMYR  
Department of Civil and Environmental Engineering  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

The road link highway 40 between Gothenburg and Jönköping is in the final stages of an expansion to create a collision-free path. The Ulricehamn intersection is part of the on-going redevelopment and rebuilding into a flyover. The intersection is composed of a road bridge with two lanes and a pedestrian bike path. For this bridge, a suitable concept produced and pre-design implemented.

In order to develop the most suitable concept for the given conditions, provided by COWI, a selection process has been carried out. This selection process takes into account aesthetics, achievability, safety, maintenance, production cost, time of production and environmental impact. A steel arch bridge is the result of the selection process.

In the preliminary dimensioning the final concept is further developed and controlled according to the conditions on the site of the bridge. The dimensioning is done in accordance with Eurocodes and studies the structure both globally and locally at the bridge deck and details.

Key words: Ulricehamnsmotet, concept development, arch bridge, pre-design





# Innehåll

SAMMANDRAG	III
ABSTRACT	V
INNEHÅLL	VII
FÖRORD	XI
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Problembeskrivning	1
1.3 Mål	2
1.4 Metod	2
1.5 Avgränsningar	2
2 BROBYGGNAD VID ULRICEHAMNSMOTET	3
2.1 Geografiska förutsättningar	3
2.2 Utförande och tekniska lösningar	4
3 KONSTRUKTIONSMATERIAL	5
3.1 Trä	5
3.2 Stål	5
3.3 Betong	6
3.4 Kompositmaterial	6
4 BESKRIVNING AV BROTYPER	7
4.1 Balkverkansbroar	7
4.1.1 Balkbroar	7
4.1.2 Rambro	7
4.1.3 Plattbroar	8
4.2 Bågverkansbroar	8
4.2.1 Bågbro	8
4.3 Linverkansbroar	9
4.3.1 Snedkabelbro	9
4.3.2 Hångbro	10
5 URVAL AV MÖJLIGA BROKONCEPT	11
5.1 Balkbro	11
5.2 Rambro	12
5.3 Plattbro	12
<b>CHALMERS</b> , <i>Bygg- och miljöteknik</i>	VII

5.4	Bågbro	12
5.5	Snedkabelbro	12
5.6	Hängbro	13
5.7	Resultat av urval	13
6	BESKRIVNING AV SEX KVARVARANDE BROKONCEPT	14
6.1	Bågverkansbroar	14
6.1.1	Bågbro i trä	15
6.1.2	Bågbro i stål	15
6.1.3	Bågbro i betong	15
6.2	Balkverkansbroar	16
7	UTVÄRDERING AV SEX KVARVARANDE BROKONCEPT	17
7.1	Estetik	17
7.2	Genomförbarhet	18
7.3	Trafiksäker miljö	18
7.4	Underhåll	19
7.5	Produktionskostnad	19
7.6	Produktionstid	20
7.7	Miljöpåverkan	21
7.8	Viktning av kriterier	22
7.9	Resultat av utvärdering	22
8	UTVÄRDERING AV TVÅ KVARVARANDE BROKONCEPT	23
8.1	Estetik	23
8.2	Genomförbarhet	23
8.3	Trafiksäker miljö	24
8.4	Underhåll	24
8.5	Produktionskostnad	25
8.6	Produktionstid	25
8.7	Miljöpåverkan	25
8.8	Resultat av slutlig utvärdering	26
9	BESKRIVNING AV STÅLBÅGBRO	27
9.1	Huvudbärverk	27
9.2	Sekundärbärverk	27
9.3	Produktionsgång	28

10	DIMENSIONERING	29
10.1	Laster	29
10.1.1	Egentyngd	29
10.1.2	Trafiklast	30
10.1.3	Lastkombinationer	32
10.2	Dimensionering av globalt system	32
10.2.1	Beräkningsmodell	32
10.2.2	Dimensionerande laster	33
10.2.3	Resultat	33
10.3	Dimensionering av brobana	37
10.3.1	Beräkningsmodell och dimensionerande laster	37
10.3.2	Resultat	39
10.4	Dimensionering av tvärbalkar	40
10.4.1	Beräkningsmodell och dimensionerande laster	41
10.4.2	Resultat	41
10.5	Dimensionering av detaljer	42
10.5.1	Infästning av tvärbalk och dragband	43
10.5.2	Infästning mellan dragband och stag	43
10.5.3	Stag	44
10.5.4	Infästning mellan stag och båge	44
10.5.5	Landfästen, lager och övergångskonstruktioner	44
10.5.6	Kontroll av konstruktionshöjd	46
11	SLUTGILTIGT BROKONCEPT	47
11.1	Estetisk utformning av stålbågbron	48
11.2	Räcke och kantbalk	48
11.3	Avvattning och brobana	48
11.4	Hantering av horisontella laster	49
12	DISKUSSION	50
12.1	Diskussion kring konceptutveckling	50
12.2	Diskussion kring preliminärdimensionering	51
12.2.1	Lasthantering och beräkningsmodell	51
12.2.2	Båge och dragband	51
12.2.3	Brobana	51
12.2.4	Tvärbalkar	52
12.3	Källkritik	52
13	SLUTSATS	53
14	REFERENSER	54

# Bilagor

Bilaga 1: Plan- & Sektionsritning över Ulricehamnsmotet

Bilaga 2: Teknisk beskrivning

Bilaga 3: Beräkning av spännvidder

Bilaga 4: Beräkning av konstruktionshöjd

Bilaga 5: Sammanställning av första urval

Bilaga 6: Lastframtagning till CALFEM modell

Bilaga 7: CALFEM modell

Bilaga 8: Lastframtagning och armeringsavkortning för brobana

Bilaga 9: Lastframtagning för tvärbalkar

Bilaga 10: Dimensionering av bärandesystem

Bilaga 11: Armeringsritningar

## Förord

Denna tekniska rapport är skrivet som ett kandidatarbete av studenter på civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet är en avslutande obligatorisk del av grundutbildningen och skrivs under våren det tredje året.

Stort tack till våra handledare Magnus Bäckström på COWI och Rasmus Rempling på institutionen för bygg- och miljöteknik. Tack även till J3M Byggkonsult AB för svar på frågor samt tillhandahållande av modelleringsprogrammet Tekla.

Göteborg juni 2015

Marcus Ahlström  
Fredrik Bengtsson  
Emmy Dahlström  
Rikard Landegren Hagen  
Johan Röös  
August Uddmyr



# 1 Inledning

Väg 40 är en nationell stamväg och huvudförbindelsen mellan Göteborgsregionen och Jönköping. Det har funnits planer på att bygga ut denna till en mötesfri väg sedan 1990-talet (Trafikverket, 2014). Utbyggnaden på sträckan Dällebo-Hester, som är uppdelad i tre etapper, är den sista sträckan att byggas ut innan väg 40/E4 blir en mötesfri väg från Göteborg till Stockholm. På denna sträcka ska 13 stycken nya broar byggas. Alla broar behöver beaktas enskilt då de har sina egna förutsättningar. Där vägen korsas av väg 46, som förbinder Skövde med Ulricehamn, ligger Ulricehamnsmotet. Den bron som kommer att projekteras ligger längst väg 46 och är en del av Ulricehamnsmotet.

## 1.1 Syfte

Projektets syfte är att ta fram ett brokoncept samt genomföra en preliminär dimensionering av en vägbro vid Ulricehamnsmotet. Projekteringen ska ta i beaktande de givna förutsättningar och befintliga förhållanden enligt Trafikverkets tekniska beskrivning *Bro över allmän väg i Ulricehamn (Ulricehamnsmotet), KM 14/050*.

Det resultat som är tänkt att uppnås i projektet är en väl utformad bro med tanke på både material och brotyp och som kan anses vara både funktionell och trafiksäker.

## 1.2 Problembeskrivning

Uppgiften är att utveckla ett brokoncept för en bro med längden 82,7 meter och med två körfält i bredd samt med intilliggande gång- och cykelväg. Den fria brobredden föreskrivs till 10,8 meter. Bron kommer överbrygga en sexfilig motorväg som byggs samtidigt, vilket medför att endast trafiken på väg 46 behöver ledas om under byggtiden. Motorvägen kräver en fri höjd på 4,7 meter som konstruktionen inte får inkräkta på. Utformningen av bron begränsas av att säkerhet och funktion ska kunna uppfyllas enligt TRVK BRO 11 (Trafikverket, 2011). Utöver detta är brons linjeföring bestämd och kan inte ändras, med det följer att anslutningspunkterna mellan väg och bro är fasta i både höjd- och sidled.

För brokoncept ska en analys av produktionsmetoder, nödvändiga inspektioner samt underhåll genomföras, både allmänt och för kritiska punkter. För den valda bron kommer beräkningar som beskriver det bärande systemet utifrån randvillkor och laster att genomföras. Dessutom kommer bron att preliminärdimensioneras för tre körfält för att klara av en framtida ökning av trafikmängd.

### 1.3 Mål

Det övergripande målet med projektet är att skapa en funktionell bro för platsen. Delmål som ska uppfyllas i projektet är:

- Skapa en trafiksäker miljö
- En estetiskt tilltalande bro
- En effektiv produktion
- En bro som är lätt att underhålla och sällan behöver kontrolleras
- Skapa ett landmärke för Ulricehamn

### 1.4 Metod

Genomförandet består av två delar, i den första delen utvecklas ett brokoncept som sedan beräknas och preliminärdimensioneras i del två. Arbetet börjar med en litteraturstudie där underlag till olika brotyper och material studeras. Genom att kombinera olika brotyper med olika material skapas ett flertal möjliga brokoncept. Konceptutvecklingen utförs i tre etapper. I etapp ett sällas brokoncept som inte lämpar sig för detta projekt bort. De olika koncepten jämförs och utvärderas utifrån bestämda och viktade kriterier i etapp två. I den sista etappen jämförs de två brokoncept som fick högst poäng från etapp två eftersom de där var likvärdiga poängmässigt.

För att kunna beräkna och dimensionera det rekommenderade konceptet görs en ytterligare litteraturstudie för att få kunskap om vilka beräkningar som krävs och vilka krav som ställs. Beräkningarna utförs sedan i Mathcad och Matlab.

### 1.5 Avgränsningar

Geotekniska förutsättningar kommer att beaktas vid val av bro men inga beräkningar kommer att utföras. En fullständig samhällsekonomisk kalkyl kommer inte att genomföras då det förutsätts att den redan gjorts tidigare i processen när beslut om byggnation togs. Ekonomin beaktas men kommer inte vara avgörande vid val av bro för att möjliggöra mer nyskapande koncept. Under processens gång kommer miljöaspekter att utvärderas men ingen fullständig livscykelanalys (LCA) eller livscykelkostnadsanalys (LCC) kommer att utföras. Vidare försummas bronns vertikal- och horisontalradie i konceptutvecklingen och beräkningsprocessen. Bron kommer att ses som en rät linje.

Preliminärdimensioneringen kommer inte att ta hänsyn till vind-, broms- och temperaturlaster som verkar på bron. En beskrivning av lasthantering för dessa kommer att utföras.



## 2 Brobyggnad vid Ulricehamnsmotet

Vilka brokoncept som lämpar sig för ett broprojekt bestäms av geografiska förutsättningar och krav från myndigheter. Dessa finns beskrivna i den tekniska beskrivningen som medföljer vid förfrågan av projektet. Nedan följer en sammanfattning av den tekniska beskrivningen, *Bro över allmän väg i Ulricehamn (Ulricehamnsmotet), KM 14/050*, se bilaga 1 och 2 för givna ritningar och den tekniska beskrivningen.

### 2.1 Geografiska förutsättningar

Den bro som ska byggas vid Ulricehamnsmotet, se figur 1, kommer att ha en total längd på 82,7 meter och ska överbygga en sexfilig motorväg. Med motorvägen följer en fri höjd på 4,7 meter vilket begränsar konstruktionshöjden på bron. Årsdygnstrafiken för väg 40 beräknades år 2015 till 12 000 fordon och beräknas öka till 15 100 under de kommande 20 åren. Andelen tung trafik förutsätts vara 22 % av trafikmängden. För väg 46 antas att trafikmängden är 25 % av trafikmängden från väg 40. Bron ska ha en teknisk livslängd på 80 år. Marknivån där bron planeras att byggas är ungefär +172 meter och markförhållandena är inte goda då de till stor del består av finkorniga jordar, främst silt, vilket försvårar grundläggningen. I den tekniska beskrivningen föreskrivs grundläggning på betongpålar som slås ner till en medelnivå på +127 meter och huvuddelen av bärförmågan erhålls i pålens mantel.

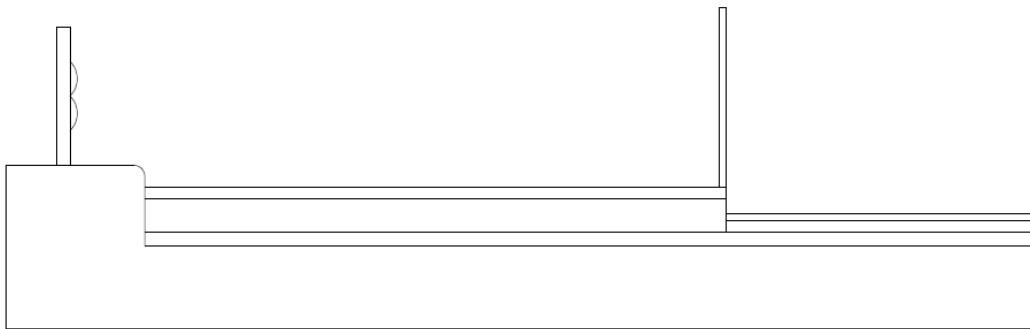


Figur 1: Geografisk placering i Ulricehamn av Ulricehamnsmotet

## 2.2 Utförande och tekniska lösningar

Byggnationen får inte påverka befintliga anläggningar som finns i området, varken under pågående byggnation eller efter slutförandet. Detta gör att till exempel den stenmur som finns vid varje brofäste ska vara orörd. Grundläggande krav för brobyggnationen är att den ska utgå från trafiksäkerhetstänk och utföras med moderna tekniker.

Brons kantbalkars ska ha en bredd på 500 millimeter och utformas förhöjda och med rundning. De lager som används ska vara av typen topflager. Brons beläggning ska bestå av 25 millimeter tillfälligt slitlager och ett permanent slitlager på 40 millimeter för bilväg. För gång- och cykelväg ska slitlager bestå av 120 millimeter AGF och 40 millimeter slitlager. För båda delarna ska ett kombinerat skydds- och bindlager av PGJA med 50 millimeter tjocklek användas, se figur 2. Broräcken ska utföras enligt TK Bro och uppfylla uppställda krav.



Figur 2: Brobanan i sektion där lagerföljden presenteras

## 3 Konstruktionsmaterial

Dagens broar byggs i huvudsak av de tre olika materialen trä, stål och betong. Ett material som testas mer och mer vid brobyggnad är kompositmaterial. Dessa material har sina unika egenskaper som lämpar sig mer eller mindre bra vid olika brokoncept. Materialen kan även komma att kombineras eller användas vid olika delar i samma brokoncept för att få en så optimal konstruktion som möjligt. För att ge en bakgrund till kommande materialval kommer de fyra materialen trä, stål, betong samt kompositmaterial presenteras här nedanför.

### 3.1 Trä

Träkonstruktioner ses som lätta konstruktioner, detta medför att träbroar kan ha en hög prefabriceringsgrad. Storleken på prefabriceringselementen beror på transportmöjligheterna istället för dess vikt vilket är en fördel vid lätta konstruktioner (Svenskt trä, 2012c). En annan fördel med konstruktionsvikten är att grundläggningsekostnaderna vid svåra markförhållanden kan bli lägre. En nackdel med en sådan konstruktion är att den står emot horisontalkrafter sämre jämfört med tyngre konstruktioner.

För att få den livslängden som erfordras för en träbro är det viktigt att skydda mot fukt eftersom den påskyndar nedbrytningen av materialet. Det enklaste sättet att skydda mot fukt är att sätta tak på konstruktionen (Bergkvist, Gustafsson, Lipkin, 1996). Genom att impregnera eller använda andra kemiska skyddsmetoder höjs verkets beständighet mot fukt, men en välutformad konstruktion mot fukt är effektivare än kemiska skyddsmetoder.

De huvudsakliga underhållen för träbroar är ommålning av redan målade ytor, reparation av vägbeläggning samt rengöring av smuts. Forskning visar att underhållskostnader för välkonstruerade träbroar är samma som för broar i andra material (Bergkvist et al, 1996).

### 3.2 Stål

Vid brobyggnad kan olika beståndsdelar i stål prefabriceras i verkstäder, där stålkomponenterna erhåller en hög måttnoggrannhet med få fel (Al-Emrani, Engström, Johansson, M., Johansson, P., 2013). Därefter kan delarna transporteras för att sedan monteras vid byggplatsen. En fördel med stål är dess höga hållfasthet vilket leder till mindre dimensioner och ger möjlighet till slanka konstruktioner.

En nackdel med att bygga broar i stål är risken för korrosion. De vanligaste skyddsåtgärderna är förzinkning och rostskyddsmålning, men det används även emaljering och korrosionshårdiga legeringar (Burström, 2007). Vilken metod som används till skydd mot korrosion är viktigt av ekonomiska skäl, både med tanke på den initiala kostnaden samt framtida underhåll.

Stål- liksom träkonstruktioner klassificeras som lätta konstruktioner. Stål har en hög grad av återvinningsbarhet, vilket innebär att när en stålbro rivs kan det gamla materialet användas för att framställa ny råvara. Det är möjligt att återvinna stålet oavsett dess hållfasthet, ålder och legeringsmaterial (Widman, 2004).

### 3.3 Betong

Det tryckhållfasta materialet betong används vid brobyggnation till de tryckbelastade delarna i en bro som till exempel stöd och pyloner. Det finns flera fördelar med att bygga en bro i betong, bland annat är materialet billigt och lättillgängligt (Al-Emrani et al, 2013). Det är även lätt att forma betong både sett till formen i stort samt till betongens yta. Materialet är också fukttåligt, icke brännbart och tål höga temperaturer.

En nackdel med att bygga broar i betong är att materialets höga egentyngd tar i anspråk på en stor del av bronns bärförmåga, men tyngden kan också vara till fördel för att stå emot horisontalkrafter. Den kanske största nackdelen är att det tar tid att gjuta betong då tillfälliga formar måste byggas och betongen måste härda innan de kan rivas. Denna nackdel går dock att undvika genom att använda prefabelement i så stor utsträckning som möjligt (Al-Emrani et al, 2013).

För att betongbroar ska få så lång livslängd som möjligt måste betongen skyddas från kloridinträngning och karbonatisering. Genom att med jämna mellanrum tvätta och även impregnera betongen vart 6:e-10:e år skyddas bron mot kloridinträngning (Mats Björlund Produktion, 2012). För att skydda mot karbonatisering krävs ett tillräckligt tjockt täckande betongskikt, det går även att byta ut det täckande betongskiktet mot ett nytt (Örtendahl & Holmström, 1994).

### 3.4 Kompositmaterial

Ett av de vanligare kompositmaterialen är FRP, vilket står för fiber-reinforced polymer. Jämfört med det konkurrerande materialet stål har FRP lägre hållfasthet men i gengäld är densiteten runt en femtedel av densiteten för stål (Kendall, 2013). FRP är som trä och stål en lätt konstruktion. Den stora nackdelen med FRP gentemot andra material är den låga elasticitetsmodulen vilket gör att nedböjning kommer att bli en avgörande faktor som måste kontrolleras (Wan, 2014).

FRP används inom byggsektorn som ett alternativ till armeringsstål i betong, ett annat användningsområde är att förstärka befintliga konstruktioner. Detta görs på plats och då utnyttjas materialets goda förmåga att binda sig till andra material, vilket skapar en starkare bro utan att lägga på för mycket ny last (Wan, 2014).

Ur produktionssynpunkt blir kostnadsbilden annorlunda vid byggande med FRP jämfört med andra material. Råmaterialen är dyra och utgör en stor del av den totala kostnaden och produktionsprocessen är även den dyr. Däremot blir transporter och montering billigare då de färdiga delarna väger en bråkdel av vad till exempel en prefabricerad betongbro väger. På grund av detta kan kostnaderna för transport minskas med så mycket som 75 % (Humphrey, 2003).

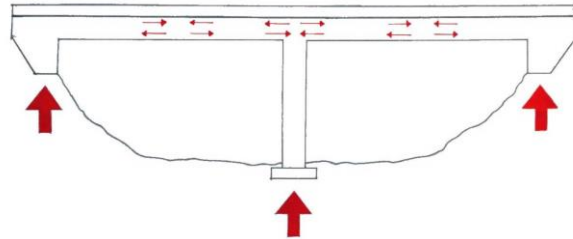
Vid underhåll av FRP-broar är ett problem att kunskapen är begränsad och det är oklart vad som måste undersökas och vilka de största riskerna är. Utöver det är de viktigaste delarna i materialet inneslutet vilket gör en visuell undersökning svår. Materialen i sig är beständiga och till skillnad mot stål behövs inga korrosionskontroller (Wan, 2014).

## 4 Beskrivning av brotyper

Alla brotyper har olika verkningssätt som lämpar sig olika bra beroende på spännvidd och övriga förutsättningar där bron ska uppföras. Valet av brotyp måste beslutas innan dimensioneringen kan påbörjas och nedan presenteras de brotyper som är aktuella för den första utvärderingen.

### 4.1 Balkverkansbroar

En balkverkansbro bär laster genom balkverkan, se figur 3, och är upplagd på två eller flera stöd. Där ett enkelt sätt att förstå en balkbro är att tänka den som en lång komplex planka som lagts ut för att överbrygga ett hinder (Blockley, 2010). I balken uppstår ett kraftspel mellan både tryck- och dragkrafter vilket måste beaktas för vissa material som har olika egenskaper för olika belastningar.



Figur 3: Kraftspel i balkverkansbro

#### 4.1.1 Balkbroar

För långa balkbroar blir temperaturförändringar avgörande och därför placeras dessa oftast på rörliga lager vid stöden för att undvika inre spänningar. Bron kan byggas med ett eller flera spann och mellanstödet utformas utan kraftöverförande fogar (Trafikverket, 2008). Bron är antingen kontinuerlig över flera stöd eller fritt upplagd på varje. Det senare alternativet är lämpligt vid misstanke om stora sättningar, då dessa kan ge stora inre moment över stöden (Vägverket, 1996).

Spännvidder och utformningen på en balkbro kan variera stort. Lådsektioner används när den fria höjden är begränsad eller spannet som ska överbryggas är långt. Den fria inre höjden i lådan bör av underhållskäl överstiga 1,2 respektive 1,8 meter beroende på längden av bron annars byggs bron med två eller flera balkar (Vägverket, 1996). En vanlig metod är att stålbalkar kombineras med en betongplatta, vilket är ett exempel på en samverkansbro (Trafikverket, 2008). Denna är vanlig eftersom stålbanor är dyra och används därför när egenvikten eller konstruktionshöjden måste minimeras.

#### 4.1.2 Rambro

Rambroar som är den vanligaste typen av broar i Sverige utförs i armerad betong och av ekonomiska skäl görs rambro normalt enbart i ett spann. En rambro definieras av att huvudbärverket och ändstöden, även kallat rambenen, är fast inspända. Rambenen vilar sedan nedtill på bottenplattor. Armeringen är kontinuerlig runt de övre ramhörnens utsidor (Trafikverket, 2008). Vägbanken går ända fram till rambenen vilket gör att bron stabiliseras av det jordtryck som vägbanken ger upphov till och som även bidrar till att reducera de horisontella rörelserna längs bron.

Vanligast är att platsgjuta betongbroar men det byggs även prefabricerade broar vilket är fördelaktigt med hänsyn till produktionstid och att bron kan byggas utan ställningar. Då brobaneplattan och stöden ska vara ihopgjutna hos en rambro platsgjets dessa (Trafikverket, 2008b). Stålbroad har också fördelen att de inte kräver någon ställning vid byggnation utan kan lyftas på plats eller lanseras ut från ena landfästet (Vägverket, 1996). Då det är svårt att få till den fasta inspänningen för rambroad i trä byggs sådana sällan<sup>1</sup>. Det finns två olika typer av rambroad, plattrambro och balkrambro.

### **4.1.3 Plattbroar**

En av de enklaste typerna av broar är plattbro, vilken består av en platta som är fritt upplagd på stöd. Den består idag oftast av antingen en armerad betongplatta eller av trälameller som spänns ihop med stålstag. Bron kan utföras i ett spann eller kontinuerligt över flera stöd där mellanstöd ska utformas utan kraftöverförande fogar (Trafikverket, 2008). Plattbroar i trä kan ha spännvidder på upp till 17 meter och spännarmerad betong klarar cirka 35 meter. Plattorna kan utformas som homogena eller med håluttag. De senare används vid långa spännvidder för att minska egentyngden (Trafikverket, 2008).

## **4.2 Bågverkansbroar**

Bågverkansbroar bär laster genom bågverkan vilket innebär att lasterna på bågen tas upp i form av tryck som sedan förs ner vidare genom bågen till upplagen. Det finns två sorters bågverkansbroar, valvbro och bågbro (Trafikverket, 2008). Valvbroar byggs vanligtvis inte idag eftersom metoden har hög materialåtgång samt korta spännvidder.

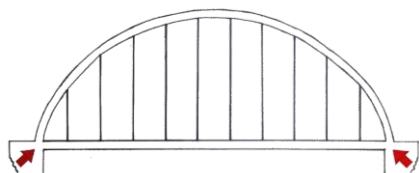
### **4.2.1 Bågbro**

Bågbroad är utformade med en eller flera bågar som utgör huvudbärverket (Trafikverket, 2008). Om det är flera parallella bågar är de oftast förbundna med tvärbalkar. Sekundärbärverket utgörs av brobanan som kan vara placerad över, mellan eller under bågen. Bågbroad utförda i ett spann kan ha spännvidder på upp till 260 meter och broar utförda i flera spann kan ha spännvidder på cirka 100 meter i vardera spann. Vid större spännvidder utförs bågbroad i betong eller stål och för kortare spännvidder kan även trä användas (Vägverket, 1996).

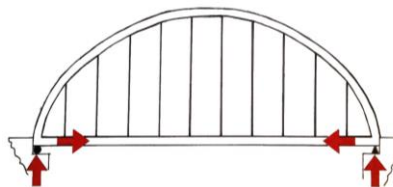
---

<sup>1</sup> Magnus Bäckström 2015-02-24

Huvudbärverket kommer att bära lasten genom tryck, bågverkan, och de krafter som bildas kan tas upp på olika sätt. Antingen är det endast en båge eller en båge med dragband (Trafikverket, 2008). Skillnaden mellan dessa är att en båge med dragband tar upp de horisontala krafterna internt, se figur 4 och 5, vilket är lämpligt vid situationer då det är ogynnsamma geotekniska förhållanden.



Figur 4: Kraftspel i båge



Figur 5: Kraftspel i båge med dragband

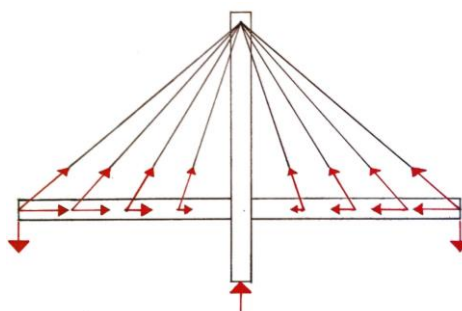
## 4.3 Linverkansbroar

Broar som bärs av linverkan består i princip av tre konstruktionsdelar, kablar, pyloner och förstärkningsbalk som utgörs av brobanan (Trafikverket, 2008). Kablarna är i huvudsak belastade i drag och pylonerna tar upp tryckkrafter, vilket kräver att dessa oftast måste grundläggas ner till berg. Att drag- och tryckkrafterna delas upp kan utnyttjas genom att tillverka kablarna i stål och pylonerna i betong. Då dessa broar ofta är höga kommer vindlasten att påverka mer än för broar med underliggande konstruktioner. Brobanan är ofta utformad för att minska påverkan av vindlasten på huvudbärverket (Trafikverket, 2008). Brodäcket kan utformas på många olika sätt, som platta, balk eller lådbalk och kan bestå av betong, stål eller en samverkanskonstruktion av de båda.

### 4.3.1 Snedkabelbro

Vid spännvidder mellan 100 och 500 meter är det vanligt med snedkabelbroar (Vägverket, 1996). Kabelkrafternas horisontella komponenter upptas inne i systemet, se figur 6, det vill säga att snedkabelbron är självförankrad vilket leder till endast vertikala reaktioner i stöden.

Det finns tre olika sätt att ordna kablarna hos en snedkabelbro. Solfjäderform där alla kablarna förankras i toppen av pylonen. Detta sätt kan medföra svårigheter när antalet kablar är många, då kan istället halv-solfjäderform användas där förankringarna sprids ut på pylonen. Den sista anordningen, harparrangemang, ordnas förankringarna jämnt över pylonen med parallella kablar. Detta system ger upphov till större tryckkraft i förstärkningsbalken och större moment i pylonerna.

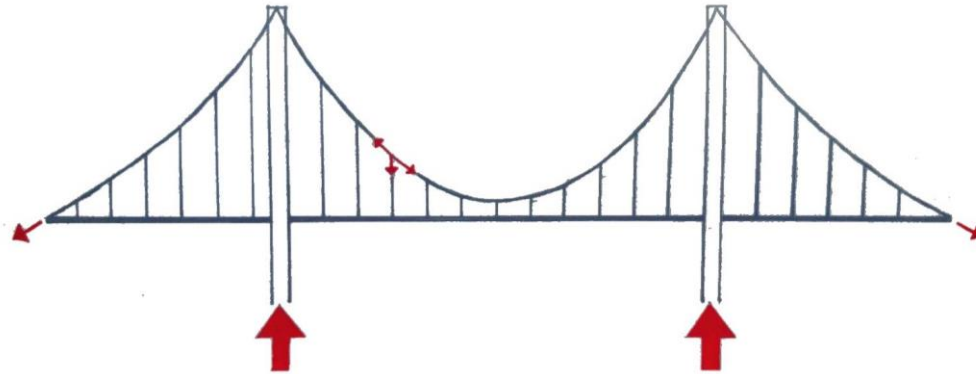


Figur 6: Kraftspel kring en pylon i en snedkabelbro där kablarna är arrangerade i solfjäderform

En fördel med snedkabelbron är den smidiga byggprocessen då de kan produceras utan ställningar med fritt fram-metoden (Vägverket, 1996). Enda nackdelen med denna metod är att den är mer tidskrävande än till exempel en konstruktion med prefabricerade element.

### 4.3.2 Hängbro

Hängbroar används vid stora spännvidder och lämpar sig för spann över 500 meter (Trafikverket, 2008). Tillskillnad från snedkabelbron har hängbron ankarblock som två huvudkablar är förankrade i. Dessa huvudkablar löper sedan mellan pylontopparna, se figur 7. Brobanan bärs sedan upp av kablar förankrade i huvudkablarna, så kallade hängare. Brobanan består ofta av en sluten ställåda likt en balkbro och hängbron byggs också den utan ställningar. Först monteras huvudbalkarna sedan hissas sektioner av brobanan upp som förankras i hängarna.

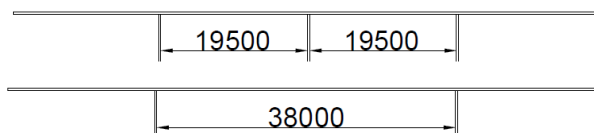


Figur 7: Kraftspel i hängbro



## 5 Urval av möjliga brokoncept

I ett första urval kontrolleras om de olika brotyper som presenterats i kapitel 4 uppfyller de krav som ställs utifrån Trafikverkets tekniska beskrivning *Bro över allmän väg i Ulricehamn (Ulricehamnsmotet), KM 14/050*. Kraven som ställs är att bron ska ha en minsta spännvidd på 19,5 eller 38 meter beroende på om bron byggs med två eller tre stöd, utan att inkräkta på det fria rummet (se figur 8 och för beräkningar se bilaga 3). Med det fria rummet menas det minsta utrymme för ett säkert och effektivt utnyttjande av vägbanan (Vägverket, 1994).



Figur 8: Principskiss av minsta möjliga spännvidder

Kravet på fri höjd är 4,7 meter och med den beräknade minsta höjden erhålls en möjlig konstruktionshöjd på 1,106 meter, se bilaga 4 för beräkningar. I den tekniska beskrivningen finns uppgifter om de rådande geotekniska förhållandena för området som består av sankmark och har cirka 45 meter ned till fast berg. Därmed är det av intresse att uppmärksamma hur krafterna som konstruktionen utsätts för tas upp, alltså horisontella och vertikala krafter, och vilka grundläggnings alternativ som är möjliga.

Utöver dessa krav tillkommer även en kontroll av att bron kan byggas inom ett tolerant ekonomiskt spann. På grund av detta kommer vissa brotyper som kan produceras rent tekniskt att väljas bort då det finns andra liknande koncept som är att föredra ur ekonomisk synvinkel.

Brotyperna som presenterades i kapitel 4 utvärderas utifrån kraven med hänsyn till material. En brotyp kan vara möjlig att bygga i ett material men inte i andra. Under givna förutsättningar anses det inte möjligt att bygga någon bro i endast FRP. Därför kommer inte dessa broar att beaktas vidare. Det finns dock möjlighet att använda i en samverkanskonstruktion med huvudbärverk i betong eller stål där brodäcket kan byggas antingen helt eller delvis i FRP. De broar som klarar kraven kommer att gå vidare för en utvärdering.

### 5.1 Balkbro

Beroende på vilken konstruktion som väljs klarar balkbron olika spännvidder. För trä är maximal spännvidd 30 meter vilket är möjligt med tre stöd (Trafikverket, 2008). Betongbalkbroar klarar 200 meter vid spännarmerade konstruktioner och samverkansbroar klarar cirka 80 meter. Ingen av de två typerna behöver något stöd med avseende på spännviddskravet.

Konstruktionshöjden för träbroar blir mellan 5 – 7 % av spännvidden vilket ger en möjlig konstruktionshöjd på 1,47 meter vilket inte uppfyller de ställda kraven. För stål blir konstruktionshöjden mellan 3,5 – 6 % av spännvidden vilket ger en konstruktionshöjd mellan 0,7 och 1,2 meter. Detta betyder att stålbro är mycket nära att uppfylla kravet (Vägverket, 1996). Samma gäller för spännarmerad betong som hamnar i spannet 0,8-1,4 meters konstruktionshöjd.

## 5.2 Rambro

Plattrambroar i spännarmerad betong klarar spännvidder på upp till 35 meter vilket uppfyller kraven (Trafikverket, 2008). Motsvarande spännvidd för balkrambroar är 50 meter. Konstruktionshöjden för en plattrambro blir mellan 1,2 och 1,45 meter vilket inte uppfyller ställda krav (Vägverket, 1996). Balkrambroarna fordrar normalt större konstruktionshöjd än plattrambroarna och faller därför också bort.

## 5.3 Plattbro

Plattbroar klarar spännvidder på ungefär 35 meter med spännarmerad betong och kan därför vara aktuell med tre stöd (Vägverket, 1996). Däremot klarar slakarmerad betong endast 18 meter och är inte aktuellt. Konstruktionshöjden uppskattas till 5 % av spännvidden och blir således 1,1 meter och klarar sig. Geotekniskt och ekonomiskt är bron fördelaktig. För trä är motsvarande spännvidd 17 meter och väljs därför bort (Trafikverket, 2008).

## 5.4 Bågbro

För betong- och stålbågar är den möjliga spännvidden 260 meter, därmed klarar dessa alternativ spännvidden (Vägverket, 1996). Konstruktionshöjden kommer inte vara kritisk då bågen möjliggör en slank brobana. En bågbro i trä klarar spännvidder på 50 meter vilket innebär att den är möjlig att bygga med två stöd vid sidan av vägbanan (Svenskt trä, 2012a).

På grund av de rådande geotekniska förhållandena finns det varianter av bågbrotyper som utesluts. Marken har inte hållfasthet att ta upp de horisontella krafterna i en konventionell bågbro. Den variant som finns kvar är en båge med dragband som tar upp horisontalkrafter.

## 5.5 Snedkabelbro

Snedkabelbroar är vanliga vid spann mellan 100-500 meter vilket är längre än det givna spannet på 82,7 meter vilket gör det tekniskt möjligt. Konstruktionshöjden kommer uppfyllas eftersom brobanan kan utformas slank då den endast är ett sekundärt bärverk.

Med de förhållanden som finns är det inte möjligt att placera en pylon mellan vägbanorna då den kräver för stora dimensioner<sup>2</sup>. Således krävs en asymmetrisk bro vilket kommer att ge horisontella krafter utöver de stora vertikala krafterna som blir ett problem utifrån de geotekniska förhållandena. I kombination med att denna bro är ekonomisk först vid längre spännvidder väljs den bort.

---

<sup>2</sup> Magnus Bäckström 2015-02-24

## **5.6 Hängbro**

Då hängbron normalt används vid spännvidder på över 500 meter kommer den aktuella spännvidden inte vara något problem. Däremot kommer stora tryckkrafter uppkomma i pylonerna vilket blir problematiskt och oekonomiskt att lösa. Denna brotyp väljs därmed bort.

## **5.7 Resultat av urval**

De brokoncept som uppfyller de grundläggande krav som ställts är således:

- Bågbroar med dragband tillverkade i trä, stål eller betong
- Balkbroar som samverkansbro eller i betong
- Plattbro i betong

För en sammanställning av urvalet och vilka krav som varje bro uppfyllde se bilaga 5.

## 6 Beskrivning av sex kvarvarande brokoncept

I den totala bro längden på 82,7 meter ingår landfästen, övergångskonstruktioner och den teoretiska spännvidden på 75 meter. Då bron ska vara 10,8 meter bred och två kantbalkar på 0,5 meter blir den minimala brobredden 11,8 meter. Projektet utgår därmed ifrån en brobredd på 12 meter.

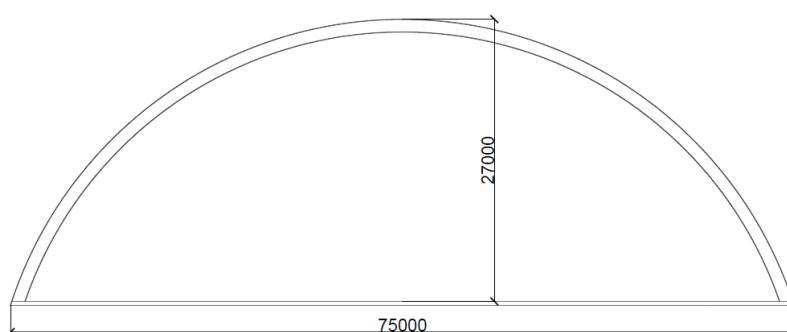
Allmänt underhåll som behöver utföras på alla de sex broarna är renhållningsarbeten vilket innebär tvättning och att hålla bron ren från smuts. Alla materialen behöver skyddsmålas eller impregneras för att de ska vara beständiga, detta måste upprepas med tiden då det skyddande lagret nöts ner. För att säkerställa att underhåll sköts och att bron är i gott skick utförs inspektioner kontinuerligt. Inspektionerna varierar med hänsyn till brotyp, material och skick på bron. Produktionsgången för alla sex koncept inleds med markarbeten och grundläggning med pälning på de platser där stöd och landfästen ska placeras.

Vid projektering av stora projekt måste risker beaktas. Det finns risker produktionsmässigt, vid förvaltning och samhällsekonomiskt. Generellt är höjden på konstruktionen och tunga lyft de stora riskfaktorerna vid produktion, eftersom lyft och höga fallhöjder innebär ökade risker för allvarliga skador på arbetsplatsen. Vid förvaltning är fallhöjden och arbete nära trafikerad väg de främsta riskerna. Samhällsekonomiskt är storleken på projektet relevant och hur anpassningsbar konstruktionen är för framtida bruk då samhället måste finna projektet lönsamt.

### 6.1 Bågverkansbroar

De tre olika bågbroarna kommer vara utformade på ungefär samma sätt med två bågar som spänner över vägen och med dragband. Dragbandens uppgift är att ta upp de horisontella krafterna, sedan kommer det vara tvärbalkar mellan bågarna som en brobanan vilar på. Vid byggnation konstrueras bågen först och brobanan förankras efteråt.

Bågbroarna i stål och betong kommer principiellt vara utformade som figur 9. Däremot kommer en bågbro i trä inte att uppnå spännvidden utan stöd, se figur 10 för principskiss, då den maximala spännvidden för bågbro i trä är cirka 50 meter (Svenskt trä, 2012a). Därmed kommer två stöd att placeras ut, med hänsyn till påkörningsrisken konstrueras bågen till 50 meter istället för den minsta spännvidden på 38 meter vilket beskrivs i kapitel 5.

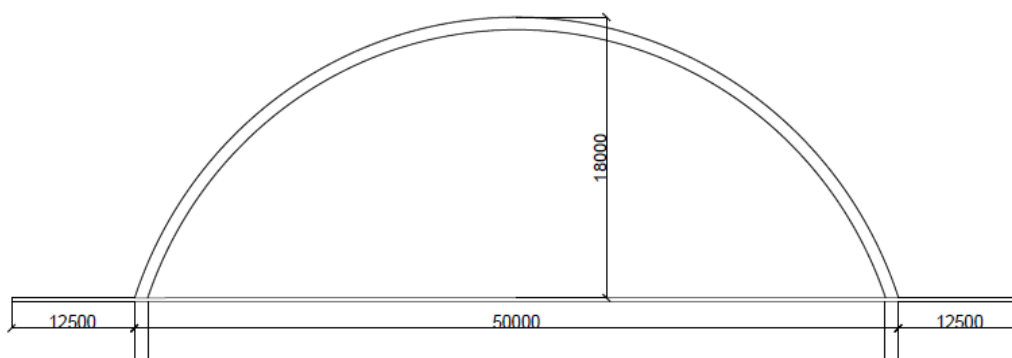


Figur 9: Principskiss av spännvidd och pilhöjd för betong- och stålåbåbro

Kritiska punkter för en bågbro med dragband är infästningen mellan bågen och dragbandet med avseende på den stora belastningen samt hängstagsinfästningarna på dragband och båge. Vid inspektion är det dessa kritiska punkter som är viktiga att inspektera. För broar i trä är det viktigt att kontrollera träets fuktighet då det är främst fukt som påverkar träets beständighet. För broar i stål är det viktigt att söka efter sprickor och rost, då bron består av betong är det viktigt att kontrollera betongen på sprickor och att korrosion inte inträffat på armering. För samtliga material är det viktigt att kontrollera ovanstående vid framförallt förband och anslutningar till exempel mellan hängstag och båge.

### 6.1.1 Bågbro i trä

Stöden binds samman med tvärgående balkar och längsgående balkar som lyfts på plats mellan pelare och landfäste. Träbågarna som produceras i form av treledsbågar förbinds på plats. Bågarna lyfts på plats ovanpå stöden och förankras i dessa innan hängstagen uppförs. Brobanan i trä kan sedan monteras och tvärgående stag placeras mellan bågarna (Svenskt trä, 2012a). Bågbron i trä kräver minimalt med tillfälliga konstruktioner då inget behöver gjutas. Risker för konceptet är tunga lyft och nedbrytning av materialet.



Figur 10: Principskiss över spännvidder och pilhöjd för träbågbro

### 6.1.2 Bågbro i stål

Prefabricerade delar av bågen på 20 meter samt dragbandet svetsas ihop innan hela bron lyfts på plats med kran<sup>3</sup>. Bågarna förbinds med tvärgående stag och de tvärgående balkarna förankras i bågen och dragbandet. Brobanan platsgjuts med hjälp av en form som sedan rivs när betongen härdat. Därefter beläggs brobanan med asfalt.

### 6.1.3 Bågbro i betong

Då bågen är gjord i betong finns det flera olika produktionsmetoder. En metod är att bygga en tillfällig gjutform, i exempelvis trä, som sedan rivs när betongen har härdat<sup>4</sup>. En annan metod är konsolutbyggnadsmetoden och genomförs i etapper med hjälp av klätterformar (Karoumi, R., Lundh, L., Sundquist, H, 2004). Då betongen har härdat tillräckligt förankras denna bakåt med kablar till ett tillfälligt kabeltorn. Denna

<sup>3</sup> Magnus Bäckström 2015-02-24

<sup>4</sup> Björn Engström, föreläsning 2015-01-29

process upprepas tills båghalvorna möts och förbinds med varandra. Skarvarna mellan olika etapper av gjutningen är känsliga under produktionsskedet. Brobanan platsgjuts även den med hjälp av en form. Brobanan kan sedan beläggas med asfalt.

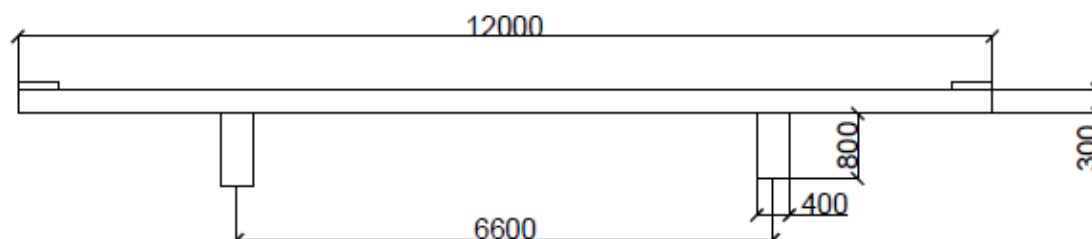
## 6.2 Balkverkansbroar

De tre balkverkansbroarna som utvärderas kommer vara utformade på liknande sätt, med tre stöd och lika långa spännvidder. I kapitel 5 beräknades konstruktionshöjd på balkbroar med tillhörande spännvidd i innerspann. Trafikverkets rekommendationer för kontinuerliga balkbroar är att ytterspannen är 80 % av innerspannen (Vägverket, 1996). Med hänseende till detta utformas balkverkansbroar med ytterspann 16,5 meter och innerspann på 21 meter, se figur 11. Med denna stödplacering hamnar alla tre stöden i trafikområdet, men inkräktar inte på det fria rummet.



