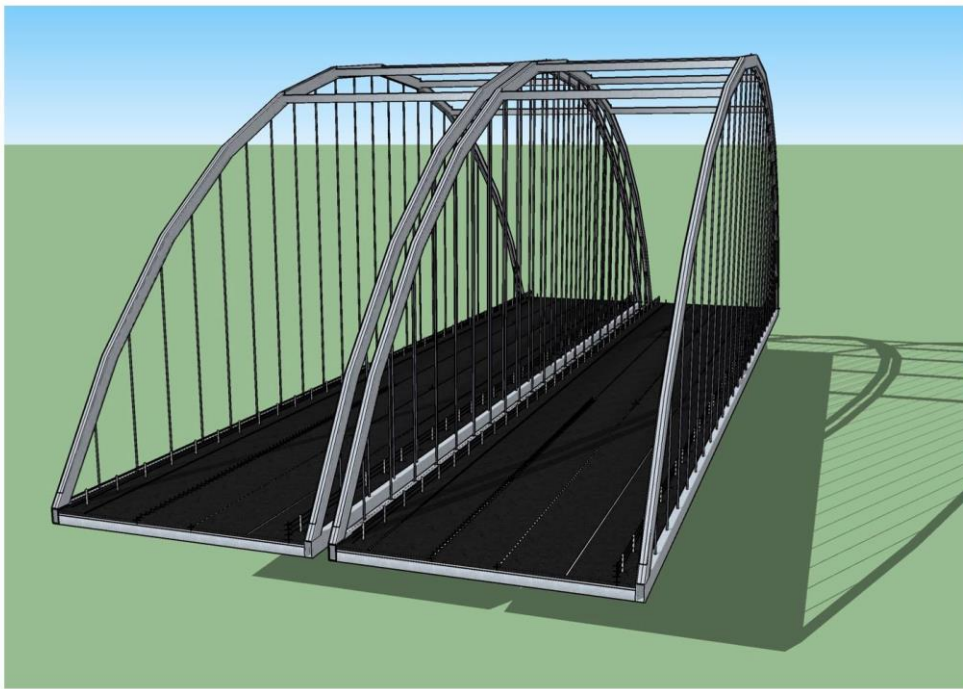




Motorvägsbro vid Alnarp

Konceptuell design och preliminärdimensionering

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet
Väg och Vattenbyggnad*

ANNA DE BOURGH, FELICIA FLINK, JOSEFINE
RUNEBRANT, ANTON STENSEKE, MAJA SWERRE
OCH PETTER ÖHMAN

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2016

Motorvägsbro vid Alnarp
Konceptuell design och preliminärdimensionering
Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet
Väg- och Vattenbyggnad

ANNA DE BOURGH, FELICIA FLINK, JOSEFINE RONEBRANT, ANTON STENSEKE,
MAJA SWERRE OCH PETTER ÖHMAN

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Södra stambanan mellan Malmö och Lund, i Skåne, ska byggas ut till fyra spår för att tillgodose den fortgående ökningen av tågtrafiken. Under det senaste decenniet har sträckan fått tredubblad ökning av tågresande och vid rusningstrafik finns det risk för störningar då maximal kapacitet uppnås. För att biltrafiken ska kunna korsa den nya, utbyggda, järnvägen behöver en ny motorvägsbro konstrueras vid Alnarp. Denna rapport syftar till att ta fram det mest lämpliga brokonceptet för den aktuella situationen. Konceptet kommer att detaljstuderas och preliminärdimensioneras.

För att ta fram det mest lämpliga brokonceptet granskas olika koncept utifrån givna förutsättningar. Efter utsällning av dem som inte klarar de givna kraven viktas sju kvarstående brokoncept mot varandra med avseende på utvalda kriterier. Med hjälp av en beslutsmatris där de olika koncepten får poäng beslutas vilken bro som anses mest lämplig. Bron med högst poäng anses som mest lämplig och kommer vidare att detaljbeskrivas samt dimensioneras.

Den mest lämpliga bron utifrån krav och förutsättningar ansågs vara en bågbro i stål. Bron kommer att bestå av separata broar i vardera körriktning där de båda broarna är identiska och fritt upplagda vid landfäste. Schaktningsarbete kommer ske för att åstadkomma vinkelrät påfart på bron och bidra till att bågarerna får ett jämt verkningssätt. Bågbron består av fyra ovanliggande stålbågar, två för varje bro, med rektangulära tvärsnitt fastsatta i förstärkningsbalkar med lådtvärsnitt av stål. Brobanan bärs upp av tvärbalkar placerade mellan förstärkningsbalkarna och lasten tas upp av hängstag som för lasten vidare till bågarerna. Den totala brobredden för vardera bro är 17 m med en spännvidd på 100 m.

Dimensionering av bron bygger på beräkningar enligt den europeiska standarden för konstruktionsberäkningar, Eurocode, samt böckerna Bärande konstruktioner Del 1 och 2. Genom en iterativ process med beräkningsverktygen Matlab och Mathcad samt analys med hjälp av CALFEM beräknas brons dimensionerande värden samt kapacitet. Dessa ligger till grund för dimensionerna på brons olika konstruktionsdelar.

Idéfasen och preliminärdimensioneringen resulterar i en bågbro av stål som är fullt möjlig att bygga utefter de förutsättningar och krav som finns. Med hänsyn tagen till de förenklingar och antaganden som gjorts visar preliminärdimensioneringen på att konceptet håller. På grund av att detta bara är en preliminärdimensionering kommer ytterligare dimensionering krävas innan bron kan byggas.

Nyckelord: Bågbro, motorvägsbro, preliminärdimensionering, konceptutveckling, trafikplats Alnarp

Omslag:

Modell på valt koncept, bågbro i stål

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Göteborg 201

Motorway bridge at Alnarp

Conceptual design and preliminary dimensioning

BACHELOR THESIS

Building and Civil Engineering

ANNA DE BOURGH, FELICIA FLINK, JOSEFINE RONEBRANT, ANTON STENSEKE,
MAJA SWERRE AND PETTER ÖHMAN

Department of Civil and Environmental Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The south main railway line between Malmö and Lund, in Skåne, will be expanded to four tracks to meet the growth of the rail traffic. During the last decade the travellers have tripled which have led to the utilisation of all the capacity at rush hour and created a risk of disturbance on the railway. To enable the car traffic to cross the expanded railway a new motorway bridge has to be constructed at Alnarp. The aim with this report is to develop the most suitable bridge concept for this case which will be studied in detail and thereafter preliminary dimensioned.

To sort out which concept is the most suitable different concepts will be reviewed from the given premises above. The concepts that do not meet the requirements will be sorted out. Seven remaining bridge concepts will then be weight against each other by using a determinations matrix where the different bridges are given points. The bridge with the highest point is considered the most suitable and will be studied and preliminary dimensioned.

The most suitable bridge in regard to the requirements was an arch bridge made of steel. The bridge will consist of two separate bridges, one in each direction, where the bridges are identical and simply supported at the abutment. Soil excavating will take place to make the entrance of the bridge perpendicular and to enable the arches to work better together. The arch bridge will consist out of four steel arches, two for each bridge, which lies over the road and are made out of hollow cross sections set on box-shaped stiffening girders of steel. Crossbeams placed between the stiffening girders carry the bridge deck and suspension struts carry the load to the arches. The total width of each bridge is 17 m with a bearing length of 100 m.

The dimension of the bridge is based on calculation according to the European standard for construction calculations, Eurocode, and the books *Bärande konstruktioner Del 1* and *2*. Through an iterative process with the calculation tools Matlab and Mathcad and analysis made with CALFEM the bridges dimensioned values and capacities are calculated. These calculations make the base for the dimensions for the different structural parts.

The conceptual phase and the preliminary dimension result in a steel arch bridge which is possible to build according to the conditions and requirements presented. With consideration to the simplifications and assumptions that have been done, the preliminary dimension shows that the concept will last. Due to the fact that this is only a preliminary dimension, further dimensions will have to be made before the bridge can be build.

Key words: Arch bridge, motorway bridge, preliminary dimension, concept development, highway junction Alnarp.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	I
BACHELOR THESIS	III
ABSTRACT.....	V
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	VI
FÖRORD	XI
FÖRTECKNINGAR BILAGOR.....	XIV
BEGREPPSFÖRKLARING	XV
DEL 1 - IDÉFAS	1
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 Förutsättningar för bron	3
2.1 Geotekniska förhållanden.....	3
2.2 Trafikmängd	3
3.1 Trä	4
3.1.1 Trä som byggnadsmaterial.....	4
3.1.2 För- och nackdelar med trä.....	4
3.2 Betong	5
3.2.1 Betong som byggnadsmaterial.....	5
3.2.2 För- och nackdelar med betong	5
3.3 Stål.....	6
3.3.1 Stål som byggnadsmaterial.....	6
3.3.2 För- och nackdelar med stål.....	6
4 Brotyper	7
4.1 Balkverkan	7
4.1.1 Balkbro	7
4.1.2 Plattbro.....	8
4.1.3 Rambro	8
4.2 Bågverkan.....	9
4.2.1 Valvbro	9
4.2.2 Bågbro	9
4.2.3 Rörbro.....	10

4.3 Linverkan	10
4.3.1 Snedkabelbro	10
4.3.2 Hängbro	11
5 Beställarens önskemål och Konstruktionsaspekter	12
5.1 Materialkostnad och Materialåtgång	12
5.2 Ekonomins betydelse i byggprojekt	12
5.3 Trafiksäkerhet vid utformning av broar	12
5.4 Estetik vid utformning av broar	13
6 Produktionsmetoder vid brobyggnad	14
6.1 Produktionsmetoder för träbroar	14
6.2 Produktionsmetoder för betongbroar	14
6.2.1 Formgjuten betong	14
6.2.2 Glidformsgjutning	14
6.2.3 Klätterformsgjutning	14
6.3 Produktionsmetoder för stålbroar	15
6.3.1 Valsade profiler	15
6.3.2 Svetsade profiler	15
6.3.3 Förband	15
6.3.4 Kablar	15
6.4 Lansering	16
7 Förvaltning av broar	17
7.1 Förvaltning av träkonstruktioner	17
7.2 Förvaltning av armerade betongkonstruktioner	17
7.3 Förvaltning av stålkonstruktioner	18
8 Första urvalsprocessen	19
8.1 Ogenomförbara broar	19
8.2 Genomförbara broar	19
9 Kriterier som utvärderas	20
9.1 Beskrivning av kriterier	20
9.1.1 Trafiksäkerhet	20
9.1.2 Miljö	20
9.1.3 Estetiskt tilltalande	20
9.1.4 Materialkostnad	20
9.1.5 Genomförbarhet	20
9.1.6 Byggtid	20

9.1.7 Produktionskostnad	20
9.1.8 Materialåtgång	20
9.1.9 Underhållskostnad	20
9.1.10 Underhållsbehov	21
9.1.11 Underhållsmöjlighet	21
9.2 Viktning av kriterier	21
10 Beskrivning av brokoncept	22
10.1 Balkbro med samverkan och lådtvärsnitt	22
10.2 Balkbro med samverkan och I-tvärsnitt	22
10.3 Balkbro av betong med lådtvärsnitt	22
10.4 Balkbro av betong med T-tvärsnitt.....	22
10.5 Bågbro av stål.....	23
10.6 Bågbro av betong	23
10.7 Snedkabelbro	23
11 Jämförelse av koncept.....	24
12 Andra urvalsprocessen	27
13 Detaljbeskrivning av valt koncept	28
13.1 Grundläggning och stöd	28
13.2 Konstruktion av bron.....	28
13.2.1 Bärverk	28
13.2.2 Lager.....	29
13.2.3 Övergångskonstruktioner.....	29
13.2.4 Räckan	30
13.3 Produktion av valt koncept.....	30
13.4 Förvaltning av valt koncept.....	31
DEL 2 - PRELIMINÄRDIMENSIONERING	32
14 Lastframtagning	32
14.1 Egentyngd.....	32
14.2 Trafiklast	32
14.3 Dimensionerande laster	33
14.4 Vindlast	34
15 Lasteffekt	36
15.1 Lasteffekt brobaneplatta	36
15.2 Lasteffekt tvärbalkar	38
15.3 Lasteffekt hängare och dess infästningar	40

15.4 Lasteffekt båge	40
15.5 Lasteffekt förstyrningsbalk.....	41
16 Dimensionering av brokomponenter.....	42
16.1 Dimensionering av brobaneplatta.....	42
16.2 Dimensionering av tvärbalkar	43
16.3 Dimensionering av hängare och dess infästningar	44
16.4 Dimensionering av båge.....	44
16.5 Dimensionering av förstyrningsbalk	45
16.6 Detaljer.....	46
16.6.1 Svetsar	46
16.6.2 Lager.....	47
16.6.3 Övergångskonstruktion.....	48
16.6.4 Avvattningssystem.....	49
17 Resultat	50
18 Diskussion.....	52
18.1 Metod och arbetssätt.....	52
18.2 Konceptets utformning.....	52
18.3 Brons dimensioner.....	53
18.4 Förenklingar och antaganden under dimensioneringsprocessen.....	53
18.5 Kvarstående dimensionering.....	54
18.6 Källkritik	55
19 Slutsats	56
Litteraturförteckning.....	57
Bilagor.....	60

FÖRORD

Denna rapport är skriven som ett kandidatarbete vid institutionen för Bygg- och miljöteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och har skrivits av sex studenter som läser tredje året på Väg- och Vattenbyggnad. COWI AB har för detta kandidatarbete tagit fram förutsättningar ur en verklig situation där en ny bro behöver byggas. Syftet är att studenterna utifrån dessa förutsättningar ska ta fram ett lämpligt alternativt brokoncept. För att åstadkomma detta har vägledning och hjälp från ett antal personer varit nödvändigt.

Vi vill därför tacka våra handledare, Sören Lindgren på Chalmers Tekniska Högskola och Staffan Lindén på COWI AB som har varit behjälpliga i frågor och gett oss handledning genom arbetet. Vi vill även tacka Joosef Leppänen, universitetslektor på avdelningen för konstruktionsteknik, som även han väglett oss genom arbetet och hjälpt till vid frågor om beräkningar.

Göteborg maj 2016

Anna de Bourgh
Felicia Flink
Josefine Runebrant
Anton Stenseke
Maja Swerre
Petter Öhman

FÖRTECKNINGAR BILAGOR

- Bilaga 1. Planritning
- Bilaga 2. Profilritning
- Bilaga 3. Skiss av urschaktning
- Bilaga 4. Tabell över spännvidder
- Bilaga 5. Skisser på brokoncept
- Bilaga 6. Bild på valt koncept
- Bilaga 7. Beräkningsprogram i Matlab
- Bilaga 8. Dimensionering av brodelar i Mathcad
- Bilaga 9. Övriga beräkningar i Mathcad
- Bilaga 10. Förklaring till snittkraftsberäkningar för tvärbalkar

BEGREPPSFÖRKLARING

Dislokation - Ett atomplan som avslutas mitt inne i kristallstrukturen.

Domkraft - Mekanisk eller hydraulisk anordning med vars hjälp man med handkraft lyfter stora tyngder korta sträckor.

Dragband - Stag spänt mellan två byggnadsdelar.

Dynamiska laster - Last som orsakas av massa i rörelse.

Excentrisk kraft - Kraft som verkar vid sidan av systemlinjen.

Förstyvningsbalk - Balkar längs brons långsidor för att stödja konstruktionen, vanligen utformade för att hantera horisontella spänningar som uppkommer i konstruktionen.

Huvudbärverk - Bär last i brons längdriktning och överför lasten till underbyggnaden.

Karbonatisering - Då luftens koldioxid diffunderar in i betongen och reagerar med kalciumhydroxid vilket bildar kalciumkarbonat som bidrar till en pH-sänkning.

Korrosion - En elektrokemisk process som kräver syre och vatten och orsakar att metall oxiderar och rost bildas.

Krympning - Deformation påverkad av uttorkningsbetingelser men oberoende på last.

Krypning - Deformationer som ökar med tiden till följd av att belastning.

Landfästen - Del av underbyggnad till bro som utgör upplag för brobärverkets ändar.

Lasersvetsning - Svetsning som tillämpar laserstrålning för att kunna sammanfoga delar som annars varit omöjligt.

Pylon - Torn i trä, stål eller betong som stöder eller bär upp delar av en byggnadskonstruktion.

Referenshastighet - Hastighet som anges på trafikskyltar.

Samverkan - När två olika material samverkar med varandra för att ta hand om laster.

Sekundärbärverk - Bär last i brons tvärriktning och överför lasten till huvudbärverket.

Studs - Bult som svetsas fast i balk för att främja samverkan, även på svenska kallad för svetsbult.

Transversal - En tvärbalk som ligger ovanför brobanan.

Tvärbalkar - Balk som är lagd på tvären mot huvudriktningen i en byggnadskonstruktion.

Vittring - Process som gör att sammanhållningen mellan ballast och cementpasta förvinns och orsakas av temperatur, fukt, kemiska angrepp eller temperaturrörelse.

Ändavstyvning - Tvärgående avstyvning över upplag som stabiliserar balk mot buckling.

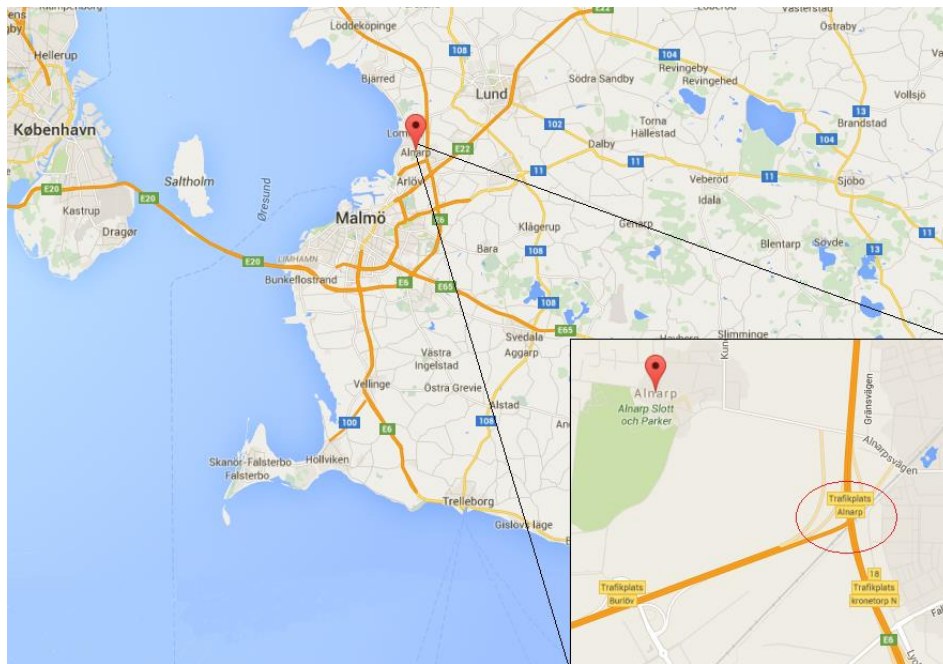
DEL 1 - IDÉFAS

1 Inledning

Brobyggarkonsten är ett av världens äldsta yrken, från att stockar placerades över vattendrag till dagens hängbroar med spann långt över 1 km (Nationalencyklopedin, Axelsson, & Elfgren, Bro). Broar har sedan tidigt varit en central del av infrastrukturen och allt eftersom människans tekniska kompetens utvecklats har nya innovativa och effektivare koncept kunnat tas fram.

1.1 Bakgrund

Mellan Malmö och Lund, se Figur 1, sträcker sig den sydligaste delen av Södra stambanan som under det senaste decenniet fått tredubblad ökning av tågresa (Trafikverket, 2015). Sträckan är en av Sveriges mest trafikerade som vid rusningstrafik belastas till maximal kapacitet vilket medför stor risk för störningar. Störningar på sträckan påverkar södergående och norrgående trafik. För att tillgodose den fortgående ökningen av tågtrafiken måste sträckan mellan Lund och Malmö byggas ut till fyra spår. En motorvägsbro behöver därför konstrueras vid Alnarp för att leda biltrafiken över den nya utbyggda järnvägen (Trafikverket, 2012).



Figur 1 Karta över södra Sverige med brons placering utsatt. (Google maps, 2016).

1.2 Syfte

Projektet syftar till att ta fram det mest lämpliga brokonceptet för den aktuella situationen. Olika material och brotyper ska jämföras med varandra med avseende på utvalda kriterier för att motivera valet av koncept. Detta koncept ska detaljstuderas och en preliminärdimensionering ska utföras. Resultatet bör utmynna i en fullt funktionell och trafiksäker bro som klarar av de krav och lastfall som aktuell situation kräver.

1.3 Avgränsningar

Grundläggningsförhållanden påverkar val av koncept men inga beräkningar på grundläggningen kommer att utföras. Materialvalen har begränsats till trä, stål och betong vilka

är de mest konventionella materialen vid brobyggnad. Brons vertikalradie försummas och den kommer därför att ses som helt horisontell vid beräkning. Ekonomi beaktas vid val av koncept men en budget för projektet finns inte att tillgå. Således finns ingen gräns för projektets kostnad vilket ger större frihet vid utformningen av koncept. På grund av tidsbrist och bristande information kommer kriterierna vara överslagsmässigt bedömda men ändå visa på viktiga skillnader koncepten emellan. Endast ett koncept beaktas när dimensioneringsfasen inleds och beräkningar kommer att ske utifrån den europeiska normen, Eurocode. På grund av att bara en preliminär dimensionering genomförs kommer vissa detaljer bortses från och vidare kontroller måste utföras innan bron kan färdigställas.

1.4 Metod

Rapporten delas in i två delar, litteraturstudie och preliminärdimensionering. I litteraturstudien granskas olika brokoncept utifrån de givna förutsättningarna. De brokoncept som inte klarar de givna kraven anses som ogenomförbara och behandlas inte vidare. Efter en första gallring tas sju lämpliga koncept fram som sedan jämförs med avseende på utvalda kriterier. De olika kriterierna viktas mot varandra och varje bro poängsätts utifrån dessa kriterier. Med hjälp av en beslutsmatris får de olika koncepten en poäng där konceptet med flest poäng studeras vidare i Del 2 av rapporten och preliminärdimensioneras.

Stor del av informationen i litteraturstudien hämtas på internet från Trafikverket bro och tunnelmanagement BaTMan, andra tillförlitliga webbsidor, böcker från Chalmers bibliotek, föreläsningar samt muntliga källor.

Beräkningarna i Del 2 bygger på Eurocode, vilken är den europeiska standarden för konstruktionsberäkningar. Böckerna Bärande konstruktioner Del 1 och 2 används i stor utsträckning vid beräkningar och även dessa bygger på Eurocode men ger en mer lättöversiktlig bild av vad som krävs för vissa beräkningar. Vid dimensionering av systemet används Mathcad, Matlab samt CALFEM beräkningar. CALFEM är en verktygslåda som används vid "finita element metoden" beräkningar i Matlab.

2 Förutsättningar för bron

Den nya bron som ska byggas vid trafikplats Alnarp, E6/E20, söder om Åkarp i Skåne ska överbygga fyra järnvägsspår och en påfartsväg. Enligt Staffan Lindén¹ ställs krav på 6,3 meter fri höjd och skyddsnät för bron på grund av järnvägsspåren. Höjden från rälsens överkant till körbanan uppmäts till 7,4 m, se Bilaga 2, vilket ger en maximal konstruktionshöjd på 1,1 m. Bron kommer ha sex filer och därmed en total brobanebredd på 34,5 m och en total längd på 92,0 m enligt Bilaga 1.

Området befinner sig i klimatklass ett med extremtemperaturer mellan -24 till 36 °C och en referensvindhastighet på 26 m/s (EKS -BFS 2015:6, 2015, ss. 46,59,61).

Befintlig tågtrafik får inte utsättas för längre störningar under produktionstiden enligt Lindén². Möjligheten att bygga form för platsgjutning finns inte men plats för gjutning finns vid sidan om trafikplatsen. Det rekommenderas att ha ett minsta avstånd från spårmitt till landfästen och mellanstöd på 5,5 m (Banverket, 2007, s.21). Detta bör endast frångås vid speciella förhållanden då störning av järnvägstrafiken medför stora kostnader.

Vid en snedvinklig bro uppkommer ett rotationsmoment kring vertikalaxeln som måste tas upp av landfästena om dessa inte är fristående. Dessa moment måste föras ner genom landfästena och skapar där större horisontalkraft och grundtrycket blir då ojämnt fördelat. Detta kan bli ett problem vid platta på mark om materialet i undergrunden är av dålig kvalitet (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s.88). Till följd av detta måste mer armering tillföras i betongbroar vilket både är kostsamt och ofta krångligt. För vissa brotyper är det därför lämpligt att förlänga bron och göra den rak.

2.1 Geotekniska förhållanden

Alnarp ligger mellan Flackarp och Arlöv vars område utgörs av ett svagt böljande slättområde som stiger från cirka 5 m ö.h vid Arlöv till cirka 25 m ö.h vid Flackarp (Andersson, Kindestam, Nordkvist, Jiwestam, & Tyréns AB, 2015, s.26). Alnarpssänkan som är en drygt 5 km bred markant dalgång med nordväst-sydost riktning dominerar den geologiska strukturen. Den är helt igenfylld med jordlager.

Alnarpssänkans jordarter består till övre del av vanligen fin sand men även sand, silt, lera och äldre moränlager förekommer (Andersson, Kindestam, Nordkvist, Jiwestam, & Tyréns AB, 2015, s.26). Undre delen består av sand och grus. Grundförutsättningarna är samma oavsett brokoncept och kommer inte att behandlas närmare.

2.2 Trafikmängd

Norr om trafikplatsen Alnarp färdas cirka 44 000 fordon per dygn, varav 15 % tunga fordon (Andersson, Kindestam, Nordkvist, Jiwestam, & Tyréns AB, 2015, s. 21). Söder om trafikplatsen färdas cirka 34 000 fordon, varav 13 % tunga fordon. År 2030 förväntas E6/E20 trafikeras av cirka 46 000 fordon per dygn söder om trafikplatsen och ca 60 000 fordon per dygn norr om trafikplatsen. Vägen utformas för en referenshastighet på 110 km/h.

¹ Staffan Lindén (Gruppchef Broteknik, COWI) handledningsmöte den 19 januari 2016.

² Staffan Lindén (Gruppchef Broteknik, COWI) handledningsmöte den 04 februari 2016.

3 Konstruktionsmaterial

Broars material har utvecklats under åren och spelar stor roll för brons egenskaper inom till exempel hållfasthet, spännvidd och utseende. De vanligaste konstruktionsmaterialen idag är enligt Mario Plos³ trä, betong och stål.

3.1 Trä

Trä består huvudsakligen av tre beståndsdelar: cellulosa, hemicellulosa och lignin (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, s. T9). Cellulosan och hemicellulosa bildar rörformiga vedceller i träets längdriktning som är sammansatta med hjälp av ligninet.

3.1.1 Trä som byggnadsmaterial

Olika träslag har olika egenskaper vilka kan komma att variera beroende på hur träet behandlas (TräGuiden, Om trä, materialet trä, Träets egenskaper, 2003). På grund av träets struktur har det olika egenskaper i olika riktningar. Hållfastheten är som högst både i tryck och drag parallellt med fibrerna och minskar ju större vinkeln mellan belastning och fiberriktning blir, för att bli som lägst vinkelrätt fiberriktningen (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. T9-T21). Generellt har konstruktionsvirke något högre tryck- än draghållfasthet medan limträ har något högre drag- än tryckhållfasthet.

Det är inte bara belastningsvinkeln som påverkar träets egenskaper. Fuktinnehållet, belastningstid och lastens storlek behöver också tas med i beräkningarna (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. T9-T21). Trä har förmågan att ta upp och avge fukt, det är hygroskopiskt, och fuktförhållandet i materialet påverkar i hög grad dess mekaniska egenskaper (TräGuiden, Om trä, materialet trä, Träets egenskaper, 2003). Högst hållfasthet har torrt trä och förenklat kan hållfastheten beskrivas som linjärt fallande med fuktkvoten tills att fibermättnadsgrad uppnåtts (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. T9-T21).

3.1.2 För- och nackdelar med trä

Träets största fördelar är dess isoleringsförmåga, lätthet och dess höga hållfasthet i förhållande till dess vikt (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, s.T1). På grund av dess låga vikt är träet enkelt att transportera och bearbeta, vilket kan vara mycket användbart i miljöer där projektiden är begränsad eller då det behövs specialanpassade maskiner. Träets nackdelar är dess fuktkänslighet, brännbarhet och risk för insekts- och rötangrepp.

Ur ett miljöperspektiv är trä ett mycket fördelaktigt material (TräGuiden, Om trä, materialet trä, Träets egenskaper, 2003). Ungefär hälften av Sveriges landareal består av skog och energiåtgången vid utvinningen av materialet är betydligt lägre än för betong och stål. Det anses även som en förnybar resurs som kan återvinnas och binder under sin livstid koldioxid.

³ Mario Plos (Docent vid Bygg- och Miljöteknik/Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) föreläsning den 21 januari 2016.

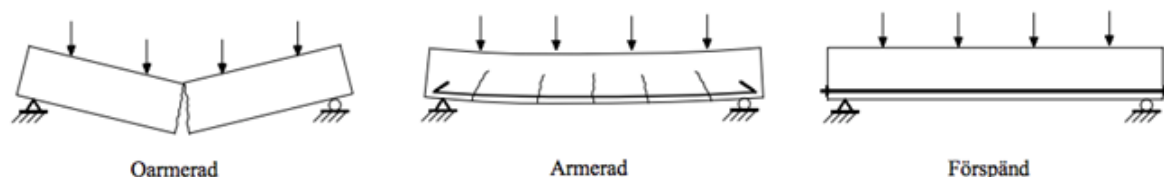
3.2 Betong

Betong består i huvudsak av tre komponenter: cement, ballast och vatten. För att kunna styra materialets egenskaper i såväl färskt som härdat tillstånd tillsätts även tillsatsmedel i blandningen.

3.2.1 Betong som byggnadsmaterial

Betong är idag det dominerande byggnadsmaterialet och används till alla typer av bärande konstruktioner. Den mest typiska egenskapen för härdad betong är dess stora tryckhållfasthet men en betydligt lägre draghållfasthet, endast 10 % av tryckhållfastheten (Burström, 2006, ss. 320-321). Den låga draghållfastheten leder till uppkomsten av sprickor då betongen utsätts för dragpåkänningar. För att i detta läge kunna behålla jämvikt gjuts armering in som upptar dragkrafter i betongen. Detta gör i själva verket betongen till ett samverkansmaterial där krafterna från betongen förs över till armeringen genom vidhäftning. Konstruktören kan med hjälp av armeringen styra verkningssättet genom att anpassa längd och plats för armering. Sprickbildning kan också kontrolleras genom armeringen så att den blir acceptabel i bruksstadiet med hänsyn till korrosion.

För att undvika tidig sprickbildning kan man förspänna betongen genom att föra in tryckkrafter i samband med produktionen till skillnad ifrån den vanliga slakarmerade betongen, se Figur 2 (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. B3-B5). Dessa krafter avtar sedan succesivt vid pålastning och sprickor uppkommer först senare vid väldigt stora belastningar och sluter sig vid avlastning under normal användning. Skillnad görs också på förespänd och efterspänd betong beroende på om stålet spänns före eller efter gjutning. Spännstålet kan samverka med betongen genom vidhäftning, men kan även ligga fritt i konstruktionen till exempel i en lådbalk eller i plaströr som motverkar friktionen.



Figur 2 Verkningssätt hos oarmerad, slakarmerad respektive förspänd betongbalk (Engström, 2013). Återgiven med tillstånd.

Betong förändras hela tiden och fortsätter att krympa även efter härdandet genom succesiv uttorkning som är oberoende av lasten (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, s. B5). Krypning skapar påtagligare deformationer över tid, bland annat genom excentriska krafter som tillkommer.

3.2.2 För- och nackdelar med betong

Betong har lågt energiinnehåll med avseende på det som tillförs under produktion samt ett lågt pris jämfört med andra konstruktionsmaterial (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. B9-B10). Tillverkningen av cement är dock en energikrävande process och släpper ut mycket växthusgaser. Materialet betong är lättillgängligt och dess kapacitet kan enkelt anpassas med armeringen. Ytor av betong är väldigt slitstarka, klarar högre temperaturer, möglar inte och är inte brännbara.

Nackdelar med betong är framförallt sprickbildningen som uppkommer på grund av den låga draghållfastheten, krympning och krypning (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. B10-B11). Materialet har en stor egentyngd vilket gör att mycket av bärförmågan går åt att bära dess egen tyngd. Vid platsgjutning måste en form byggas upp vilket är tidskrävande och leder till lång byggtid och möjliga störningar i närmiljön.

3.3 Stål

Stål är en legering mellan järn, kol och till viss del andra grundämnen (Burström, 2006, s. 302-307). Framställningen av stål sker vid mycket höga temperaturer, över 1000 grader, och är en mycket energikrävande process vid nytillverkning men är återvinningsbart.

3.3.1 Stål som byggnadsmaterial

Deformationen för dragbelastning av stål beskrivs bäst genom dess arbetskurva som kan beskrivas med tre beteenden. Först fungerar stålet elastiskt och sambandet mellan spänning och töjning är rätlinjigt och kan beskrivas med hjälp av Hookes lag (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, s. S12). Då övre sträckgränsen nås övergår kurvan till att bli horisontell och det kallas att materialet flyter (Burström, 2006, s. 317). I flytområdet ökar deformationen utan att lasten ökar och plastiska deformationer uppträder. De plastiska deformationerna beror på att dislokationer i stålet börjar vandra och vid avlastning kommer det finnas kvarstående deformationer. När dislokationerna ökar utgör de ett hinder för varandra och ökad deformation ger fler dislokationer. Detta gör att det för ökad deformation krävs en större last, vilket kallas för deformationshårdnande (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. S13-S19). Fortsatt ökad spänning bidrar till att stålet så småningom når brottgränsen som är den största spänningen materialet klarar (Burström, 2006, s. 317). Stål har teoretiskt samma egenskaper vid drag och tyck med skillnaden att sträckgränsen vid tyck vanligtvis är något högre och att det inte finns någon brottgräns (Burström, 2006, s. 317). Hållfastheten hos stål beskrivs med dess sträckgräns.

Stålets sprödhet har betydelse för dess brotttyp (Burström, 2006, s. 319). Sprött brott innebär att brottet sker utan förvarning och väldigt plötsligt medan segt brott innebär att en förvarning i form av flytning uppstår före brottet. Sprödheten påverkas av temperaturen där låg temperatur bidrar till sprött brott och högre temperatur till segt brott.

3.3.2 För- och nackdelar med stål

Stål har fördelen att det är lätt att förtillverka (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, s. S1). Olika komponenter transporteras ut till byggplatsen för att monteras ihop. Andra fördelar är dess höga hållfasthet, långa livslängd samt dess återvinningsbarhet.

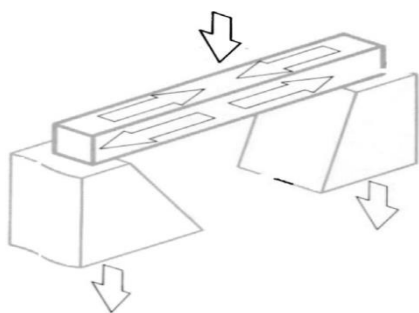
Den största nackdelen med stål är dess risk för korrosion. Korrosion bryter ner stålet, försämrar dess beständighet och risken för korrosion ökar med högre luftfuktighet och föroreningshalt (Burström, 2006, ss. 320-321). För att skydda materialet mot rost vidtas skyddsåtgärder så som målning, förzinkning eller emaljering. Materialvalet har stor påverkan då olika legeringar är olika korrosionskänsliga. Stål kan återvinnas fullständigt men tillverkningen i stålverken släpper ut mycket koldioxid och kräver mycket energi (Svenskt Näringsliv, 2015).

4 Brotyper

Broar kan delas in i olika undergrupper beroende på hur de bär laster. De verkningssätt som beskriver hur dessa undergrupper fungerar kan delas in i balkverkan, bågverkan och linverkan.

4.1 Balkverkan

Balkverkan sker då ett bärverkselement genom böjning upptar laster och fördelar dessa till balkens stöd vilket visas i Figur 3 (Nationalencyklopedin). Denna teknik har använts i tusentals år och är den vanligaste formen av bärelement inom byggsektorn.



Figur 3 Krafternas verkningssätt vid balkverkan (Svahn, 2016). Återgiven med tillstånd.

4.1.1 Balkbro

Dagens balkbroar består av huvudbärverk (huvudbalkar) och sekundärbärverk (brobaneplatta) där sekundärbärverket placeras mellan eller ovanpå huvudbärverken. Enligt Trafikverkets bro och tunnelmanagement (Trafikverket, 2014, s. 20) definieras en balkbro som:

- att dess huvudbärverk utgörs av en eller flera balkar där balken/balkarna har en bredd som är mindre än eller lika med fem gånger höjden ($B \leq 5 \times H$)
- att i betongbalkbroar den längsgående armeringen i överkant vanligtvis är koncentrerad inom eller intill balkbredden.

En balkbro kan utföras i ett eller flera spann där huvudbärverket består av en eller flera balkar (Trafikverket, 2014, s.21). Dessa balkar kan antingen vara kontinuerliga eller fritt upplagda beroende på längd och antal spann. Med slakarmerad betong kan spannvidder på 25 m uppnås och med spännarmerad betong kan en spannvidd på cirka 200 m uppnås.

Balkbroar kan utformas med många olika tvärsnitt beroende på önskade egenskaper. Lådtvärsnitt används vid broar med lång spannvidd då de tar vridande moment bra och minimerar egenvikten genom att vara ihåliga (Trafikverket, 2014).

En stål原因bro kan utformas med en eller flera balkar där det är vanligt att samverkan mellan balk och brobaneplatta förekommer (Trafikverket, 2014, s.21). Samverkan sker normalt vid användning av en brobaneplatta i betong och uppkommer genom till exempel förankringsbyglar eller studs som är förankrade i brobaneplattan. När endast en balk förekommer tillämpas så kallad lådbalk som alltid utförs med samverkan mellan balk och

brobaneplatta. För vägbroar kan brobaneplattan även bestå av aluminiumprofiler eller korrugerad plåt. Spännvidden för en stålbalkbro kan maximalt uppgå till ca 80 m.

En träbalkbro kan även denna utformas med en eller flera balkar, vid större spännvidder kan balken utformas som en låda för att minska egetyngden (Trafikverket, 2014, s.21). En träbalkbro kan maximalt uppnå en spännvidd på ca 30 m.

En annan typ av bro som tillämpar balkverkan är fackverksbroar. Enligt Plos⁴ utformas dessa med huvudbärverk bestående av fackverksbalkar samt ett sekundärbärverk vilket kan bestå helt eller delvis av fackverksbalkar. Vidare kan fackverksbalk i stål utformas med spännvidder upp till 100 m och i trä kan spännvidderna uppgå till 30 m.

4.1.2 Plattbro

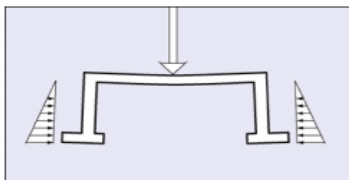
Plattbroar bär upp last precis som balkbroar med hjälp av balkverkan (Trafikverket, 2014, s.16). En plattbro kan antingen utformas som fritt upplagd eller kontinuerlig platta. Plattbron används oftast då konstruktionshöjden är begränsad eller vid mindre spännvidder. Huvudbärverket i en plattbro består av brobaneplattan som vanligen är utformad som en homogen brobana. Enligt Trafikverkets bro- och tunnelmanagement (Trafikverket, 2014, s. 15) definieras en plattbro som:

- att dess huvudbärverk vanligtvis utgörs av ett element med bredden större än fem gånger höjden ($B > 5 \times H$)
- att den längsgående armeringen i överkant broplatta i betongbroar vanligtvis är jämnt fördelad i tvärled.

De vanligaste materialen för plattbroar är trä och betong (Trafikverket, 2014, s.16). För trä kan en spännvidd på 17 m maximalt uppnås. För slakarmerad och förspänd betong kan en spännvidd på 25 m respektive ca 35 m uppnås.

4.1.3 Rambro

Rambroar kan byggas som en plattribro eller en balkrambro där plattribron är den vanligast förekommande brotypen i Sverige (Trafikverket, 2014, s.28). Den kan vara utförd i ett eller flera spann och byggas i slak- eller spännarmerad betong likt plattbron. En plattribro ska ha styva hörn vilket uppnås genom att armeringen är kontinuerlig över ramhörnen. Huvudbärverket består av en platta och är oftast homogen. Mot bronns ändstöd ansluter vägbanken vars jordtryck medverkar till att stabilisera bron och motverka horisontella rörelser vilket visas i Figur 4.



Figur 4 Krafter på en belastad rambro (Trafikverket, 2014). Återgiven med tillstånd.

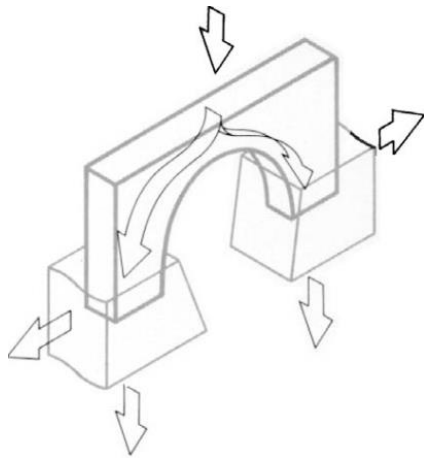
⁴ Mario Plos (Docent vid Bygg- och miljöteknik/Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) föreläsning den 21 januari 2016.

Spännvidden för en plattrambro kan med slakarmerad betong utformas med en spännvidd på 22-25 m och med spännarmerad betong upp till ca 35 m (Trafikverket, 2014, s.28).

Balkrambron fungerar på samma sätt som plattrambron med styva hörn och vägbank men med en eller flera balkar istället för platta som huvudbärverk (Trafikverket, 2014, ss. 28-34). Dessa huvudbalkar förbinds med ett sekundärbärverk i form av en brobaneplatta och eventuellt tvärbalkar. Balkrambroar utformas oftast i ett kontinuerligt spann. Med slakarmerad betong kan då en spännvidd på upp till 30 m uppnås och med spännarmerad betong en spännvidd på upp till 50 m.

4.2 Bågverkan

Vid bågverkan kan bågen ses som en krökt balk i form av en parabel. Bågverkan innebär att en båge tar upp tryckkrafter som den sedan leder ut i stöden eller marken vilket illustreras i Figur 5 (Nationalencyklopedin). De horisontella krafterna som uppstår i stöden motverkar det moment som uppstår på grund av laster, vilket leder till att större spännvidder kan hanteras.



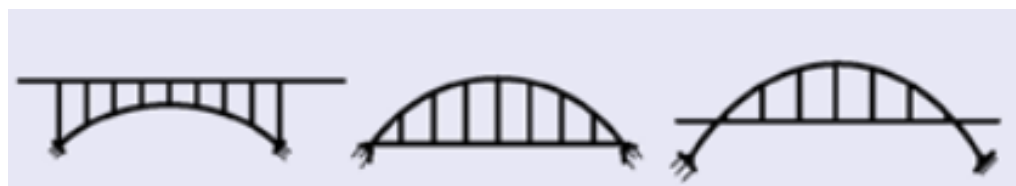
Figur 5 Krafternas verkningsätt vid bågverkan (Svahn, 2016). Återgiven med tillstånd.

4.2.1 Valvbro

Valvbroar var en av de tidigaste brotyperna som byggdes och konstruerades då av sten men görs idag i betong (Trafikverket, 2014, ss. 39-40). Huvudbärverket är ett valv som är helt fyllt med utfyllnadsmaterial ända ut till den angränsande vägbanken. Fyllningen genererar tryckkrafter som är viktiga för brons bärförmåga. För vägtrafik kan en valvbro i betong uppnå en spännvidd på cirka 30 m.

4.2.2 Bågbro

En bågbro kan bestå av en överliggande, underliggande eller genomgående bärande båge vilka visas i Figur 6 (Trafikverket, 2014, s. 41).



Figur 6 Hur bågen kan ligga olika i bågbroar (Trafikverket, 2014). Återgiven med tillstånd.

Bågarna, vilka är brons huvudbärverk, kan vara utförda i stål, armerad betong eller trä. Bågarna kan antingen ses som fast inspända i landfästena eller fritt upplagda med ett dragband mellan bågens ändstöd (Trafikverket, 2014, ss. 41-43). På samma sätt som för valvbron bildas stora tryckkrafter i bågen som förs ner i marken vid ändstöden. För att minska risken för sättningar är därför fast inspända bågbroar ofta grundlagda på berg. Om bron istället är utformad som en fri uppläggning ställs inte lika höga krav på grundläggningen. Skulle bron bestå av två eller fler parallella bågar binds de samman med transversaler i bågarna och tvärbalkar mellan dragbanden som brobanan vilar på.

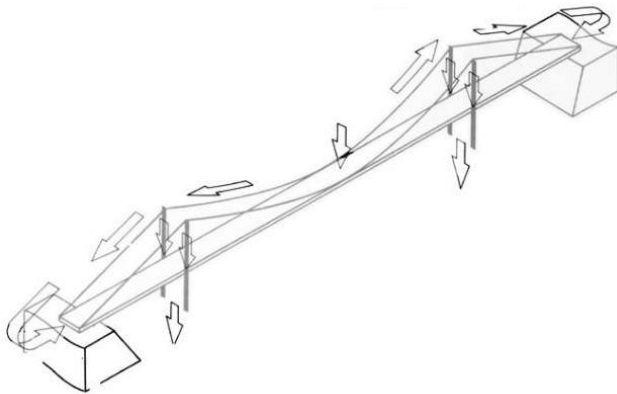
Bågbroar kan bestå av ett eller flera spann där spännvidden för ett spann kan uppgå till 260 m medan den vid flera spann kan uppgå till 100 m (Trafikverket, 2014, s. 41). Vid de större spännvidderna utförs bågen i stål eller armerad betong (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 77).

4.2.3 Rörbro

Rörbroar kan utföras i stål, betong eller plast. Broarna i betong och plast består av förtillverkade element eller rör som monteras ihop på plats. Rörbroar i stål tillverkas av valsad korrugerad plåt som skruvas ihop till önskad form (Trafikverket, 2014, ss. 35-37). Spännvidder för rörbroar varierar mellan 2 m och 15 m.