Figur 11: Principskiss över stödplacering för balkverkansbroar

Vidare rekommenderar trafikverket en minimering av antalet balkar i konstruktionen. Ett tvärsnitt med två balkar bör utformas så att avståndet från kant till balk är 40 % av avståndet från balk till balk (Vägverket, 1996). Samverkansbalkbron och betongbalkbron kommer därför utformas med två balkar och ett tvärsnitt enligt figur 12.



Figur 12: Principskiss över brotvärsnitt för betongbalkbro och samverkansbalkbro

Prefabricerade balkbroar förekommer men dessa byggs ofta i anslutning till platsen för att minska transporten och sedan lyfts etapper på plats vilket ger ett extra moment i produktionen (Trafikverket, 2015b). Traditionellt har betongbalkverkansbroar byggts på plats med gjutning, denna metod är den som tillämpas för plattbron och betongbalkbron. Alternativet till metoden är lansering av prefabricerade element. Den vanligaste metoden för balkverkansbroar fungerar genom att prefabricerade brodelarna lyfts med domkrafter och kranar och sedan skjuts på plats. Den senare metoden tillämpas för samverkansbron, där betongbrobanan sedan platsgjuts på stålbalckarna.

Kritiska punkter för balk- och plattbron är där momentet är som störst, alltså över mellanstöd och i spannmitt. Viktiga kontroller att göra med avseende på de olika materialen för balk- och plattbroar är samma som tidigare nämnts för bågbroar. Till skillnad från bågbroar finns inte någon båge eller något hängstag att inspektera och betydligt färre förband. Däremot kräver en balk- eller plattbro fler upplag och därmed fler kritiska punkter i form av lager som behöver inspekteras och underhållas.

## 7 Utvärdering av sex kvarvarande brokoncept

De kvarstående brokoncepten kommer att utvärderas med avseende på kriterierna estetik, genomförbarhet, trafiksäker miljö, underhåll, produktionskostnad, produktionstid och miljöpåverkan. Dessa kriterier har valts för att få fram en bro som uppfyller målen i kapitel 1.3. Varje koncept kommer poängsättas på poängskalan 1-5, där 5 är mest fördelaktigt och 1 minst fördelaktigt. Poängen sätts med litteraturstudien som bakgrund och utifrån gruppens egna ingenjörsmässiga tankar och idéer. Kriterierna viktas även mot varandra utifrån projektets mål för att få fram vilka aspekter som är viktigare än andra vid framtagande av koncept. För viktningen se tabell 9.

Slutligen kommer ett samlat betyg för varje bro att presenteras och de två broar med högst betyg går vidare till en sista utvärdering.

### 7.1 Estetik

Ett mål är att bron ska vara ett landmärke för Ulricehamn. Därmed behöver bron urskilja sig ur mängden broar som redan finns runt omkring i Sverige. Det behövs innovation i utformningen men den ska fortfarande passa in i landskapet.

Med innovation syftas till nytänkande och det behöver inte innebära en vågad design, som även kan vara begränsad av tekniska skäl. Estetik kan innebära särdrag i en bro som anses vara vackra. En möjlighet att lyfta fram speciella särdrag av bron nattetid är genom att använda ljussättning i räcken, stag eller liknande och därmed ge bron en helt annan karaktär. Det är med hjälp av skuggor och ljus som bron kan framhävas till något exceptionellt och bli ett landmärke (Arkus, 2009).

Sedan finns det andra möjligheter genom färgsättning av bron och val av material, där materialens olika struktur och färg utnyttjas. Även vilken brotyp som byggs spelar roll då dimensionerna för en bro kan variera. En slank bro ser oftast mer tilltalande ut än en bastant bro.

Sammanfattningsvis kan sägas att alla brotyper har olika förutsättningar när det kommer till möjligheterna att vara innovativ och skapa ett landmärke för Ulricehamn. För betyg se tabell 1.

Tabell 1. Betyg för respektive bro gällande estetik

Estetik	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	4	5	5	2	3	1

## 7.2 Genomförbarhet

Broarna som utvärderas har olika produktionsmetoder vilka är olika smidiga att genomföra. Är metoden vanlig och väl beprövad finns mer erfarenhet som minskar antalet problem och stopp som försvårar produktionen. En del produktionsmetoder kräver fler tillfälliga konstruktioner än andra vilket vill minimeras eftersom de flesta problemen i produktionen uppkommer i samband med dessa<sup>5</sup>.

Broarna i trä är inte vanligt förekommande trots att materialet har byggts med i alla tider. Först på senare delen av 1900-talet har det blivit vanligare att bygga vägbroar av trä och därför finns inte mycket kunskap om detta (Träguiden, 2012b). Den stora fördelen med träbroar är att de kan prefabriceras i stor grad och att tillfälliga konstruktioner till stor del undviks. Bågbron i trä kräver två stöd som ska uppföras innan bågen och brobanan kan konstrueras och att produktionen innehåller flera moment sänker betyget.

Stålbroadarna kan precis som träbroarna prefabriceras för att undvika vissa tillfälliga konstruktioner. Det finns lång erfarenhet av att bygga sådana broar då samverkansbroar är en av de vanligaste brotyperna i Sverige vilket ger möjlighet att få en smidig byggprocess. Bågbroarna i stål är inte vanliga idag och beroende på produktionsmetod kan tillfälliga stöd för bakåtförankring krävas. (Brockenbrough, R. Merritt, F. S. 2014).

Betongbroarna skiljer sig stort i hur smidiga de är att producera. Platt- och balkbroarna gjuts i de flesta fall på plats och kräver därför formar (Vägverket, 1996). Balk- och plattbroarna är mycket gamla och beprövade metoder vilket underlättar men plattbroarna kan ha avancerat formarbetet om de byggs med hålurtag. Bågbron i betong anses vara en av de sämre ur produktionssynpunkt då bågen ska gjutas och kräver mycket komplicerade konstruktioner och formar, där risken för misstag är överhängande. Utöver det krävs ofta bakåtförankring. För betyg se tabell 2.

Tabell 2. Betyg för respektive bro gällande genomförbarhet

Genomförbarhet	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	2	3	1	4	5	4

## 7.3 Trafiksäker miljö

Trafikverket ställer krav på trafiksäkerheten som ska uppfyllas av alla brokoncept. Olycksrisken kan skiljas mellan de olika brokoncepten, framförallt om bron har stöd i anslutning till underliggande väg. Körkomforten bidrar också till trafiksäkerheten, en högre körkomfort minskar olycksrisken och prioriteras.

Var stöden placeras påverkar trafiksäkerheten för väg 40 där ett stöd mellan körfält bidrar till en högre risk för olyckor. Ett stöd mellan körriktningarna minskar risken för att fordon kommer in på fel vägbana, detta går att förebygga med olika metoder till

<sup>5</sup> Magnus Bäckström, 2015-02-24



exempel räcken. Om stöd ska placeras i trafikområdet ska de inte placeras närmare vägen än räckets utböjning och dimensioneras för en olyckslast vid påkörning.

Med ovan som bakgrund dras slutsatsen att färre stöd bidrar till en trafiksäkrare miljö längs väg 40, därför ges högst betyg till de broar med minst stöd. För betyg se tabell 3.

Tabell 3. Betyg för respektive bro gällande trafiksäker miljö

Trafiksäker miljö	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	3	5	5	1	1	1

## 7.4 Underhåll

Underhållsbehov och underhållskostnader kommer att beaktas. Underhållsbehov och tillgänglighet varierar för olika brokoncept och för olika material. Underhållskostnader är en stor kostnad men då ekonomin inte är avgörande kommer detta viktas lågt. Då inspektion och underhåll är viktigt kommer ett brokoncept med lågt underhållsbehov viktas högt.

Bågbron är den brotyp som är mest komplicerad att underhålla med tanke på bågens utbredning som försvårar åtkomligheten och att den har fler element som måste inspekteras. Balk- och plattbron är lättare och ganska lika att inspektera, med undantaget att balkbron har fler och mer svåråtkomliga ytor. För att möjliggöra underhållet av broarna behövs maskiner och liftar vilka kommer störa trafiken, antingen på bron eller underliggande väg.

Om konstruktionen är väl utformad med tanke på material och konstruktivt skydd är det inte stor skillnad på underhållsbehovet med avseende på de olika materialen. Skyddsmålat trä och stål behöver dock till skillnad från betong målas om.

Vid uppkomst av skador är det oftast lättare och billigare att reparera en bro i trä eller stål än en i betong då det är mer fördelaktigt att byta delar i trä eller stål. Stål är det material som är allra lättast att reparera då skador kan svetsas. För betyg se tabell 4.

Tabell 4. Betyg för respektive bro gällande underhåll

Underhåll	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	2	2	1	4	5	5

## 7.5 Produktionskostnad

Vanligtvis prioriteras produktionskostnaderna för ett byggprojekt högt, men då ekonomin inte är avgörande för detta broprojekt kommer kriteriet att viktas lågt.

Generellt innebär prefabricering lägre kostnader. Enligt tidningen Svensk betong finns det flera fördelar med prefabricering (Svensk betong, 2015b). Produktionen av element kan samlas på en plats istället för att ha en provisorisk produktionsplats vid bygget. Detta innebär ett produktionskedje som är oberoende av väder och byggnationen handlar mer om montering vilket innebär mindre olyckstillbud samt

kortare byggtid. Därmed minskas behovet av arbetskraft vilket innebär lägre kostnader totalt. Materialen som bron kommer produceras i påverkar till stor del totalkostnaden. Det material som är mest kostsamt är stål följt av trä och det billigaste materialet att producera är betong, se tabell 5.

Tabell 5. Materialkostnader för konstruktionsmaterial

Limträbalkar	Betong	Stålbalkar
8500 kr/m <sup>3</sup>	2500 kr/m <sup>3</sup>	640000 kr/m <sup>3</sup>

Sedan påverkas totalkostnaden som nämnt på hur stor grad som är prefabricerat, dessutom har materialens egenskaper inverkan på hur stor materialåtgång det blir. Stål som exempel har utmärkande hållfasthetsegenskaper, seghet och svetsbarhet vilket innebär en slankare konstruktion, mindre materialåtgång och möjlighet till prefabricering. Betong har begränsningar på hur stor del som kan prefabriceras, till exempel bågen i en bågbro som måste formgjutas. Allt detta kommer påverka hur bron utformas och därmed den totala produktionskostnaden. För betyg se tabell 6.

Tabell 6. Betyg för respektive bro gällande produktionskostnad

Produktionskostnad	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	2	2	1	4	5	3

## 7.6 Produktionstid

Valet av produktionsmetod påverkar produktionstiden och en längre produktionstid medför en högre produktionskostnad. Då den underliggande vägen byggs samtidigt som bron kommer produktionstiden inte att begränsas med avseende på trafikstörningar. Produktionstiden för de olika koncepten är varierande och beror till stor utsträckning på andelen prefabricerade byggnadselement som kan användas. Tidsåtgången påverkas både av vilket material och vilken brotyp som väljs. I detta urval tas hänsyn till produktionstiden för huvudbärverket.

En bågbro bedöms vara mer tidskrävande jämfört med en balk- eller plattbro med tanke på uppförandet av själva bågen. Då bågbro byggs i trä krävs två stöd som ska uppföras, vilket inte är fallet för varken stål eller betong. Träelement har goda möjligheter till prefabricering och betraktas därtill som lätta konstruktioner. Bearbetning och hantering av materialet blir därmed enkel och snabb då det ska monteras på byggplatsen.

Även stål är ett material som är lämpligt att prefabricera och sedan sammanfoga på plats. Då balkarna som behövs kommer vara längre än de element som kan transporteras till byggplatsen kan det vara nödvändigt att svetsa på plats.

I Sverige är platsgjutning det vanligaste alternativet för betongbroar. Det krävs då formar som är på plats under tiden betongen härdar. Detta är en process som är tidskrävande jämfört med prefabricering, vilket gör betong till det material med längst produktionstid. För betyg se tabell 7.

Tabell 7. Betyg för respektive bro gällande produktionstid

Produktionstid	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	3	3	1	3	5	3

## 7.7 Miljöpåverkan

En bro har sin största miljöpåverkan under byggskedet eftersom den har sitt högsta energibehov då. Den största skillnaden i miljöpåverkan mellan olika brokoncept beror på vilket material som bron består av, då tillverkningen av materialen har mer eller mindre miljöpåverkan. Detta kommer att jämföras genom att beakta hur stora koldioxidutsläppen är vid tillverkningen av de olika materialen.

Trä är det material som har minst miljöpåverkan eftersom koldioxid redan är bundet i det ursprungliga trädet och de utsläpp som sker i samband med avverkning, transport och bearbetning är små i jämförelse med inlagrad koldioxid (Svenskt trä, 2014). Betong i sig påverkar inte miljön, det är i själva verket när cementen produceras som koldioxidutsläppen sker. Vid framställning är koldioxidutsläppen i genomsnitt 0,84 ton per ton cement (Stangbetong, 2010). Stål är det materialet som har störst miljöpåverkan. Vid framställning av ett ton plåt i SSAB-koncernen släpps 1,17 ton koldioxid ut (SSAB, 2013).

De brokoncepten som består av trä får alltså högre betyg än de av betong, som i sin tur får högre betyg än de i stål. Vilket material som bron består av anses vara av större vikt än brotyp. För betyg se tabell 8.

Tabell 8. Betyg för respektive bro gällande miljöpåverkan

Miljöpåverkan	Båge trä	Båge stål	Båge betong	Balk betong	Balk stål	Platt betong
Betyg	5	1	2	3	1	3

## 7.8 Viktning av kriterier

Kriterierna viktas mot varandra genom att varje kriterium ställs mot de andra, anses ett kriterium väga mer än ett annat ges det ett ”+” eller vice versa ett ”-”. Antalet plus adderas ihop och det kriterium med högst summa viktas högst. Viktningen illustreras i tabell 9.

Tabell 9. Viktning av kriterier för utvärderingar

Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	Σ	Ranking	Viktning
1. Estetik	X	+	-	+	+	+	+	5	2	21 %
2. Genomförbarhet	-	X	-	-	+	+	-	2	5	11 %
3. Trafiksäker miljö	+	+	X	+	+	+	+	6	1	25 %
4. Underhåll	-	+	-	X	+	+	-	3	4	14 %
5. Produktionskostnad	-	-	-	-	X	+	-	1	6	7 %
6. Produktionstid	-	-	-	-	-	X	-	0	7	4 %
7. Miljöpåverkan	-	+	-	+	+	+	X	4	3	18 %
Summa							Σ	21	28	100 %

Trafikverkets nollvision motiverar att trafiksäker miljö är rankad högst följt av estetik eftersom ett av målen är att skapa ett landmärke för Ulricehamn. Produktionstiden rankas lägst eftersom anslutande vägar samtidigt genomgår en ombyggnation, därmed finns ingen akut tidspress.

## 7.9 Resultat av utvärdering

Det sammanlagda viktade betyget för varje bro presenteras nedan, tabell 10.

Tabell 10. Resultat av utvärdering för sex broar

	Bågbro trä		Bågbro stål		Bågbro betong		Balkbro betong		Balkbro stål		Plattbro betong		Viktning
Estetik	4	0,84	5	1,05	5	1,05	2	0,42	3	0,63	1	0,21	21 %
Genomförbarhet	2	0,22	3	0,33	1	0,11	4	0,44	5	0,55	4	0,44	11 %
Trafiksäker miljö	3	0,75	5	1,25	5	1,25	1	0,25	1	0,25	1	0,25	25 %
Underhåll	2	0,28	2	0,28	1	0,14	4	0,56	5	0,7	5	0,7	14 %
Produktionskostnad	2	0,14	2	0,14	1	0,07	4	0,28	5	0,35	3	0,21	7 %
Produktionstid	3	0,12	3	0,12	1	0,04	4	0,16	5	0,2	3	0,12	4 %
Miljöpåverkan	5	0,9	1	0,18	3	0,54	3	0,54	1	0,18	3	0,54	18 %
Summa	21	3,25	21	3,35	17	3,2	22	2,65	25	2,86	20	2,47	100 %

De två broar med högst betyg är bågbro i stål samt bågbro i trä. Dessa går vidare till en tredje och sista utvärdering då de har fått likvärdig poäng.

## 8 Utvärdering av två kvarvarande brokoncept

I denna utvärdering bedöms de två kvarvarande broarna utifrån samma kriterier som i den tidigare utvärderingen. Däremot kommer andra aspekter inom de kriterierna att läggas till i värderingen och broarna ställs endast i förhållande till varandra. Den bro som anses fördelaktig får betyget 2 och den andra får betyget 1. Samma viktning av kriterierna gäller som för utvärdering två. Den bro som får högst sammanlagt betyg kommer att bli det slutliga konceptet som sedan ska dimensioneras.

### 8.1 Estetik

Trots att det är samma sorts brotyp som utvärderas finns det distinkta skillnader mellan dem ur estetisk synpunkt. Framförallt kommer en bågbro i trä ha två stöd till skillnad från den i stål för att klara spännvidden. Stöden har en negativ inverkan på bronns utseende och uppfattning, därmed är stålbron mer attraktiv då denna inte har några stöd. En stålbro har normalt en slankare utformning än en träbro, vilket är att föredra estetiskt. För betyg se tabell 11.

Tabell 11. Betyg för respektive bro gällande estetik

Estetik	Båge trä	Båge stål
Betyg	1	2

### 8.2 Genomförbarhet

De aspekter som ingick i den tidigare utvärderingen är fortfarande relevanta och utöver det beaktas hur lätt det är att sammanfoga de olika delarna i bron. Slutligen kommer vikten på delarna att spela in då det påverkar hur stora lyftanordningar som krävs och även att lätta konstruktioner är enklare att hantera för de som arbetar.

Bågbron i stål är en gammal typ av konstruktion som har blivit ovanligare med tiden. Byggnadsmetoden som utvärderas bygger på att prefabricerade delar av bågen svetsas ihop innan hela bron lyfts på plats. Det är viktigt att svetsen görs av ett likvärdigt eller starkare stål för att det inte ska bli en svag del i konstruktionen<sup>6</sup>. Svetsning är en vanlig metod och kan anses tillförlitlig.

Byggs bågbron i trä finns nya exempel på hur dessa kan uppföras men det är först de senaste årtiondena som detta har blivit vanligt. Det typiska sättet att fästa ihop delar av trä är med skruv- eller spikförband som är beprövade metoder och enkelt för hantverkare att utföra. För träbågbron krävs två stycken stöd vilket ger ett extra moment i produktionen. Då trä är ett lätt material blir både bågen och brobanan lätt att hantera och lyfta på plats samt kräver minimalt med tillfälliga konstruktioner. Delar på upp till 40 meters längd kan tillverkas men det ger dyrare transporter och kräver tyngre kranar. Därför görs normalt bågen i två delar som sammanfogas i en momentfri led (Träguiden, 2012c). För betyg se tabell 12.

Tabell 12. Betyg för respektive bro gällande genomförbarhet

Genomförbarhet	Båge trä	Båge stål
Betyg	2	1

<sup>6</sup> Magnus Bäckström 2015-02-24

### 8.3 Trafiksäker miljö

Vid närmare utvärdering av en stålbågbro utan stöd och en träbågbro med två stöd anses stålbågbro säkrare. Detta med hänseende till olycksrisken med stöd och vid underhåll av stöden då trafiken kommer vara nära underhållsarbetarna. En träbro kan även kännas osäkrare att köra på och med dessa aspekter i beaktning får stålbron det högre betyget. För betyg se tabell 13.

Tabell 13. Betyg för respektive bro gällande trafiksäker miljö

Trafiksäker miljö	Båge trä	Båge stål
Betyg	1	2

### 8.4 Underhåll

Tidigare nämns i rapporten att underhållsbehovet inte kommer skilja avsevärt mellan de olika materialen om konstruktionen utformas väl. Ommålning av skyddsmålade ytor behövs för båda materialen, för trä är dock tidsintervallen för ommålning oftast kortare än för stål. Det som är intressant att undersöka är viktiga inspektioner för de olika koncepten.

För bågbro i stål med samverkansbrobana i stål och betong är det viktigt att kontrollera konstruktionen med avseende på korrosion och sprickor. Korrosionskänsliga delar av stålkonstruktionen är skruv- och nitförband, upplag, stålbalkars anslutning till betongkonstruktioner och vid båganfang. Sprickor bör kontrolleras runt svetsar och nitade konstruktioner. Då brobanan består av betong ska denna kontrolleras med hänsyn till belastningssprickor och krossning till följd av påkörning. Sprickor bidrar till sämre bärförmåga och öppnar upp för exponering av armering som leder till korrosion. För brobanan är det även viktigt att granska undersidan för att fastställa om urlakning eller vittring förekommer.

Träets fuktighet är det som främst orsakar skador för broar i trä. Sprickor och avflagningar kan uppstå till följd av fysikalisk påverkan och röta till följd av biologisk påverkan. Kritiska punkter för fuktinträning är vid landfästen, underkant av balkar och pelare, förband samt upplag (Pousette och Fjellström, 2004). Liksom för stålkonstruktionen är det för träkonstruktionen viktigt att kontrollera ståldetaljer med avseende på rostskador. Sprickor i träet påverkar inte direkt bärförmågan utan har främst betydelse för träets fuktupptagning (Pousette och Fjellström, 2004). Högre fuktkvot sänker hållfastheten vilket leder till att sprickorna indirekt påverkar hållfasthet och beständighet vilket gör att sprickorna är viktiga att kontrollera. För betyg se tabell 14.

Tabell 14. Betyg för respektive bro gällande underhåll

Underhåll	Båge trä	Båge stål
Betyg	1	2

## 8.5 Produktionskostnad

Att bygga en bro i trä har sina fördelar då en stor del kan prefabriceras och på grund av sin vikt finns det goda transportmöjligheter (Abelsson, B. , Båge P. , Westerlund L. 1998). Utöver detta innebär prefabricering möjligheter till kortare produktionstid. Detta är ypperliga fördelar då både produktionstid och prefabricering har stor inverkan på produktionskostnaden.

Vid byggnation av en bågbro i stål finns det goda prefabriceringsmöjligheter, då bågen kan tillverkas i flera delar och svetsas ihop på plats. Stål är mer kostsamt och därför kommer bron i stål innebära högre produktionskostnad jämfört med trä. För betyg se tabell 15.

Tabell 15. Betyg för respektive bro gällande produktionskostnad

Produktionskostnad	Båge trä	Båge stål
Betyg	2	1

## 8.6 Produktionstid

Bågbroarna i stål och trä fick i tidigare urval samma betyg för kriteriet produktionstid. I det andra urvalet beaktas även produktionstiden för brobanan. Då stål väljs som material kommer brobanan bestå av betong som gjuts på plats. Om istället trä väljs kan prefabricerade trärelement användas. Detta gör att bågbroarna i trä kommer få högre betyg än stål i urval två. För betyg se tabell 16.

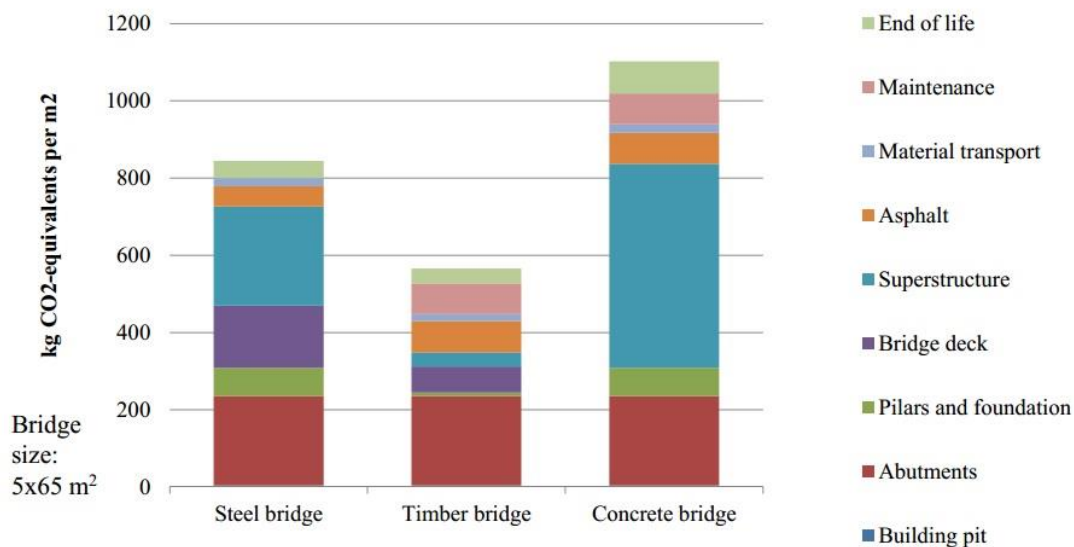
Tabell 16. Betyg för respektive bro gällande produktionstid

Produktionstid	Båge trä	Båge stål
Betyg	2	1

## 8.7 Miljöpåverkan

Denna jämförelse i miljöpåverkan kommer gå djupare än den förra, där koldioxidutsläppen vid tillverkningen av materialen beaktades. Jämförelsen sker i ett livscykelperspektiv där tillverkning av materialen, byggnation, underhåll och rivning beaktas. Broarnas miljöpåverkan jämförs i kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter av bron. Ingen egen livscykelanalys kommer utföras, utan jämförelsen sker genom en studie av existerande livscykelanalyser på trä- och stålbroar.

För en bro längs E6:an i Norge har Statens Vegvesen och MISA tillsammans gjort en livscykelanalys för en bro med däckarean 5x65 kvadratmeter i trä, stål eller betong (Hammervold, J. Kleppe, J, 2013). I resultatet av deras undersökning, se figur 13, har träbron en större miljöpåverkan från underhållet, men den har samtidigt en betydligt mindre påverkan från bärverket, brobanan och grundläggningen. Detta gör att träbron totalt har en mindre miljöpåverkan än stålbron.



Figur 13. Livscykelanalys av broar i olika material, (Hammervold, J. Kleppe, J, 2013)

Siffrorna i undersökningen stämmer inte helt med de två kvarvarande brokoncepten för Ulricehamnsmotet eftersom den bland annat är både bredare och längre. Slutsatsen som kan dras från undersökningen är att träbroar har mindre miljöpåverkan än stålbroar. För betyg se tabell 17

Tabell 17. Betyg för respektive bro gällande miljöpåverkan

Miljöpåverkan	Båge trä	Båge stål
Betyg	2	1

## 8.8 Resultat av slutlig utvärdering

Det sammanlagda betyget för de två broarna presenteras nedan, se tabell 18.

Tabell 18. Resultat av slutlig utvärdering

Kriterier	Bågbro trä		Bågbro stål		Viktning
Estetik	1	0,21	2	0,42	21 %
Genomförbarhet	2	0,22	1	0,11	11 %
Trafiksäker miljö	1	0,25	2	0,5	25 %
Underhåll	1	0,14	2	0,28	14 %
Produktionskostnad	2	0,14	1	0,07	7 %
Produktionstid	2	0,08	1	0,04	4 %
Miljöpåverkan	2	0,36	1	0,18	18 %
<b>Summa</b>	<b>11</b>	<b>1,4</b>	<b>10</b>	<b>1,6</b>	<b>100 %</b>

Det vinnande konceptet som kommer dimensioneras är bågbroen i stål.



## 9 Beskrivning av stålbågbro

Det slutliga brokoncept som ska preliminärdimensioneras blir enligt kapitel 8 en bro med stålbågar och brobana i betong. Bron beskrivs principiellt i följande kapitel innan dimensionering sker.

### 9.1 Huvudbärverk

Bågbron tar upp laster genom en båge på vardera sida av brobanan och det antas att bågarna tar upp lika mycket av krafterna. Förankringen mellan båge och brobana kommer att ske med hängstag. Hängstagen är även till för att stabilisera bron mot rotation på grund av horisontella laster, bland annat vindlast.

Dragbandet tillverkas av stål och det är viktigt att få en bra anslutning mellan båge och band eftersom det ska ta upp stora krafter (Brockenbrough, R. et al. 2014). De bågge elementen svetsas eller nitas ihop. Dragbanden löper längs hela bron mellan bågans ändar och samverkar med bågkonstruktionen. Bandet placeras utanför brobanan och består antingen av en balk som går mellan de bågge landfästena. Innan dimensionering sker antas ett standardtvärsnitt HEA 800 för dragbandet. Den stålkvalité som antas är S355 för allt stål i konstruktionen.

### 9.2 Sekundärbärverk

Tvärbalkarnas uppgift är att bära upp brobanans egentyngd samt de trafiklaster som verkar på denna. Tvärbalkarna har en längd på 12 meter, och dimensioneringen utgår ifrån standardprofil HEA600. Brobanans tjocklek sätts preliminärt till 400 millimeter i betongklass C30/37. Hängstagen som är förankrade i bågen samt i dragbandet har i uppgift att överföra lasterna från sekundärbärverket till bågen. Stagen är cylindriskt utformade och dimensionerade för att möjlighet ska finnas att byta ett vid underhåll. Infästningarna mellan hängstag och båge samt hängstag och dragband är utformade som skruvförband, där stagen fästs via ett skruvförband till en platta som är svetsad till bågen och likadant vid dragbandet. För att ta upp horisontella laster och stabilisering av bron monteras stag mellan bågarna.

### 9.3 Produktionsgång

Vid byggandet av bron följs en bestämd produktionsgång för att få en smidig produktion och för att undvika kollapser innan bron fått sin slutliga konstruktion. Första steget är att allt nödvändigt markarbete utförs för att få en stabil grundläggning av bron. I den tekniska beskrivningen föreskrivs att grundläggning görs med spets- och mantelburna pålar som slås ned i genomsnitt 45 meter. Påslagningen ska utföras utifrån föreskrifter i AMA Anläggning 07. Efter slutfört markarbete gjuts landfästena på respektive sida i betong som sedan härdar.

Under tiden som betongen härdar förbereds de prefabricerade delarna i bågen och tvärbalkar på en närliggande fabrik. Detta ger en god kontroll över produktionen av elementen vilket möjliggör en hög kvalitet. När landfästena härdat färdigt transporteras de olika delarna av konstruktionen till platsen där bågen inklusive dragband svetsas ihop till en del, lyfts på plats med en kran och förankras i landfästena med momentstyva skarvar. Detta kräver stor lyftkraft och är ett riskmoment där förbandet måste utföras rätt. Sedan förbinds de bägge bågarna med tvärgående stag som ger styvhet i vek riktning.

Nästa steg i produktionen är montering av de tvärgående balkarna som förankras i bågen och dragbandet för att bära upp brobanan. Efter detta byggs en form för brobanan som gjuts på plats. När betongen härdat tillräckligt beläggs brobanan med asfalt och slutligen installeras belysningen och de sista delarna av avrinningssystemet innan bron slutligen är färdig för användning.

## 10 Dimensionering

Följande kapitel handlar om dimensioneringsprocessen, där fullständiga beräkningsgångar med värden återfinns i bilaga 6-10.

### 10.1 Laster

Vid dimensionering av bron kommer laster användas enligt de Eurokoder som erhålls från svensk standard (SIS) och som ger riktlinjer för placering och storlekar på olika laster. För varje del av konstruktion måste normalt ett antal olika lastfall och lastkombinationer beaktas beroende på vad som ska undersökas. Laster kan vara antingen permanenta, variabla eller olyckslaster som normalt betecknas G, Q och A. För varje last finns ett karakteristiskt värde som är en lasts mest representativa värde och som finns upptecknat i olika Eurokoder. Generellt betecknas en utbredd last med liten bokstav och en punktlast med stor bokstav, således q respektive Q för en variabel last.

De olika lasterna kombineras sedan i olika lastkombinationer där parametrar används för att ge en rättvis bild av uppkomsten. De olika lasterna som är aktuella för dimensioneringen samt de olika lastkombinationerna kommer att presenteras nedan samt vissa schablonvärden för materialens egentyngder.

#### 10.1.1 Egentyngd

Den last som ett byggnadsmaterial ger upphov till kallas för egenvikt och ska enligt Eurokod SS-EN 1991-1-1 betraktas som en permanent bunden last och betecknas således normalt med g eller G. Lasten varierar i det här fallet inte med tiden, därmed kan ett konstant karakteristiskt värde användas. Egentyngden för samtliga delar av konstruktionen bör i lastkombinationer betraktas som en last.

Karakteristiska värden för egentyngden redovisas som tunghet [ $\text{kN/m}^3$ ] och för de flesta material finns redan värden tabellerade men för vissa material måste tungheten bestämmas. I egentyngden räknas även installationer och icke bärande delar som skyddsräcken och ytbeläggningar. Värden för de material som ingår i bron presenteras i tabell 19 nedan.

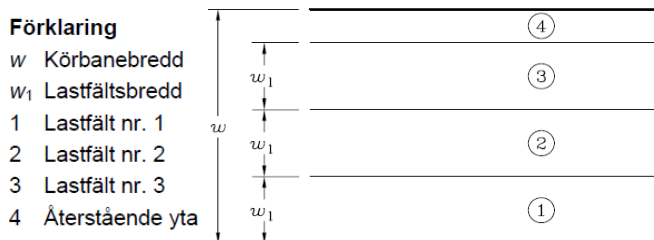
Tabell 19: Materialparametrar för beräkning av egentyngd<sup>7</sup>

Material	Tunghet
Betong med normal ballast	24,0 [ $\text{kN/m}^3$ ]
Betong med armering	25,0 [ $\text{kN/m}^3$ ]
Stål	77,0 [ $\text{kN/m}^3$ ]
Gjutasfalt och asfaltbetong	24,0-25,0 [ $\text{kN/m}^3$ ]
Räcken	0,5 [ $\text{kN/m}$ ]

<sup>7</sup> Sören Lindgren, föreläsning 2015-03-24

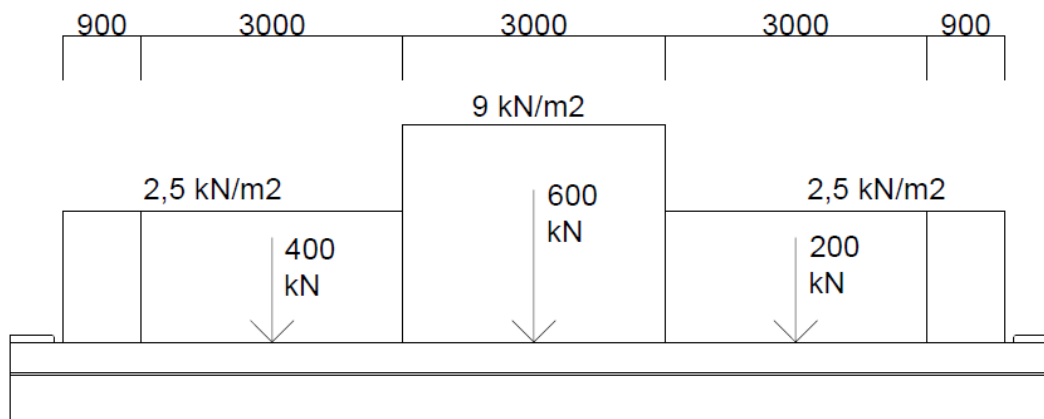
## 10.1.2 Trafiklast

Utöver egenvikten kommer bron att påverkas av en trafiklast från den trafik som kör på bron under dess livstid. Trafiken kommer att ge upphov till både horisontella och vertikala laster på bron och hur dessa laster ska modelleras beskrivs i SS-EN 1991-2, se figur 14. Då det är variabla laster kan de placeras på olika sätt för att få fram de lastfall som ger de största inre krafterna. Riktlinjer för hur lasterna kan placeras finns även det i Eurokoden och beskrivs mer i detalj nedan.



Figur 14: Plan över lastfält i lastmodell 1 (LM1)

Den första lastmodellen som är aktuell benämns lämpligt nog som lastmodell 1 (LM1) och används för broar med en längd på upp till 200 meter. De karakteristiska värden som används representerar en återkomsttid på 1000 år och representerar huvudvägarna i Europa. För att ge rättvisande värden för den aktuella vägen används anpassningsfaktorer  $\alpha$ . Bron delas upp i lastfält om tre meters bredd vilket för den aktuella bron ger tre stycken körfält då bronns totala bredd är 10,8 meter och hela bredden dimensioneras för vägtrafik. Resterande del av vägbanan ges en last som beskrivs närmre nedan. För ett exempel på hur fördelningen kan se ut se figur 15. Lasterna på varje del av banan varierar utifrån numreringen på lastfältet och fälten ska placeras så att värsta fallet studeras. Detta beskrivs mer ingående under varje konstruktionsdel som dimensioneras.



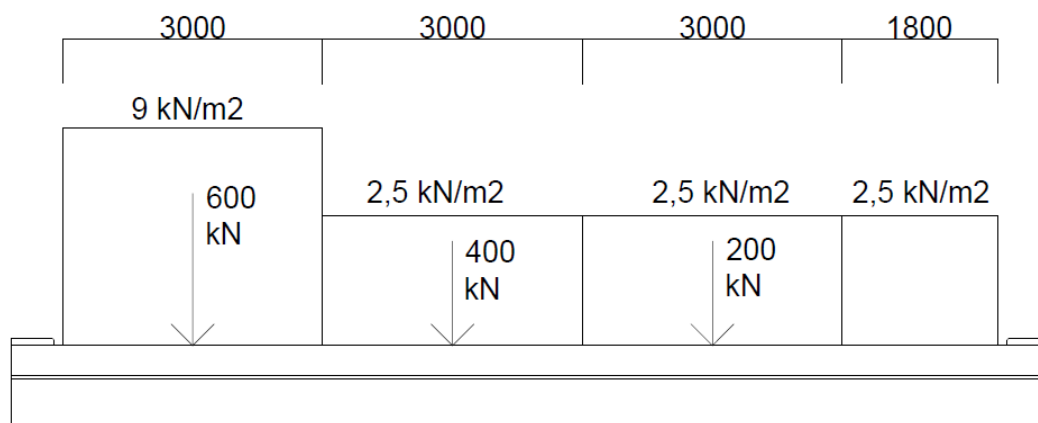
Figur 15: Lastfall för maxmoment, hänvisas som i fortsättningen som lastfall 1

Lastmodellen består av två delar, en utbredd trafiklast  $q_{ik}$  som täcker hela lastfältet samt boggilaster  $Q_{ik}$  där varje lastfält utsätts för två boggilaster. Vid spännvidder över 10 meter kan boggilasterna summeras till en punktlast, vilket tillämpas i denna dimensionering. Lasterna ska även ges en anpassningsfaktor. Karakteristiska värden och anpassningsfaktor för varje lastfall kan ses i tabell 20.

Tabell 20: Karakteristiska värden på trafiklast enligt Eurokod

Lastfält	$q_{ik}$ [kn/m <sup>2</sup> ]	$Q_{ik}$ [kN]	$\alpha_q$	$\alpha_Q$
Lastfält 1	9	600	0,8	0,9
Lastfält 2	2,5	400	1,0	0,9
Lastfält 3	2,5	200	1,0	0
Övrig yta	2,5	0	1,0	0

I huvudsak kommer två olika placeringar av lastfält att studeras, det som visas i figur 15 vilket ger maximalt moment. Den andra placeringen är den som ses i figur 16 ger största reaktions- och tvärkraft. Denna kan även vara spegelvänd med lastfält 1 till höger vilket ger samma storlek på laster.



Figur 16: Lastfall för maxtvärkraft, hänvisas i fortsättningen som lastfall 2

Utöver denna finns tre ytterligare lastmodeller, 2 till 4, som ger andra lastbilder. Den andra lastmodellen Lastmodell 2 består av en enstaka axellast och kan vara dimensionerande för spännvidder mellan 3 och 7 meter och är därför inte aktuell. Lastmodell 3 studerar specialfordon och anses inte nödvändig att studera vid en preliminär dimensionering. Slutligen används Lastmodell 4 endast vid tillfälliga dimensioneringssituationer vilket inte är aktuellt.

Utöver de vertikala laster som har nämnts ovan, utsätts bron för horisontella laster från till exempel inbromsning och acceleration. Denna last beräknas utifrån den maximala vertikala lasten i lastfält 1. Övriga horisontella krafter kommer inte att beaktas. De horisontella krafterna och de vertikala krafterna i de olika lastmodellerna kombineras i lastgrupper för dimensionering, vilket beskrivs i tabell 4.4a i Eurokoden. Den lastgrupp som är aktuell är gr1a där de karakteristiska värdena på vertikal last från LM1 används.

Slutligen kan påkörningskrafter beaktas för de konstruktionsdelar där det kan anses vara aktuellt, till exempel vid dimensionering av räcken och kantbalk.

### 10.1.3 Lastkombinationer

I SS-EN 1990 beskrivs olika sätt att kombinera lasterna för att få en dimensionerande last. Beroende på vilken typ av tillstånd som ska dimensioneras används olika faktorer som beskrivs i tabell 21. För dimensioneringen kommer fyra olika kombinationer att användas som ser ut enligt ekvationerna nedan. De två första används för brottgränstillstånd, den tredje benämns som den frekventa kombinationen och används för nedböjningsberäkningar och slutligen den kvasi-permanenta kombinationen som används vid beräkning av sprickbredd.

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990 ekv 6.10a})$$

$$\sum \varepsilon_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990 ekv 6.10b})$$

$$\sum G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990 ekv 6.15b})$$

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990 ekv 6.16b})$$

För samtliga väljs en huvudlast som anses vara den som ger störst bidrag och är det oklart vilken denna är testas flera. I det aktuella fallet kommer trafiklasten att räknas som huvudlast. Skillnaden mellan ekvation 6.10a och 6.10b är att i den senare läggs en minskande faktor på egentyngheten och huvudlasten förstoras endast med partialkoefficient  $\gamma$ . Är egenvikten liten kommer 6.10b att vara dimensionerande men då bron byggs i tunga material kan det inte direkt sägas vilken som blir dimensionerande utan båda måste provas. Permanenta laster multipliceras med  $\gamma_G$  som är 1,35 och övriga laster med  $\gamma_Q$  som är 1,5. Nedan redovisas kombinationsfaktorer  $\psi$  för aktuella laster.

Tabell 21: Kombinationsfaktorer för trafiklaster enligt SS-EN 1990

Last	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Gr1 Boggilast	0,75	0,75	0
Gr1 utbredd last	0,4	0,4	0
Gr2	0	0	0

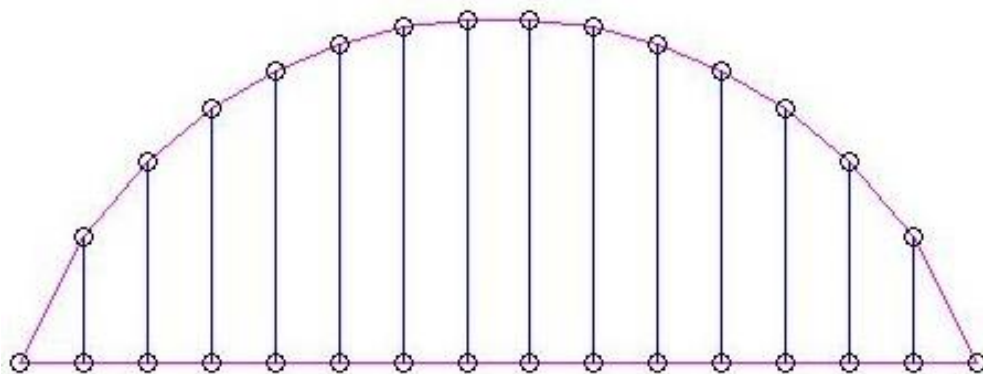
## 10.2 Dimensionering av globalt system

För att få en bild av kraftspelet i hela konstruktionen studeras först det globala systemet som är båge och dragband med mellanliggande stag. Bågen har en spännvidd på 75 meter och en pilhöjd på 27 meter, se figur 9 för principskiss. Inför dimensioneringen antogs dimensioner för bågen enligt följande: Höjd 1,3 meter, Bredd 0,6 meter och en tjocklek på 0,06 meter. För dragbandet antogs en HEA 800 profil.

### 10.2.1 Beräkningsmodell

För att dimensionera båge och dragband ställdes en CALFEM-modell upp enligt figur 17. Hängstagen mellan bågen och dragbandet är placerade var 5:e meter och vid varje hängstag sitter en tvärbalk i brobanan. Lasterna från brobanan förs ner som

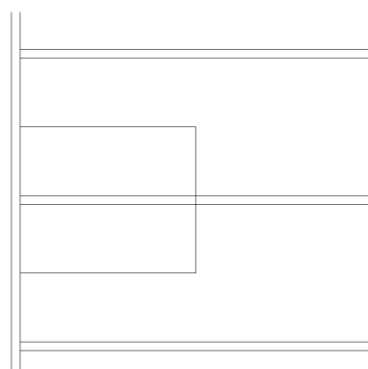
punktlaster på dragbandet via tvärbalkarna. Egentyngden från dragband och båge modelleras som utbredda laster på respektive element. Upplaget till vänster i figur 17 är låst i horisontell- och vertikalled medan det till höger endast är fast inspänt i vertikalled. Beräkningsmodellen är förenklad då bågelementen ses som raka balkelement mellan hängstagen, hängstagen ses i sin tur som stångelement och dragbandet som balkelement.



Figur 17: Beräkningsmodell i CALFEM

## 10.2.2 Dimensionerande laster

Vid beräkning antas att ena systemet av båge och dragband tar upp hälften av lasterna, se figur 18. Trafiklasterna består av en utbredd last och två punktlaster som kan placeras ut längs brobanan. En skiss över detta ses i figur 16 där lasten placeras så att största möjliga last påverkar ett av stagen. För att få fram de värsta lastfallen vid dimensionering av båge och dragband har olika lastkombinationer testats och de värsta kommer att redovisas här nedan. Vid beräkningen av laster har egentyngheten från de tvärgående stagen mellan bågarna försumrats. I brottgränstillstånd blir ekv 6.10b dimensionerande. För en fullständig framtagning av laster i bruks- och brottgränstillstånd se bilaga 6.

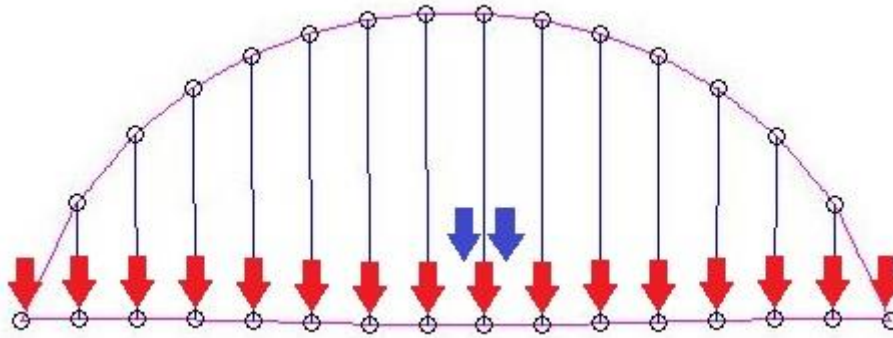


Figur 18: Lastyta för ett stag

## 10.2.3 Resultat

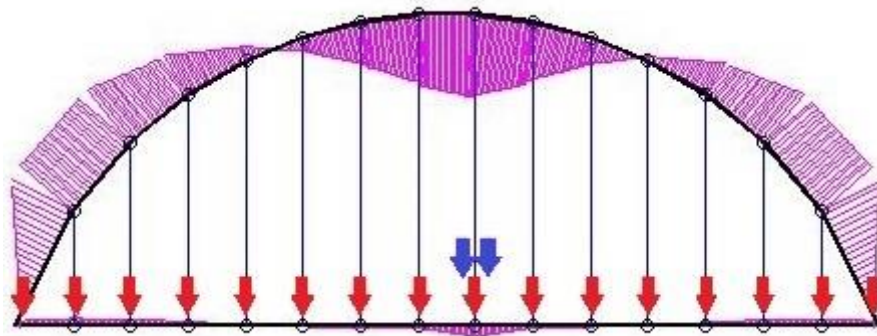
Där inget annat nämns är dimensionerande moment eller kraft beräknat i CALFEM, se bilaga 7. Kapaciteter för båge och dragband är beräknade enligt metoder hämtade från Bärande konstruktioner av Al-Emrani et al. För beräkning av kapaciteter och tillhörande referenser se bilaga 10.

Det som blev dimensionerande var nedböjningen då kravet på nedböjningen, spännvidd/400, var det svåraste att uppfylla. Den största nedböjningen sker då den utbredda lasten verkar på hela brobanan och de två punktlasterna samtidigt verkar på den ena av de två mittersta tvärbalkarna enligt figur 19. Nedböjningen i bruksgränstillstånd beräknades till 0,1852 meter i bilaga 7. Den maximalt tillåtna nedböjningen beräknades till 0,1875 meter.



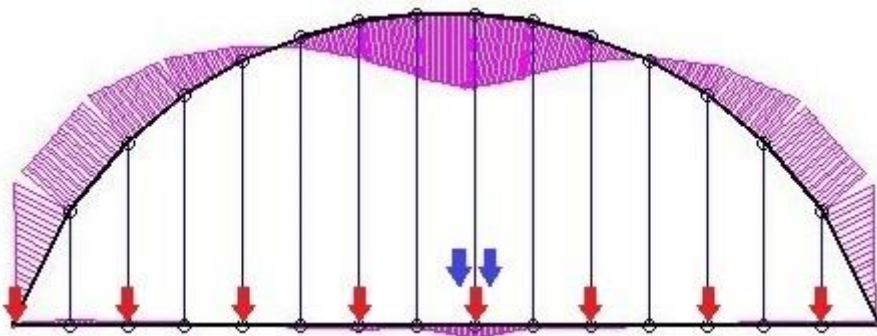
Figur 19: Maximal nedböjning för bron, där blå pilar är bogglaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

Det största momentet som bågen utsätts för är 12,4 MNm och då har bågen en utnyttjandegrad på 80 procent med avseende på moment. Detta sker för samma lastfall som då nedböjningen är störst, för momentdiagram se figur 20.



Figur 20: Maximalt moment som verkar på bågen med tillhörande lastfall, där blå pilar är bogglaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

För dragbandet är det största moment som det utsätts för 1,8 MNm och då har det en utnyttjandegrad på 71 procent. Det lastfall då störst moment uppstår i dragbandet är då den utbredda trafiklasten belastar varannan tvärbalk och punktlaster belastar den mittersta tvärbalken som också är belastad av den utbredda lasten, enligt figur 21.

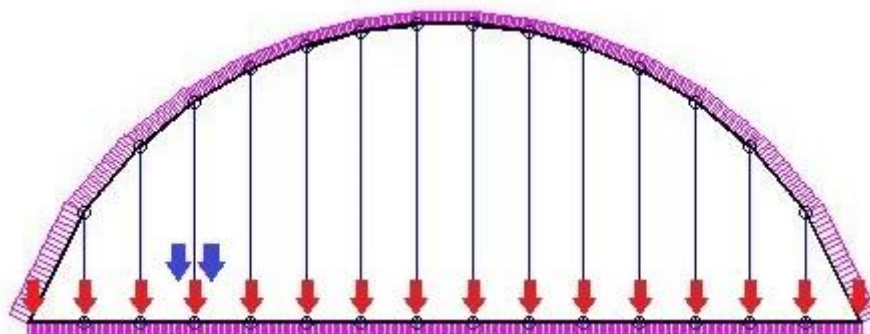


Figur 21: Största moment i dragband, där blå pilar är bogglaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

Normalkraften i bågen är minst i mitten och ökar utmed den och är som störst vid upplagen, den största normalkraften som uppstår är 6,9 MN i form av tryck. Bågens utnyttjandegrad med avseende på normalkraft är 17 procent. Störst normalkraft i

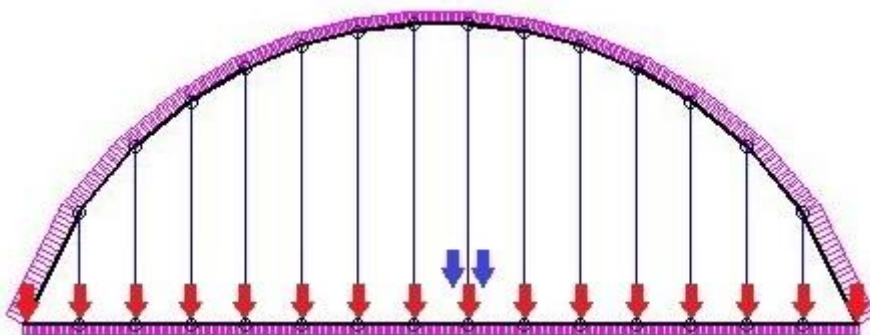


bågen uppstår då den utbredda trafiklasten verkar på varje tvärbalk och trafikpunktlasterna på samma tvärbalk enligt figur 22.



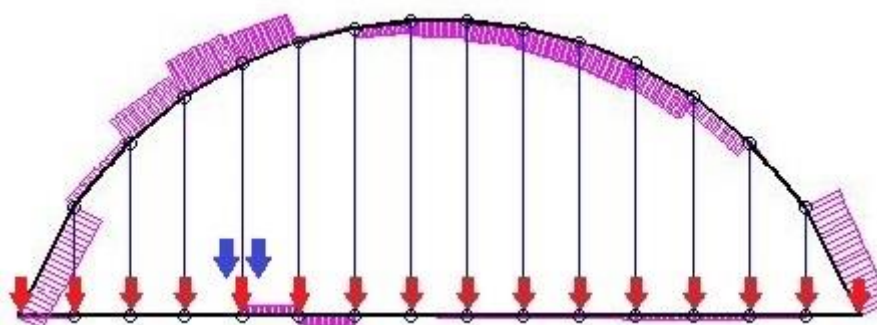
Figur 22: Normalkraft i bågen, där blå pilar är boggilaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

Dragbandet utsätts som mest för en dragande normalkraft på 3,8 MN och har då en utnyttjandegrad på 41 procent. Detta sker då den utbredda trafiklasten belastar varje tvärbalk och de två punktlasterna av trafiken belastar samma tvärbalk enligt figur 23.



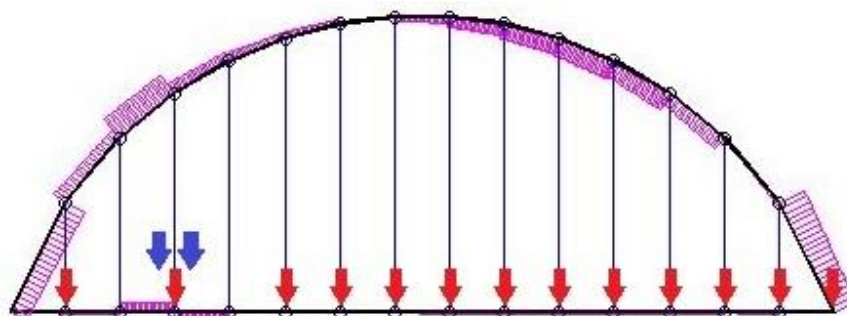
Figur 23: Normalkraft i dragbandet, där blå pilar är boggilaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

Den största tvärkraften som bågen utsätts för är 1,1 MN och den har då en utnyttjandegrad på 8 procent med avseende på tvärkraft. Det lastfall som ger den största tvärkraften är då den utbredda trafiklasten belastar varje tvärbalk samt att trafikpunktlasterna belastar samma tvärbalk enligt figur 24.



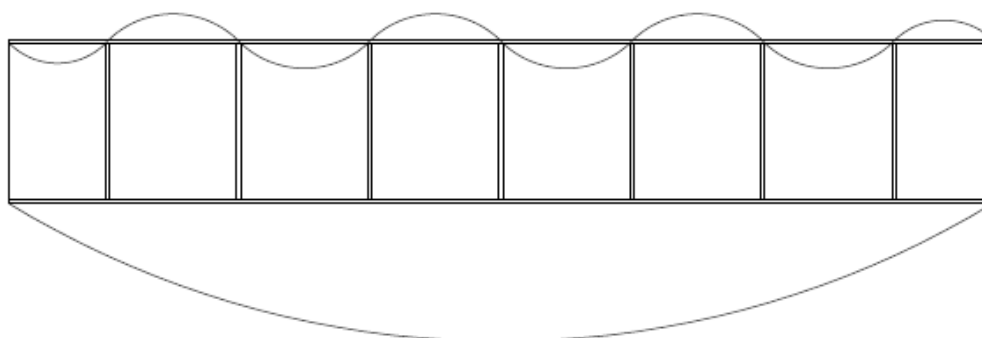
Figur 24: Största tvärkraft i bågen, där blå pilar är boggilaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

Störst tvärkraft i dragbandet är 0,4 MN och då utnyttjas 5 procent av dragbandets tvärkraftskapacitet. Detta uppstår då lastfallet är enligt figur 25.



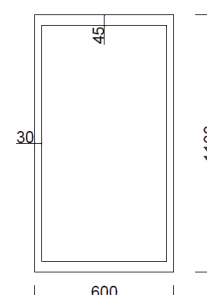
Figur 25: Största tvärkraft i dragbandet, där blå pilar är boggilaster och röda pilar är utbredd trafiklast.

Då bågen är tryckt riskerar den att knäcka, kontroll av knäckning gjordes på en 2D modell av bågen sedd ovanifrån. De olika knäckfall som kontrollerades var då hela bågen knäcker ut enligt Euler 4, då bågen knäcker mellan varje tvärbalk enligt Euler 2 och då bågen knäcker ut mellan upplaget och närmste tvärbalk enligt Euler 3, se figur 26. Beräkningar har gjorts på en förenklad modell där beräkningarna har beaktat en separat båge och inte de båda bågar i ett system. Dessa beräkningar, se bilaga 10, påvisar att bågen ej riskerar knäckning då den största normalkraft som bågen utsätts för är 6,9 MN och den lägsta knäcklasten, enligt Euler 4, är 16 MN.



Figur 26: Knäckfall för bågen i plan

De slutliga dimensionerna har itererats fram och bågens dimensioner blev enligt tabell 22 och figur 27. Dragbandet utgörs av en standard valsad profil HEA700. Stålkvalitén för både bågen och dragbandet behölls till S355.



Figur 27: Tvärsnitt av båge

Tabell 22: Slutliga dimensioner för bågen

	Höjd [mm]	Bredd [mm]	Livtjocklek [mm]	Flänstjocklek [mm]
<b>Bågen</b>	1100	600	30	45

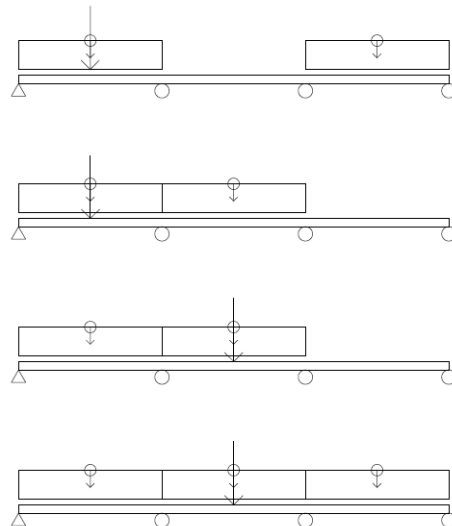
## 10.3 Dimensionering av brobana

För brobanan finns det ett antal grundförutsättningar. Tvärsnittshöjden på brobanan har bestämts till 300 millimeter med tanke på konstruktionshöjden dessutom undersöks en breddmeter av brobanan. Därefter har betong- och stålqualität valts till C30/37 respektive S355. Armeringen i brobanan har valts till B500B med en diameter på 20 millimeter dessutom har en bygeldiameter på 10 millimeter valts.

### 10.3.1 Beräkningsmodell och dimensionerande laster

Brobanan modelleras som en fritt upplagd balk, där tvärbalkarna ses som stöd, med den avvikelserna att endast tre fack kommer undersökas för att kunna ta fram det värsta fallet för brobana och varje fack är 5 meter. Sedan kommer endast en meterstrimla av brons bredd att undersökas och vinkeländringsmetoden är den metod som har valts som grund för att modellera brobanan.

Det finns fyra olika lastfall som är intressanta att studera för att kunna ta fram tvärkraft, maximalt fältmoment och maximalt stödmoment. Dock kommer nedböjning inte att undersökas då detta sker i den globala modellen och nedböjningen på ett 5 meters fack är vid en preliminär dimensionering irrelevant. Lastfallen innefattar brobanas egentyngd, en trafiklast och en punklast vilket representerar en boggilast. De olika lastfallen skiljer sig genom att trafiklasten och punklasten kan placeras olika i de fyra facken, se figur 28. Dessutom blir modellen mer representativ då punklasten kan positioneras längs med det tillhörande facket för att ta fram det värsta fallet. Denna modell kommer att användas för att ta fram de dimensionerande krafterna vid brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd för både kort- och långtid.



Figur 28: Lastfall vid dimensionering av brobana

När moment- och tvärkrafterna är framtagna kan kontroller utföras på tvärsnittet för att kontrollera om det håller i både bruks- och brottgränstillstånd. Kontrollerna kommer utföras utifrån Eurokod, SS-EN 1992-1-1, med visst undantag då det kan finnas särskilda avvikelser för en brokonstruktion och särskilda föreskrifter i den nationella bilagan.

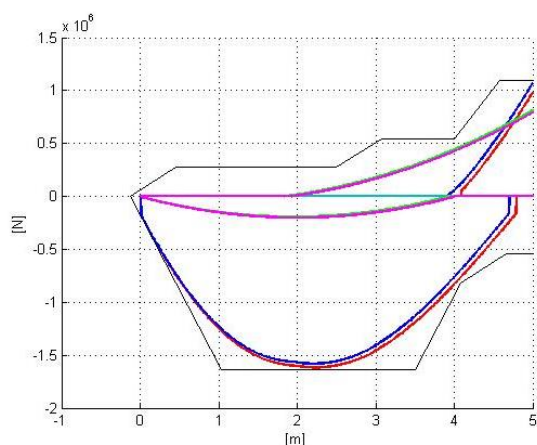
I brottgränstillstånd undersöks tvärsnittet om det håller för tvärkraften och de dimensionerande momenten. Där tvärkraften kontrolleras med avseende på livtryck- och skjuvglidbrott. I bilaga 10 finns utförliga beräkningar och resultatet är att skjuvglidbrott är dimensionerande därmed beräknas den minsta tvärkraftsarmeringen.

Därefter kontrolleras tvärsnittet i bruksgränstillståndet där effekter av både korttids- och långtidseffekter undersöks. Vid korttidseffekter kommer lastfallen att ha

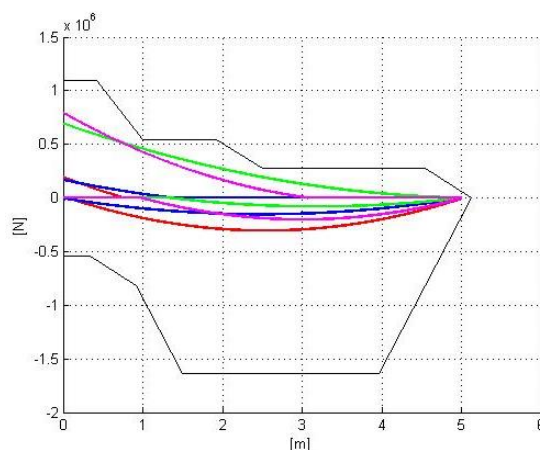
annorlunda partialkoefficienterna jämfört med brottgränstillstånd samma sak gäller för beräkningar av långtidseffekter. Det första som behöver kontrolleras är om tvärsnittet spricker, armeringens inverkan kommer att försummas, annars krävs analys i Stadium II.

I detta fall spricker tvärsnittet. Vid korttidseffekterna påverkar korttidsmomenten tvärsnittet och stålspänningarna och betongspänningen i den tryckta delen behöver kontrolleras. För långtidseffekterna påverkar krypning, krympning och långtidsmomenteten. Sedan måste spänningarna i betong och armering kontrolleras dessutom finns det en ytterligare kontroll, vilket är sprickbredden som ska vara mindre än 0,3 millimeter.

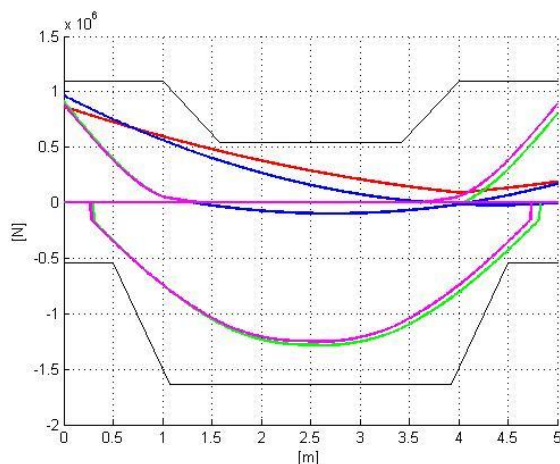
Dragkraftsbehovet är framtaget med ovanstående lastfall, beräkningarna har utförts i Matlab och är bifogade i bilaga 8. Vid beräkning av vidhäftningshållfasthet sattes alpha värdena till 1.0 för att beräkningarna skulle vara på den säkra sidan. För lastfallen kan dragkraftsbehovet i ytterfacken se ut både som i figur 29 och 30, vilket betyder att dragkraftskapaciteten i ytterfacken måste vara större än dragkraftsbehovet i både figur 29 och 30. För tänkta mittfack ser dragkraftsbehovet ut enligt figur 31, då lastfallet kan vara spegelvänt så kan även dragkraftsbehovet vara spegelvänt likt för ytterfacken. Detta medför att dragkraftskapaciteten måste dimensioneras för att vara högre än behovet i båda fallen.



Figur 30: Dragkraftsdiagram för ytterfack, där svart är dragkraftskapaciteten och övriga färger representerar dragkraftsbehovet för olika lastfall.



Figur 29: Dragkraftsdiagram för ytterfack, där svart är dragkraftskapaciteten och övriga färger representerar dragkraftsbehovet för olika lastfall.

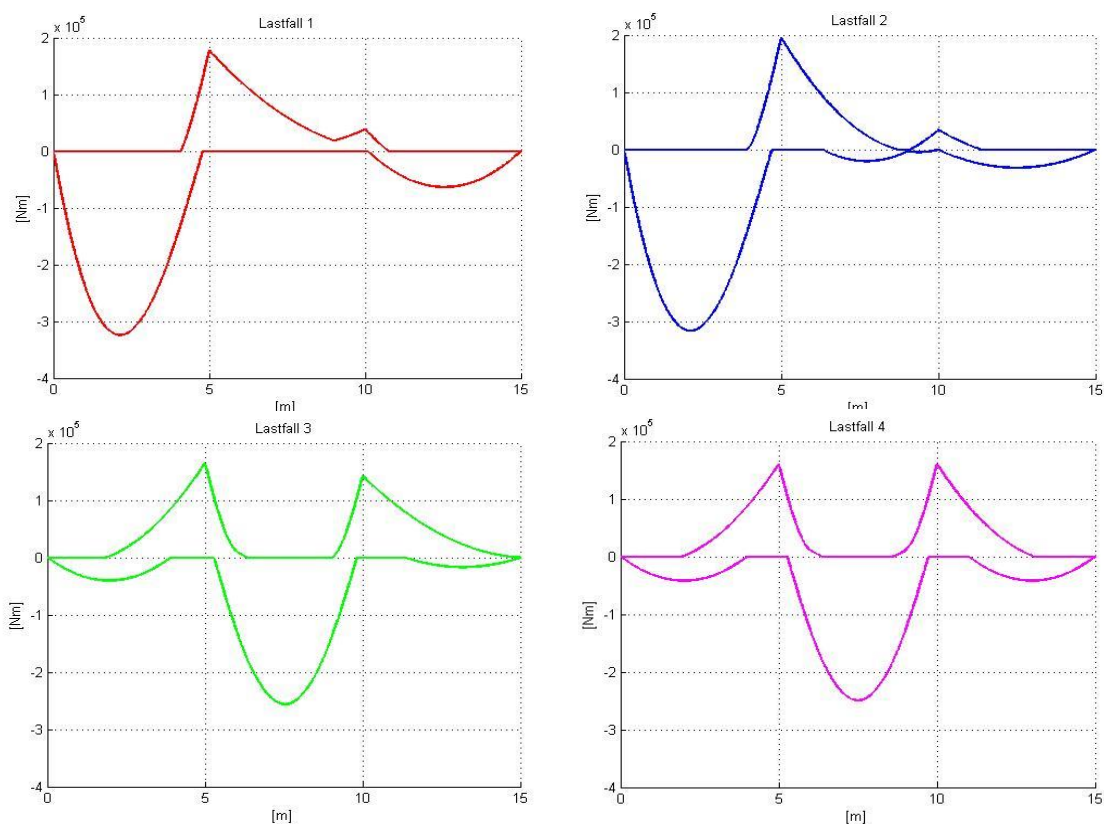


Figur 31: Dragkraftsdiagram för mittfack, där svart är dragkraftskapaciteten och övriga färger representerar dragkraftsbehovet för olika lastfall.

### 10.3.2 Resultat

Från modelleringen med vinkeländringsmetoden kunde maximalt fältmoment, stödmoment och tvärkraft bestämmas.

Det största fältmomentet blev 324,02 kNm och detta sker för det lastfall när trafiklasten är placerad i både ytterfacken och punklasten befinner sig i ett av de två ytterfacken, se figur 32. Utnyttjandegraden för brobanans momentkapacitet vid maximalt fältmoment blev 78,4 %. Det största stödmomentet inträffar vid ett lastfall då trafiklasten är placerad i mittenfacket och ett yttrefack och punklasten befinner sig i mitten facket, detta ger ett stödmoment på 195,32 kNm och utnyttjandegraden för brobanans momentkapacitet vid maximalt stödmoment blev 80,7 %. I figur 32 finns momentdiagrammet, som innehåller både maximalt fält- och stödmoment som kan uppnås för de tre olika lastfallen.



Figur 32: Momentdiagram för de fyra lastfallen

Tvärkraften blir som störst när trafiklasten är placerad över hela brobanan och punklasten är placerad i mittenfacket. Detta ger en maximal tvärkraft på 333,612 kN. Dessutom visade det sig att tvärkraften blir dimensionerande med hänsyn till skjuvglidbrott, som ger ett S-avstånd på 70 millimeter.

I både korttids- och långtidseffekter för bruksgränstillstånd klara tvärsnittet spänningarna och sprickbreddskravet på 0,3 millimeter.

Erforderlig förankringslängd beräknades till 0,12 meter över ett tänkt upplag i form av en tvärbalk med bredden 0,4 meter där mitten på balken sätts till startpunkt i längsriktning. Den maximala förankringslängden beräknades till 0,58 meter. För genomförlig redovisning av armeringsinläggningen se tabell 23-26 och för ritningar se bilaga 11.

### Armeringsinläggning från ytterkant i ytterfack:

Tabell 23: Underkantsarmering

<b>Antal stänger [st]</b>	6	12	6	4
<b>Placering [m]</b>	-0,12 till 0,46	0,46 till 4,08	4,08 till 4,66	4,66 till 5

Tabell 24: Överkantsarmering

<b>Antal stänger [st]</b>	2	4	8
<b>Placering [m]</b>	-0,12 till 2,5	2,5 till 4	4 till 5

### Armeringsinläggning i mittfack:

Tabell 25: Underkantsarmering

<b>Antal stänger [st]</b>	4	12	4
<b>Placering [m]</b>	0 till 0,5	0,5 till 4,5	4,5 till 5

Tabell 26: Överkantsarmering

<b>Antal stänger [st]</b>	8	4	8
<b>Placering [m]</b>	0 till 1,58	1,58 till 3,42	3,42 till 5

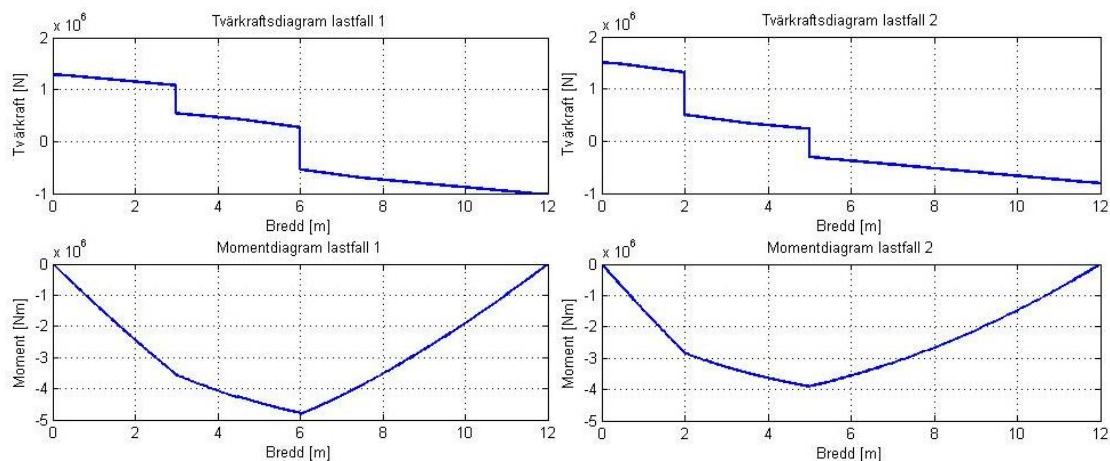
## 10.4 Dimensionering av tvärbalkar

För att bära upp och ansluta brobanan till bågen och dragbandet finns det 14 tvärbalkar längs bron. Dessa är placerade vid hängstagen och har cc-mått på 5 meter. Tvärbalkarna är utformade och dimensionerade som ett samverkanstvärsnitt mellan betongbrobanan och ståltvärbalkarna. Principiellt bör det neutrala lagret ligga i övergången mellan betongen och stålet, då betongen skall vara tryckt och stålet draget, detta för att minska risken för buckling i stålet och sprickor i betongen. För att samverkan ska uppnås behövs studs för att föra över krafter mellan materialen. Tvärbalken har en maximal tvärsnittshöjd på 600 millimeter för att möjliggöra infästning i dragbandet som är en HEA700 enligt ovan. Standardprofiler i stålqualität S355 väljs i förstahand, om inte de klarar kraven får en svetsad profil dimensioneras.



## 10.4.1 Beräkningsmodell och dimensionerande laster

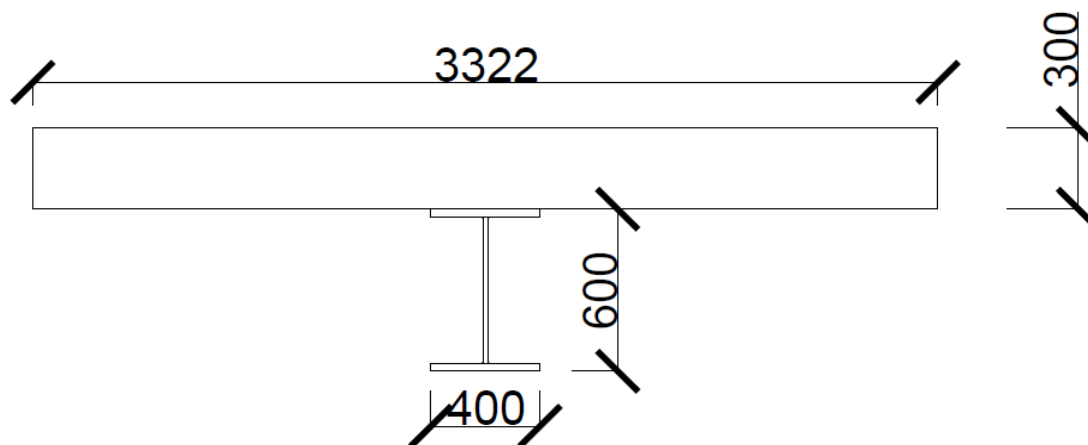
Tvärbalkarna modelleras som fritt upplagda balkar som spänner 12 meter. Balkarna är infästa i dragbandet med ett skruv- svetsförband med genomgående livavstyvningar. En tvärbalk tar hand om last från 5 meter av brobanan. Den last som verkar på tvärbalkarna är egentyingden från brobanan med räcken och trafiklast. Det är två lastfall som är intressanta, lastfall 1 som ger maximalt moment och lastfall 2 som ger maximal tvärkraft, se figur 15 respektive 16. Framtagning av snittkrafter görs i bilaga 9 och resultatet av detta i brottgränstillstånd visas i figur 33.



Figur 33: Uppre till vänster: tvärkraftsdiagram för lastfall 1. Nere till vänster: momentdiagram för lastfall 1. Uppre till höger: tvärkraftsdiagram för lastfall 2. Nere till höger: momentdiagram för lastfall 2.

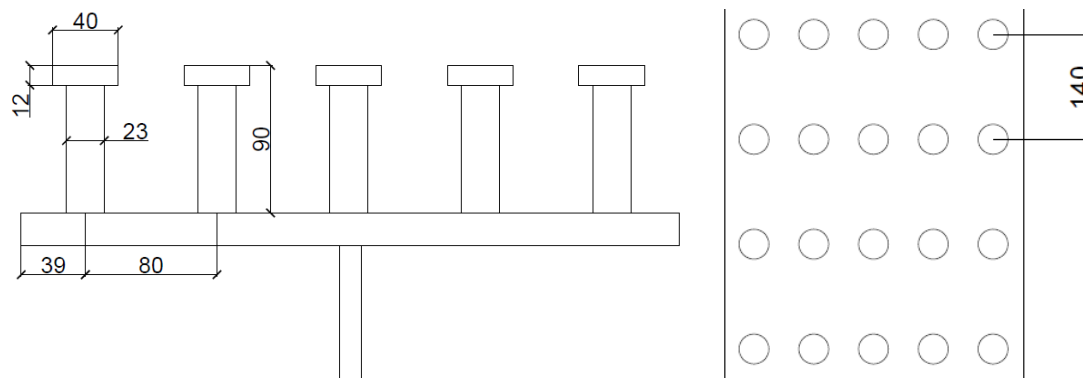
## 10.4.2 Resultat

Tvärsnittet blev en svetsad profil i tvärsnittsklass 1, där höjden på brobanan blev 300 millimeter och en medverkande flänsbredd på 3,322 meter, se figur 34. Tvärsnittet i fråga har en momentkapacitet på 5300 kNm och utnyttjandegraden blev 83 %.



Figur 34: Tvärsektion av slutligt tvärsnitt för tvärbalkarna

Kraften mellan betong och stål överförs med studs som är placerade enligt figur 35. Det krävs 36 studs per meter dock får endast 35 studs plats med minikrav utplacerade enligt figur 35. Studsutformningen krävde en ökning av betongklassen till C40/50.



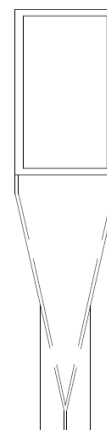
Figur 35: Vänster studs utformning i profil, höger studsutformning i plan

I bruksgränstillstånd kontrolleras spänningar och nedböjning för tvärsnittet ovan där nedböjningen blir 2,3 millimeter. För dimensionering av tvärbalkar se bilaga 10.

## 10.5 Dimensionering av detaljer

Eftersom det är en preliminär dimensionering kommer inte alla detaljer att beräknas men samtliga beskrivs för att ge en uppfattning om hur utförandet ska genomföras. Delarna av bågen och dragbandet som ska sammanfogas innan den placeras på plats kommer att utföras med stumsvets av ett material som är likvärdigt med stålet som bågen görs av.

Anslutningen mellan bågen och dragbandet beräknas inte men en principskiss syns i figur 36 där en lådsektion övergår till en I-profil på en sträcka av 700 millimeter. Lådsektionen svetsas på bågen och har en tjocklek på 20 millimeter vid innerkant. Vid övergången fasas flänsarna av till I-balkens bredd och livan går ihop till I-balkens liv.

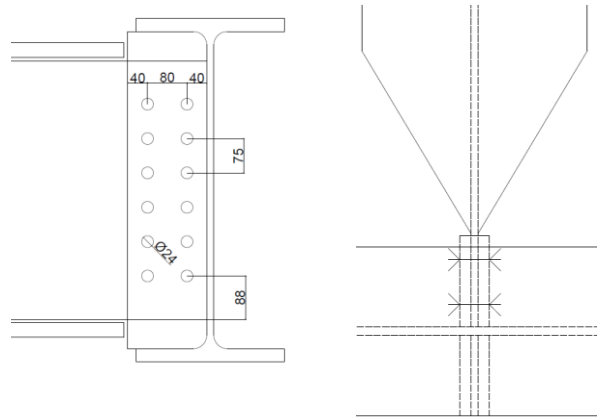


Figur 36: Anslutning mellan båge och dragband



### 10.5.1 Infästning av tvärbalk och dragband

Lasten från brobanan förs från brobanan till dragbandet via tvärbalken och de delarna har dimensionerats. Tvärbalken förbinds med dragbandet genom ett skruvförband med 12 stycken M24 skruvar i kvalitet 8.8 som har brottsspänning på 800 MPa, se figur 37. Då tvärbalken har fasats av i ytterkant kommer inte något moment att föras in i förbandet utan ett momentfritt upplag för tvärbalken skapas. Skruvförbandet behöver således endast dimensioneras för en skjuvkraft på 1502 kN som är samma som den största reaktionskraften på tvärbalken. För beräkningar se bilaga 9.



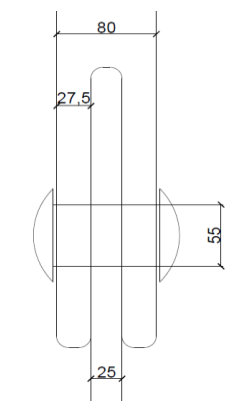
Figur 37: Vänster: skruvförband i profil.  
Höger: skruvförband i plan.

Beskrivningar och regler för dimensionering av förband finns i SS-EN 1993-1-8. Skruvförband behandlas i kapitel 3. Skruvarna går genom tvärbalkens liv och en livavstyvningsplåt med 13 millimeters tjocklek. Kraften som varje skruv ska bära blir 126 kN och den dimensionerande kapaciteten blir 141 kN vilket ger en utnyttjandegrad på 89 %. Tjockleken för hålkantstryck blir 26 millimeter. Den totala kapaciteten för hålkantstryck blir 6906 kN och ger en utnyttjandegrad på 18 %. Livplåtarna svetsas med stumsvets runt om till dragbandet.

Livplåten ska bära kraften in till livet i dragbandet och med 13 millimeters tjocklek och samma höjd som livet på dragbandet, 582 millimeter, ger det en kapacitet på 1551 kN med en utnyttjandegrad på 81 %. Livet på dragbandet har en tjocklek på 14,5 millimeter och har en tvärkraftskapacitet på 1730 kN vilket är tillräckligt för att kunna föra lasten upp till staget. För beräkningar se bilaga 10.

### 10.5.2 Infästning mellan dragband och stag

Infästningen dimensioneras för den maximala normalkraften på 1537 kN som erhålls i staget hämtat från den globala beräkningen, se bilaga 7. Staget fästs in till dragbandet med en bult som går genom tre plåtar. Mittenplåten går upp från dragbandet och är 25 millimeter tjock, de två omslutande plåtarna är 27,5 millimeter tjocka och går ner från staget, se figur 38. Bulten har en diameter på 55 millimeter och en skruvhållfasthetsklass på 8.8 vilket ger en kapacitet för skjuvning på 1900 kN och en utnyttjandegrad på 81 %. Kapaciteten för hålkantstryck blir 2151 kN och ger en utnyttjandegrad på 72 %. För beräkningar se bilaga 10.



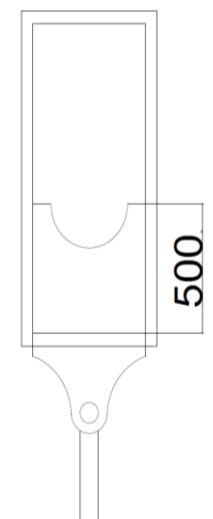
Figur 38: Genomsnitt av infästning till dragband

### 10.5.3 Stag

Staget tillverkas i samma material som bågen och dragbandet, S355. Dimensionerande normalkraft hämtas från CALFEM-modellen för bågen, se bilaga 7, och är på 1537 kN. Staget utformas som en cirkulär stång med en diameter på 80 millimeter och har då en normalkraftskapacitet på 1784 kN som beräknats enligt SS-EN 1991-1-1. Staget har en utnyttjandegrad på 86 %. För beräkningar se bilaga 10.

### 10.5.4 Infästning mellan stag och båge

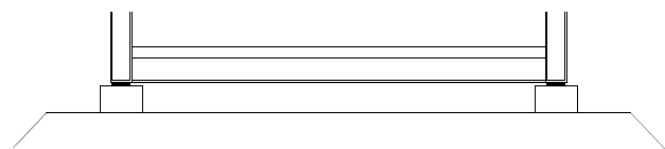
I överkant ska staget fästas in till bågen med hjälp av en livplåt med bredden 500 millimeter och tjocklek på 25 millimeter. Livplåten förbinds med staget med en likadan infästning som i nederkant och anses således redan vara dimensionerad. Plåten har en kapacitet på 4438 kN och har därmed tillräcklig bärförmåga. Plåten sträcker sig 500 millimeter upp i bågen och lämnar därmed utrymme för installationer och inspektioner, se figur 39. Plåten svetsas till bågens liv med kälsvets med ett a-mått på 4 millimeter, vilket är det minsta tillåtna måttet. Sammanlagt fås fyra stycken svetsar som hjälper till att bära lasten. Lasten ger en skjuvspänning parallell med svetsen vilket enligt beräkningsmodell hämtad från SS-EN 1993-1-8 kapitel 4 ger en spänning i svetsarna på 338 MPa. Maximal tillåten spänning i svetsar som motsvarar S355 är 472 MPa vilket ger en utnyttjandegrad i svetsen på 72 %.



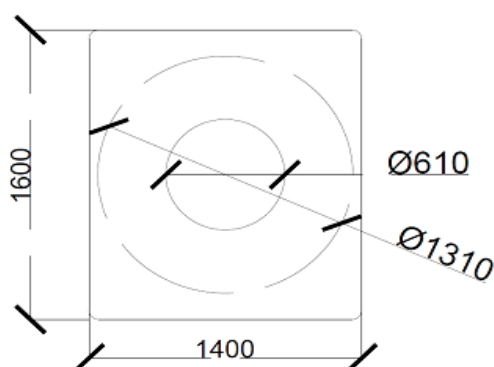
Figur 39:  
Genomsnittsskärning av  
infästning till båge

### 10.5.5 Landfästen, lager och övergångskonstruktioner

Den maximala reaktionskraften i upplag är 6457 kN och beräknas i bilaga 7. Den tekniska beskrivningen föreskriver topplager och lasten kräver att de lager som klarar en last på 7000 kN väljs. Det lager med den kapaciteten som har minst dimension är det allsidigt rörliga lagret som har en undre diameter på 610 millimeter (Maurer, 2015). Landfästena görs med dimensionerna 1600x1400 kvadratmillimeter och måste kontrolleras för lokalt tryck enligt SS-EN 1992-1-1. Lasten sprids ner i landfästet med en antagen spridning på 1:2 vilket kombinerat med landfästets höjd på 700 millimeter ger en nedre diameter på 1310 millimeter, se figur 40 och 41. Detta ger en kapacitet för tryck på 12550 kN och en utnyttjandegrad på 51 %.

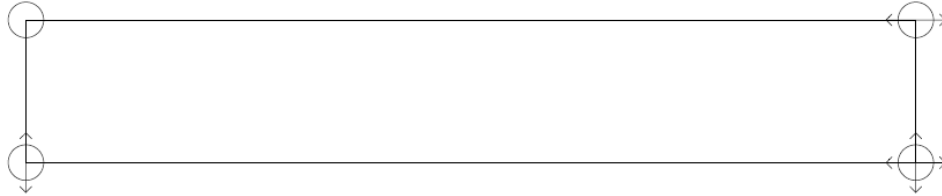


Figur 40: Sektion över landfästen



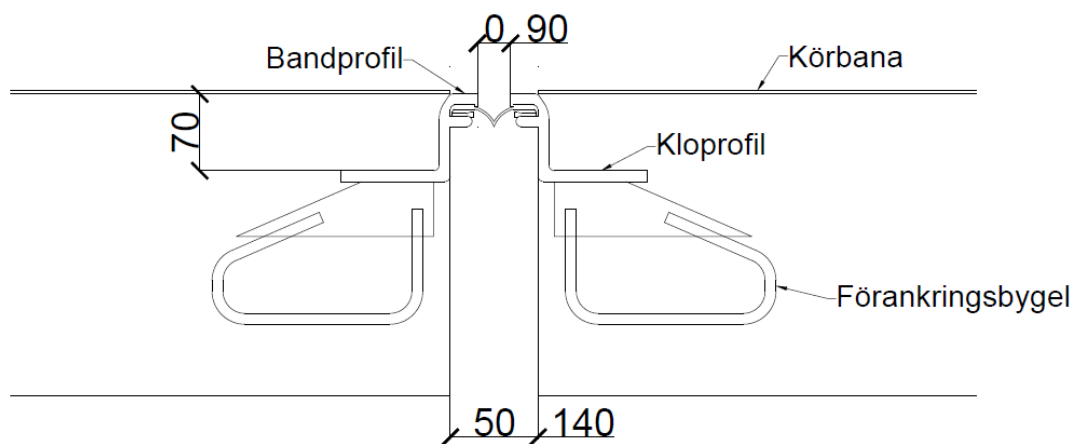
Figur 41: Principskiss för lastspridning i  
landfästet

Temperaturlaster undviks genom att bron ges möjlighet att utvidga sig i samtliga riktningar genom valet av lager som kan ses i figur 42. Ett fast lager håller bron på plats och sedan hålls en sida i längsled och en sida i tvärled fri att röra sig.



Figur 42: Utformning av lager med fria rörelseriktningar

Detta ställer krav på en tillräcklig övergångskonstruktion på den fria sidan i längsled eftersom den sammanlagda längdskillnaden blir 58 millimeter, som beräknas i bilaga 10. På den låsta sidan räcker det med ett avstånd på 10 millimeter som är kravet när bron är grundlagd på mantelburna pålar enligt TK Bro. Se figur 43 för principskiss av övergångskonstruktionen.



Figur 43: Principskiss för övergångskonstruktion med tillåten längdutvidgning på 90 mm

### 10.5.6 Kontroll av konstruktionshöjd

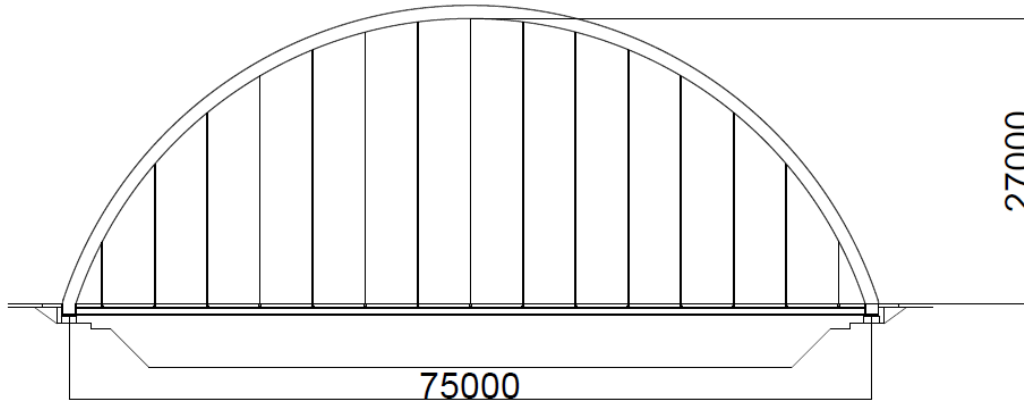
Den maximala höjden som konstruktionen kan ha är 1,106 meter och har beräknats i bilaga 4. I figur 44 kan den slutliga konstruktionen ses och den totala höjden blir 0,945 meter. För beräkningar av konstruktionshöjd se bilaga 10.



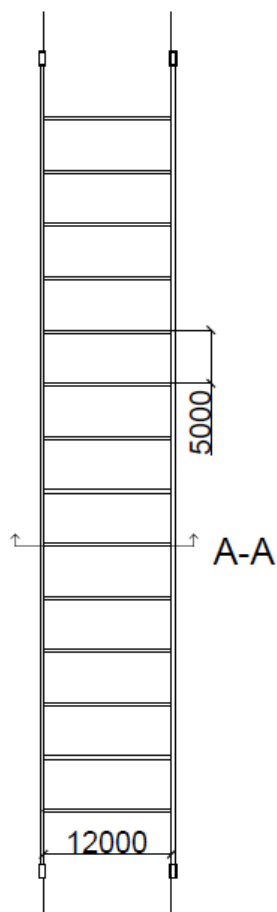
Figur 44: Sektion av bärverket med dragband, tvärbalk och betongbrobana.