4.3 Linverkan

Linverkansbroar bär last genom att formen på linan anpassar sig efter belastningen. Plos⁵ berättar även att broarnas huvudsakliga element är kablar, pyloner och en längsgående förstärkningsbalk. Lasten fördelas från förstärkningsbalken, tas upp via kablarna och förs ner i pylonerna, se Figur 7. Detta medför enligt Plos⁵ att pylonerna blir tryckta och linorna dragna. De två vanligaste kategorierna av linverkansbroar är hängbroar och snedkabelbroar (Nationalencyklopedin, Axelsson, & Elfgren). Karakteristiskt för dessa är att de byggs då det behövs stora spännvidder.



Figur 7 Krafternas verkningssätt vid linverkan (Svahn, 2016). Återgiven med tillstånd.

4.3.1 Snedkabelbro

Det bärande systemet i en snedkabelbro består av pyloner, kablar och en förstärkningsbalk. Brobanan är upplagd på landfästen och mellanstöd, som en balkbro, men samtidigt upphängd

⁵ Mario Plos (Docent vid Bygg- och miljöteknik/Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) föreläsning den 21 januari 2016.

i snedkablarna. Snedkablarna är belastade i drag, men gör även att förstyrningsbalken blir förspänd och därmed kan ta större laster (Nationalencyklopedin, Axelsson, & Elfgren). Detta medför att de horisontella reaktionerna tas upp i bron själv och det uppstår endast vertikala stödkrafter (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 79). Det finns tre olika sätt att ordna kablarna längs pylonen. Ett sätt är att alla kablar fästs nära toppen, så kallad solfjäderform. Då detta ger en stor påfrestning på pylontoppen är det vanligt att delvis sprida ut kablarna nedåt, halv-solfjäderform. Det tredje sättet är att fördela kablarna längs hela pylonen så att kablarna blir parallella. Eftersom att snedkabelbroar är så stora blir egenvikten ofta den dimensionerande lasten (Trafikverket, 2014, s. 45). De stora konstruktionerna blir också utsatta för stora vindlaster vilket gör förstyrningsbalkens utformning mycket viktig.

Pylonerna som blir utsatta för stora tryckkrafter byggs oftast i betong medan stål, som har bra egenskaper i drag, används till kablarna. Brobanan tillverkas i betong eller som en samverkanskonstruktion av betong och stål (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 79). Snedkabelbroar byggs med en spännvidd inom 100-500 m (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 78).

4.3.2 Hängbro

En hängbro består precis som snedkabelbron av följande huvudsakliga delar: pyloner, huvudkablar, vertikala hängare och en avstyvningsbalk. Skillnaden mot snedkabelbron är att när pylonerna byggts upp spänns huvudkablarna upp mellan dem och förankras i berg eller ankarblock på respektive sida bakom pylonerna (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 80). Från dessa huvudkablar hängs sedan brobanan upp med hjälp av vertikala linor, hängare, längs hela brobanan.

Huvudkablarna och hängarna tar endast upp laster i drag medan pylonerna i huvudsak blir tryckta (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 80). Förstyrningsbalken som utgör brofarbanan belastas förutom av trafiklaster även av stora vindkrafter på grund av de stora dimensionerna. Det är därför mycket viktigt att brobanan har hög vridstyvhet och bra aerodynamiska egenskaper. Detta åstadkoms genom tvärbalkar på undersidan eller genom lådformade tvärsnitt. Plos⁶ förklarar att då huvudkablarna är förankrade diagonalt i berg eller ankare på de olika sidorna krävs stora horisontella stödkrafter, vilket ställer stora krav på bra grundförhållanden. Hängbroar byggs då det finns krav på mycket stora spännvidder, över 500 m (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 80).

⁶ Mario Plos (Docent vid Bygg- och miljöteknik/Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) föreläsning den 21 januari 2016.

5 Beställarens önskemål och Konstruktionsaspekter

Rollen som beställare innebär ett helhetsansvar för projektet från början till slut. Ur beställarens perspektiv finns ett antal aspekter att beakta. Detta inkluderar bland annat materialkostnad, materialåtgång, ekonomi, trafiksäkerhet, risker och estetik.

5.1 Materialkostnad och Materialåtgång

Vid byggnation av en ny bro är det eftersträvarvärt att göra minsta möjliga ingrepp i den omgivande miljön samt att använda material på ett effektivt sätt. Beroende på vilket material som används kan det bli mer väsentligt att hålla nere mängden material. Detta beror på materialets kostnad och miljöpåverkan under framställning och användning. Vid produktion används schablonkostnader för materialkostnader enligt Lindén⁷, dessa åskådliggörs i Tabell 1.

Tabell 1 Schablonkostnader för olika material.

Material	Betong Inklusive form och gjutning	Armering Inlagd, bockad och klar	Stål Svetsade balkar inklusive ytbehandling och dylikt
Pris [kr/ton]	1 100	15 000	60 000

5.2 Ekonomins betydelse i byggprojekt

Ekonomi är vanligtvis en väldigt betydelsefull faktor i vägprojekt. En stor del av projektets kostnad utgörs av grundläggningen och avgörs därmed av förutsättningarna på den givna platsen (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 79). För själva överbyggnaden beror kostnaden av spännvidd och tillgänglig konstruktionshöjd. För att hålla nere kostnaderna i ett projekt är det enligt Per-Ola Svahn⁸ viktigt att förutsäga tidsåtgången för projektet. Produktionen ska exempelvis undvika att vara väderberoende. Det är även viktigt att försöka minimera användningen av temporära konstruktioner och i största möjliga mån bara bygga det som ska stå kvar. Enligt Svahn⁹ beror en betydande del av kostnaden för projektet på produktionstiden. En längre produktionstid medför högre allmänna kostnader i form av tjänstemän, bodar och gemensamma maskiner samt större arbetskostnader.

5.3 Trafiksäkerhet vid utformning av broar

Trafiksäkerhet är en viktig aspekt i projekteringen av en bro (Trafikverket, 2004, s. 69). Oavsett brokoncept finns det krav på att motorvägar ska avskiljas med mitträcke samt att räcken på kanterna ska utformas för att minimera risken för avkörning. Det valda konceptet får inte medföra några extra säkerhetsrisker i form av exempelvis risk för nedfallande föremål på eller under bron. Krav finns på nät över järnvägsspår (Banverket & Vägverket, 2009, s. 153). Konstruktionsdelar i form av till exempel en båge ska medföra minsta möjliga risk för

⁷ Staffan Lindén (Gruppchef Broteknik, COWI) handledningsmöte den 04 februari 2016.

⁸ Per-Ola Svahn, (Teknisk Chef, Stora Projekt, Skanska Sverige AB) föreläsning den 12 februari 2016.

⁹ Per-Ola Svahn, (Teknisk Chef, Stora Projekt, Skanska Sverige AB) föreläsning den 12 februari 2016.

påkörning eller nedfallande isbildningar. Vid utformning av ändstöd och stödmurar är det viktigt att det inte ska finnas risk för påkörning från trafik på underliggande väg.

5.4 Estetik vid utformning av broar

Då en ny bro projekteras är det viktigt att utforma den på ett sätt som passar bra in i dess omgivning (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 92). Brons utformning ska ta hänsyn till såväl körupplevelsen som omgivningen. Antingen kan broar estetiskt lyftas fram och skapa ett landmärke eller anpassas för att smälta in i omgivningen. Det bästa är dock när brodesignen framhäver naturliga landmärken (Vägverket, 2001). En annan viktig faktor är att bron har en lång beräknad livslängd och därmed behöver designas på ett tidlöst sätt. Bron ska vara homogen, harmonisk och lätt att ta in för att ge ett bra intryck. Beroende på om bron oftast betraktas på nära håll eller från ett längre avstånd kan olika utformningar vara att föredra (Fédération Internationale du béton (FIB), 2000). Då denna bro i första hand kommer att betraktas från längre håll är den estetiska utformningen i stora drag viktigare än detaljutformningen.

6 Produktionsmetoder vid brobyggnad

Lämplig produktionsmetod för en bro beror på platsen där den ska byggas, yttre omständigheter, förväntad tidsåtgång och projektets budget. Då dessa parametrar anses viktiga är det kritiskt att välja den mest gynnsamma metoden. Om en bro byggs i närheten av ett trafikerat järnvägsspår kan säkerhetsbevakning behövas under hela byggtiden (Banverket, 2007, s. 46). Både passerande tåg och högspänningsledningar utgör en stor risk i området.

6.1 Produktionsmetoder för träbroar

Vid konstruktion med träbalkar kan konstruktionsvirke användas för balkar upp till fem meter, vid längre balkar används istället limträbalkar (TräGuiden, konstruktion, dimensionering, bärverk, balkar och ytbärverk, 2015). Dessa består av ihoplimmade fanerskikt som ligger i samma fiberriktning och dess storlek begränsas endast av transportmöjligheter. Limträförband måste utföras i fabrik för att klara säkerhetskraven, därav kan bara mekaniska förband användas på byggplatsen (TräGuiden, konstruktion, dimensionering, stabilisering och förband, olika typer av förband, 2003). Möjliga mekaniska förband är plåtbeslag med skruv eller spik i antingen stål eller trä, vad som används bestäms vid dimensioneringen.

6.2 Produktionsmetoder för betongbroar

Betongkonstruktioner tillverkas genom platsgjutning eller monteras ihop av prefabricerade element som tillverkats på fabrik. Vid gjutning på byggplatsen finns ett antal olika metoder som tillämpas beroende på situation.

6.2.1 Formgjuten betong

Vid gjutning på plats byggs först en form för den tänkta konstruktionens profil. Sedan läggs armering in i formen efter armeringsritningen. Efter det fylls betong på och vibreras på plats. Då ytan under bron är tillgänglig och inga tidsrestriktioner finns påstår Svahn¹⁰ att det mest ekonomiska sättet för brons produktion är platsgjutning. Detta trots att det blir mycket temporära konstruktioner vilket bör minimeras i en bra produktionsmetod.

6.2.2 Glidformsgjutning

Vid gjutning av höga betongkonstruktioner som bropelare är glidformsgjutning den vanligaste produktionsmetoden (Nationalencyklopedin). Glidformsgjutning förekommer även vid prefabrikation av horisontella betongkonstruktioner. Glidformen brukar utformas med en höjd på 1-1,2 m när gjutning sker i vertikalled. Formen lyfts med domkraft vilken är fäst i ok av stål och som klättrar uppför så kallade klätterstänger. Ursparningar kan placeras in under gjutningen för att underlätta montage av senare konstruktionsdelar.

6.2.3 Klätterformsgjutning

Klätterformsgjutning fungerar enligt Svahn¹¹ genom att betong fylls på i gjutformen och låts stelnas till viss del, sedan "klättrar" formen uppåt och samma process påbörjas på nytt. Vid produktion av konstruktioner som har ett krav på hög hållfasthet kan klätterformsgjutning skapa problem i skarvarna där klätterformen förflyttats.

¹⁰ Per-Ola Svahn, (Teknisk Chef, Stora Projekt, Skanska Sverige AB) föreläsning den 12 februari 2016.

¹¹ Per-Ola Svahn, (Teknisk Chef, Stora Projekt, Skanska Sverige AB) föreläsning den 12 februari 2016.

6.3 Produktionsmetoder för stålbroar

Ståldelar produceras i fabrik och sammanfogas på byggsplatsen genom svetsning eller förband.

6.3.1 Valsade profiler

Varmvalsade profiler har utvecklats de senaste hundra åren och idag finns det ett antal standardiserade profiler på marknaden som i viss mån kan anpassas till specifika krav (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, ss. S1-S4). Vid valsning passerar upphettat stål genom valsar som ger det rätt storlek och form vilket ger upphov till egenspanningar i profilen. Tillverkningen kan ske i både kallt och varmt tillstånd och skillnaden blir olika egenskaper och egenspanningar.

6.3.2 Svetsade profiler

Svetsade profiler ger möjligheten att skräddarsy profilen men är också väldigt kostsamt vilket gör att enkla profiler är att föredra (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 1, 2013, s. S6). Eftersom svetsning innebär lokal upphettning skapar även denna produktionsmetod egenspanningar i profilen. För balkar med stora spännvidder och laster är det lönsamt att använda svetsade balkar och därför används dessa ofta vid brobyggande.

6.3.3 Förband

Vid svetsförband används två typer av svetsar: stumsvets där svetsen går genom två plåtar samt kälsvets där svetsen ligger mellan två plåtar som ligger omlott (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 2, 2011, ss. S123-S124). Med ett stumsvetsförband blir det ingen försvagning i materialet utan svetsen är lika stark som omgivande material. I verkstäder strävar man efter att tillverka så stora enheter som möjligt vilka kan skickas till byggsplatserna för att få en kort monterings tid. Vid montering på byggsplatser används istället ofta skruvförband för att sammansätta de olika delarna från verkstaden. Detta då svetsar påverkas av yttre förhållanden och därför inte är att föredra om man vill montera i oskyddat läge.

Skruvförband används som skjuvförband där kraft överförs genom skjuvning mellan plåtarna genom skruven (Al-Emrani, Engström, Johansson, & Johansson, Bärande konstruktioner Del 2, 2011, ss. S107, S113). Genom att förspänna skruvarna förändras kraftöverföringen så den mest sker genom friktion mellan plåtarna. Friktion uppstår då plåtarna blivit blåstrade och detta förband skapar en jämnare kraftöverföring.

6.3.4 Kablar

Kablarna vilka används som bärverk i broar som tillämpar linverkan har en något speciell utformning berättar Svahn¹². Dessa består av mindre kablar som träs in i ett plasthölje för att skydda mot yttre påverkan. De små kablarna består i sin tur av varmförzinkade trådar som omges av ett skyddslager av plast. Mellan kablarna pumpas vax in för att ge ett ytterligare skydd.

¹² Per-Ola Svahn, (Teknisk Chef, Stora Projekt, Skanska Sverige AB) föreläsning den 12 februari 2016.

6.4 Lansering

Om byggsplatsen har begränsningar under bron som gör vistelse där under byggtiden olämpligt berättar Svahn¹³ att ett vanligt produktionssätt att lansera bron. Lansering innebär att bron sammanfogas på en sida och sedan trycks fram över stöden med hjälp av kablar och domkraft som trycker på bakifrån. Längst fram på bron finns en provisorisk, lätt nos som ser till att bron trycks i rätt bana, se Figur 8. Bron lanseras ett fack i taget och fästs provisoriskt tills alla delar är lanserade, varpå de sammanfogas och fästs permanent.



Figur 8 Pågående lansering av bro med lanseringsnos av fackverk längst fram (Svahn, 2016). Återgiven med tillstånd.

¹³ Per-Ola Svahn, (Teknisk Chef, Stora Projekt, Skanska Sverige AB) föreläsning den 12 februari 20

7 Förvaltning av broar

Underhåll är en viktig aspekt att ta hänsyn till när en bro projekteras. Ett korrekt utfört underhåll kan förhindra uppkomsten av skador på konstruktionen och mycket pengar kan sparas (Trafikverket, 2015). Behovet, möjligheten och kostnaden för underhållet är tre viktiga delar att tänka på när bron konstrueras. Alla broar i Sverige inspekteras minst vart sjätte år för att säkerhetsställa kvaliteten. Det finns fem olika typer av inspektioner: fortlöpande, översiktlig, allmän, särskild och huvudinspektion (Vägverket, Avdelning Ekonomi och Planering, 1994, ss. 14-17). De olika inspektionerna berör olika delar av konstruktionen och genomförs med olika tidsintervall för att säkerhetsställa bronns funktion. Brotyp, vägtyp och miljöförhållanden bestämmer vilka inspektioner som skall utföras samt hur ofta. En bros tekniska och funktionella krav kan förändras med tiden på grund av ändrade lastförhållanden, klimat eller andra faktorer som kan leda till att bron behöver förstärkas (Trafikverket, 2015). Dessa reparationer samkörs med eventuellt underhåll av bron för att minimera störningen för trafikanterna. En bros möjlighet, behov och kostnad för underhåll och beror till största del av underhållsåtkomlighet, utformning samt vilken typ av material konstruktionen består av.

7.1 Förvaltning av träkonstruktioner

När det handlar om skador på träkonstruktioner är fukt det största problemet och kan orsaka både sprickor och röta (Pousette & Fjellström, 2004, ss. 10-15). Om träets fuktkvot överskrider 20% finns det risk för röta och det är viktigt att orsaken till detta undersöks omedelbart. Det krävs svampsporer, fukt, näring, syre och värme för att röta ska kunna bildas och fukten är den variabel som enklast kan begränsas i de flesta fall. Tryckimpregnerat virke innehåller ämnen som är giftiga för svamparna och är således bättre på att motstå röta. Vid snabba ändringar av fuktkvot vill träet krympa och svälla vilket resulterar i inre spänningar som kan ge upphov till sprickor.

För att motverka dessa fuktproblem ytbehandlas träet med speciella färger som förhindrar fuktkvoten att ändras inne i träet samt skyddar mot solens UV-ljus (Pousette & Fjellström, 2004, ss. 10-15). Det är viktigt att se till att alla konstruktionsdelar har goda möjligheter att torka ut efter kraftig exponering för vatten och därför är stående vatten på en träkonstruktion inte önskvärt. En korrekt målad träpanel klarar sig normalt i tio år utan att behöva målas om (Pousette & Fjellström, 2004, s. 27). Vid eventuellt underhåll kan ny färg appliceras direkt på den gamla förutsatt att det har god vidhäftning mot underlaget och att inga synliga sprickor eller avflagningar förekommer.

7.2 Förvaltning av armerade betongkonstruktioner

En betongkonstruktion behöver kontrolleras mot bland annat korrosionsangrepp på armeringen, sprickbildning och olika typer av vittring (Vägverket, Avdelning Ekonomi och Planering, 1994, ss. 62-64). Vägsaltet har en accelererande effekt på korrosionsprocessen men när armeringen är helt innesluten i betong av god kvalitet förhindras den, genom så kallad passivisering (Burström, 2006, s. 156). Karbonatisering är en kemisk process som tar bort den passivisering betongen tidigare bidragit med. Då betongens karbonatiseringsdjup når ner till armeringens nivå är armeringen utsatt och en förstärkningsåtgärd behöver utföras (Vägverket, Samhälle och trafik, 2006, s. 5). Ny armering behöver då gjutas fast i borrarade hål alternativt skarvas genom omlottläggning. För att kontrollera om betongens armering är utsatt för korrosion mäts karbonatiseringsdjupet. Mätningen utförs där den största karbonatiseringen kan förväntas och resultatet skall baseras på minst tre försök. Armering utsatt för korrosion får en

ökad tvärsnittsarea som leder till ett inre tryck vilket kan orsaka sprickbildning (Burström, 2006, ss. 320-321).

Sprickor i betong orsakas framförallt av krafter från last, krympning, temperaturförändringar och töjning (Ryall, 2001, ss. 33, 189). När sprickor upptäcks behöver det inte nödvändigtvis betyda att konstruktionens säkerhet är utsatt. Sprickans läge, dess riktning och storlek kan tillsammans visa på sannolika orsaker till sprickans uppkomst. Regelbundna inspektioner av sprickorna görs för att bestämma om de är aktiva eller passiva. Reparation av sprickor i betong kan vara allt ifrån lätta spricktätningar till helskaliga utbyten. Den dåliga betongen bryts ut och ersätts med ny betong. Kantbalkarna är extra utsatta för korrosion och byts därför som regel var 30:e år enligt Sören Lindgren¹⁴.

För att förhindra uppkomsten av skador på betongkonstruktioner är förebyggande underhåll viktigt (Vägverket, Samhälle och trafik, 2006, s. 13). Betongytor och dess armering skyddas mot sprickor, vittring och korrosion genom att betongytorna impregneras samt att det täckande betongskiktet kompletteras eller byts ut vid behov.

7.3 Förvaltning av stålkonstruktioner

De väsentligaste skadorna på en stålkonstruktion är korrosion och avflagnings (Vägverket, Avdelning Ekonomi och Planering, 1994, ss. 62-63). Korrosion, beskrivet ovan i Kapitel 7 avsitt 7.2, försämrar konstruktionens hållfasthet. Avflagnings förekommer på det färgskikt som används för att skydda stålet och orsakas av miljöpåverkan, felaktigt materialval eller dåligt utfört arbete. Alla metallbroar kräver en effektiv ytbehandling för att förebygga generell korrosion (Ryall, 2001, s. 43). Förvaltning av stålbroar går framförallt ut på att inspektera i vilket skick stålets ytbehandling är då majoriteten av problemen med stålbroar uppstår på grund av att ytbehandlingen inte uppfyllt dess krav och stålet korroderat. De mest utsatta delarna på konstruktionen är i skarvar, skvättzoner samt där vatten och smuts kan samlas.

Om korrosion skulle uppstå måste det åtgärdas innan konstruktionens säkerhet riskeras (Ryall, 2001, s. 197). Fortsatt korrosion förhindras genom att det oxiderade stålet slipas bort och ny noggrann ytbehandling genomförs. Ifall konstruktionen genom korrosionen förlorat avsevärt mycket av sin hållfasthet kan förstärkning krävas som åtgärd.

För att förhindra uppkomsten av skador på stålet är förebyggande underhåll viktigt (Vägverket, Samhälle och trafik, 2006, ss. 68-71). Redan i projekteringsskedet av stålbroar är det viktigt att tänka på utformningen så att ytor extra känsliga för korrosion undviks. När konstruktionen väl står på plats bör regelbundna ytbehandlingar göras och krav ställs på att konstruktionen skall vara ren till minst 95 % från för ögat synliga föroreningar samt klorider.

¹⁴ Sören Lindgren (Projektleddare vid Bygg- och miljöteknik/Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) mte den 18 februari 2016.

8 Första urvalsprocessen

De tidigare i rapporten nämnda brotyperna, se Kapitel 4, utformas med lämplighet inom olika förhållanden och spännvidder. Utifrån rådande förutsättningar på platsen samt fakta relaterad till olika byggnadsmaterial utvärderas brotyper och material som lämpliga eller olämpliga där de lämpliga behandlas vidare.

Nämnt i förutsättningar, Kapitel 2, uppgår brons totala längd till 92 m. Enligt rekommendationen på 5,5 m mellan stöd och spårmitt bör inte stöd placeras mellan järnvägsspåren vilket leder till att minsta tillåtna spännvidd för bron utvärderas till cirka 40 m. Alternativ finns att utjämna vägbanan för en vinkelrät påfart, då uppgår brons totala längd till 100 m enligt Bilaga 3. Dessa förutsättningar innebär att lämpliga broars spännvidd ska ligga inom intervallet 40-100 m.

8.1 Ogenomförbara broar

Standardiserade brotyper vars maximala spännvidd underskrider 40 m är inte möjliga att konstruera efter de givna förutsättningarna. I Bilaga 4 klargörs det tydligt att rörbroar, valvbroar och plattbroar inte är lämpliga alternativ och kommer inte behandlas vidare. På samma sätt betraktas brotyper med en minimal spännvidd över 100 m som olämpliga då dessa inte är ekonomiskt försvarbara att bygga, därav syns det i Bilaga 4 att hängbroar bortsorteras i processen. Fackverksbroar anses även de som olämpliga på grund av att de mest används för tillfälliga konstruktioner och att de inte är ekonomisk fördelaktiga vid en permanent konstruktion.

Trä används vanligen för gång- och cykel broar på grund av de stora dimensioner som krävs för att klara av större laster och anses därför olämpligt som konstruktionsmaterial i detta sammanhang.

Fast inspända bågbroar ställer höga krav på grundläggningen och byggs fördelaktigt direkt på berg. Därför väljs också detta koncept bort då platta på mark är den bestämda grundläggningstypen. En rambro anses även den som olämplig då hela konstruktionen måste platsgjas, vilket förhindrar undergående tågtrafik under en längre tid.

8.2 Genomförbara broar

De standardiserade brotyperna som ovan inte ansetts som olämpliga utan har en spännvidd inom intervallet 40-100 m, samt anses ekonomiskt försvarbara att bygga bedöms som möjliga. Detta gäller balkbro, bågbro och snedkabelbro enligt Bilaga 4. Dessa brotyper kommer att behandlas vidare och utvecklas till sju lämpliga koncept uppräknade nedan. Brotyperna utförs med konstruktionsmaterialen stål, betong eller en samverkan av dessa.

- Balkbro med samverkan och lådtvärssnitt
- Balkbro med samverkan och I-tvärssnitt
- Balkbro av betong med lådtvärssnitt
- Balkbro av betong med T-tvärssnitt
- Bågbro av stål
- Bågbro av betong
- Snedkabelbro

9 Kriterier som utvärderas

För att kunna jämföra olika koncept har gruppen tagit fram ett antal kriterier som anses viktiga. Dessa kriterier viktas sedan mot varandra, se Tabell 2.

9.1 Beskrivning av kriterier

Nedan följer en beskrivning av vad som avses med de olika kriterier som broarna ska jämföras utifrån.

9.1.1 Trafiksäkerhet

Här avvägs hur trafiksäkra de olika koncepten är, men givetvis ska inget koncept ska vara trafikfarligt.

9.1.2 Miljö

Med miljö som kriterium beaktas bron ur ett livscykelperspektiv. Detta inkluderar dels miljöpåverkan av de olika materialen som används och hur energikrävande produktionen är, men också hur väl man kan återanvända materialen när bron ska rivas.

9.1.3 Estetiskt tilltalande

Hur bron uppfattas av betraktaren beaktas i detta kriterium. Med betraktare avses alla som beskådar bron, vilket kan vara både bilisterna och boende i närområdet. Bron kan antingen byggas med avsikt att sticka ut eller att smälta in i omgivningen.

9.1.4 Materialkostnad

Här beaktas kostnaden per enhet för det dominerade materialet i konceptet. Den totala kostnaden kommer inte spela in här, vilket betyder att materialåtgången inte är av betydelse i detta kriterium.

9.1.5 Genomförbarhet

Genomförbarhet syftar till hur lätta de olika koncepten är att konstruera utifrån den kunskap som besitts av gruppen. Det syftar även till hur invecklad produktionen blir. Ett mer komplicerat koncept är ofta svårt att både konstruera och producera.

9.1.6 Byggtid

Med byggtid beaktas hur lång tid produktionen tar på byggplatsen. Detta inkluderar inte tid på fabrik för att producera de olika delarna, utan avser tiden från att byggföretaget kommer till platsen och börjar etablera tills de har färdigställt allt och åker därifrån.

9.1.7 Produktionskostnad

Produktionskostnad som kriterium avväger hur mycket det kostar på byggplatsen att producera bron. Detta inkluderar etablering, verktyg, maskiner, arbetstimmar som krävs och likande kostnader som kan kopplas direkt till produktionen.

9.1.8 Materialåtgång

Kriteriet avser vilken mängd material som krävs för att bygga de bärande delarna av konceptet. Stor materialåtgång leder till mycket transporter och en högre kostnad.

9.1.9 Underhållskostnad

Underhållskostnad är hur mycket det kostar att utföra underhåll per gång, alltså inte totalkostnaden för allt underhåll under livstiden.

9.1.10 Underhållsbehov

Behovet av underhåll av de olika brodelarna uppmärksammas i detta kriterium, det vill säga hur ofta underhåll kommer vara nödvändigt. Vid underhåll måste vägen stängas av vilket leder till mer störningar som inte är önskvärt.

9.1.11 Underhållsmöjlighet

Detta kriterium tar hänsyn till hur tillgängliga delar av konstruktionen med inspektions- och underhållsbehov är. Ett koncept med många otillgängliga detaljer som måste inspekteras är ofördelaktigt gentemot ett koncept som är lätt att underhålla.

9.2 Viktning av kriterier

I tabellen nedan viktas två kriterier mot varandra genom egna bedömningar av vilket av dem som är viktigast. Ett plus innebär att kriteriet i horisontalled anses viktigare än det i vertikalled, på samma sätt innebär ett minus att det anses mindre viktigt. En nolla sätts där ett kriterium viktas mot sig själv. När alla kriterier är viktade mot varandra läggs antal plus, inkluderat nollan, för vardera av koncepten samman, se Tabell 2. Utifrån den summan erhålls en rankning samt en procentenhet som bestämmer hur mycket vardera kriterium spelar in vid val av koncept.

Tabell 2 Viktning av kriterier i förhållande till varandra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ	Rank	%
1. Trafiksäkerhet	0	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	10	2	15%
2. Miljö	-	0	-	+	-	-	-	+	+	-	+	5	7	7,5%
3. Estetik	-	+	0	+	-	-	+	+	+	-	+	7	5	10,5%
4. Materialkostn.	-	-	-	0	-	-	-	+	+	-	+	4	8	6%
5. Genomförbarhet	-	+	+	+	0	-	+	+	+	-	+	8	4	12%
6. Byggtid	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	11	1	17%
7. Produktionskostn.	-	+	-	+	-	-	0	+	+	-	+	6	6	9%
8. Materialåtgång	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	1	11	1,5%
9. Underhållskostn.	-	-	-	-	-	-	-	+	0	-	+	3	9	4,5%
10. Underhållsbehov	-	+	+	+	+	-	+	+	+	0	+	9	3	13,5%
11. Underhållsmöjl.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	0	2	10	3%
Summa											Σ	66		100%

10 Beskrivning av brokoncept

Utifrån tidigare uteslutning av ogenomförbara standardiserade brotyper kvarstår balkbro, bågbro och snedkabelbro. Då dessa kan uppföras på en rad olika sätt anses det lämpligt att jämföra sju utvalda koncept framtagna med hänsyn till förutsättningar samt kriterier i Tabell 2 ovan. Konzepten kommer beskrivas och studeras vidare för att sedan utvärderas med avseende på hur väl de uppfyller kriterierna. Bedömningen av hur väl de olika broarna uppfyller kriterierna visas genom att de bedöms på en skala 1-5 där 1 innebär väldigt olämplig lösning och 5 innebär optimal lösning.

Beskrivet i Kapitel 2, avsnitt 2.1 så framgår det att goda grundläggningsförhållanden råder, på grund av detta kan stöd utformas med platta på mark med undantag för snedkabelbron där fundament på mark måste gjutas. I koncepten med mellanstöd kommer stöden att följa vägens sneda skärning. Vid lansering är hela bron färdigkonstruerad och ett provisoriskt stöd används då mellan stöden för att minimera nedböjningen och momentet.

10.1 Balkbro med samverkan och lådtvärsnitt

Bron kommer bestå av två prefabricerade fristående lådtvärsnitt, en för vardera körriktning, som är separerade med ett hålrum enligt Bilaga 5 s. 1. Lådbalken är kontinuerligt upplagd på rullstöd och konstrueras med två mellanliggande stöd mellan landfästena. Lådbalken i stål levereras i delar som förbinds med skruvförband och ovanpå den gjuts en farbana i betong som kommer att samverka med tvärsnittet.

Då påfarten till bron är sned uppstår ett rotationsmoment kring vertikalaxeln, detta på grund av att de dynamiska lasterna som kommer verka olika längs brobanan. Nämnt i Kapitel 4 avsnitt 4.1 lämpar sig lådtvärsnitt bäst när det kommer till att hantera vridande moment. En fördel med ett lådtvärsnitt är att det ger slanka konstruktioner och har en reducerad egenvikt då det är ihålligt.

10.2 Balkbro med samverkan och I-tvärsnitt

Bron kommer bestå av separata broar i vardera körriktning. Tvärsnitten konstrueras med tre separata I-balkar i stål per bro, se Bilaga 5 s. 2. Dessa prefabriceras i verkstad och gjuts samman med brobanan på plats för att fungera som en samverkanskonstruktion. I-balkarna är kontinuerligt upplagda på rullstöd och konstrueras med två mellanliggande stöd för varje balk mellan landfästena. De längsgående I-balkarna stabiliseras med hjälp av tvärbalkar.

10.3 Balkbro av betong med lådtvärsnitt

I varje körriktning kommer bron att ses som fristående där körbanorna separeras med ett hålrum. Var bro består av en förspänd lådbalk, se Bilaga 5 s. 3, vilken gjuts vid sidan om för att sedan lanseras på plats. Lådbalkarna är fritt upplagda på rullstöd och konstrueras med två mellanliggande stöd mellan landfästena. Som tidigare nämnt lämpar sig lådtvärsnitt väl vid rådande förutsättningar.

10.4 Balkbro av betong med T-tvärsnitt

Bron kommer bestå av separata broar i vardera körriktning. Var bro består av en T-balk med tre liv, vilket åskådliggörs i Bilaga 5 s. 4, dessa gjuts vid sidan om för att sedan lanseras på plats. T-balkarna är kontinuerligt upplagda på rullstöd och konstrueras med två mellanliggande stöd för varje balk mellan landfästena. Huvudbalkarna stabiliseras med hjälp av tvärbalkar.

10.5 Bågbro av stål

Bågbron måste konstrueras som fritt upplagd på grund av avsaknaden av berg i undergrunden. För att åstadkomma vinkelrät påfart på bron förflyttas massor genom urschaktning och uppfyllnad, se Bilaga 3. Bron kommer utgöras av separata broar i vardera körriktning och konstrueras med fyra bågar i stål, två för varje brodel, se Bilaga 5 s. 5. Bågändarna kommer genom svetsning spännas ihop av två förstyrningsbalkar som fungerar som dragband. Förstyrningsbalkarna är sammanbundna med tvärbalkar bestående av lådtvärnsnitt varpå brobanan av stål svetsas fast. Lasten förs via hängare upp i bågarna som i sin tur är förbundna i varandra med hjälp av transversaler för att ta upp de dynamiska krafterna. Hela systemet lanseras ut.

10.6 Bågbro av betong

Bågbron av betong konstrueras på samma sätt som bågbron i stål, se Bilaga 5 s. 6, skillnaden blir hur bågen monteras. Bågen platsgjuts i delsektioner som hängs fast i ett provisoriskt torn vid landfästet, detta för att hålla uppe konstruktionen tills bågen är färdig. Metoden är komplicerad och dyr, därför används den endast där inget annat är möjligt. Bron konstrueras som fritt upplagd och har ett dragband i stål mellan bågarna. Hängarna som fästs mellan bågen och tvärbalkarna som bär upp körbanan är gjorda av stål.

10.7 Snedkabelbro

Bron kommer bestå av två separata körbanor i respektive riktning. Snedkabelbron konstrueras med en pylon bestående av tre pelare med förankringar på vardera sida av brobanan samt en mellan vägbanorna. Utformningen med bara en pylon grundar sig i brons relativt korta spännvidd jämfört med andra snedkabelbroar. Kablarna utformas med solfjäderutformning på grund av dess effektiva lastupptagning enligt Bilaga 5 s. 7. För att åstadkomma vinkelrät påfart på bron och jämt verkningssätt för pylonen förflyttas massor genom urschaktning och uppfyllnad, se Bilaga 3. Med hjälp av glidformsgjutning gjuts pylonen av betong till en höjd på cirka 15-20% av brons längd. Kablarna i stål fästs i efterhand och brobanan bestående av prefabricerade betongelement trycks mot pylonerna.

11 Jämförelse av koncept

Broarnas trafiksäkerhet är snarare ett krav än ett önskemål. Varje bro ska uppfylla ställda krav beskrivna i Kapitel 5, avsnitt 5.3. Bågbroarna och snedkabelbron utformas med räcke som skyddar mot förhöjda risker. På så sätt kan alla broarna ses som likvärdiga med avseende på trafiksäkerhet, bortsett från risken för nedfallande föremål från pylon och båge under till exempel vintertid då isras kan uppstå vid bristfälligt underhåll. Ur ett miljöperspektiv är den största påverkansfaktorn vilket konstruktionsmaterial som används samt hur stor mängd. Stål ses som fullständigt återvinningsbart vilket gör att dess höga energiåtgång kompenseras. Tillverkning av betong inkluderar bränning av cement som avger extrema mängder koldioxid. Cementens stora miljöpåverkan leder till att stål ses som ett mer miljövänligt material än betong. Den estetiska utformningen poängsätts efter gruppens personliga åsikter, se Tabell 3 för poängsättning.

Tabell 3 Poängsättning för alla koncepten utifrån kriterierna trafiksäkerhet, miljö och estetik.

	Balkbro samverkan låda	Balkbro samverkan I-balk	Balkbro betong låda	Balkbro betong T-balk	Bågbro stål	Bågbro betong	Sned- kabelbro
Trafiksäkerhet	4	4	4	4	3	3	3
Miljö	4	3	2	1	4	1	2
Estetik	3	2	3	2	5	4	4

Tabell 4 beskriver poängsättningen för de olika broarna med avseende på nedanstående kriterier. Materialkostnaden per ton anges i Kapitel 5, avsnitt 5.1 där det tydligt framgår att betong är avsevärt mycket billigare än stål. Därför kan det vara klokt att försöka minimera stålåtgången både i armering och vid rena stålkonstruktioner. Genomförbarhet gällande konstruktionsberäkningar anses generellt mer problematisk för snedkabelbron än övriga koncept. Utifrån kunskapsnivå gällande beräkningsmodeller anses bågbroarna något svårare än balkbroarna där lådtvärnsnitt är något besvärligare än I- och T-balk. Gällande material ses samverkan och förspänd betong svårare att räkna på än de homogena materialen vilka beräknats i tidigare uppgifter. Snedkabelbron och bågbroarna anses svårare att producera än balkbroarna. En annan aspekt som måste beaktas gällande genomförbarhet är att balkbroarna inte får vara över 1,1 m höga, enligt Kapitel 2, utan att vägen måste höjas upp. Att höjden kommer klara sig ses i nuläget som osäkert och stor risk finns att vägen måste höjas vilket skulle försvåra genomförandet. Bågbroarna samt snedkabelbron byggs med huvudbärverket över bron och den fria höjden anses då mer rimlig att klara utan att upphöjning krävs.

Tabell 4 Poängsättning för alla koncepten utifrån kriterierna materialkostnad och genomförbarhet.

	Balkbro samverkan låda	Balkbro samverkan I-balk	Balkbro betong låda	Balkbro betong T-balk	Bågbro stål	Bågbro betong	Sned- kabelbro
Material- kostnad	3	2	4	4	1	3	3
Genomför- barhet	2	3	2	3	3	2	2

Produktionen av de olika broarna har en gemensam faktor vilket är behovet av snabb tillverkning av alla brodelar samt att produktionen i hög grad sker genom prefabricering. Detta beror på att befintliga spår inte får störas och därför begränsas möjligheten att bygga form för platsgjutning. Utrymme finns vid sidan om vägen för att assemblera delkonstruktioner till lanseringsbara. Det som dock inte kan prefabriceras är pylonen i snedkabelbron som måste utföras med glidformsgjutning och därför får en längre byggtid än övriga koncept. Fördelarna med prefabricerade element är att de är billigare och byggprocessen blir inte lika beroende av väder och vind som vid platsgjutning.

Produktionskostnaden är högst för bågbron i betong då bron har den mest avancerade produktionsmetoden med många olika moment. Även bågbron i stål och snedkabelbron har flertalet moment vilket gör dem mer kostsamma. På grund av att betongbron med T-balk samt betongbron med lådtvärsnitt behöver gjutas på arbetsplatsen för att sedan lanseras blir produktionskostnaden för dessa broar dyrare. Att balkbroarna är billigast bygger på att vägen inte behöver höjas upp. Då denna risk anses stor måste extra pengar budgeteras för produktionskostnaden.

Generellt sett krävs mindre material och slankare konstruktioner kan utformas då stål används. Eftersom ett minikrav på minsta fria höjd finns är det viktigt att få en så slank konstruktion som möjligt. Poängsättningen för tidigare nämnda kriterier för alla broar åskådliggörs i Tabell 5.

Tabell 5 Poängsättning för alla koncepten utifrån kriterierna byggtid, produktionskostnad och materialåtgång.

	Balkbro samverkan låda	Balkbro samverkan I-balk	Balkbro betong låda	Balkbro betong T-balk	Bågbro stål	Bågbro betong	Sned- kabelbro
Byggtid	4	4	3	3	4	2	1
Produktions kostnad	4	4	3	3	3	1	2
Material- åtgång	5	4	4	3	3	2	2

Underhåll av broar sker regelbundet oberoende av brotyp och konstruktionsmaterial. Kontroll av kloridhalt, karbonatisering samt korrosion på armering utförs regelbundet ungefär var sjätte år. Ytbehandlingen av stål behöver utöver detta inspekteras något oftare men då i något mindre omfattning. Vid noggrant utförande och utformning av konstruktion samt skyddande lager blir inte skillnaden avsevärt stor. Skillnad är dock att vid uppkomst av skador är stålet lättare och billigare att reparera då det vanligtvis sker genom svetsning till skillnad från betongen som kräver större åtgärder.

Konstruktionens utformning är en viktig aspekt för underhåll, både när det gäller åtkomlighet för utförande av underhåll och utsatthet för skador. Konstruktioner med många skarvar och skvättzoner är mer utsatta för bland annat korrosion. Bågbrons båge försvårar åtkomligheten för underhåll samt ökar inspektionsgraden då den har fler element som ska inspekteras. Balkbron är generellt enklast att inspektera men innehåller även den svåråtkomliga ytor framförallt under bron där hänsyn måste tas till de problem tågtrafiken skapar. I-balkar och T-balkar är mer lättillgängliga än lådtvärsnitt men har fler skarvar där smuts och föroreningar kan

samlas. Snedkabelbron ses som den svåraste av broarna att underhålla då den innehåller många konstruktionsdelar av olika material med mycket olika underhållsåtgärder samt inspektioner. För att möjliggöra underhåll oavsett bro kommer maskiner och liftar behövas och detta kommer störa både tåg- och biltrafik, därför är storskaliga underhåll viktiga att undvika. Underhållskriterierna poängsätts i tre olika kategorier för de olika broarna och beskrivs Tabell 6.

Tabell 6 Poängsättning för alla koncepten utifrån kriterierna underhållskostnad, underhållsbehov och underhållsmöjlighet.

	Balkbro samverkan låda	Balkbro samverkan I-balk	Balkbro betong låda	Balkbro betong T-balk	Bågbro stål	Bågbro betong	Sned- kabelbro
Underhålls- kostnad	3	3	2	2	4	1	2
Underhålls- behov	2	2	4	3	2	3	2
Underhålls- möjlighet	1	2	1	2	3	3	2

12 Andra urvalsprocessen

I Tabell 7 nedan följer en sammanställning av poängsättningen av de olika koncepten. Här har även viktningen av de olika kriterierna räknats med, det vill säga att de kriterier som ansetts viktigare har större påverkan än de mindre viktiga.

Tabell 7 Sammanställning av alla poäng med kriteriernas viktning medräknad.

	Trafiksäkerhet	Miljö	Estetik	Materialkostnad	Genomförbarhet	Byggtid	Produktionskostnad	Materialåtgång	Underhållskostnad	Underhållsbehov	Underhållsmöjligheter	Σ
Viktningss-procent	15%	7,5%	10,5%	6%	12%	17%	9%	1,5%	4,5%	13,5%	3%	100%
Balkbro samverkan lådtvärnsnitt	4	4	3	3	2	4	4	5	3	2	1	
	0,6	0,3	0,315	0,18	0,24	0,68	0,36	0,075	0,135	0,27	0,03	3,185
Balkbro samverkan I-tvärnsnitt	4	3	2	2	3	4	4	4	3	2	2	
	0,6	0,225	0,21	0,12	0,36	0,68	0,36	0,06	0,135	0,27	0,06	3,08
Balkbro betong lådtvärnsnitt	4	2	3	4	2	3	3	4	2	4	1	
	0,6	0,15	0,315	0,24	0,24	0,51	0,27	0,06	0,09	0,54	0,03	3,045
Balkbro betong T-tvärnsnitt	4	1	2	4	3	3	3	3	2	3	2	
	0,6	0,075	0,21	0,24	0,36	0,51	0,27	0,045	0,09	0,405	0,06	2,865
Bågbro stål	3	4	5	1	3	4	3	3	4	2	3	
	0,45	0,3	0,525	0,06	0,36	0,68	0,27	0,045	0,18	0,27	0,09	3,23
Bågbro betong	3	1	4	3	2	2	1	2	1	3	3	
	0,45	0,075	0,42	0,18	0,24	0,34	0,09	0,03	0,045	0,405	0,09	2,365
Snedkabelbro	3	2	4	3	2	1	2	2	2	2	2	
	0,45	0,15	0,42	0,18	0,24	0,17	0,18	0,03	0,09	0,27	0,06	2,24

Ur Tabell 7 kan avläsas att den mest lämpliga bron utifrån givna krav, förutsättningar och önskemål anses vara bågbron av stål beskriven i Kapitel 10, avsnitt 10.5.

13 Detaljbeskrivning av valt koncept

Utifrån andra urvalsprocessen bestäms att det främsta konceptet bland valda broar är en bågbro av stål, se Tabell 7. Tidigare beskrivning av brokonceptet berör konstruktionen generellt, nedan beskrivs det ytterligare och mer grundligt i form av en detaljbeskrivning.

13.1 Grundläggning och stöd

Som beskrivits i Kapitel 10, avsnitt 10.5 så är en vinkelrät påfart på bron önskvärd. Den vinkelräta påfarten åstadkoms genom ett schaktningsarbete där landfästet på ena sidan vägbanan framflyttas och på andra sidan flyttas bakåt. Massor grävs bort från den ena sidan för att sedan läggas på den andra sidan, detta för att transportarbetet ska bli så litet som möjligt. Detta arbete utförs på båda sidor av bron där den körriktningen som görs längre på ena sidan, kortas av på den andra och tvärt om. På ena sidan bron urschaktas lika stor massa som behövs för uppfyllnad. På den andra sidan bron förhindrar underliggande väg denna möjlighet och kräver istället visst transportarbete då de urschaktade massorna blir större än massorna som krävs för uppfyllnad, se Bilaga 3.

Som beskrivet i Kapitel 10 kan grundläggningsförhållandena på platsen där bron ska byggas anses som goda och grundläggning för stöden sker därför med platta på mark. Vid landfäste måste laster från både överbyggnad samt anslutande bank tas upp. Landfästet utformas därför som en vingmur. Vingmuren gjuts i betong bredvid lagerpallen som bär upp bron. Stöden utformas så att de är lätta att inspektera och underhålla.

13.2 Konstruktion av bron

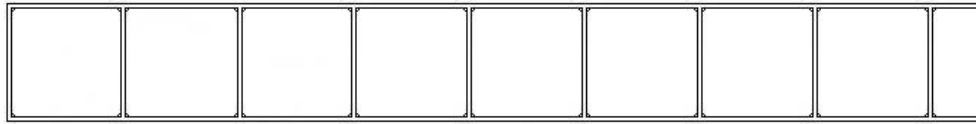
Tidigare beskrivet i Kapitel 10, avsnitt 10.5 så ska två separata broar produceras. Dessa broar är identiska och nedan beskrivs därför endast utformningen av en bros konstruktion.