# 11 Slutgiltigt brokoncept

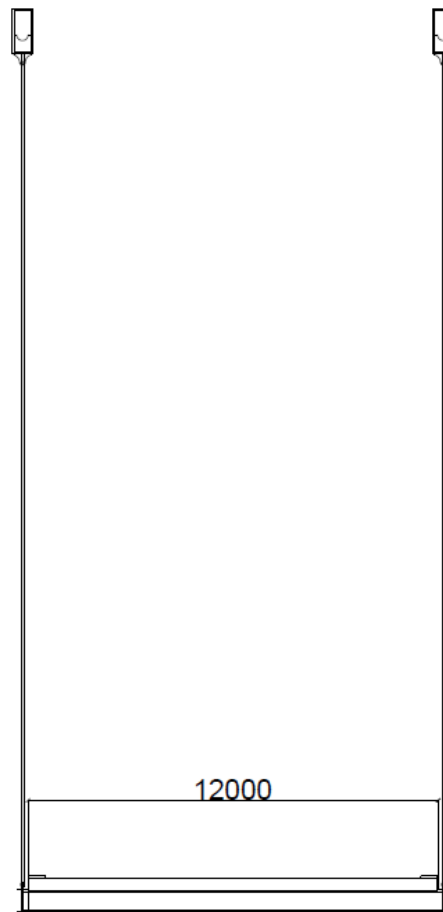
Med slutgiltiga dimensioner blir bågbron utformad enligt figur 45, 46 och 47.



Figur 45: Elevation för slutligt brokoncept



Figur 47: Plan för slutligt brokoncept



Figur 46: Sektion A-A för slutligt brokoncept

## 11.1 Estetisk utformning av stålbågbron

Bågbrons utseende kommer vara en klassisk båge, där två bågar spänner över väg 40, med en underliggande brobanna. För att skapa ett landmärke för Ulricehamn kommer valet av kulör, placering av hängstag och ljussättning ha en betydande avgörelse för att kunna uppnå målet att bli ett landmärke. Möjligheterna för ljussättning som ger bron karaktär är goda då särdragen med bågen och hängstagen skapar friheten att ge åskådare ett iögonfallande skuggspel. Ett förslag är att placera belysning i bågen som riktats uppåt sådant att ljuset följer bågens form eller använda uppåtriktade LED-lampor på brobanan (Arkus, 2009).

Ljussättningen av bron sker med reglering av väg- och gatuutformning (Trafikverket, 2014). Hänsyn ska tas till underliggande väg och eventuella visuella störningar ska undvikas. Sedan ska placeringen av ljuspunkter beaktas och att störande skuggor eller bländning inte uppkommer för trafikanter.

Hängstagen i detta fall har valts att placeras med samma cc-mått som för tvärbalkarna, de kommer inte att placeras i ett fackverksmönster utan vertikalt nedåt. Förslag på färgsättning på bron är att måla tvärbalkarna och bågen i samma färg, i en blå nyans.

## 11.2 Räcke och kantbalk

I den tekniska beskrivningen anges att broräcken ska uppfylla krav på funktion enligt svensk standard, dessa monteras på kantbalken. Räckets skall förses med topp- och navföljare utformade som rörprofil. Det skall även finnas ett skyddsnät, vilket placeras i broräcket. Utöver det skall det dessutom finnas en kapacitetsutjämnande övergång då vägräcke ansluter till broräcke. Detta för att klara krafter och deformationer vid påkörning.

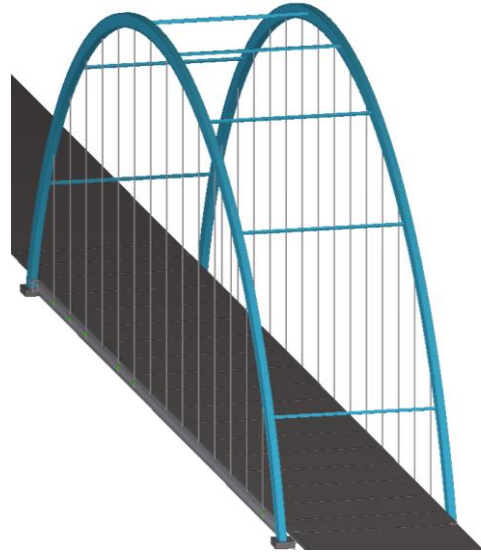
## 11.3 Avvattning och brobana

Brobaneplattan består av betong och utformas med ett tvärfall som möjliggör avvattning av beläggningen i varje punkt (Trafikverket, 2011). Vattenansamling på vägbanan kommer att förhindras av att bron har en vertikalradie på 1800 meter samt att beläggningen kommer ha ett tvärfall. Vattnet tas sedan upp av ytavloppen som placeras med 0,2 meters avstånd från brobanans kant. Avloppen kommer vara försedda med galler och rören till ytavloppen dras under brobanan och anslutas till stuprör.

## 11.4 Hantering av horisontella laster

I beräkningarna har endast vertikala laster använts men det kommer även uppstå horisontella laster i bron på grund av till exempel vind, bromskrafter och temperaturutvidgningar. Konstruktionen måste kunna ta om hand om dessa på ett bra sätt. Nedan beskrivs dessa olika krafter kortfattat.

Vindlasten kommer påverka både bågen och själva brobanan och få konstruktionen att böja ut. Att brobanan ska klara dessa laster anses troligt då den är förhållandevis slank och längden mellan stagen är 5 meter. Detta kommer göra att de krafter som uppstår är försumbara jämfört med egentygnd och trafiklast. En möjlig risk för brott är i dragbandet där en HEA-balk är betydligt starkare i dess styva riktning än i dess veka som vinden angriper. Balken är dessutom mer än dubbelt så hög som brobanan och fångar således upp mer vindlast. Vid en noggrannare dimensionering måste denna effekt kontrolleras. Bågen är den svaga punkten i bron med hänseende på vindlast, därför förbinds dessa med tvärgående stag som ökar konstruktionens styvhet så att bågar stagar upp varandra. Dessa avstyvningar utförs med KKR-rör och en preliminär dimension KKR200x10 väljs. De placeras med ett avstånd på 10 meter där den första placeras på 7,5 meters avstånd från landfästet, mellan första och andra hängstaget, se figur 48. Den fria höjden för brobanan klarar sig då den lägsta balken placeras på en höjd av 13,2 meter, beräknad i bilaga 10.



Figur 48: 3D-vy över bron där stagen är utplacerade

Horisontella krafter kommer att uppstå i bron när fordon accelererar respektive bromsar. Kraften går ner i brobanan och sedan vidare till tvärbalkarna genom studsförbindningen. Med förutsatt samverkan mellan tvärbalkar och betongen antas det finnas tillräcklig kapacitet i tvärsnittet för att ta hand om lasten. Utan samverkan ökar risken då de svetsade tvärbalkarna är svagare i den veka riktningen. Lasten kommer slutligen tas upp i dragbandet vars primära funktion är att ta krafter i tryck och drag. Där finns en svag punkt där infästningen är utformad för att ta vertikala laster primärt. Därför är det viktigt att livavstyvningarna svetsas till flänsen så att kraften kan föras in där och inte endast i livet då livavstyvningarna riskerar att gå sönder. Skruvarna kan ta större last i drag än i skjuvning vilket medför att de inte riskerar brott.

## 12 Diskussion

I en konceptutveckling och preliminärdimensionering av detta slag utförs en hel del antaganden, förenklingar och val. Dessa påverkar slutresultatet. I följande kapitel diskuteras arbetssättet riktighet och rimligheten kring de resultat vi har fått.

### 12.1 Diskussion kring konceptutveckling

Konceptframtagningen utgår från en föreläsning om konceptuell design av Björn Engström, där gruppen fick ett tillvägagångssätt för att angripa öppna problem. Då projektet är gruppens första öppna problem och ingångskunskapen om broprojektering var låg har konceptframtagningen varit mindre tidseffektiv än i näringslivet. Processen är iterativ eftersom vi har försökt att vara öppna för nya idéer och förbättringar. Detta har inneburit att vi har varit tvungna att omvärdera tidiga idéer och beslut, vilket har gjort att alla slutliga beslut inte har tagits gällande bland annat detaljutformning under konceptutvecklingen. Hade en annan metod valts eller om gruppen hade varit mer erfaren kunde resultatet varit annorlunda.

Betygsättning och viktning har projektgruppens medlemmar gjort enligt vår ingenjörsmässiga uppfattning. För de kriterier som går att underbygga med fakta har dessa använts i utvärderingen. Vi har försökt att utvärdera relevanta och utslagsgivande kriterier. Om andra kriterium valts eller viktningen gjorts på ett annat sätt hade det kunnat bli ett annat utfall från utvärderingen.

I första utvärderingen av miljö och produktionskostnad används schablonkostnader och schablonutsläpp per ton. Detta speglar inte verkligheten i sin helhet då materialen har olika åtgång för att nå upp till samma hållfasthet. I en grov utvärdering tycker vi att det är bra riktvärde att gå efter men det ger lite missvisande värden då en stålbro kräver mindre mängd material.

I ett verkligt projekt hade ekonomin viktats betydligt högre än i vårt fall och då tror vi inte att bågbron skulle ha rekommenderats eftersom Trafikverkets budget sällan ger utrymme för en dyrare konstruktion än nödvändigt. I ett sådant scenario hade troligtvis de mer kostnadseffektiva balkbroarna rekommenderats.

Då inga geotekniska beräkningar utförts kan det ha påverkat vilka alternativ som ansågs vara möjliga för platsen. Hade dessa beräkningar utförts kunde de ha visat att fler brotyper var möjliga än vad vi antog, alternativt att någon av de brotyper vi valt inte hade varit möjlig att bygga.

I samråd med Magnus Bäckström har gruppen valt att utgå från den tekniska beskrivningens krav på fri höjd istället för TK Bro:s rekommendation för lätta konstruktioner. Att den tekniska beskrivningen har det lägre kravet beror på att den är skriven med utgångspunkten att en betongkonstruktion ska produceras. Konsekvensen av detta är att fler konstruktionstyper blir möjliga.



## 12.2 Diskussion kring preliminärdimensionering

Förenklingen om brons krökning både i vertikal- och horisontalled gör beräkningarna lättare. Vertikalkurvan påverkar brobanan positivt då banan delvis kan utnyttja bågverkan. Horisontalkurvan ger upphov till centrifugalkrafter från trafiken och dessa behandlas inte i dimensioneringen och kan orsaka att bågen knäcker ut i sidled.

### 12.2.1 Lasthantering och beräkningsmodell

Eftersom vi uteslutande har räknat på tvådimensionella fall har lasthanteringen blivit avgörande för våra lastmodellens riktighet. Förenklingar av utbredda laster till linjelaster har gjorts för att kunna få fram maximala inre krafter och reaktionskrafter. Detta är särskilt tydligt i den globala modellen av bron där utbredda laster omvandlas till punktlaster, vilket vi anser vara en bra modell eftersom lasten kommer in i dragbandet vid infästningar av tvärbalken. Nackdelen är att det begränsar möjligheten att sprida de variabla lasterna vilket gör att de krafter som vi fått fram eventuellt inte är de största. Vi anser dock denna modell tillräckligt noggrann för den dimensionering som är aktuell.

### 12.2.2 Båge och dragband

Utnyttjandegraderna kan anses vara låga och därmed att konstruktionen inte är optimerad. Då den dimensionerande nedböjningen kräver vissa dimensioner för att uppfyllas resulterar det i att framförallt tvär- och normalkraftskapaciteten för både båge och dragband blir betydligt högre än dimensionerande tvär- och normalkraft. Alltså är den dimensionerande parametern nedböjning.

Vid kontroll av knäckning kontrollerades endast knäckning på en separat båge, då bågarna sitter ihop med tvärgående balkar är detta inte helt korrekt. Men då systemet av bågar och tvärgående balkar anses vara styvare än endast en enskild båge är beräkningarna på den säkra sidan. Eftersom beräkningarna påvisar att knäckning ej kommer att ske för en enskild båge riskerar systemet inte att knäcka.

Den största osäkerheten i beräkningarna är försummandet av vindlasterna vilka kommer att utöva en stor påverkan på bågen. Konstruktionen måste ha tillräcklig styvhet i tvärled för att kunna hantera den last som vinden ger. Hanteringen av vindlast har beskrivits principiellt men beräkningarna av dessa ansågs vara för komplexa och omfattande för det aktuella projektet.

### 12.2.3 Brobana

Vid modelleringen av brobanan studeras en meterstrimla av denna vilket ger en grov bild av hur denna kommer uppföra sig. Meterstrimlan har endast studerats i längsled, för en fullständig dimensionering bör även meterstrimlans kapacitet i tvärled bestämmas.

Vid modelleringen valdes endast tre fack att undersökas. Anledningen till att vi gjorde detta val beror på att vi skulle dimensionera för det värsta fallet. Skulle flera fack ha använts vid modelleringen hade utfallet blivit mer gynnsamt och inte det värsta fallet således ligger modellen på den säkra sidan. Att använda sig av

vinkeländringsmetoden vid modelleringen är en förenkling men en god approximation.

#### **12.2.4 Tvärbalkar**

Då vi har valt ett cc-mått mellan stagen på 5 meter utnyttjas inte hela brobanan i samverkanstvärsnittet, där den effektiva flänsbredden endast är 3,3 meter. Om hela brobanan hade utnyttjats effektivt skulle cc-måttet varit 3,3 meter men det skulle medföra fler stag och balkar fast med mindre dimensioner. Om det kortare cc-måttet hade valts skulle den tätare placeringen av stag medföra ett kompaktare utseende och motverkat målet att skapa en estetisk tilltalande bro.

Eftersom avståndet mellan tvärbalkarna är större än den effektiva flänsbredden kommer inte hela tvärsnittet att kunna utnyttja samverkan med tvärbalkarna. Detta har inte beräknats och kan vara en svag del av konstruktionen. En noggrannare undersökning kan motivera en minskning av cc-avståndet.

Antalet studs som får plats på tvärsnittet är mindre än det som krävs. Vid ett optimerat tvärsnitt krävs färre studs än i det vi har dimensionerat. Optimering innebär en minskning av egyptyngden vilket leder till att tvärkraften blir mindre som är dimensionerande för studsens. Därför ser inte vi detta som ett problem. Åtgärder för att minska antalet studs är att öka skaftdiametern på studsens samt öka stålklassen. Att öka skaftdiametern medför att färre får plats och stålqualiten bestäms av tvärsnittet.

Vid nedböjningsberäkningar har den utbredda trafiklasten översatts till en punktlast som verkar i mitten av tvärbalken. Detta eftersom det inte finns elementarfall som motsvarar det aktuella lastfallet. Förenklingen är på den säkra sidan då nedböjningen blir mindre med de utbredda trafiklasterna vid beräkning med elementarfall.

### **12.3 Källkritik**

Största delen av informationen är hämtad från Trafikverket, vilket vi ser som en opartisk och tillförlitlig källa. Detta gäller även utgivna böcker då det har blivit granskade innan publicering. Många av de källor som använts vid skrivande om material är utgivna av organisationer med intresse i de aktuella materialen som till exempel Svenskt trä och stålbyggnadsinstitutet. Därför kan vissa av dessa källor antas vara partiska och informationen har beaktats utifrån detta och vi har försökt bekräfta informationen från en annan mer opartisk källa.

## 13 Slutsats

I projektet har det visats att en stålbågbro väl uppfyller de mål som presenterades i inledningen. Att den ska vara estetiskt tilltalande, skapa en trafiksäker miljö, ha en effektiv produktion, en bro som är lätt att underhålla, och skapa ett landmärke för Ulricehamn. Preliminärdimensioneringen kontrollerar att konstruktionsmässiga krav och funktioner samt konstruktionshöjd uppfylls.

Då bron endast preliminärdimensionerats krävs det fler beräkningar för att föreslå ett komplett brokoncept för byggnation av bron. Till exempel behöver en kontroll av horisontella laster som vind- och bromslaster utföras för att säkerställa bronns funktion. De beräkningar som gjorts uppfyller de mål som projektet har satt ut i syfte och avgränsningar.

Sammanfattningsvis anser vi att det slutgiltiga brokonceptet är estetiskt tilltalande, samtidigt som de tekniska kraven uppfylls.

## 14 Referenser

Abelsson, B. , Båge P. , Westerlund L. (1998) *Träbroar – Ett alternativ till stål och betong*. Stockholm: Svenska kommunförbundet.

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

Arkitekternas forum för forskning och utveckling (Arkus) (2009) *Ljussättning av broar och tunnlar*, Stockholm: Arkitekternas forum för forskning och utveckling.

Bergkvist, P., Gustafsson, M. och Lipkin, Y. Å. (1996) *Träbroar*. Stockholm: Träinformation

Blockley, D. (2010) *Bridges: The Science and Art of the World's Most Inspiring Structures*. Oxford: Oxford University Press.

Brockenbrough, R. L., Merritt, F.S. (2014) *Structural steel designer's handbook*. [Elektronisk] Femte upplagan. McGraw-Hill, New York.

Burström, P-G. (2007) *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur AB

Hammervold, J. Kleppe, J (2013) Life Cycle Assessment of Bridges: Accomplishment and implementation, *Tekna*  
<https://www.tekna.no/ressurs/filer/sc2013/061%20Johanne%20Hammervold%20-%20Life%20Cycle%20Assessment%20of%20bridges.pdf> (2015-03-07)

Holmström, B., Örtendahl, P-A., (1994) *Bro 94: Brounderhåll*. Borlänge: Vägverket

Humphreys, M. F. (2003) The use of polymer composites in construction. I *2003 International Conference on Smart and Sustainable Built Environment*, 19-21 November, 2003, Brisbane.

Karoumi, R. , Lundh, L. , Sundquist, H. (2004) Betongbågen till Svinesundsbron – en teknisk utmaning för byggare, konstruktörer och ägare, *KTH*  
<http://web.byv.kth.se/svinesund/doc/betong2004.pdf> (2015-02-27)

Kendall, D (2013) Engineering properties, *NGCC*  
<http://www.ngcc.org.uk/Information/Introduction/EngineeringProperties.aspx> (2015-02-11)

Mats Björklund Produktion (2012) *Drift och underhåll av broar och tunnlar*. [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=XmGSLWD65nc> (2015-03-07)

Maurer (2015) Topflager, *Maurer*  
[http://www.maurer.eu/fileadmin/medien/05\\_downloads/Prospekte/DE/BSS/Alt/Prosp\\_MAUERER\\_Topflager\\_de.pdf](http://www.maurer.eu/fileadmin/medien/05_downloads/Prospekte/DE/BSS/Alt/Prosp_MAUERER_Topflager_de.pdf) (2015-05-10)

SSAB (2013) Nära kunden hela vägen. *Industrivärden*.  
[http://www.industrivarden.se/globalassets/csr-report-2014/ssab\\_har13\\_swe.pdf](http://www.industrivarden.se/globalassets/csr-report-2014/ssab_har13_swe.pdf) (2015-02-26)

Svensk betong (2015a) Utsläppen minskar, betong och koldioxid. *Betong & Miljö*.  
[http://www.svenskbetong.se/images/Faktablad\\_om\\_betong/SV\\_Betong\\_Prod\\_CO2.Blad.pdf](http://www.svenskbetong.se/images/Faktablad_om_betong/SV_Betong_Prod_CO2.Blad.pdf) (2015-02-26)

Svensk betong (2015b) Industrialisering och kvalitet, *Svensk betong*  
<http://www.svenskbetong.se/industrialisering-och-kvalitet.html> (2015-03-01)

Svensk byggtjänst (2015) Övergångskonstruktioner i Bro, *Byggtjänst*  
<http://ama.byggtjanst.se/visa-kod/anlaggning-13/dep.16/overgangskonstruktioner-i-bro> (2015-03-06)

Svenskt trä (2012a) Bågbroar, *Träguiden*  
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6999> (2015-02-11)

Svenskt trä (2012b) Träbroar – historisk återblick, *Träguiden*  
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6989> (2015-03-04)

Svenskt trä (2012c) Tillverkning , transport och montering, *TräGuiden*  
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7003>

Svenskt trä (2014) Trä är ett hållbart byggmaterial, *Svenskt trä*  
[http://www.svensktra.se/om\\_tra\\_1/tra-och-miljo\\_1/tra-ar-ett-hallbart-byggmaterial](http://www.svensktra.se/om_tra_1/tra-och-miljo_1/tra-ar-ett-hallbart-byggmaterial).  
(2015-02-26)

Trafikverket (2008) Kodförteckning och beskrivning av brotyper, *BaTMan*  
[https://batman.vv.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01\\_dokument%20batman/kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf](https://batman.vv.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01_dokument%20batman/kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf) (2015-02-10)

Trafikverket (2011) *TRVK Bro*, Trafikverket  
[http://www.trafikverket.se/PageFiles/88087/2011\\_085\\_trvk\\_bro\\_11.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/88087/2011_085_trvk_bro_11.pdf)

Trafikverket (2014). *Väg 40 ska byggas ut till motorväg*. Trafikverket  
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Vastra-Gotaland/Vag-40-mellan-Dallebo-och-Hester/Bakgrund/> (2015-03-07)

Trafikverket (2015) Definitioner och Begrepp - Brotyper, fasta broar, *BaTMan*  
[https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF\\_BrotyperFastaBroar.htm](https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF_BrotyperFastaBroar.htm) (2015-03-02)

Wan, B. (2014) 1 - Using fiber-reinforced polymer (FRP) composites in bridge construction and monitoring their performance: an overview, I *Advanced Composites in Bridge Construction and Repair*, Kim Y., ss. 3-29. Cambridge: Woodhead Publishing.

Vägverket (1994) Vägutformning 94 Del 5, *Trafikverket*  
[http://www.trafikverket.se/PageFiles/23455/del5\\_sektion\\_vu94.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/23455/del5_sektion_vu94.pdf) (2015-02-17)

Vägverket (1996) *Broprojektering - En handbok* [Elektronisk] Borlänge: Vägverket

Widman, J. (2004) Stålbyggande - Miljö. *Stålbyggnadsinstitutet*  
<http://stalbyggnadsinstitutet.se/uploads/source/files/Artiklar/Stalbyggande-miljo.pdf>  
(2015-02-09)

Åstedt, B. (2009) Bågbroar, *Stålbyggnadsinstitutet*  
<http://stalbyggnadsinstitutet.se/uploads/source/files/Artiklar/Bagbroar.pdf> (2015-02-13)

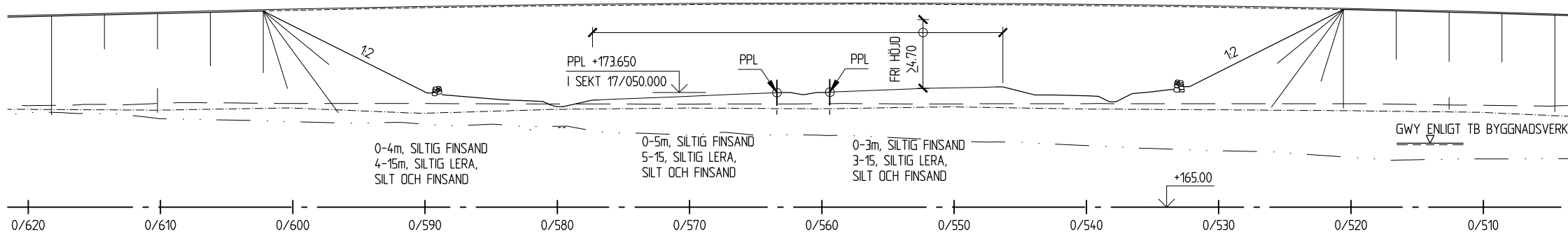
# Bilaga 1

---

Plan- & Sektionsritning över Ulricehamnsmotet

TOTAL BROLÄNGD 82,7 m I SL

- BEF MARKKONTUR 20 m Ö OM SL
- BEF MARKKONTUR I SL
- BEF MARKKONTUR 20 m V OM SL



**ALLMÄNNA ANVISNINGAR**

- HÖJDSYSTEM: RH 70
- KOORDINATSYSTEM: RT 90 5 gon V 0-1
- HÖJDFIX: ENLIGT MÄTPÄRM
- POLYGONPUNKTER: ENLIGT MÄTPÄRM
- NORMER, FÖRESKRIFTER OCH BESKRIVNINGAR: BRON SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT TK BRO (PUBL 2009:7) OCH TK GEO (PUBL 2009:46) SAMT TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK 3K110002 UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATERAD 2012-03-01

**FÖRKLARINGAR**

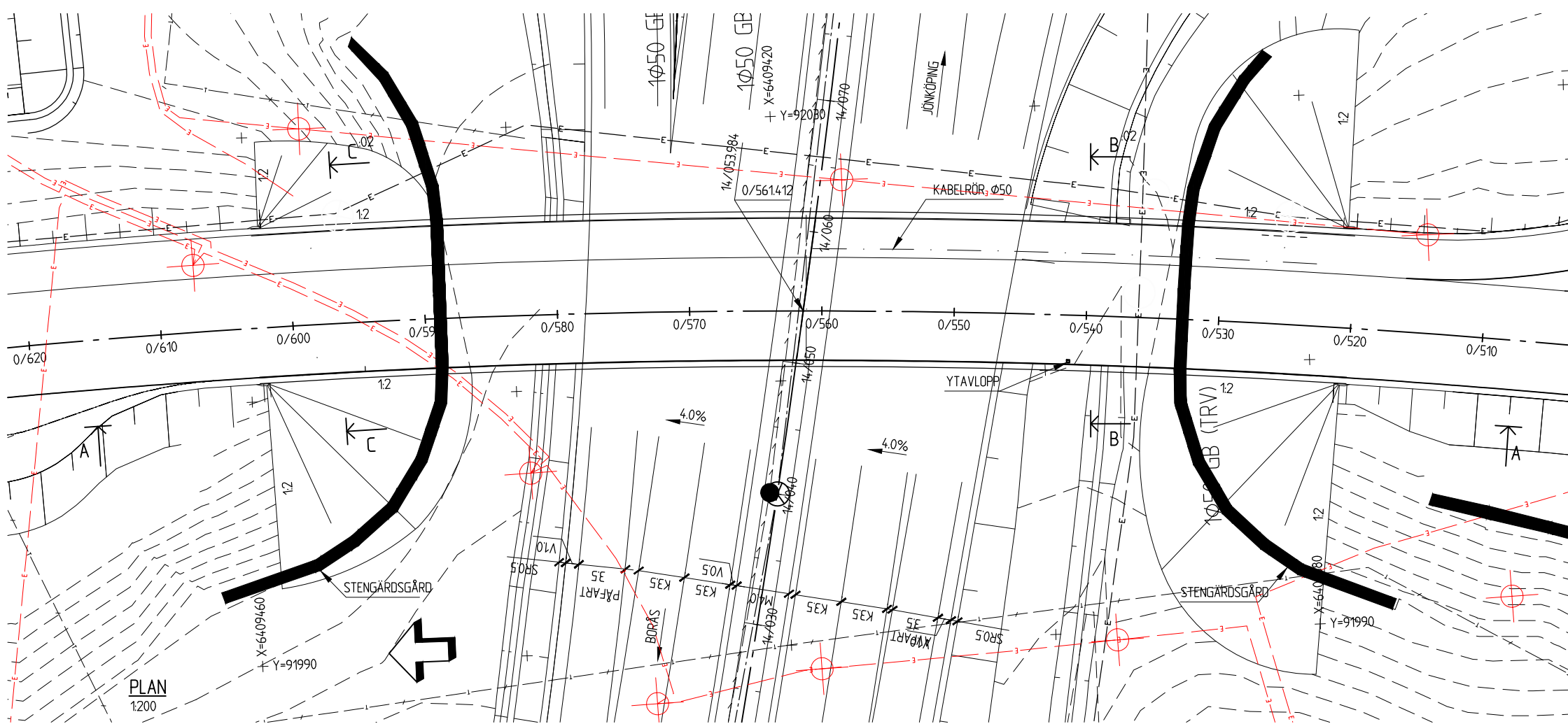
FL/RL AVSER FAST RESPEKTIVE RÖRLIGT LAGER

**HÄNVISNINGAR**

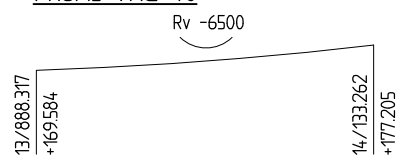
- LEDNINGAR ENLIGT RITNING 300W5101
- BANKPÅLNING ENLIGT RITNINGAR 346G1501-03
- YTSKIKT ENLIGT RITNING 300L1901
- BELYSNING ENLIGT RITNING 301E6301
- KANALISATION ENLIGT RITNING 300W6301

**TECKENFÖRKLARINGAR**

- E --- BEFINTLIG EL, MARKFÖRLAGD KABEL
- T --- BEFINTLIG TELE, MARKFÖRLAGD KABEL
- E --- OMLAGD EL OCH TELE, MARKFÖRLAGD KABEL
- NY --- NY DRÄNERINGSLEDNING
- NY --- NY DAGVATTENLEDNING
- ⊕ --- DAGVATTENBRUNN
- --- TILLSYNSBRUNN
- --- KABELBRUNN
- ⊕ --- BELYSNINGSFUNDAMENT



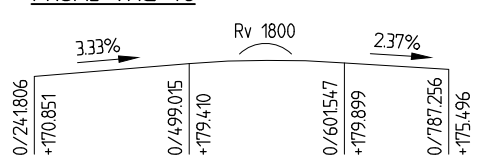
**PROFIL VÄG 40**



**PLANDATA VÄG 40**

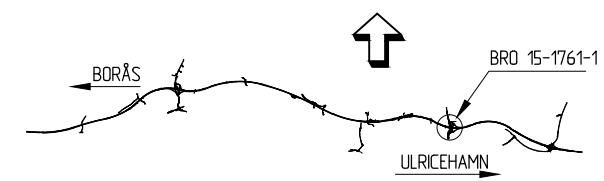
PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	13/781.540	64094.96.705	91755.033	
2	14/597.924	64094.51.244	92553.088	R=1150

**PROFIL VÄG 46**



**PLANDATA VÄG 46**

PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	0/385.689	64092.98.144	91999.113	
2	0/709.110	64096.18.160	91992.059	R=650



**SITUATIONSPLAN**

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	GÖDK	DATUM	VV DATUM	VV DIARENUMMER
BYGGHANDLING			FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG			
			<b>VÄG 40 BORÅS-ULRICEHAMN</b> <b>DELEN DÄLLEBO-HESTER</b> <b>ETAPP 3</b> BRÖ ÖVER ALLMÄN VÄG I ULRICEHAMN (ULRICEHAMNSMOTET)			
			KM 14/050 FÖRSLAGSRITNING			
UPPDRAGSANSVÄRIG A BERGHOLTZ			UPPDRAGSNUMMER 161 925			
KONSTR C KIVILÖO			GRANSK M BÄCKSTRÖM			
GÖTEBORG			2012-03-01			
PLAN, ELEVATION			KONSTRUKTIONSR 15-1761-1			
GÖTEBORG			RITNINGSR 85 43 60 30			
SKALA 1:100			FORMAT A1			
SKALA 1:100			ENLIGT FIGUR			
REV			346K2001			

Filnamn: \\cowi.net\Projects\A020000\A024770\_3\_Pdec\CAD\346K2001\_10m.dwg, Plotad: 2012-01-19 10:04 /snlo, Layout: 346K2001, Format: A1

## Bilaga 2

---

Teknisk beskrivning för Ulricehamnsmotet



**TRAFIKVERKET  
PROJEKT VÄG 40 DÅLLEBO-ULRICEHAMN  
DELEN DÅLLEBO-HESTER, ETAPP 3  
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN**

**TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK**

avseende

**15-1761-1**

**BRO ÖVER ALLMÄN VÄG I ULRICEHAMN (ULRICEHAMNSMOTET), KM 14/050**

**OBJEKTNR 85 43 60 30**

**CHAOSNR 3K110002**

Handlingen upprättad 2012-03-01

Handlingen reviderad:

## Innehåll

<b>OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA</b>	<b>Objektdata</b>	<b>4</b>
	Dokumentdata	4
<b>REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING</b>		<b>5</b>
	Dokumentutformning	5
	Avsnitt	5
	Rubriker enligt Dispositionen	5
	Typer av konstruktioner	5
	Kravhierarkier	6
	Förteckning över okodade underrubriker	6
<b>B. TRAFIK</b>		<b>7</b>
	B1. Vägtrafik	7
<b>C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER</b>		<b>8</b>
	C1. Befintlig mark och miljö	8
	C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden	8
	C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden	8
	C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden	9
	C2. Befintliga konstruktioner	9
	C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning	9
	C2. Befintliga konstruktioner/ Teleledning	9
<b>D. VÄGANLÄGGNING</b>		<b>10</b>
	DB. Vägkonstruktion	12
	DB2. Underbyggnad/ Vägbro	12
	DC. Vägbro	13
	DC1. Bärverk i vägbro	13
	DC12. Balk	13
	DC12. Balk/ Kantbalk	13
	DC13c. Upplagsanordningar	14
	DC13cb. Lager	14
	DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning	14
	DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning	14
	DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta	14
	DC3. Komplettering i vägbro	15
	DC31. Beläggning	15
	DC31. Beläggning/ Slitlager	15
	DC31. Beläggning/ Bindlager	15
	DC31. Beläggning/ Kantstöd	15
	DC33. Tätskikt, skyddslager	15
	DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt	15
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa	15
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb	16
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar	16
	DC4. Slänt eller kon	16
	DC41. Slänt	16
	DC42. Kon	16

<b>DE. Avvattningssystem</b>	<b>16</b>
DE2. Dränvattensystem	16
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	17
<b>DF. Trafikskyddsanordning</b>	<b>17</b>
DF2. Räcke	17
DF21. Sidoräcke	17
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	17
DF25. Räckeskomplettering/ Skyddsnet	18
<b>DK. Elsystem och telesystem</b>	<b>18</b>
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsror i betongkonstruktion	18
<b>X. DOKUMENTATION</b>	<b>19</b>
<b>X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering</b>	<b>19</b>
<b>XB. Projekteringshandling</b>	<b>19</b>
XB. Projekteringshandling/ Design basis	19
<b>XC. Arbetshandling</b>	<b>19</b>
XC. Arbetshandling/ Vägbro	19
<b>XD. Relationshandling</b>	<b>20</b>
XD. Relationshandling/ Vägbro	21

## **OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA**

Vägnummer: Väg 40

Vägnamn: Väg 40 Borås - Ulricehamn

Objektnamn: Delen Dällebo – Hester, Etapp 3

Objektnummer: 85 43 60 30

Kommun: Ulricehamns Kommun

Län: Västra Götaland

### **Dokumentdata**

Titel: Teknisk Beskrivning Byggnadsverk  
15-1761-1 Bro över allmän väg

Dokumentslag: 3K110002, Bygghandling

Utgivningsdatum: 2012-03-01

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Gunnar Jellbin

Konsulter: COWI AB

Carl Kiviloo Broprojektör

Lennart Johansson Geotekniker

## REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING

---

### Dokumentutformning

#### Avsnitt

För denna OTB gäller att den innehåller rubriker under avsnitten:

- Objekt- och dokumentdata
- Regler för denna beskrivning
- B. Trafik
- C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner
- D. Väganläggning
- X. Dokumentation.

I avsnitt "Objekt- och dokumentdata", anges uppgifter som en del av förvaltningsdata.

I avsnitt "Regler för denna beskrivning" anges regler för tolkning av denna beskrivning. Här anges bland annat uppdelning i avsnitt, användning av rubriker och underrubriker samt kravhierarkier (pyramidregel).

I avsnitt "B. Trafik" anges den trafik som konstruktionerna ska dimensioneras för.

I avsnitt "C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner" beskrivs de befintliga förhållandena före entreprenadens genomförande samt eventuella krav på åtgärder.

I avsnitt "D. Väganläggning" anges förutsättningar och krav som gäller för entreprenaden avseende gestaltning, utformning och byggande.

I avsnitt "X. Dokumentation" anges krav på dokumentation m.m.

#### Rubriker enligt Dispositionen

Avsnitt som inleds med en bokstavskod (Exempel: "B. Trafik") är strukturerade med rubriker enligt en av Trafikverket framtagen disposition. Texterna är insorterade under dessa rubriker. Rubrikerna består av kod och benämning.

Exempel: Rubriken "D. Väganläggning", där "D" är koden och "Väganläggning" är benämningen (klartexten) för koden "D".

#### Typer av konstruktioner

Väganläggning (hel väganläggning) uttrycks av rubriken "D. Väganläggning". Där beskrivs det som gäller för hel väganläggning.

Konstruktion eller konstruktionsdel (del av väganläggning) uttrycks i Dispositionen av de bokstavskodade rubrikerna "DB. Vägkonstruktion", "DC. Vägbro" och så vidare inklusive deras underliggande bokstavskoder (som alltså saknar snedstreck). Under varje sådan rubrik beskrivs det som gäller för denna konstruktion.

Typ av konstruktion uttrycks i Dispositionen av rubrik för konstruktion följt av "/x" där x anger typ av konstruktion. Exempel på rubrik är "DC11. Brobanepatta/ Platsgjuten brobanepatta" där brobanepatta är konstruktion och platsgjuten brobanepatta är typ av sådan konstruktion.

## Kravhierarkier

Koderna är uppbyggda så att varje tillkommande tecken, räknat från vänster till höger, anger ett begrepp på underordnad nivå. Exempelvis är ”DB” underordnad ”D” och ”D” är överordnad ”DB”.

Vissa koder innehåller dock i stället för ett tillkommande tecken ett snedstreck (’/’) följt av en benämning. Detta snedstreck och benämning motsvarar ett tillkommande tecken, det vill säga en (1) kodposition i hierarkiskt avseende.

Krav under rubrik med överordnad kod gäller även som krav under en underordnad kod. Exempelvis gäller krav under ”D” som tillägg till krav under ”DB”.

Krav under en underrubrik gäller även som krav under en mera specificerad underrubrik. Exempelvis gäller krav under ”Teknisk lösning” som tillägg till krav under ”Teknisk lösning. Märkning”.

## Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

Under ”Funktion” och under ”Teknisk lösning” ställs krav och anges kvalitetsnivåer. För varje krav ställs i direkt anslutning krav på dess kontroll under rubriken ”Kontroll”.

Under ”Funktion” hanteras följande:

- Bärförmåga, stadga och beständighet
- Säkerhet vid användning
- Hälsa och miljö
- Buller
- Energihushållning
- Säkerhet vid brand

Under ”Teknisk lösning” hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under ”Kontroll” hanteras följande:

- Provning (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

## **B. TRAFIK**

---

### **B1. Vägtrafik**

ÅDT för väg 40 beräknas till 12000 (år 2015). År 2035 beräknas ÅDT till 15100. Andel tung trafik ska förutsättas vara 22%.

Alla personbilar ska förutsättas ha dubbdäck under perioden 1 oktober till 30 april. Vidare ska förutsättas att vägbanan saltas.

## **C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER**

---

### **Omfattning**

De befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs eller behöver rivas eller flyttas eller mark som behöver avverkas eller röjas, beror på hur entreprenören utformar brobygget. Under ”C1. Befintlig mark och miljö” samt under ”C2. Befintliga konstruktioner” listas de objekt som kan komma att beröras med typ och läge.

Entreprenören ska för befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs av entreprenaden, projektera och utföra vad som erfordras för att uppfylla angivna krav.

Där det på ritning anges att hus eller anläggning, t.ex. väg eller annan anläggning ska bortschaktas ska även berörda trafikskydds- och trafikledningsanordningar rivas. Återställning efter bortschaktning ska ske till standard lika omgivande mark.

### **Funktion**

Befintliga funktioner på befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar ska vara oförändrade under byggandet av den nya bron och efter det att den har tagits i bruk.

### **Kontroll**

Kontroll ska ske på sätt som anges under aktuell rubrik. Saknas kontrollmetod gäller att kontroll ska ske enligt vedertagna och beprövade metoder eller enligt dokumenterade vetenskapliga metoder eller genom besiktning där besiktningsmannen genom besiktning avgör om alla krav uppfyllts.

## **C1. Befintlig mark och miljö**

Se plan, längd- och tvärsektioner på ritning nummer 3 46 G 1101, 3 46 G 1201 och 3 46 G 1301 – 3 34 G 1307.

### **C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden**

#### **Omfattning**

Bron kommer att uppföras ca 50-100 m öster om Ätran i syd-nordlig riktning där terrängen består av åker- och ängsmark. I läget för planerad bro ligger marken ungefär på nivån +172. Strax söder om bron och ca 80 m norr om bron sluttar marknivåer till nivån ca +166 för att stiga upp igen till nivån ca +170 ca 300 m söder och norr om bron.

### **C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden**

#### **Omfattning**

Djupet till berg varierar mellan ca 45 m (+127) och 50 m (+122).

Under ett ca 0,3 m tjockt mulljordslager består jordlagren av postglaciala svämsediment med medelhög till hög relativ fasthet till ca 3-5 m djup (+167-169). Svämsediment består mestadels av siltig finsand med ställvisa inslag av torv.

Svämsediment vilar på glaciala finkorniga sediment bestående av växelvisa skikt av siltig lera, silt och finsand ned till ca 15 m djup (+157). Relativa fastheten hos glaciala finkorniga sediment är hög till nivån +169, medelhög till hög till nivån +162, låg till nivån +160 och



medelhög till hög till nivån +157. Därunder förekommer glaciala grovkorniga isälvs sediment av sand och grus med mycket hög relativ fasthet till troligen mellan 45 och 50 m djup. Närmast berg finns ett lager med bottenmorän.

Den naturliga vattenkvoten är uppmätt till ca 10-25 % i svämsedimenten (siltig finsand) och ca 20-35% i glaciala finkorniga sediment.

Bedömda värden på karakteristisk inre friktionsvinkel  $\Phi'_k$ . Värdena har korrigerats för siltig jord.

Låg relativ fasthet  $\Phi'_k = 30^\circ$

Medelhög relativ fasthet  $\Phi'_k = 33^\circ$

Hög relativ fasthet  $\Phi'_k = 35^\circ$

Mycket hög relativ fasthet  $\Phi'_k = 39^\circ$

### **Teknisk lösning**

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

## **C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden**

### **Omfattning**

En fri vattenyta avlästes i några öppna skruvprovtagningshål i utfyllda jordlager respektive svämsediment (övre grundvattenmagasinet) på mellan ca 1,4–3,5 m under markytan.

Grundvattenrör med filterspets installerades i de fastare friktionsjordslagren (undre grundvattenmagasinet) och visade en grundvattennivå på nivå mellan ca +162,9 och +165,4. Utifrån porttrycksmätare som installerades i de löst lagrade jordlagren avlästes grundvattennivå vid nivå mellan ca +165,3 och +167,9.

## **C2. Befintliga konstruktioner**

### **C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning**

#### **Omfattning**

Befintliga elledningar i anslutning till område för bro över allmän väg i km 14/050 läggs om öster om bro, se ritning 300W6301. Omläggning utförs enligt handling 10.1, MF väg40.

### **C2. Befintliga konstruktioner/ Teleledning**

#### **Omfattning**

Befintliga teleledningar i anslutning till område för bro över allmän väg i km 14/050 om-läggs öster om bro, se ritning 300W6301. Omläggning utförs enligt handling 10.1, MF väg40.

## **D. VÄGANLÄGGNING**

---

### **Omfattning**

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1761-1 Bro över allmän väg i Ulricehamn (Ulricehamnsmotet).

### **Kontroll**

Kontroll ska ske på sätt som anges under aktuell rubrik. Saknas kontrollmetod gäller att kontroll ska ske enligt vedertagna och beprövade metoder eller enligt dokumenterade vetenskapliga metoder eller genom besiktning där besiktningsmannen genom besiktning avgör om alla krav uppfylls.

### **Funktion**

Väganläggning ska uppfylla de krav som föranleds av den trafik som framgår av avsnitt B1. Vägtrafik.

Vid dimensionering ska VVFS 2003:140 "Vägverkets föreskrifter om tekniska egenskapskrav vid byggande på vägar och gator (vägregler)" och VVFS 2004:31 "Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator" följas i kombination med VVFS 2004:43 "Vägverkets föreskrifter om tillämpning av europeiska beräkningsstandarder".

Vid utformning och dimensionering för bärförmåga, stabilitet och upplyftning av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkets publikation 2009:46, TK Geo ska minst krav i kap. 1, 2, 3, 4 och 5 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkets publikation 2009:120 VVK Väg ska minst krav i kap. 1, 2 och 4 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av byggnadsverk ska VV publikation 2009:27 TK Bro följas. TK Bro ska tillämpas enligt avsnitt A.1.5.3. För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder och som har använts av entreprenören och som inte är beskrivna i TK Bro ska förslag till teknisk lösning innehållande en särskild kravspecifikation upprättas enligt avsnitt A.1.4 Teknisk lösning. Väganläggningens utformning, gestaltning och miljö ska uppfylla krav i denna TB.

All utformning ska utgå från ett trafiksäkerhetstänkande samt att drift och underhåll ska kunna utföras effektivt och med moderna metoder. Trafikmiljön ska utformas förlåtande. Oskyddade trafikanter ska beaktas.

Entreprenadarbeten ska bedrivas så att fornminnen inte skadas.

För del av väganläggning där krav inte ställts ska den ambitions- och kvalitetsnivå följas som uttryckts genom ställda krav för övriga delar av aktuell väganläggning.

### **Kontroll. Funktion**

Under byggskedet ska entreprenören följa upp och kontrollera i tillräcklig omfattning att beräkningsförutsättningar, beräkningsantaganden, materialegenskaper och lagertjocklekar samt övriga produktionsresultat och gjorda utfästelser för material och varor som förutsatts vid projekteringen överensstämmer med förutsättningar och antaganden som använts vid projekteringen.

För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder som inte omfattar krav på produktionsresultat som ansluter till AMA Anläggning 07 ska kontroll uppfylla krav enligt en särskild kravspekifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9.

### **Teknisk lösning**

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som åberopas genom hänvisning till AMA Anläggning 07 vara uppfyllda. Produktionsresultat utifrån dessa val ska uppfylla krav på kontroll enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

Kravnivå för enskilda produkter ingående i broar och byggnadsverk ska uppfylla implementerade SS-EN standarder och där sådan saknas ska nivå på tillämplig egenskap specificerad i AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 uppfyllas, varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska uppfyllas.

Ingående material ska ha sådana egenskaper att konstruktionsdelen i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela den dimensionerande tekniska livslängden.

Om för material och vara särskilda bestämmelser för SS-EN utgivits ska entreprenören eller dennes leverantör genom kontroll eller intyg eller genom verifiering enligt nivå 1 visa att bestämmelserna för aktuell standard tillämpas med i bestämmelserna angivna förutsättningar avseende t.ex. utförande och samhörighet med andra standarder.

Material ska vara:

- acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt
- sådana att de inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion.

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska ske i byggskedet enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram

För produkt, material eller vara ska tillverkaren genom verifiering eller kontroll visa att den tekniska livslängden minst motsvarar kraven på dimensionerande livslängd för den konstruktion som material eller vara är avsedd för.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som åberopas genom hänvisning till AMA Anläggning 07 vara uppfyllda. Produktionsresultat utifrån dessa val ska uppfylla krav på kontroll enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

Om produkter, material och varor som är beskrivna i AMA Anläggning 07 väljs för väganläggningen ska kontroll och verifiering uppfylla krav enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

För produkter, material och varor som inte är beskrivna i AMA Anläggning 07 ska kontroll och verifiering uppfylla krav enligt en särskild kravspecifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9 alternativt VVK 1.1.1. Verifiering av att sådana produkter, material och varor uppfyller ställda krav kan ske genom certifiering enligt nivå 1 enligt AMA Anläggning 07 kod YE eller genom tillverkarförsäkring enligt nivå 2-4. Att produkt, material eller vara uppfyller ställda krav kan alternativt, där en europeisk standard, SS-EN, finns, ske genom att krav i aktuell standard uppfylls till i standarden angiven bekräftelseprocedur.

### **Teknisk lösning. Märkning**

Märkning ska överensstämma med upprättad teknisk dokumentation och däri åberopade produktstandarder.

Märkning ska utföras av beständigt material med beständig text och betryggande fastsättning. Text ska skrivas på svenska. Endast vedertagna förkortningar får användas.

Märkning ska placeras synlig.

Märkband och skyltar placerade utomhus ska vara beständiga mot UV-strålning, föroreningar m.m.

Märkkulörer ska vara enligt SS 03 14 11.

Märkning ska utföras innan installation tas i drift. Märkning ska utföras så att tvekan inte kan uppstå om vilken komponent märkningen avser och så att märktext lätt kan läsas under drift.

Märkskyltar, märkband o.d. som riskerar nedsmutsning ska förses med ytskikt eller vara behandlade med preparat som underlättar rengöring.

### **Kontroll. Teknisk lösning. Märkning**

Kontroll ska ske genom besiktning.

## **DB. Vägkonstruktion**

### **DB2. Underbyggnad/ Vägbro**

#### **Teknisk lösning**

Fyllning mot bro skall utföras med förstärkningslagermaterial (0-90 mm) enligt AMA DCB.211 och enligt TK Geo, tabell 7.3-1 upp till terrassnivå för anslutande väg eller underkant släntkappor.

Fyllning skall ske med försiktighet så att betongkonstruktioner inte skadas.

Aktuell vägöverbyggnad framgår av normalsektionsritning.

#### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska ske genom besiktning och provning.

## **DC. Vägbro**

### **Funktion**

Funktionskrav utöver VV publikation 2009:27 TK Bro framgår av geometriska krav för fria utrymmen enligt förslagsritning 3 46 K 2001.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsritning.

Bron ska ha en dimensionerade teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

### **Kontroll. Funktion**

Grundläggningsarbetena skall kontrolleras i Geoteknisk kategori GK2.

### **Teknisk lösning**

Gjutfog får inte placeras i synliga ytor på vingmurar, sidoskärmar eller ändstöd.

För kantbalkars yttersidor får endast bräder som tidigare använts som formmaterial nyttjas. Kantbalkars insida formsätts med valfri form som kläs med formsättningsduk. Detta gäller även del vingmurar som formsätts med lutande överform.

Formsläppmedel ska vara av vegetabilisk art och av typ som med dokumenterat gott resultat tidigare använts vid gjutning av brokonstruktioner.

## **DC1. Bärverk i vägbro**

### **Teknisk lösning**

För kantbalk skall basmättet vara minst 50 mm. Måttet ska innehållas även vid droppnäsor. För övriga byggnadsverksdelar skall basmättet vara minst 40 mm.

Minsta differens mellan basmått skall vara 10 mm.

På synliga ytor ska formstag av kompositmaterial eller rostfritt material användas.

## **DC12. Balk**

### **DC12. Balk/ Kantbalk**

#### **Teknisk lösning**

Kantbalkens bredd ska vara 500 mm. Vid kantbalksände fasas kantbalk 100 mm i plan på 200 mm längd på sida som vetter mot överliggande väg.

Kantbalken utformas som förhöjd och med rundning i underkant enligt förslagsritning 3 46 K 2002.

## **DC13c. Upplagsanordningar**

### **DC13cb. Lager**

#### **Teknisk lösning**

Bron ska förutsättas med topflager. Lager ska vara CE-märkta.

## **DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning**

### **Funktion**

Krav på max tillåtna vibrationer m m framgår av Handling 13.2 ”Riskanalys Mark- och bergschaktningsarbeten”.

### **Teknisk lösning**

Schaktningsarbetena skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CBB.51.

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor skall ske i torrhet.

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska utföras genom besiktning.

## **DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning**

### **Omfattning**

Grundläggning av bron skall ske på betongpålar där varje enskild påle är spets- och mantelburen och där huvuddelen av bärförmågan erhålls längs manteln i friktionsjord.

Kalkylförutsättningar för medelpålstoppsnivå +127

### **Funktion**

Krav på max tillåtna vibrationer m m framgår av Handling 13.2 ”Riskanalys Mark- och bergschaktningsarbeten”.

Pålarna skall drivas ner till djup så att erforderlig geoteknisk bärförmåga kan verifieras (se även bilaga 8 till MUR Geo, handling 13.5, ”Sammanställning Provpålning Ätradalen” innehållande av Pålanalys utförd ”PDA mättningsrapport” över provpålning daterad 2009-12-15).

### **Teknisk lösning**

Pålning skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.121.

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Produktionspålning inleds med provpålning av minst 1 påle/stöd.

Grund-och tilläggskontroll skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.

## **DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta**

### **Teknisk lösning**

Gjutningsarbete för bottenplattor skall förutsättas ske i torrhet.

Bottenplattans överyta skall ges en lutning av minst 2 % mot fri kant.

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

I tvärled får den vertikala stödförskjutningen inte överstiga 1/500 av bottenplattans längd.

### **DC3. Komplettering i vägbro**

#### **Teknisk lösning**

En skylt med god beständighet visande året för färdigställande ska monteras på varje bro. Placering bestäms i samråd med beställaren.

Klotterskydd av typ ”offerskydd” ska anbringas på synliga betongytor på ändstöd, mellanstöd och vingar.

Klotterskyddet ska vara utprovat tillsammans med valt ytbehandlingspreparat.

### **DC31. Beläggning**

#### **DC31. Beläggning/ Slitlager**

##### **Teknisk lösning**

Bron ska försees med beläggning för väg 46 med 25 mm tillfälligt slitlager TSK, permanent slitlager om 40 mm utförs i sidoentreprenad enligt normalsektion 3 34 T 0401.

Bron ska försees med beläggning för GC-väg med 120 mm AGF och 40 mm slitlager enligt normalsektion 3 34 T 0401.

#### **DC31. Beläggning/ Bindlager**

##### **Teknisk lösning**

Kombinerat skydds- och bindlager utförs med 50 mm PGJA.

#### **DC31. Beläggning/ Kantstöd**

##### **Teknisk lösning**

Kantstöd limmas på PGJA.

### **DC33. Tätskikt, skyddslager**

#### **DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt**

##### **Teknisk lösning**

Bron försees med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

### **DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa**

#### **Teknisk lösning**

Fog med fogmassa djup 40, bredd 20, utförs i slitlagret längs kantbalkar.

### **DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb**

#### **Teknisk lösning**

Bron ska förse med avvägningsdubbar enligt TK Bro.

### **DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar**

#### **Teknisk lösning**

Ev mellanstöd ska förse med loddubbar enligt TK Bro.

### **DC4. Slänt eller kon**

#### **Omfattning**

Ytskikt ingår ej i broarbetet

### **DC41. Slänt**

#### **Teknisk lösning**

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 300 mm mineraljord som besås, GR4- och GR5-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 och DDB.112 i Handling 11.1, TB Väg.

Slänter i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:1,7.

### **DC42. Kon**

#### **Teknisk lösning**

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 300 mm mineraljord som besås, GR5-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.112 i Handling 11.1, TB väg.

Koner i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:1,7.

## **DE. Avvattningssystem**

### **DE2. Dränvattensystem**

#### **Omfattning**

Dränvattensystem avleder dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

#### **Funktion**

Dräneringssystem ska kunna dränera väggroppen, där så är erforderligt, så att stabilitet och säkerhet mot skred eller uppflytning inte försämras samt att sättningar inte uppstår.

#### **Kontroll. Funktion**



Kontroll ska ske genom nivåkontroll och inre inspektion av dräneringsledningar och tillhörande brunnar.

Dräneringsledningar ska uppfylla krav på deformation enligt toleransklass A vid kontroll av deformation enligt Svenskt Vatten P91.

## **DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro**

### **Teknisk lösning**

Grundavlopp enligt VV ritning 584:6 S-g, rev A och 584:6 S-m samt anordnas längs de norra kantbalkarna. Grundavloppsror och tratt skall utföras av syrafast rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

## **DF. Trafikskyddsanordning**

### **DF2. Räcke**

#### **DF21. Sidoräcke**

##### **Omfattning**

I anslutning till broräcke ska vägräcke förses med kapacitetsutjämnande övergång enligt TK Bro G.9.1.8. Ingår i vägarbetet.

#### **DF21. Sidoräcke/ Broräcke**

##### **Teknisk lösning**

Broräcken ska utföras enligt TK Bro.

Räcken skall uppfylla funktionskrav enligt SS-EN 1317-2 samt vara CE-märkt enligt SS-EN 1317-5. Räcke skall dessutom uppfylla material- och utförandekrav enligt SS-EN ISO 1461 (1), SS-EN ISO 10684 (1), SS-EN 206-1 (1), SS 137010 (1).

Bron förses med broräcke med topp- och navföljare av rörprofil.

På broar med kantbalk ska räckesständer skruvas fast.

Broräcken och anslutande vägräcken ska utföras med samma typ av navföljare och tillhöra samma CE-märkta räckesfamilj och ha samma tillverkare.

Fotplåtar till broytterräckets ständer fästs till kantbalk med syrafasta rostfria skruvar, muttrar och brickor enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436. Fotplåtarnas kanter rundas till mellan 3-4 mm radie. Fotplåtarna utformas så att inte kiselutarmning av stålet uppkommer.

Fotplåtar ska inte undergjutas.

Skruvarna förses med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

Leverans av broräckesavslutningar ingår i broarbetet. Montage ingår i vägarbetet.

Räcken kommer att tillhandahållas från sidoentreprenör för etapp 2 på anvisad plats efter avrop enligt AFC.361.

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

### **DF25. Räckeskomplettering/ Skyddsnät**

#### **Teknisk lösning**

Broräcke ska förses med skyddsnät enligt TK Bro och med utbredning enligt förslagsritning 3 46 K 2001.

### **DK. Elsystem och telesystem**

#### **DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsror i betongkonstruktion**

#### **Teknisk lösning**

Överbyggnaden förses med ett längsgående SRN PVC  $\phi 50$  med placering enligt förslagsritning 3 46 K 2001 och 3 46 K 2002. Rör ska vara försett med galvaniserad dragtråd.

## **X. DOKUMENTATION**

---

### **X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering**

Se handling 11.1 TB Väg, YC.

### **XB. Projekteringshandling**

#### **XB. Projekteringshandling/ Design basis**

Entreprenören ska inledningsvis lämna en redogörelse för förutsättningar och metoder vanligen benämnd ”design basis”. Denna ska minst behandla följande:

- objektspecifika förutsättningar för dimensionering och utformning
- beskrivning av beräknings- och analysmetoder som avses att användas vid dimensionering och utformning
- objektspecifika val avseende material och utförande
- beskrivning av provnings- och kontrollmetoder som avses att användas samt avstämning hur gjorda beräkningsantaganden, materialval, utförandemetod etc. säkerställs och hur avvikelser av dessa hanteras och åtgärdas
- beskrivning av rutiner för verifiering
- en redovisning av principer för hur dokumentation av provnings- och kontrollresultat samt verifiering av dessa ska utföras
- en redovisning av hur dokumentation avseende drift- och underhållsplaner upprättas.

### **XC. Arbetshandling**

Entreprenören ska projektera och upprätta konstruktionshandlingar med beräkningar, ritningar, beskrivningar och kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner.

Kontroll av projekteringsresultatet ska ske före arbetenas påbörjande, dels genom entreprenörens kontroll i tillräcklig omfattning och dels genom beställarens granskning. Detta ska även ske under byggskedet och för vissa delar även under garantitiden.

Kontroll av fri höjd, angiven på av beställaren godtagen arbetsritning skall utföras av entreprenör innan arbete med broöverbyggnad påbörjas. Kontroll ska utföras genom mätning och mätresultat skall protokollföras.

För de delar i väganläggningen som omfattas av VV publikation 2009:27 TK Bro ska krav på konstruktionsredovisning och kontroll av konstruktionsredovisning i denna uppfyllas.

Arbetshandlingar ska levereras digitalt.

### **XC. Arbetshandling/ Vägbro**

I inledning av konstruktionsarbetet ska entreprenör kalla till startmöte enligt VV publikation 2009:27 TK Bro. Vid mötet skall redogörelse för förutsättningar och metoder för dimensionering presenteras. Eventuella förändringar i förhållande till förfrågningsunderlaget ska redovisas tydligt. Beställaren ska ges möjlighet att lämna remissynpunkter på handlingarna inom 10 arbetsdagar.

Konstruktionsredovisningen och eventuella remissyttranden sänds för kontroll tillsammans med den av beställaren godtagna förslagsritningen till Trafikverket, avdelning Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb och till Trafikverkets projektledning.

Vid tillämpning av VV publikation 2009:84 ”Kontroll av konstruktionsredovisning” kan en indelning i grupper enligt råden i denna publikation preliminärt förutsättas. Gruppindelningen bestäms slutgiltigt efter att entreprenörens förslag till tekniska lösningar har presenterats.

En tidplan för insändandet av konstruktionsredovisning för kontroll ska upprättas av entreprenören och insändas till beställaren. Beställarens redovisningskrav och administrativa krav som ska uppfyllas framgår av VV publikation 2009:27 TK Bro, del A.

Beställarens rutiner för kontroll framgår av handling 9, AF Bilaga 3.

Kopior av märkta handlingar fördelas av entreprenören enligt följande:

- tre omgångar ritningar och beskrivningar sänds till beställarens projektledning
- en omgång handlingar enligt krav i VV publikation 2009:27 TK Bro del A sänds till Trafikverket, avdelning Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb.

## **XD. Relationshandling**

Relationshandlingar för utförda arbeten ska utgöra informationsunderlag under garantitid samt efterföljande drift och underhåll under anläggningens hela livslängd.

Alla relationshandlingar som produceras i projektet ska levereras till beställarens projekthanteringssystem och i dess struktur. Relationshandlingar ska vara daterade, granskade och godkända av ansvarig person hos entreprenören. Relationshandlingar ingår i entreprenaden och ska godkännas av beställaren. Krav på leveranstid för relationshandlingar anges i Entreprenadkontraktet § 7

Blanketterna ”Registrering av beläggningsåtgärder” och ”För rapportering av fri höjd i vägportar” ska ifyllas efter färdigställt objekt och redovisas till beställaren.

Relationshandlingar för byggnadsverk ska dokumentera lägen, dimensioner, använda material, uppmätta funktionella egenskaper, utföranden o d, med beräkningar, ritningar och beskrivningar samt protokoll för utförda kontrollmätningar.

Beställda utförandehandlingar, protokoll och intyg från beställda provningar och kontroller samt produktverifikationer i nivåer 1, 2 och 3 enligt YE i handling 11.1, TB Väg, ska bifogas relationshandlingarna.

Bestyrkta egenskaper för produkter enligt SS-EN ska vara dokumenterade.

Relationshandling ska vara daterad och signerad av ansvarig person hos entreprenören samt försedd med uppgift om vilken anläggningsdel som handlingen avser. Förteckning över aktuella relationshandlingar ska bifogas.

Relationsritning ska vara försedd med ”RELATIONS-RITNING” i statusraden i ritningshuvudet.

Symboler, beteckningar, definitioner, scheman o.d. ska vara enligt svensk standard där sådan finns.

Handlingar för drift- och underhåll ska vara skrivna på svenska.

Skalenliga ritningar ska förses med grafisk skala.

Handling ska vara i format enligt A-serien.

Inmätning för relationshandling ska utföras i för objektet gällande koordinat- och höjdsystem.

Anordning som ska fyllas över eller på annat sätt blir dold ska mätas in under arbetets gång.

Material som av miljöskäl enligt handlingarna ska hanteras på angivet sätt dokumenteras med avseende på kemisk sammansättning, placering och vidtagna skyddsåtgärder.

Material som kan orsaka skada vid oriktig behandling ska dokumenteras.

Relationshandlingar i original är beställarens egendom.

Relationshandlingar i original ska vara arkivbeständiga.

Planritningar ska vara försedda med koordinatbestämt rutnät.

Drift- och underhållsinstruktion ska upprättas enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling AFS 1999:39 1§ rörande objektets slutliga konstruktion och utformning samt de byggprodukter som använts, i den omfattning som är av betydelse för säkerhet och hälsa vid arbete med drift, underhåll, reparation, ändring och rivning av objektet.

#### **XD. Relationshandling/ Vägbro**

För de handlingar som omfattas av kraven på konstruktionsredovisning enligt VV publikation 2009:27 TK Bro gäller denna i sin helhet.

Relationshandlingar ska bestå av:

- arbetsritningar i original (ovikta)
- under byggskedet tillkommande geotekniska utredningar, beräkningar, beskrivningar och ritningar
- betonggjutningsjournaler
- eventuella avvikelserapporter
- förteckning över aktuella handlingar
- ifyllda kontrollplaner för tilläggskontroll
- mätprotokoll avseende lagerinställningar, lod- och avvagningsdubbar
- provningsintyg
- pålningsprotokoll och pålplan
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg.

På original exemplet av sammanställningsritningen ska redovisas

- använd typ av tillsatsmedel i betong
- förteckning över av beställaren godtagna handlingar
- lagerinställningar

- sammansättning av injekteringsbruk med uppgift om cementfabrikat, tillsatsmedel, dosering samt  $v_{ct_{ekv}}$
- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvägningsdubbar
- vid grundläggning på berg, höjder för bottenplattas underkant.

Uppgift om valt material ska föras in på originalritningarna om det på de godtagna ritningarna

- anges att likvärdigt material kan användas
- hänvisats till material enligt av beställaren upprättad förteckning över godtagna produkter.

Uppgift om vald standardritning ska föras in på originalritningarna om hänvisning endast gjorts till beställarens standardritningar utan att precisering gjorts till speciell ritning.

Eventuella smärre avsteg från godtagen ritning ska vara införda på originalritningarna.

Mätprotokollen avseende inmätning av lagerinställningar och fogöppningar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen samt lufttemperaturen vid mätningen.

Mätprotokollen avseende inmätning av lod- och avvägningsdubbar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen, lufttemperaturen vid mätningen, mätmetod samt uppgift om vilken fixpunkt som använts. Inmätningen ska utföras enligt BJB.22 i handling 11.1, TB Väg.

Konstruktionshandlingar för konstruktioner som ska omfattas av TK Bro ska registreras i Trafikverkets digitala register över broar och tunnlar, BatMan.

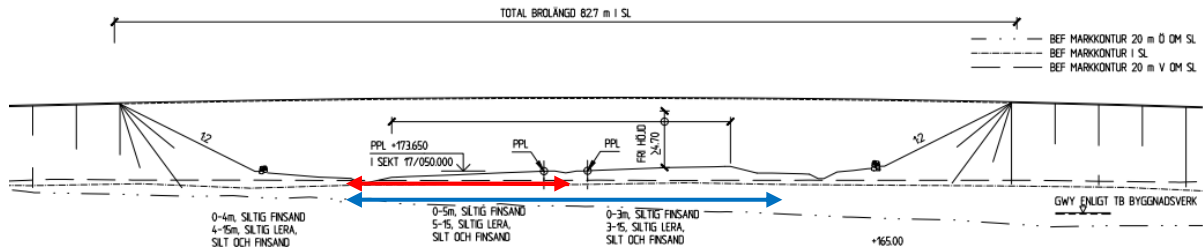
## Bilaga 3

---

### Beräkning av spännvidder

### Bilaga 3. Beräkning av spännvidder

Väg 40 förgrenar sig under bron vilket ger en längre spännvidd för att överbrygga vägen än vad det hade gjort utan. I en riktning består vägen av: Stödremsa 0,5 m, vägren 1,0 m, körfält 3x3,5 m och en vägren 0,5 m. Förutom detta skall bron överbrygga extrabreddden på grund av förgrening 3,0 m och skyddas från olyckor med hjälp av räcken vars utböjning är 1,0 m.



Figur 1: Elevation av bro från teknisk beskrivning. Rött är den minsta spännvidden med stöd i mittremsan, blått är utan stöd i mittremsan

Beräkning av minsta spännvidd med stöd i mittremsan, sträcka markeras med rött i figur 1.

$$(1 + 0,5 + 3,5 + 3 + 3,5 * 2 + 0,5 + 2 )m = 18,5 \text{ meter}$$

Beräkning av minsta spännvidd utan stöd i mittremsan, markeras med blått i figur 1.

$$2x(1 + 0,5 + 3,5 + 3 + 3,5 * 2 + 0,5 + 2 )m = 37m$$

Dessa beräkningar är från mittupplag till mittupplag och tar inte hänsyn upplagskanter och bredd på pelare, därför läggs 1,0 m på. Därmed blir den minsta spännvidden med tre stöd 19,5 meter och med två stöd 38 meter.



# Bilaga 4

---

## Beräkning av konstruktionshöjd

## Bilaga 4. Beräkning av konstruktionshöjd

### Höjdkoordinater för bron

Först beräknas höjden på den högsta punkten vilken sedan används för att beräkna höjden vid landfästena. Tangentpunkterna för kurvan ligger i längdpunkter 0/499.015 och 0/601.547 där den senare punkten är det norra landfästet. Det södra landfästet ligger i punkt 0/520.0 enligt det förfrågningsunderlag som finns för bron. Eftersom exakt data saknas kommer höjderna att bli ungefärliga men skillnaden antas vara försumbar. Beräkningen utförs enligt beräkningsmetod presenterad i Väg- och gatuutformning, Vertikalradien på kurvan är 1800 meter. Se figur 1.

$$\alpha = 0.0333$$

$$\beta = 0.0273$$

$$R = 1800$$

$$a = \alpha * R = 59.94$$

$$b = \beta * R = 42.66$$

$$a + b = 102.6$$

$$za = 179.41$$

$$zm = za + \frac{a^2}{2 * R} = 180.408$$

$$lm = 499.015 + 59.94 = 558.955$$

Läget för den kritiska punkten mäts på ritningen och kommer vara i riktning mot Jönköping eftersom väg 40 sluttar uppåt i den riktningen. Kritiska punkten mäts till längdkoordinat 0/546 för väg 46 och beräknas från mittpunkten.

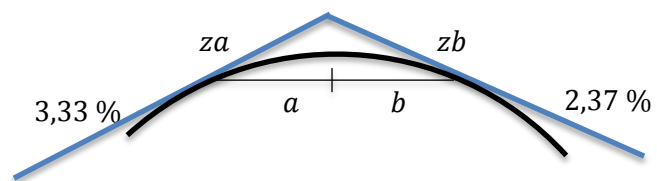
$$lp = 546$$

$$zp = zm - \frac{(lm - lp)^2}{2 * R} = 180.361$$

Utöver detta är landfästernas plushöjder intressanta och det norra landfästet är givet som +179.899 och den andra kan beräknas med den data som finns.

$$lb = 520$$

$$zb = zm - \frac{(lm - lb)^2}{2 * R} = 179.986$$



Figur 1: Beräkningsmodell för väg 46

## Höjdkoordinater för riksväg 40

Samma samband som tidigare används men man vet inte lutningarna på de vägstycken som ska sammanbindas. Vertikalradien i det här fallet är 6500 meter. Med hjälp av MathCad och informationen från tangentpunkten beräknas lägsta punktens längd- och höjdkoordinat.

$$R2 = 6500$$

$$l1 = 13888$$

$$l2 = 14133.26$$

$$z1 = 169.58$$

$$z2 = 177.20$$

*Given*

$$z1 - \frac{(x1 - xmin)^2}{2 * R2} = zmin$$

$$z2 - \frac{(x2 - xmin)^2}{2 * R2} = zmin$$

$$\text{Find}(xmin, zmin) \rightarrow \begin{pmatrix} 13808.554 \\ 169.095 \end{pmatrix}$$

Med denna information kan man beräkna höjden i den kritiska punkten. Beräkningen ger punkten vägens mittpunkt som sedan måste ökas på med avseende på vägens skevning på 4.0% och avståndet mellan mittpunkt och vägrenens ytterkant.

Slutligen kan konstruktionshöjden beräknas utifrån kravet på fri höjd på 4.7 m.

$$lx = 14062$$

$$zx = zmin + \frac{(x - xmin)^2}{2 * R2} = 174.036$$

$$zk = zx + 0.04 * 13 = 174.556$$

$$kh = zp - zk - 4.7 = 1.106$$

Tillgänglig konstruktionshöjd blir således 1,106 meter.

## Källor

A Wengelin M. Berntman G. Lannér (2000), *Väg- och gatuutformning*, Göteborg, Cremona

# Bilaga 5

---

Resultat av första urval

## Bilaga 5. Resultat av första urval

Bro	Material	Spännvidd	Konstruktionshöjd	Geoteknik	Ekonomi
Bågbro	Trä	X	X	X	X
Bågbro	Betong	X	X	X	X
Bågbro	Stål	X	X	X	X
Valvbro	Sten				
Valvbro	Betong	X		X	
Snedkabelbro	Betong	X	X		
Hängbro	Betong	X	X		
Plattbro	Betong	X	X	X	X
Plattbro	Trä			X	X
Balkbro	Samverkan	X	X	X	X
Balkbro	Betong	X	X	X	X
Balkbro	Trä	X		X	X
Plattrambro	Betong	X		X	
Balkrambro	Betong	X		X	

## Bilaga 8

---

Lastframtagning för CALFEM modell

## Laster och materialdata

### Ingående värden

#### Karakteristiska värden för egentygnd

$$\gamma_b := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{tungheten för betong} \quad \text{SS - EN 1991-1-1 Tabell A.1}$$

$$\gamma_{be} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{tungheten för asfalt} \quad \text{Sören Lindgren föreläsning 2015-03-24}$$

$$\gamma_r := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{tungheten för räcken} \quad \text{Sören Lindgren föreläsning 2015-03-24}$$

$$\gamma_t := 78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.0322 \text{m}^2 = 2.512 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN} \quad \text{tungheten för tvärbalk} \quad \text{Byggformler och tabeller}$$

$$\gamma_{700} := 0.204 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.003 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN} \quad \text{tungheten för HEA700} \quad \text{Byggformler och tabeller}$$

$$\gamma_s := (0.08 \text{m})^2 \cdot 78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0.499 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN} \quad \text{tungheten för stag} \quad \text{SS - EN 1991-1-1 Tabell A.4}$$

#### Karakteristiska värden för trafiklast (LM1)

Punktlaster

$$\alpha_{Q1} := 0.9$$

$$\alpha_{Q2} := 0.9$$

$$\alpha_{Q3} := 0$$

$$Q_{1k} := \alpha_{Q1} \cdot 600 \text{kN} = 5.4 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q_{2k} := \alpha_{Q2} \cdot 400 \text{kN} = 3.6 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q_{3k} := \alpha_{Q3} \cdot 200 \text{kN} = 0$$

$$\psi_{1.0} := 0.75$$

$$\psi_{1.1} := 0.75$$

Utbredd last

$$\alpha_{q1} := 0.8$$

$$\alpha_{q2} := 1.0$$

$$\alpha_{q3} := 1.0$$

$$q_{1k} := \alpha_{q1} \cdot 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 7.2 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$q_{2k} := \alpha_{q2} \cdot 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.5 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$q_{3k} := \alpha_{q3} \cdot 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.5 \times 10^3 \text{ Pa}$$

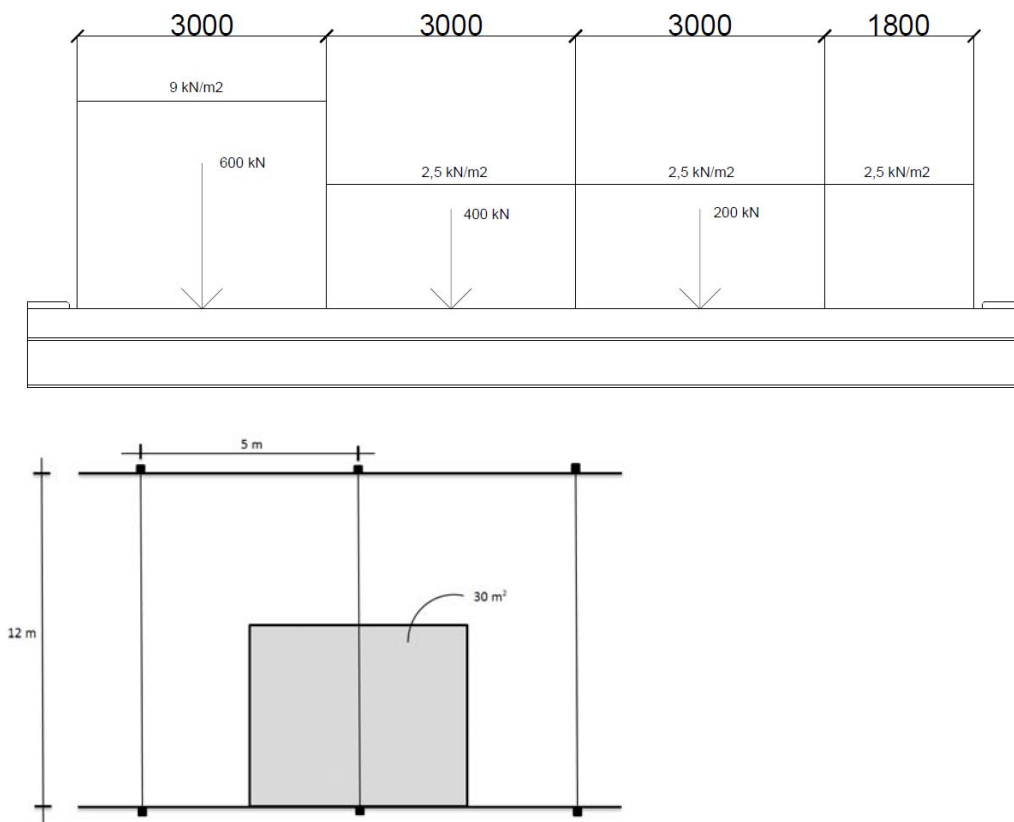
$$\psi_{2.0} := 0.4$$

$$\psi_{2.1} := 0.4$$

Sören Lindgren föreläsning  
2015-03-24

## Laster för CALFEM-modell

Lasterna från brobanan och tvärbalkarna går in i dragbandet vid anslutningarna och behandlas som punktlaster. Mellanrummet mellan tvärbalkarna är fem meter och bredden på brobanan är 12 meter. För modellen antas att halva bredden går in i varje båge och även halva avståndet mellan bågarna, se figur nedan. Dragbandets last behandlas som en utbredd last på elementen och egentynghden på stagen behandlas som en punktlast.



## Karakteristiska laster till CALFEM-modell

$$b := 6\text{ m}$$

$$l := 5\text{ m}$$

$$G_k := \gamma_b \cdot b \cdot l \cdot 0.3\text{ m} + \gamma_{be} \cdot l \cdot (b - 0.5\text{ m}) \cdot 0.115\text{ m} + \gamma_b \cdot 0.5\text{ m} \cdot l \cdot 0.195\text{ m} + \gamma_f \cdot l + \gamma_t \cdot b = 3.275 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q_k := 3\text{ m} \cdot l \cdot q_{1k} + 2.4\text{ m} \cdot l \cdot q_{2k} = 1.38 \times 10^5 \text{ N}$$



För att få fram dimensionerande laster används antingen ekv 6.10a eller 6.10b från SS-EN 1990 för brottgränstillstånd. Den som ger störst total last blir dimensionerande. Sedan används ekv 6.15b för laster i bruksgränstillstånd. Utöver det finns två boggilaster som hanteras separat

## Brottgränstillstånd

Alternativ 1

SS-EN 1990 ekv 6.10a

$$G_d := 1.35 \cdot G_k = 4.421 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q_d := 1.5 \cdot Q_k \cdot \psi_{2,0} = 8.28 \times 10^4 \text{ N}$$

$$P_{d1} := G_d + Q_d = 5.249 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{1d1} := 1.5 \cdot \psi_{1,0} \cdot Q_{1k} = 6.075 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{2d1} := 1.5 \cdot \psi_{1,0} \cdot Q_{2k} = 4.05 \times 10^5 \text{ N}$$

Alternativ 2 med trafik som huvudlast

SS-EN 1990 ekv 6.10b

$$G_d := 1.2 \cdot G_k = 3.93 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q_d := 1.5 \cdot Q_k = 2.07 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{d2} := G_d + Q_d = 6 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{1d2} := 1.5 \cdot Q_{1k} = 8.1 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{2d2} := 1.5 \cdot Q_{2k} = 5.4 \times 10^5 \text{ N}$$

6.10b blir dimensionerande

## Bruksgränstillstånd

SS-EN 1990 ekv 6.15b

$$G_d := 1.0 \cdot G_k = 3.275 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q_d := Q_k \cdot \psi_{2,1} = 5.52 \times 10^4 \text{ N}$$

$$P_{d3} := G_d + Q_d = 3.827 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{1d3} := \psi_{1,1} \cdot Q_{1k} = 4.05 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{2d3} := \psi_{1,1} \cdot Q_{2k} = 2.7 \times 10^5 \text{ N}$$

# Bilaga 7

---

## CALFEM modell

---

```

%-----
%Kandidatarbete bro
%Projekt BMTX01-15-42
%Marcus Ahlström, Fredrik Bengtsson, Emmy Dahlström,
%Rikard Landgren Hagen, Johan Rööös & August Uddmyr
%
%Calfem modell för båge, stag och dragband
%-----

%Tömmer gamla variabler och stänger alla fönster
clear all
close all
clc

%Definerar variabler
E=210e9; %[Pa]
ABalk=0.026050; %[m^2] HEA700
Dstag=0.08; %[m]
Astag=(Dstag^2*pi)/4; %[m^2]
IBalk=2.153e-3; %[m^4] HEA700
HBage=1.3; %[m]
BBage=0.6; %[m]
tfBage=0.05; %[m]
twBage=0.03; %[m]
ABage=2*(HBage-2*tfBage)*twBage+2*BBage*tfBage; %[m^2]
IBage=2*((twBage*(HBage-2*tfBage)^3)/12)+2*((BBage*tfBage^3)/12+...
    (BBage*tfBage)*((HBage-tfBage)/2)^2); %[m^4]

%Bruksgränstillstånd
%-----
qBage=7800*ABage*9.81; %[N/m]
qStag=7800*Astag*9.81; %[N/m]
qBalk=204*9.81; %[N/m]
Gd=327.5e3; %[N] Egentyngdbrobana
Qd=55.2e3; %[N] Trafiklast
P1=405e3; %[N] Trafiklast
P2=270e3; %[N] Trafiklast
%-----

%Brottgränstillstånd
%-----
qBage=7800*ABage*9.81*1.2; %[N/m]
qStag=7800*Astag*9.81*1.2; %[N/m]
qBalk=204*9.81*1.2; %[N/m]
Gd=393e3; %[N] Egentyngdbrobana
Qd=207e3; %[N] Trafiklast
P1=810e3; %[N] Trafiklast
P2=540e3; %[N] Trafiklast
%-----

%Brons spänvidd
Lbro=75; %[m]

```

---

---

```

%Pilhöjd
PH=Lbro*(18/50); %[m]

%Beräknar bågens radie
R=((Lbro/2)^2+27^2)/54; %[m]

%Skapar en vektor med bågens y-koordinater
x=32.5;
for i=1:7
    h=R-sqrt(R^2-x^2);
    yBage(i)=PH-h;
    x=x-5;
    z=i;
end
x=2.5;
for i=1:7
    h=R-sqrt(R^2-x^2);
    yBage(i+z)=PH-h;
    x=x+5;
end

%Skapar en vektor för dragbandets y-koordinater
for i=1:16
    ydrag(i)=0;
end

%Skapar en vektor med x koordinaterna för dragbandet
x=0;
for i=1:16
    xdrag(i)=x;
    x=x+5;
end

%Skapar en vektor med x koordinaterna för bågen
x=5;
for i=1:14
    xBage(i)=x;
    x=x+5;
end

%Nodernas koordinater
Coord(:,1)=[xdrag xBage];
Coord(:,2)=[ydrag yBage];

%Frihetsgrader för dragbandet
z=0;
for i=1:16
    Dof(i,:)=[z+1 z+2 z+3];
    z=z+3;
end

%Frihetsgrader för bågen
for i=1:14
    p=16+i;

```

---

---

```

    Dof(p,:)= [z+1 z+2 z+3];
    z=z+3;
end

%Topologi balken
for i=1:15
    if i==1
        EdofBalk(i,:)= [i 1 2 3 4 5 6];
    end
    if i>1
        EdofBalk(i,:)= [i EdofBalk(i-1,5) EdofBalk(i-1,6) EdofBalk(i-1,7)...
            EdofBalk(i-1,7)+1 EdofBalk(i-1,7)+2 EdofBalk(i-1,7)+3];
    end
end

%Balkens koordinater
[ExBalk,EyBalk]=coordxtr(EdofBalk,Coord,Dof,2);

%Topologi båge
z=0;
for i=16:30
    z=z+1;
    if i==16
        EdofBage(z,:)= [i 1 2 3 49 50 51];
    end
    if i>16 & i<30
        EdofBage(z,:)= [i EdofBage(z-1,5) EdofBage(z-1,6) EdofBage(z-1,7)...
            EdofBage(z-1,7)+1 EdofBage(z-1,7)+2 EdofBage(z-1,7)+3];
    end
    if i==30
        EdofBage(z,:)= [i EdofBage(z-1,5) EdofBage(z-1,6)...
            EdofBage(z-1,7) 46 47 48];
    end
end

%Bågens koordinater
[ExBage,EyBage]=coordxtr(EdofBage,Coord,Dof,2);

%Topologi stänger
z=0;
for i=31:44
    z=z+1;
    if i==31
        EdofStag(z,:)= [i 49 50 4 5];
    else
        EdofStag(z,:)= [i EdofStag(z-1,2)+3 EdofStag(z-1,3)+3 ...
            EdofStag(z-1,4)+3 EdofStag(z-1,5)+3];
    end
end

%Stängernas coordinater
[ExStag,EyStag]=coordxtr(EdofStag,Coord,Dof,2);

%Plottar beräkningsmodell

```

---

---

```

axis off
eldraw2(ExBalk,EyBalk,[1 3 1]); %Balkelement lila
eldraw2(ExBage,EyBage,[1 3 1]);
eldraw2(ExStag,EyStag,[1 2 1]); %Stångelement blå

%Dragbandets egenskaper samt egentyngd
epBalk=[E ABalk IBalk]; eqBalk=[0 -qBalk];

%Bågens egenskaper samt egentyngd
epBage=[E ABage IBage]; eqBage=[0 -qBage];

%Stängernas egenskaper samt egentyngd
epStag=[E AStag]; eqStag=[0 -qStag];

%Fördimensionerar styvhetsmatrisen och kraftvektorn
K=zeros(90,90); f=zeros(90,1);

%Krafterna från tvärbalkarna
%Egentyngd
for i=2:3:47
    if i>2 & i<47
        f(i)=-Gd;
    else
        f(i)=-Gd/2;
    end
end
%Trafiklasterna omlaceras manuellt för att få olika lastfall
%-----
%Utbredda trafiklasten
for i=17:3:47
    if i>2 & i<47
        f(i)=f(i)-Qd;
    else
        f(i)=f(i)-Qd/2;
    end
end
f(5)=f(5)-Qd;
%f(8)=f(8)-Qd;
f(11)=f(11)-Qd;
%Punktlaster trafik
f(11)=f(11)-P1;
f(11)=f(11)-P2;
%-----

%Stagens egentyngd
z=1;
for i=5:3:44
    f(i)=f(i)-qStag*EyStag(z,1);
    z=z+1;
end

%Skapar elemstyhetsmatriser och assemblerar
%För dragbandet
for i=1:15

```

---

---

```

        [KeBalk, feBalk]=beam2e(ExBalk(i,:),EyBalk(i,:),epBalk,eqBalk);
        [K,f]=assem(EdofBalk(i,:),K,KeBalk,f,feBalk);
    end
    %För bågen
    for i=1:15
        [KeBage, feBage]=beam2e(ExBage(i,:),EyBage(i,:),epBage,eqBage);
        [K,f]=assem(EdofBage(i,:),K,KeBage,f,feBage);
    end
    %För stagen
    for i=1:14
        Ke=bar2e(ExStag(i,:),EyStag(i,:),epStag);
        K=assem(EdofStag(i,:),K,Ke);
    end

    %Upplagsvilkor
    bc=[1 0; 2 0; 47 0;];

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

    %Plottar defromationen
    figure(2)
    axis off
    EdBalk=extract(EdofBalk,a);
    EdBage=extract(EdofBage,a);
    EdStag=extract(EdofStag,a);
    [sfac]=scalfact2(ExBalk,EyBalk,EdBalk,0.1);
    eldisp2(ExBalk,EyBalk,EdBalk,[1 3 1],sfac);
    eldisp2(ExBage,EyBage,EdBage,[1 3 1],sfac);
    eldisp2(ExStag,EyStag,EdStag,[1 2 1],sfac);

    %Beräknar normalkrafterna i stängerna
    for i=1:14
        EsStag(i,:)=bar2s(ExStag(i,:),EyStag(i,:),epStag,EdStag(i,:));
    end

    %Beräknar krafterna i bågen
    for i=1:15
        if i==1
            EsBage=beam2s(ExBage(i,:),EyBage(i,:),epBage,EdBage(i,:),eqBage,21);
        else
            temp=beam2s(ExBage(i,:),EyBage(i,:),epBage,EdBage(i,:),eqBage,21);
            EsBage=[EsBage;temp];
        end
    end

    %Beräknar krafterna i dragbandet
    for i=1:15
        if i==1
            EsBalk=beam2s(ExBalk(i,:),EyBalk(i,:),epBalk,EdBalk(i,:),eqBalk,21);
        else
            temp=beam2s(ExBalk(i,:),EyBalk(i,:),epBalk,EdBalk(i,:),eqBalk,21);
            EsBalk=[EsBalk;temp];
        end
    end

```

---

---

```

end

%Plottar momentdiagram
plotpar=[3 1];
figure(3)
sfac=scalfact2(ExBalk,EyBalk,EsBalk(:,3),0.2);
s=1;
for i=1:15
    for z=1:21
        TempBalk(z,:)=EsBalk(s,3);
        TempBage(z,:)=EsBage(s,3);
        s=s+1;
    end
    eldia2(ExBalk(i,:),EyBalk(i,:),TempBalk(:,1),plotpar,sfac);
    eldia2(ExBage(i,:),EyBage(i,:),TempBage(:,1),plotpar,sfac);
end
title('Moment')
eldraw2(ExStag,EyStag,[1 2 1]);

%Plottar tvärkraftsdiagram
plotpar=[3 1];
figure(4)
sfac=scalfact2(ExBalk,EyBalk,EsBalk(:,2),0.2);
s=1;
for i=1:15
    for z=1:21
        TempBalk(z,:)=EsBalk(s,2);
        TempBage(z,:)=EsBage(s,2);
        s=s+1;
    end
    eldia2(ExBalk(i,:),EyBalk(i,:),TempBalk(:,1),plotpar,sfac);
    eldia2(ExBage(i,:),EyBage(i,:),TempBage(:,1),plotpar,sfac);
end
title('Tvärkraft')
eldraw2(ExStag,EyStag,[1 2 1]);

%Plottar normalkraftsdiagram
plotpar=[3 1];
figure(5)
sfac=scalfact2(ExBalk,EyBalk,EsBalk(:,1),0.2);
s=1;
for i=1:15
    for z=1:21
        TempBalk(z,:)=EsBalk(s,1);
        TempBage(z,:)=EsBage(s,1);
        s=s+1;
    end
    eldia2(ExBalk(i,:),EyBalk(i,:),TempBalk(:,1),plotpar,sfac);
    eldia2(ExBage(i,:),EyBage(i,:),TempBage(:,1),plotpar,sfac);
end
title('Normalkraft')
eldraw2(ExStag,EyStag,[1 2 1]);

%Maxmoment

```

---



---

```

if max(EsBage(:,3))<abs(min(EsBage(:,3)))
    MaxMomentBage=min(EsBage(:,3));
else
    MaxMomentBage=max(EsBage(:,3));
end
if max(EsBalk(:,3))<abs(min(EsBalk(:,3)))
    MaxMomentBalk=min(EsBalk(:,3));
else
    MaxMomentBalk=max(EsBalk(:,3));
end

%Max tvärkraft
if max(EsBage(:,2))<abs(min(EsBage(:,2)))
    MaxTvarkraftBage=min(EsBage(:,2));
else
    MaxTvarkraftBage=max(EsBage(:,2));
end
if max(EsBalk(:,2))<abs(min(EsBalk(:,2)))
    MaxTvarkraftBalk=min(EsBalk(:,2));
else
    MaxTvarkraftBalk=max(EsBalk(:,2));
end

%Max normalkraft
if max(EsBage(:,1))<abs(min(EsBage(:,1)))
    MaxNormalkraftBage=min(EsBage(:,1));
else
    MaxNormalkraftBage=max(EsBage(:,1));
end
if max(EsBalk(:,1))<abs(min(EsBalk(:,1)))
    MaxNormalkraftBalk=min(EsBalk(:,1));
else
    MaxNormalkraftBalk=max(EsBalk(:,1));
end
if max(EsStag(:,1))<abs(min(EsStag(:,1)))
    MaxNormalkraftStag=min(EsStag(:,1));
else
    MaxNormalkraftStag=max(EsStag(:,1));
end

%Maximala nedböjning dragband
if max(EdBalk(:,2))<abs(min(EdBalk(:,2)))
    MaxNedbojning=min(EdBalk(:,2));
else
    MaxNedbojning=max(EdBalk(:,2));
end