Varje körriktning består av tre körfält med vardera bredd på 3,75 m vilket framgår av Bilaga 1. Vidare ska vägbanan också bestå av en vägren på varje sida, 2,75 m på ytterkanten samt 1 m mellan körfält och mittremsa. För att räcket ska uppfylla sin fulla funktion måste det kunna böja ut i sidled utan att kollidera med oeftergivliga hinder. Det finns därför ett krav på 0,6 m fritt avstånd från räcke till båge eller hängare (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 108). På grund av detta krav ökas vägbredden med 1 m på vardera sida om bron för att få en ytterligare säkerhetsmarginal utöver kravet på fritt avstånd. Utifrån ovanstående siffror beräknas den totala brobredden för vardera bro till 17 m och spännvidden efter urschaktning uppmäts till 100 m enligt Bilaga 3.

13.2.1 Bärverk

Brons huvudbärverk består av två ovanliggande stålbågar konstruerande med ett rektangulärt tvärsnitt. Bågarna är fastsatta med svetsning i förstyrningsbalkar vilka fungerar som dragband. För att uppnå en slank konstruktionshöjd och klara krav på fri höjd utformas förstyrningsbalkarna med ett lådtvärsnitt och dessa 100 m långa balkar sträcker sig längst hela bron. De två förstyrningsbalkarna förbinds med svetsning via tvärbalkar som bär upp brobanan och den trafiklast som belastar denna. Liksom förstyrningsbalkarna konstrueras tvärbalkarna med ett lådtvärsnitt i stål. Tvärbalkarnas primära funktion är att leda last upp i hängarna så att förstyrningsbalken endast kommer fungera som dragband. Bågarna är förbundna via svetsade transversaler, detta för att minska de dynamiska krafterna.

På tvärbalkarna vilar brobanan som består av ett stålsandwichelement med goda egenskaper mot nedböjning samt en bra bärighet och liten egentynghet. Detta sandwichelement konstrueras med ett antal vertikala liv fastsvetsade i flänsplåtar. På så sätt kommer elementet ses som flera små I-balkar som verkar tillsammans vilket illustreras i Figur 9. För att minska risken för brott i tvärled förses sandwichelementet med ändavstyvningar över varje tvärbalk. Dessa består av plattjärn som svetsas fast i tvärbalkarna för att sedan förbindas med elementen.



Figur 9 Brobaneplattan i tvärsektion.

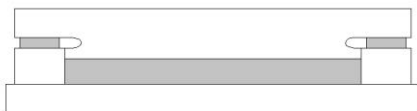
På stålsandwichelementet kommer ett förslitningslager anläggas, detta lager har ingen bärande funktion och kommer därför endast bidra med en last. Sandwichelementets uppgift är att bära lasten mellan tvärbalkarna. I bågarna fästs vertikala hängare med hängstag, dessa hängare placeras med samma avstånd som tvärbalkarna.

13.2.2 Lager

Bågkonstruktionen kommer vila på upplag vid landfäste och fungera som fritt upplagd. För att uppta horisontella och vertikala laster vid landfästet vilar förstärkningsbalkarna på lager.

Lagren utformas som pottlager, detta lager kan vara uppbyggt på olika sätt beroende på vilket verkningsätt som efterfrågas hos lagret. Oavsett om lagret ska vara fast, styrt eller befinna sig i fri glidning kommer en kombination av vertikala och horisontell krafter och rörelser kunna hanteras på ett effektivt sätt.

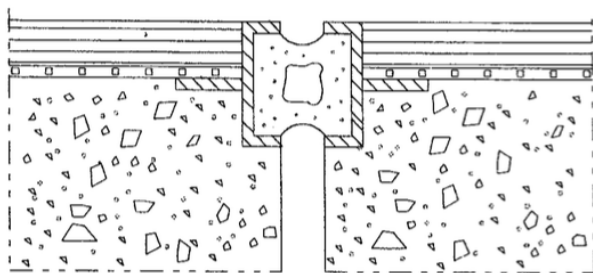
Oberoende av vilket verkningsätt som efterfrågas så kommer lagret bestå av huvudsakligen samma delar. Bottendelen av lagret består av en stål ”potta”, vilken i princip är en ihålig stålcylander (mageba, 2013). I denna placeras en flexibel dyna i plast som under stora tryck kommer bete sig som en vätska, vilken kommer tillåta rotation av locket som placeras ovan på och således även av överbyggnaden vilken är ansluten till locket, se Figur 10.



Figur 10 Pottlager i tvärsektion.

13.2.3 Övergångskonstruktioner

Vid temperaturförändringar sker termiska rörelser som gör att brons längd kommer variera. För att klara av dessa rörelser och bibehålla vägens komfort måste en övergångskonstruktion konstrueras mellan bro och anslutande väg. Övergångskonstruktionen är en gummiprofil som är fäst mellan randprofiler i stål. Randprofilerna i sin tur är fastsatta i broände respektive landfäste och är utformade som en klo för att fungera som fäste för gummiprofilen, se Figur 11 (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, ss. 104-105). Denna typ av övergångskonstruktion är tät och kontinuerlig över hela brokonstruktionen och klarar av att uppta rörelser både i vertikal- och horisontalled.



Figur 11 Fog med en gummiprofil (principfigur) (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, s. 105). Återgiven med tillstånd.

13.2.4 Räcken

Bron förses med körbaneräcken. Vid kollision med räcke är det viktigt att stöten inte blir för hård och att räcket fångar upp bilen. Räckets krav på energiupptagningsförmåga samt dess deformationsmöjlighet bestämmer därför utformningen (Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, 1996, ss. 107-108).

13.3 Produktion av valt koncept

Brons stöd är uppbyggda av lagerpallar med vingmurar som gjuts efter vad som blivit dimensionerat med avseende på tryckande normalkraft och jordtryck från den angränsande banken. På lagerpallen placeras lagren på vilka bron sedan kommer vila.

De 100 m långa förstyvningsbalkarna förtillverkas i verkstad, balkarna delas i två delar för att möjliggöra transport. Bågen tillverkas även den i verkstad och delas upp i 4 delar. Speciella stag för hängare monteras i bågen och förstyvningsbalken för att minimera monteringstiden på plats. Transporten av förstyvningsbalkarna och bågdelarna är speciell då det krävs speciella tillstånd för att få transportera ekipage över 30 m på allmän väg (Trafikverket, 2015). Därför är det viktigt att transportera dessa på tider när trafiken är som minst, transporten kommer därför att ske nattetid.

Vid trafikplatsen byggs skydd mot väder och vind för att balkdelarna under kontrollerad miljö ska kunna sammanfogas via svetsning till en förstyvningsbalk vilket ses som kontinuerlig. Kortare tvärbalkar transporteras även till trafikplatsen, vilka svetsas ihop med förstyvningsbalkarna.

Vägbansans sandwichelement kommer tillverkas som element som motsvarar vägbansans bredd och för att kunna läggas på två tvärbalkar. Vid montering kommer ändavstyvningsplåtarna först fästas i tvärbalken för att underlätta ditplacering och svetsning av brobanelementen. En lucka lämnas på ovansidan av elementets ändar för att underlätta fastsvetsningen i ändavstyvningarna. Ovansidan svetsas sedan fast med hjälp av precisionslasersvetsning för att kunna säkerställa att denna håller samma kvalitet som övriga elementet.

Bågdelarna svetsas ihop och förbinds i varandra med transversaler. De homogena bågarna fästs sedan i förstyvningsbalkarna via svetsning varpå hängarna fästs och linorna spänns. Därefter kommer hela det färdiga systemet lanseras ut och slutligen anläggs förslitningslagret på den utlanserade bron.

För att undvika en för stor nedböjning vid lansering kommer provisoriska stöd byggas upp mellan spåren och vid påfartsvägen. Dessa stöd monteras sedan ner direkt efter lansering, allt för att minimera tiden som tågtrafiken kommer behöva stängas av.

13.4 Förvaltning av valt koncept

Som nämnts i Kapitel 7, avsnitt 7.2 består förvaltningen av en stålbro främst av inspektioner av dess ytbehandling. Detta för att undvika att stålet korroderar, vilket är det vanligaste problemet hos en bro av stål. Även vikten av förebyggande underhåll i form av ommålning och rengöring av stålytor har lyfts. Bron kommer därför målas med en korrosionsbeständig färg.

För att undvika korrosion skapas, enligt Jan Sandberg¹⁵, en miljö i lådbalkarna där inga ämnen som gör korrosionsprocessen möjlig förekommer. Detta sker genom att lådbalkarna konstrueras som helt täta. För att kontrollera så att läckage inte sker över tid kontrolleras insidan av balkarna regelbundet med hjälp av en titthålskamera.

Det valda konceptet medför underhåll av flera olika sorters konstruktionsdelar. Enligt Lindén¹⁶ är exempelvis hängarnas infästningar en viktig del då de måste inspekteras och eventuellt bytas ut. För att kunna byta ut hängarnas infästningar bör de dimensioneras så att en av hängarna kan vara ur bruk utan att riskera brons hållfasthet. Även skarvar i stål balkarna bör kontrolleras då det lätt kan samlas smuts där, vilket tidigare nämnts medför en ökad risk för korrosion.

Då det går högspänningsledningar under bron kan inspektioner av de delar av bron vilka ligger ovanför spåren inte ske med hjälp av en lift underifrån. Brons alla delar är tillgängliga för inspektion uppifrån bron.

¹⁵ Jan Sandberg (Brokontroll AB, Konsulter Göteborg) föreläsning den 1 mars 2016.

¹⁶ Staffan Lindén (Gruppchef Broteknik, COWI) handledningsmöte den 23 februari 2016.

DEL 2 - PRELIMINÄRDIMENSIONERING

14 Lastframtagning

För att dimensionera det valda konceptet behöver de laster som verkar på bron tas fram. De laster som beaktas är egentyngd, trafiklast, bromskraft och vindlast. Egentyngd och trafiklast verkar i vertikalled medan vindlast och bromskraft verkar i horisontalled. Lasterna beräknas i Matlab genom funktionsfiler som redovisas i en huvudfil. Detta för att på ett okomplicerat sätt kunna ändra brons dimensioner om valda dimensioner inte har kapacitet nog.

14.1 Egentyngd

Den last som brons tyngd ger upphov till kallas för egentyngd. Denna last ses som en permanent last som inte ändras med tiden. Bron består av konstruktionsdelar i stål, ett förslitningslager på brobaneplattan samt ett vägräcke, med tunghet enligt Tabell 8. Egentyngden beräknas i Bilaga 7 s. 18-21.

Tabell 8 Tunghet på olika delar av bron.

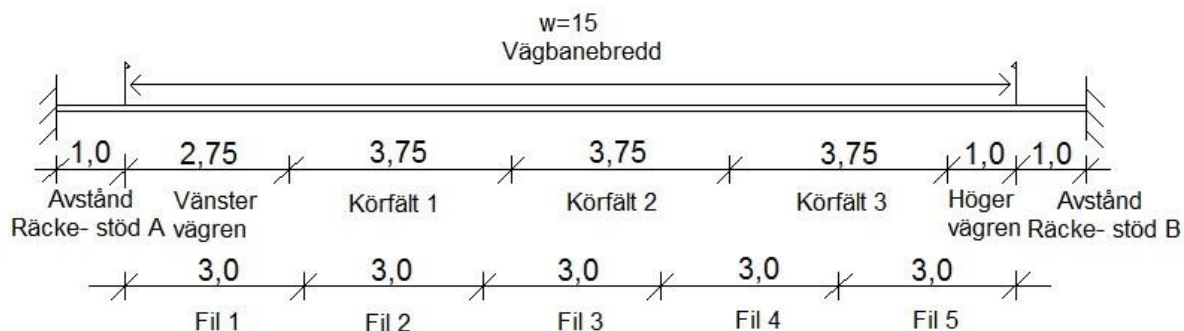
Stål	78 kN/m ³
Förslitningslager	23 kN/m ³
Vägräcke	0,5 kN/m

14.2 Trafiklast

Trafiklasten på bron beräknas utifrån Eurocode SS-EN 1991-2. Sträckan mellan broräckena på bron kallas för körbanebredd, w , bestående av tre körfält samt två vägrenar och uppmäts till 15 m, se Figur 12. Körbanebredden delas upp i lastfält enligt Tabell 9 nedan, vilket ger 5 lastfält med vardera bredd på 3 m, se Figur 12.

Tabell 9 Antal körfält beroende på körbanebredd enligt Eurocode EN 1991-2:2003 sid 30.

Körbanebredd, w	Antal lastfält	Bredd på ett lastfält, w_i	Återstående ytans bredd
$w < 5,4\text{m}$	$n_1 = 1$	3m	$w - 3$
$5,4\text{m} < w < 6\text{m}$	$n_2 = 2$	$w/2$	0
$6\text{m} < w$	$n_1 = \text{int}(w/3)$	3m	$w - 3 * n_1$



Figur 12 Brons vägbana med körfält och filer utsatta.

De vertikala trafiklasternas karakteristiska värden beräknas utifrån standardiserade lastmodeller. Beroende på situation används olika lastmodeller, vilka beskrivs enligt Eurocode EN 1991-2:2003. Utifrån givna förutsättningar framgår det att den lastmodell som ska tillämpas för denna bro är lastmodell 1 vilken beskrivs nedan:

"Lastmodell 1 (LM1): Koncentrerade och jämnt utbredda laster, vilket täcker in de flesta effekterna av trafik med last- och personbilar. Denna modell bör användas vid globala och lokala beräkningar."

Lastmodellen består av punktlaster som representerar en lastgrupp med dubbla axlar i varje lastfält, betecknas med Q , samt jämt utbredda laster på varje lastfält, betecknas q . Den största punktlasten som belastar körfält 1, Q_{k1} , avser lasteffekten av ett specialfordon. De olika lastfälten belastas enligt nedanstående Tabell 10 och dess läge på körbanan görs så att de mest ogynnsamma lasteffekterna fås. Den återstående ytan utanför räcket belastas bara med egentygnd då ingen trafik kommer befinna sig denna yta. Belastningen på lastfälten varierar, enligt Tabell 10 belastas alla lastfält med samma jämt utbredda last samt ett tillägg i lastfält 1. Punktlaster förekommer endast i lastfält 1 och 2 då reduktionsfaktorn för punktlasten i lastfält 3 enligt i Sverige är 0.

Tabell 10 Belastning på lastfälten samt reduktionstal enligt Eurocode SS-EN 1991-2 s.33.

	Axellast[kN]	Jämt Utbreddfillast[kN/m²]	Svenska Reduktions	Förhållanden faktor
	Q_{ik}	q_{ik}	α_{Qi}	α_{qi}
Lastfält 1	300	9	0,9	0,8
Lastfält 2	200	2,5	0,9	1,0
Lastfält 3	100	2,5	0	1,0
Övriga lastfält	0	2,5	-	1,0
Återstående yta	0	2,5	-	1,0

Utifrån dessa förhållanden finns det 20 olika sätt att placera de 5 olika lastfälten på vägbanan för att få olika lastsituationer. För att beräkna dimensionerande laster placeras dessa så att den största, och mest ogynnsamma, lasteffekten uppkommer.

14.3 Dimensionerande laster

För att beräkna den totala dimensionerande lasten vertikalt i brottgräns på bron används olika ekvationer beroende på om egentygnden eller trafiklasten är huvudlast. Den last som inte ger den värsta effekten reduceras med ett lastreduktionstal enligt Tabell 11 som beror på vilken typ av last det är.

Tabell 11 Lastreduktionstal enligt Eurocode SS-EN 1990 s. 46.

LASTREDUKTIONSTAL:	Kombinationsvärde	Frekvent värde	Långtidsvärde
Axellaster	$\Psi_{0,1}=0,75$	$\Psi_{1,1}=0,75$	$\Psi_{2,1}=0$
Utbredd trafiklast	$\Psi_{0,2}=0,4$	$\Psi_{1,2}=0,4$	$\Psi_{2,2}=0$

Den dimensionerande lasten beräknas enligt Eurocode SS-EN 1990 med den av följande ekvationer som ger störst last:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Där:

$G_{k,j}$ -Karakteristiskt värde för permanent last

P -Spännkraft

$Q_{k,1}$ -Karakteristiskt värde för en variabel huvudlast i lastfält 1

$Q_{k,i}$ -Karakteristiskt värde för den samverkande variabla lasten i lastfält i

ξ -Reduktionsfaktor som reducerar egentyngden=0,89

γ_G - Partialkoefficient för permanent last= 1,35

γ_Q - Partialkoefficient för variabel last= 1,5

Ψ - Lastreduktionstal, värde beroende av typ av last och stadium, se Tabell 11

Det minst gynnsamma av dessa två kombinationer bestämmer vilken kombination som ska användas och således vilken last som är huvudlast och vilken last som ska reduceras. Om ekv. 6.10a ger störst värde är fallet med egentyngd som huvudlast dimensionerande vilket leder till att trafiklasten reduceras. På samma sätt blir ekv. 6.10b dimensionerande om detta värde är störst, vilket ger att trafiklasten fungerar som huvudlast och egentyngden reduceras. Enligt Bilaga 7 s. 18-21 blir fallet med egentyngd som huvudlast dimensionerande för denna bro.

Dimensionerande värden på egentyngden beräknas i Bilaga 7 s. 18-21 i brottgräns genom att egentyngden multipliceras med partialkoefficient för permanenta laster, beskriven i ekvationerna 6.10a och 6.10b. Dimensionerande värden på trafiklasterna i brottgräns beräknas genom att axellasterna multipliceras med partialkoefficienten för variabel last samt lastreduktionstalet för kombinationsvärde axellast, se Tabell 11. De utbredda lasterna multipliceras med partialkoefficienten för variabel last samt lastreduktionstalet enligt kombinationsvärde för utbredd trafiklast.

De i bruksgräns dimensionerande värdena på egentyngden beräknas i Bilaga 7 s. 18-21 och är ej beroende av vilken last som är huvudlast. Detta på grund av att enligt Eurocode SS-EN 1990 används alltid frekvent lastkombination för deformationsberäkningar i bruksgränstillstånd. Frekvent lastkombination innebär att egentyngden inte multipliceras med något och att trafiklasterna endast multipliceras med sitt lastreduktionstal, se Tabell 11.

14.4 Vindlast

Den dimensionerande vindlasten beräknas i horisontalled enligt uttryck 8.2 i Eurocode SS-EN 1991 1-4:2005:

$$F_w = c_f q_p A_{ref}$$

Där:

c_f = formfaktor för kraft

q_p = Karakteristiskt hastighetstryck

A_{ref} = Referensarean

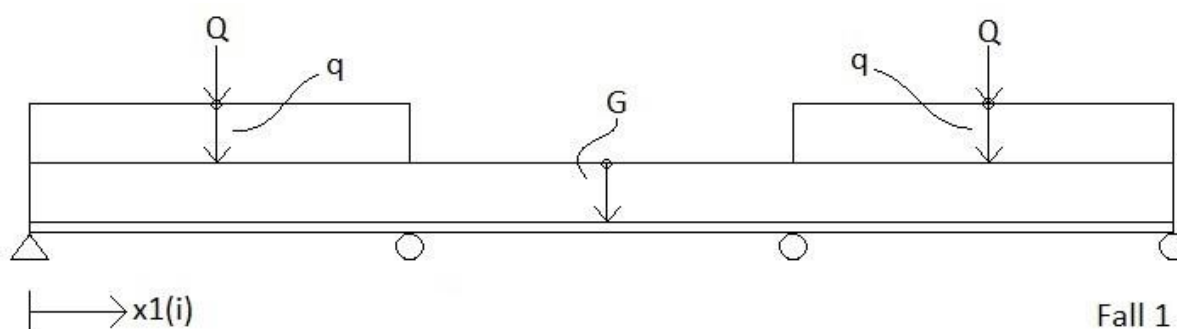
Beräkningar sker i Bilaga 9 s. 4 där referensarean består av förstyrningsbalken, brobanan, förslitningslagret, bågen samt en fyra meter hög lastbil, allt sett från sidan. Således försummas hängarna och räcket från referensarean och bidrar inte till en kraft. Referensvindhastigheter beskrivs i Kapitel 2 och karakteristiskt hastighetstryck tas ur Tabell 4.2 i VVFS 2007:494. Den horisontella kraften som uppkommer av vinden, se Bilaga 9 s. 4, används för att dimensionera lagren. Transversalerna verkar för att ta upp horisontella krafter, varav vinden är den primära, kommer inte dimensioneras i denna preliminärdimensionering. Dessa transversaler i kombination med bågens lådtvärnsnitt ska dock ta upp krafterna, något som bör kontrolleras i en noggrannare dimensionering.

15 Lasteffekt

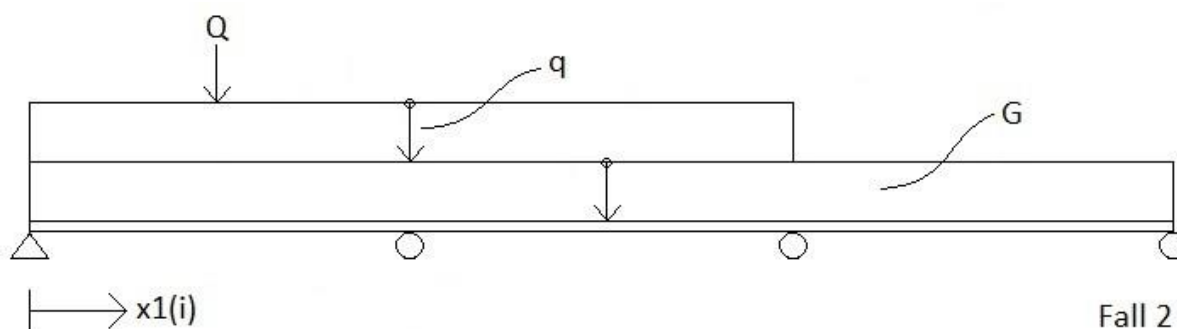
De framtagna lasterna ger upphov till olika dimensionerande lasteffekter på de olika brodelarna. Utöver att de olika brodelarna måste klara av dessa lasteffekter ska de även klara ett nedböjningskrav på $L/400$ (TK bro, Juli 2009). Lasteffekterna beräknas konservativt genom att maxvärden alltid används oberoende på vilket lastfall de tillhör. Nedan följer en beskrivning av hur lasteffekterna beräknas.

15.1 Lasteffekt brobaneplatta

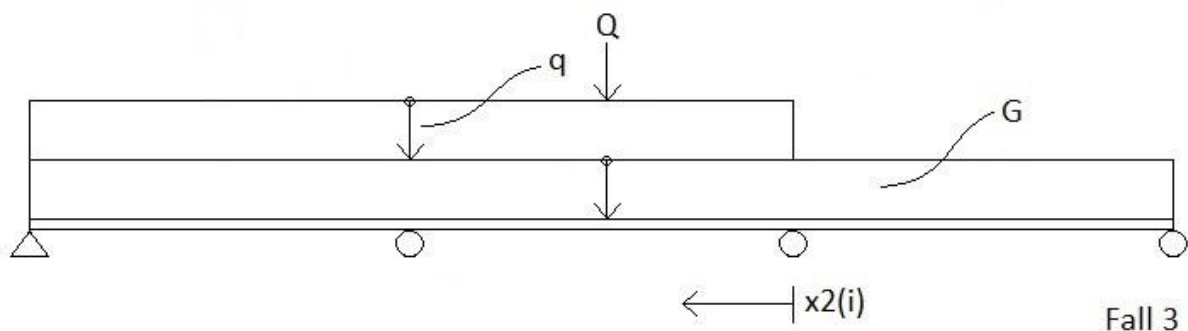
Brobaneplattan sett från sidan består av 25 stycken 4 m långa fack mellan tvärbalkarna. Endast tre fack kontrolleras då denna modell kommer ge de dimensionerande värdena och fler fack inte kommer ge större moment eller tvärkraft. Vid beräkning av lasteffekt på brobanan ses den ifrån sidan och förenklas genom att beräknas som en 1 meter bred balk. Brobaneplattan belastas av egentynngd bestående av tyngden från sandwichelementet och räcken. Fyra olika fall kontrolleras där trafiklasten och punktlasten flyttas mellan olika fack, se Figur 13, Figur 14, Figur 15, och Figur 16. Reaktionskrafterna och stödmomenten ställs upp för hand med vinkeländringsmetoden för alla fyra fall, se Bilaga 9 s. 5-12. I beräkningarna snittas balken två gånger, före och efter punktlastens placering, och moment- och tvärkraftsekvationer ställs upp för det fack där punktlasten ligger då de maximala värdena uppkommer där.



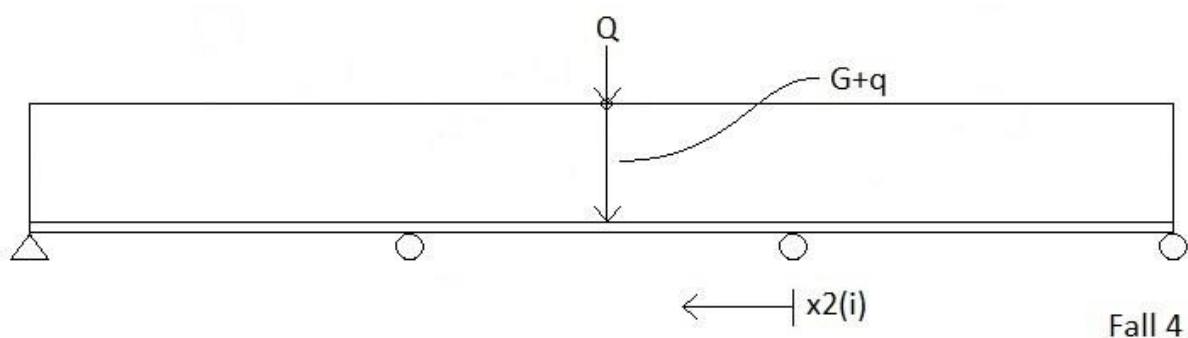
Figur 13 Lastfall 1 för brobaneplattan.



Figur 14 Lastfall 2 för brobaneplattan.



Figur 15 Lastfall 3 för brobaneplattan.



Figur 16 Lastfall 4 för brobaneplattan.

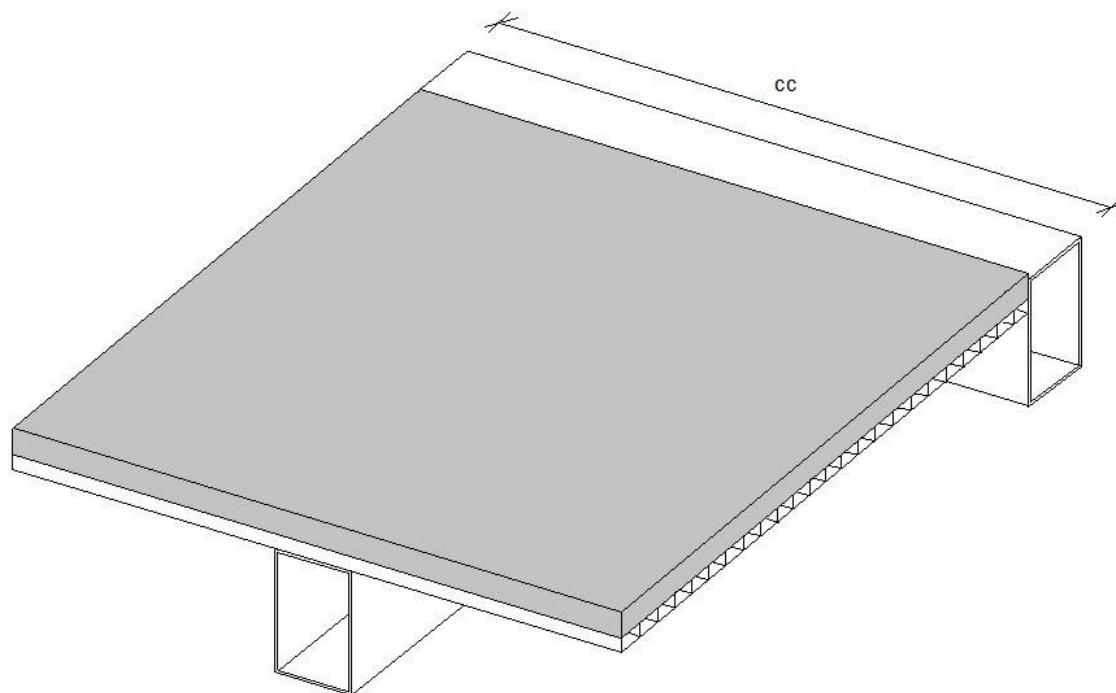
Ekvationerna ifrån Bilaga 9 s. 5-12 används för beräkning av snittkrafter i ett Matlabprogram, se Bilaga 7 s. 82-104. I detta program varieras punktlastens placering 1000 gånger längs hela facket, enligt variablerna x_1 och x_2 . Lika många snitt kontrolleras på båda sidor om punktlasten enligt uträknade ekvationer för alla positioner som punktlasten har. Beräkningar genomförs endast i de fack där punktlasten ligger, då moment och tvärkraft är större här än i de resterande två facken. Maximal tvärkraft och maximalt moment tas sedan fram, oberoende om de har positivt eller negativt värde. Värdena är hela tiden kopplade till var punktlasten ligger och programmet plottar sedan upp balken och visar var punktlasten är placerad för respektive maxvärde. Figurer för det största momentet, tvärkraften samt stödmomenten då punktlasten är i inner- respektive ytterfack plottas, se Bilaga 7 s. 1-17. Detta för att tydligt visualisera punktlastens relation till maxvärdena. Dimensionerande värden för brobaneplattan redovisas i Tabell 12 nedan.

Tabell 12 Dimensionerande lasteffekt och tillåten nedböjning för brobaneplattan.

Dimensionerande moment [Nm]	Dimensionerande tvärkraft [Nm]	Tillåten nedböjning [m]
$8,8143 \cdot 10^5$	$8,5473 \cdot 10^5$	0,009

15.2 Lasteffekt tvärbalkar

Tvärbalkarna kommer att leda trafiklasten samt egentyngd från brobaneplatta, förslitningslager och tvärbalkar vidare till förstärkningsbalkarna. Dessa laster uppdelas på tvärbalkarna enligt Figur 17 och utifrån detta utförs dess dimensionering.

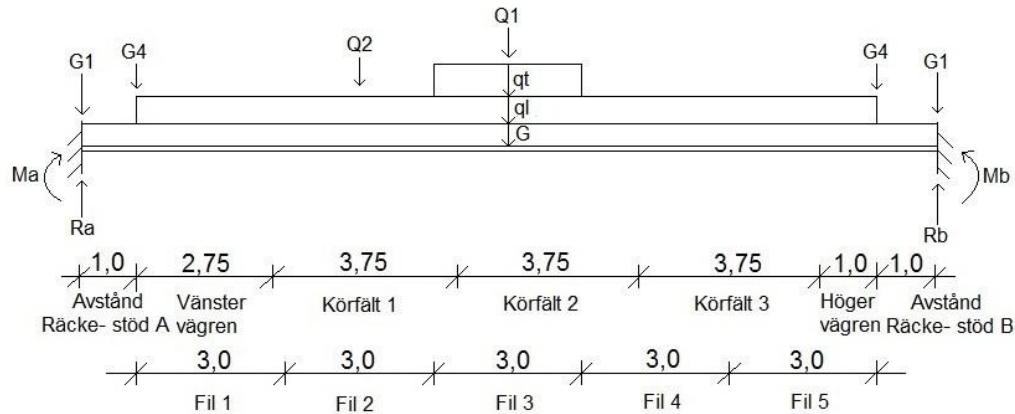


Figur 17 Ett cc avstånd för brobanan.

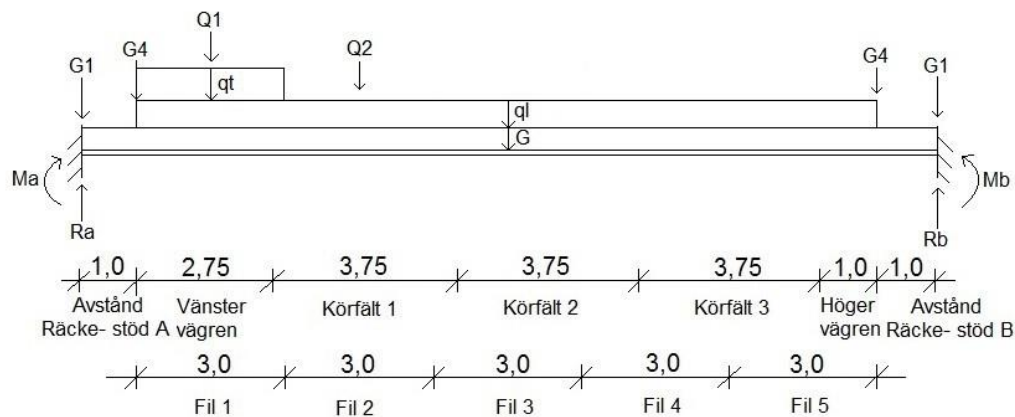
Tvärbalkarna svetsas ihop med förstärkningsbalkarna där svetsarna ses som en fast inspänning, det vill säga att tvärbalkarna ses som fast inspända i förstärkningsbalkarna. Tvärbalkarnas belastning ger upphov till ett moment i fästet mellan förstärkningsbalk och tvärbalk, vilket leder till att förstärkningsbalken kommer vilja vridas då tvärbalken belastas. Förstärkningsbalkarna är i sin tur endast fastsatta i bågens ändar på vardera sida bron, vilket leder till ett visst motstånd mot tvärbalkens tvång till vridning, men vridningen förhindras inte helt. Att tvärbalken beräknas som fast inspänd är därför inte helt korrekt, utan den korrekta lösningen skulle vara en beräkning där tvärbalken är upplagd på en rotationsfjäder. På grund av begränsad beräkningskunskap löses detta problem genom att tvärbalkens lasteffekt beräknas både som fast inspänd och fritt upplagd, för att sedan dimensionera konservativt och använda den mest kritiska modellen i varje beräkningssteg.

För att ta fram maximal tvärkraft, maximalt moment, maximala stödreaktioner och maximal nedböjning i tvärbalken placeras trafiklasterna så att den mest ogynnsamma lasteffekten fås. Som nämnts i Kapitel 14, avsnitt 14.2, finns det 20 olika sätt att placera lastfälten, vilka leder till olika lasteffekter. Eftersom tvärbalken beräknas som fritt upplagd och fast inspänd i båda ändar utan mellanliggande stöd kommer maximalt moment samt maximal nedböjning fås då de största lasterna placeras närmast mitten, se Figur 18. Maximal tvärkraft fås genom att

placera de största lasterna så nära stöd som möjligt, se Figur 19. Genom beräkning av snittkrafter enligt Bilaga 10 s. 1-4 kommer endast maximal tvärkraft, maximalt moment, maximala stödreaktioner och maximal nedböjning beräknas för dessa två lastfall i Bilaga 7 s. 22-59, vardera både som fritt upplagda och som fast inspända för att sedan ta reda på vilket av fallen som är dimensionerande.



Figur 18 Placering av laster som ger upphov till maximalt moment och nedböjning.



Figur 19 Placering av laster som ger upphov till maximal tvärkraft.

De värden som används för dimensioneringen är de maximala krafterna oberoende av fall och om de är fast inspända eller fritt upplagda. Snittkrafter, nedböjning och stödreaktioner beräknas för tvärbalken för de olika fallen i Bilaga 7 s. 22-59 och diagram plottas upp i Bilaga 7 s. 1-17. De laster som används för beräkningarna är beräknade i Bilaga 7 s. 18-21. Enligt Eurocode SS-EN 1990 används laster i brottgräns för att beräkna maximalt moment, maximal tvärkraft och maximala stödreaktioner medan laster i bruksgräns används för beräkning av nedböjning. De framräknade dimensionerande värdena i Bilaga 7 s. 22-59 anges nedan i Tabell 13.

Tabell 13 Dimensionerande lasteffekt och nedböjning för tvärbalkarna.

Dimensionerande moment [Nm]	Dimensionerande tvärkraft [N]	Dimensionerande moment svets [Nm]	Tillåten nedböjning [m]
$6,7625 \cdot 10^6$	$1,5862 \cdot 10^6$	$4,1576 \cdot 10^6$	0,0425

15.3 Lasteffekt hängare och dess infästningar

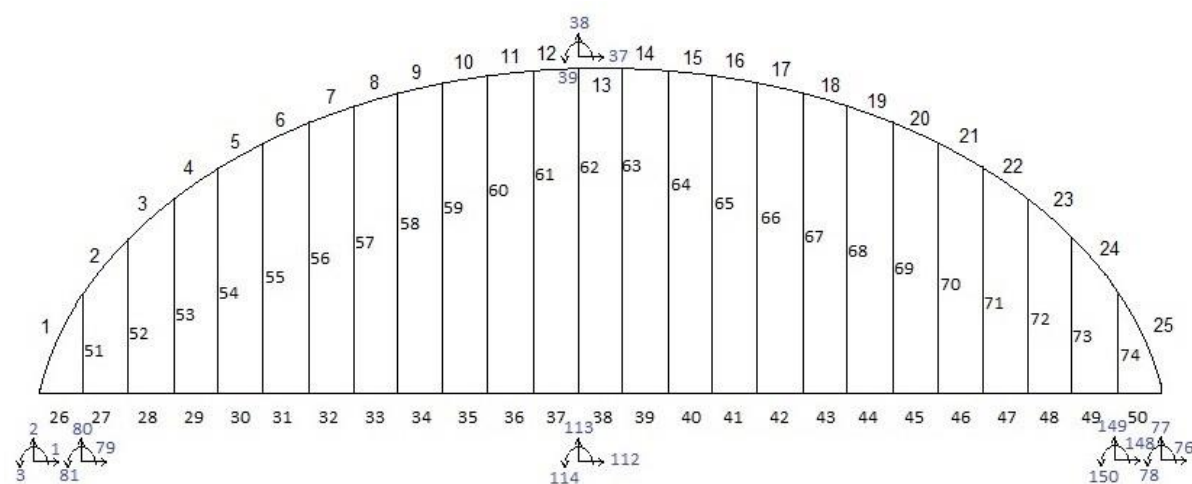
Brobanan ansluts till bågen med hjälp av 24 hängare på vardera sida av brobanan. Dessa hängare bär trafiklasten samt egentyngden av brobanan, tvärbalkarna och förstyrningsbalkarna vidare upp till bågen. Detta leder till att den maximala lasteffekten, se Tabell 14, som kan uppstå i en hängare blir den maximala stödkraften hos en tvärbalk tillsammans med tyngden av ett centrumavstånd på fyra meter förstyrningsbalk enligt Bilaga 8 s. 13. Hängarna fästs i bågens undersida samt i förstyrningsbalkens ovansida med hjälp av infästningar. Infästningarna dimensioneras även de efter samma lasteffekt.

Tabell 14 Dimensionerande lasteffekt för hängare och infästningar.

Lasteffekt hängare/infästningar [N]
$1,624 \cdot 10^6$

15.4 Lasteffekt båge

För att beräkna de snittkrafter och den nedböjning som uppkommer i systemet görs en analys med hjälp av CALFEM där en modell av systemet bestående av båge, förstyrningsbalk och hängare skapas, se Bilaga 7 s. 60-81. Elementindelning görs enligt Figur 20 nedan.



Figur 20 Elementindelning av systemet i CALFEM-modellen.

Modellen belastas med egentyngd från de ingående delarna och reaktionskrafter från tvärbalkarna. Dessa reaktionskrafter beräknas utifrån olika lastfall, se Kapitel 15, avsnitt 15.2. Då en del av lastmodellen från trafiken beror av en rörlig punktlast från specialfordon, Q_{k1} , som bara kan finnas på ett ställe längs bron blir inte alla reaktionskrafter från tvärbalkarna lika stora. Därför tas den maximala reaktionskraften fram dels med den rörliga punktlasten Q_{k1} och dels utan. I CALFEM-modellen belastas en av hängarna med den stora reaktionskraften som

beräknats med punktlast och alla andra hängare med reaktionskraften utan punktlast. För att ta reda på var punktlasten ska placeras för att ge det värsta fallet belastas en hängare i taget med den stora reaktionskraften vartefter moment, tvärkraft, normalkraft och nedböjning beräknas. De positioner som ger de maximala värdena för respektive parameter används sedan för framtagning av dimensionerande värden.

För att kontrollera vilken lastsituation som är mest ogynnsam utförs beräkningar där den utbredda trafiklasten antas belasta dels varje hängare, se Bilaga 7 s. 60-68, och dels varannan hängare, se Bilaga 7 s. 68-75. Fallet då varje hängare belastas ger de värsta effekterna och därmed de dimensionerande värdena, resultat visas i Tabell 15.

Tabell 15 Dimensionerande lasteffekt och tillåten nedböjning för bågen.

Dimensionerande moment [Nm]	7,3767*10 ⁷
Dimensionerande tvärkraft [N]	1,5073*10 ⁶
Dimensionerande normalkraft [N]	1,5026*10 ⁷
Vertikal stödreaktion stöd A [N]	1,1473*10 ⁷
Horisontell stödreaktion stöd A [N]	7,5831*10 ⁷
Vertikal stödreaktion stöd B [N]	1,1473*10 ⁷
Tillåten nedböjning [m]	0,25

15.5 Lasteffekt förstyrvningsbalk

Förstyrvningsbalken fungerar som ett dragband som håller ihop bågens båda ändar. Den dimensionerande lasteffekt som beräknas för förstyrvningsbalken är normalkraften i balken som uppkommer då systemet belastas och anges i Tabell 16 nedan. Förstyrvningsbalken antas inte bära någon vertikal last utan leder bara lasten från tvärbalkarna vidare till hängarna. Beräkningarna görs i samma modell som bågen enligt avsnitt 15.4 ovan, se Bilaga 7 s. 60-81 för beräkningar.

Tabell 16 Dimensionerande lasteffekt för förstyrvningsbalken.

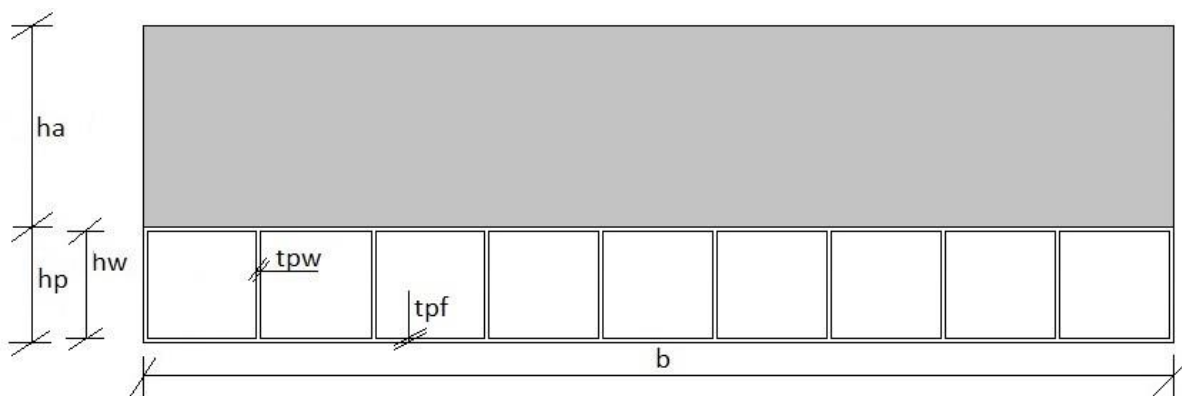
Dimensionerande normalkraft [N]
9,1140*10 ⁶

16 Dimensionering av brokomponenter

För att kontrollera om det valda brokonceptet har tillräcklig kapacitet och är möjligt att konstruera utförs en preliminärdimensionering enligt Eurocode samt kompendiet Bärande konstruktioner Del 1 och 2. Processen är iterativ för att anpassa konstruktionsdelarna efter de olika krav som ställs på konstruktionen. Därför utförs beräkningarna med datorprogrammen Mathcad och Matlab med visst stöd av handberäkningar. Följande kapitel beskriver hur beräkningarna utförs och kapaciteter jämförs sedan med beräknad lasteffekt i Kapitel 15 för att få de mått som krävs på komponenterna.

16.1 Dimensionering av brobaneplatta

Brobanan består av ett egenkonstruerat sandwichelement i stål som konstrueras med sammanfogade små I-balkar på vilka förslitningslagret vilar, se Figur 21. Enligt Mohammad Al-Emrani¹⁷ kan plattan antas klara hjultrycket utan att gå till brott då live i plattan är placerade tillräckligt tätt. Svetsarna i brobaneplattan samt svetsarna mellan plattan och tvärbalkarna kan enligt Lindgren¹⁸ antas vara tillräckligt starka för att hålla brobanan på plats och hantera de bromskrafter som uppstår på körbanan.



Figur 21 Tvärsnitt av brobaneplattan med förslitningslager och avstånd utsatta.

Vid beräkning av brobanans kapacitet och nedböjning studeras ett en meter brett element av brobanans mest belastade del, se Bilaga 8 s. 1-6. Brobanan kommer endast att böja ner i brons längdriktning då kraften alltid leds den närmaste vägen, alltså till närmaste tvärbalk. För brobanan är det nedböjningen som är den dimensionerande faktorn.

Brobanans momentkapacitet, tvärkraftskapacitet samt nedböjning redovisas i Tabell 17. Detta ger en brobaneplatta med mått enligt Tabell 18 som klarar dimensionerande moment och tvärkraft samt nedböjningskrav. Förslitningslaget dimensioneras med ett bitumenlager (Vägverket, 1994, kap 3). Dess tjocklek beräknas i Bilaga 8 s. 26 och har en höjd enligt Tabell 18.

¹⁷Mohammad Al-Emrani (Docent vid Bygg- och miljöteknik/Konstruktionsteknik Chalmers Tekniska Högskola) möte den 14 april 2016.

¹⁸Sören Lindgren (Projektledare vid Bygg- och miljöteknik/Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) möte den 14 april 2016.

Tabell 17 Kapacitet och nedböjning för brobaneplattan.

Momentkapacitet [Nm]	Tvärkraftskapacitet [N]	Nedböjning [m]
8,147*10 ⁶	4,181*10 ⁷	0,00614

Tabell 18 Mått till 1 meters tvärsektion av brobaneplattan illustrerat i Figur 21.