```

## Bilaga 8

---

Lastframtagning och armeringsavkortning för  
brobana

---

```

%-----
%Kandidatarbete bro
%Projekt BMTX01-15-42
%Marcus Ahlström, Fredrik Bengtsson, Emmy Dahlström,
%Rikard Landgren Hagen, Johan Röös & August Uddmyr
%
%Beräkning av moment, tvärkraft och dragkraftsbehov för brobanan
%Egentyngdgen kommer alltid finnas oavsett om den är gynnsam eller ej.
%-----

%Rensar alla variabler och stänger alla fönster
clear all
clc
close all

%Indata
alphaQ1=0.9;
alphaq1=0.8;
b=1;           % [m]
h1=0.3;       % [m] betongen
hs=0.04;      % [m] slitlagret
L1=1;         %1 meter strimla
yc=25000;     % [N/m^2]
ys=23000;     % [N/m^2]
d=0.23;       % [m]
s=0.07;       % [m]
fyd=4.348e8;  % [Pa]
fywd=4.348e8; % [Pa]
Asw=1.571e-4; % [m^2]
E=33*10^9;    % [Pa]
I=h1^3*b/12;  % [m^4]
D=0.02;       % [m] armeringsdiameter
alphact=1;
gammac=1.5;
fctk005=2.5e6;
for R=1:3
    if R==1
        disp('Brottgräns')
    %Brottgräns
    %-----
    qt=9*10^3*alphaq1; % [N/m^2]
    ge=yc*h1+ys*hs;    % [N/m^2]
    ged=ge*L1*1.2;     % [N/m] Dimensionerande egentyngd
    qtd=qt*L1*1.5;     % [N/m] Dimensionerande trafiklast
    P=(600*10^3)/3*1.5*alphaQ1;% [N]
    L=5;               % [m] Längden på de olika facken
    %-----
        elseif R==2
            disp('Bruksgräns korttid')
    %Bruksgräns korttid
    %-----
    qt=9*10^3*alphaq1; % [N/m^2]

```

---

---

```

ge=yc*h1+ys*hs;      % [N/m^2]
ged=ge*L1;          % [N/m] Dimensionerande egentygnd
qtd=qt*L1*0.4;      % [N/m] Dimensionerande trafiklast
P=(600*10^3)/3*0.75*alphaQ1;% [N]
L=5;                % [m] Längden på de olika facken
%-----
    else
        disp('Bruksgräns längtid')
    %Bruksgräns längtid
    %-----
    qt=9*10^3*alphaq1; % [N/m^2]
    ge=yc*h1+ys*hs;    % [N/m^2]
    ged=ge*L1*1;      % [N/m] Dimensionerande egentygnd
    qtd=qt*L1*0;      % [N/m] Dimensionerande trafiklast
    P=(600*10^3)/3*0*alphaQ1;% [N]
    L=5;              % [m] Längden på de olika facken
    %-----
    end

%Beräknar det största dragkraftsbehovet, P position varierar med 1cm över ett
%ytterfack. Trafiklast i båda ytterfacken och så litet last som möjligt i
%mittenfacket då den skulle vara gynnsam.
%-----

%Fördimensionerar vektorer
Mfalt1=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod1=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt1=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod1=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos1=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg1=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft
%Mittfack
Mfalt1M=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod1M=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt1M=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod1M=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos1M=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg1M=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Ytterfack 2
Mfalt1H=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod1H=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt1H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod1H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos1H=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg1H=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Index
i=0;
i1=1;
mc=0;
%Flyttar punktlasten i facket och beräknar det största dragkraftbehovet,
%momentet och tvärkraft i varje punkt längs brobanan mellan två tvärbalkar.
for a=0:0.01:5
    j=0;

```

---

---

```

i=i+1;
[M1(i1,:),R1(i1,:)]=BeraknaMR1(L, qtd, ged, P, a);
x(i)=a;
for n1=0:0.01:5
    Ftd=0;
    j=j+1;
    %Snittkrafter
    if n1<a
        %Ytterfack 1
        Mf=-R1(i1,1)*n1+qtd*n1^2/2+ged*n1^2/2;
        Rf=R1(i1,1)-qtd*n1-ged*n1;

    else
        %Ytterfack 1
        Mf=-R1(i1,1)*n1+qtd*n1^2/2+ged*n1^2/2+P*(n1-a);
        Rf=R1(i1,1)-qtd*n1-ged*n1-P;
    end
    %Mittfack
    MfM=-R1(i1,1)*(n1+5)-R1(i1,2)*n1+(ged*(n1+5)^2)/2+qtd*5*(n1+2.5)+P*(5+n1-a);
    RfM=R1(i1,1)+R1(i1,2)-ged*(5+n1)-qtd*5-P;

    %Ytterfack2
    MfH=-M1(i1,2)-R1(i1,8)*n1+ged*n1^2/2+qtd*n1^2/2;
    RfH=R1(i1,8)-ged*n1-qtd*n1;

    %Ytterfack
    %Beräknar deltaFtd
    DFtd=(Rf^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));
    if abs(0.5*Rf)<DFtd
        DFtd=0.5*abs(Rf);
    end
    if DFtd>abs(Rf*1.25)
        DFtd=abs(1.25*Rf);
    end
    %Beräknar Ftd
    if Mf/(0.9*d)>0
        Ftd=Mf/(0.9*d)+DFtd;
    end
    if Mf/(0.9*d)<0
        Ftd=Mf/(0.9*d)-DFtd;
    end

    %Tvärkraft
    if Vneg1(j)>Rf
        Vneg1(j)=Rf;
    end
    if Vpos1(j)<Rf
        Vpos1(j)=Rf;
    end

    %Moment
    if Mfalt1(j)>Mf
        Mfalt1(j)=Mf;
    end
end

```

---

---

```

if Mstod1(j) < Mf
    Mstod1(j) = Mf;
    c = a;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt1(j) > Ftd
    Ftdfalt1(j) = Ftd;
end
if Ftdstod1(j) < Ftd
    Ftdstod1(j) = Ftd;
end

%Mittfack
%Beräknar deltaFtd
DFtdM = (RfM^2/2) * (s / (0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfM) < DFtdM
    DFtdM = 0.5*abs(RfM);
end
if DFtdM > abs(RfM*1.25)
    DFtdM = abs(1.25*RfM);
end
%Beräknar FtdM
if MfM / (0.9*d) > 0
    FtdM = MfM / (0.9*d) + DFtdM;
end
if MfM / (0.9*d) < 0
    FtdM = MfM / (0.9*d) - DFtdM;
end

%Tvärkraft
if Vneg1M(j) > RfM
    Vneg1M(j) = RfM;
end
if Vpos1M(j) < RfM
    Vpos1M(j) = RfM;
end

%Moment
if Mfalt1M(j) > MfM
    Mfalt1M(j) = MfM;
end
if Mstod1M(j) < MfM
    Mstod1M(j) = MfM;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt1M(j) > FtdM
    Ftdfalt1M(j) = FtdM;
end
if Ftdstod1M(j) < FtdM
    Ftdstod1M(j) = FtdM;
end

```

---

```

%Ytterfack 2
%Beräknar deltaFtd
DFtdH= (RfH^2/2) * (s/ (0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfH) < DFtdH
    DFtdH=0.5*abs(RfH);
end
if DFtdH > abs(RfH*1.25)
    DFtdH=abs(1.25*RfH);
end
%Beräknar Ftd
if MfH/ (0.9*d) > 0
    FtdH=MfH/ (0.9*d) + DFtdH;
end
if MfH/ (0.9*d) < 0
    FtdH=MfH/ (0.9*d) - DFtdH;
end

%Tvärkraft
if Vneg1H(j) > RfH
    Vneg1H(j) = RfH;
end
if Vpos1H(j) < RfH
    Vpos1H(j) = RfH;
end

%Moment
if Mfalt1H(j) > MfH
    Mfalt1H(j) = MfH;
end
if Mstod1H(j) < MfH
    Mstod1H(j) = MfH;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt1H(j) > FtdH
    Ftdfalt1H(j) = FtdH;
end
if Ftdstod1H(j) < FtdH
    Ftdstod1H(j) = FtdH;
end
end
i1=i1+1;
end

%Plottar det maximala moment som någonsin uppkommer i brobanan
%Plottar moment vänsterfack
%figure(6)
%axis([0 15 -4e5 2e5])
%title('Lastfall 1')
%ylabel(' [Nm] ')
%xlabel(' [m] ')
%hold on
%plot(x,Mfalt1,'r','LineWidth',2)
%plot(x,Mstod1,'r','LineWidth',2)

```

---

---

```

%grid on

%Plottar moment mittfack
%x1=linspace(5,10,501);
%hold on
%plot(x1,Mfalt1M,'r','LineWidth',2)
%plot(x1,Mstod1M,'r','LineWidth',2)
%grid on

%Plottar moment högerfack
%x2=linspace(10,15,501);
%hold on
%plot(x2,Mfalt1H,'r','LineWidth',2)
%plot(x2,Mstod1H,'r','LineWidth',2)
%grid on

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(3)
%xlabel(' [m] ')
%ylabel(' [N] ')
%hold on
%plot(x,Ftdfalt1,'r','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod1,'r','LineWidth',2)
%grid on

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(4)
%xlabel(' [m] ')
%ylabel(' [N] ')
%hold on
%plot(x,Ftdfalt1M,'r','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod1M,'r','LineWidth',2)
%grid on

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(5)
%xlabel(' [m] ')
%ylabel(' [N] ')
%hold on
%plot(x,Ftdfalt1H,'r','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod1H,'r','LineWidth',2)
%grid on

%-----

%Beräknar stödmoment, undersöker två fall. Det första fallet är med
%trafiklast i mitten och ett av ytterfacken med punktlasten som varierar i
%ytterfacket.
%-----

%Fördimensionerar vektorer
Mfalt2=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod2=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt2=zeros(501); %Dragkraftsbehov i fält

```

---



---

```

Ftdstod2=zeros(501); %Dragkraftsbehov i stöd
Vpos2=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg2=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Mittfack
Mfalt2M=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod2M=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt2M=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod2M=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos2M=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg2M=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Ytterfack 2
Mfalt2H=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod2H=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt2H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod2H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos2H=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg2H=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Index
i=0;
i2=1;

%Flyttar punktlasten i facket och beräknar det största dragkraftbehovet,
%momentet och tvärkraft i varje punkt längs brobanan mellan två tvärbalkar.
for a=0:0.01:5
    Ftd=0;
    [M2(i2,:),R2(i2,.)]=BeraknaMR2(L, qtd, ged, P, a);
    j=0;
    i=i+1;
    x(i)=a;
    for n2=0:0.01:5
        j=j+1;
        %Snittkrafter
        %Ytterfack 1
        if n2<a
            Mf2=-R2(i2,1)*n2+qtd*n2^2/2+ged*n2^2/2;
            Rf2=R2(i2,1)-qtd*n2-ged*n2;
        else
            Mf2=-R2(i2,1)*n2+qtd*n2^2/2+ged*n2^2/2+P*(n2-a);
            Rf2=R2(i2,1)-qtd*n2-ged*n2-P;
        end
        %Mittfack
        MfM=-M2(i2,1)-R2(i2,6)*n2+qtd*n2^2/2+ged*n2^2/2;
        RfM=R2(i2,6)-qtd*n2-ged*n2;

        %Ytterfack2
        MfH=-M2(i2,2)-R2(i2,8)*n2+ged*n2^2/2;
        RfH=R2(i2,8)-qtd*n2;

        %DeltaFtd
        DFtd=(Rf2^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));

```

---

---

```

if abs(0.5*Rf2)<DFtd
    DFtd=0.5*abs(Rf2);
end
if DFtd>abs(Rf2*1.25)
    DFtd=abs(1.25*Rf2);
end
%Ftd
if Mf2/(0.9*d)>0
    Ftd=Mf2/(0.9*d)+DFtd;
end
if Mf2/(0.9*d)<0
    Ftd=Mf2/(0.9*d)-DFtd;
end

%Tvärkraft
if Vneg2(j)>Rf2
    Vneg2(j)=Rf2;
end
if Vpos2(j)<Rf2
    Vpos2(j)=Rf2;
end

%Moment
if Mfalt2(j)>Mf2
    Mfalt2(j)=Mf2;
end
if Mstod2(j)<Mf2
    Mstod2(j)=Mf2;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt2(j)>Ftd
    Ftdfalt2(j)=Ftd;
end
if Ftdstod2(j)<Ftd
    Ftdstod2(j)=Ftd;
end

%Mittfack
%Beräknar deltaFtd
DFtdM=(RfM^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfM)<DFtdM
    DFtdM=0.5*abs(RfM);
end
if DFtdM>abs(RfM*1.25)
    DFtdM=abs(1.25*RfM);
end
%Beräknar Ftd
if MfM/(0.9*d)>0
    FtdM=MfM/(0.9*d)+DFtdM;
end
if MfM/(0.9*d)<0
    FtdM=MfM/(0.9*d)-DFtdM;
end

```

---

---

```

%Tvärkraft
if Vneg2M(j) > RfM
    Vneg2M(j) = RfM;
end
if Vpos2M(j) < RfM
    Vpos2M(j) = RfM;
end

%Moment
if Mfalt2M(j) > MfM
    Mfalt2M(j) = MfM;
end
if Mstod2M(j) < MfM
    Mstod2M(j) = MfM;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt2M(j) > FtdM
    Ftdfalt2M(j) = FtdM;
end
if Ftdstod2M(j) < FtdM
    Ftdstod2M(j) = FtdM;
end

%Ytterfack 2
%Beräknar deltaFtd
DFtdH = (RfH^2/2) * (s / (0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfH) < DFtdH
    DFtdH = 0.5*abs(Rf2H);
end
if DFtdH > abs(RfH*1.25)
    DFtdH = abs(1.25*Rf2H);
end
%Beräknar Ftd
if MfH / (0.9*d) > 0
    FtdH = MfH / (0.9*d) + DFtdH;
end
if MfH / (0.9*d) < 0
    FtdH = MfH / (0.9*d) - DFtdH;
end

%Tvärkraft
if Vneg2H(j) > RfH
    Vneg2H(j) = RfH;
end
if Vpos2H(j) < RfH
    Vpos2H(j) = RfH;
end

%Moment
if Mfalt2H(j) > MfH
    Mfalt2H(j) = MfH;
end
end

```

---

---

```

    if Mstod2H(j) < MfH
        Mstod2H(j) = MfH;
    end

    %Dragkraftsbehov
    if Ftdfalt2H(j) > FtdH
        Ftdfalt2H(j) = FtdH;
    end
    if Ftdstod2H(j) < FtdH
        Ftdstod2H(j) = FtdH;
    end
end
end
i2=i2+1;
end

%Plottar det maximala moment som någonsin uppkommer i brobanan
%Plottar moment vänstefack
%figure(7)
%axis([0 15 -4e5 2e5])
%title('Lastfall 2')
%ylabel(' [Nm] ')
%xlabel(' [m] ')
%hold on
%plot(x,Mfalt2,'LineWidth',2)
%plot(x,Mstod2,'LineWidth',2)
%grid on

%Plottar moment mittfack
%hold on
%x1=linspace(5,10,501);
%plot(x1,Mfalt2M,'LineWidth',2)
%plot(x1,Mstod2M,'LineWidth',2)

%Plottar moment högerfack
%hold on
%x2=linspace(10,15,501);
%plot(x2,Mfalt2H,'LineWidth',2)
%plot(x2,Mstod2H,'LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%Ytterfack 1
%figure(3)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt2,'LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod2,'LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%Mittfack
%figure(4)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt2M,'LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod2M,'LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet

```

---

---

```

%figure(5)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt2H,'LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod2H,'LineWidth',2)
%-----

%Beräknar Ftd, undersöker andra fallet nedan.
%Trafiklast i mitten och ett av ytterfacken med punktlasten som varierar i
%innerfacket.
%-----

%Fördimensionerar vektorer
Mfalt3=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod3=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt3=zeros(501); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod3=zeros(501); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos3=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg3=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Ytterfack Vänster
Mfalt3V=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod3V=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt3V=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod3V=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos3V=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg3V=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Ytterfack 2
Mfalt3H=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod3H=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt3H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod3H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos3H=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg3H=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Index
i=0;
i3=1;

%Flyttar punktlasten i facket och beräknar det största dragkraftsbehovet,
%momentet och tvärkraft i varje punkt längs brobanan mellan två tvärbalkar.
for a=0:0.01:5
    FtdV=0;
    [M3(i3,:),R3(i3,.)]=BeraknaMR3(L,qtd,ged,P,a);
    j=0;
    i=i+1;
    x(i)=a;
    Ftd=0;
    for n3=0:0.01:5
        j=j+1;
        %Snittkrafter

        %Mittfack
        if n3<a

```

---

```

    Mf3=-M3(i3,1)-R3(i3,6)*n3+qtd*n3^2/2+ged*n3^2/2;
    Rf3=R3(i3,6)-qtd*n3-ged*n3;
else
    Mf3=-M3(i3,1)-R3(i3,6)*n3+qtd*n3^2/2+ged*n3^2/2+P*(n3-a);
    Rf3=R3(i3,6)-qtd*n3-ged*n3-P;
end

%YtterfackVänster
MfV=-R3(i3,1)*n3+qtd*n3^2/2+ged*n3^2/2;
RfV=R3(i3,1)-qtd*n3-ged*n3;

%Ytterfack höger
MfH=-M3(i3,2)-R3(i3,8)*n3+ged*n3^2/2;
RfH=R3(i3,8)-ged*n3;

%DeltaFtd
DFtd=(Rf3^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*Rf3)<DFtd
    DFtd=0.5*abs(Rf3);
end
if DFtd>abs(Rf3*1.25)
    DFtd=abs(1.25*Rf3);
end
%Ftd
if Mf3/(0.9*d)>0
    Ftd=Mf3/(0.9*d)+DFtd;
end
if Mf3/(0.9*d)<0
    Ftd=Mf3/(0.9*d)-DFtd;
end

%Tvärkraft
if Vneg3(j)>Rf3
    Vneg3(j)=Rf3;
end
if Vpos3(j)<Rf3
    Vpos3(j)=Rf3;
end

%Moment
if Mfalt3(j)>Mf3
    Mfalt3(j)=Mf3;
end
if Mstod3(j)<Mf3
    Mstod3(j)=Mf3;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt3(j)>Ftd
    Ftdfalt3(j)=Ftd;
end
if Ftdstod3(j)<Ftd
    Ftdstod3(j)=Ftd;
end

```

---

---

```

%Vänster ytterfack
%Beräknar deltaFtd
DFtdV=(RfV^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfV)<DFtdV
    DFtdV=0.5*abs(RfV);
end
if DFtdV>abs(RfV*1.25)
    DFtdV=abs(1.25*RfV);
end
%Beräknar Ftd
if MfV/(0.9*d)>0
    FtdV=MfV/(0.9*d)+DFtdV;
end
if MfV/(0.9*d)<0
    FtdV=MfV/(0.9*d)-DFtdV;
end

%Tvärkraft
if Vneg3V(j)>RfV
    Vneg3V(j)=RfV;
end
if Vpos3V(j)<RfV
    Vpos3V(j)=RfV;
end

%Moment
if Mfalt3V(j)>MfV
    Mfalt3V(j)=MfV;
end
if Mstod3V(j)<MfV
    Mstod3V(j)=MfV;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt3V(j)>FtdV
    Ftdfalt3V(j)=FtdV;
end
if Ftdstod3V(j)<FtdV
    Ftdstod3V(j)=FtdV;
end

%Ytterfack 2
%Beräknar deltaFtd
DFtdH=(RfH^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfH)<DFtdH
    DFtdH=0.5*abs(RfH);
end
if DFtdH>abs(RfH*1.25)
    DFtdH=abs(1.25*RfH);
end
%Beräknar Ftd
if MfH/(0.9*d)>0
    FtdH=MfH/(0.9*d)+DFtdH;

```

---

```

end
if MfH/(0.9*d)<0
    FtdH=MfH/(0.9*d)-DFtdH;
end

%Tvärkraft
if Vneg3H(j)>RfH
    Vneg3H(j)=RfH;
end
if Vpos3H(j)<RfH
    Vpos3H(j)=RfH;
end

%Moment
if Mfalt3H(j)>MfH
    Mfalt3H(j)=MfH;
end
if Mstod3H(j)<MfH
    Mstod3H(j)=MfH;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt3H(j)>FtdH
    Ftdfalt3H(j)=FtdH;
end
if Ftdstod3H(j)<FtdH
    Ftdstod3H(j)=FtdH;
end
end
i3=i3+1;
end

%Plottar det maximala moment som någonsin uppkommer i brobanan
%Plottar moment vänsterfack
%figure(8)
%axis([0 15 -4e5 2e5])
%title('Lastfall 3')
%ylabel(' [Nm] ')
%xlabel(' [m] ')
%hold on
%plot(x,Mfalt3V,'g','LineWidth',2)
%plot(x,Mstod3V,'g','LineWidth',2)
%grid on

%Plottar moment mittfack
%x1=linspace(5,10,501);
%hold on
%plot(x1,Mfalt3,'g','LineWidth',2)
%plot(x1,Mstod3,'g','LineWidth',2)

%Plottar moment högerfack
%x2=linspace(10,15,501);
%hold on
%plot(x2,Mfalt3H,'g','LineWidth',2)

```

---



---

```

%plot(x2,Mstod3H,'g','LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(3)
%plot(x,Ftdfalt3V,'g','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod3V,'g','LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%Mittfack
%figure(4)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt3,'g','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod3,'g','LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(5)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt3H,'g','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod3H,'g','LineWidth',2)

%-----
%-----

%Beräknar Ftd, undersöker fallet nedan.
%Trafiklast över hela med punktlasten som varierar i
%innerfacket.
%-----

%Fördimensionerar vektorer
Mfalt4M=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod4M=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt4M=zeros(501); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod4M=zeros(501); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos4M=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg4M=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Ytterfack Vänster
Mfalt4V=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod4V=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt4V=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod4V=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos4V=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg4V=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Ytterfack 2
Mfalt4H=zeros(501,1); %Fältmoment
Mstod4H=zeros(501,1); %Stödmoment
Ftdfalt4H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov i fält
Ftdstod4H=zeros(501,1); %Dragkraftsbehov vid stöd
Vpos4H=zeros(501,1); %Positiv tvärkraft
Vneg4H=zeros(501,1); %Negativ tvärkraft

%Index

```

---

---

```

i=0;
i3=1;

%Flyttar punktlasten i facket och beräknar det största dragkraftbehovet,
%momentet och tvärkraft i varje punkt längs brobanan mellan två tvärbalkar.
for a=0:0.01:5
    FtdV=0;
    FtdH=0;
    [M4(i3,:),R4(i3,.)]=BeraknaMR4(L, qtd, ged, P, a);
    j=0;
    i=i+1;
    x(i)=a;
    Ftd=0;
    for n4=0:0.01:5
        j=j+1;
        %Snittkrafter

        %Mittfack
        if n4<a
            MfM=-M4(i3,1)-R4(i3,6)*n4+qtd*n4^2/2+ged*n4^2/2;
            RfM=R4(i3,6)-qtd*n4-ged*n4;
        else
            MfM=-M4(i3,1)-R4(i3,6)*n4+qtd*n4^2/2+ged*n4^2/2+P*(n4-a);
            RfM=R4(i3,6)-qtd*n4-ged*n4-P;
        end

        %YtterfackVänster
        MfV=-R4(i3,1)*n4+qtd*n4^2/2+ged*n4^2/2;
        RfV=R4(i3,1)-qtd*n4-ged*n4;

        %Ytterfack höger
        MfH=-M4(i3,2)-R4(i3,8)*n4+ged*n4^2/2+qtd*n4^2/2;
        RfH=R4(i3,8)-ged*n4-qtd*n4;

        %Mittfack
        %DeltaFtd
        DFtd=(RfM^2/2)*(s/(0.9*d*Asw*fywd));
        if abs(0.5*RfM)<DFtd
            DFtd=0.5*abs(RfM);
        end
        if DFtd>abs(RfM*1.25)
            DFtd=abs(1.25*RfM);
        end
        %Ftd
        if MfM/(0.9*d)>0
            Ftd=MfM/(0.9*d)+DFtd;
        end
        if MfM/(0.9*d)<0
            Ftd=MfM/(0.9*d)-DFtd;
        end

        %Tvärcraft
        if Vneg4M(j)>RfM
            Vneg4M(j)=RfM;

```

---

---

```

end
if Vpos4M(j) < RfM
    Vpos4M(j) = RfM;
end

%Moment
if Mfalt4M(j) > MfM
    Mfalt4M(j) = MfM;
end
if Mstod4M(j) < MfM
    Mstod4M(j) = MfM;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt4M(j) > Ftd
    Ftdfalt4M(j) = Ftd;
end
if Ftdstod4M(j) < Ftd
    Ftdstod4M(j) = Ftd;
end

%Vänster ytterfack
%Beräknar deltaFtd
DFtdV = (RfV^2/2) * (s / (0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfV) < DFtdV
    DFtdV = 0.5*abs(RfV);
end
if DFtdV > abs(RfV*1.25)
    DFtdV = abs(1.25*RfV);
end
%Beräknar Ftd
if MfV / (0.9*d) > 0
    FtdV = MfV / (0.9*d) + DFtdV;
end
if MfV / (0.9*d) < 0
    FtdV = MfV / (0.9*d) - DFtdV;
end

%Tvärkraft
if Vneg4V(j) > RfV
    Vneg4V(j) = RfV;
end
if Vpos4V(j) < RfV
    Vpos4V(j) = RfV;
end

%Moment
if Mfalt4V(j) > MfV
    Mfalt4V(j) = MfV;
end
if Mstod4V(j) < MfV
    Mstod4V(j) = MfV;
end

```

---

```

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt4V(j) > FtdV
    Ftdfalt4V(j) = FtdV;
end
if Ftdstod4V(j) < FtdV
    Ftdstod4V(j) = FtdV;
end

%Ytterfack 2
%Beräknar deltaFtd
DFtdH = (RfH^2/2) * (s / (0.9*d*Asw*fywd));
if abs(0.5*RfH) < DFtdH
    DFtdH = 0.5*abs(RfH);
end
if DFtdH > abs(RfH*1.25)
    DFtdH = abs(1.25*RfH);
end
%Beräknar Ftd
if MfH / (0.9*d) > 0
    FtdH = MfH / (0.9*d) + DFtdH;
end
if MfH / (0.9*d) < 0
    FtdH = MfH / (0.9*d) - DFtdH;
end

%Tvärkraft
if Vneg4H(j) > RfH
    Vneg4H(j) = RfH;
end
if Vpos4H(j) < RfH
    Vpos4H(j) = RfH;
end

%Moment
if Mfalt4H(j) > MfH
    Mfalt4H(j) = MfH;
end
if Mstod4H(j) < MfH
    Mstod4H(j) = MfH;
end

%Dragkraftsbehov
if Ftdfalt4H(j) > FtdH
    Ftdfalt4H(j) = FtdH;
end
if Ftdstod4H(j) < FtdH
    Ftdstod4H(j) = FtdH;
end
end
i3 = i3 + 1;
end

%Plottar det maximala moment som någonsin uppkommer i brobanan
%Plottar moment vänsterfack

```

---

---

```

%figure(9)
%axis([0 15 -4e5 2e5])
%title('Lastfall 4')
%ylabel(' [Nm] ')
%xlabel(' [m] ')
%hold on
%plot(x,Mfalt4V,'m','LineWidth',2)
%plot(x,Mstod4V,'m','LineWidth',2)
%grid on

%Plottar moment mittfack
%x1=linspace(5,10,501);
%hold on
%plot(x1,Mfalt4M,'m','LineWidth',2)
%plot(x1,Mstod4M,'m','LineWidth',2)

%Plottar moment högerfack
%x2=linspace(10,15,501);
%hold on
%plot(x2,Mfalt4H,'m','LineWidth',2)
%plot(x2,Mstod4H,'m','LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(3)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt4V,'m','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod4V,'m','LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%Mittfack
%figure(4)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt4M,'m','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod4M,'m','LineWidth',2)

%Plottar dragkraftsbehovet
%figure(5)
%hold on
%plot(x,Ftdfalt4H,'m','LineWidth',2)
%plot(x,Ftdstod4H,'m','LineWidth',2)

%-----

%Vidhäftningshållfasthet
n1=1; %tabell B10.2 Bärande konstruktioner
n2=1; %För att armeringsdiametern <32mm
fctd=(alphact*fctk005)/gammac; %ekv(B2-10)
fbd=2.25*n1*n2*fctd; % ekv(B10-37)
%alpha1 - alpha5 = 1 för att vara på den säkra sidan

%Krafttillväxt per stång
Sbd=(pi*D*fbd)/1; %ekv(B10-38)

```

---

---

```

%Maximal dimensionerande förankringslängd
lbdmax=(fyd*pi*(D^2/4))/Sbd;

%Beräknar förankringslängden
lbd=abs(Ftdfalt1(2)/(6*Sbd));

%Beräknar dragkraftskapacitet
%För 2 stänger
F2=fyd*pi*(D^2/4)*2;
%För 4 stänger
F4=fyd*pi*(D^2/4)*4;
%För 6 stänger
F6=fyd*pi*(D^2/4)*6;
%För 8 stänger
F8=fyd*pi*(D^2/4)*8;
%För 10 stänger
F10=fyd*pi*(D^2/4)*10;
%För 12 stänger
F12=fyd*pi*(D^2/4)*12;
%För 14 stänger
F14=fyd*pi*(D^2/4)*14;
%För 16 stänger
F16=fyd*pi*(D^2/4)*16;

%Dragkraftsbehov
%Underkantsarmering
x=[-lbd -lbd+lbdmax -lbd+2*lbdmax 3.5 3.5+lbdmax 3.5+lbdmax*2 5];
y=[0 -F6 -F12 -F12 -F6 -F4 -F4];
%figure(3)
%plot(x,y,'k')

x=[5+lbd 5+lbd-lbdmax 5+lbd-2*lbdmax 1.5 1.5-lbdmax 1.5-lbdmax*2 0];
%figure(5)
%plot(x,y,'k')

x=[0 0.5 0.5+lbdmax 5-0.5-lbdmax 5-0.5 5];
y=[-F4 -F4 -F12 -F12 -F4 -F4];
%figure(4)
%plot(x,y,'k')

%Överkantsarmering
x=[-lbd -lbd+lbdmax 2.5 2.5+lbdmax 4 4+lbdmax 5];
y=[0 F2 F2 F4 F4 F8 F8];
%figure(3)
%plot(x,y,'k')

x=[5+lbd 5-lbdmax+lbd 2.5 2.5-lbdmax 1 1-lbdmax 0];
%figure(5)
%plot(x,y,'k')

x=[0 1 1+lbdmax 4-lbdmax 4 5];
y=[F8 F8 F4 F4 F8 F8];

```

---

---

```
%figure(4)
%plot(x,y,'k')
```

```
%-----
```

```
%Tar fram maxvärden på moment och tvärkraft
```

```
%-----
```

```
%Stödmoment
```

```
Stod(1)=max(Mstod1);
Stod(2)=max(Mstod1M);
Stod(3)=max(Mstod1H);
```

```
Stod(4)=max(Mstod2);
Stod(5)=max(Mstod2M);
Stod(6)=max(Mstod2H);
```

```
Stod(7)=max(Mstod3);
Stod(8)=max(Mstod3V);
Stod(9)=max(Mstod3H);
```

```
Stod(10)=max(Mstod4V);
Stod(11)=max(Mstod4M);
Stod(12)=max(Mstod4H);
maxStod=max(Stod)
```

```
%Fältmoment
```

```
Falt(1)=min(Mfalt1);
Falt(2)=min(Mfalt1M);
Falt(3)=min(Mfalt1H);
```

```
Falt(4)=min(Mfalt2);
Falt(5)=min(Mfalt2M);
Falt(6)=min(Mfalt2H);
```

```
Falt(7)=min(Mfalt3);
Falt(8)=min(Mfalt3V);
Falt(9)=min(Mfalt3H);
```

```
Falt(10)=min(Mfalt4V);
Falt(11)=min(Mfalt4M);
Falt(12)=min(Mfalt4H);
```

```
minFalt=min(Falt)
```

```
%Tvärfkraft
```

```
V(1)=min(Vneg1);
V(2)=min(Vneg2);
V(3)=min(Vneg3);
```

```
V(4)=max(Vpos1);
V(5)=max(Vpos2);
V(6)=max(Vpos3);
```

```
V(7)=min(Vneg1M);
```

---

```
V(8)=min(Vneg2M);
V(9)=min(Vneg3V);

V(10)=max(Vpos1M);
V(11)=max(Vpos2M);
V(12)=max(Vpos3V);

V(13)=min(Vneg1H);
V(14)=min(Vneg2H);
V(15)=min(Vneg3H);

V(16)=max(Vpos1H);
V(17)=max(Vpos2H);
V(18)=max(Vpos3H);

V(19)=min(Vneg4H);
V(20)=min(Vneg4M);
V(21)=min(Vneg4V);

V(22)=max(Vpos4V);
V(23)=max(Vpos4M);
V(24)=max(Vpos4H);
```

```
MaxV=max(abs(V))
```

```
end
```

```
%-----
```

```
Brottgräns
```

```
maxStod =
```

```
1.9532e+05
```

```
minFalt =
```

```
-3.2402e+05
```

```
MaxV =
```

```
333612
```

```
Bruksgräns korttid
```

```
maxStod =
```

```
9.8732e+04
```

```
minFalt =
```

```
-1.6235e+05
```



---

MaxV =

169140

*Bruksgräns långtid*

maxStod =

21050

minFalt =

-16840

MaxV =

25260

---

```

% Beräknar stödreaktioner och momentkrafter
function [M1,R1]=BeraknaMR1(L, qtd, ged, P, a)
% Beräknar momentkrafterna med hjälp av elemntarfall
b=L-a;
A=[L*2/3 L/6;L/6 L*2/3];
c=-[P/6*(a*L*(1-(a^2/L^2)))+(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/24;(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/24];
M1=A\c;
MB=M1(1);
MC=M1(2);
% Beräknar reaktionskrafterna med hjälp av elementarfall
RA=MB/L+b*P/L+(qtd+ged)*L/2;
RBV=-MB/L+a*P/L+(qtd+ged)*L/2;
RBH=-MB/L+MC/L+ged*L/2;
RB=RBV+RBH;
RCV=MB/L-MC/L+ged*L/2;
RCH=-MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RC=RCV+RCH;
RD=MC/L+(ged+qtd)*L/2;
R1=[RA RB RC RD RBV RBH RCV RCH];
end

```

---

```

% Beräknar stödreaktioner och momentkrafter
function [M2,R2]=BeraknaMR2(L, qtd, ged, P, a)
% Beräknar momentkrafterna med hjälp av elemntarfall
b=L-a;
A=[L*2/3 L/6;L/6 L*2/3];
c=-[P/6*(a*L*(1-(a^2/L^2)))+(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/12;...
(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/24];
M2=A\c;
MB=M2(1);
MC=M2(2);
% Beräknar reaktionskrafterna med hjälp av elementarfall
RA=MB/L+b*P/L+(qtd+ged)*L/2;
RBV=-MB/L+a*P/L+(qtd+ged)*L/2;
RBH=-MB/L+MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RB=RBV+RBH;
RCV=MB/L-MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RCH=-MC/L+ged*L/2;
RC=RCV+RCH;
RD=MC/L+ged*L/2;
R2=[RA RB RC RD];

% Vektorer med momenten och reaktionskrafter
M2=[MB MC];
R2=[RA RB RC RD RBV RBH RCV RCH];
end

```

---

```

% Beräknar stödreaktioner och momentkrafter
function [M3,R3]=BeraknaMR3(L, qtd, ged, P, a)
% Beräknar momentkrafterna med hjälp av elemntarfall

b=L-a;
A=[L*2/3 L/6;L/6 L*2/3];
c=-[P/6*(b*L*(1-(b^2/L^2)))+(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/12;...
P/6*(a*L*(1-(a^2/L^2)))+(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/24];
M3=A\c;
MB=M3(1);
MC=M3(2);
% Beräknar reaktionskrafterna med hjälp av elementarfall
RA=MB/L+(qtd+ged)*L/2;
RBV=-MB/L+(qtd+ged)*L/2;
RBH=-MB/L+b*P/L+MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RB=RBV+RBH;
RCV=MB/L+a*P/L-MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RCH=-MC/L+ged*L/2;
RC=RCV+RCH;
RD=MC/L+ged*L/2;

% Vektorer med momenten och reaktionskrafter
M3=[MB MC];
R3=[RA RB RC RD RBV RBH RCV RCH];
end

```

---

```

% Beräknar stödreaktioner och momentkrafter
function [M4,R4]=BeraknaMR4(L, qtd, ged, P, a)
% Beräknar momentkrafterna med hjälp av elemntarfall

b=L-a;
A=[L*2/3 L/6;L/6 L*2/3];
c=-[P/6*(b*L*(1-(b^2/L^2)))+(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/12;...
P/6*(a*L*(1-(a^2/L^2)))+(ged*L^3)/12+qtd*(L^3)/12];
M4=A\c;
MB=M4(1);
MC=M4(2);
% Beräknar reaktionskrafterna med hjälp av elementarfall
RA=MB/L+(qtd+ged)*L/2;
RBV=-MB/L+(qtd+ged)*L/2;
RBH=-MB/L+b*P/L+MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RB=RBV+RBH;
RCV=MB/L+a*P/L-MC/L+(ged+qtd)*L/2;
RCH=-MC/L+(qtd+ged)*L/2;
RC=RCV+RCH;
RD=MC/L+(qtd+ged)*L/2;

% Vektorer med momenten och reaktionskrafter
M4=[MB MC];
R4=[RA RB RC RD RBV RBH RCV RCH];
end

```

*Published with MATLAB® R2013b*

## Bilaga 9

---

### Lastframtagning för tvärbalkar

---

```

%-----
%Kandidatarbete bro
%Projekt BMTX01-15-42
%Marcus Ahlström, Fredrik Bengtsson, Emmy Dahlström
%Rikard Landegren Hagen, Johan Röös & August Uddmyr
%
%Lastframtagning för brott- och bruksgränstillstånd för tvärbalkar
%-----

%Tömmer gamla variabler och stänger alla fönster
clear all
close all
clc
%Indata betongbana
b=12; %[m] längd på tvärbalken
hb=0.30; %[m] höjd för betongbanan
yb=25*10^3; %[N/m^3] tunghet för betong
cc=5; %[m] cc-mått mellan tvärbalkar
%Indata beläggning
hbe=0.04; %[m]höjd beläggning
ybe=23*10^3; %[N/m^3] tungehet beläggning

%engenvikt tvärbalk
h=0.6; %[m] total höjd för stålbalcken
tfu=0.03; %[m] tjocklek underfläns
tfo=0.03; %[m] tjocklek överfläns
a=0.005; %[m] svetsens a-mått
hw=h-tfu-tfo; %[m] livets höjd
bf=0.4; %[m] bredd fläns
tw=0.015; %[m] tjocklek liv

dstal=7800; %[kg/m^3] tunghet för stål enligt Bärande del 1 sid S32
A=hw*tw+bf*tfu+bf*tfo+4*a*a; % [m^2] Area för stålprofilen
ystal=dstal*A*9.82; %[N/m] engenvikt för tvärsnittet
for R=1:2
    if R==1
        disp('Bruksgränstillstånd')
%Laster i bruksgränstillstånd enligt SS-EN 1990
%Karaktäristiska värden
Prk=0.5*10^3*cc; %[N] Egentyngdräcken
q1k=0.8*9*10^3*cc; %[N/m] trafiklast
q2k=1*2.5*10^3*cc; %[N/m] trafiklast q3k=q2k
P1k=0.9*600*10^3; %[N] trafiklast
P2k=0.9*400*10^3; %[N]trafiklast

%Egentyngd brobana
gk=hb*yb*cc+hbe*ybe*cc+ystal; %[N/m]

%Dimensionerande laster enligt 6.10c SS-EN 1990
%Bruksgränstillstånd
gd=gk; %[N/m]
Pr=Prk; %[N]

```

---

---

```

P1=P1k*0.75;%[N]
P2=P2k*0.75;%[N]
q1=q1k*0.4;%[N/m]
q2=q2k*0.4;%[N/m]
    else
        disp('Brottgränstillstånd')
%Laster i brottgränstillstånd enligt SS-EN1990
%Karaktäristiska värden
Prk=0.5*10^3*cc;%[N]Egentyngd räcken
q1k=0.8*9*10^3*cc;%[N/m] Trafiklast
q2k=1*2.5*10^3*cc;%[N/m] Trafiklast q3k=q2k
P1k=0.9*600*10^3;%[N]Trafiklast
P2k=0.9*400*10^3;%[N]Trafiklast
%Egentyngd brobana
gk=hb*yb*cc+hbe*ybe*cc+ystal;%[N/m]
%Dimensionerande laster enligt 6.10b SS-EN 1990
gd=gk*1.2;%[N/m]
Pr=Prk*1.2;%[N]
P1=P1k*1.5;%[N]
P2=P2k*1.5;%[N]
q1=q1k*1.5;%[N/m]
q2=q2k*1.5;%[N/m]
    end

%Beräknar största fältmoment

%Avstånd lastfall 1 [m]
L=12;
Lpr1=0.5;
Lq21=0.5;
Lq22_1=4.5;
Lp2_1=3;
Lq11_1=4.5;
Lq12_1=7.5;
Lq23_1=7.5;
Lq24_1=11.5;
Lp1_1=6;
% Lastfall 1 Momentmax
%Momentjämnvikt kring Rb_1. För att få reaktionskrafter

Ra_1=(Pr*11.5+q2*4*9.5+P2*9+q1*3*6+P1*6+q2*4*2.5+gd*12*6+Pr*0.5)/12;
Rb_1=-Ra_1+Pr+q2*4+P2+q1*3+P1+q2*4+gd*12+Pr;

%Snittkrafter 0 m < x < 0.5 m
x1_1=linspace(0,Lpr1);
Vx1_1=Ra_1-gd*x1_1;
Mx1_1=-Ra_1*x1_1+gd*x1_1.^2/2;

%Snittkrafter 0.5 m < x < 3 m
x2_1=linspace(Lpr1,Lp2_1);
Vx2_1=Ra_1-gd*x2_1-Pr-q2*(x2_1-Lpr1);
Mx2_1=-Ra_1*x2_1+gd*x2_1.^2/2+Pr*(x2_1-Lpr1)+q2*(x2_1-Lpr1).^2/2;

%Snittkrafter 3 m < x < 4.5 m

```

---



---

```

x3_1=linspace(Lp2_1,Lq22_1);
Vx3_1=Ra_1-gd*x3_1-Pr-q2*(x3_1-Lpr1)-P2;
Mx3_1=-Ra_1*x3_1+(gd*x3_1.^2)/2+Pr*(x3_1-Lpr1)...
      +(q2*(x3_1-Lpr1).^2)/2+P2*(x3_1-Lp2_1);

%Snittkrafter 4.5 m < x < 6 m
x4_1=linspace(Lq22_1,Lp1_1);
Vx4_1=Ra_1-gd*x4_1-Pr-q2*(Lq22_1-Lpr1)-P2-q1*(x4_1-Lq22_1);
Mx4_1=-Ra_1*x4_1+gd*x4_1.^2/2+Pr*(x4_1-Lpr1)...
      +q2*(Lq22_1-Lpr1)*(x4_1-(Lq22_1-Lpr1)/2)+...
      P2*(x4_1-Lp2_1)+q1*(x4_1-Lq22_1).^2/2;

%Snittkrafter 6 m < x < 7.5 m
x5_1=linspace(Lp1_1,Lq12_1);
Vx5_1=Ra_1-gd*x5_1-Pr-q2*(Lq22_1-Lpr1)-P2-q1*(x5_1-Lq22_1)-P1;
Mx5_1=-Ra_1*x5_1+gd*x5_1.^2/2+Pr*(x5_1-Lpr1)...
      +q2*(Lq22_1-Lpr1)*(x5_1-(Lq22_1-Lpr1)/2-Lpr1)...
      +P2*(x5_1-Lp2_1)+q1*(x5_1-Lq22_1).^2/2+P1*(x5_1-Lp1_1);

%Snittkrafter 7.5 m < x < 11.5 m
x6_1=linspace(Lq12_1,Lq24_1);
Vx6_1=Ra_1-gd*x6_1-Pr-q2*(Lq22_1-Lpr1)-P2-q1*(Lq12_1-Lq22_1)...
      -P1-q2*(x6_1-Lq12_1);
Mx6_1=-Ra_1*x6_1+gd*x6_1.^2/2+Pr*(x6_1-Lpr1)...
      +q2*(Lq22_1-Lpr1)*(x6_1-(Lq22_1-Lpr1)/2-Lpr1)...
      +P2*(x6_1-Lp2_1)+q1*(Lq12_1-Lq22_1)*(x6_1-(Lq12_1-Lq22_1)/2-Lq11_1)...
      +P1*(x6_1-Lp1_1)+q2*(x6_1-Lq12_1).^2/2;

%Snittkrafter 11.5 m < x < 12 m
x7_1=linspace(Lq24_1,L);
Vx7_1=Ra_1-gd*x7_1-Pr-q2*(Lq22_1-Lpr1)-P2-q1*(Lq12_1-Lq22_1)-P1...
      -q2*(Lq24_1-Lq12_1)-Pr;
Mx7_1=-Ra_1*x7_1+gd*x7_1.^2/2+Pr*(x7_1-Lpr1)...
      +q2*(Lq22_1-Lpr1)*(x7_1-(Lq22_1-Lpr1)/2-Lpr1)+P2*(x7_1-Lp2_1)...
      +q1*(Lq12_1-Lq22_1)*(x7_1-(Lq12_1-Lq22_1)/2-Lq11_1)+P1*(x7_1-Lp1_1)...
      +q2*(Lq24_1-Lq12_1)*(x7_1-(Lq24_1-Lq12_1)/2-Lq12_1)+Pr*(x7_1-Lq24_1);

%Plottar snittmoment och tvärkraft
figure(1)
subplot(2,1,1);
plot([x1_1,x2_1,x3_1,x4_1,x5_1,x6_1,x7_1],...
     [Vx1_1,Vx2_1,Vx3_1,Vx4_1,Vx5_1,Vx6_1,Vx7_1], 'LineWidth',2)
title('Tvärkraftsdiagram lastfall 1')
xlabel('Bredd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')
grid on
ylim([-1*10^6 2*10^6])

subplot(2,1,2);
plot([x1_1,x2_1,x3_1,x4_1,x5_1,x6_1,x7_1],...
     [Mx1_1,Mx2_1,Mx3_1,Mx4_1,Mx5_1,Mx6_1,Mx7_1], 'LineWidth',2)
title('Momentdiagram lastfall 1')
xlabel('Bredd [m]')

```

---

---

```

%ylabel('Moment [Nm]')
%ylim([-5*10^6 0])

%grid on

%Snittkraftsvektorer
Mx_1=[Mx1_1,Mx2_1,Mx3_1,Mx4_1,Mx5_1,Mx6_1,Mx7_1];
Vx_1=[Vx1_1,Vx2_1,Vx3_1,Vx4_1,Vx5_1,Vx6_1,Vx7_1];
Mx_1max=max(abs(Mx_1))
Vx_1max=max(abs(Vx_1))

%Lastfall 2 tvärkraftsmax
%Längder last fall 2 [m]
Lpr1=0.5;
Lp1_2=2;
Lq12_2=3.5;
Lp2_2=5;
Lq22_2=11.5;
L=12;
%Momentjämvikt kring Rb_2
Ra_2=(Pr*11.5+q1*3*10+P1*10+P2*7+q2*8*4.5+Pr*0.5+gd*12*6)/12;
Rb_2=-Ra_2+Pr+q1*3+P1+P2+q2*8+Pr+gd*12;

%Snittkrafter 0 m < x < 0.5 m
x1_2=linspace(0,Lpr1);
Vx1_2=Ra_2-gd*x1_2;
Mx1_2=-Ra_2*x1_2+gd*x1_2.^2/2;

%Snittkrafter 0.5 m < x < 2 m
x2_2=linspace(Lpr1,Lp1_2);
Vx2_2=Ra_2-gd*x2_2-Pr-q1*(x2_2-Lpr1);
Mx2_2=-Ra_2*x2_2+gd*x2_2.^2/2+Pr*(x2_2-Lpr1)+q1*(x2_2-Lpr1).^2/2;

%Snittkrafter 2 m < x < 3.5 m
x3_2=linspace(Lp1_2,Lq12_2);
Vx3_2=Ra_2-gd*x3_2-Pr-q1*(x3_2-Lpr1)-P1;
Mx3_2=-Ra_2*x3_2+gd*x3_2.^2/2+Pr*(x3_2-Lpr1)+...
+q1*(x3_2-Lpr1).^2/2+P1*(x3_2-Lp1_2);

%Snittkrafter 3.5 m < x < 5 m
x4_2=linspace(Lq12_2,Lp2_2);
Vx4_2=Ra_2-gd*x4_2-Pr-q1*(Lq12_2-Lpr1)-P1-q2*(x4_2-Lq12_2);
Mx4_2=-Ra_2*x4_2+gd*x4_2.^2/2+Pr*(x4_2-Lpr1)+...
q1*(Lq12_2-Lpr1)*(x4_2-(Lq12_2-Lpr1)/2-Lpr1)+...
P1*(x4_2-Lp1_2)+q2*(x4_2-Lq12_2).^2/2;

%Snittkrafter 5 m < x < 11.5 m
x5_2=linspace(Lp2_2,Lq22_2);
Vx5_2=Ra_2-gd*x5_2-Pr-q1*(Lq12_2-Lpr1)-P1-q2*(x5_2-Lq12_2)-P2;
Mx5_2=-Ra_2*x5_2+gd*x5_2.^2/2+Pr*(x5_2-Lpr1)+...
q1*(Lq12_2-Lpr1)*(x5_2-(Lq12_2-Lpr1)/2-Lpr1)+P1*(x5_2-Lp1_2)+...
q2*(x5_2-Lq12_2).^2/2+P2*(x5_2-Lp2_2);

```

---

---

```

%Snittkrafter 11.5 m < x < 12 m
x6_2=linspace(Lq22_2,L);
Vx6_2=Ra_2-gd*x6_2-Pr-q1*(Lq12_2-Lpr1)-P1-q2*(Lq22_2-Lq12_2)-P2-Pr;
Mx6_2=-Ra_2*x6_2+gd*x6_2.^2/2+Pr*(x6_2-Lpr1)...
    +q1*(Lq12_2-Lpr1)*(x6_2-(Lq12_2-Lpr1)/2-Lpr1)...
    +P1*(x6_2-Lp1_2)+q2*(Lq22_2-Lq12_2)*(x6_2-(Lq22_2-Lq12_2)/2-Lq12_2)...
    +P2*(x6_2-Lp2_2)+Pr*(x6_2-Lq22_2);

%Plottar moment och tvärkraftsdiagram
%figure(2)
%subplot(2,1,1);
%plot([x1_2,x2_2,x3_2,x4_2,x5_2,x6_2],...
%     [Vx1_2,Vx2_2,Vx3_2,Vx4_2,Vx5_2,Vx6_2],'LineWidth',2)
%title('Tvärkraftsdiagram lastfall 2')
%grid on
%xlabel('Bredd [m]')
%ylabel('Tvärkraft [N]')
%ylim([-1*10^6 2*10^6])

%subplot(2,1,2);
%plot([x1_2,x2_2,x3_2,x4_2,x5_2,x6_2],...
%     [Mx1_2,Mx2_2,Mx3_2,Mx4_2,Mx5_2,Mx6_2],'LineWidth',2)
%title('Momentdiagram lastfall 2')
%xlabel('Bredd [m]')
%ylabel('Moment [Nm]')
%grid on
%ylim([-5*10^6 0])

%Tvärkraftsvektor

Mx_2=[Mx1_2,Mx2_2,Mx3_2,Mx4_2,Mx5_2,Mx6_2];
Vx_2=[Vx1_2,Vx2_2,Vx3_2,Vx4_2,Vx5_2,Vx6_2];
Mx_2max=max(abs(Mx_2))
Vx_2max=max(abs(Vx_2))
end

```

*Bruksgränstillstånd*

*Mx\_1max =*

*2.5868e+06*

*Vx\_1max =*

*7.1650e+05*

*Mx\_2max =*

*2.1609e+06*

---

Vx\_2max =

8.1590e+05

*Brottgränstillstånd*

Mx\_1max =

4.8169e+06

Vx\_1max =

1.2899e+06

Mx\_2max =

3.9066e+06

Vx\_2max =

1.5051e+06

*Published with MATLAB® R2013b*

# Bilaga 10

---

## Dimensionering av bärandesystem

# Innehållsförteckning

<b>Dimensionering av globalt system</b>	1
Resultat av dimensionering av bågen	2
Resultat av dimensionering av dragband	4
Knäckning av bågen	5
<b>Beräkning av preliminära dimensioner av brobanan</b>	7
Resultat av dimensionering av brobanan	9
Momentkapacitet	9
Tvärkraftskapacitet	13
Dimensionering av tvärkraftsarmering	15
Långtidseffekter	17
Påkänningar vid maximalt fältmoment	19
Påkänningar vid maximalt stödmoment	21
Beräkning av sprickbredd	23
Kortidseffekter	24
Påkänningar vid maximalt fältmoment	24
Påkänningar vid maximalt stödmoment	25
<b>Dimensionering av tvärbalkar</b>	27
Detaljutförning av studs	30
Medverkande flänsbredd	31
Samverkanstvärsnittets konstanter	31
Beräkning av momentkapacitet	32
Beräkning av tvärkraftskapacitet	33
Kontroll av halssvets	33
Dimensionering av studs	34
Kontroller i bruksgränstillstånd	35
Kontroll av nedböjning	37
<b>Beräkning av skruvförband mellan tvärbalk och dragband</b>	39
Resultat för dimensionering av skruvförband	40
<b>Dimensionering av stag</b>	42
Dimensionering av infästning vid dragband	43
Dimensionering av infästning i bågen	45
<b>Dimensionering av landfästen</b>	46
<b>Övergångskonstruktionens längd</b>	47

## Dimensionering av globalt system

Bågen och dragbandet dimensioneras för brottgränstillstånd för moment, tvärkraft samt normalkraft. Dessutom kommer knäckning för bågen att kontrolleras. De dimensionerande lasterna som verkar är hämtade från modelleringen av det globala systemet i CALFEM.

### Indata

$$L_{\text{bro}} := 75\text{m}$$

$$PH := L_{\text{bro}} \cdot \left(\frac{18}{50}\right) \quad \text{Pilhöjd}$$

$$R := \frac{\left[\left(\frac{L_{\text{bro}}}{2}\right)^2 + (27\text{m})^2\right]}{54\text{m}} = 39.542\text{m}$$

Mätadata för dragbandet

$$h_{\text{balk}} := 0.69\text{m}$$

$$b_{\text{fl.balk}} := 0.3\text{m}$$

$$t_{\text{fl.balk}} := 0.027\text{m}$$

$$t_{\text{w.balk}} := 0.0145\text{m}$$

$$r_{\text{balk}} := 0.027\text{m}$$

$$A_{\text{balk}} := 0.02605\text{m}^2$$

$$W_{\text{pl.balk}} := 7030 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

Mätadata för bågen

$$b_{\text{bage}} := 0.6\text{m}$$

$$h_{\text{bage}} := 1.1\text{m}$$

$$t_{\text{f.bage}} := 0.045\text{m}$$

$$t_{\text{w.bage}} := 0.03\text{m}$$

$$A_{\text{bage}} := 2 \cdot b_{\text{bage}} \cdot t_{\text{f.bage}} + 2 \cdot (h_{\text{bage}} - 2 \cdot t_{\text{f.bage}}) \cdot t_{\text{w.bage}} = 0.115\text{m}^2$$

$$I_{\text{bage}} := 2 \cdot \left[ \frac{t_{\text{w.bage}} \cdot (h_{\text{bage}} - 2 \cdot t_{\text{f.bage}})^3}{12} \right] + 2 \cdot \left[ \frac{b_{\text{bage}} \cdot t_{\text{f.bage}}^3}{12} + (b_{\text{bage}} \cdot t_{\text{f.bage}}) \cdot \left[ \frac{(h_{\text{bage}} - t_{\text{f.bage}})^2}{2} \right] \right]$$

$$I_{\text{bage}} = 0.02\text{m}^4$$

## Materialparameterar för S355

$$E := 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$X_{LT} := 1$$

Sida S71 Bärande konstruktioner

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

Sida S71 Bärande konstruktioner

$$\eta := 1.2$$

Sida S83 Bärande konstruktioner

$$\gamma_{M0} := 1.1$$

Sida S83 Bärande konstruktioner

## Dimensionerande laster från CALFEM

$$M_{\text{Ed.bage}} := 1.2397 \cdot 10^7 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$V_{\text{Ed.bage}} := 1.1103 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$N_{\text{Ed.bage}} := 6.8570 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$M_{\text{Ed.balk}} := 1.7723 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$N_{\text{Ed.balk}} := 3.7991 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$V_{\text{Ed.balk}} := 3.6313 \cdot 10^5 \text{ N}$$

## Resultat av dimensionering av bågen

### Tvärsnittsklass

S355 ger:

$$\bar{\epsilon}_s := \sqrt{\left(\frac{235}{355}\right)} = 0.814$$

Inre fläns:

$$\frac{\left(\frac{b_{\text{bage}} - 2 \cdot t_{\text{w.bage}}}{t_{\text{f.bage}}}\right)}{\bar{\epsilon}} < 33 = 1 \quad \text{OK!}$$

Tvärsnittsklass 1 då  $< 33$  enligt tabell S4.1 i bärande konstruktioner del 1

Livplåt:

$$h_{\text{w.bage}} := h_{\text{bage}} - 2 \cdot t_{\text{f.bage}} = 1.01 \text{ m}$$

$$\frac{\left(\frac{h_{\text{w.bage}}}{t_{\text{w.bage}}}\right)}{\bar{\epsilon}} < 72 = 1 \quad \text{OK!}$$

Tvärsnittsklass 1 då  $< 72$  enligt tabell S4.2 i bärande konstruktioner del 1



## Momentkapacitet för bågen

$$W_{pl} := 2 \cdot b_{bage} \cdot t_{f.bage} \cdot \left( \frac{h_{bage} - t_{f.bage}}{2} \right) + 2 \cdot 2 \cdot t_{w.bage} \cdot \left( \frac{h_{w.bage}}{2} \right) \cdot \left( \frac{h_{w.bage}}{4} \right) = 43.787 \text{ L}$$

$$M_{b.Rd} := X_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right) = 1.554 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{kN} \quad \text{ekv S4-41 i bärande konstruktioner}$$

$$\frac{M_{Ed.bage}}{M_{b.Rd}} = 0.798$$

Nyttjandegrad för bågens momentkapacitet

## Tvärkraftskapacitet

Kontrollerar skjuvbuckling

$$\frac{h_{w.bage}}{t_{w.bage}} = 33.667$$

$$72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 48.817$$

$$\frac{h_{w.bage}}{t_{w.bage}} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 1 \quad \text{OK!}$$

Skjuvbuckling inträffar ej enligt ekv. S5-19 i bärande konstruktioner

$$A_v := \eta \cdot h_{w.bage} \cdot t_{w.bage} = 0.036 \text{ m}^2$$

$$V_{pl.Rd} := 2A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 1.355 \times 10^7 \text{ N} \quad \text{ekv. S5-18 bärande konstruktioner}$$

$$\frac{V_{Ed.bage}}{V_{pl.Rd}} = 0.082$$

Nyttjandegrad för bågens tvärkraftskapacitet

Interaktion behöver ej beaktas eftersom  $V_{pl.Rd} < 0.5 \cdot V_{Ed.bage}$  enligt sida S86 Bärande konstruktioner

## Normalkraftskapacitet

$$N_{pl.Rd.bage} := f_y \cdot A_{bage} = 4.068 \times 10^7 \text{ N} \quad \text{ekv. S3-6 bärande konstruktioner}$$

$$\frac{N_{Ed.bage}}{N_{pl.Rd.bage}} = 0.169$$

Nyttjandegrad för bågens normalkraftskapacitet

## Resultat av dimensionering av dragband

### Tvärsnittsklass

Liv:

$$d := h_{\text{balk}} - 2 \cdot t_{\text{fl.balk}} - 2 \cdot r_{\text{balk}} = 0.582 \text{ m}$$

$$\frac{\left( \frac{d}{t_{\text{w.balk}}} \right)}{\varepsilon} = 49.333$$

Vilket ger tvärsnittsklass 1 då  $< 72$  enligt tabell S4.2 bärande konstruktioner

Fläns:

$$c := \frac{(b_{\text{fl.balk}} - t_{\text{w.balk}})}{2} - r_{\text{balk}} = 0.116 \text{ m}$$

$$\frac{\left( \frac{c}{t_{\text{fl.balk}}} \right)}{\varepsilon} < 9 = 1 \quad \text{OK!}$$

Tvärsnittsklass 1 då  $< 9$  enligt tabell S4.1 bärande konstruktioner

### Momentkapacitet

$$M_{\text{b.Rd}} := X_{\text{LT}} \cdot W_{\text{pl.balk}} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma_{\text{M1}}} \right) = 2.496 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{kN} \quad \text{ekv. S4-41 bärande konstruktioner}$$

$$\frac{M_{\text{Ed.balk}}}{M_{\text{b.Rd}}} = 0.71$$

Nyttjandegrad för dragbandets momentkapacitet

### Tvärkraftskapacitet

Kontrollerar skjuvbuckling

$$\kappa := 5.34$$

Avstyvningar vid upplag

$$\frac{h_{\text{balk}} - 2t_{\text{fl.balk}}}{t_{\text{w.balk}}} < 31 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \cdot \sqrt{\kappa} = 1$$

Skjuvbuckling inträffar ej enligt ekv S5-19 i bärande konstruktioner

$$A_{\text{v.bage}} := \eta \cdot h_{\text{w.bage}} \cdot t_{\text{w.bage}} = 0.036 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{pl.Rd.bage}} := A_{\text{v.bage}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M0}} \cdot \sqrt{3}} = 6.775 \times 10^6 \text{ N} \quad \text{ekv. S5-18 bärande konstruktioner}$$

$$\frac{V_{\text{Ed.balk}}}{V_{\text{pl.Rd.bage}}} = 0.054$$

Nyttjandegrad för dragbandets tvärkraftskapacitet

## Normalkraftskapacitet för dragbandet

$$N_{pl.Rd} := f_y \cdot A_{balk} = 9.248 \times 10^6 \text{ N}$$

ekv. S3-6 bärande konstruktioner

$$\frac{N_{Ed.balk}}{N_{pl.Rd}} = 0.411$$

Nyttjandegrad för dragbandets normalkraftskapacitet

## Knäckning av bågen i z-led

Beräknar båglängden

$$\alpha := \arcsin\left(\frac{37.5}{39}\right) \cdot 2 = 2.585$$

$$BL := \alpha \cdot R = 102.219 \text{ m}$$

Knäckfall 4 för hela bågen

$$l_0 := 0.5 \cdot BL$$

Knäcklängden

$$N_B := \frac{(\pi^2 \cdot E \cdot I_{bage})}{l_0^2} = 1.602 \times 10^7 \text{ N}$$

ekv. K2-17 bärande konstruktioner

$$N_B > N_{Ed.bage} = 1 \quad \text{OK!}$$

Vilket ger att knäckning ej kommer att inträffa

Knäckfall 2 mellan de två första stagen (värsta fallet mellan stagen)

$$y_1 := PH - \left[ R - \sqrt{R^2 - (30\text{m})^2} \right] = 13.218 \text{ m}$$

$$y_2 := PH - \left[ R - \sqrt{R^2 - (20\text{m})^2} \right] = 21.569 \text{ m}$$

$$x := 10\text{m}$$

$$L_2 := \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + x^2} = 13.029 \text{ m}$$

Den faktiska längden

$$l_0 := L_2$$

Knäcklängden

$$N_B := \frac{(\pi^2 \cdot E \cdot I_{bage})}{l_0^2} = 2.465 \times 10^8 \text{ N}$$

ekv. K2-17 bärande konstruktioner

$$N_B > N_{Ed.bage} = 1$$

Vilket ger att knäckning ej kommer att inträffa

Knäckfall 3 mellan det första staget och upplaget

$$x := 7.5 \text{ m}$$

$$L_3 := \sqrt{(y_1)^2 + x^2} = 15.197 \text{ m}$$

Den faktiska längden

$$l_0 := 0.7L_3 = 10.638 \text{ m}$$

Knäcklängden

$$N_B := \frac{(\pi^2 \cdot E \cdot I_{b\text{age}})}{l_0^2} = 3.697 \times 10^8 \text{ N}$$

ekv. K2-17 bärande konstruktioner

$$N_B > N_{Ed.b\text{age}} = 1$$

Vilket ger att knäckning ej kommer att inträffa

## Beräkning av preliminära dimensioner av brobanan enligt SS-EN 1992-1-1:2005

Brobanan utsätts för moment- och tvärkrafter och brobanan måste kontrolleras att det håller med hänsyn på dessa krafter i brottngränstillstånd. Eventuella behövs åtgärder och dessa kommer då att beräknas. Därefter måste även långtids- och kortidseffekter i bruksgränstillstånd kontrolleras. Dessutom är de moment och tvärkrafter som används i brottngräns- och bruksgränstillstånd beräknad utifrån modelleringen av brobanan i matlab.

### Indata

$b := 1\text{m}$		En meterstrimla av bron undersöks
$h := 0.3\text{m}$		Tvårsnittshöjden på brobanan
$M_{Ed,s} := 195.32 \cdot 10^3 \text{N}\cdot\text{m}$		Maximalt moment över stöd
$V_{Ed} := 333.612 \cdot 10^3 \text{N}$		Maximal tvärkraft
$M_{Ed,f} := 324.02 \cdot 10^3 \text{N}\cdot\text{m}$		Maximalt fältmoment
$\phi := 0.02\text{m}$		Antagen armeringsdiameter, samma diameter för tryck- resp. dragarmering
$\phi_w := 0.010\text{m}$		Vertikala byglars diameter
exponeringsklass	XD1	Hämtat från den nationella bilagan till SS-EN 1992-1-1:2005
Livslängd	100 år	

### Beräkning av minsta täckande betongskikt

$\Delta c_{dev} := 0.01\text{m}$		Enligt kapitel 4.4.1.3
$c_{minb} := 0.02\text{m}$		Väljs till armeringsdiametern för separata stänger. Ska ökas med 5 mm om ballaststorleken är större än 32 mm.

$c_{mindur}$  väljs utifrån exponeringsklass och hur lång livslängd det är. Ur tabell 4.3N och tabell 4.4N kan konstatera att bärverksklassen blir S5 och med givna exponeringsklass XD1 blir  $c_{mindur}$  40 mm.

$c_{mindur} := 0.04\text{m}$		Beaktar exponerings- och bärverksklass för betong.
$c_{min} := \max(c_{minb}, c_{mindur}, 0.01\text{m}) = 0.04\text{m}$		Ekvation 4.2
$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} + \phi_w = 0.06\text{m}$		Ekvation 4.1

Beräkning av vilken höjd underkants- och överkantsarmeringen ska läggas in på.

$$d := h - c_{\text{nom}} - \frac{\phi}{2} = 0.23 \text{ m} \quad \text{Avstånd till underliggande armeringslager}$$

$$d' := c_{\text{nom}} + \frac{\phi}{2} = 0.07 \text{ m} \quad \text{Avstånd till överkantsarmering}$$

Beräkning av minsta fria avstånd mellan parallella stänger

$$k_1 := 1.0 \quad \text{Nationell parameter}$$

$$k_2 := 0.005 \text{ m} \quad \text{Nationell parameter}$$

$$d_g := 0.03 \text{ m} \quad \text{Ballaststorlek, antagen i detta fall.}$$

$$S_{\text{min}} := \max(k_1 \cdot \phi, d_g + k_2, 0.02 \text{ m}) = 0.035 \text{ m} \quad \text{Hämtat från Bärande konstruktioner del 1 sid. B121 ekvation [B4-27].}$$

Beräkning av hur många armeringsstänger som får plats på en meterstrimla i ett lager.

$$n_n := \frac{b - c_{\text{nom}} + S}{\phi + S} = 17.727 \quad \text{Beräknar hur många stänger som får plats i ett lager.}$$

Armeringstyp, B500B

$$f_{yk} := 500 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 4.348 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$E_s := 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$\epsilon_{syd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$A_{si} := \frac{\pi \cdot (\phi)^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n := 16$$

$$n' := 8$$

$$A_s := A_{si} \cdot n = 5.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s'} := A_{si} \cdot n' = 2.513 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Betongklass, C40/50

$$f_{ck} := 40 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$\gamma_{cE} := 1.2$$

$$\alpha_{cc} := 1.0$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2.667 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{Ekvation [3.15]}$$

$$\alpha := 0.81$$

$$\beta := 0.416$$

$$E_{cm} := 35 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

### Resultat av dimensionering av brobanan

Beräkning av momentkapaciteten,  $M_{RD,f}$  i fält.

Antag att dragarmeringen flyter medan tryckarmeringen inte flyter och beräkna tryckzonshöjden.

$$\epsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$F_s := A_s \cdot f_{yd}$$

$$F_s' := A_s' \cdot \frac{(x - d')}{x} \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s$$



$$F_c := f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot \alpha$$

Hittar  $x$ -värdet och för att kunna använda funktionen Root används ett startvärde på  $x$ .

$$x := 0.1 \cdot \text{m}$$

$$x := \text{root} \left[ A_s \cdot f_{yd} - A_s' \cdot \frac{(x - d')}{x} \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s - f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot \alpha, x \right]$$

$$x = 0.086 \text{ m}$$

$x$  ska ligga över  $d' + \phi_w = 0.08 \text{ m}$  OK!

Kontrollera antaganden

Dragarmering

$$\varepsilon_s := \varepsilon_{cu} \cdot \frac{(d - x)}{x} = 5.859 \times 10^{-3} \quad \varepsilon_{syd} < \varepsilon_s = 1 \quad \text{OK!}$$

Tryckarmering

$$\varepsilon_{s'} := \varepsilon_{cu} \cdot \frac{(x - d')}{x} = 6.516 \times 10^{-4} \quad \varepsilon_{s'} < \varepsilon_{syd} = 1 \quad \text{OK!}$$

Kontroll segtbrott:

$$\frac{x}{d} < 0.45 = 1 \quad \text{OK!}$$

Antaganden stämmer

Momentjämvikt kring dragarmering

$$F_{s,ww} := A_s \cdot f_{yd} = 2.185 \times 10^6 \text{ N}$$

$$F_{s'} := A_{s'} \cdot \frac{(x - d')}{x} \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s = 3.275 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_c := f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot \alpha = 1.858 \times 10^6 \text{ N}$$

$$M_{RD,f} := F_c \cdot (d - \beta \cdot x) + F_{s'} \cdot (d - d') = 413.247 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$\frac{M_{Ed,f}}{M_{RD,f}} = 0.784$$

Nyttjandegrad för brobanans  
momentkapacitet i fält



## Beräkning av momentkapaciteten, $M_{RD,S}$ i stöd

Antag att dragarmeringen flyter medan överkantsarmeringen inte flyter och beräkna tryckzonshöjden. Uträkningar genomförs med ett vänt tvärsnitt. Antag även att armeringen i överkant blir dragen.

$$n_s := 9$$

$$n_{s'} := 3$$

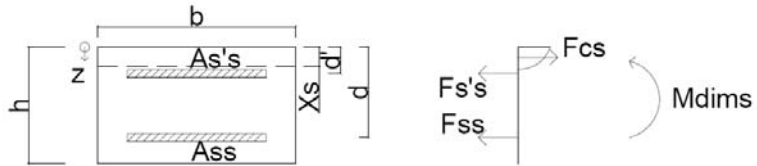
$$A_{S_S} := A_{s_i} \cdot n_s = 2.827 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{S'_S} := A_{s_i} \cdot n_{s'} = 9.425 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\epsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$F_{S_S} := A_{S_S} \cdot f_{yd}$$

$$F_{S'_S} := A_{S'_S} \cdot \frac{(d' - x_s)}{x_s} \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s$$



$$F_{C_S} := f_{cd} \cdot b \cdot x_s \cdot \alpha$$

Hittar  $x$ -värdet och för att kunna använda funktionen Root används ett startvärde på  $x$ .

$$x_s := 0.1 \cdot m$$

$$x_{s,v} := \text{root} \left[ A_{S_S} \cdot f_{yd} + A_{S'_S} \cdot \frac{(d' - x_s)}{x_s} \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s - f_{cd} \cdot b \cdot x_s \cdot \alpha, x_s \right]$$

$$x_s = 0.061 \text{ m}$$

$x$  ska ligga under  $d' + \phi_w = 0.08 \text{ m}$       OK!

Kontrollera antaganden

Dragarmering

$$\epsilon_{s,s} := \epsilon_{cu} \cdot \frac{(d - x_s)}{x_s} = 9.639 \times 10^{-3} \quad \epsilon_{syd} < \epsilon_s = 1 \quad \text{OK!}$$

Dragarmering i överkant

$$\epsilon_{s',s} := \epsilon_{cu} \cdot \frac{(d' - x_s)}{x_s} = 4.989 \times 10^{-4} \quad \epsilon_{s'} < \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{OK!}$$

Kontroll segtbrott:

$$\frac{x_s}{d} < 0.45 = 1 \quad \text{OK!}$$

Antaganden stämmer

Momentjämvikt kring dragarmering

$$F_{s_s} := A_{s_s} \cdot f_{yd} = 1.229 \times 10^6 \text{ N}$$

$$F_{s'_s} := A_{s'_s} \cdot \frac{(x_s - d')}{x_s} \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s = -9.404 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{c_s} := f_{cd} \cdot b \cdot x_s \cdot \alpha = 1.323 \times 10^6 \text{ N}$$

$$M_{RD,s} := F_{c_s} \cdot (d - \beta \cdot x) + F_{s'_s} \cdot (d - d') = 241.974 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$\frac{M_{Ed,s}}{M_{RD,s}} = 0.807$$

Nyttjandegrad för brobanans  
momnetkapacitet över stöd

## Tvärkraftskapacitet

Livtryckbrott vid  $\phi=45$

$$\nu := 0.6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \right) = 0.504 \quad \text{Ekvation [6.6N]}$$

$$0.5\nu \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 1.546 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_{Ed} < 0.5\nu \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 1 \quad \text{OK!} \quad \text{Ekvation [6.5]}$$

Ingen risk för livtryckbrott

Skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering

$$k := 1 + \sqrt{\frac{0.2\text{m}}{d}} = 1.933 \quad k < 2 \quad \text{OK!}$$

$$A_{sl} := A_{s_g} = 2.827 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\rho_l := \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = 0.012 \quad \rho_l < 0.02 \quad \text{OK!}$$

$$\nu_{\min} := 0.035 \cdot \left( \frac{3}{2} \right) \cdot \left[ \left( \frac{f_{ck}}{10^6 \text{ Pa}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \text{ Pa} \cdot 10^6 = 5.947 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \text{Ekvation [6.3N]}$$

$$C_{RDc} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12 \quad \text{Kapitel 6.2.2 sidan 82}$$

$$V_{RDc} := C_{RDc} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{10^6 \cdot \text{Pa}} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ Pa} \cdot 10^6 \cdot b \cdot d = 1.954 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Ekvation [6.2.a]}$$

dock minst:

$$\nu_{RDc\text{minst}} := \nu_{\min} \cdot b \cdot d = 1.368 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Ekvation [6.2.b]}$$

Vilket ger att:

$$V_{RDc\text{dim}} := \max(\nu_{RDc\text{minst}}, V_{RDc}) = 1.954 \times 10^5 \text{ N}$$

$$V_{RDc\text{dim}} > V_{Ed} = 0 \quad \text{Ej OK!}$$

Det finns ingen risk för livtryckbrott. Men skjuvglidbrott måste kontrolleras och är dimensionerande.

## Beräkning av tvärkraft för att ta fram minsta armeringsmängd

Val av trycksträvans lutning

$$\alpha_w := 90 \cdot \frac{\pi}{180} = 1.571$$

Vertikala byglar

$$\theta := 31 \cdot \frac{\pi}{180} \quad 21,8 < \theta < 45 \text{ enligt kap. 6.2.3 (2)}$$

$$z := 0.9 \cdot d = 0.207 \text{ m}$$

$$L_s := 0.4 \text{ m}$$

Tvärbalkarnas flänsbredd

$$x_v := \frac{L_s}{2} + \cot(\theta) \cdot z = 0.545 \text{ m}$$

Dimensionerande laster som verkar på brobanan.

$$\alpha_{Q1} := 0.9$$

$$\alpha_{q1} := 0.8$$

$$\hat{w}_{sk} := 25000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\hat{w}_{sv} := 23000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\Psi_t := 1.5$$

$$\Psi_d := 1.2$$

$$q_{\text{traf}} := 9 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \alpha_{q1} = 7.2 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$g_{\text{egen}} := \gamma_c \cdot h = 7.5 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$q_{\text{trafd}} := 9 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \alpha_{q1} \cdot b \cdot \Psi_t = 10.8 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

$$g_{\text{egend}} := \gamma_c \cdot h \cdot b \cdot \Psi_d = 9 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{Edx}} := V_{\text{Ed}} - q_{\text{trafd}} \cdot x_v - g_{\text{egend}} \cdot x_v = 3.228 \times 10^5 \text{ N}$$

### Dimensionering av tvärkraftsarmering, enligt kapitel 6.2.3

$$A_{sw} := 2\phi_w^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 1.571 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{RDs} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{yd} \cdot \frac{A_{sw}}{S_w} \quad \text{Ekvation [6.8]}$$

$$V_{RDs} := V_{Edx} = 3.228 \times 10^5 \text{ N}$$

$$S_w := z \cdot \frac{\cot(\theta)}{V_{RDs}} \cdot f_{yd} \cdot A_{sw} = 0.073 \text{ m} \quad \text{Ekvation [6.8]}$$

Kontroll minsta mängd tvärkraftsarmering, enligt Bärande konstruktioner del 1, kap. B6.4.4

$$\rho_w := \frac{A_{sw}}{S_w \cdot b \cdot \sin(\alpha_w)} = 2.155 \times 10^{-3} \quad \text{Ekvation B6-25}$$

Kontroll minsta tvärarmeringsinnehåll

$$\rho_{wmin} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{Pa}}}}{\frac{f_{yk}}{\text{Pa}}} = 1.012 \times 10^{-6} \quad \text{Ekvation B6-24}$$

$$\rho_{wmin} < \rho_w = 1 \quad \text{OK!}$$

Maximalt centrumavstånd mellan byglar

$$S_{Lmax} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha_w)) = 0.172 \text{ m} \quad \text{Ekvation B6-26}$$

$$S_{Lmax} > S_w = 1 \quad \text{OK!}$$

Välj byglar  $\phi 10$  s70 ( $\theta=31$ )

## Kontrollera om tvärsnittet spricker

Naviers formel:

$$\sigma_c(z) := \frac{M}{I_c} \cdot z$$

$$\sigma_{cr} := \frac{M_{cr}}{I_c} \cdot (h - x_{tp}) \quad \Rightarrow \quad M_{cr} := \frac{\sigma_{cr} \cdot I_c}{h - x_{tp}}$$

Osprucken om

$$f_{ctm} := 2.9 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Bärande konstruktioner del 1 Tabell  
B2.2

$$k_{\sigma} := 1.6 - \frac{h}{m} = 1.3$$

$$\sigma_{ct} \leq k \cdot f_{ctm}$$

$$\sigma_{cr} := k \cdot f_{ctm} = 3.77 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Vid kontroll om tvärsnittet spricker i Stadium I och armeringsinverkan kommer att försummas.

$$A_c := b \cdot h = 0.3 \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea

$$x_{tp} := \frac{h}{2} = 0.15 \text{ m}$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$M_{cr} := \frac{\sigma_{cr} \cdot I_c}{h - x_{tp}} = 56.55 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{dimf} := 162.35 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Korttidsmomentet i fält

$$M_{dms} := 98.732 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Korttidsmomentet i stöd

$$M_{cr} > M_{dimf} = 0$$

Tvärsnittet spricker! Kontrollera sprickbredden

$$M_{cr} > M_{dms} = 0$$

Tvärsnittet spricker! Kontrollera sprickbredden

## Långtidseffekter

Krympning beräknas enligt Bärande konstruktioner del 1 sid. B49-50

$$M_{\text{dimlf}} := 16.84 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Maximalt fältmoment vid långtidslast

$$M_{\text{dimls}} := 21.05 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Maximalt stödmoment vid långtidslast

$$\epsilon_{\text{cdi}} := 0.356 \cdot 10^{-3}$$

Cementklass N,  $f_{\text{ck}}=30\text{MPa}$ , Tabell B2.5

$$\beta_{\text{RH}} := 0.756$$

Utomhusmiljö,  $\text{RH}=80\%$ , Tabell B2.6

$$u := 2 \cdot b + 2 \cdot h = 2.6 \text{ m}$$

Omkrets på tvärsnittet och det som utsätts för uttorkning.

$$h_0 := 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 0.231 \text{ m}$$

$$k_h := 0.75 + \frac{0.3 - \frac{h_0}{\text{m}}}{0.3 - 0.2} \cdot (0.85 - 0.75) = 0.819$$

Tabell B2.7. Interpolation för att få fram rätt värde

$$\epsilon_{\text{cd}} := k_h \cdot \beta_{\text{RH}} \cdot \epsilon_{\text{cdi}} = 2.205 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{\text{ca}} := 0.05 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{\text{cs}} := \epsilon_{\text{cd}} + \epsilon_{\text{ca}} = 2.705 \times 10^{-4}$$

Uttorkningskrympning och autogen krympning

## Krympning beaktas genom tvångskrafter:

För maximalt moment i fält

$$F_{cs_f} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_s = 2.719 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Dragarmeringen}$$

$$F_{cs'_f} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A'_s = 1.36 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Tryckarmeringen}$$

För maximalt moment över stöd

$$F_{cs_s} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s_s} = 1.53 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Dragarmeringen}$$

$$F_{cs'_s} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A'_{s_s} = 5.099 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{Armeringen i ovankant}$$

Krypning beräknas enligt Bärande konstruktioner del 1 kapitel B2.1.6

$$RH := 80$$

$$\phi_{RH} := 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_0}{m} \cdot 1000}} = 1.326 \quad \text{Sid. B54}$$

$$\beta_{fcm} := 2.73 \quad \text{Tabell B2.9}$$

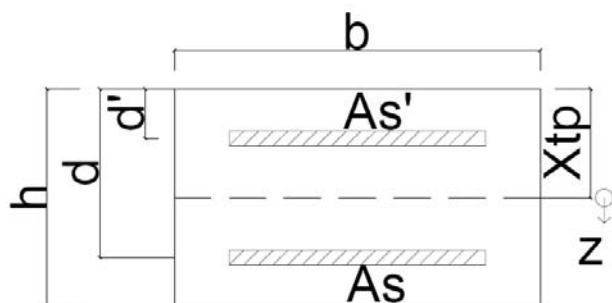
$$\beta_{t_0} := 0.488 \quad t_0 = 28 \text{ dygn Från figur B2.20}$$

$$\varphi := \phi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t_0} = 1.767 \quad \text{Ekvation B2-23}$$

$$\alpha_{ef} := \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi) = 15.809 \quad \text{Ekvation B7-67 från Bärande konstruktioner del 2.}$$



Beräkning av tvärsnittskonstanterna i stadium II, vid maximalt fältmoment



$$x_f := 0.1 \cdot m$$

$$x_f := \text{root} \left[ \alpha_{ef} \cdot A_s \cdot (d - x_f) - \left[ b \cdot \frac{x_f^2}{2} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_s' \cdot (x_f - d') \right], x_f \right]$$

$$x_f = 0.119 \text{ m}$$

$$A_{IIef.f} := b \cdot x_f + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_s' + \alpha_{ef} \cdot A_s = 0.235 \text{ m}^2$$

$$I_{IIef.f} := \frac{b \cdot x_f^3}{3} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_s' \cdot (x_f - d')^2 + \alpha_{ef} \cdot A_s \cdot (d - x_f)^2 = 1.63 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Påkänningar vid maximalt fältmoment, beräknas enligt Bärande konstruktioner del 2 kapitel B7.5.3.

Stålpåkänning i tryckarmering:

$$z_{fö} := -x_f = -0.119 \text{ m}$$

$$e_{s_{eff}} := d - x_f = 0.111 \text{ m}$$

$$e'_{s_{eff}} := d' - x_f = -0.049 \text{ m}$$

Betongspänningen i nivå med tryckarmeringen

$$\sigma_{cfö} := \frac{F_{cs_f} + F_{cs'_f}}{A_{IIef.f}} + \frac{(F_{cs_f} \cdot e_{s_{eff}} + F_{cs'_f} \cdot e'_{s_{eff}}) + M_{dimlf}}{I_{IIef.f}} \cdot z_{fö} = -1.215 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$|\sigma_{cfö}| = 1.215 \times 10^6 \text{ Pa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1.8 \times 10^7 \text{ Pa}$$

OK! Olinjär krypning behövs ej beaktas

$$\sigma_{sf\ddot{o}} := \frac{-Fcs'_f}{A_s} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{cf\ddot{o}} = -4.625 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{sf\ddot{o}} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1 \quad \text{OK!}$$

Stålpåkänning i dragarmering:

$$z_{fu} := es_{eff} = 0.111 \text{ m}$$

Betongspänningen i nivå med dragarmeringen

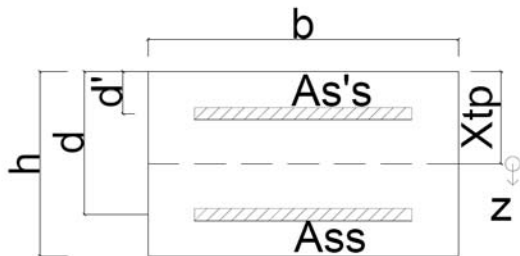
$$\sigma_{cfu} := \frac{Fcs_f + Fcs'_f}{A_{IIef.f}} + \frac{(Fcs_f \cdot es_{eff} + Fcs'_f \cdot es'_{eff}) + M_{dimlf}}{I_{IIef.f}} \cdot z_{fu} = 4.5 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{sfu} := \frac{-Fcs_f}{A_s} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{cfu} = 1.705 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{sfu} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1 \quad \text{OK!}$$

Beräkning av tvärsnittskonstanterna i stadium II, vid maximalt stödmoment.



$$x_{st} := 0.1 \cdot m$$

$$x_{st} := \text{root} \left[ \alpha_{ef} \cdot A_{s_s} \cdot (d - x_{st}) - \left[ b \cdot \frac{x_{st}^2}{2} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s'_s} \cdot (x_{st} - d') \right], x_{st} \right]$$

$$x_{st} = 0.102 \text{ m}$$

$$A_{IIef.s} := b \cdot x_{st} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s'_s} + \alpha_{ef} \cdot A_{s_s} = 0.161 \text{ m}^2$$

$$I_{IIef.s} := \frac{b \cdot x_{st}^3}{3} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s'_s} \cdot (x_{st} - d')^2 + \alpha_{ef} \cdot A_{s_s} \cdot (d - x_{st})^2 = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Påkänningar vid maximalt stödmoment.

Stålpåkänning i tryckarmeringen:

$$z_{sö} := -x_{st} = -0.102 \text{ m}$$

$$e_{sö} := d - x_{st} = 0.128 \text{ m}$$

$$e'_{sö} := d' - x_{st} = -0.032 \text{ m}$$

Betongspänningen i nivå med tryckarmeringen

$$\sigma_{csö} := \frac{F_{cs_s} + F_{cs'_s}}{A_{IIef.s}} + \frac{(F_{cs_s} \cdot e_{sö} + F_{cs'_s} \cdot e'_{sö}) + M_{dimls}}{I_{IIef.s}} \cdot z_{sö} = -2.357 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$|\sigma_{csö}| = 2.357 \times 10^6 \text{ Pa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1.8 \times 10^7 \text{ Pa}$$

OK! Olinjär krypning behövs ej beaktas

Stålpåkänning i armeringen i ovkant tvärsnittet:

$$\sigma_{ss\ddot{o}} := \frac{-Fcs'_s}{As_s} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{cs\ddot{o}} = -5.529 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{ss\ddot{o}} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1 \quad \text{OK!}$$

Stålpåkänning i underkant tvärsnittet:

$$z_{su} := es_{efs} = 0.128 \text{ m}$$

Betongspänningen i nivå med dragarmeringen

$$\sigma_{csu} := \frac{Fcs_s + Fcs'_s}{A_{I\text{I}ef.s}} + \frac{(Fcs_s \cdot es_{efs} + Fcs'_s \cdot es'_{efs}) + M_{dimls}}{I_{I\text{I}ef.s}} \cdot z_{su} = 5.775 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{ssu} := \frac{-Fcs_s}{As_s} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{csu} = 3.721 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{ssu} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1 \quad \text{OK!}$$

## Beräkning av sprickbredd enligt Bärande konstruktioner del 2

$$\alpha_s := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.714 \quad \text{Se sidan B297}$$

$$k_{1s} := 0.8 \quad \text{Kamstång, beror på vilken stålqualität som har valts, sidan B292}$$

$$k_{2s} := 0.5 \quad \text{Vid renböjning, sidan B292}$$

$$k_{3s} := 3.4 \quad \text{Nationell parameter, rekommenderat värde, sidan B292}$$

$$k_{4s} := 0.425 \quad \text{Nationell parameter, rekommenderat värde, sidan B292}$$

$$h_{cef} := \min\left[h - d, \frac{(h - x)}{3}, \frac{h}{2}\right] = 0.07 \text{ m} \quad \text{Ekvation B9-13}$$

$$A_{ef} := b \cdot h_{cef} = 0.07 \text{ m}^2 \quad \text{Enligt figur B9.17}$$

$$\rho_{peff} := \frac{A_s}{A_{ef}} = 0.072 \quad \text{Se sidan B292}$$

$$S_{rmax} := k_{3s} \cdot c_{nom} + k_{1s} \cdot k_{2s} \cdot k_{4s} \cdot \frac{\phi}{\rho_{peff}} = 0.251 \text{ m} \quad \text{Ekvation B9-10}$$

$$\sigma_s := \sigma_{ssu} = 3.721 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\Delta\varepsilon := \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$$

$$k_t := 0.4 \quad \text{Långtidslast se sidan B297}$$

$$\Delta\varepsilon := \max\left[\frac{\left[\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{peff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{peff})\right]}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}\right] = 1.116 \times 10^{-4} \quad \text{Ekvation B9-19}$$

$$w_k := S_{rmax} \cdot (\Delta\varepsilon) = 2.806 \times 10^{-5} \text{ m} \quad \text{Ekvation B9-18}$$

$$w_k < 0.3 \text{ m} = 1 \quad \text{OK!} \quad \text{Enligt Tabell 7.1N, SS-EN 1992-1-1 2005}$$

## Kortidseffekter

När vid beräknade effekterna av långtidseffekterna kontrollerades om tvärsnittet spricker och det innebär att denna kontroll inte behöver genomföras utan anlays av stadium II kan göras direkt.

$$M_{\text{dimf}} = 162.35 \text{ m}\cdot\text{kN}$$

$$M_{\text{dims}} = 98.732 \text{ m}\cdot\text{kN}$$

Analys av tvärsnittet i Stadium II

Beräkning av påkänningar vid maximalt fältmoment.  
Enligt Bärande konstruktioner del 2.