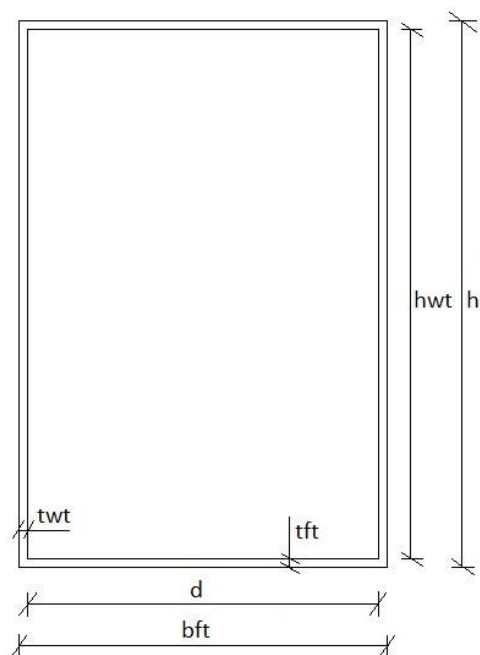
h _p [m]	h _w [m]	h _a [m]	t _{pw} [m]	t _{pt} [m]	b [m]
0,12	0,1	0,19	0,01	0,01	1

16.2 Dimensionering av tvärbalkar

För att ta fram dimensioner på tvärbalkarna beräknas dess kapacitet med avseende på tvärkraft, moment och nedböjning i Bilaga 8 s. 7-12 och redovisas i Tabell 19. Bron konstrueras med 26 tvärbalkar med ett centrumavstånd på 4 m. Nedböjningen för tvärbalkarna beräknas i Bilaga 7 s. 60-81 med hjälp av en CALFEM-modell beskriven i Kapitel 15, avsnitt 15.4 och redovisas i Tabell 19. Nedböjningen visar sig vara dimensionerande och gör att tvärsnittet slutligen får mått enligt Tabell 20 och Figur 22 nedan.

Tabell 19 Kapacitet och nedböjning för tvärbalkarna.

Momentkapacitet [Nm]	Tvärkraftskapacitet [N]	Nedböjning [m]
1,271*10 ⁷	8,362*10 ⁶	0,03856



Figur 22 Tvärsektion av en tvärbalk med avstånd utsatta.

Tabell 20 Mått på tvärbalkarna illustrerat i Figur 22.

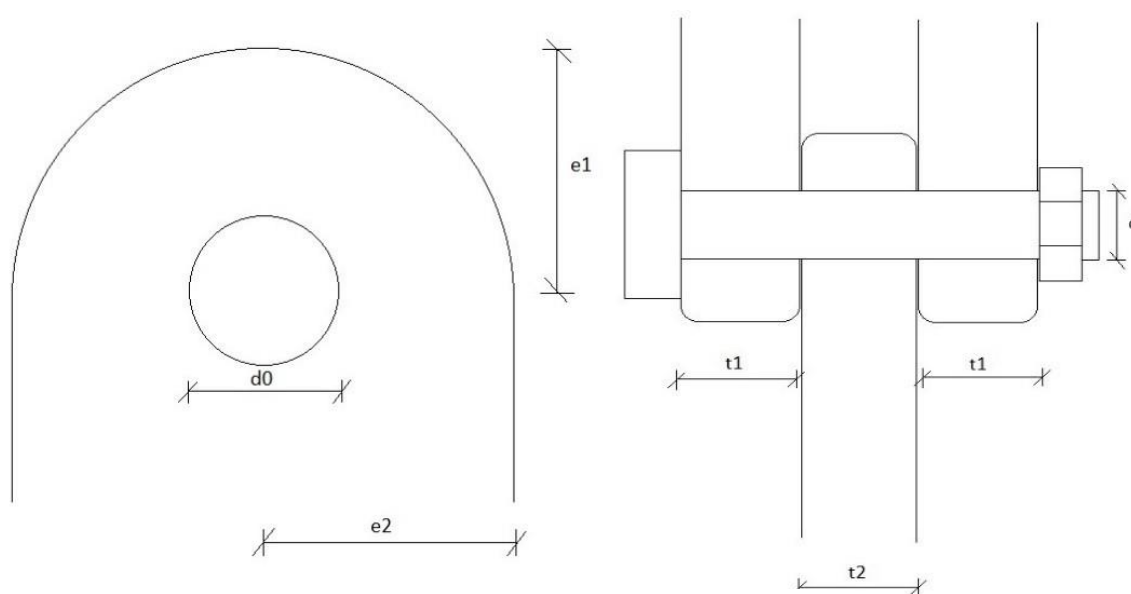
h [m]	h _{wt} [m]	b _{ft} [m]	d [m]	t _{wf} [m]	t _{ft} [m]
0,93	0,85	0,6	0,52	0,04	0,04

16.3 Dimensionering av hängare och dess infästningar

Hängarna kommer att belastas i rent drag och utifrån lasteffekten dimensioneras hängarnas diameter i Bilaga 8 s. 13-15. Den totala kapaciteten anges i Tabell 21 och klarar kraften som verkar i hängaren både med avseende på skjuvbrott i skruven och hålkantsbrott i plåten. Anslutningen mellan hängare och förstärkningsbalk eller båge kommer att bestå av en ögla med en genomgående bult, se Figur 23, med mått enligt Tabell 22.

Tabell 21 Kapacitet för hängare och dess infästningar.

Skjuvbrottskapacitet [N]	Hålkantsbrottskapacitet [N]
$1,737 \cdot 10^6$	$1,92 \cdot 10^6$



Figur 23 Hängaren och infästningen med avstånden utsatta.

Tabell 22 Mått på hängare och dess infästningar illustrerat i Figur 23.

Diameter hängare [m]	d [m]	d0 [m]	e1 [m]	e2 [m]	t1 [m]	t2 [m]
0,08	0,048	0,051	0,12	0,12	0,05	0,05

16.4 Dimensionering av båge

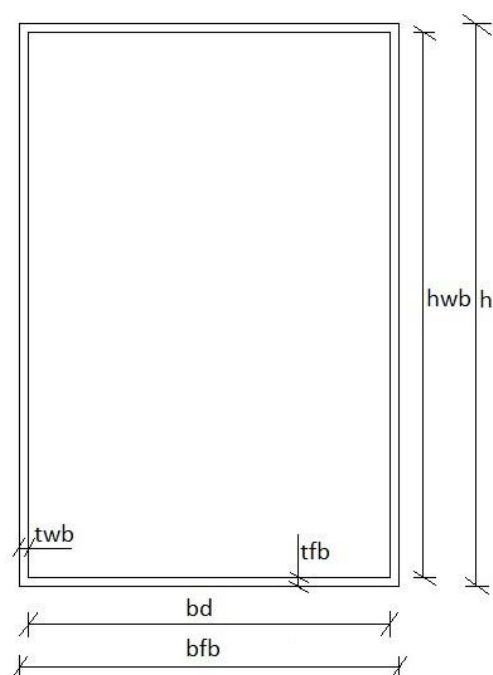
Bågbalken består av ett rektangulärt lådtvärnsnitt med mått enligt Figur 24 och Tabell 24. För att ta fram dessa mått dimensioneras bågbalken med avseende på momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, nedböjning av hela systemet samt knäckning av bågen, se Bilaga 8 s. 16-23. Nedböjningen av hela systemet beräknas utifrån laster i bruksgränstillstånd. Knäckning kan ske både i profil och plan. I profil samverkar moment och tryckande normalkraft och bidrar till att bågen kan knäcka mellan två hängare. I plan har beräkningar gjorts utifrån att bågen på grund av den tryckande normalkraften kan knäcka antingen mellan bågens ände och den första transversalen eller mellan två transversaler. De tvärsnittsmått som krävs för att ta hand om lasterna samt klara kapaciteten med avseende på nedböjning och knäckning tas fram genom en

iterativ process i Mathcad, se Bilaga 8 s. 16-23. Knäckning i profil visade sig vara dimensionerande då bågen är belastad relativt mycket med både tryck och moment, se Bilaga 8 s. 16-23.

Kapaciteten och nedböjningen anges nedan i Tabell 23 och ger en bågbalk med dimensioner enligt Figur 24 och Tabell 24.

Tabell 23 Kapacitet och nedböjning för bågen.

Momentkapacitet [Nm]	Tvärkraftskapacitet [N]	Normalkraft [N]	Nedböjning [m]
$1.83 \cdot 10^7$	$2.164 \cdot 10^7$	$4,389 \cdot 10^7$	0,2206



Figur 24 Tvärsektion av bågbalken men avstånd utsatta.

Tabell 24 Mått på bågbalken illustrerat i Figur 24.

h [m]	hwb[m]	bfb[m]	bd[m]	twb[m]	tfb[m]
1,18	1,1	0,6	0,52	0,04	0,04

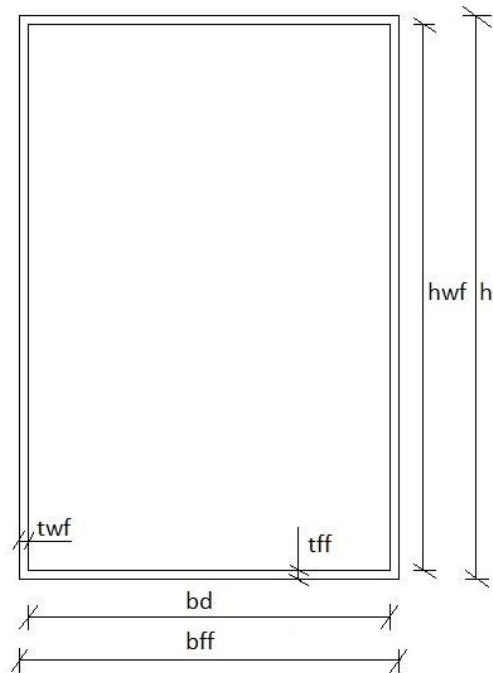
16.5 Dimensionering av förstyrningsbalk

Förstyrningsbalken är i huvudsak belastad i drag. Den maximala dragkraften visas i Tabell 25 och beräknas med hjälp av en CALFEM-modell beskriven i Kapitel 15, avsnitt 15.4, se Bilaga 7 s. 60-81. De mått som slutligen bestäms för förstyrningsbalken gör att dragkraftskapaciteten räcker med stor marginal, se beräkningar i Mathcad, Bilaga 8 s. 24. Förstyrningsbalkens dimensioner åskådliggörs i Figur 25 med mått enligt Tabell 26. Dimensionerande för förstyrningsbalken är dess anslutningar till bågen och tvärbalkarna. Dess bredd måste överensstämja med bågen då de ska svetsas ihop i hörnen. Höjden på förstyrningsbalken

måste också vara större än tvärbalken samt ha en marginal som är vald till 5 cm på vardera sida för att underlätta för svetsning.

Tabell 25 Kapacitet för förstyrningsbalken.

Dragkraftskapacitet [N]
$4.26 \cdot 10^7$



Figur 25 Tvärsektion av förstyrningsbalken med mått utsatta.

Tabell 26 Mått på förstyrningsbalken illustrerat i Figur 25.

h [m]	h_{wf} [m]	b_{ff} [m]	b_d [m]	t_{wf} [m]	t_{ff} [m]
1,08	1,0	0,5	0,42	0,04	0,04

16.6 Detaljer

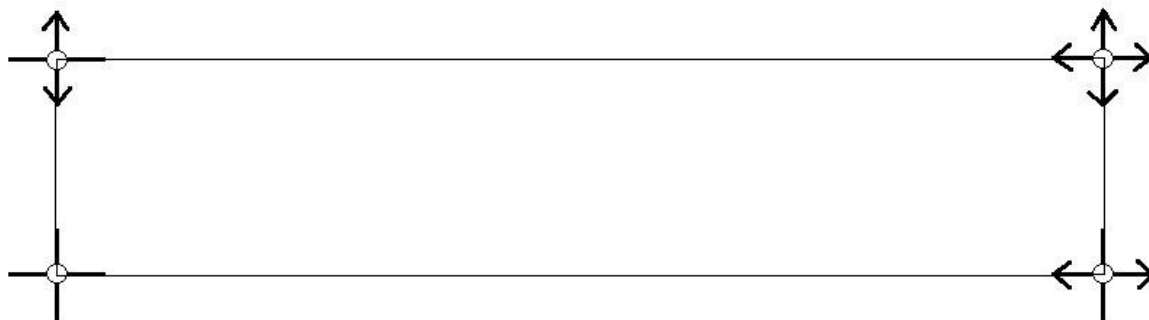
Utöver dimensionering av körbana, tvärbalkar, hängare, båge och förstyrningsbalk utformas och dimensioneras svetsar, lager, övergångskonstruktion samt avvattningsystem.

16.6.1 Svetsar

Svetsen mellan tvärbalk och förstyrningsbalk dimensioneras efter de största upplagskrafterna som kan verka i änden på en tvärbalk. Svetsarnas kapacitet beräknas enligt Bilaga 8 s. 7-12 där de vertikala svetsarna antas bära all tvärkraft medan de horisontella antas bära allt moment. Svetsen mellan förstyrningsbalk och båge antas vara belastad i rent drag och dimensioneras efter normalkraften i förstyrningsbalken enligt Bilaga 8 s. 25. Resultatet visar att båda svetsarna klarar upplagskrafterna.

16.6.2 Lager

Som beskrivits i Kapitel 13, avsnitt 13.2.2 vilar bron på lager vilka överför lasten från bron till brofästena och utformas beroende på brons belastningar och rörelser. Bron utformas med ett lager vid varje båges slut, vilket leder till att för de två broarna dimensionernas sammanlagt åtta lager. För att klara brons temperaturrörelser utformas vardera bro med två pottlager på varje sida, ena sidan med ett fast och ett ensidigt rörligt, och andra sidan med ett ensidigt rörligt och ett allsidigt rörligt, se Figur 26 för beskrivning av lagrens rörelsemöjligheter.



Figur 26 Lagrens rörlighetmöjligheter.

Lasteffekt

De krafter som lagren ska klara av är horisontella och vertikala krafter. De vertikala krafterna, även kallade normalkrafter på lagren, utgörs av brons vertikala stödkrafter. För dessa behövs de maximala och minimala värdena vid dimensionering. Horisontella krafter tvärs bron består av vindlast och sned bromskraft, horisontella krafter i längdled utgörs av bromskraft och horisontella stödkrafter.

Brons maximala stödkrafter beräknas med hjälp av CALFEM där en modell av systemet bestående av båge, förstärkningsbalk och hängare skapas, se Bilaga 7 s. 60-81. Beskrivning av denna CALFEM-modell görs i Kapitel 15, avsnitt 15.4. För att beräkna stödkrafterna som lagren ska hantera beräknas upplagskrafterna för systemet och beskrivs i Tabell 27. Vertikal stödkraft beskriver den maximala kraft varje lager ska klara i vertikalled.

För att ta fram den minsta vertikalkraft lagren ska hantera beräknas egentyngheten av bron i Bilaga 9 s. 1-3 och lasten delas därefter upp på brons fyra lager, resultat beskrivs i Tabell 27.

De bromskrafter som verkar i brons längdriktning beräknas enligt Eurocode SS-EN 1991-2:2003 ekv. 4.6:

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,10\alpha_{Q1}q_{1k}w_1L \quad (4.6)$$

$$180\alpha_{Q1}(kN) \leq Q_{lk} \leq 900(kN)$$

Där:

L= Längden av överbyggnaden

Övriga variabler beskrivs i Kapitel 14, avsnitt 14.2.

De sneda bromskrafter som verkar i brons tvärriktning beräknas enligt Eurocode SS-EN 1991-2:2003 till 25% av bromskraften i längdriktningen. Resultat redovisas i Tabell 27 nedan.

Vindlasten verkar i horisontalld tvärs bron och beräknas i Bilaga 9 s. 4, beskrivet i Kapitel 14.4. Lasten förs vidare till närmsta stöd och fördelas därmed på två lager, resultat redovisas i Tabell 27 nedan.

Tabell 27 Laster ett lager ska ta upp.

Maximal vertikal kraft, stödkraft [N]	Minimal vertikal kraft [N]	Horisontell stödkraft [N]	Vindlast [N]	Bromskraft tvärled [N]	Bromskraft längdled [N]
$1,1473 \cdot 10^7$	$5,074 \cdot 10^6$	$7,5831 \cdot 10^{-7}$	$3,17055 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^5$	$8,64 \cdot 10^5$

Dimensionering

Utifrån värdena i Tabell 27 ovan bestäms dimensioner på lagren genom jämförelse med uppgifter från leverantörer om tillgängliga produkter (mageba, 2013). En sorts lager som är lämpliga för denna bro har mått som redovisas i Tabell 28 nedan.

Tabell 28 Mått på de olika typerna av pottlager.

Typ	Lagerdiameter [mm]	Vikt [kg]	Maximal vertikal last [kN]	Minimal vertikal last [kN]	Maximal horisontell last [kN]
Fasta pottlager					
TF8	770	445	14143	8378	2263
Ensidigt rörliga pottlager					
TE8i	770	645	12678	2687	1599
Allsidigt rörliga pottlager					
TA8	720	470	14143	-	-

16.6.3 Övergångskonstruktion

För att klara brons temperaturrörelser konstrueras en övergångskonstruktion mellan brobana och landfäste som klarar av att uppta rörelser både i vertikal- och horisontalld. En överslagsberäkning av brons maximala längdändring sker enligt grundekvationen för längdutvidgning orsakad av temperaturförändringar:

$$\Delta L = \alpha \Delta T L$$

Där:

α = Temperaturutvidgningskoefficient

ΔT = Skillnad mellan extremitemperaturer

L= Längd

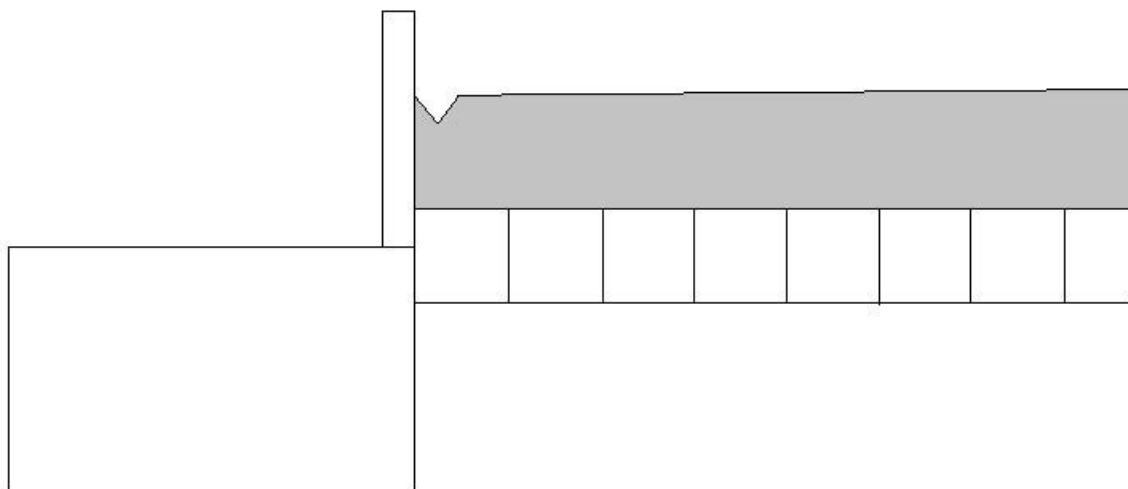
I Bilaga 9 s. 13 utförs en överslagsberäkning av brons maximala längdändring i längdled och tvärled. Resultat redovisas i Tabell 29 och det är alltså dessa rörelser som ska hanteras av övergångskonstruktionen.

Tabell 29 Brons temperaturutvidgning i längsled och tvärled.

Temperaturutvidgning längdled	Temperaturutvidgning tvärled
72 mm	12 mm

16.6.4 Avvattningssystem

För att förhindra att vatten rinner ner på järnvägen eller förstyrkningsbalkarna utformas en stålbalk som kantbalk, vilken placeras vid brobanepattan och förslitningslagrets ändar. Innanför denna kantbalk utformas, i förslitningslagret, en 0,1 m bred dräneringskanal vars funktion är att fånga upp vattnet och leda det vidare, se Figur 27. Vägen är bomberad med en lutning på 2,5 % och brons vertikallutning uppmäts i Bilaga 2 till 0,2 %. Dessa förutsättningar gör att vattnet på bron på grund av bomberingen naturligt förs till kanterna av bron där det samlas upp med hjälp av dräneringskanalen i asfalten för att sedan genom vertikallutningen rinna till brons landfästen. Vid landfästena förses bron med brunnar som har till uppgift att samla upp och rena vattnet innan det släpps ut i naturen.



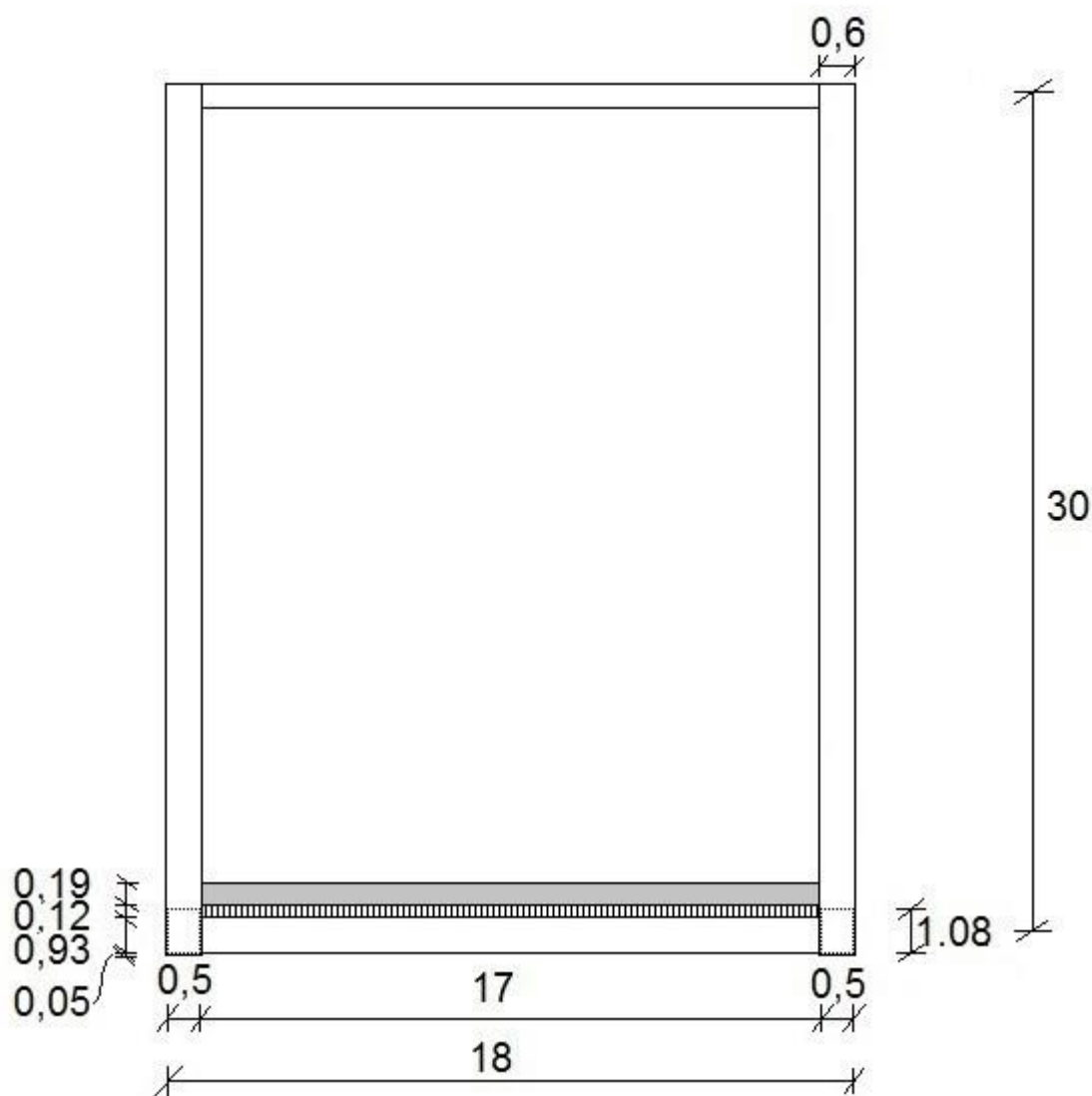
Figur 27 Brobanans avvattningssystem med en dräneringskanal i förslitningslagret.

17 Resultat

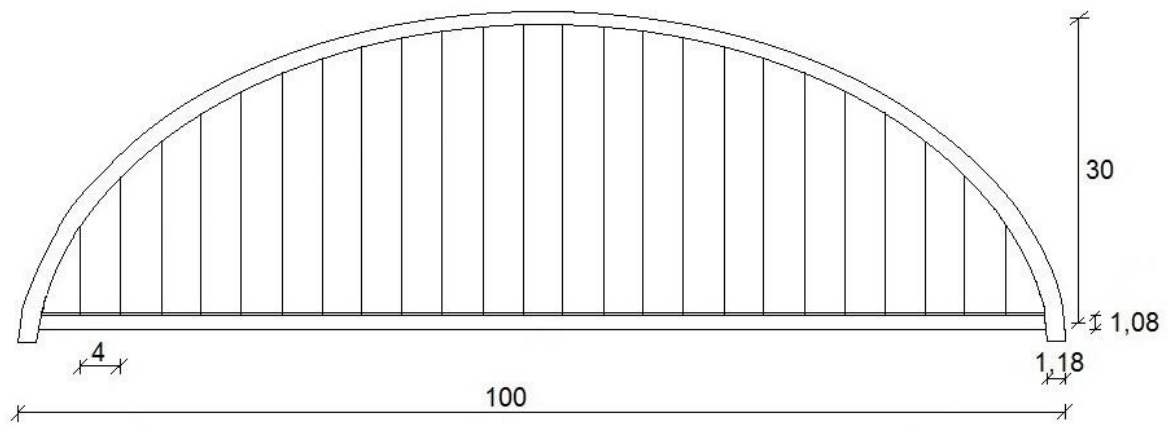
Genom att ta fram olika fungerande brokoncept på platsen och jämföra dem med varandra blev resultatet att det mest lämpliga brokonceptet utifrån givna förutsättningar är två parallella, identiska bågbroar i stål. De 100 m långa och 17 m breda bågbroarnas dimensioner beräknas för att klara dess egentyngd, trafiklast, bromskraft och vindlast.

Brobanepattan bestående av sandwichelement i stål fördelar trafiklasterna på de 26 tvärbalkarna på undersidan bron. Tvärbalkarna leder i sin tur lasten till de 24 hängarna som för lasten vidare upp i de två 30 m höga bågarna. Bågens ändar förbinds med en förstyrningsbalk som fungerar som ett dragband och de två bågarna förbinds med transversaler som tar upp de horisontella krafterna på bron. Figur 28 beskriver brons tvärsektion och Figur 29 beskriver bron från sidan.

Den sammanlagda konstruktionshöjden består av höjden på marginalen på förstyrningsbalken för åtkomst till svetsning, tvärbalken, brobanan samt förslitningslagret. Denna höjd uppgår till 1,29 m och höjderna illustreras i Figur 28 nedan.



Figur 28 Tvärsektion över hela bron.



Figur 29 Bron sett ifrån sidan.

18 Diskussion

Utifrån givna förutsättningar beskrivet i Kapitel 2 har ett koncept för en motorvägsbro vid Alnarp tagits fram och dimensionerats. Utformningen och preliminärdimensioneringen av brokonceptet har inneburit att många tidigt gjorda antaganden kommit att ändras under arbetets gång då kunskapen ökat.

18.1 Metod och arbetssätt

Den metod som används för att välja koncept för bron är iterativ vilket inneburit en del förändringar under arbetets gång. Gruppens kunskap har ökat vilket gjort att de antagande och val som görs inledningsvis utvecklats och förändrats allt eftersom arbetet fortgått.

Denna iterativa process var framförallt noterbar i mitten av arbetet då Del 2 av rapporten inleddes. Under slutgiltigt koncept i Del 1 av rapporten skapades först ett koncept med I-tvärnsnitt som förstärkningsbalkar och tvärbalkar. Vid vidare dimensionering klarade inte I-tvärnsnitten kravet för maximal nedböjning och lådbalkar med två liv var då att föredra för att inte behöva onödigt stora dimensioner på balkarna. Även några av brons detaljer ändrades. Skruvförband som rapporten först utgick ifrån hade teoretiskt kunnat sammanfoga de olika brodelarna men vid vidare arbete framkom det att skruvförband inte används i realiteten utan att det nästan alltid är svetsförband som används. Till följd av detta ändrades alla förbindningar till svetsar. Brons lager kom också att ändras på grund av kunskapsinhämtning. Inledningsvis antogs bron förses med rullager, men dessa framkom senare inte längre nyttjas i Sverige och ersattes därför med de mer vanliga pottlagren.

Dimensioneringen av bron sker utifrån att alla värsta scenarios inträffar samtidigt. De dimensionerande värdena för moment och tvärkraft för de olika brodelarna kommer ifrån olika lastfall vilka inte inträffar samtidigt i verkligheten. Detta innebär att bron är konservativt beräknad och därför blir överdimensionerad. Vid en mer detaljerad dimensionering bör fallen kontrolleras i sin helhet och dimensioner kan då minskas vilket leder till att hela bron blir mer optimerad.

18.2 Konceptets utformning

Utformningen av valt koncept har skett utan hänsyn till kostnad samt med fokus på byggtid och brons estetiska utformning. Konceptet som utvecklats är byggbart och liknande stålbroar finns runt om i världen. Att en sådan bro skulle byggas längs en motorväg är dock inte lika rimligt, detta framförallt då brons kostnad sannolikt blir hög.

Motorvägsbroar byggs främst för att fylla sin funktion och liksom flertalet andra byggprojekt är kostnaden för bron begränsande och projektets estetiska utformning prioriteras inte högst. En bågbro skulle kunna byggas över ett sund, en älv eller liknande där den kan tillföra mer till omgivningen och skapa ett landmärke.

I Sverige byggs idag de flesta broarna av betong då stål är betydligt dyrare. Om en bågbro av stål ändå skulle uppföras hade brobanan med största sannolikhet varit av betong och varit en samverkansbro. På grund av strävan efter att kunna ta nytta av erfarenhet och kunskap från tidigare projekt är den troligaste utformningen av denna motorvägsbro en balkbro av betong eller samverkan. Den sortens bro byggs vanligen i Sverige och är även ett billigare alternativ än en bro enbart i stål.

Det valda konceptet med ett sandwichelement som brobaneplatta är något som forskas mycket på just nu och kan komma att bli vanligare i framtiden. Dess positiva egenskaper är bland annat dess tyngd i förhållande till klassiska stålkonstruktioner och slankhet i förhållande till betongplattor. Efter givna förutsättningar framgår det att en bro över järnväg ska påverka trafikeringen minimalt, vilket innebär att ett koncept som kan prefabriceras har stora fördelar.

Som beskrivits i Kapitel 2 finns begränsade möjligheter för platsgjutning då det kan störa tågtrafiken. En möjlig lösning på detta problem är att bygga en låda runt järnvägsspåren under byggtiden, vilket inte är optimalt då denna måste byggas väldigt robust för att kunna garantera säkerheten. En bättre lösning hade varit att leda om tågtrafiken under byggnationen då nya spår ska byggas under bron. Det hade inneburit att många problematiska förutsättningar kunnat undvikas och att en betongbro med platsgjutning hade inte varit några svårigheter att bygga.

Vid slutlig kontroll av konstruktionshöjden framkommer det att den kommer att överskridas, dock endast marginellt på grund av förslitningslagrets dimension. Detta skulle kunna anses acceptabelt då höjden endast överskrider den satta gränsen med 19 cm vilket kommer motsvara dimensionen för angränsande vägs förslitningslager som inte tagits med i beräkningen av den fria höjden. Då ingen information finns om den angränsade vägen är befintlig eller ska byggas kan förslitningslagret eventuellt anpassas till bron. Om den överskrids skulle möjliga åtgärder kunna vara att antingen höja angränsande väg eller sänka järnvägsspåren för att möta kravet.

18.3 Brons dimensioner

Brons slutgiltiga dimensioner har beräknats iterativt då lasterna beror av dimensionerna och dimensionerna av lasterna. Beräkningarna har därför utförts i beräkningsprogram så som Matlab och Mathcad för att underlätta denna process.

De essentiella brodelarna dimensioneras utifrån moment, tvärkraft, normalkraft, knäckning och nedböjning. Förvånansvärt i processen är att nedböjningskravet som nämns i Kapitel 15 blir dimensionerande för alla delar utom bågen vilket innebär att brons dimensioner, bortsett från bågens, utformas för att klara nedböjningen. Momentkapacitet, tvärkraftskapacitet och normalkraftskapacitet som innan beräkningar var mer förväntade att vara dimensionerande blir på grund av detta avsevärt högre än de dimensionerande lasteffekterna och bron anses i dessa avseenden överdimensionerad.

18.4 Förenklingar och antaganden under dimensioneringsprocessen

Dimensioneringen av bron görs med vissa förenklingar och antaganden på grund av begränsade beräkningskunskaper och med hänsyn till att beräkningarna endast avser preliminärdimensionering. I de fall där förenklingar eller antaganden görs har noggranna överväganden gjorts för att hela tiden räkna konservativt men samtidigt väga detta mot att inte överdimensionera bron och använda mer material än nödvändigt.

En förenkling som görs är att bågen modelleras i CALFEM som 25 raka element och inte som en egentlig cirkelbåge, se beräkningar i Bilaga 7 s. 60-81. I modellen görs även alla beräkningar i två dimensioner. Det huvudsakliga syftet med modellen är att beräkna snittkrafter och nedböjning i profil, vilket fungerar trots modellens begränsningar.

Brobaneplattans utformning som ett slags sandwichelement har gjorts något annorlunda mot hur det verkligen skulle sett ut för att underlätta beräkningar av dess kapacitet. De längsgående avstyvningarna i plattan, se Figur 6 har av denna anledning gjorts vertikala och inte sneda. Om

bron verkligen skulle produceras hade dessa antagligen gjorts sneda för att hantera horisontella krafter på ett bättre sätt.

Beräkningarna av brobaneplattans kapacitet görs i två dimensioner utifrån en 1 m bred balkstrimla av den mest belastade delen av plattan. Även detta är en förenklad beräkningsmodell då den förutsätter perfekt fördelning av krafterna i sidled. För att göra beräkningar i tre dimensioner skulle ett mer avancerade beräkningsprogram baserat på finita elementmetoden behöva användas, men de kunskaperna har inte gruppen och sådana beräkningar kan därför inte utföras.

För att kontrollera bågen med avseende på knäckning i plan görs beräkningar förenklat med knäcklast enligt Eulers knäckfall, se Bilaga 8 s. 16-23. Då dessa beräkningar visar att den dimensionerande normalkraften är långt under knäcklasten anses denna metod tillräcklig i en preliminärdimensionering. Inga beräkningar görs på att bågen skulle kunna knäcka ut i sin helhet mellan de två ändarna. Detta beror på att den förenklade modellen med knäcklast inte tar hänsyn till att bågarna stabiliserar varandra genom transversalerna och därmed inte kan ge någon bra uppskattning av risken för den sortens knäckning.

Vridning av förstyrningsbalken bör egentligen kontrolleras eftersom inspänningsmomentet från tvärbalkarna kommer verka på förstyrningsbalkarna på ett sätt som vill vrida dem. Detta kontrolleras dock inte då förstyrningsbalken i övrigt är överdimensionerad och det därmed anses osannolikt att vridningen skulle orsaka några problem.

Vissa förenklingar görs angående brons geometri. Den ses som horisontell, utan någon bombering och den vertikala radien som enligt Bilaga 2 är 1600 m försummas. Brobredden beräknas alltid som 17 meter oberoende om det är tvärbalkarna, brobanan eller längden mellan hängarna. Det är egentligen skillnad mellan dessa längder då det till exempel är en förstyrningsbalksbredd längre mellan hängarna gentemot tvärbalkarna men det förenklas som om det vore samma längd.

18.5 Kvarstående dimensionering

Att endast en preliminärdimensionering utförs innebär att konceptet kan utvecklas ytterligare. Fler och mer detaljerade beräkningar kan utföras och utformningen av brons delar kan optimeras med avseende på materialanvändning och verkningssätt. De förenklingar som diskuteras ovan i Kapitel 18, avsnitt 18.4 har gjorts för att avgränsa arbetet och skulle således inte behövas vid en noggrannare dimensionering.

Tvärbalkarna är fastsvetsade i förstyrningsbalken och kraften går därför genom den upp i hängarna. Denna kraft har inte förstyrningsbalken dimensionerats för då det förutsätts att all kraft går direkt upp i hängarna. Detta måste dock kontrolleras vid en mer detaljerad dimensionering.

Svetsarna mellan liv och fläns i lådtvärsnittet dimensioneras eller kontrolleras inte, utan förutsätts i denna preliminärdimensionering vara tillräckliga då de gjorts i verkstad innan leverans till byggplatsen. Däremot dimensioneras de svetsar som sammanfogar tvärbalkarna med förstyrningsbalken samt de svetsar som sammanfogar förstyrningsbalken med bågen. För svetsarna mellan bågen och förstyrningsbalken kontrolleras endast dragkraftskapacitet. Vid en noggrannare kontroll skulle även bidrag från tvärkraft och moment i förstyrningsbalken räknas med. Att dessa bortses från anses inte påverka resultatet i större utsträckning då det endast är

moment och tvärkraft för den del av förstärkningsbalken som är mellan den yttersta tvärbalken och ändstödet som skulle påverka och dess bidrag skulle vara små i förhållande till dragkraften.

För att kunna underhålla bron och byta ut hängare eller hängarinfästningar är det viktigt att bron har tillräcklig kapacitet även när en hängare monteras ner. Detta är något som inte har kontrollerats i denna preliminärdimensionering men som skulle ingå vid en vidare dimensionering.

Som beskrivits i förutsättningarna för bron, Kapitel 2, avsnitt 2.1, så är grundförutsättningarna goda vilket innebär att platta på mark kan användas. Vid vidare dimensionering bör detta kontrolleras och landfäste samt platta bör dimensioneras för att klara tryckande normalkraft och jordtyck.

Transversalerna som binder ihop bågarna har inte utformats eller dimensionerats. Vid en noggrannare dimensionering skulle dessa behöva dimensioneras för att klara av de horisontella lasterna och för att kunna stabilisera bågarna mot knäckning i plan.

18.6 Källkritik

Arbetet baseras på beräkningar utifrån standardmetoder i Eurocode, vilka kan anses vara säkra och väl beprövade metoder. Dock har förenklingar av metoderna i Eurocode gjorts på grund av begränsade beräkningskunskaper, vilket skulle kunna medföra brister i resultatet.

Vid litteraturstudie i Del 1 används källor som anses trovärdiga. Viss källkritik behöver dock tillämpas eftersom den studerade litteraturen som funnits att tillgå i vissa fall inte varit den mest aktuella då publikationsåren har varierat.

Många muntliga källor har använts där informationen främst bygger på erfarenhet inom området, vilket kan anses styrka resultatet. Samtidigt kan muntliga källor leda till misstolkning av information samt ändring av informationen vid återtolkning.

19 Slutsats

Idéfasen och preliminärdimensioneringen resulterar i en bågbro av stål som är fullt möjlig att bygga utefter de förutsättningar och krav som finns. Preliminärdimensioneringen visar på att konceptet håller men vid en vidare dimensionering av ytterligare detaljer finns det en risk att nya problem uppstår vilket skulle kunna leda till att konceptet behöver justeras.

Byggtiden har varit en stor prioritet vid framtagningen av konceptet vilket också har gjort att den stora fördelen med bron är den korta byggtiden. Lådtvärsnittet ger en slank konstruktion som är motståndskraftig mot både vridning, moment, tvärkraft och nedböjning.

Även om det valda konceptet troligtvis inte kommer byggas sticker det ut med sitt materialval av endast stål och kommer med sin bågkonstruktion ses som okonventionell i jämförelse med den traditionella motorvägsbron. Om beslutet tas att liknande bro ska uppföras för att skapa ett landmärke i södra Skåne kan denna rapport ses som ett underlag för vidare dimensionering.

Litteraturförteckning

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner Del 2*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner Del 1*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Andersson, P., Kindestam, K., Nordkvist, K., Jiwestam, M., & Tyréns AB. (den 31 08 2015). *Flackarp-Arlöv, Järnvägsplan*. Hämtat från Trafikverket:
<http://www.trafikverket.se/contentassets/04c11fdb112744929bbce2f5bbef450b/nyplanbeskrivning-jarnvagsplan-flackarp-arlov-pdf-fil-4-mb.pdf> den 05 02 2016
- Banverket. (den 26 03 2007). Handbok BVH 583.20, Broprojektering. (02), 21. Hämtat från
<http://documents.vsect.chalmers.se/structural-engineering/SorenLindgren/bro/Banverket-broprojektering.pdf> den 05 02 2016
- Banverket, & Vägverket. (07 2009). TK Bro 20009. VV2009:27 BVS:1583.10. Borlänge.
- Burström, P.-G. (2006). *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur AB.
- EKS -BFS 2015:6. (den 28 10 2015). Boverkets författningssamling. 46, 59, 61. Hämtat från
<https://rinfo.boverket.se/EKS/PDF/BFS2015-6-EKS-10.pdf> den 05 02 2016
- Enochsson, O., Puurula, A., & Elfgren, L. (2004). *Beräkning av betongbroars bärförmåga: interaktion mellan tvärkraft, vridmoment och böjmoment i Källöundsbron*. Institutionen för samhällsbyggnad, Avdelningen för byggkonstruktion. Luleå: Luleå Tekniska Universitet. Hämtat från <http://epubl.ltu.se/1402-1536/2004/15/LTU-TR-0415-SE.pdf> den 08 02 2016
- Fédération Internationale du béton (FIB). (2000). *Guidance for good bridge design*. Lausanne: FIB.
- mageba. (2013). *Downloads, Structural bearings, Product brochure RESTON POT*. Hämtat från www.mageba-group.com/: <http://www.mageba-group.com/data/docs/en/2624/PROSPECT-RESTON-POT-ch-en.pdf> den 05 05 2016
- Nationalencyklopedin. (u.d.). *Balk*. Hämtat från ne.se:
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/balk> den 08 02 2016
- Nationalencyklopedin. (u.d.). *Båge*. Hämtat från ne.se:
[http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/båge-\(3-strukturmekanik\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/båge-(3-strukturmekanik)) den 08 02 2016
- Nationalencyklopedin. (u.d.). *Glidformsgjutning*. Hämtat från ne.se:
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/glidformsgjutning> den 09 02 2016
- Nationalencyklopedin, Axelsson, K., & Elfgren, L. (u.d.). *Bro*. Hämtat från ne.se:
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro> den 05 02 2016
- Nationalencyklopedin, Axelsson, K., & Elfgren, L. (u.d.). *Bro, Brotyper*. Hämtat från ne.se:
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro> den 08 02 2016
- Pousette, A., & Fjellström, P.-A. (2004). *Broinspektion-träbroar*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Hämtat från
http://www.trafikverket.se/contentassets/c9b4cd990b164b53b5b7584eb54df3f5/inspektionshandbok_for_trabroar_statens_provningsanstalts_rapport_2004_41.pdf den 16 02 2016

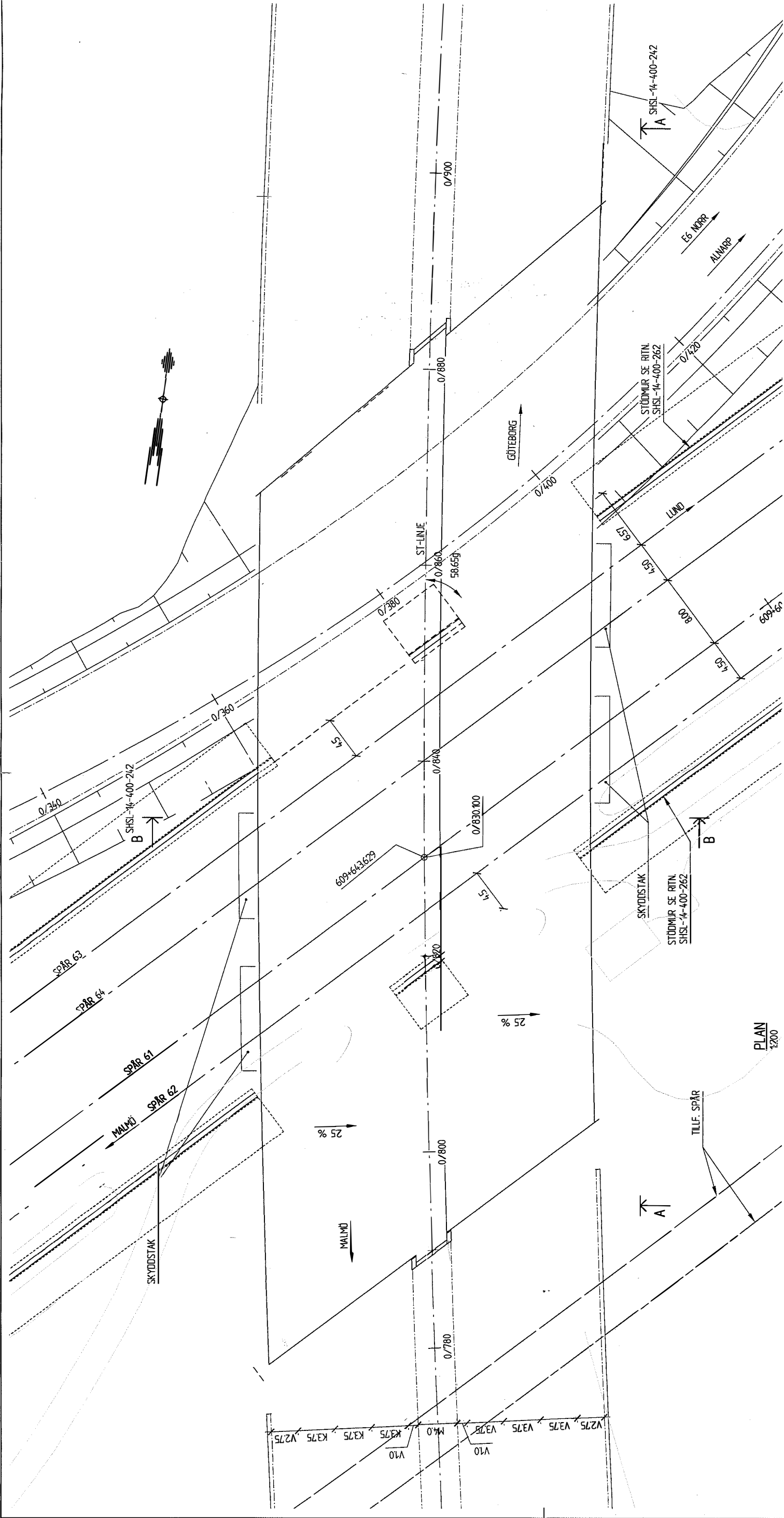
- Ryall, M. J. (2001). *Bridge Management*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Svahn, P.-O. (den 12 02 2016). Brobyggnad - Produktionsmetoder. Hämtat från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/6458/node.do?id=2871248&ts=1455269827085&u=1441287350> den 18 02 2016
- Svenskt Näringsliv. (den 10 02 2015). *Branscher, Stålindustrin*. Hämtat från miljonytta.se: <http://miljonytta.se/branscher/stalindustri/> den 05 02 2016
- Trafikverket. (05 2004). *Vägar och gators utformning VGU, äldre versioner, Sektion tätort - gaturum, Skiljeremisor*. Hämtat från trafikverket.se: http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Vag/Vagutformning/Dokument_vag_och_gatuutformning/Vagar_och_gators_utformning/Sektion_tatort-gaturum/08_skiljeremisor.pdf den 10 02 2016
- Trafikverket. (den 27 09 2012). *Flackarp - Arlöv, Områdesinformation, Trafikplats Alnarp E6/E20*. Hämtat från trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/nara-dig/Skane/projekt-i-skane-lan/Flackarp-Arlov-fyra-spar/Omradesinformation/Trafikplats-Alnarp-E6E20/> den 03 02 2016
- Trafikverket. (06 2014). *BaTMan - kodförteckning och beskrivning av brotyper*. Hämtat från batmanhandbok.trafikverket.se: <https://batmanhandbok.trafikverket.se/globalassets/dokument/kodfoerteckning-och-beskrivning-av-brotyper.pdf> den 08 02 2016
- Trafikverket. (den 02 10 2015). *Flackarp - Arlöv, Bakgrund*. Hämtat från trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/nara-dig/Skane/projekt-i-skane-lan/Flackarp-Arlov-fyra-spar/Om-projektet/> den 03 02 2016
- Trafikverket. (den 27 01 2015). *Resa och trafik, Underhåll, Så sköter vi broar och tunnlar, Skötsel av broar*. Hämtat från trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-broar/> den 15 02 2016
- Trafikverket. (den 30 09 2015). *Väg, Trafikdispenser, Vad innebär transportdispenser*. Hämtat från trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/transportdispens/vad-innebar-transportdispenser/> den 25 02 2016
- TräGuiden. (den 01 09 2003). *konstruktion, dimensionering, bärverk, bågar och ramar*. Hämtat från traguiden.se: <http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/barverk/barverk/bagar-och-ramar/?previousState=1> den 10 02 2016
- TräGuiden. (den 01 09 2003). *konstruktion, dimensionering, stabilisering och förband, olika typer av förband*. Hämtat från traguiden.se: <http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/stabilisering-och-forband/stabilisering-och-forband/olika-typer-av-forband/?previousState=1> den 10 02 2016
- TräGuiden. (den 01 09 2003). *Om trä, materialet trä, Träets egenskaper*. Hämtat från TräGuiden: <http://traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper/> den 05 02 2016
- TräGuiden. (den 22 06 2015). *konstruktion, dimensionering, bärverk, balkar och ytbärverk*. Hämtat från traguiden.se: <http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/barverk/barverk/balkar-och-ytbarverk/?previousState=1> den 10 02 2016

- Wennhage, P. (2003). *Lätta konstruktioner förr högre nyttolast*. KTH, Avd för lättkonstruktioner. Hämtat från https://www.kth.se/polopoly_fs/1.87124!/Menu/general/column-content/attachment/0506D_inlaga.pdf den 08 02 2016
- Vägverket. (1994). *För dig i branschen, Teknik, Tekniska dokument, vägteknik*. Hämtat från [www.trafikverket.se: http://www.trafikverket.se/contentassets/46aaaeff7d264c71b8ec953091e24ace/1994_23_konstruktiv_utformning_av_overbyggnader.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/46aaaeff7d264c71b8ec953091e24ace/1994_23_konstruktiv_utformning_av_overbyggnader.pdf) den 05 05 2016
- Vägverket. (2001). *God Vägarkitektur*. Borlänge.
- Vägverket, Avdelning Ekonomi och Planering. (1994). *Broinspektionshandbok*. Borlänge: Vägverket, Division Väg och Trafik. Hämtat den 16 02 2016
- Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel. (11 1996). *Broprojektering - En handbok*. VV Publ 1996:63, 88. Borlänge: Enheten för statlig väghållning. Hämtat från http://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/broprojektering_en_handbok_kap_1_4.pdf den 05 02 2016
- Vägverket, Samhälle och trafik. (2006). *Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för underhåll av broar, Brounderhåll 2006*. Borlänge: Vägverket, Teknik, Bro-och tunnelteknik. Hämtat från https://batman.vv.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/02_dokument%20vv.se/publikation%202006_146%20atb%20brounderhåll%202006.pdf?WindowGuid=110dce3f-93dd-4391-8cce-7ffacb9a700e den 16 02 2016

Bilagor

BILAGA 1

Planritning



COWI AB		PROJEKT		2019-03-01	03.00	251464
		PROJEKTANT		T. DAGMUND A. HAGMAN		
		PROJEKT		SYSTEMHÄNDLING		
		PROJEKT		FLACKARP-ARLÖV		
		PROJEKT		SLUTLÄGE		
		PROJEKT		BRÖ ÖVER SPÅR VID E6		
		PROJEKT		FÖRSLAGSSKISS 1 (2)		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT		SHSL-14-400-242		
		PROJEKT		SHSL-14-400-262		
		PROJEKT				

BILAGA 2

Profilritning

BILAGA 3

Skiss av urschaktning



 = Urschaktning

 = Uppfyllnad

BILAGA 4

Tabell över spännvidder

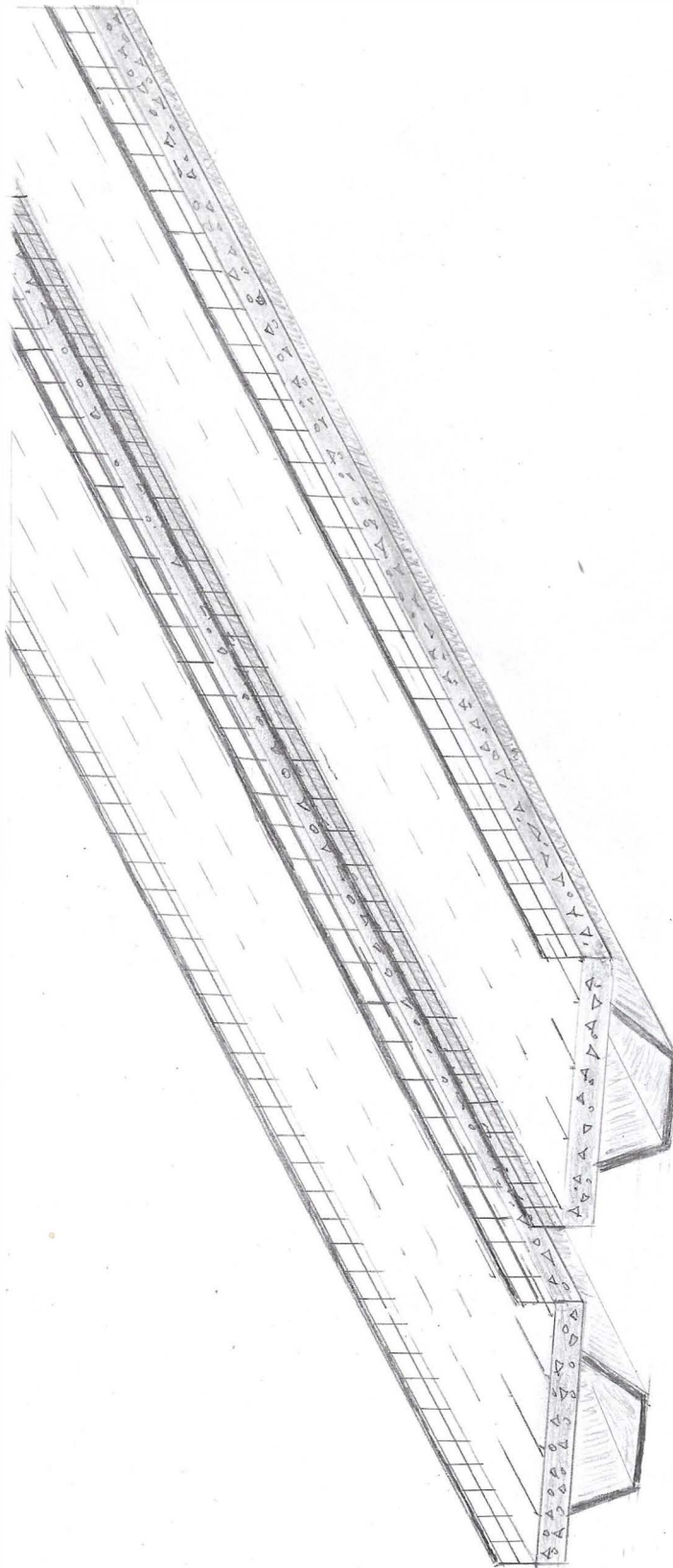
Brotyp:	Material:	Största spännvidd [m]:
Balkbro	Trä	30
	Stål	80
	Slankarmerad betong	25
	Spännarmerad betong	200
Plattbro	Trä	17
	Slankarmerad betong	25
	Spännarmerad betong	35
Plattrambro	Slankarmerad betong	22-25
	Spännarmerad betong	35
Balkrambro	Slankarmerad betong	30
	Spännarmerad betong	50
Valvbro	Betong	30
Bågbro		260
Rörbro		15
Snedkabelbro		100-500
Hängbro		>500

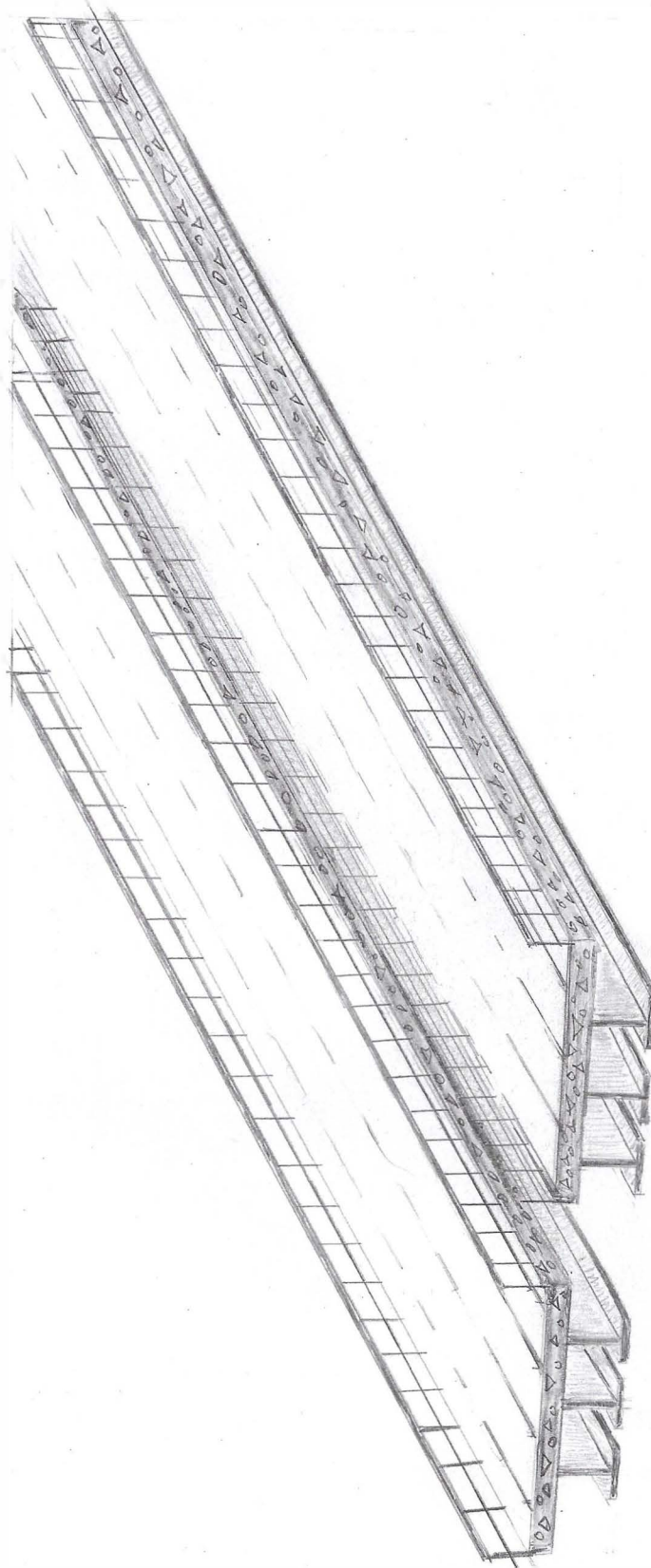
BILAGA 5

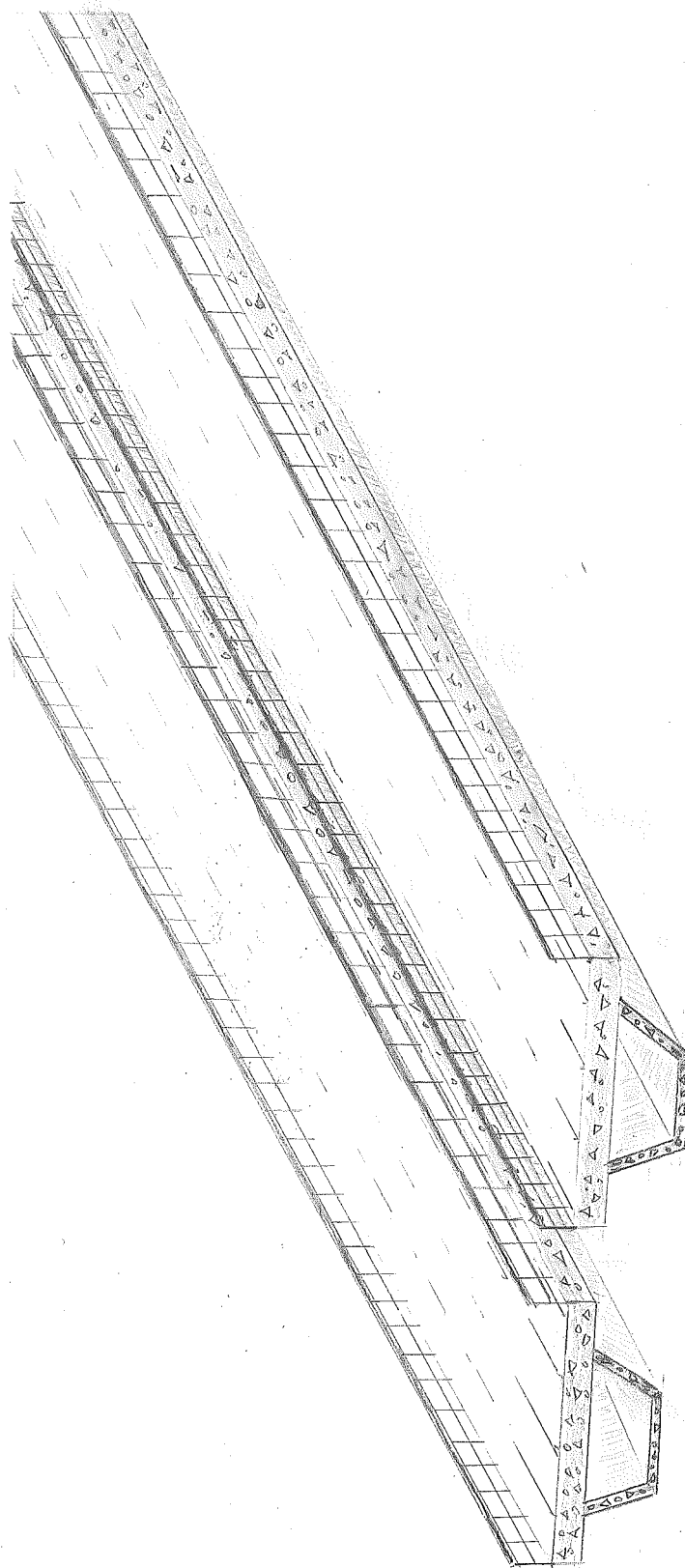
Skisser på brokoncept

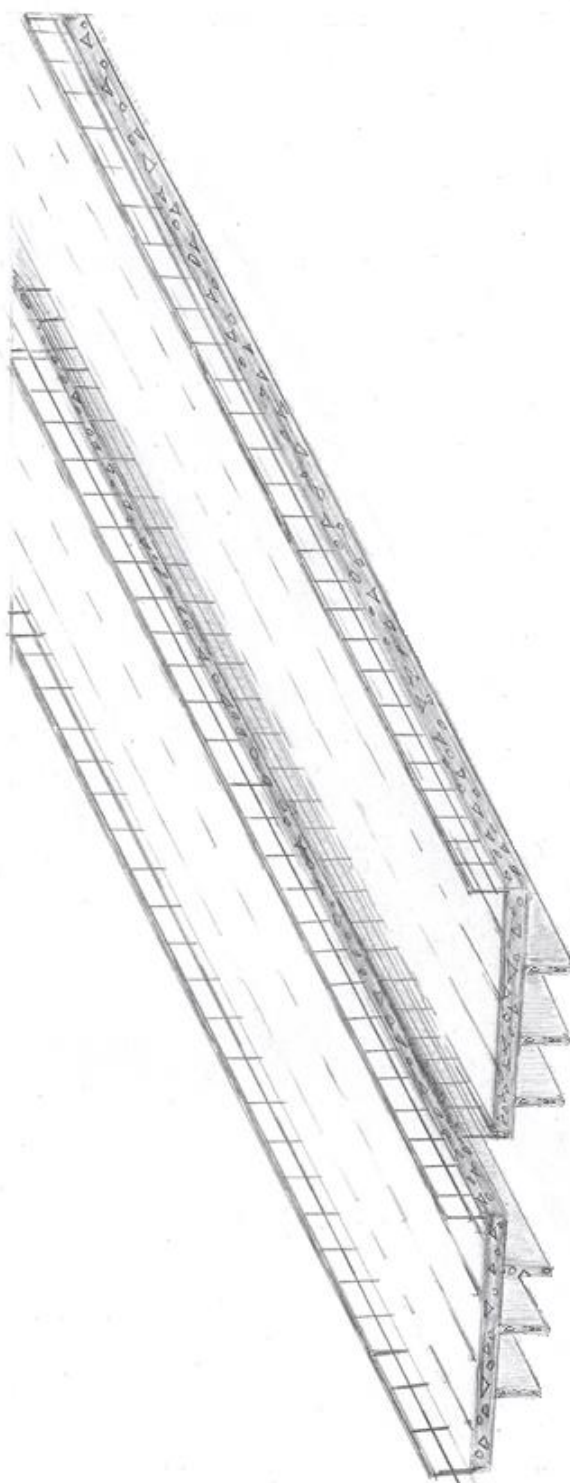
INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGA 5

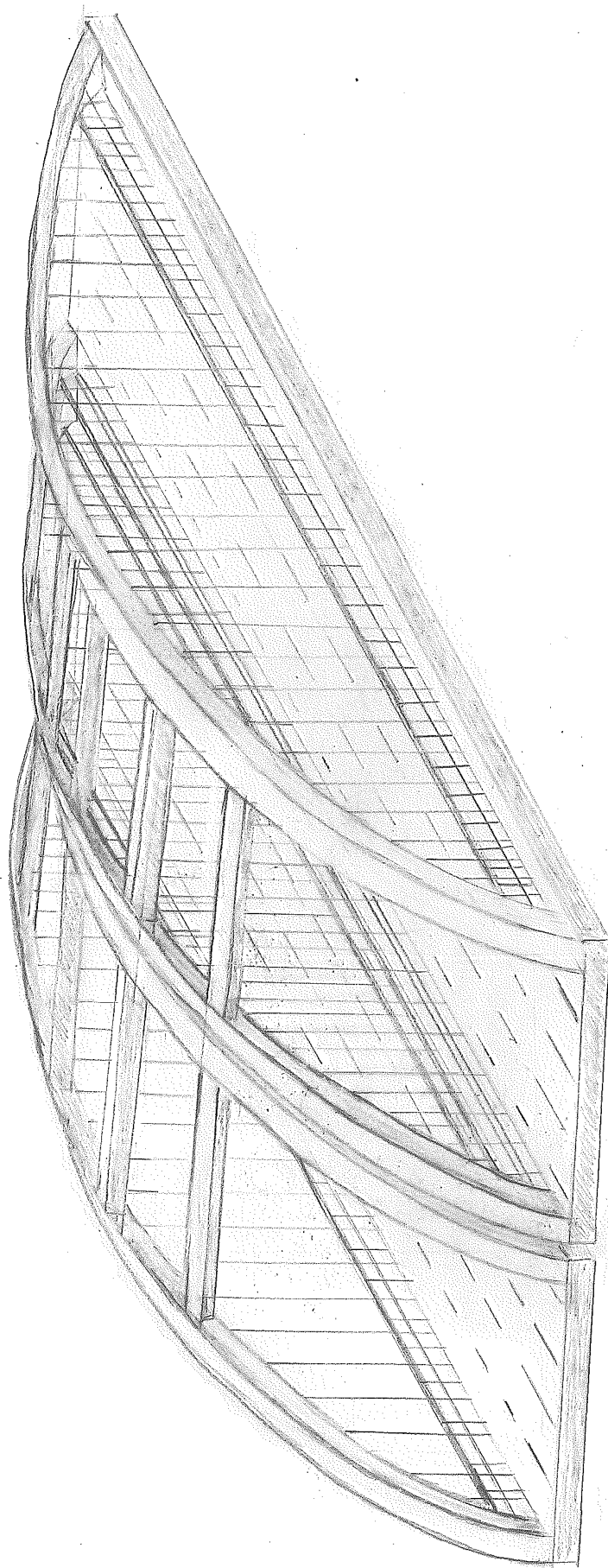
Balkbro i samverkan med lådtvärsnitt.....	1
Balkbro i samverkan med I-tvärsnitt.....	2
Balkbro i betong med lådtvärsnitt.....	3
Balkbro i betong med T-tvärsnitt.....	4
Bågbro i stål.....	5
Bågbro i betong.....	6
Snedkabelbro.....	7

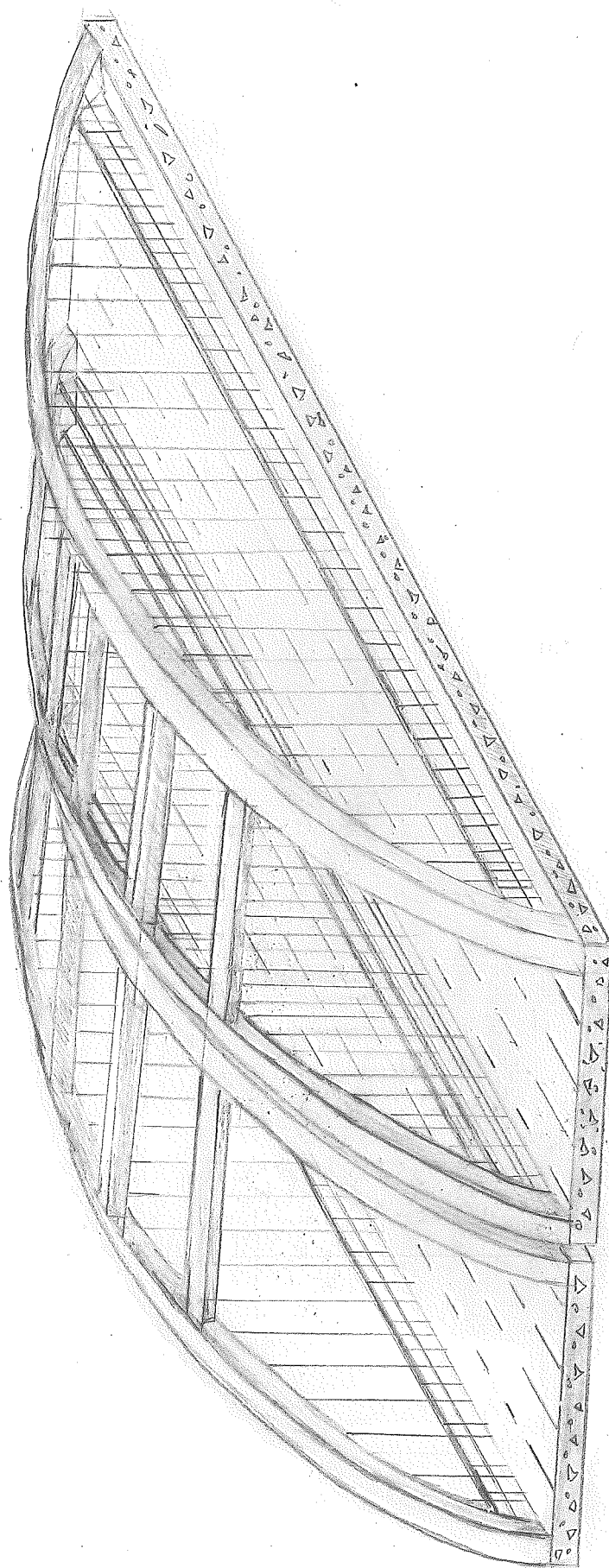


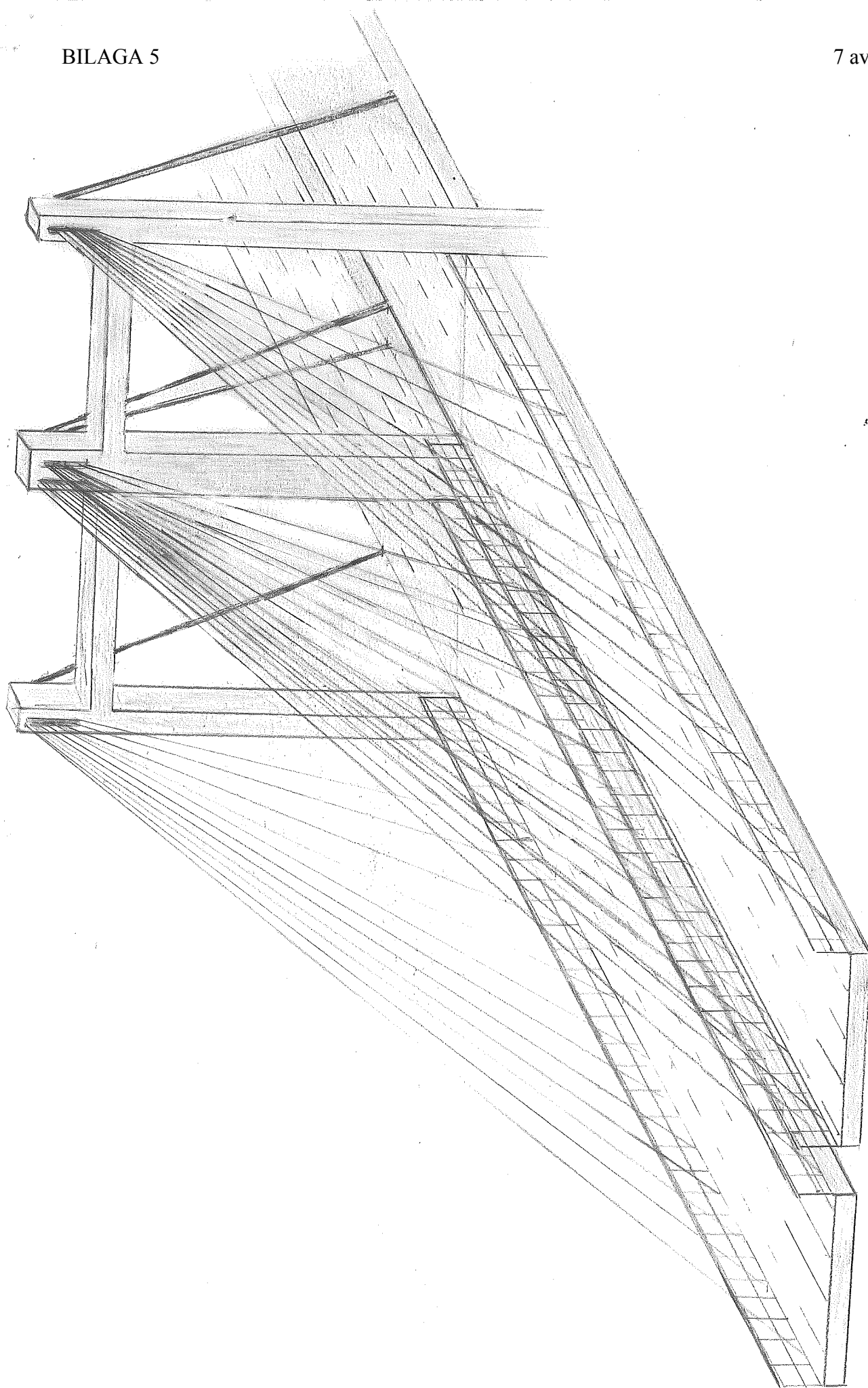






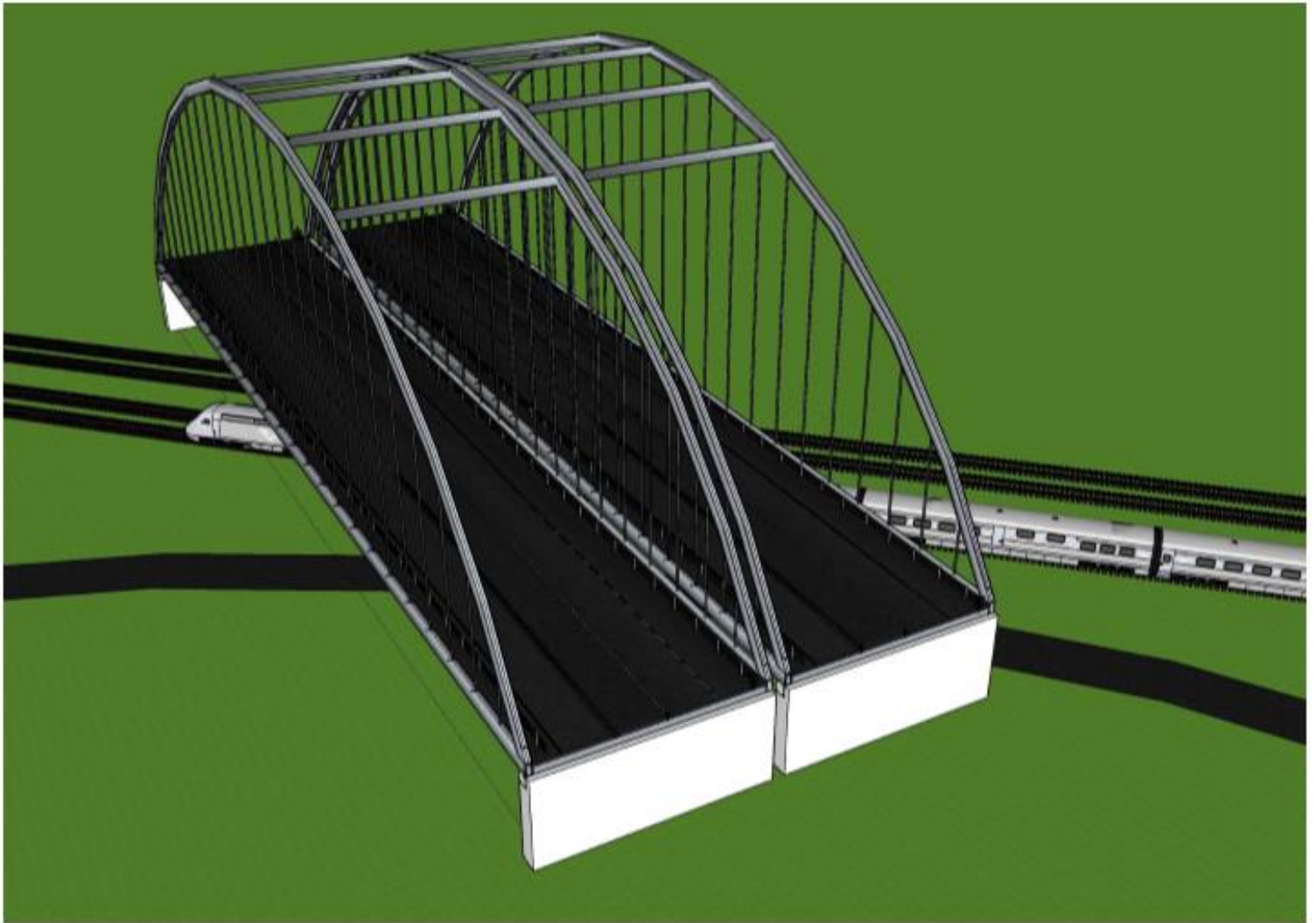






BILAGA 6

Bild på valt koncept



BILAGA 7

Beräkningsprogram i Matlab

INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGA 7

Huvudfil.....	1
Lastframtagning.....	18
Reaktionskrafter från tvärbalkar.....	22
Lastfall för dimensionerande moment fast inspänd.....	22
Lastfall för dimensionerande tvärkraft fast inspänd.....	32
Lastfall för dimensionerande moment fritt upplagd.....	41
Lastfall för dimensionerande tvärkraft fritt upplagd.....	51
CALFEM-modeller av systemet.....	60
Brottgräns, alla hängare belastade.....	60
Brottgräns varannan hängare belastad.....	68
Bruksgräns.....	76
Brobanaplatta.....	82

Table of Contents

.....	1
DIMENSIONER	1
DIMENSIONERANDE LASTER	2
DIMENSIONERANDE TVÄRKRAFT, MOMENT, STÖDKRAFT OCH NEDBÖJNING FÖR TVÄRBALK	2
DIMENSIONERANDE NORMALKRAFT, TVÄRKRAFT, MOMENT OCH NEDBÖJNING FÖR BÅGE	9
OCH FÖRSTYVNINGSBALK	9
DIMENSIONERANDE MOMENT OCH TVÄRKRAFT FÖR PLATTA.	14

```
%=====
% Huvudfil för beräkningar:                                     %
%                                                                 %
% Anropar alla funktionsfiler och kör dem för att beräkna och kontrollera %
% kapacitet med avseende på tvärkraft, moment, normalkraft, knäckning och %
% nedböjning för bron olika delar. Se varje funktionsfil för detaljerad %
% beskrivning.                                                 %
%                                                                 %
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink, %
%                               Josefine Runebrant, Anton Stenseke, %
%                               Maja Swerre och Petter Öhman    %
%                                                                 %
%=====
clear all
close all
clc
```

DIMENSIONER

```
L=100;           % Längd på bron [m]
B= 17;           % Bredd på bron [m]
cc= 4;           % Centrumavstånd mellan hängare/ tvärbalkar [m]

% Dimensioner Förstyvningsbalkar [m], rektangulärt tvärsnitt
hwf=1.0;         % Höjd på livet, förstyvningsbalk
twf=0.04;        % Tjocklek på livet, förstyvningsbalk
tff=0.04;        % Tjocklek på flänsen, förstyvningsbalk
bff=0.5;         % Bredd på flänsen , förstyvningsbalk

% Dimensioner Tvärbalkar [m], rektangulärt tvärsnitt
hwt=0.85;        % Höjd på livet, tvärbalk
tw=0.04;         % Tjocklek på livet, tvärbalk
tft=0.04;        % Tjocklek på flänsen, tvärbalk
bft=0.6;         % Bredd på flänsen , tvärbalk

% Dimesioner Stålplatta [m], sandwich se figur
tpf=0.01;        % Tjocklek på livet, stålplatta
```

```

tpw=0.01;           % Tjocklek på flänsen, stålplatta
hp=0.12;            % Höjd på stålplatta

%Dimensioner förslitningslager [m]
ha= 0.190;          % Höjden på förslitningslager

%Dimensioner Båge [m], rektangulärt tvärsnitt
hwb=1.1;             % Höjd på livet, båge
twb=0.04;            % Tjocklek på livet, båge
tfb=0.04;            % Tjocklek på flänsen, båge
bfb=0.6;             % Bredd på flänsen, båge

% Dimensioner stag [m]
Dstag=0.08;          % Diameter på cylindriska stag

```

DIMENSIONERANDE LASTER

Hämtar dimensionerande laster i brottgräns och bruksgräns beräknade i funktionsfil G1- Egentyngd för förstärkningsbalkarna som punktlaster vid tvärbalkar [N] G2- Egentyngd för tvärbalkarna i tvärled [N/m] G3- Egentyngd för brobaneplattan i tvärled [N/m] G4- Egentyngd för räcke som punktlaster vid tvärbalkar [N] q1- Ytbredd trafiklast i lastfält 1 [N/m] q2- Ytbredd trafiklast i lastfält 2 [N/m] q3- Ytbredd trafiklast i lastfält 3 [N/m] q4- Ytbredd trafiklast i lastfält 4 [N/m] Q1- Punktlaster körfält 1, orsakad av specialfordon [N] Q2- Punktlaster körfält 2 [N] Q3- Punktlaster körfält 3 [N]

```

[G1, G2, G3, G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk, ...
 G4Bruk, Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, q4Bruk]=...
Lastframtagning(B, cc, hwf, twf, tff, bff, hwt, twt, tft, bft, tpf, ...
tpw, hp, ha);

```

Lastkombination 6.10a är dimensionerande

DIMENSIONERANDE TVÄRKRAFT, MOMENT, STÖDKRAFT OCH NEDBÖJNING FÖR TVÄRBALK

Hämtar dimensionerande Tvärkraft, Moment, Stödkraft och Nedböjning beräknade i funktionsfiler för olika lastfall. Moment och tvärkraft beräknas i brottgräns och nedböjning i bruksgräns. Stödkraft tas fram för både brott- och bruksgräns.

```

[MaxM1, MaxV1, Maxned1, Ra1, Rb1, Ra1_bruk, Rb1_bruk, Rau1, Rbu1, ...
 Rau1_bruk, Rbu1_bruk, Ma1, Mb1]=TvarbalksnittDimMFAST(G1, G2, G3, ...
 G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk, G4Bruk, ...
 Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, q4Bruk, hwt, twt, ...
 tft, bft);

[MaxM2, MaxV2, Maxned2, Ra2, Rb2, Ra2_bruk, Rb2_bruk, Rau2, Rbu2, ...
 Rau2_bruk, Rbu2_bruk, Ma2, Mb2]=TvarbalksnittDimMFri(G1, G2, G3, ...
 G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk, G4Bruk, ...
 Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, q4Bruk, hwt, twt, ...
 tft, bft);

```

```

[MaxM3, MaxV3, Maxned3, Ra3, Rb3, Ra3_bruk, Rb3_bruk, Rau3, Rbu3, ...
  Rau3_bruk, Rbu3_bruk, Ma3, Mb3]=TvarbalksnittDimVFast(G1, G2, G3, ...
  G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk, G4Bruk, ...
  Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, q4Bruk, hwt, twt, ...
  tft, bft);

[MaxM4, MaxV4, Maxned4, Ra4, Rb4, Ra4_bruk, Rb4_bruk, Rau4, Rbu4, ...
  Rau4_bruk, Rbu4_bruk, Ma4, Mb4]=TvarbalksnittDimVFri(G1, G2, G3, G4, ...
  Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk, G4Bruk, Q1Bruk, ...
  Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, q4Bruk, hwt, twt, tft, bft);

% Tar fram dimensionernande värden genom att ta fram maximalt värde från de
% olika lastfallen
% Dimensionernande moment:
Mmaxtbalk=max([MaxM1; MaxM2; MaxM3; MaxM4])

% Dimensionernande tvärkraft:
Vmaxtbalk=max([MaxV1; MaxV2; MaxV3; MaxV4])

% Dimensionernande stödreaktion i brottgräns med punktlast från
% specialfordon inräknad:
Rm=max(abs([Ra1, Ra2, Ra3, Ra4, Rb1, Rb2, Rb3, Rb4]))

% Dimensionernande stödreaktion i brottgräns utan punktlast från
% specialfordon inräknad:
Ru=max(abs([Rau1, Rau2, Rau3, Rau3, Rau4, Rbu1, Rbu2, Rbu3, Rbu4]))

% Dimensionernande stödreaktion i bruksgräns med punktlast från
% specialfordon inräknad:

Rm_bruk=max(abs([Ra1_bruk, Ra2_bruk, Ra3_bruk, Ra4_bruk, Rb1_bruk, ...
  Rb2_bruk, Rb3_bruk, Rb4_bruk]))

% Dimensionernande stödreaktion i bruksgräns med punktlast från
% specialfordon inräknad:

Ru_bruk=max(abs([Rau1_bruk, Rau2_bruk, Rau3_bruk, Rau3_bruk, Rau4_bruk, ...
  Rbu1_bruk, Rbu2_bruk, Rbu3_bruk, Rbu4_bruk]))
MMaxsvetstbalk=max(abs([Ma1, Mb1, Ma2, Mb2, Ma3, Mb3, Ma4, Mb4]))

% Maximal nedböjning tvärbalken utsätts för
Nedmaxtbalk=max([Maxned1, Maxned2, Maxned3, Maxned4]);

% Nedböjningskrav
Nedkravtbalk=B/400

% Kontroll om nedböjningskravet på L/400 uppfylls för tvärbalken
if Nedmaxtbalk<=Nedkravtbalk
    disp('Nedböjningen för tvärbalken är:')
    disp(Nedmaxtbalk)
    disp('Nedböjningen för tvärbalken är OK!')
else
    disp('Nedböjningen för tvärbalken är:')

```

```
disp(Nedmaxtbalk)
disp('Nedböjningskravet för tvärbalken uppfylls ej')
end
```

Mmaxtbalk =

6.762542480999724e+06

Vmaxtbalk =

1.586228898643607e+06

Rm =

1.586228898643607e+06

Ru =

8.236286543936506e+05

Rm_bruk =

9.429669212293904e+05

Ru_bruk =

5.616667991044223e+05

MMaxsvetstbalk =

4.157608930816636e+06

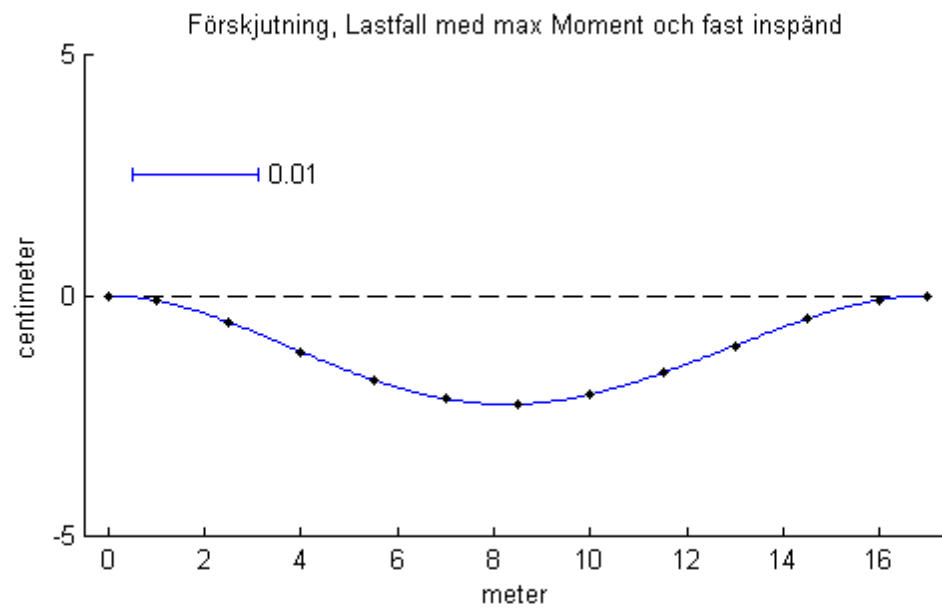
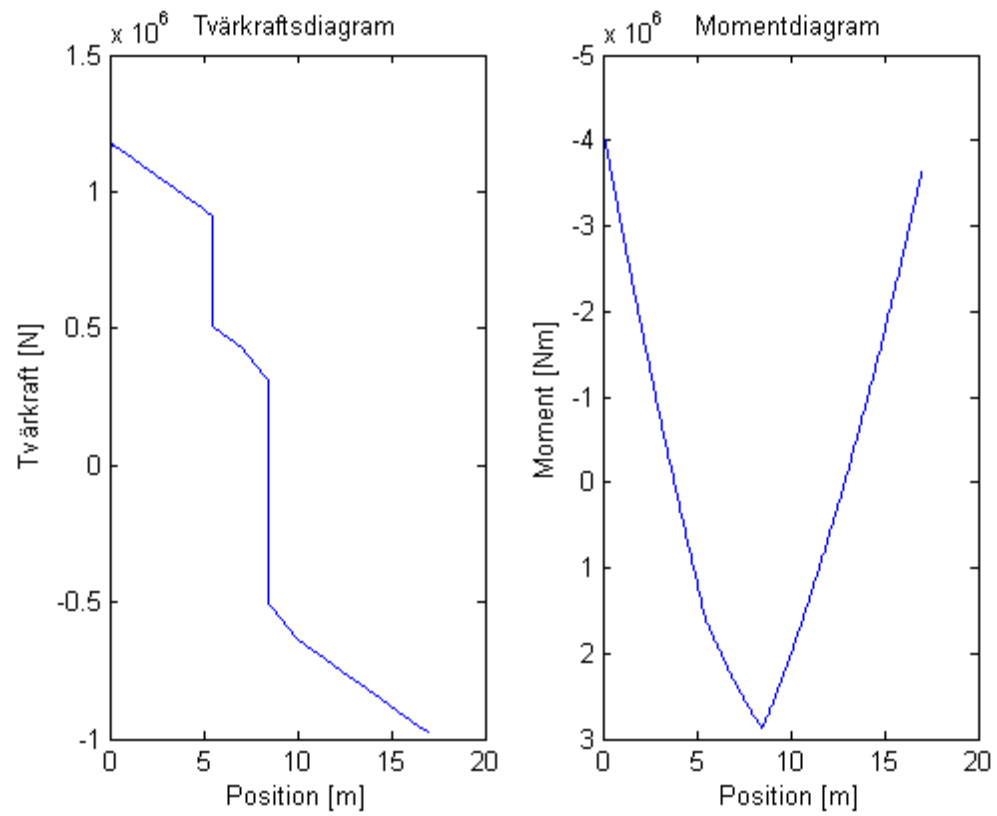
Nedkravtbalk =