Indata

$$\alpha_k := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.714$$

Tvärsnittskonstaner

$$x_{fk} := 0.1 \cdot m$$

$$x_{fk} := \text{root} \left[ b \cdot \frac{x_{fk}^2}{2} + (\alpha_k - 1) \cdot A_s \cdot (x_{fk} - d') - \alpha_k \cdot A_s \cdot (d - x_{fk}), x_{fk} \right]$$

$$x_{fk} = 0.088 \text{ m}$$

$$I_{\text{Ieff}} := \frac{b \cdot x_{fk}^3}{3} + \alpha_k \cdot A_s \cdot (x_{fk} - d')^2 + \alpha_k \cdot A_s \cdot (d - x_{fk})^2 = 8.11 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Betongspänning i överkant:

$$\sigma_{\text{ccöf}} := \frac{M_{\text{dimf}}}{I_{\text{Ieff}}} \cdot x_{fk} = -1.761 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$|\sigma_{\text{ccöf}}| = 1.761 \times 10^7 \text{ Pa} < 0.6 \cdot f_{ck} = 2.4 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{OK!} \quad \text{sidan B212}$$

Stålspänning i tryckarmering:

$$\sigma_{s\ddot{o}f} := \alpha_k \cdot \frac{M_{dimf}}{I_{Ieff}} \cdot (d' - x_{fk}) = -2.053 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{s\ddot{o}f} = -2.053 \times 10^7 \text{ Pa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \text{OK!}$$

Stålspänning i dragarmering:

$$\sigma_{sukf} := \alpha_k \cdot \frac{M_{dimf}}{I_{Ieff}} \cdot (d - x_{fk}) = 1.625 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{sukf} = 1.625 \times 10^8 \text{ Pa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \text{OK!}$$

Beräkning av påkänningar vid maximalt stödmoment.  
Enligt Bärande konstruktioner del 2.

Tvärsnittskonstanter

$$x_{sk} := 0.1 \cdot m$$

$$x_{sk} := \text{root} \left[ b \cdot \frac{x_{sk}^2}{2} + (\alpha_k - 1) \cdot A_s' \cdot (x_{sk} - d') - \alpha_k \cdot A_s \cdot (d - x_{sk}), x_{sk} \right]$$

$$x_{sk} = 0.071 \text{ m}$$

$$I_{Ieff} := \frac{b \cdot x_{fk}^3}{3} + \alpha_k \cdot A_s' \cdot (x_{fk} - d')^2 + \alpha_k \cdot A_s \cdot (d - x_{fk})^2 = 8.11 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{Iefs} := \frac{b \cdot x_{sk}^3}{3} + \alpha_k \cdot A_s' \cdot (x_{sk} - d')^2 + \alpha_k \cdot A_s \cdot (d - x_{sk})^2 = 5.277 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Betongspänning i överkant:

$$\sigma_{cc\ddot{o}s} := \frac{M_{dms}}{I_{Iefs}} \cdot -x_{sk} = -1.337 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$|\sigma_{cc\ddot{o}s}| = 1.337 \times 10^7 \text{ Pa} < 0.6 \cdot f_{ck} = 2.4 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{OK!} \quad \text{sidan B212}$$

Stålspänning i dragarmering i ovankant:

$$\sigma_{s\ddot{o}s} := \alpha_k \cdot \frac{M_{d\ddot{i}m}s}{I_{IIef\ddot{s}}} \cdot (d' - x_{sk}) = -1.581 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{s\ddot{o}s} = -1.581 \times 10^6 \text{ Pa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \text{OK!}$$

Stålspänning i dragarmering:

$$\sigma_{suk\ddot{s}} := \alpha_k \cdot \frac{M_{d\ddot{i}m}s}{I_{IIef\ddot{s}}} \cdot (d - x_{sk}) = 1.695 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{suk\ddot{s}} = 1.695 \times 10^8 \text{ Pa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 4 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \text{OK!}$$



## Dimensionering av tvärbalkar

I bron finns det 16 st tvärgående balkar, dessa har ett cc-avstånd på 5 meter se figur. Balkarna fungerar tillsammans med brobanan som ett samverkanstvärsnitt. Tvärsnittet dimensioneras i brottsgränstillstånd för moment och tvärkraft och kontrolleras i bruksgräns för nedböjning, sprickbildning och spänningar. Dimensionerande laster plockas från bilaga XX lastframtagning för tvärbalkar.

### Indata

#### Laster

Brottsgränstillstånd

$M_{Ed,1} := 4816.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$  Dimensionerande moment

$V_{Ed,1} := 1289.9 \text{ kN}$

$M_{Ed,2} := 3906.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{Ed,2} := 1505.1 \text{ kN}$  Dimensionerande tvärkraft

Bruksgränstillstånd

Korttidslast

$M_{Ed,b} := 2586.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{Ed,b} := 815.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$

#### Betong C40/50

$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$  Bärande konstruktioner del 1 Tabell B2.1

$f_{ctm} := 3.5 \text{ MPa}$  Bärande konstruktioner del 1 Tabell B2.2

$E_{cm} := 35 \text{ GPa}$  Bärande konstruktioner del 1 Tabell B2.3

$\gamma_c := 1.5$

$\alpha_{cc} := 1.0$  Tar fram dimensionerande material parametrar enligt SS-EN 1992-1-1 2005

$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{cc} = 2.667 \times 10^7 \text{ Pa}$

$\epsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$

$h_c := 300 \text{ mm}$  Höjd på brobanan

## Stål S355

$$E_s := 210 \cdot \text{GPa}$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$f_{yk} := 355 \text{MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 3.55 \times 10^8 \text{ Pa}$$

## Samverkan

$$\alpha := \frac{E_s}{E_{cm}} = 6$$

$$E_{sam} := \frac{E_s + E_{cm}}{2} = 1.225 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

## Tvärsnittskonstanter för svetsad profil

$$h_{balk} := 600 \text{mm}$$

Max höjd för stålprofilen

$$t_f := 30 \text{mm}$$

$$t_{fu} := 30 \text{mm}$$

$$b_f := 400 \text{mm}$$

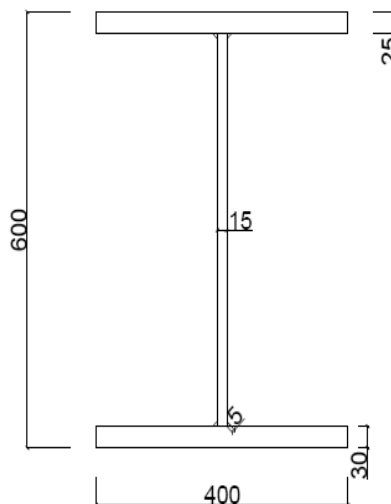
$$b_{fu} := 400 \text{mm}$$

$$h_w := h_{balk} - t_f - t_{fu} = 0.54 \text{ m}$$

$$t_w := 15 \text{mm}$$

$$a := 5 \text{mm}$$

$$A_s := h_w \cdot t_w + b_f \cdot t_f + b_{fu} \cdot t_{fu} = 0.032 \text{ m}^2$$



$$I_s := \left[ \frac{b_f}{12} \cdot t_f^3 + b_f \cdot t_f \cdot \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] + \left[ \frac{b_{fu}}{12} \cdot t_{fu}^3 + b_{fu} \cdot t_{fu} \cdot \left( \frac{h_w + t_{fu}}{2} \right)^2 \right] + \frac{t_w}{12} \cdot h_w^3 = 2.148 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

### Kontroll av tvärsnittsklass enligt bärande del 1 tabell S4.2 och S4.3

$$d := h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 0.526 \text{ m}$$

$$c_{a.\ddot{o}} := \frac{(b_f - t_w)}{2} - \sqrt{2} \cdot a = 0.185 \text{ m}$$

$$c_{a.u} := \frac{(b_{fu} - t_w)}{2} - \sqrt{2} \cdot a = 0.185 \text{ m}$$

$$\bar{\epsilon} := \sqrt{\frac{(235 \text{ MPa})}{f_{yk}}} = 0.814$$

Tvärsnittsklass 1 Livplåt

$$\frac{d}{t_w} < 72\epsilon = 1 \quad \text{OK!}$$

Övrefläns klass

$$\frac{c_{a.\ddot{o}}}{t_f} < 9\epsilon = 1 \quad \text{OK!}$$

Undre fläns klass 1

$$\frac{c_{a.u}}{t_{fu}} < 9\epsilon = 1 \quad \text{OK!}$$

Hela stålprofilen är i tvärsnittsklass 1

## Detaljutföring av studs

Detaljutförning samt dimensionering av studs utförs enligt 6.6.5 SS EN-1994-2

$$d_{st,max} := 1.5 \cdot t_f = 0.045 \text{ m}$$

$$d_{st} := 23 \text{ mm}$$

Antagen skaftdiameter

$$d_{st,h,min} := 1.5 \cdot d_{st} = 0.035 \text{ m}$$

$$h_{st,h,min} := 0.4 \cdot d_{st} = 9.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_{st,min} := 3 \cdot d_{st} = 0.069 \text{ m}$$

Svetsbultens minsta totalhöjd

$$d_{st,h} := 40 \text{ mm}$$

Antagen diameter på studshuvud

$$h_{st,h} := 12 \text{ mm}$$

Antagen höjd på studshuvud

$$h_{st} := 90 \text{ mm}$$

Totalhöjd studs

$$h_{st,sk} := h_{st} - h_{st,h} = 0.078 \text{ m}$$

Krav på kant- centrumavstånd

$$e_{D,min} := 25 \text{ mm}$$

Minsta avstånd förbindarkant och flänskant

$$e_{D,min,cc} := e_{D,min} + \frac{d_{st}}{2} = 0.037 \text{ m}$$

Minsta centrumavstånd förbindare och flänskant

$$cc_{st,min} := 5 \cdot d_{st} + d_{st} = 0.138 \text{ m}$$

Minsta avstånd mellan studs i skjuvkraftens riktning

$$cc_{st,max} := \min(4 \cdot h_c, 800 \text{ mm}) = 0.8 \text{ m}$$

Maximalt cc i längstriktning

$$b_{0,min} := 2.5 \cdot d_{st} + d_{st} = 0.08 \text{ m}$$

Minsta cc mellan studs tvärs skjuvkraften

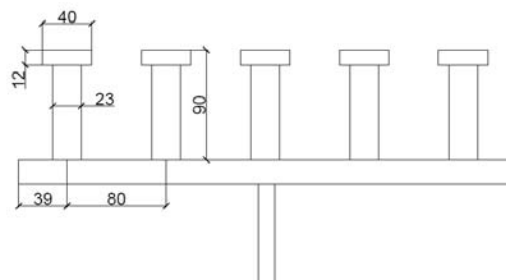
$$b_{0,max} := b_f - 2 \cdot e_{D,min,cc} = 0.327 \text{ m}$$

Max cc mellan studs tvärs skjuvkraften

Väljer

$$b_0 := 4 \cdot b_{0,min} = 0.322 \text{ m}$$

$$e_D := \frac{(b_f - b_0)}{2} = 0.039 \text{ m}$$



## Medverkande flänsbredd

$L_{e.1} := 12\text{m}$       Avstånd  
momentnollpunkter

SS-EN 1994-2:2005 (Sv): 5.4.1.2

$L_{e.2} := 12\text{m}$

$$b_{ei.1} := \min\left(2.5\text{m}, \frac{L_{e.1}}{8}\right) = 1.5\text{m}$$

$$b_{ei.2} := \min\left(2.5\text{m}, \frac{L_{e.2}}{8}\right) = 1.5\text{m}$$

$$b_{eff} := b_0 + b_{ei.1} + b_{ei.2} = 3.322\text{m}$$

## Tvärsnittskonstanter för brobana

$$A_c := h_c \cdot b_{eff} = 0.997\text{m}^2$$

$$I_c := b_{eff} \cdot h_c^3 = 0.09\text{m}^4$$

## Samverkanstvärsnittets konstanter

$$A_{tot} := A_c + \alpha \cdot A_s = 1.189\text{m}^2$$

Tvärsnittets totalarea

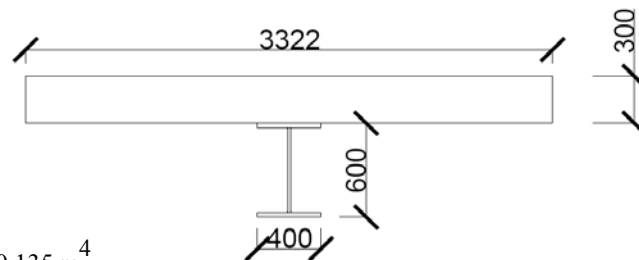
$$X_{TP} := \frac{\left[\alpha \cdot A_s \cdot \left(h_c + t_f + \frac{h_w}{2}\right) + A_c \cdot \frac{h_c}{2}\right]}{A_{tot}} = 0.223\text{m}$$

Tyngdpunkt för tvärsnittet

$$a_c := X_{TP} - \frac{h_c}{2} = 0.073\text{m}$$

$$a_s := h_c + t_f - X_{TP} + \frac{h_w}{2} = 0.377\text{m}$$

$$I_{tot.I} := \alpha \cdot \left(I_s + A_s \cdot a_s^2\right) + I_c + A_c \cdot a_c^2 = 0.135\text{m}^4$$



## Beräkning av momentkapacitet enligt EC 6.2

$$N_{c.f}(X_{pl}) := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot X_{pl}$$

$$N_f := f_{yd} \cdot b_f \cdot t_f = 4.26 \times 10^6 \text{ N}$$

$$N_w := f_{yd} \cdot h_w \cdot t_w = 2.875 \times 10^6 \text{ N}$$

$$N_{fu} := f_{yd} \cdot b_{fu} \cdot t_{fu} = 4.26 \times 10^6 \text{ N}$$

Horisontell jämvikt ger:

$$f(X_{pl}) := N_{c.f}(X_{pl}) - N_f - N_w - N_{fu}$$

$$X_0 := 0.25 \text{ m}$$

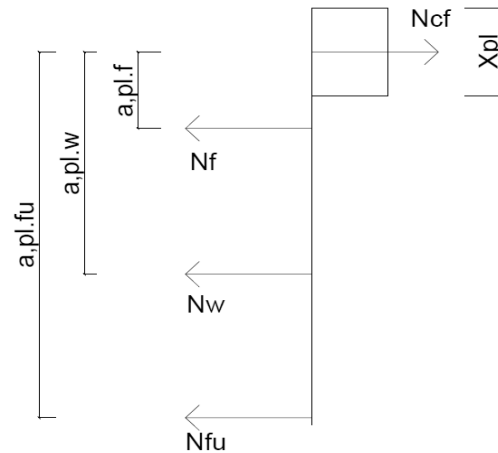
$$X_{pl} := \text{root}(f(X_0), X_0) = 0.151 \text{ m}$$

Hjälpåvvarmar

$$a_{pl.f} := \frac{-(h_c - X_{pl})}{2} + h_c + \frac{t_f}{2}$$

$$a_{pl.w} := \frac{-(h_c - X_{pl})}{2} + h_c + t_f + \frac{h_w}{2}$$

$$a_{pl.fu} := h_c + t_f + h_w + \frac{t_{fu}}{2} + \frac{-(h_c - X_{pl})}{2}$$



$$M_{Rd.pl} := N_f \cdot a_{pl.f} + N_w \cdot a_{pl.w} + N_{fu} \cdot a_{pl.fu} = 5.346 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$\frac{M_{Ed.1}}{M_{Rd.pl}} = 0.901$$

Nyttjandegrad för tvärbalkarnas momentkapacitet

### **Beräkning av tvärkraftskapacitet**

Tvärkraftskapacitet 1993-1-1 6.2.6 hänvisning från SS- EN 1994-2 6.2.2

$$A_v := h_w \cdot t_w = 8.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl.a} := A_v \cdot \left( \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \right) = 1.66 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\frac{V_{Ed.2}}{V_{pl.a}} = 0.907$$

Nyttjandegrad för tvärbalkarnas tvärkraftskapacitet

### **Kontroll av halssvetsar**

SS EN 1993-1-1

$$S_{II} := \frac{(h_{balk} - t_f) \cdot t_f \cdot b_f}{2} = 3.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\tau_{II} := V_{Ed.2} \cdot \frac{S_{II}}{(I_s \cdot 2 \cdot a)} = 239.635 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{Ed} := \sqrt{3 \cdot \tau_{II}^2} = 4.151 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{Rd} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 4.533 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd} = 1$$

## Dimensionering av studs enligt 6.6.5 SS EN-1994-2

### Lasteffekt

$$S_c := A_c \cdot a_c = 0.073 \text{ m}^3$$

$$\tau_{c.u} := \frac{(\alpha \cdot V_{Ed} \cdot 2 \cdot S_c)}{b_f \cdot l_{tot.I}} = 1.212 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Kraften i snittet mellan betong och stål per meter balk

$$F_{s.Ed} := \tau_{c.u} \cdot b_f = 4.849 \times 10^3 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

Dimensionerande bärförmåga per studs

$$f_{u.sc} := \min(500 \text{ MPa}, 510 \text{ MPa}) = 5 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Materialparameter på studs stålqualität S355

$$\gamma_V := 1.25$$

$$\alpha_{st} := \min \left[ 0.2 \cdot \left( 1 + \frac{h_{st}}{d_{st}} \right), 1 \right] = 0.983$$

$$P_{Rd.st} := \frac{\left( 0.8 \cdot f_{u.sc} \cdot \pi \cdot \frac{d_{st}^2}{4} \right)}{\gamma_V} = 1.33 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{Rd.sc} := \frac{\left( 0.29 \cdot \alpha_{st} \cdot d_{st}^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \right)}{\gamma_V} = 1.427 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_{Rd} := \min(P_{Rd.st}, P_{Rd.sc}) = 1.33 \times 10^5 \text{ N}$$

Antal studs per meter

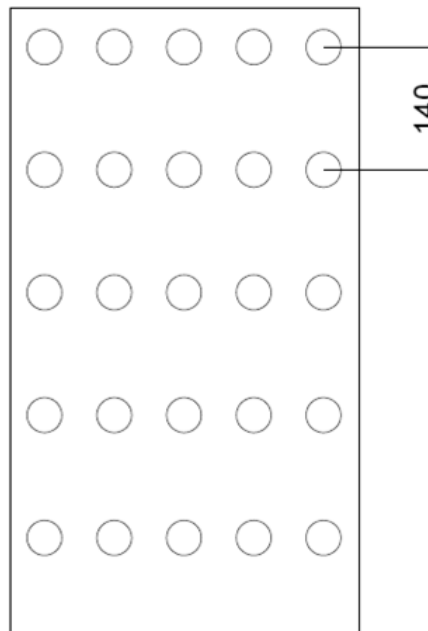
$$n := \frac{F_{s.Ed}}{P_{Rd}} = 36.472 \frac{1}{m}$$

Placerar i rader om 5 med cc 140mm längsriktning

$$b_{tot.studs} := 2 \cdot e_D + 4 \cdot b_{0.min} = 0.4 \text{ m}$$

Antal studs per meter

$$n_r := \frac{5}{0.14 \text{ m}} \quad n_r > n = 0 \quad \text{EJ OK!}$$





## **Kontroller i bruksgränstillstånd**

### **Spänningskontroll**

Villkor för spänningar

(7.3 SS-EN 1993-2)

$$\sigma_{cc.kar} := 0.6 \cdot f_{ck} = 2.4 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{cc.lång} := 0.45 \cdot f_{ck} = 1.8 \times 10^7 \text{ Pa}$$

### **Betongens dragkapacitet**

$$k := 1.6 - \frac{h_c}{m} = 1.3$$

$$\sigma_{ct} \leq k \cdot f_{ctm}$$

$$\sigma_{cr} := k \cdot f_{ctm} = 4.55 \times 10^6 \text{ Pa}$$

### **Betongen underkant dragen del**

$$z_{btg.u} := h_c - X_{TP} = 0.077 \text{ m}$$

$$\sigma_{btg.u.I} := \frac{M_{Ed.b} \cdot z_{btg.u}}{I_{tot.I}} = 1.475 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{btg.u.I} \leq \sigma_{cr} = 1 \quad \text{OK! Betongen spricker inte.}$$

### **Betongens ovankant**

$$z_{btg.ö} := -X_{TP} = -0.223 \text{ m}$$

$$\sigma_{btg.ö} := \frac{M_{Ed.b} \cdot z_{btg.ö}}{I_{tot.I}} = -4.262 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$-\sigma_{btg.ö} \leq \sigma_{cc.kar} = 1$$

### Stålets överkant

$$z_{\text{stål.ö}} := z_{\text{btg.u}} = 0.077 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{stål.ö}} := \frac{\alpha \cdot M_{\text{Ed.b}} \cdot z_{\text{stål.ö}}}{I_{\text{tot.I}}} = 8.849 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{stål.ö}} \leq \sigma_s = 1$$

### Stålets underkant

$$z_{\text{stål.u}} := t_{\text{fu}} + h_w + t_f + h_c - X_{\text{TP}} = 0.677 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{stål.u}} := \frac{\alpha \cdot M_{\text{Ed.b}} \cdot z_{\text{stål.u}}}{I_{\text{tot.I}}} = 7.769 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{stål.u}} \leq \sigma_s = 1$$

## **Kontroll av nedböjning**

Kontroll av nedböjning genomförs med elementarfall där de utbredda trafiklasterna översätts till punktlaster som verkar i mitten på tvärbalken. Detta antagande är konservativt.

Nedböjningsberäkningar utförs genom elementarfall från diverse utdrag för kursen bärande konstruktioner

### **Indata för nedböjnings beräkningar**

$$q_{ed} := 44.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{1.d} := 14.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{2.d} := 5.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_t := 11\text{m}$$

$$L_{\text{balk}} := 12\text{m}$$

$$P_{1.d} := 405\text{kN}$$

$$P_{2.d} := 270\text{kN}$$

$$b_{p.2} := L_{\text{balk}} - 7.5\text{m}$$

### **Översätter utbredd trafiklast till punktlast**

$$P_{t.u} := q_{2.d} \cdot L_t + (q_{1.d} - q_{2.d}) \cdot 3\text{m} = 8.32 \times 10^4 \text{N}$$

### **Nedböjning av översatt trafiklast**

$$p_{t.u} := \frac{(P_{t.u} \cdot L_{\text{balk}}^3)}{48 \cdot E_{\text{sam}} \cdot I_{\text{tot.I}}} = 1.808 \times 10^{-4} \text{m}$$

### **Nedböjning av trafikpunktlaster**

$$p_{t.p.1} := \frac{P_{1.d} \cdot L_{\text{balk}}^3}{48 \cdot E_{\text{sam}} \cdot I_{\text{tot.I}}} = 8.799 \times 10^{-4} \text{m}$$

$$p_{t.p.2} := \frac{P_{2.d} \cdot b_{p.2} \cdot L_{\text{balk}}^2}{48 \cdot E_{\text{sam}} \cdot I_{\text{tot.I}}} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{b_{p.2}^2}{L_{\text{balk}}^2} \right) = 5.362 \times 10^{-4} \text{m}$$

### Nedböjning av egentynqd

$$p_e := \frac{(5 \cdot L_{\text{balk}}^4 \cdot q_{\text{ed}})}{384 \cdot E_{\text{sam}} \cdot I_{\text{tot.I}}} = 7.249 \times 10^{-4} \text{ m}$$

### Total nedböjning

$$p_{\text{tot}} := p_{t.u} + p_{t.p.1} + p_{t.p.2} + p_e = 2.322 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$p_{\text{krav.tvär}} := \frac{L_{\text{balk}}}{400} = 0.03 \text{ m}$$

$$p_{\text{tot}} \leq p_{\text{krav.tvär}} = 1 \quad \text{OK!}$$

## Beräkning av skruvförband mellan tvärbalk och dragband

Förbandet ska dimensioneras för en tvärkraft på 1502,4 kN. På grund av utformningen kommer inget moment att uppstå i förbandet och det finns inga dragkrafter vilket gör att skruvarna endast behöver dimensioneras för skjuvkraft. Förbandet består av 10 stycken M24 skruv av kvalitet 8.8 som går genom livet och en livplåt med en tjocklek på 15 mm som fungerar som livavstyvningar. Detta kommer att ge två stycken skjuvplan som hjälper till att bära lasten.

### Indata

#### Laster

$$V_{tb} := 1502.4 \text{ kN}$$

$$n := 12$$

$$f_{vEd} := \frac{V_{tb}}{n} = 1.252 \times 10^5 \text{ N}$$

#### Plåt

$$t := 13 \text{ mm} + 13 \text{ mm} = 0.026 \text{ m}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$d := 24 \text{ mm}$$

#### Skruv

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$A_s := 353 \text{ mm}^2$$

$$d_0 := d + 2 \text{ mm} = 0.026 \text{ m}$$

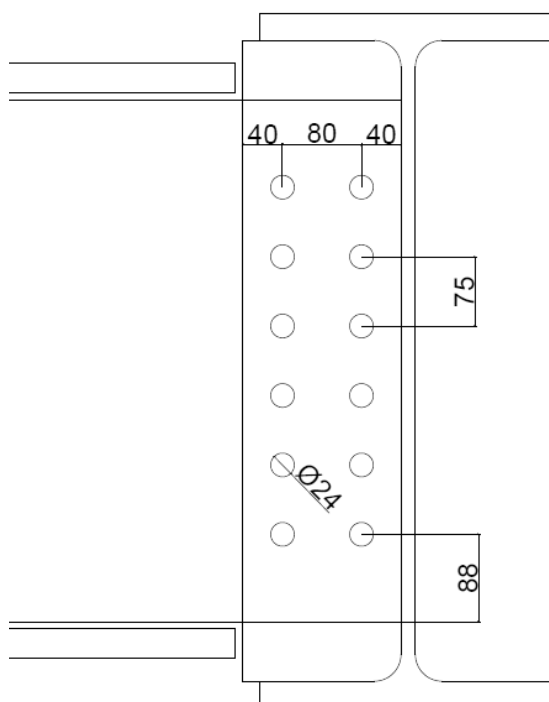
$$e_1 := 103 \text{ mm}$$

$$e_2 := 40 \text{ mm}$$

$$p_1 := 75 \text{ mm}$$

$$p_2 := 80 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} := 1.2$$



## Resultat för dimensionering av skruvförband

### Skjuvbrott i skruven

$$\alpha_v := 0.6$$

$$f_{vRd} := \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 1.412 \times 10^5 \text{ N}$$

SS-EN 1993-1-8 tabell 3.4

$$f_{vRd} > f_{vEd} = 1$$

$$NG_v := \frac{f_{vEd}}{f_{vRd}} = 0.887$$

Nyttjandegrad för skjuvbrott i skruv

### Hålkantbrott i plåten

SS-EN 1993-1-8 tabell 3.4

#### Skrubar vid ände

$$k_1 := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7\right) = 2.5$$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0\right) = 1$$

$$f_{bRd} := k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_0 \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}} = 7.183 \times 10^5 \text{ N}$$

$$f_{bRd} > f_{vEd} = 1$$

#### Inre skruvar

$$k_1 := \min\left(2.5, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7\right) = 2.5$$

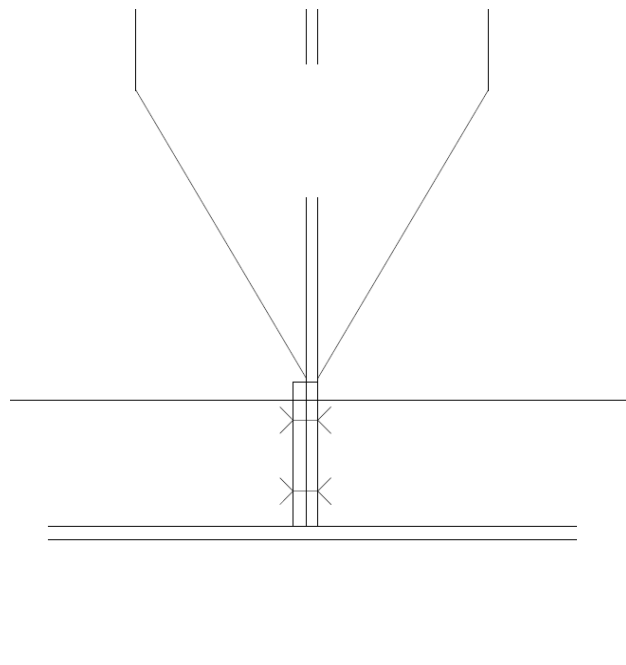
$$\alpha_b := \min\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0\right) = 0.962$$

$$f_{bRd} := k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_0 \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}} = 6.906 \times 10^5 \text{ N}$$

$$f_{bRd} > f_{vEd} = 1$$

$$NG_b := \frac{f_{vEd}}{f_{bRd}} = 0.181$$

Nyttjandegrad för hålkantbrott



## Kontroll av avstånd

$$e_{1\min} := 1.2 \cdot d_0 = 0.031 \text{ m}$$

SS-EN 1993-1-8 tabell 3.3

$$e_1 > e_{1\min} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$e_{2\min} := 1.2d_0 = 0.031 \text{ m}$$

$$e_2 > e_{2\min} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$p_{1\min} := 2.2d_0 = 0.057 \text{ m}$$

$$p_1 > p_{1\min} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$p_{2\min} := 2.4 \cdot d_0 = 0.062 \text{ m}$$

$$p_2 > p_{2\min} = 1 \quad \text{OK!}$$

## Kontroll av livavstyvningens tvärkraftskapacitet

$$f_{pEd} := V_{tb} = 1.502 \times 10^6 \text{ N}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$h_w := 690 \text{ mm} - 2 \cdot 27 \text{ mm} - 2 \cdot 27 \text{ mm} = 0.582 \text{ m}$$

$$t_p := 15 \text{ mm}$$

$$f_{pRd} := h_w \cdot t_p \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 1.789 \times 10^6 \text{ N}$$

SS-EN 1993-1-1 kap 6.2.6

$$f_{pRd} > f_{pEd} = 1$$

$$NG := \frac{f_{pEd}}{f_{pRd}} = 0.84$$

Nyttjandegrad för livavstyvningens tvärkraftskapacitet

## Kontroll av livet i HEA700

$$t_{HEA} := 14.5 \text{ mm}$$

$$f_{HRd} := h_w \cdot t_{HEA} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 1.73 \times 10^6 \text{ N}$$

$$f_{HRd} > f_{pEd} = 1$$

Livet klarar kraften

## Dimensionering av stag

Staget ska dimensioneras för att bära den största normalkraften som hämtas från CALFEM-beräkningarna, se bilaga . Den största lasten som ska bäras blir således 1537 kN och då är även egentyingden från själva staget med. Kraften bärs som en normalkraft och kraften antas fördelas jämnt över ytan. Staget blir draget så det finns ingen risk att den knäcker ut.

### Indata

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

SS-EN 1993-1-1 Tabell 3.1

$$d := 80 \text{ mm}$$

$$A_s := d^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 5.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

### Resultat av dimensionering av stag

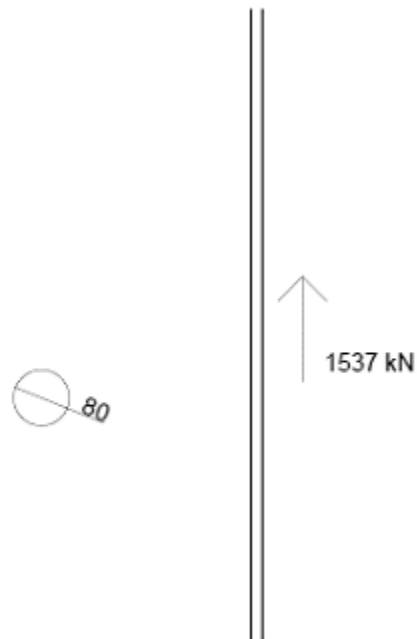
$$f_{t.Ed} := 1537 \text{ kN}$$

$$f_{t.Rd} := A_s \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1.784 \times 10^6 \text{ N}$$

SS-EN 1993-1-1 (6.6)

$$f_{t.Rd} > f_{t.Ed} = 1$$

$$NG := \frac{f_{t.Ed}}{f_{t.Rd}} = 0.861$$





## Dimensionering av infästning vid dragbandet

Staget fästs in till dragbandet genom en bult som går genom en delning av dragbandet och en plåt som även fungerar som livavstyvning i dragbandet. Således måste bulten dimensioneras för skjuvbrott med sammanlagt två skjuvplan samt hålkantsbrott. Livavstyvningen stumsvetsas till dragbandet och behöver således inte dimensioneras eftersom det förutsätts att svetsen görs i ett likvärdigt stål.

### Indata

$$d_b := 55\text{mm}$$

$$f_{ub} := 800\text{MPa}$$

$$f_u := 510\text{MPa}$$

$$t := 80\text{mm}$$

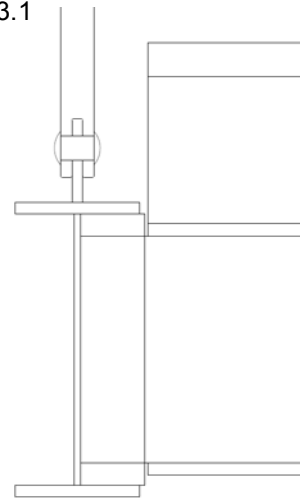
$$f_{v.Ed} := 1537\text{kN}$$

$$A_w := d_b^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 2.376 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n := 2$$

$$\gamma_{M2} := 1.2$$

SS-EN 1993-1-1 Tabell 3.1



### Resultat av dimensionering av infästning

#### Skjuvbrott i bult

$$\alpha_v := 0.6$$

$$f_{vRd} := \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} \cdot n = 1.901 \times 10^6 \text{ N} \quad \text{SS-EN 1993-1-8 tabell 3.4}$$

$$f_{vRd} > f_{v.Ed} = 1$$

$$NG_b := \frac{f_{v.Ed}}{f_{vRd}} = 0.809$$

Nyttjandegrad för skjuvbrott i bult

## Hålkantstryck

$$e_1 := 70\text{mm}$$

$$e_2 := 70\text{mm}$$

$$k_1 := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_b} - 1.7\right) = 1.864$$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{f_{ub}}{f_u}, \frac{e_1}{3 \cdot d_b}, 1.0\right) = 0.424$$

$$f_{bRd} := k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}} = 2.151 \times 10^6 \text{ N}$$

$$f_{bRd} > f_{v,Ed} = 1$$

$$NG_p := \frac{f_{v,Ed}}{f_{bRd}} = 0.715$$

## Kontroll av avstånd

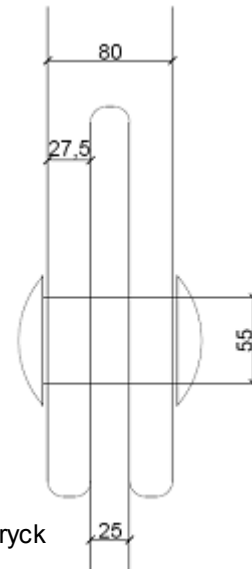
$$e_{1min} := 1.2 \cdot d_b = 0.066 \text{ m}$$

$$e_{1min} < e_1 = 1 \quad \text{OK!}$$

$$e_{2min} := 1.2 \cdot d_b = 0.066 \text{ m}$$

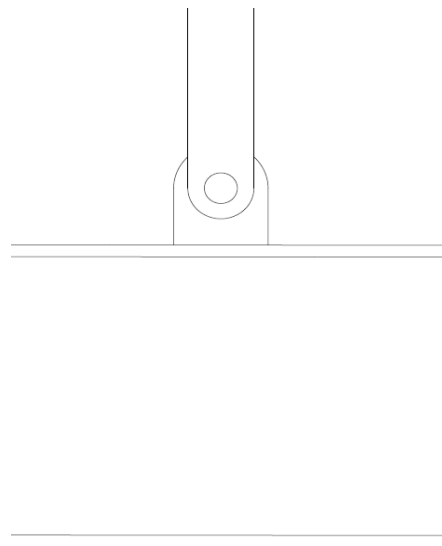
$$e_{2min} < e_2 = 1 \quad \text{OK!}$$

SS-EN 1993-1-8 tabell 3.4



Nyttjandegrad för hålkantstryck

SS-EN 1993-1-8 tabell 3.3



## Dimensionering av infästning i bågen

Samma typ av infästning av bult och plåtar används som tidigare så dessa anses vara dimensionerade. Dock ska plåten fästas in i livet på bågen med källsvetsar. Plåten har höjden 500 mm och tjocklek på 25 mm vilket gör det möjligt för inspektioner i bågen. Kraften tas upp som skjuvspänningar parallellt med svetsen. Sammanlagt fyra stycken svetsar används.

### Indata

$$a := 4 \text{ mm}$$

$$\beta := 0.9$$

$$l_w := 500 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} := l_w - 2 \cdot a = 0.492 \text{ m}$$

### Resultat

$$\tau_{\text{par}} := \frac{f_v \cdot E_d}{4 \cdot l_{\text{eff}} \cdot a} = 1.952 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\text{vr}} := 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{vr}} := 0 \text{ Pa}$$

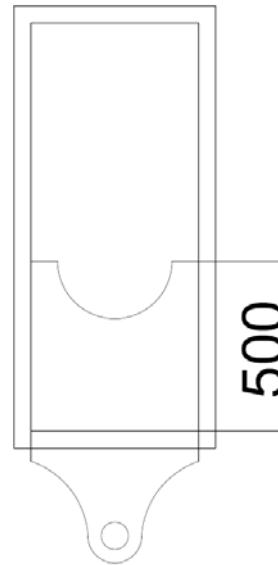
$$\sigma_{\text{vr}} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$\sigma_{\text{Ed}} := \sqrt{\sigma_{\text{vr}}^2 + 3(\tau_{\text{par}}^2 + \tau_{\text{vr}}^2)} = 3.382 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{Rd}} := \frac{f_u}{\beta \cdot \gamma_{M2}} = 4.722 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{Rd}} > \sigma_{\text{Ed}} = 1$$

$$NG_{\sigma} := \frac{\sigma_{\text{Ed}}}{\sigma_{\text{Rd}}} = 0.716$$



SS-EN 1993-1-8 (4.1)

Nyttjandegrad för svets i båge

## Dimensionering av landfästen

Maximala kraften som går ner från bågen är 6457 kN och kräver således ett lager som klarar 7000 kN som för lasten ner i grunden. Lagret med den minsta diametern har en diameter på 610 mm. Landfästena gjuts i betong med kvalitet C30/37 och har en längd på 1600 mm och bredd på 1400 mm. Lasten fördelas ner i landfästet med 1:2 så diametern på den nedre tryckzonen blir 1190 mm.

### Indata

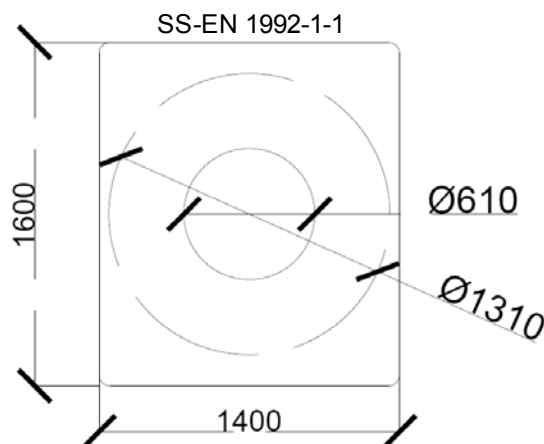
$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$d_0 := 610 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} := 6457 \text{ kN}$$

$$h := 700 \text{ mm}$$



### Resultat av dimensionering av betongfundament

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2 \times 10^7 \text{ Pa}$$

SS-EN 1992-1-1 kap 6.7

$$d_1 := d_0 + h = 1.31 \text{ m}$$

$$d_1 < \min(1400 \text{ mm}, 1600 \text{ mm}) = 1$$

Kontroll att diametern inte är större än landfästet

$$A_{c0} := \frac{d_0^2 \cdot \pi}{4} = 0.292 \text{ m}^2$$

$$A_{c1} := \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} = 1.348 \text{ m}^2$$

$$F_{Rdu} := \min\left(A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}, 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd}\right) = 1.255 \times 10^7 \text{ N}$$

SS-EN 1992-1-1 ekv 6.63

$$F_{Rdu} > F_{Ed} = 1$$

$$NG := \frac{F_{Ed}}{F_{Rdu}} = 0.514$$

Nyttjandegrad för betongfundamentet

## Övergångskonstruktionens längd

Minimala längden på övergångskonstruktionen beräknas till temperaturutvidningen plus 10 mm för att bro är grundlagd på mantelpålar enligt SS-EN...

### **Temperaturutvidning för dragband**

$$\alpha_c := 10 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$$

Eurokod SS-EN 1991-1-5 **Tabell C.1**  
TRVFS 2011:12

$$L := 75\text{m}$$

$$\Delta T := 64\text{K}$$

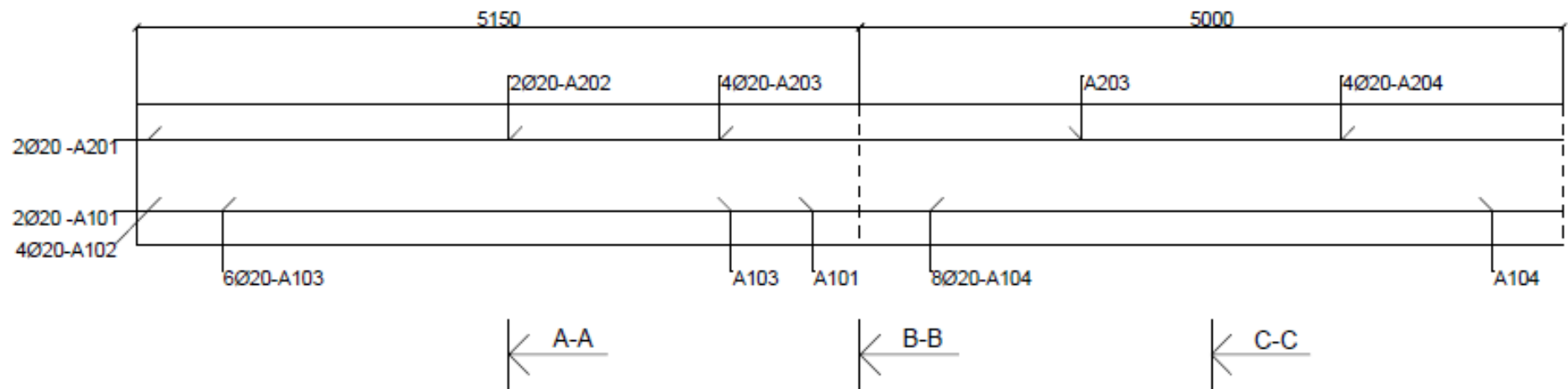
$$\Delta L_{\text{temperatur}} := \alpha_c \cdot L \cdot \Delta T = 0.048\text{m}$$

$$\Delta L_{\text{övergång, min}} := \Delta L_{\text{temperatur}} + 0.01\text{m} = 0.058\text{m}$$

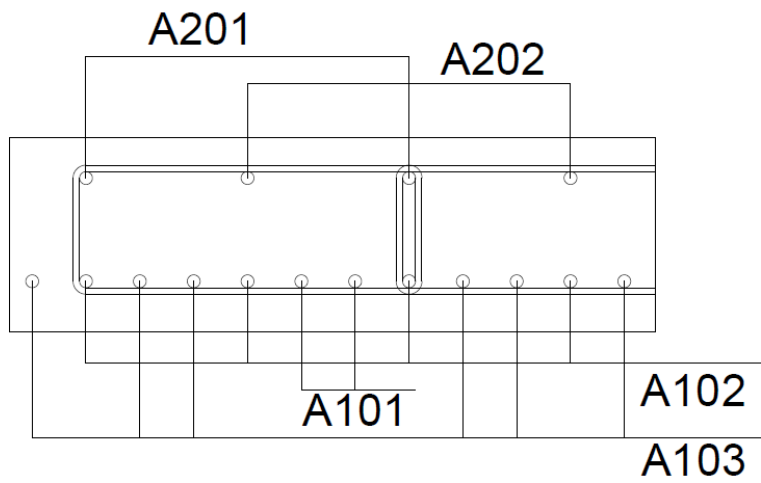
# Bilaga 11

---

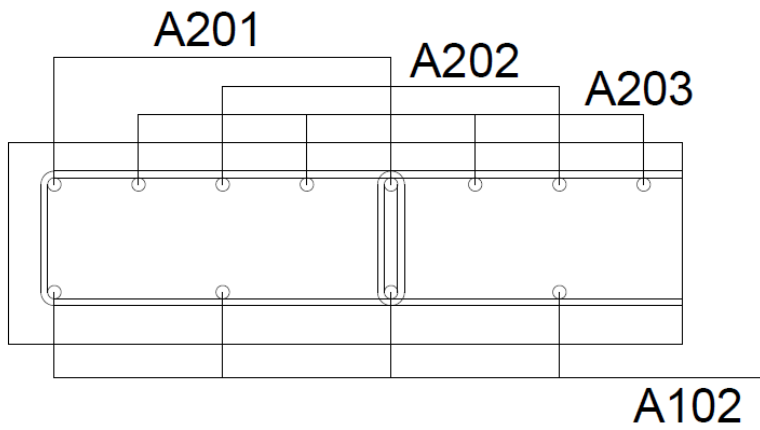
## Armeringsritningar



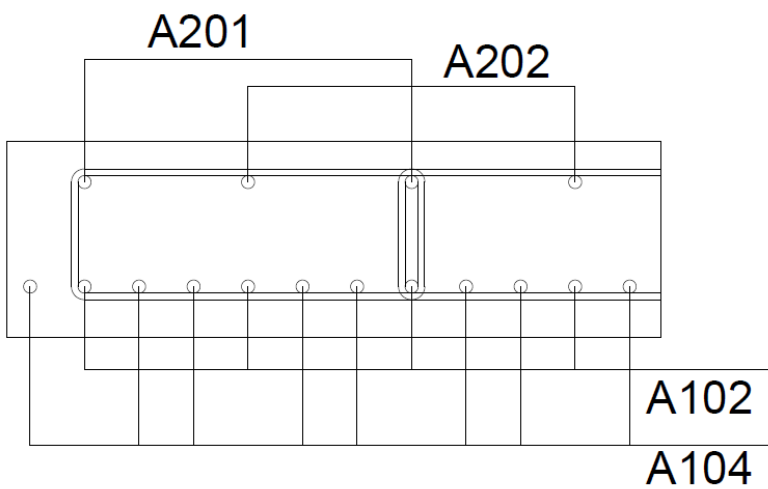
Vänsterkant är ytterfack och höger är mittenfack där armering avkortas på samma sätt i resterande mittenfack. Se nästa sida för sektionsritningar A-A, B-B och C-C.



**A-A**



**B-B**



**C-C**