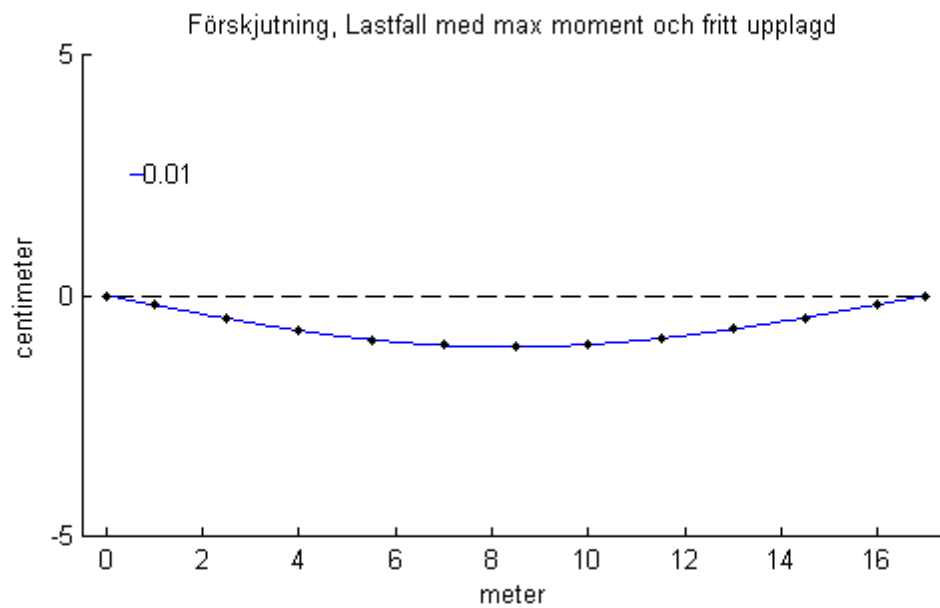
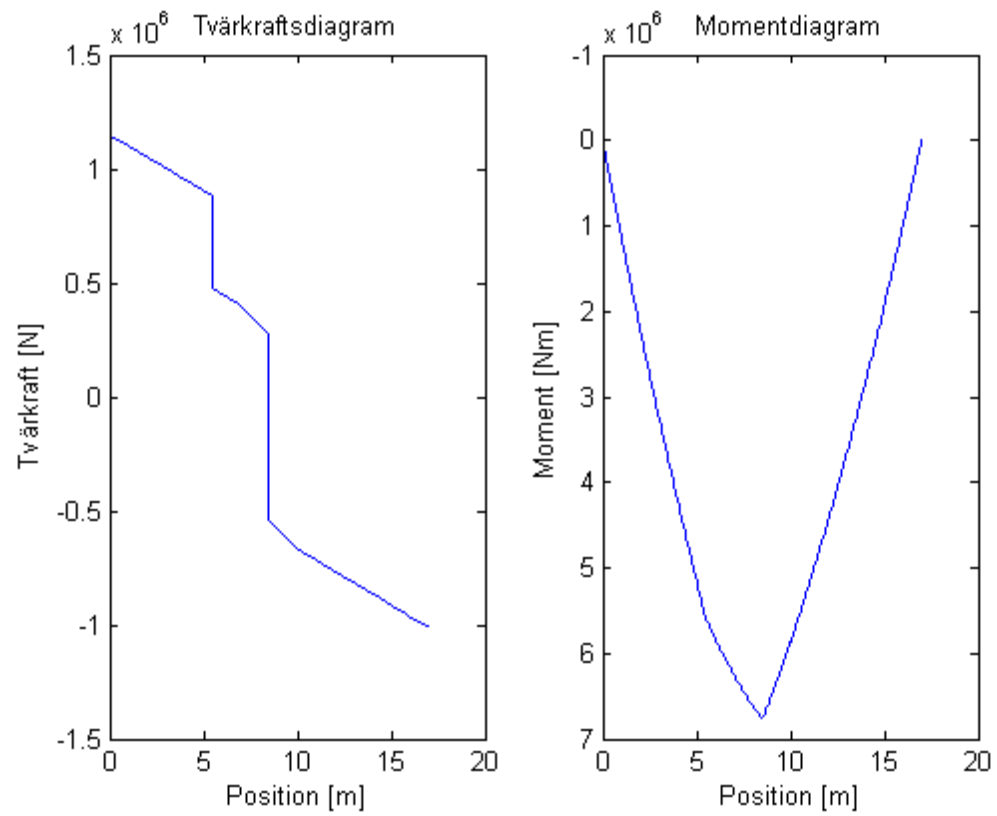
0.0425000000000000

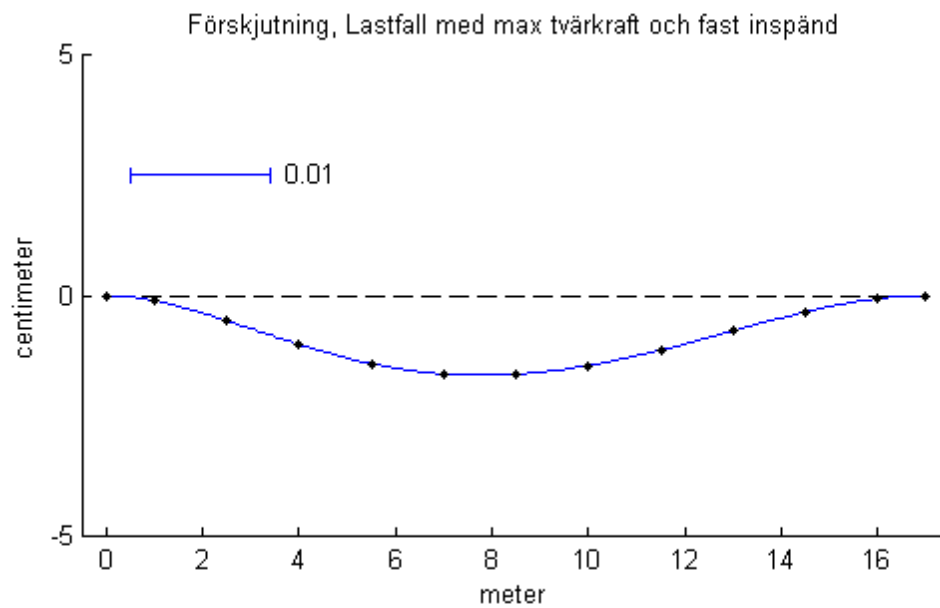
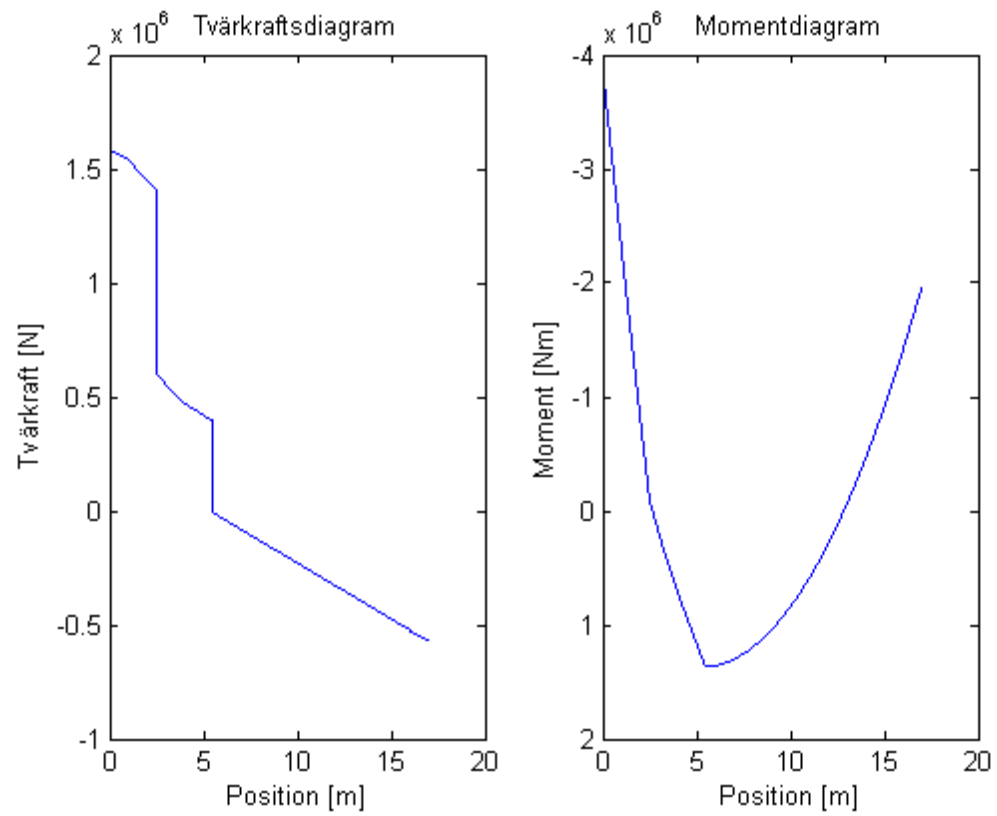
Nedböjningen för tvärbalken är:

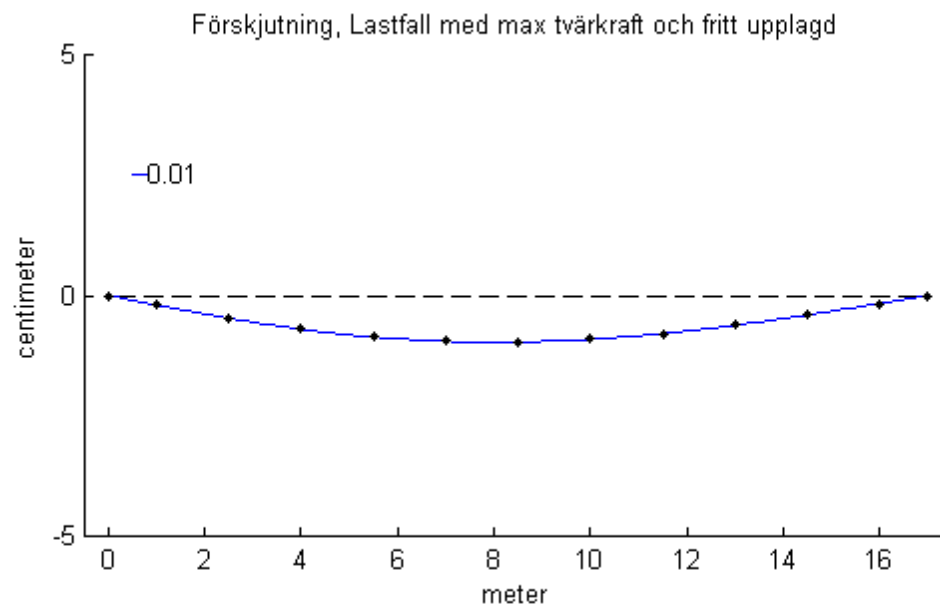
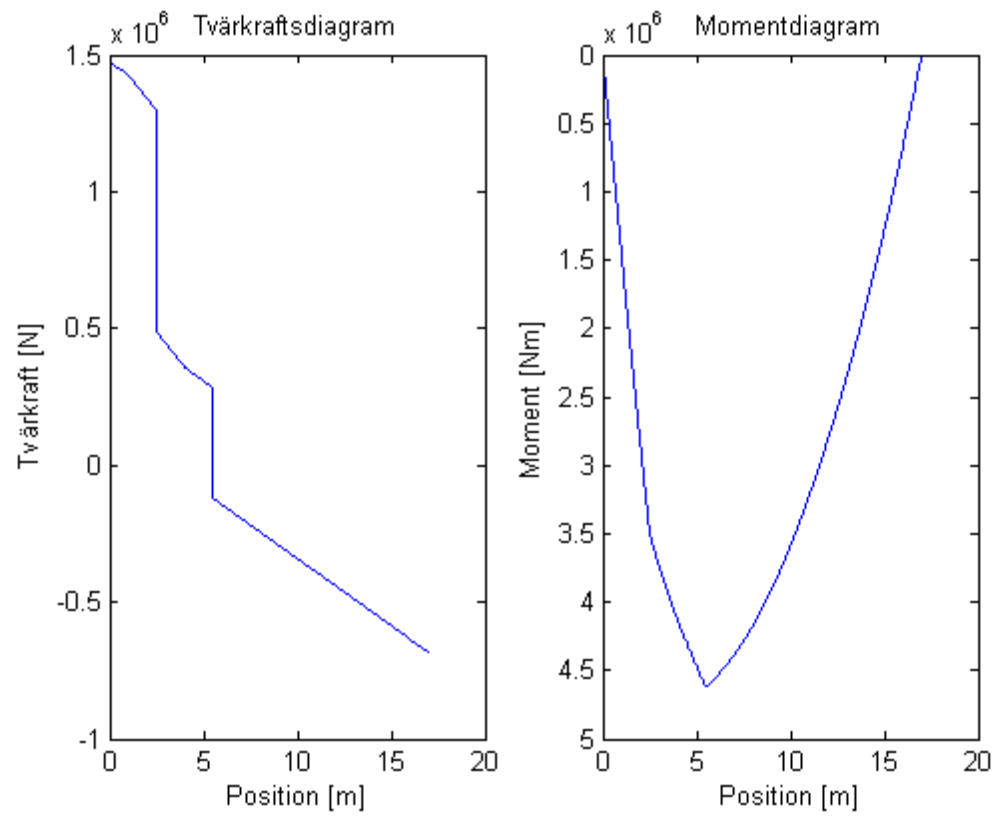
0.038564217503831

Nedböjningen för tvärbalken är OK!









DIMENSIONERANDE NORMALKRAFT, TVÄRKRAFT, MOMENT OCH NEDBÖJNING FÖR BÅGE OCH FÖRSTYVNINGSBALK

Hämtar dimensionerande Normalkraft, Tvärkraft, Moment och Nedböjning beräknade i funktionsfil för båge samt förstyrningsbalk. Normalkraft, Tvärkraft och Moment beräknas i brottgräns. Nedböjning beräknas i Bruksgräns.

```
[NMAXbagea, NMAXfbalka, VMAXbagea, VMAXfbalka, MMAXbagea, ...
    MMAXfbalka, Vaa, Haa, Vba]=systembrotta(Rm, Ru, hwb, twb, tfb, ...
    bfb, hwf, twf, tff, bff, Dstag);

[NMAXbagev, NMAXfbalkv, VMAXbagev, VMAXfbalkv, MMAXbagev, ...
    MMAXfbalkv, Vav, Hav, Vbv]=systembrott(Rm, Ru, hwb, twb, tfb, ...
    bfb, hwf, twf, tff, bff, Dstag);

Nmaxbage=max(abs([NMAXbagea, NMAXbagev]))
Nmaxfbalk=max(abs([NMAXfbalka, NMAXfbalkv]))
Vmaxbage=max(abs([VMAXbagea, VMAXbagev]))
Vmaxfbalk=max(abs([VMAXfbalka, VMAXfbalkv]))
Mmaxbage=max(abs([MMAXbagea, MMAXbagev]))
Mmaxfbalk=max(abs([MMAXfbalka, MMAXfbalkv]))
Va=max(abs([Vaa, Vav]))
Vb=max(abs([Vba, Vbv]))
Ha=max(abs([Haa, Hav]))

[Maxned]...
    =systembruk1(Rm_bruk, Ru_bruk, hwb, twb, tfb, bfb, hwf, twf, tff, ...
    bff, Dstag);
Nedkrav= L/400

% Kontroll om nedböjningskravet på L/400 uppfylls för båge och
% förstyrningsbalk
if Maxned<=Nedkrav
    disp('Maximal Nedböjningen i systemet är:')
    disp(Maxned)
    disp('Nedböjningen för systemet är OK!')
else
    disp('Maximal Nedböjningen i systemet är:')
    disp(Maxned)
    disp('Nedböjningskravet för systemet uppfylls ej')
end
```

Nmaxbage =

1.502567522271393e+07

Nmaxfbalk =

9.113964974780649e+06

Vmaxbage =

1.507303862530439e+06

Vmaxfbalk =

9.177106434711319e+05

Mmaxbage =

7.376687603633026e+06

Mmaxfbalk =

7.287380303345815e+06

Va =

1.147276389451880e+07

Vb =

1.147276389451904e+07

Ha =

7.583075785078108e-07

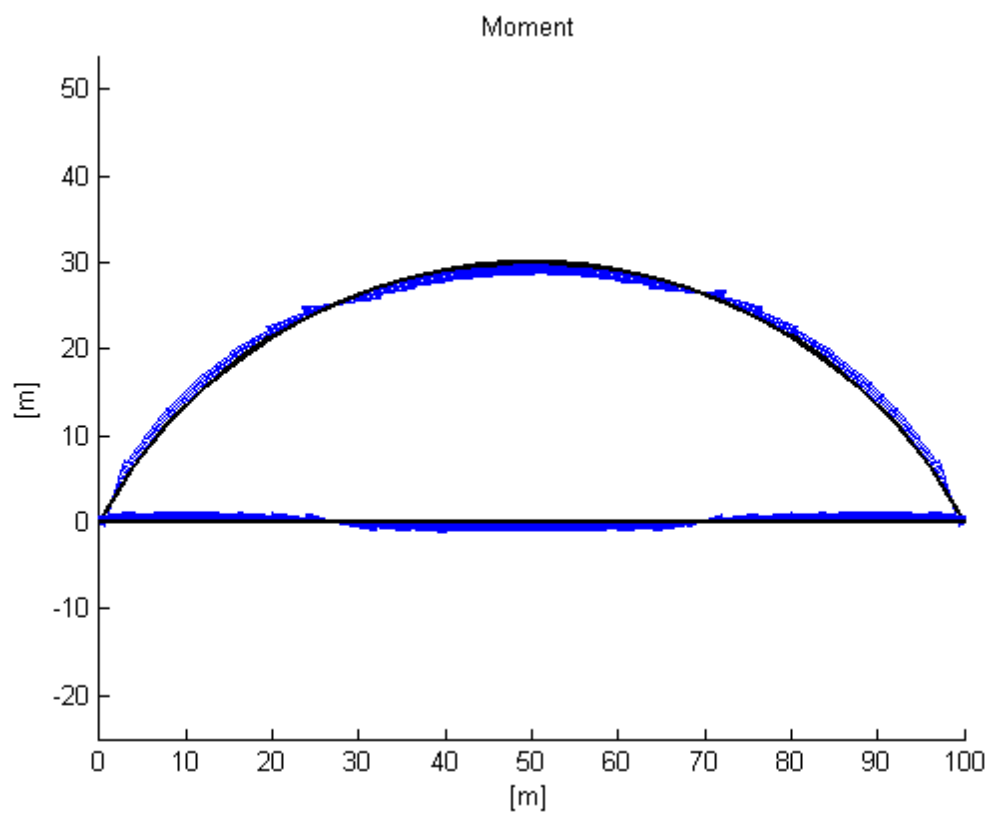
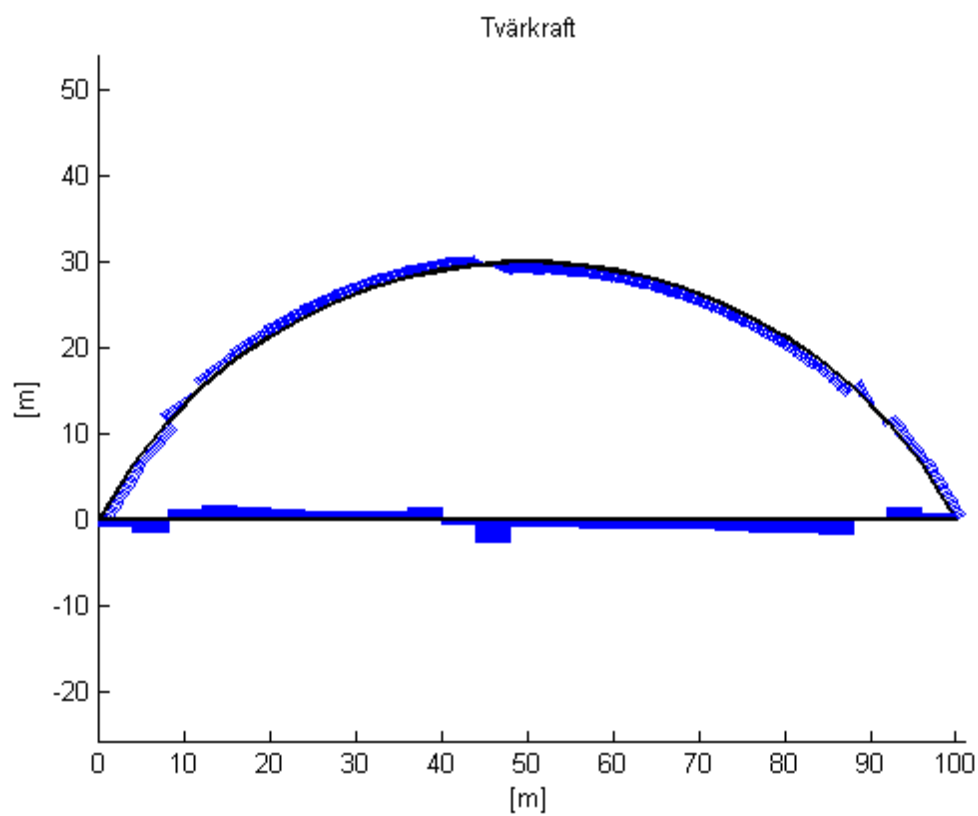
Nedkrav =

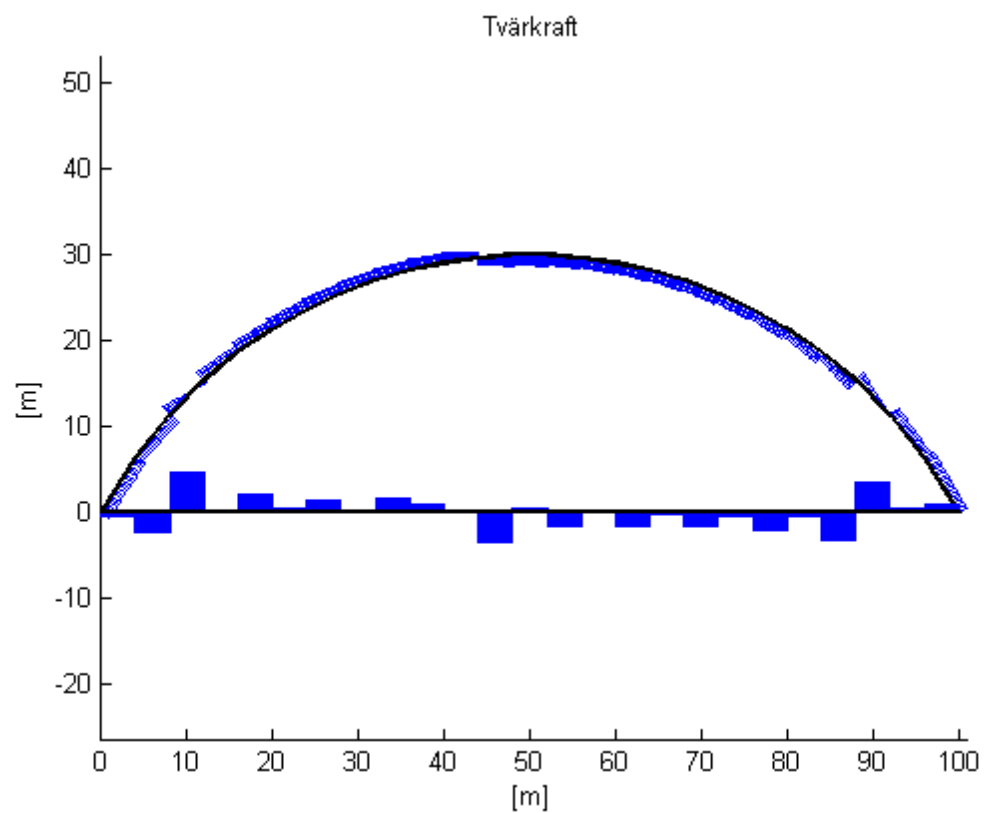
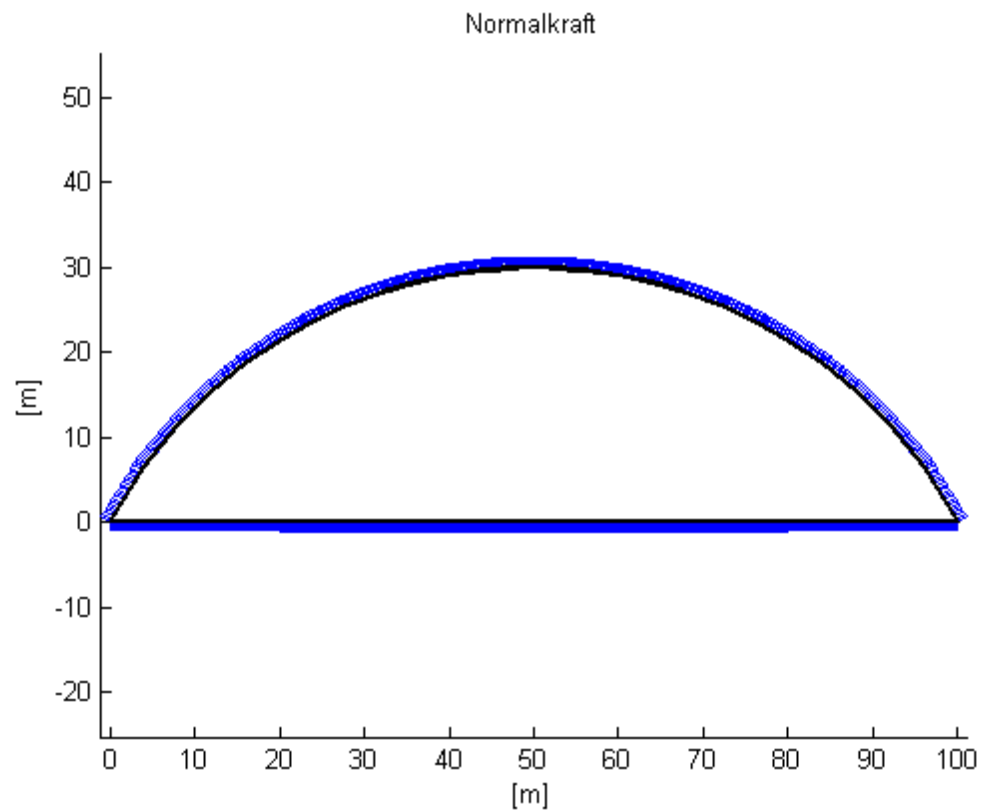
0.2500000000000000

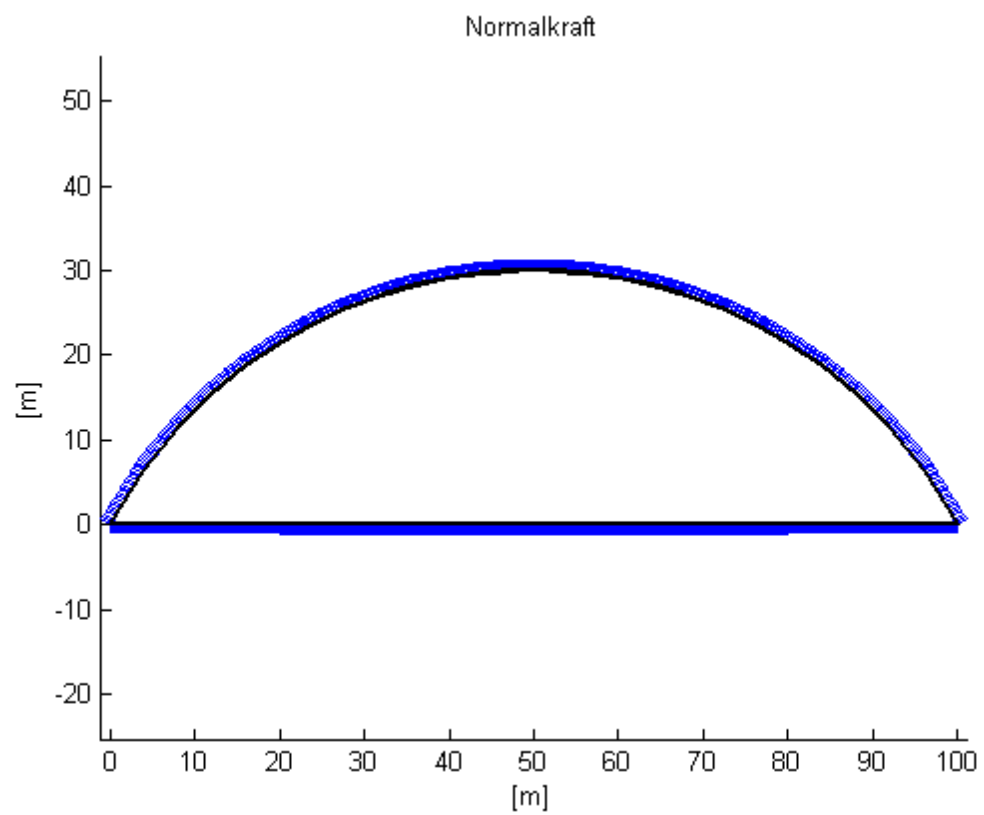
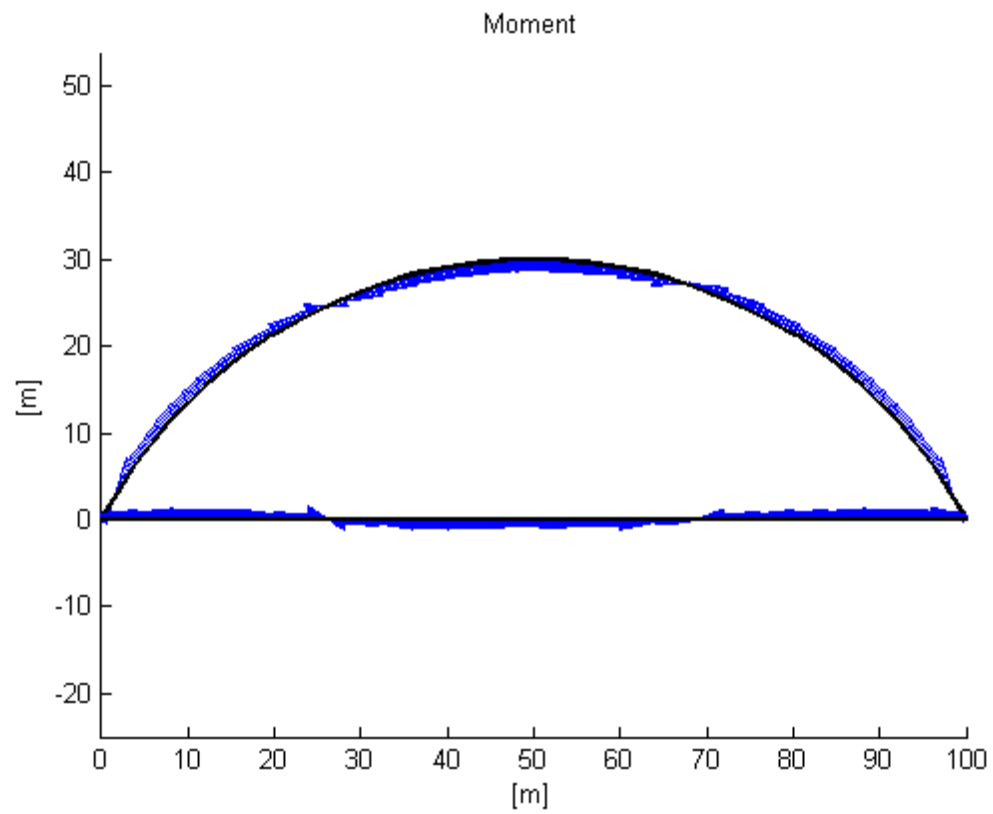
Maximal Nedböjningen i systemet är:

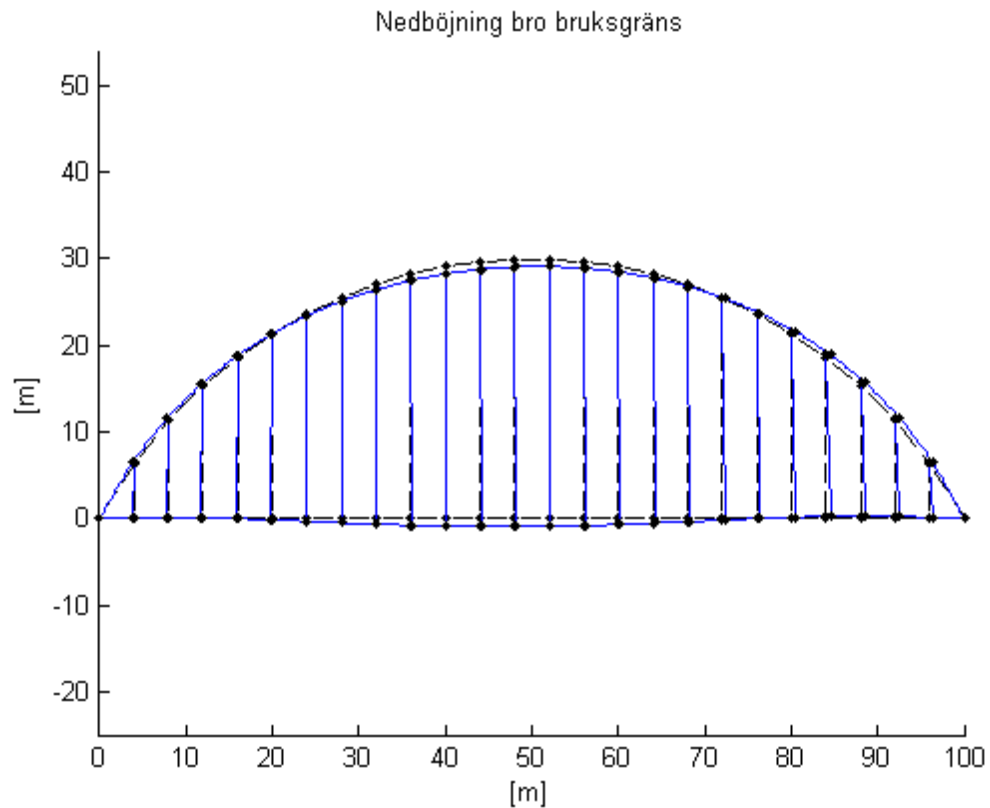
0.220642788939221

Nedböjningen för systemet är OK!









DIMENSIONERANDE MOMENT OCH TVÄRKRAFT FÖR PLATTA.

Hämtar dimensionerande moment och tvärkraft, beräknade i funktionsfil för stödmoment. Moment och tvärkraft är beräknade i brottsgräns.

```
disp('Dimensionerande moment och tvärkraft för platta:')
[Mmaxplatta,Vmaxplatta]=DimBroplatta(G3,G4,Q1,q1,cc)
```

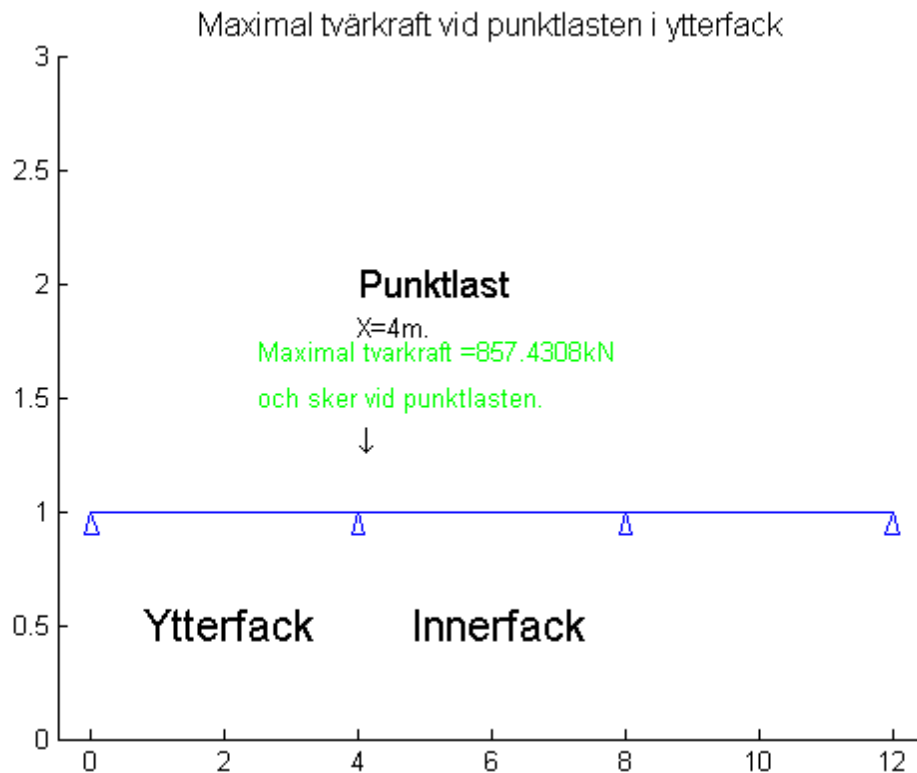
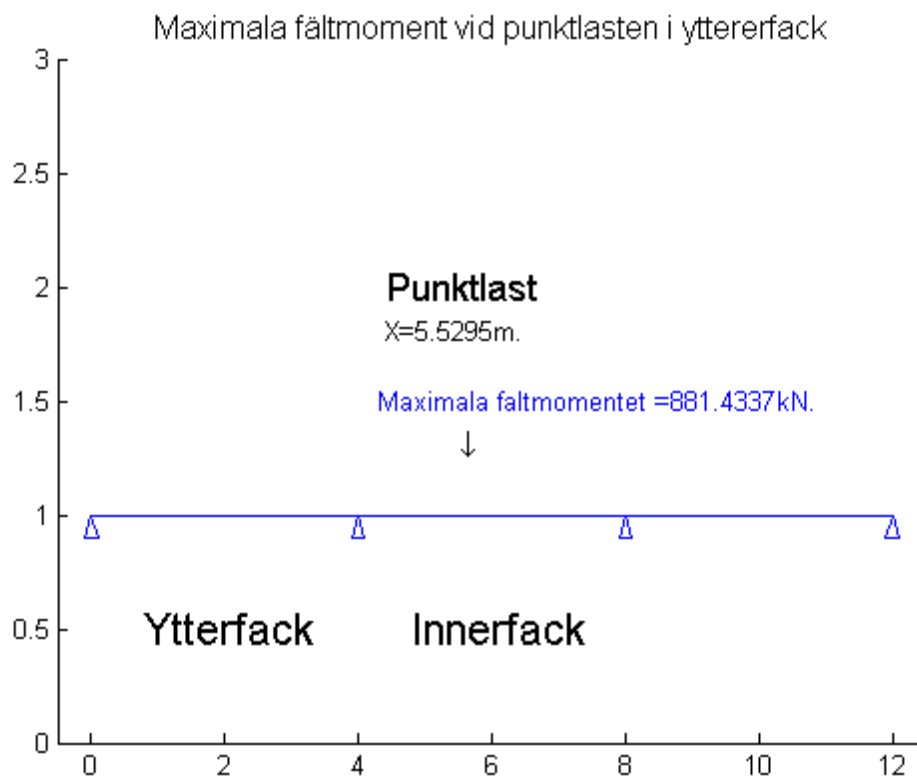
Dimensionerande moment och tvärkraft för platta:

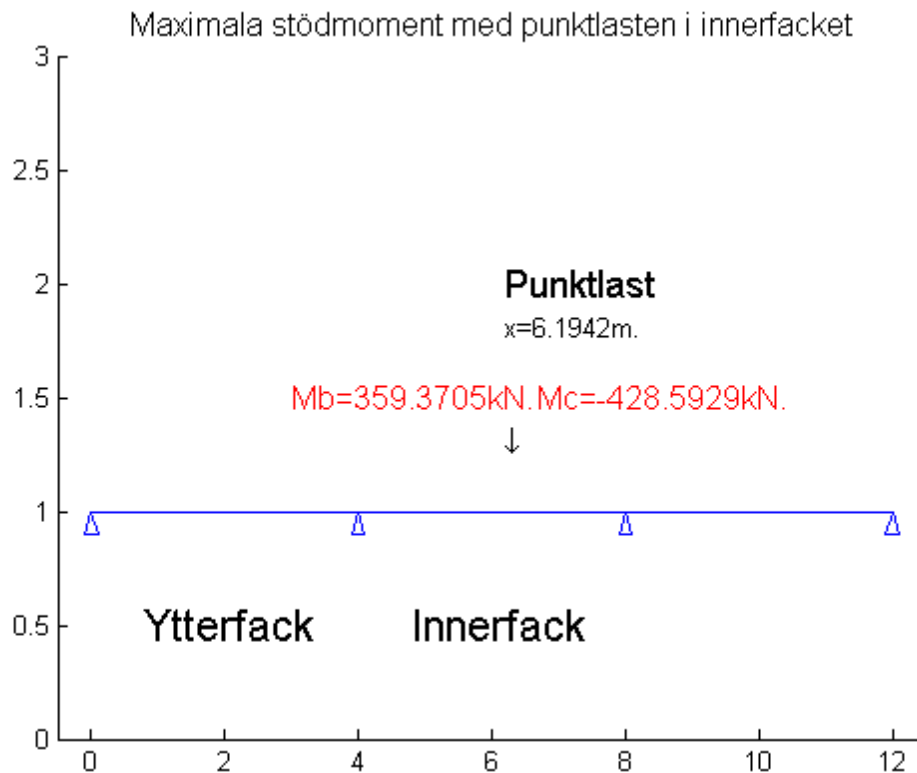
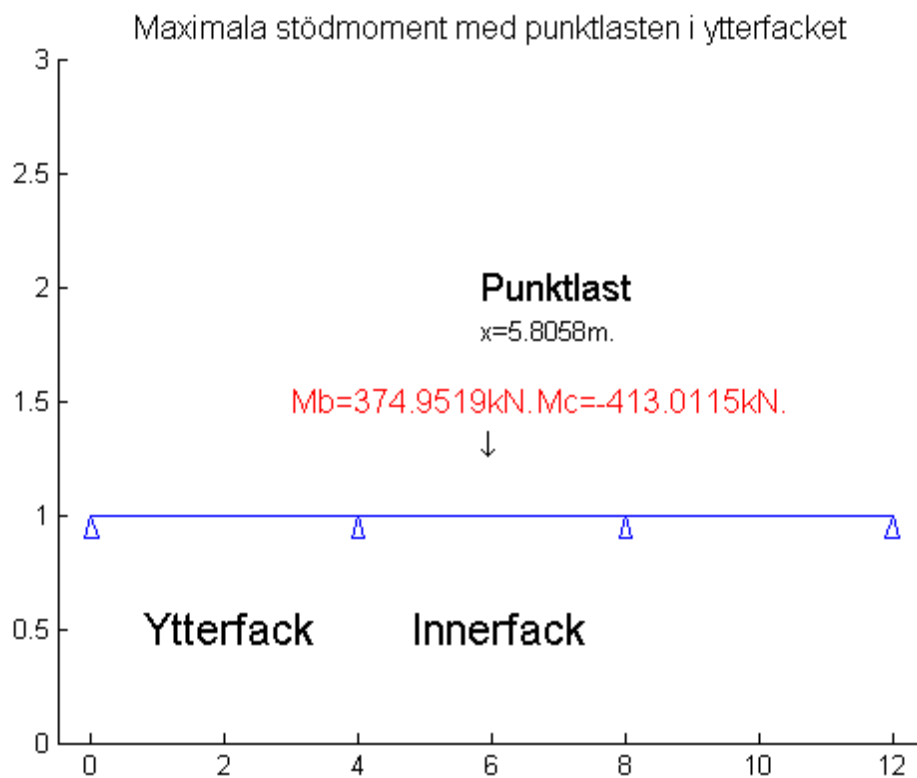
Mmaxplatta =

8.814337271461304e+05

Vmaxplatta =

8.5743075600000001e+05





Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
EGENTYNGD	1
LASTFRAMTAGNING, DIMENSIONERANDE LASTER	2
PERMANENTA LASTER, BROTTGRÄNSTILLSTÅND	2
VARIABLA LASTER, BROTTGRÄNSTILLSTÅND	3
PERMANENTA LASTER, BRUKSGRÄNSTILLSTÅND	3
VARIABLA LASTER, BRUKSGRÄNSTILLSTÅND	4

```
function [G1, G2, G3, G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, ...
    G3Bruk, G4Bruk, Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, ...
    q4Bruk]=Lastframtagning(B, cc, hwf, twf, tff, bff, hwt, twt, tft, ...
    bft, tpf,tpw, hp, ha);

%=====
% Lastframtagning: En funtionsfil som beräknar de dimensionerande
% lasterna i brott- och bruksgränstillstånd
%
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,
%                               Josefine Runebrant, Anton Stenseke,
%                               Maja Swerre och Petter Öhman
%
% Dimensioner för förstyrningsbalkar, Tvärbalkar, Stålplatta samt
% förslitningslager sätts in för att få ut egentygder och trafiklaster på%
% bron.
%=====

% Areor
Af=2*hwf*twf+2*tff*bff; % Tvärsnittsarean för varje förstyrningsbalk [m2]
At=2*hwt*twt+2*tft*bft; % Tvärsnittsarean för varje tvärbalk [m2]
Ap=cc/B*(2*tpf*B+B*10*tpw*(hp-2*tpf));% Area Sandwichelement i sidled [m2]
Aa=ha*cc;                % Arean för Slitlager, asfalt i sidled [m2]

% Densitet
Ds=78000;                % Tyngd för stål [N/m3]
Da=23000;                % Tyngd för asfalt [N/m3]
Dr=500;                  % Tyngd för räcke [N/m]
```

EGENTYNGD

```
g1= Af*Ds;                % Egentyngd förstyrningsbalk i längsled [N/m]
g2= At*Ds;                % Egentyngd Tvärbalkar i tvärlängd [N/m]
g3= Ap*Ds+Aa*Da;          % Egentyngd brobana i längsled [N/m]
g4= Dr;                   % Egentyngd räcke i längsled

% Lastreduktionsfaktorer
%Kombinationsvärde      %Frekventvärde      %Långtidsvärde
U01=0.75;                U11=0.75;                U21=0;                % Axellaster
```

```

U02=0.4;          U12=0.4;          U22=0;          % Utbredd trafiklast

% Partialkoefficient
YG=1.35; % Partialkoefficient för permanent last
YQ=1.5;  % Partialkoefficient för variabel last

% Reduktionsfaktor
red=0.89;

% Karakteristiska parametrar
% Lastfält 1          % Lastfält 2          % Lastfält 3
% Anpassningsfaktor för axellast
aQ1=0.9;          aQ2=0.9;          aQ3=0;
% Anpassningsfaktor för utbredd trafiklast
aq1=0.8;          aq2=1;          aq3=1;

% Axellast TS [N], i de olika lastfälten, 3 lastfält
Q1k= 600000*aQ1;   Q2k=400000*aQ2;   Q3k=200000*aQ3;

% Jämt utbredd fillast UDL [N/m2] i de olika lastfälten, 3 lastfält samt
% ett fjärde som står för övriga ytor
q1k=9000*aq1;      q2k=2500*aq2;          q3k=2500*aq3;      q4k=2500*aq3;

```

LASTFRAMTAGNING, DIMENSIONERANDE LASTER

PERMANENTA LASTER, BROTTGRÄNSTIL- LSTÅND

Lastkombinationen vilken är den minst gynnsamma bestäms från Ekv. 6.10a och 6.10b i SS-EN 1990. För att jämföra dessa ekvationer och bestämma det minst gynnsamma måste permanenta och variabla laster beräknas för båda fallen.

```

G1a= YG*g1*cc;          % Dimensionerande egentyngd för förstyrningsbalkar
                          % [N] enligt ekv. 6.10b
G1b= red*YG*g1*cc;      % Dimensionerande egentyngd för förstyrningsbalkar
                          % [N] enligt ekv. 6.10b
G2a= YG*g2;             % Dimensionerande egentyngd för tvärbalken i tvärled
                          % [N/m]enligt ekv. 6.10a
G2b= red*YG*g2;         % Dimensionerande egentyngd för tvärbalken i tvärled
                          % [N/m]enligt ekv. 6.10b
G3a= YG*g3;             % Dimensionerande egentyngd för brobanan i tvärled
                          % [N/m] enligt ekv. 6.10a
G3b= red*YG*g3;         % Dimensionerande egentyngd för brobanan i tvärled
                          % [N/m] enligt ekv. 6.10b
G4a= cc*g4;             % Dimensionerande egentyngd för räcket [N] enligt
                          % ekv. 6.10a
G4b= red*YG*cc*g4;      % Dimensionerande egentyngd för räcket [N] enligt
                          % ekv. 6.10b

```

VARIABLA LASTER, BROTTGRÄNSTILLSTÅND

```
% Dimensionerande Axellast [N] i de olika lastfälten
Q1a= YQ*U01*Q1k;      % Dimensionerande axellast i lastfält 1
                        % enligt ekv. 6.10a
Q1b= YQ*Q1k;          % Dimensionerande axellast i lastfält 1
                        % enligt ekv. 6.10b
Q2=  YQ*U01*Q2k;      % Dimensionerande axellast i lastfält 2
Q3=  YQ*U01*Q3k;      % Dimensionerande axellast i lastfält 3

% Dimensionerande utbredd fillast i tvärled [N/m] i de olika lastfälten
q1a= YQ*U02*q1k*cc;    % Dimensionerande utbredd fillast i tvärled för
                        % lastfält 1 enligt ekv. 6.10a
q1b= YQ*q1k*cc;        % Dimensionerande utbredd fillast i tvärled för
                        % lastfält 1 enligt ekv. 6.10b
q2=  YQ*U02*q2k*cc;    % Dimensionerande utbredd fillast i tvärled för
                        % lastfält 2
q3=  YQ*U02*q3k*cc;    % Dimensionerande utbredd fillast i tvärled för
                        % lastfält 3
q4=  YQ*U02*q4k*cc;    % Dimensionerande utbredd fillast i tvärled för
                        % lastfält 4

% Med hjälp av en jämförelse mellan ekv. 6.10a och 6.10b fås vilken
% last som blir huvudlast och således vilka av lasterna som skall
% reduceras
if G1a+G2a*B+G3a*B+G4a+Q1a+Q2+Q3+q1a*B+q2*B+q3*B+q4*B > ...
    G1b+G2b*B+G3b*B+G4b+Q1b+Q2+Q3+q1b*B+q2*B+q3*B+q4*B;
    disp('Lastkombination 6.10a är dimensionerande')
    G1=G1a;
    G2=G2a;
    G3=G3a;
    G4=G4a;
    Q1=Q1a;
    q1=q1a;
else
    disp('Lastkombination 6.10a är dimensionerande')
    G1=G1b;
    G2=G2b;
    G3=G3b;
    G4=G4b;
    Q1=Q1b;
    q1=q1b;
end
```

PERMANENTA LASTER, BRUKSGRÄNSTILLSTÅND

I bruksgränstillstånd används frekvent lastkombination vid deformationsberäkningar enligt ekv. 6.15b

```
% Dimensionerande egentynghd
```

```
G1Bruk=g1*cc; % Dimensionerande egentyngd för förstyrningsbalkar [N]
G2Bruk=g2;    % Dimensionerande egentyngd för tvärbalken i tvärled [N/m]
G3Bruk=g3;    % Dimensionerande egentyngd för brobanan i tvärled [N/m]
G4Bruk=cc*g4; % Dimensionerande egentyngd för räcket [N]
```

VARIABLA LASTER, BRUKSGRÄNSTIL- LSTÅND

```
% Dimensionerande Axellast [N] i de olika lastfälten
Q1Bruk=U11*Q1k;
Q2Bruk=U11*Q2k;
Q3Bruk=U11*Q3k;

% Dimensionerande utbredd fillast i tvärled [N/m] i de olika lastfälten
q1Bruk=U12*q1k*cc;
q2Bruk=U12*q2k*cc;
q3Bruk=U12*q3k*cc;
q4Bruk=U12*q4k*cc;

end
```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
TVÄRSNITTSKONSTANTERT	1
TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR	2
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	3
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	3
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	5
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	6
SNITTKRAFTER'	7
NEDBÖJNING	9

```
function[MaxM1, MaxV1, Maxned1, Ra1, Rb1,Ra1_bruk,Rb1_bruk, Rau1,...
    Rbu1, Rau1_bruk, Rbu1_bruk, Ma1, Mb1]=TvarbalksnittDimMFAST(G1, G2,...
    G3, G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk,...
    G4Bruk, Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, ...
    q4Bruk, hwt, twt, tft, bft);

%=====
% TvarbalksnittDimMFAST: En funtionsfil som beräknar maximalt moment,
% maximal tvärkraft, maximal stödkraft samt maximalnedböjning för
% tvärbalken då trafiklasterna placeras i det lastfall som ger upphov till
% maximalt moment och tvärbalken beräknas som fast inspänd i båda ändar.
% Beräkningarna sker i två omgångar, första tar reda på stödkraft utan
% punktlasten orsakad av specialfordon (Q1), andra tar reda på stödkraft,
% maximalt moment, maximal tvärkraft och maximal nedböjning medräknat
% punktlasten orsakad av specialfordonet. Stödreaktioner ges i både
% brukgräns och brottgräns, nedböjning i brukgräns och moment och
% tvärkraft i brottgräns.
%
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,
%                                 Josefine Runebrant, Anton Stenseke,
%                                 Maja Swerre och Petter Öhman
%
% Dimensionerande laster, samt dimensioner för tvärbalkar
% sätts in för att få ut Maximalt moment, maximal tvärkraft, stödreaktion
% med och utan punktlast samt maximal nedböjning.
%=====
```

TVÄRSNITTSKONSTANTERT

```
% Area för tvärsnittet
A=2*hwt*twt+2*tft*bft;

% E-modul för stålet
E=210*10^9;
```

```

%Tröghetsmoment för tvärsnittet
I=2*((bft*tft^3)/12+tft*bft*(hwt/2+tft/2)^2+(tw*twt^3)/12);

% Balkens totala längd
L=17;

% Bredd utanför räcke
w1=1;

% Bredd lastfält
w2=3;

% Skapar en vektor med konstanter för tvärsnittet
ep=[E A I];

```

TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR

```

% Skapar en topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24
      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
      10 28 29 30 31 32 33
      11 31 32 33 34 35 36
      12 34 35 36 37 38 39];

% Styvhetsmatrix utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatrix utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 3 0; 37 0; 38 0; 39 0];

```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(14)=-Q2; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1];      eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5];    eq2=[0 -(q2+G2+G3)];
ex3=[2.5 4];    eq3=[0 -(q2+G2+G3)];
ex4=[4 5.5];    eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7];    eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5];    eq6=[0 -(G2+G3+q1)];
ex7=[8.5 10];   eq7=[0 -(G2+G3+q1)];
ex8=[10 11.5];  eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13];  eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17];   eq12=[0 -(G2+G3)];

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1];      eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5];    eq2b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4];    eq3b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5];    eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7];    eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5];    eq6b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex7=[8.5 10];   eq7b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex8=[10 11.5];  eq8b=[0 -(q4Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13];  eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5]; eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16]; eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17];   eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```
% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
```

```

[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns utan punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rau1=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rbu1=r(38);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);
[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);

```

```
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för brukgräns utan punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rau1_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rbu1_bruk=rb(38);
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Styvhetsmatris utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatris utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(14)=-Q2; f(20)=-Q1; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q2+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q2+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(G2+G3+q1)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(G2+G3+q1)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];
```

```

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(20)=-Q1Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1];          eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5];        eq2b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4];         eq3b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5];         eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7];         eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5];         eq6b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex7=[8.5 10];        eq7b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex8=[10 11.5];       eq8b=[0 -(q4Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13];       eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5];      eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16];      eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17];        eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];

```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```

% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns med punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);

```

```

[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för bruksgräns med punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Ra1_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Rb1_bruk=rb(38);

% Tar fram elementförskjutningarna för balken
Edb=extract(Edof, ab);

```

SNITTKRAFTER

Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon (Brottgräns)

```

Ra=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rb=r(38);

% Tar fram stödmoment i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ma=-r(3);

```

```

% Tar fram stödmoment i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgrärns)
Mb=r(39);
Ma1=Ma;
Mb1=Mb;

% Beräknar snittkrafter i tvärbalken för fallet där punktlast från
% specialfordon inkluderas
% Snitt 1
x1=linspace(0, w1,100);
V1=@(x1)Ra - (G2+G3)*x1;
M1=@(x1)Ma+Ra*x1 - (G2+G3)*(x1.^2)/2;

% Snitt 2
x2=linspace(w1, w1+w2+w2/2,100);
V2=@(x2)Ra - G4 - (G2+G3)*x2 - q2*(x2-w1);
M2=@(x2)Ma+Ra*x2 - (G2+G3)*(x2.^2)/2 - G4*(x2) - q2*(x2-w1).^2/2;

% Snitt 3
x3=linspace(w1+w2+w2/2, w1+2*w2,100);
V3=@(x3)Ra - G4 - (G2+G3)*x3 - q2*(x3-w1) - Q2;
M3=@(x3)Ma+Ra*x3 - (G2+G3)*(x3.^2)/2 - G4*(x3-w1) - q2*(x3-1).^2/2 - ...
    Q2*(x3 - (w1+w2+w2/2));

% Snitt 4
x4=linspace(w1+2*w2, w1+2*w2+w2/2,100);
V4=@(x4)Ra - G4 - Q2 - (G2+G3)*x4 - q2*(x4-w1) - (q1-q2)*(x4 - (w1+2*w2));
M4=@(x4)Ma+Ra*x4 - (G2+G3)*(x4.^2)/2 - G4*(x4-w1) - q2*(x4-w1).^2/2 - ...
    Q2*(x4 - (w1+w2+w2/2)) - (q1-q2)*(x4 - (w1+2*w2)).^2/2;

% Snitt 5
x5=linspace(w1+2*w2+w2/2, w1+3*w2,100);
V5=@(x5)Ra - G4 - Q2 - Q1 - (G2+G3)*x5 - q2*(x5-w1) - (q1-q2)*(x5 - (w1+2*w2));
M5=@(x5)Ma+Ra*x5 - (G2+G3)*(x5.^2)/2 - G4*(x5-w1) - q2*(x5-1).^2/2 - ...
    Q2*(x5 - (w1+w2+w2/2)) - (q1-q2)*(x5 - (w1+2*w2)).^2/2 - ...
    Q1*(x5 - (w1+2*w2+w2/2));

% Snitt 6
x6=linspace(w1+3*w2, w1+5*w2,100);
V6=@(x6)Ra - G4 - Q2 - Q1 - (G2+G3)*x6 - q2*(x6-w1) - (q1-q2)*w2;
M6=@(x6)Ma+Ra*x6 - (G2+G3)*(x6.^2)/2 - G4*(x6-w1) - q2*(x6-1).^2/2 - ...
    Q2*(x6 - (w1+w2+w2/2)) - Q1*(x6 - (w1+2*w2+w2/2)) - ...
    (q1-q2)*w2*(x6 - (w1+2*w2+w2/2));

% Snitt 7
x7=linspace(w1+5*w2, L ,100);
V7=@(x7)Ra - 2*G4 - Q2 - Q1 - (G2+G3)*x7 - q2*5*w2 - (q1-q2)*w2;
M7=@(x7)Ma+Ra*x7 - (G2+G3)*(x7.^2)/2 - G4*(x7-w1) - q2*5*w2*(x7 - (w1+2*w2+w2/2)) - ...
    Q2*(x7 - (w1+w2+w2/2)) - (q1-q2)*w2*(x7 - (w1+2*w2+w2/2)) - ...
    Q1*(x7 - (w1+2*w2+w2/2)) - G4*(x7 - (w1+5*w2));

x=[x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7];
V=[V1(x1) V2(x2) V3(x3) V4(x4) V5(x5) V6(x6) V7(x7)];

```

```

M=[M1(x1) M2(x2) M3(x3) M4(x4) M5(x5) M6(x6) M7(x7)];

Ra1=Ra;
Rb1=Rb;
MaxV1=max(abs(V));
MaxM1=max(abs(M));

% Plotta diagram
figure(1)
subplot(1,2,1)
plot(x, V)
title('Tvärkraftsdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

subplot(1,2,2)
plot(x,M)
title('Momentdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
axis ij

```

NEDBÖJNING

Plottar balkens deformationer i ett diagram

```

figure(5)
ex=[0 17];
plotpar=[2 1 0];
eldraw2(ex,ey,plotpar);
sfac=scalfact2(ex1,ey,Edb(1,:),0.2);

plotpar=[1 2 0];
eldisp2(ex1,ey,Edb(1,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex2,ey,Edb(2,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex3,ey,Edb(3,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex4,ey,Edb(4,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex5,ey,Edb(5,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex6,ey,Edb(6,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex7,ey,Edb(7,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex8,ey,Edb(8,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex9,ey,Edb(9,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex10,ey,Edb(10,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex11,ey,Edb(11,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex12,ey,Edb(12,:),plotpar,sfac);
title('Förskjutning, Lastfall med max Moment och fast inspänd');
axis([-0.5 17.5 -5 5]);
hold on
pltscalb2(sfac,[1e-2 0.5 2.5]);
ylabel('centimeter')
xlabel('meter')
hold off

```

```
Maxned1=max(abs(Edb(:,2)));  
  
end
```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
TVÄRSNITTSKONSTANTER	1
TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR	2
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	3
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	3
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	5
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	6
SNITTKRAFTER	7
NEDBÖJNING	9

```
function[MaxM3, MaxV3, Maxned3, Ra3, Rb3,Ra3_bruk, Rb3_bruk, Rau3, Rbu3,...
    Rau3_bruk, Rbu3_bruk, Ma3, Mb3]=TvarbalksnittDimVFast(G1, G2,...
    G3, G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk,...
    G4Bruk, Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, ...
    q4Bruk, hwt, twt, tft, bft)

%=====
% TvarbalksnittDimVFast: En funtionsfil som beräknar maximalt moment,
% maximal tvärkraft, maximal stödkraft samt maximalnedböjning för
% tvärbalken då trafiklasterna placeras i det lastfall som ger upphov till%
% maximal tvärkraft och tvärbalken beräknas som fast inspänd i båda ändar.%
% Beräkningarna sker i två omgångar, första tar reda på stödkraft utan
% punktlasten orsakad av specialfordon (Q1), andra tar reda på stödkraft, %
% maximalt moment, maximal tvärkraft och maximal nedböjning medräknat
% punktlasten orsakad av specialfordonet. Stödreaktioner ges i både
% brukgräns och brottgräns, nedböjning i brukgräns och moment och
% tvärkraft i brottgräns.
%
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,
%                               Josefine Runebrant, Anton Stenseke,
%                               Maja Swerre och Petter Öhman
%
% Dimensionerande laster, samt dimensioner för tvärbalkar
% sätts in för att få ut Maximalt moment, maximal tvärkraft, stödreaktion %
% med och utan punktlast samt maximal nedböjning.
%=====
```

TVÄRSNITTSKONSTANTER

```
% Area för tvärsnittet
A=2*hwt*twt+2*tft*bft;

% E-modul för stålet
E=210*10^9;
```

```
% Tröghetsmoment för tvärsnittet
I=2*((bft*tft^3)/12+tft*bft*(hwt/2+tft/2)^2+(tw*twt^3)/12);

% Balkens totala längd
L=17;

% Bredd utanför räcke
w1=1;

% Bredd lastfält
w2=3;

% Skapar en vektor med konstanter för tvärsnittet
ep=[E A I];
```

TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR

```
% Skapar en topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24
      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
      10 28 29 30 31 32 33
      11 31 32 33 34 35 36
      12 34 35 36 37 38 39];

% Styvhetsmatrix utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatrix utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 3 0; 37 0; 38 0; 39 0];
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(14)=-Q2; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q1+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q1+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(q2+G2+G3)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(q2+G2+G3)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5]; eq2b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4]; eq3b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5]; eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7]; eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5]; eq6b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex7=[8.5 10]; eq7b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex8=[10 11.5]; eq8b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13]; eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5]; eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16]; eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17]; eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
```

ASSEMBELERAR STYVHETSMATRIS

```
%Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
```

```

[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns utan punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rau3=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rbu3=r(38);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);
[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);

```

```
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för brukgräns utan punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rau3_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rbu3_bruk=rb(38);
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Brottgräns
% Styvhetsmatris utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatris utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
fb=zeros(39,1);

% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(8)=-Q1; f(14)=-Q2; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q1+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q1+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(q2+G2+G3)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(q2+G2+G3)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];
```

```

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(8)=-Q1Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1];          eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5];        eq2b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4];         eq3b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5];         eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7];         eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5];         eq6b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex7=[8.5 10];        eq7b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex8=[10 11.5];       eq8b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13];       eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5];      eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16];      eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17];        eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];

```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```

% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns med punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);

```

```

[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för bruksgräns med punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Ra3_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Rb3_bruk=rb(38);

% Tar fram elementförskjutningarna för balken
Edb=extract(Edof, ab);

```

SNITTKRAFTER

```

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ra=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rb=r(38);

% Tar fram stödmoment i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ma=-r(3);

```

```

% Tar fram stödmoment i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Mb=r(39);
Ma3=Ma;
Mb3=Mb;

% Beräknar snittkrafter i tvärbalken för fallet där punktlast från
% specialfordon inkluderas
% Snitt 1
x1=linspace(0, w1,100);
V1=@(x1)Ra - (G2+G3)*x1;
M1=@(x1)Ma+Ra*x1 - (G2+G3)*(x1.^2)/2;

% Snitt 2
x2=linspace(w1, w1+w2/2,100);
V2=@(x2)Ra - G4 - (G2+G3)*x2 - q2*(x2-w1) - (q1-q2)*(x2-w1);
M2=@(x2)Ma+Ra*x2 - (G2+G3)*(x2.^2)/2 - G4*(x2-w1) - q2*(x2-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*(x2-w1).^2/2;

% Snitt 3
x3=linspace(w1+w2/2, w1+w2,100);
V3=@(x3)Ra - G4 - (G2+G3)*x3 - Q1 - q2*(x3-w1) - (q1-q2)*(x3-w1);
M3=@(x3)Ma+Ra*x3 - (G2+G3)*(x3.^2)/2 - G4*(x3-w1) - q2*(x3-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*(x3-w1).^2/2 - Q1*(x3-(w1+w2/2));

% Snitt 4
x4=linspace(w1+w2, w1+w2+w2/2,100);
V4=@(x4)Ra - G4 - (G2+G3)*x4 - Q1 - q2*(x4-w1) - (q1-q2)*w2;
M4=@(x4)Ma+Ra*x4 - (G2+G3)*(x4.^2)/2 - G4*(x4-w1) - q2*(x4-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*w2*(x4-(w1+w2/2)) - Q1*(x4-(w1+w2/2));

% Snitt 5
x5=linspace(w1+w2+w2/2, w1+5*w2,100);
V5=@(x5)Ra - G4 - Q1 - Q2 - (G2+G3)*x5 - q2*(x5-w1) - (q1-q2)*w2;
M5=@(x5)Ma+Ra*x5 - (G2+G3)*(x5.^2)/2 - G4*(x5-w1) - q2*(x5-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*w2*(x5-(w1+w2/2)) - Q1*(x5-(w1+w2/2)) - Q2*(x5-(w1+w2+w2/2));

% Snitt 6
x6=linspace(w1+5*w2, L,100);
V6=@(x6)Ra - 2*G4 - Q1 - Q2 - (G2+G3)*x6 - q2*5*w2 - (q1-q2)*w2;
M6=@(x6)Ma+Ra*x6 - (G2+G3)*(x6.^2)/2 - G4*(x6-w1) - ...
    q2*5*w2*(x6-(w1+2*w2+w2/2)) - (q1-q2)*w2*(x6-(w1+w2/2)) - ...
    Q1*(x6-(w1+w2/2)) - Q2*(x6-(w1+w2+w2/2)) - G4*(x6-(w1+5*w2));

x=[x1 x2 x3 x4 x5 x6];
V=[V1(x1) V2(x2) V3(x3) V4(x4) V5(x5) V6(x6)];
M=[M1(x1) M2(x2) M3(x3) M4(x4) M5(x5) M6(x6)];

Ra3=Ra;
Rb3=Rb;
MaxV3=max(abs(V));
MaxM3=max(abs(M));

```

```

% Plotta diagram
figure(3)
subplot(1,2,1)
plot(x, V)
title('Tvärkraftsdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

subplot(1,2,2)
plot(x,M)
title('Momentdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
axis ij

```

NEDBÖJNING

```

% Plottar balkens deformationer i ett diagram
figure(7)
ex=[0 17];
plotpar=[2 1 0];
eldraw2(ex,ey,plotpar);
sfac=scalfact2(ex1,ey,Edb(1,:),0.2);

plotpar=[1 2 0];
eldisp2(ex1,ey,Edb(1,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex2,ey,Edb(2,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex3,ey,Edb(3,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex4,ey,Edb(4,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex5,ey,Edb(5,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex6,ey,Edb(6,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex7,ey,Edb(7,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex8,ey,Edb(8,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex9,ey,Edb(9,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex10,ey,Edb(10,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex11,ey,Edb(11,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex12,ey,Edb(12,:),plotpar,sfac);
title('Förskjutning, Lastfall med max tvärkraft och fast inspänd');
axis([-0.5 17.5 -5 5]);
hold on
pltscalb2(sfac,[1e-2 0.5 2.5]);
ylabel('centimeter')
xlabel('meter')
hold off

Maxned3=max(abs(Edb(:,2)));

end

```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
TVÄRSNITTSKONSTANTER	1
TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR	2
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	3
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	3
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	5
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	6
SNITTKRAFTER	7
NEDBÖJNING	9

```
function[MaxM2, MaxV2, Maxned2, Ra2, Rb2, Ra2_bruk, Rb2_bruk, Rau2, Rbu2, ...
    Rau2_bruk, Rbu2_bruk, Ma2, Mb2]=TvarbalksnittDimMFri(G1, G2, ...
    G3, G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk, ...
    G4Bruk, Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, ...
    q4Bruk, hwt, twt, tft, bft)
```

```
%=====
% TvarbalksnittDimMFri: En funtionsfil som beräknar maximalt moment,      %
% maximal tvärkraft, maximal stödkraft samt maximalnedböjning för        %
% tvärbalken då trafiklasterna placeras i det lastfall som ger upphov till%
% maximalt moment och tvärbalken beräknas som fritt upplagd i båda ändar. %
% Beräkningarna sker i två omgångar, första tar reda på stödkraft utan    %
% punktlasten orsakad av specialfordon (Q1), andra tar reda på stödkraft, %
% maximalt moment, maximal tvärkraft och maximal nedböjning medräknat    %
% punktlasten orsakad av specialfordonet. Stödreaktioner ges i både      %
% brukgräns och brottgräns, nedböjning i brukgräns och moment och      %
% tvärkraft i brottgräns.                                               %
%                                                                    %
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,        %
%                               Josefine Runebrant, Anton Stenseke,      %
%                               Maja Swerre och Petter Öhman             %
%                                                                    %
% Dimensionerande laster, samt dimensioner för tvärbalkar              %
% sätts in för att få ut Maximalt moment, maximal tvärkraft, stödreaktion %
% med och utan punktlast samt maximal nedböjning.                      %
%=====
```

TVÄRSNITTSKONSTANTER

```
% Area för tvärsnittet
A=2*hwt*twt+2*tft*bft;

% E-modul för stålet
E=210*10^9;
```

```
% Tröghetsmoment för tvärsnittet
I=2*((bft*tft^3)/12+tft*bft*(hwt/2+tft/2)^2+(tw*twt^3)/12);

% Förstyvningsbalkens totala längd
L=17;

% Bredd utanför räcke
w1=1;

% Bredd lastfält
w2=3;

% Skapar en vektor med konstanter för tvärsnittet
ep=[E A I];
```

TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR

```
% Skapar en topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24
      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
      10 28 29 30 31 32 33
      11 31 32 33 34 35 36
      12 34 35 36 37 38 39];

% Styvhetsmatrix utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatrix utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 38 0];
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(14)=-Q2; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q2+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q2+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(G2+G3+q1)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(G2+G3+q1)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5]; eq2b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4]; eq3b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5]; eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7]; eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5]; eq6b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex7=[8.5 10]; eq7b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex8=[10 11.5]; eq8b=[0 -(q4Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13]; eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5]; eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16]; eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17]; eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```
% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
```

```

[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns utan punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rau2=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rbu2=r(38);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);
[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);

```

```
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för brukgräns utan punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rau2_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rbu2_bruk=rb(38);
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Styvhetsmatris utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatris utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(14)=-Q2; f(20)=-Q1; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q2+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q2+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(G2+G3+q1)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(G2+G3+q1)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];
```

```

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(20)=-Q1Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1];          eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5];        eq2b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4];         eq3b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5];         eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7];         eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5];         eq6b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex7=[8.5 10];        eq7b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk+q1Bruk)];
ex8=[10 11.5];       eq8b=[0 -(q4Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13];       eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5];      eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16];      eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17];        eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];

```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```

% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns med punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);

```

```

[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för bruksgräns med punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Ra2_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Rb2_bruk=rb(38);

% Tar fram elementförskjutningarna för balken
Edb=extract(Edof, ab);

```

SNITTKRAFTER

```

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ra=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rb=r(38);

% Tar fram stödmoment i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ma=-r(3);

```

```

% Tar fram stödmoment i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgrärns)
Mb=r(39);
Ma2=Ma;
Mb2=Mb;

% Beräknar snittkrafter i tvärbalken för fallet där punktlast från
% specialfordon inkluderas
% Snitt 1
x1=linspace(0, w1,100);
V1=@(x1)Ra - (G2+G3)*x1;
M1=@(x1)Ma+Ra*x1 - (G2+G3)*(x1.^2)/2;

% Snitt 2
x2=linspace(w1, w1+w2+w2/2,100);
V2=@(x2)Ra - G4 - (G2+G3)*x2 - q2*(x2-w1);
M2=@(x2)Ma+Ra*x2 - (G2+G3)*(x2.^2)/2 - G4*(x2-w1) - q2*(x2-w1).^2/2;

% Snitt 3
x3=linspace(w1+w2+w2/2, w1+2*w2,100);
V3=@(x3)Ra - G4 - (G2+G3)*x3 - q2*(x3-w1) - Q2;
M3=@(x3)Ma+Ra*x3 - (G2+G3)*(x3.^2)/2 - G4*(x3-w1) - q2*(x3-w1).^2/2 - ...
    Q2*(x3 - (w1+w2+w2/2));

% Snitt 4
x4=linspace(w1+2*w2, w1+2*w2+w2/2,100);
V4=@(x4)Ra - G4 - Q2 - (G2+G3)*x4 - q2*(x4-w1) - (q1-q2)*(x4 - (w1+2*w2));
M4=@(x4)Ma+Ra*x4 - (G2+G3)*(x4.^2)/2 - G4*(x4-w1) - q2*(x4-w1).^2/2 - ...
    Q2*(x4 - (w1+w2+w2/2)) - (q1-q2)*(x4 - (w1+2*w2)).^2/2;

% Snitt 5
x5=linspace(w1+2*w2+w2/2, w1+3*w2,100);
V5=@(x5)Ra - G4 - Q2 - Q1 - (G2+G3)*x5 - q2*(x5-w1) - (q1-q2)*(x5 - (w1+2*w2));
M5=@(x5)Ma+Ra*x5 - (G2+G3)*(x5.^2)/2 - G4*(x5-w1) - q2*(x5-w1).^2/2 - ...
    Q2*(x5 - (w1+w2+w2/2)) - (q1-q2)*(x5 - (w1+2*w2)).^2/2 - ...
    Q1*(x5 - (w1+2*w2+w2/2));

% Snitt 6
x6=linspace(w1+3*w2, w1+5*w2,100);
V6=@(x6)Ra - G4 - Q2 - Q1 - (G2+G3)*x6 - q2*(x6-w1) - (q1-q2)*w2;
M6=@(x6)Ma+Ra*x6 - (G2+G3)*(x6.^2)/2 - G4*(x6-w1) - q2*(x6-w1).^2/2 - ...
    Q2*(x6 - (w1+w2+w2/2)) - Q1*(x6 - (w1+2*w2+w2/2)) - ...
    (q1-q2)*w2*(x6 - (w1+2*w2+w2/2));

% Snitt 7
x7=linspace(w1+5*w2, L ,100);
V7=@(x7)Ra - 2*G4 - Q2 - Q1 - (G2+G3)*x7 - q2*5*w2 - (q1-q2)*w2;
M7=@(x7)Ma+Ra*x7 - (G2+G3)*(x7.^2)/2 - G4*(x7-w1) - q2*5*w2*(x7 - (w1+2*w2+w2/2)) - ...
    Q2*(x7 - (w1+w2+w2/2)) - (q1-q2)*w2*(x7 - (w1+2*w2+w2/2)) - ...
    Q1*(x7 - (w1+2*w2+w2/2)) - G4*(x7 - (w1+5*w2));

x=[x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7];
V=[V1(x1) V2(x2) V3(x3) V4(x4) V5(x5) V6(x6) V7(x7)];

```

```

M=[M1(x1) M2(x2) M3(x3) M4(x4) M5(x5) M6(x6) M7(x7)];

Ra2=Ra;
Rb2=Rb;
MaxV2=max(abs(V));
MaxM2=max(abs(M));

% Plotta diagram
figure(2)
subplot(1,2,1)
plot(x, V)
title('Tvärkraftsdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

subplot(1,2,2)
plot(x,M)
title('Momentdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
axis ij

```

NEDBÖJNING

Plottar balkens deformationer i ett diagram

```

figure(6)
ex=[0 17];
plotpar=[2 1 0];
eldraw2(ex,ey,plotpar);
sfac=scalfact2(ex1,ey,Edb(1,:),0.2);

plotpar=[1 2 0];
eldisp2(ex1,ey,Edb(1,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex2,ey,Edb(2,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex3,ey,Edb(3,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex4,ey,Edb(4,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex5,ey,Edb(5,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex6,ey,Edb(6,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex7,ey,Edb(7,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex8,ey,Edb(8,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex9,ey,Edb(9,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex10,ey,Edb(10,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex11,ey,Edb(11,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex12,ey,Edb(12,:),plotpar,sfac);
title('Förskjutning, Lastfall med max moment och fritt upplagd');
axis([-0.5 17.5 -5 5]);
hold on
pltscalb2(sfac,[1e-2 0.5 2.5]);
ylabel('centimeter')
xlabel('meter')
hold off

```

```
Maxned2=max(abs(Edb(:,2)));  
end
```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
TVÄRSNITTSKONSTANTER	1
TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR	2
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	3
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	3
BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON	5
ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS	6
SNITTKRAFTER	7
NEDBÖJNING	9

```
function[MaxM4, MaxV4, Maxned4, Ra4, Rb4,Ra4_bruk, Rb4_bruk, Rau4, Rbu4,...
    Rau4_bruk, Rbu4_bruk, Ma4, Mb4]=TvarbalksnittDimVFri(G1, G2,...
    G3, G4, Q1, Q2, Q3, q1, q2, q3, q4, G1Bruk, G2Bruk, G3Bruk,...
    G4Bruk, Q1Bruk, Q2Bruk, Q3Bruk, q1Bruk, q2Bruk, q3Bruk, ...
    q4Bruk, hwt, twt, tft, bft)
```

```
%=====
% TvarbalksnittDimVFri: En funtionsfil som beräknar maximalt moment,      %
% maximal tvärkraft, maximal stödkraft samt maximalnedböjning för        %
% tvärbalken då trafiklasterna placeras i det lastfall som ger upphov till%
% maximal tvärkraft och tvärbalken beräknas som fritt upplagd i båda ändar.%
% Beräkningarna sker i två omgångar, första tar reda på stödkraft utan    %
% punktlasten orsakad av specialfordon (Q1), andra tar reda på stödkraft, %
% maximalt moment, maximal tvärkraft och maximal nedböjning medräknat    %
% punktlasten orsakad av specialfordonet. Stödreaktioner ges i både      %
% brukgräns och brottgräns, nedböjning i brukgräns och moment och      %
% tvärkraft i brottgräns.                                                %
%                                                                           %
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,         %
%                                                                           %
%                                                                           %
%                                                                           %
%                                                                           %
% Dimensionerande laster, samt dimensioner för tvärbalkar                %
% sätts in för att få ut Maximalt moment, maximal tvärkraft, stödreaktion %
% med och utan punktlast samt maximal nedböjning.                       %
%=====
```

TVÄRSNITTSKONSTANTER

```
% Area för tvärsnittet
A=2*hwt*twt+2*tft*bft;
```

```
% E-modul för stålet
E=210*10^9;
```

```
% Tröghetsmoment för tvärsnittet
I=2*((bft*tft^3)/12+tft*bft*(hwt/2+tft/2)^2+(tw*twt^3)/12);

% Balkens totala längd
L=17;

% Bredd utanför räcke
w1=1;

% Bredd lastfält
w2=3;

% Skapar en vektor med konstanter för tvärsnittet
ep=[E A I];
```

TOPOLOGIMATRIS, K-MATRIS, KRAFTVEKTOR OCH RANDVILLKOR

```
% Skapar en topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24
      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
      10 28 29 30 31 32 33
      11 31 32 33 34 35 36
      12 34 35 36 37 38 39];

% Styvhetsmatrix utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatrix utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 38 0];
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA UTAN PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(14)=-Q2; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q1+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q1+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(q2+G2+G3)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(q2+G2+G3)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5]; eq2b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4]; eq3b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5]; eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7]; eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5]; eq6b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex7=[8.5 10]; eq7b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex8=[10 11.5]; eq8b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13]; eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5]; eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16]; eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17]; eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```
% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
```

```

[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns utan punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rau4=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rbu4=r(38);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);
[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);

```

```
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för brukgräns utan punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rau4_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B utan punktlast från specialfordon
% (Brukgräns)
Rbu4_bruk=rb(38);
```

BESKRIVER LASTERNA SOM VERKAR PÅ TVÄRBALKARNA MED PUNKTLAST FRÅN SPECIALFORDON

```
% Styvhetsmatris utan värden, brottgräns
K=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brottgräns
f=zeros(39,1);

% Styvhetsmatris utan värden, brukgräns
Kb=zeros(39);

% Kraftvektor utan värden, brukgräns
fb=zeros(39,1);

% Brottgräns
% Punktlaster på balken
f(5)=-G4; f(8)=-Q1; f(14)=-Q2; f(35)=-G4;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1]; eq1=[0 -(G2+G3)];
ex2=[1 2.5]; eq2=[0 -(q1+G2+G3)];
ex3=[2.5 4]; eq3=[0 -(q1+G2+G3)];
ex4=[4 5.5]; eq4=[0 -(q2+G2+G3)];
ex5=[5.5 7]; eq5=[0 -(q2+G2+G3)];
ex6=[7 8.5]; eq6=[0 -(q2+G2+G3)];
ex7=[8.5 10]; eq7=[0 -(q2+G2+G3)];
ex8=[10 11.5]; eq8=[0 -(q2+G2+G3)];
ex9=[11.5 13]; eq9=[0 -(q2+G2+G3)];
ex10=[13 14.5]; eq10=[0 -(q2+G2+G3)];
ex11=[14.5 16]; eq11=[0 -(q2+G2+G3)];
ex12=[16 17]; eq12=[0 -(G2+G3)];
```

```

% Brukgräns
% Punktlaster på balken
fb(5)=-G4Bruk; fb(8)=-Q1Bruk; fb(14)=-Q2Bruk; fb(35)=-G4Bruk;

% Utbredda laster på balken
ey=[0 0];
ex1=[0 1];          eq1b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];
ex2=[1 2.5];        eq2b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex3=[2.5 4];         eq3b=[0 -(q1Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex4=[4 5.5];         eq4b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex5=[5.5 7];         eq5b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex6=[7 8.5];         eq6b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex7=[8.5 10];        eq7b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex8=[10 11.5];       eq8b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex9=[11.5 13];       eq9b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex10=[13 14.5];      eq10b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex11=[14.5 16];      eq11b=[0 -(q2Bruk+G2Bruk+G3Bruk)];
ex12=[16 17];        eq12b=[0 -(G2Bruk+G3Bruk)];

```

ASSEMBLERAR STYVHETSMATRIS

```

% Brottgräns
[Ke1, fe1]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1);
[Ke2, fe2]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2);
[Ke3, fe3]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3);
[Ke4, fe4]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4);
[Ke5, fe5]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5);
[Ke6, fe6]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6);
[Ke7, fe7]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7);
[Ke8, fe8]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8);
[Ke9, fe9]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9);
[Ke10, fe10]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10);
[Ke11, fe11]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11);
[Ke12, fe12]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12);

[K, f]=assem(Edof(1, :), K, Ke1, f, fe1);
[K, f]=assem(Edof(2, :), K, Ke2, f, fe2);
[K, f]=assem(Edof(3, :), K, Ke3, f, fe3);
[K, f]=assem(Edof(4, :), K, Ke4, f, fe4);
[K, f]=assem(Edof(5, :), K, Ke5, f, fe5);
[K, f]=assem(Edof(6, :), K, Ke6, f, fe6);
[K, f]=assem(Edof(7, :), K, Ke7, f, fe7);
[K, f]=assem(Edof(8, :), K, Ke8, f, fe8);
[K, f]=assem(Edof(9, :), K, Ke9, f, fe9);
[K, f]=assem(Edof(10, :), K, Ke10, f, fe10);
[K, f]=assem(Edof(11, :), K, Ke11, f, fe11);
[K, f]=assem(Edof(12, :), K, Ke12, f, fe12);

% Löser ekvationssystemet för brottgräns med punktlast från specialfordon
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Brukgräns
[Ke1b, fe1b]=beam2e(ex1, ey, ep, eq1b);

```

```

[Ke2b, fe2b]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2b);
[Ke3b, fe3b]=beam2e(ex3, ey, ep, eq3b);
[Ke4b, fe4b]=beam2e(ex4, ey, ep, eq4b);
[Ke5b, fe5b]=beam2e(ex5, ey, ep, eq5b);
[Ke6b, fe6b]=beam2e(ex6, ey, ep, eq6b);
[Ke7b, fe7b]=beam2e(ex7, ey, ep, eq7b);
[Ke8b, fe8b]=beam2e(ex8, ey, ep, eq8b);
[Ke9b, fe9b]=beam2e(ex9, ey, ep, eq9b);
[Ke10b, fe10b]=beam2e(ex10, ey, ep, eq10b);
[Ke11b, fe11b]=beam2e(ex11, ey, ep, eq11b);
[Ke12b, fe12b]=beam2e(ex12, ey, ep, eq12b);

[Kb, fb]=assem(Edof(1, :), Kb, Ke1b, fb, fe1b);
[Kb, fb]=assem(Edof(2, :), Kb, Ke2b, fb, fe2b);
[Kb, fb]=assem(Edof(3, :), Kb, Ke3b, fb, fe3b);
[Kb, fb]=assem(Edof(4, :), Kb, Ke4b, fb, fe4b);
[Kb, fb]=assem(Edof(5, :), Kb, Ke5b, fb, fe5b);
[Kb, fb]=assem(Edof(6, :), Kb, Ke6b, fb, fe6b);
[Kb, fb]=assem(Edof(7, :), Kb, Ke7b, fb, fe7b);
[Kb, fb]=assem(Edof(8, :), Kb, Ke8b, fb, fe8b);
[Kb, fb]=assem(Edof(9, :), Kb, Ke9b, fb, fe9b);
[Kb, fb]=assem(Edof(10, :), Kb, Ke10b, fb, fe10b);
[Kb, fb]=assem(Edof(11, :), Kb, Ke11b, fb, fe11b);
[Kb, fb]=assem(Edof(12, :), Kb, Ke12b, fb, fe12b);

% Löser ekvationssystemet för bruksgräns med punktlast från specialfordon
[ab, rb]=solveq(Kb, fb, bc);

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Ra4_bruk=rb(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Bruksgräns)
Rb4_bruk=rb(38);

% Tar fram elementförskjutningarna för balken
Edb=extract(Edof, ab);

```

SNITTKRAFTER

```

% Tar fram stödreaktion i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ra=r(2);

% Tar fram stödreaktion i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Rb=r(38);

% Tar fram stödmoment i stöd A med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Ma=-r(3);

```

```

% Tar fram stödmoment i stöd B med punktlast från specialfordon
% (Brottgräns)
Mb=r(39);
Ma4=Ma;
Mb4=Mb;

% Beräknar snittkrafter i tvärbalken för fallet där punktlast från
% specialfordon inkluderas

% Snitt 1
x1=linspace(0, w1,100);
V1=@(x1)Ra - (G2+G3)*x1;
M1=@(x1)Ma+Ra*x1 - (G2+G3)*(x1.^2)/2;

% Snitt 2
x2=linspace(w1, w1+w2/2,100);
V2=@(x2)Ra - G4 - (G2+G3)*x2 - q2*(x2-w1) - (q1-q2)*(x2-w1);
M2=@(x2)Ma+Ra*x2 - (G2+G3)*(x2.^2)/2 - G4*(x2-w1) - q2*(x2-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*(x2-w1).^2/2;

% Snitt 3
x3=linspace(w1+w2/2, w1+w2,100);
V3=@(x3)Ra - G4 - (G2+G3)*x3 - Q1 - q2*(x3-w1) - (q1-q2)*(x3-w1);
M3=@(x3)Ma+Ra*x3 - (G2+G3)*(x3.^2)/2 - G4*(x3-w1) - q2*(x3-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*(x3-w1).^2/2 - Q1*(x3-(w1+w2/2));

% Snitt 4
x4=linspace(w1+w2, w1+w2+w2/2,100);
V4=@(x4)Ra - G4 - (G2+G3)*x4 - Q1 - q2*(x4-w1) - (q1-q2)*w2;
M4=@(x4)Ma+Ra*x4 - (G2+G3)*(x4.^2)/2 - G4*(x4-w1) - q2*(x4-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*w2*(x4-(w1+w2/2)) - Q1*(x4-(w1+w2/2));

% Snitt 5
x5=linspace(w1+w2+w2/2, w1+5*w2,100);
V5=@(x5)Ra - G4 - Q1 - Q2 - (G2+G3)*x5 - q2*(x5-w1) - (q1-q2)*w2;
M5=@(x5)Ma+Ra*x5 - (G2+G3)*(x5.^2)/2 - G4*(x5-w1) - q2*(x5-1).^2/2 - ...
    (q1-q2)*w2*(x5-(w1+w2/2)) - Q1*(x5-(w1+w2/2)) - Q2*(x5-(w1+w2+w2/2));

% Snitt 6
x6=linspace(w1+5*w2, L,100);
V6=@(x6)Ra - 2*G4 - Q1 - Q2 - (G2+G3)*x6 - q2*5*w2 - (q1-q2)*w2;
M6=@(x6)Ma+Ra*x6 - (G2+G3)*(x6.^2)/2 - G4*(x6-w1) - ...
    q2*5*w2*(x6-(w1+2*w2+w2/2)) - (q1-q2)*w2*(x6-(w1+w2/2)) - ...
    Q1*(x6-(w1+w2/2)) - Q2*(x6-(w1+w2+w2/2)) - G4*(x6-(w1+5*w2));

x=[x1 x2 x3 x4 x5 x6];
V=[V1(x1) V2(x2) V3(x3) V4(x4) V5(x5) V6(x6)];
M=[M1(x1) M2(x2) M3(x3) M4(x4) M5(x5) M6(x6)];

Ra4=Ra;
Rb4=Rb;
MaxV4=max(abs(V));
MaxM4=max(abs(M));

```

```

% Plotta diagram
figure(4)
subplot(1,2,1)
plot(x, V)
title('Tvärkraftsdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

subplot(1,2,2)
plot(x,M)
title('Momentdiagram')
xlabel('Position [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
axis ij

```

NEDBÖJNING

Plottar balkens deformationer i ett diagram

```

figure(8)
ex=[0 17];
plotpar=[2 1 0];
eldraw2(ex,ey,plotpar);
sfac=scalfact2(ex1,ey,Edb(1,:),0.2);

plotpar=[1 2 0];
eldisp2(ex1,ey,Edb(1,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex2,ey,Edb(2,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex3,ey,Edb(3,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex4,ey,Edb(4,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex5,ey,Edb(5,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex6,ey,Edb(6,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex7,ey,Edb(7,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex8,ey,Edb(8,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex9,ey,Edb(9,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex10,ey,Edb(10,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex11,ey,Edb(11,:),plotpar,sfac);
eldisp2(ex12,ey,Edb(12,:),plotpar,sfac);
title('Förskjutning, Lastfall med max tvärkraft och fritt upplagd');
axis([-0.5 17.5 -5 5]);
hold on
pltscalb2(sfac,[1e-2 0.5 2.5]);
ylabel('centimeter')
xlabel('meter')
hold off

Maxned4=max(abs(Edb(:,2)));

end

```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
BERÄKNA KOORDINATER	1
ELEMENTEGENSKAPER	2
TOPOLOGI	3
STYVHETSMATRIS OCH LASTER	4
LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM	5
PLOTTNING	6
LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM	6

```
function[NMAXbagea, NMAXfbalka, VMAXbagea, VMAXfbalka, MMAXbagea, ...
        MMAXfbalka, Vaa, Haa, Vba]=systembrotta(Rm, Ru, hwb, twb, tfb, ...
        bfb, hwf, twf, tff, bff, Dstag)

%=====
% systembrott: En funktionsfil som skapar en Calfem-modell för bron i      %
% brottgräns samt beräknar och plottar nedböjning, normalkraft, tvärkraft %
% och moment. Alla hängare belastas med utbredd trafiklast.              %
%                                                                           %
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,         %
%                                                                           %
%                                                                           %
%                                                                           %
%=====

n= 26;                                % Antal noder
YG=1.35;
L= 100;                               % Brons längd [m]
H= 30;                                % Bågens pilhöjd [m]
R=(L^2+4*H^2)/(8*H);                 % Cirkelbågens radie [m]
alpha1= asin((L/2)/R);               % Vinkel mellan brotopp och landfäste [rad]
BL=(2*alpha1)/(2*pi)*2*R*pi;         % Båglängd [m]
del=L/(n-1);                         % Båglängd mellan två hängare [m]

                                     % Maximal kraft i hängare från tvärbalk [N]
Rr=Rm;                               % Hängarnas diameter [m]
Astag=(Dstag^2*pi)/4;               % Hängarnas tvärsnittsarea [m2]
Ds=78000;                           % Densitet för stål [N/m3]
Gstag=YG*Ds*Astag;                 % Hängarnas egentyngd [N/m]
```

BERÄKNA KOORDINATER

```
%-----Bågens koordinater-----%

% Skapar en vektor med bågens x-koordinater
for i=1:n;                            % Bågen går från nod 1 till nod n
    xcoord=del*(i-1);                 % Beräknar x-koordinat för
    xbage(i)=xcoord;
end
```

```

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xbage=[xbage(1:n-1)' xbage(2:n)'];

% Skapar en vektor med bågens y-koordinater
ybage=sqrt(R^2-(xbage-(L/2)).^2)+(H-R);

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ybage=[ybage(1:n-1)' ybage(2:n)'];

%-----Förstyvningsbalkens koordinater-----%

% Skapar en vektor med förstyvningsbalkens x-koordinater
xbalk=xbage;

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xbalk=[xbalk(1:n-1)' xbalk(2:n)'];

% Skapar en vektor med förstyvningsbalkens x-koordinater
ybalk=zeros(1,length(xbage));

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ybalk=[ybalk(1:n-1)' ybalk(2:n)'];

% Sätter ihop bågens och förstyvningsbalkens koordinater:
xsyst=[Xbage; Xbalk];
ysyst=[Ybage; Ybalk];

%-----Hängarnas koordinater-----%

% Skapar en vektor med Hängarnas x-koordinater
for i=1:n-2; % Det finns n-2 st hängare
    deltax=L/(n-1); % Avstånd mellan hängare
    xcoord=deltax*i; % Beräknar x-koordinat för varje hängare
    xstang(i)=xcoord; % Skapar vektor med hängarnas x-koordinater
end

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xstang=[xstang(1:n-2)' xstang(1:n-2)'];

% Skapar en vektor med y-koordinater för hängarnas övre ändar
yslut=sqrt(R^2-(xstang-(L/2)).^2)+(H-R);

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ystang=[ybalk(2:n-1)' yslut'];

```

ELEMENTEGENSKAPER

```

%-----Bågens egenskaper-----%

Eb=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Ab=2*hw*twb+2*bfb*tfb; % Bågens tvärsnittsarea [m2]
Gb=YG*Ds*Ab; % Bågens egentyngd [N/m]

```

```

% Bågens yttröghetsmoment kring y-axeln [m4]:
Iyb=2*(twb*hwb^3)/12+2*((bfb*tfb^3)/12+tfb*bfb*(hwb/2+tfb/2)^2);

% Bågens yttröghetsmoment kring z-axeln [m4]
Izb=2*(tfb*bfb^3)/12+2*((hwb*twb^3)/12+hwb*twb*(bfb-2*twb)/2+twb/2)^2);

epb=[Eb Ab Iyb]; % Vektor med bågens elementegenskaper

%-----Förstyvningsbalkens egenskaper-----%

Ef=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Af=2*hwf*twf+2*bff*tff; % Förstyvningsbalkens tvärsnittsarea [m2]
Gf=YG*Af*Ab;

% Förstyvningsbalkens yttröghetsmoment kring y-axeln [m4]:
Iyf=2*(twf*hwf^3)/12+2*((bff*tff^3)/12+tff*bff*(hwf/2+tff/2)^2);

% Förstyvningsbalkens yttröghetsmoment kring z-axeln [m4]:
Izf=2*(tff*bff^3)/12+2*((hwf*twf^3)/12+hwf*twf*(bff-2*twf)/2+twf/2)^2);

epf=[Ef Af Iyf]; % Vektor med förstyvningsbalkens egenskaper

%-----Hängarnas egenskaper-----%

Estag=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Astag=(Dstag^2*pi)/4; % Hängarnas tvärsnittsarea [m2]

epstag=[Estag Astag]; % Vektor med hängarnas egenskaper

```

TOPOLOGI

```

%-----Bågens topologi-----%
f=0;
for i=1:n-1
    Edofb(i,:)=[ i f+1 f+2 f+3 f+4 f+5 f+6];
    f=f+3;
end

%-----Förstyvningsbalkens topologi-----%
Edoff(1,:)=[n Edofb(1,2:4) f+4 f+5 f+6];
for i=n+1:2*n-3
    f=f+3;
    Edoff(i-n+1,:)=[i f+1 f+2 f+3 f+4 f+5 f+6];
end
Edoff(n-1,:)=[2*n-2 Edoff(n-2,5:7) Edofb(n-1,5:7)];

Edof=[Edofb; Edoff];

%-----Hängarnas topologi-----%
b=1;
for i=n*2-1:3*n-4
    Edofs(i-(n*2-2),:)= [i Edofb(b,5:6) Edoff(b,5:6)];

```

```

    b=b+1;
end

```

STYVHETSMATRIS OCH LASTER

Punktlast från specialfordon placeras i tur och ordning i varje hängare för att ta fram största moment, tvärkraft och normalkraft som kan uppkomma på bron.

```

k=n*3+2;
for i=1:n-2

K=zeros((n-1)*6);           % Fördimensionerar styvhetsmatris
f=zeros((n-1)*6,1);         % Fördimensionerar fkraftvektor
bc=[1 0; 2 0; n*3-1 0];     % Randvillkor för systemet

m=n*3+2;

% Placerar ut lasterna från hängarna i bågen:
for j=1:n-2
    Lstag=Ystang(j,2);       % Beräknar varje hängares längd
    f(m)=-Gstag*Lstag-Ru;    % Hängarnas egentynghet och
                             % reaktionskraft från tvärbalkar
    m=m+3;                   % Laster placeras i var 3:e frihetsgrad
end

% Placerar ut punktlasten
f(k)=f(k)-(Rr-Ru);
k=k+3;

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågen och assemblerar till den globala
% styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och system:
for j=1:n-1
    eqbage=[0 -Gb];          % Bågens egentynghet
    [Ke, fe]=beam2e(Xbage(j,:), Ybage(j,:), epb, eqbage);
    [K, f]=assem(Edofb(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för förtyvningsbalken och assemblerar till
% den globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-1
    eqbalk=[0 -Gf];          % Förstyvningsbalkens egentynghet
    [Ke, fe]=beam2e(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), epf, eqbalk);
    [K, f]=assem(Edoff(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för hängarna och assemblerar till den
% globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-2
    Ke=bar2e(Xstang(j,:), Ystang(j,:), epstag);
    K=assem(Edofs(j,:), K, Ke);
end

```

LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM

Löser ekvationssystem för att beräkna förskjutningar och reaktionskrafter

```
[a,r]=solveq(K,f,bc);

Ed=extract(Edof,a); % Tar fram elementförskjutningar
Eds=extract(Edofs,a);

for j=1:(n-1)

    % Beräknar snittkrafter:
    es1=beam2s(Xbage(j,:),Ybage(j,:),epb,Ed(j,:),eqbage,21);
    es2=beam2s(Xbalk(j,:),Ybalk(j,:),epf,Ed(j+n-1,:),eqbalk,21);
end

% Tar fram maximal normalkraft, tvärkraft, moment och stödreaktion i båge
% och förstyrningsbalk då trafiklast är placerad över hela bron och
% punktlast från specialfordon är placerad i en hängare
Nmaxbage(i)=max(abs(es1(:,1)));
Nmaxbalk(i)=max(abs(es2(:,1)));
Vmaxbage(i)=max(abs(es1(:,2)));
Vmaxbalk(i)=max(abs(es2(:,2)));
Mmaxbage(i)=max(abs(es1(:,3)));
Mmaxbalk(i)=max(abs(es2(:,3)));
Va(i)=r(2);
Ha(i)=r(1);
Vb(i)=r(77);

end

% Tar fram maximal normalkraft, tvärkraft, moment och stödreaktion i båge
% och förstyrningsbalk då punktlast är placerad i sitt värsta läge för
% respektive max.
NMAXbagea=max(Nmaxbage);
NMAXfbalka=max(Nmaxbalk);
VMAXbagea=max(Vmaxbage);
VMAXfbalka=max(Vmaxbalk);
MMAXbagea=max(Mmaxbage);
MMAXfbalka=max(Mmaxbalk);
Vaa=max(abs(Va));
Haa=max(abs(Ha));
Vba=max(abs(Vb));

% Tar reda på i vilken hängare punktlasten är placerad för att ge upphov
% till maximala krafter i båge och förstyrningsbalk
PplatsNbage=find(Nmaxbage==NMAXbagea);
PplatsNbalk=find(Nmaxbalk==NMAXfbalka);
PplatsVbage=find(Vmaxbage==VMAXbagea);
PplatsVbalk=find(Vmaxbalk==VMAXfbalka);
PplatsMbage=find(Mmaxbage==MMAXbagea);
PplatsMbalk=find(Mmaxbalk==MMAXfbalka);
```

PLOTTNING

Gör motsvarande steg som ovan med skillnad att då punktlasten ger upphov till max moment, tvärkraft och normalkraft plottas dess diagram upp.

```

k=n*3+2;
for i=1:n-2

K=zeros((n-1)*6);           % Fördimensionerar styvhetsmatris
f=zeros((n-1)*6,1);         % Fördimensionerar fkraftvektor
bc=[1 0; 2 0; n*3-1 0];     % Randvillkor

m=n*3+2;

for j=1:n-2
    Lstag=Ystang(j,2); % Beräknar varje hängares längd
    f(m)=-Gstag*Lstag-Ru; % Hängarnas egentygnd och
                        % reaktionskraft från tvärbalkar
    m=m+3;             % Laster placeras i var 3:e frihetsgrad
end

f(k)=f(k)-(Rr-Ru);
k=k+3;

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågen och assemblerar till den globala
% styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och system:
for j=1:n-1
    eqbage=[0 -Gb]; % Bågens egentygnd
    [Ke, fe]=beam2e(Xbage(j,:), Ybage(j,:), epb, eqbage);
    [K, f]=assem(Edofb(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för förtyvningsbalken och assemblerar till
% den globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-1
    eqbalk=[0 -Gf]; % Förstyvningsbalkens egentygnd
    [Ke, fe]=beam2e(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), epf, eqbalk);
    [K, f]=assem(Edoff(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för hängarna och assemblerar till den
% globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-2
    Ke=bar2e(Xstang(j,:), Ystang(j,:), epstag);
    K=assem(Edofs(j,:), K, Ke);
end

```

LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM

Löser ekvationssystem för att beräkna förskjutningar och reaktionskrafter

```

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

Ed=extract(Edof,a);
Eds=extract(Edofs,a);

for j=1:(n-1)

    % Beräknar snittkrafter:
    es1=beam2s(Xbage(j,:),Ybage(j,:),epb,Ed(j,:),eqbage,21);
    es2=beam2s(Xbalk(j,:),Ybalk(j,:),epf,Ed(j+n-1,:),eqbalk,21);
end

% PLOTTAR

% Beräknar snittkrafter och plottar bron
for j=1:(n-1)

    % Beräknar snittkrafter:
    es1=beam2s(Xbage(j,:),Ybage(j,:),epb,Ed(j,:),eqbage,21);
    es2=beam2s(Xbalk(j,:),Ybalk(j,:),epf,Ed(j+n-1,:),eqbalk,21);

% Plottar normalkraften:
if i==PplatsNbage
    figure(9)
    title('Normalkraft')
    xlabel('[m]')
    ylabel('[m]')
    plotpar=[2 1];
    sfac=scalfact2(Xbage(1,:),Ybage(1,:),es1(:,1),0.2);
    eldia2(Xbage(j,:), Ybage(j,:), es1(:,1), plotpar,sfac);
    eldia2(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), es2(:,1), plotpar,sfac);
end

plotpar=[2 1];

% Plotar tvärkraften:
if i==PplatsVbage
    figure(10)
    title('Tvärkraft')
    xlabel('[m]')
    ylabel('[m]')
    sfac=scalfact2(Xbage(1,:),Ybage(1,:),es1(:,2),0.2);
    eldia2(Xbage(j,:), Ybage(j,:), es1(:,2), plotpar,sfac);
    eldia2(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), es2(:,2), plotpar,sfac);
end

% Plottar momentet:
if i==PplatsMbage
    figure (11)
    title('Moment')
    xlabel('[m]')
    ylabel('[m]')
    sfac=scalfact2(Xbage(1,:),Ybage(1,:),es1(:,3),0.2);

```

```
        eldia2(Xbage(j,:), Ybage(j,:), es1(:,3), plotpar,sfac);  
        eldia2(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), es2(:,3), plotpar,sfac);  
    end  
  
end  
  
end  
  
    end
```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
BERÄKNA KOORDINATER	1
ELEMENTEGENSKAPER	2
TOPOLOGI	3
STYVHETSMATRIS OCH LASTER	4
LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM	5
PLOTTNING	6
LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM	7

```
function[NMAXbagev, NMAXfbalkv, VMAXbagev, VMAXfbalkv, MMAXbagev, ...
        MMAXfbalkv, Vav, Hav, Vbv]=systembrott(Rm, Ru, hwb, twb, tfb, ...
        bfb, hwf, twf, tff, bff, Dstag)

%=====
% systembrott: En funktionsfil som skapar en Calfem-modell för bron i      %
% brottgräns samt beräknar och plottar nedböjning, normalkraft, tvärkraft %
% och moment. Varannan hängare belastas med utbredd trafiklast.          %
%                                                                           %
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,         %
%                               Josefine Runebrant, Anton Stenseke,       %
%                               Maja Swerre och Petter Öhman              %
%=====

n= 26;                                % Antal noder
YG=1.35;
L= 100;                                % Brons längd [m]
H= 30;                                % Bågens pilhöjd [m]
R=(L^2+4*H^2)/(8*H);                  % Cirkelbågens radie [m]
alpha1= asin((L/2)/R);                 % Vinkel mellan brotopp och landfäste [rad]
BL=(2*alpha1)/(2*pi)*2*R*pi;           % Båglängd [m]
del=L/(n-1);                           % Båglängd mellan två hängare [m]

Rr=Rm;                                % Maximal kraft i hängare från tvärbalk [N]
Astag=(Dstag^2*pi)/4;                  % Hängarnas diameter [m]
Ds=78000;                              % Hängarnas tvärsnittsarea [m2]
Gstag=YG*Ds*Astag;                    % Densitet för stål [N/m3]
                                           % Hängarnas egentyngd [N/m]
```

BERÄKNA KOORDINATER

```
%-----Bågens koordinater-----%

% Skapar en vektor med bågens x-koordinater
for i=1:n;                             % Bågen går från nod 1 till nod n
    xcoord=del*(i-1);                  % Beräknar x-koordinat för
    xbage(i)=xcoord;
end
```

```

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xbage=[xbage(1:n-1)' xbage(2:n)'];

% Skapar en vektor med bågens y-koordinater
ybage=sqrt(R^2-(xbage-(L/2)).^2)+(H-R);

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ybage=[ybage(1:n-1)' ybage(2:n)'];

%-----Förstyvningsbalkens koordinater-----%

% Skapar en vektor med förstyvningsbalkens x-koordinater
xbalk=xbage;

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xbalk=[xbalk(1:n-1)' xbalk(2:n)'];

% Skapar en vektor med förstyvningsbalkens x-koordinater
ybalk=zeros(1,length(xbage));

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ybalk=[ybalk(1:n-1)' ybalk(2:n)'];

% Sätter ihop bågens och förstyvningsbalkens koordinater:
xsyst=[Xbage; Xbalk];
ysyst=[Ybage; Ybalk];

%-----Hängarnas koordinater-----%

% Skapar en vektor med Hängarnas x-koordinater
for i=1:n-2; % Det finns n-2 st hängare
    deltax=L/(n-1); % Avstånd mellan hängare
    xcoord=deltax*i; % Beräknar x-koordinat för varje hängare
    xstang(i)=xcoord; % Skapar vektor med hängarnas x-koordinater
end

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xstang=[xstang(1:n-2)' xstang(1:n-2)'];

% Skapar en vektor med y-koordinater för hängarnas övre ändar
yslut=sqrt(R^2-(xstang-(L/2)).^2)+(H-R);

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ystang=[ybalk(2:n-1)' yslut'];

```

ELEMENTEGENSKAPER

```

%-----Bågens egenskaper-----%

Eb=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Ab=2*hw*twb+2*bfb*tfb; % Bågens tvärsnittsarea [m2]
Gb=YG*Ds*Ab; % Bågens egentygnd [N/m]

```

```

% Bågens yttröghetsmoment kring y-axeln [m4]:
Iyb=2*(twb*hwf^3)/12+2*((bfb*tfb^3)/12+tfb*bfb*(hwf/2+tfb/2)^2);

% Bågens yttröghetsmoment kring z-axeln [m4]
Izb=2*(tfb*bfb^3)/12+2*((hwf*twb^3)/12+hwf*twb*((bfb-2*twb)/2+twb/2)^2);

epb=[Eb Ab Iyb]; % Vektor med bågens elementegenskaper

%-----Förstyvningsbalkens egenskaper-----%

Ef=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Af=2*hwf*twf+2*bff*fff; % Förstyvningsbalkens tvärsnittsarea [m2]
Gf=YG*Af*Ab;

% Förstyvningsbalkens yttröghetsmoment kring y-axeln [m4]:
Iyf=2*(twf*hwf^3)/12+2*((bff*fff^3)/12+fff*bff*(hwf/2+fff/2)^2);

% Förstyvningsbalkens yttröghetsmoment kring z-axeln [m4]:
Izf=2*(fff*bff^3)/12+2*((hwf*twf^3)/12+hwf*twf*((bff-2*twf)/2+twf/2)^2);

epf=[Ef Af Iyf]; % Vektor med förstyvningsbalkens egenskaper

%-----Hängarnas egenskaper-----%

Estag=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Astag=(Dstag^2*pi)/4; % Hängarnas tvärsnittsarea [m2]

epstag=[Estag Astag]; % Vektor med hängarnas egenskaper

```

TOPOLOGI

```

%-----Bågens topologi-----%
f=0;
for i=1:n-1
    Edofb(i,:)=[ i f+1 f+2 f+3 f+4 f+5 f+6];
    f=f+3;
end

%-----Förstyvningsbalkens topologi-----%
Edoff(1,:)=[n Edofb(1,2:4) f+4 f+5 f+6];
for i=n+1:2*n-3
    f=f+3;
    Edoff(i-n+1,:)=[i f+1 f+2 f+3 f+4 f+5 f+6];
end
Edoff(n-1,:)=[2*n-2 Edoff(n-2,5:7) Edofb(n-1,5:7)];

Edof=[Edofb; Edoff];

%-----Hängarnas topologi-----%
b=1;
for i=n*2-1:3*n-4
    Edofs(i-(n*2-2),:)= [i Edofb(b,5:6) Edoff(b,5:6)];
    b=b+1;
end

```

end

STYVHETSMATRIS OCH LASTER

Punktlast från specialfordon placeras i tur och ordning i varje hängare för att ta fram stösta moment, tvärkraft och normalkraft som kan uppkomma på bron.

```

k=n*3+2;
for i=1:n-2

K=zeros((n-1)*6);           % Fördimensionerar styvhetsmatris
f=zeros((n-1)*6,1);         % Fördimensionerar fkraftvektor
bc=[1 0; 2 0; n*3-1 0];     % Randvillkor för systemet

m=n*3+2;
% Placerar ut lasterna från hängarna i bågen:
for j=1:n-2
    Lstag=Ystang(j,2);       % Beräknar varje hängares längd
    f(m)=-Gstag*Lstag;       % Hängarnas egentyngd
    m=m+3;                   % Laster placeras i var 3:e frihetsgrad
end
% Reaktionskraft från tvärbalkar placeras i varannan hängare
m=n*3+2;
for j=1:2:n-2
    f(m)=f(m)-Ru;
    m=m+6;
end

% Placerar ut punktlasten
f(k)=f(k)-(Rr-Ru);
k=k+3;

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågen och assemblerar till den globala
% styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och system:
for j=1:n-1
    eqbage=[0 -Gb];          % Bågens egentyngd
    [Ke, fe]=beam2e(Xbage(j,:), Ybage(j,:), epb, eqbage);
    [K, f]=assem(Edofb(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för förtyvningsbalken och assemblerar till
% den globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-1
    eqbalk=[0 -Gf];          % Förstyvningsbalkens egentyngd
    [Ke, fe]=beam2e(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), epf, eqbalk);
    [K, f]=assem(Edoff(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för hängarna och assemblerar till den
% globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-2
    Ke=bar2e(Xstang(j,:), Ystang(j,:), epstag);

```

```

        K=assem(Edofs(j, :), K, Ke);
    end

```

LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM

Löser ekvationssystem för att beräkna förskjutningar och reaktionskrafter

```

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

Ed=extract(Edof, a);
Eds=extract(Edofs, a);

for j=1:(n-1)

    % Beräknar snittkrafter:
    es1=beam2s(Xbage(j, :), Ybage(j, :), epb, Ed(j, :), eqbage, 21);
    es2=beam2s(Xbalk(j, :), Ybalk(j, :), epf, Ed(j+n-1, :), eqbalk, 21);
end

% Tar fram maximal normalkraft, tvärkraft, moment och stödreaktion i båge
% och förstyrningsbalk då trafiklast är placerad över hela bron och
% punktlast från specialfordon är placerad i en hängare
Nmaxbage(i)=max(abs(es1(:, 1)));
Nmaxbalk(i)=max(abs(es2(:, 1)));
Vmaxbage(i)=max(abs(es1(:, 2)));
Vmaxbalk(i)=max(abs(es2(:, 2)));
Mmaxbage(i)=max(abs(es1(:, 3)));
Mmaxbalk(i)=max(abs(es2(:, 3)));
Va(i)=r(2);
Ha(i)=r(1);
Vb(i)=r(77);

end

% Tar fram maximal normalkraft, tvärkraft, moment och stödreaktion i båge
% och förstyrningsbalk då punktlast är placerad i sitt värsta läge för
% respektive max.
NMAXbagev=max(Nmaxbage);
NMAXfbalkv=max(Nmaxbalk);
VMAXbagev=max(Vmaxbage);
VMAXfbalkv=max(Vmaxbalk);
MMAXbagev=max(Mmaxbage);
MMAXfbalkv=max(Mmaxbalk);
Vav=max(abs(Va));
Hav=max(abs(Ha));
Vbv=max(abs(Vb));

% Tar reda på i vilken hängare punktlasten är placerad för att ge upphov
% till maximala krafter i båge och förstyrningsbalk
PplatsNbage=find(Nmaxbage==NMAXbagev);
PplatsNbalk=find(Nmaxbalk==NMAXfbalkv);
PplatsVbage=find(Vmaxbage==VMAXbagev);
PplatsVbalk=find(Vmaxbalk==VMAXfbalkv);
PplatsMbage=find(Mmaxbage==MMAXbagev);

```

```
PplatsMbalk=find(Mmaxbalk==MMAXfbalkv);
```

PLOTTNING

Gör motsvarande steg som ovan med skillnad att då punktlasten ger upphov till max moment, tvärkraft och normalkraft plottas dess diagram upp.

```
k=n*3+2;
for i=1:n-2

K=zeros((n-1)*6);           % Fördimensionerar styvhetsmatris
f=zeros((n-1)*6,1);         % Fördimensionerar fkraftvektor
bc=[1 0; 2 0; n*3-1 0];     % Randvillkor

m=n*3+2;

for j=1:n-2
    Lstag=Ystang(j,2);       % Beräknar varje hängares längd
    f(m)=-Gstag*Lstag;       % Hängarnas egentyngd och
                                % reaktionskraft från tvärbalkar
    m=m+3;                   % Laster placeras i var 3:e frihetsgrad
end
m=n*3+2;
for j=1:2:n-2
    f(m)=f(m)-Ru;
    m=m+6;
end

f(k)=f(k)-(Rr-Ru);
k=k+3;

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågen och assemblerar till den globala
% styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och system:
for j=1:n-1
    eqbage=[0 -Gb];          % Bågens egentyngd
    [Ke, fe]=beam2e(Xbage(j,:), Ybage(j,:), epb, eqbage);
    [K, f]=assem(Edofb(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för förtyvningsbalken och assemblerar till
% den globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-1
    eqbalk=[0 -Gf];          % Förstyvningsbalkens egentyngd
    [Ke, fe]=beam2e(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), epf, eqbalk);
    [K, f]=assem(Edoff(j,:), K, Ke, f, fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för hängarna och assemblerar till den
% globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-2
    Ke=bar2e(Xstang(j,:), Ystang(j,:), epstag);
    K=assem(Edofs(j,:), K, Ke);
```

end

LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM

Löser ekvationssystem för att beräkna förskjutningar och reaktionskrafter

```
[a,r]=solveq(K,f,bc);

Ed=extract(Edof,a);
Eds=extract(Edofs,a);

for j=1:(n-1)

    % Beräknar snittkrafter:
    es1=beam2s(Xbage(j,:),Ybage(j,:),epb,Ed(j,:),eqbage,21);
    es2=beam2s(Xbalk(j,:),Ybalk(j,:),epf,Ed(j+n-1,:),eqbalk,21);
end

% PLOTTAR

% Beräknar snittkrafter och plottar bron
for j=1:(n-1)

    % Beräknar snittkrafter:
    es1=beam2s(Xbage(j,:),Ybage(j,:),epb,Ed(j,:),eqbage,21);
    es2=beam2s(Xbalk(j,:),Ybalk(j,:),epf,Ed(j+n-1,:),eqbalk,21);

% Plottar normalkraften:
if i==PplatsNbage
    figure(12)
    title('Normalkraft')
    xlabel('[m]')
    ylabel('[m]')
    plotpar=[2 1];
    sfac=scalfact2(Xbage(1,:),Ybage(1,:),es1(:,1),0.2);
    eldia2(Xbage(j,:), Ybage(j,:), es1(:,1), plotpar,sfac);
    eldia2(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), es2(:,1), plotpar,sfac);
end

plotpar=[2 1];

% Plotar tvärkraften:
if i==PplatsVbage
    figure(13)
    title('Tvärkraft')
    xlabel('[m]')
    ylabel('[m]')
    sfac=scalfact2(Xbage(1,:),Ybage(1,:),es1(:,2),0.2);
    eldia2(Xbage(j,:), Ybage(j,:), es1(:,2), plotpar,sfac);
    eldia2(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), es2(:,2), plotpar,sfac);
end

% Plottar momentet:
```

```
if i==PplatsMbage
    figure (14)
    title('Moment')
    xlabel('[m]')
    ylabel('[m]')
    sfac=scalfact2(Xbage(1,:),Ybage(1,:),es1(:,3),0.2);
    eldia2(Xbage(j,:), Ybage(j,:), es1(:,3), plotpar,sfac);
    eldia2(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), es2(:,3), plotpar,sfac);
end

end

end

end
```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
BERÄKNA KOORDINATER	1
ELEMENTEGENSKAPER	2
TOPOLOGI	3
STYVHETSMATRIS OCH LASTER	4
LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM	4
PLOTTNING	5
PLOTTAR	5
LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM	6

```
function[Maxned] =systembruk1(Rm_bruk, Ru_bruk, hwb, twb, tfb, bfb, hwf,...
    twf, tff, bff, Dstag)

%=====
% systembruk1: En Funktionsfil som skapar en Calfem-modell för bron i
% bruksgräns och beräknar dess nedböjning och plottar denna
%
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,
%                               Josefine Runebrant, Anton Stenseke,
%                               Maja Swerre och Petter Öhman
%=====

n= 26;                % Antal noder
L= 100;               % Brons längd [m]
H= 30;               % Bågens pilhöjd [m]
R=(L^2+4*H^2)/(8*H); % Cirkelbågens radie [m]
alpha1= asin((L/2)/R); % Vinkel mellan brotopp och landfäste [rad]
BL=(2*alpha1)/(2*pi)*2*R*pi; % Båglängd [m]
del=L/(n-1);          % Båglängd mellan två hängare [m]

Rr=Rm_bruk;           % Maximal kraft i hängare från tvärbalk [N]
                        % med punktlast från specialfordon
Ru=Ru_bruk;           % Maximal kraft i hängare från tvärbalk [N]
                        % utan punktlast från specialfordon
Astag=(Dstag^2*pi)/4; % Hängarnas tvärsnittsarea [m2]
Ds=78000;             % Densitet för stål [N/m3]
Gstag=Ds*Astag;        % Hängarnas egentyngd [N/m]
```

BERÄKNA KOORDINATER

```
%-----Bågens koordinater-----%

% Skapar en vektor med bågens x-koordinater
for i=1:n;             % Bågen går från nod 1 till nod n
    xcoord=del*(i-1);  % Beräknar x-koordinat för
    xbase(i)=xcoord;
end
```

```

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xbage=[xbage(1:n-1)' xbage(2:n)'];

% Skapar en vektor med bågens y-koordinater
ybage=sqrt(R^2-(xbage-(L/2)).^2)+(H-R);

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ybage=[ybage(1:n-1)' ybage(2:n)'];

%-----Förstyvningsbalkens koordinater-----%

% Skapar en vektor med förstyvningsbalkens x-koordinater
xbalk=xbage;

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xbalk=[xbalk(1:n-1)' xbalk(2:n)'];

% Skapar en vektor med förstyvningsbalkens x-koordinater
ybalk=zeros(1,length(xbage));

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ybalk=[ybalk(1:n-1)' ybalk(2:n)'];

% Sätter ihop bågens och förstyvningsbalkens koordinater:
xsyst=[Xbage; Xbalk];
ysyst=[Ybage; Ybalk];

%-----Hängarnas koordinater-----%

% Skapar en vektor med Hängarnas x-koordinater
for i=1:n-2; % Det finns n-2 st hängare
    deltax=L/(n-1); % Avstånd mellan hängare
    xcoord=deltax*i; % Beräknar x-koordinat för varje hängare
    xstang(i)=xcoord; % Skapar vektor med hängarnas x-koordinater
end

% Skapar en matris med x-koordinater för varje elements båda noder
Xstang=[xstang(1:n-2)' xstang(1:n-2)'];

% Skapar en vektor med y-koordinater för hängarnas övre ändar
yslut=sqrt(R^2-(xstang-(L/2)).^2)+(H-R);

% Skapar en matris med y-koordinater för varje elements båda noder
Ystang=[ybalk(2:n-1)' yslut'];

```

ELEMENTEGENSKAPER

```

%-----Bågens egenskaper-----%

Eb=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Ab=2*hw*b*twb+2*bfb*tfb; % Bågens tvärsnittsarea [m2]
Gb=Ds*Ab; % Bågens egentyngd [N/m]

```

```

% Bågens yttröghetsmoment kring y-axeln [m4]:
Iyb=2*(twb*hwb^3)/12+2*((bfb*tfb^3)/12+tfb*bfb*(hwb/2+tfb/2)^2);

% Bågens yttröghetsmoment kring z-axeln [m4]
Izb=2*(tfb*bfb^3)/12+2*((hwb*twb^3)/12+hwb*twb*((bfb-2*twb)/2+twb/2)^2);

epb=[Eb Ab Iyb]; % Vektor med bågens elementegenskaper

%-----Förstyvningsbalkens egenskaper-----%

Ef=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Af=2*hwf*twf+2*bff*tff; % Förstyvningsbalkens tvärsnittsarea [m2]
Gf=Af*Ds;

% Förstyvningsbalkens yttröghetsmoment kring y-axeln [m4]:
Iyf=2*(twf*hwf^3)/12+2*((bff*tff^3)/12+tff*bff*(hwf/2+tff/2)^2);

% Förstyvningsbalkens yttröghetsmoment kring z-axeln [m4]:
Izf=2*(tff*bff^3)/12+2*((hwf*twf^3)/12+hwf*twf*((bff-2*twf)/2+twf/2)^2);

epf=[Ef Af Iyf]; % Vektor med förstyvningsbalkens egenskaper

%-----Hängarnas egenskaper-----%

Estag=210e9; % Stålets E-modul [Pa]
Astag=(Dstag^2*pi)/4; % Hängarnas tvärsnittsarea [m2]

epstag=[Estag Astag]; % Vektor med hängarnas egenskaper

```

TOPOLOGI

```

%-----Bågens topologi-----%
f=0;
for i=1:n-1
    Edofb(i,:)=[ i f+1 f+2 f+3 f+4 f+5 f+6];
    f=f+3;
end

%-----Förstyvningsbalkens topologi-----%
Edoff(1,:)=[n Edofb(1,2:4) f+4 f+5 f+6];
for i=n+1:2*n-3
    f=f+3;
    Edoff(i-n+1,:)=[i f+1 f+2 f+3 f+4 f+5 f+6];
end
Edoff(n-1,:)=[2*n-2 Edoff(n-2,5:7) Edofb(n-1,5:7)];

Edof=[Edofb; Edoff];

%-----Hängarnas topologi-----%
b=1;
for i=n*2-1:3*n-4
    Edofs(i-(n*2-2),:)= [i Edofb(b,5:6) Edoff(b,5:6)];

```

```

        b=b+1;
    end

```

STYVHETSMATRIS OCH LASTER

```

k=n*3+2;
for i=1:n-2

    K=zeros((n-1)*6);           % Fördimensionerar styvhetsmatris
    f=zeros((n-1)*6,1);         % Fördimensionerar fkraftvektor
    bc=[1 0; 2 0; n*3-1 0];     % Randvillkor för systemet

    m=n*3+2;
    % Placerar ut lasterna från hängarna i bågen:
    for j=1:n-2
        Lstag=Ystag(j,2);       % Beräknar varje hängares längd
        f(m)=-Gstag*Lstag-Ru;   % Hängarnas egentyngd och
                                % reaktionskraft från tvärbalkar
        m=m+3;                  % Laster placeras i var 3:e frihetsgrad
    end

    % Placerar ut punktlasten
    f(k)=f(k)-(Rr-Ru);
    k=k+3;

    % Skapar elementstyvhetsmatriser för bågen och assemblerar till den globala
    % styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och system:
    for j=1:n-1
        eqbage=[0 -Gb];         % Bågens egentyngd
        [Ke, fe]=beam2e(Xbage(j,:), Ybage(j,:), epb, eqbage);
        [K, f]=assem(Edofb(j,:), K, Ke, f, fe);
    end

    % Skapar elementstyvhetsmatriser för förtyvningsbalken och assemblerar till
    % den globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
    % system:
    for j=1:n-1
        eqbalk=[0 -Gf];         % Förstyvningsbalkens egentyngd
        [Ke, fe]=beam2e(Xbalk(j,:), Ybalk(j,:), epf, eqbalk);
        [K, f]=assem(Edoff(j,:), K, Ke, f, fe);
    end

    % Skapar elementstyvhetsmatriser för hängarna och assemblerar till den
    % globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
    % system:
    for j=1:n-2
        Ke=bar2e(Xstang(j,:), Ystang(j,:), epstag);
        K=assem(Edofs(j,:), K, Ke);
    end

```

LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM

Löser ekvationssystem för att beräkna förskjutningar och reaktionskrafter

```

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

Ed=extract(Edof,a);           % Tar fram elementförskjutningar
Eds=extract(Edofs,a);

MAXned(i)=max(a);

end

Maxned=max(MAXned);
Pplatsmaxned= find(MAXned==Maxned);

```

PLOTTNING

Gör motsvarande steg som ovan med skillnad att då punktlasten ger upphov till max nedböjning plottas dess diagram upp.

PLOTTAR

```

k=n*3+2;
for i=1:n-2

K=zeros((n-1)*6);           % Fördimensionerar styvhetsmatris
f=zeros((n-1)*6,1);         % Fördimensionerar fkraftvektor
bc=[1 0; 2 0; n*3-1 0];     % Randvillkor för systemet
m=n*3+2;

% Placerar ut lasterna från hängarna i bågen:
for j=1:n-2
    Lstag=Ystag(j,2);        % Beräknar varje hängares längd
    f(m)=-Gstag*Lstag-Ru;    % Hängarnas egentyingd och
                             % reaktionskraft från tvärbalkar
    m=m+3;                  % Laster placeras i var 3:e frihetsgrad
end

% Placerar ut punktlasten
f(k)=f(k)-(Rr-Ru);
k=k+3;

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågen och assemblerar till den globala
% styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och system:
for j=1:n-1
    eqbage=[0 -Gb];          % Bågens egentyingd
    [Ke,fe]=beam2e(Xbage(j,:),Ybage(j,:),epb,eqbage);
    [K,f]=assem(Edofb(j,:),K,Ke,f,fe);
end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för förtyvningsbalken och assemblerar till
% den globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
for j=1:n-1
    eqbalk=[0 -Gf];          % Förstyvningsbalkens egentyingd
    [Ke,fe]=beam2e(Xbalk(j,:),Ybalk(j,:),epf,eqbalk);

```

```

        [K, f]=assem(Edoff(j, :), K, Ke, f, fe);
    end

% Skapar elementstyvhetsmatriser för hängarna och assemblerar till den
% globala styvhetsmatrisen, samt tar fram kraftvektor för element och
% system:
    for j=1:n-2
        Ke=bar2e(Xstang(j, :), Ystang(j, :), epstag);
        K=assem(Edofs(j, :), K, Ke);
    end

```

LÖSNING AV EKVATIONSSYSTEM

Löser ekvationssystem för att beräkna förskjutningar och reaktionskrafter

```

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

Ed=extract(Edof, a); % Tar fram elementförskjutningar
Eds=extract(Edofs, a);

if i==Pplatsmaxned
    figure (15)
    title('Nedböjning bro bruksgräns')
    xlabel(' [m]')
    ylabel(' [m]')
    plotpar=[2 1 0];

% Plottar bron i odeformerat tillstånd
    for j=1:(n-1)
        eldraw2(Xbage(j, :), Ybage(j, :), plotpar);
        eldraw2(Xbalk(j, :), Ybalk(j, :), plotpar);
    end
    for j=1:n-2
        eldraw2(Xstang(j, :), Ystang(j, :), plotpar);
    end

    plotpar=[1 2 0];
    sfac=scalfact2(xsyst(10, :), ysyst(10, :), Ed(10, :), 0.2);

% Plottar bron i deformerat tillstånd
    for j=1:length(xsyst)
        eldisp2(xsyst(j, :), ysyst(j, :), Ed(j, :), plotpar, sfac);
    end
    for j=1:n-2
        eldisp2(Xstang(j, :), Ystang(j, :), Eds(j, :), plotpar, sfac);
    end
end

end

```

Published with MATLAB® R2013b

Table of Contents

.....	1
INDATA	1
FALL 1	2
STÖDMOMENT 1	4
FÄLTMOMENT 1	5
TVÄRKRAFT 1	5
FALL 2	6
STÖDMOMENT 2	8
FÄLTMOMENT 2	9
TVÄRKRAFT 2	9
FALL 3	10
STÖDMOMENT 3	12
FÄLTMOMENT 3	13
TVÄRKRAFT 3	13
FALL 4	14
STÖDMOMENT 4	16
FÄLTMOMENT 4	17
TVÄRKRAFT 4	17
SLUTLIGA BERÄKNINGAR	18
MAX FÄLTMOMENT	18
MAX TVÄRKRAFT	18
MAX STÖDMOMENT B	19
MAX STÖDMOMENT C	20
RITAR UPP RESULTATET	21

```
function[Mmaxplatta,Vmaxplatta]=DimBroplatta(G3,G4,Q1,q1,cc);
```

```
%=====
% Stodreaktioner: En funktionsfil som beräknar maximalt fält och          %
% stödmoment samt maximal tvärkraft för brobaneplatta i                %
% brottgränstillstånd. Beräkningar bygger på handberäkningar som      %
% redovisas i Mathcad, se Bilaga 9 s. 5-12.                             %
%                                                                       %
% Kandidatarbete Brogrupp A (50): Anna de Bourgh, Felicia Flink,       %
%                                                                       %
%                                                                       %
%                                                                       %
%=====
```

INDATA

```
format long
L=cc;                               %Längd mellan tvärbalkar [m]
G=(G3/L+G4/L);                     %Egentyngd
q=(q1/L);                           %Utbredd trafiklast
Q=Q1;                               %Trafiklast som punktlast
n=1000;                             %Antal iterationer
x1=linspace(0,L,n);                 %Punktlastens variation i ytterfack
x2=linspace(L,0,n);                 %Punktlastens variation i innerfack
```

FALL 1

```

%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
maxMe11=zeros(n,3);
maxMe12=zeros(n,3);
maxVe11=zeros(n,3);
maxVe12=zeros(n,3);
M1Bny=zeros(2,2);
M1Cny=zeros(2,2);

%Loopar ekvationer för fältmoment, stödmoment och tvärkraft där n är
%antalet olika sätt som punktlasten kan placeras på. För varje sätt
%punktlasten kan placeras på fås stödmoment och för varje
%punktlastplacering snittas balken n gånger för att beräkna fältmoment och
%tvärkraft.

for i=1:n;

    %Matrisekvation för moment B och moment C.
    A=L*[2/3 1/6; 1/6 2/3];
    B=[-(G+q)*(L^3)/24-G*(L^3)/24-Q*((x1(i))*L)/6*(1-((x1(i))^2)/L^2);
        -(G+q)*(L^3)/24-G*(L^3)/24];

    %Lös ut moment B och moment C i en vektor.
    M1=A\B;

    %Stödmomenten och punktlastens position i en matris.
    M1e=[M1(1) x1(i); M1(2) x1(i)];

    if abs(M1e(1))>abs(M1Bny(1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M1Bny=M1e; %momentet B av n möjliga, i
    end %nollmatrisenmatrisen.

    if abs(M1e(2,1))>abs(M1Cny(2,1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M1Cny=M1e; %momentet C av n möjliga, i
    end %nollmatrisenmatrisen.

    %Stödreaktion beroende av stödmoment B och C.
    RA=M1(1, :)/L+(G+q)*L/2+Q*x1(i)/L;
    RBv=-M1(1, :)/L+(G+q)*L/2+Q*(L-x1(i))/L;
    RBh=-M1(1, :)/L+M1(2, :)/L+G*L/2;
    RCv=M1(1, :)/L-M1(2, :)/L+G*L/2;
    RCh=-M1(2, :)/L+(G+q)*L/2;

    %----- SNITT 1.1 -----%

    %Definerar längden på snittet.
    y1=linspace(0, (L-x1(i)), n);

    %Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
    %(n st) och för n snitt av balkdelen.
    for k=1:n;

```

```

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.
M11(k)=[RA*y1(k)-(G+q)*(y1(k)^2)/2];
V11(k)=[RA-(G+q)*y1(k)];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me11(k,1:3)=[M11(k) y1(k) (L-x1(i))];
Ve11(k,1:3)=[V11(k) y1(k) (L-x1(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 1.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me11(:,1))> abs(min(Me11(:,1)));
    Me11max=max(Me11(:,1));
else Me11max=min(Me11(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M11maxpos=find((abs(Me11(:,1)))==(abs(Me11max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe11(i,1:3)=[Me11(M11maxpos(1),1); Me11(M11maxpos(1),2);
    Me11(M11maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 1.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve11(:,1))> abs(min(Ve11(:,1)));
    Ve11max=max(Ve11(:,1));
else Ve11max=min(Ve11(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdet samt vart punktlasten befinner sig.
V11maxpos=find((abs(Ve11(:,1)))==(abs(Ve11max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe11(i,1:3)=[Ve11(V11maxpos(1),1); Ve11(V11maxpos(1),2);
    Ve11(V11maxpos(1),3)]';

%----- SNITT 1.2 -----%

%Definerar längden på snittet.
y2=linspace((L-x1(i)),L,n);

%Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
%(n st) och för n snitt av balkdelen.

```

```

for k=1:n

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.
M12(k)=[RBv*(L-y2(k))+M1(1,:)-(G+q)*((L-y2(k))^2)/2];
V12(k)=[RBv-(G+q)*(L-y2(k))];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me12(k,1:3)=[M12(k) y2(k) (L-x1(i))];
Ve12(k,1:3)=[V12(k) y2(k) (L-x1(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 1.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me12(:,1))> abs(min(Me12(:,1)));
    Me12max=max(Me12(:,1));
else Me12max=min(Me12(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdet samt vart punktlasten befinner sig.
M12maxpos=find((abs(Me12(:,1)))==(abs(Me12max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe12(i,1:3)=[Me12(M12maxpos(1),1); Me12(M12maxpos(1),2);
    Me12(M12maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 1.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve12(:,1))> abs(min(Ve12(:,1)));
    Ve12max=max(Ve12(:,1));
else Ve12max=min(Ve12(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdet samt vart punktlasten befinner sig.
V12maxpos=find((abs(Ve12(:,1)))==(abs(Ve12max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe12(i,1:3)=[Ve12(V12maxpos(1),1); Ve12(V12maxpos(1),2);
    Ve12(V12maxpos(1),3)]';

end

%----- SLUT PÅ YTTRE LOOP -----%

```

STÖDMOMENT 1

```

%Maximala stödmoment.
M1Bmax=M1Bny;

```

```
M1Cmax=M1Cny;
```

FÄLTMOMENT 1

```
%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 1 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxMe11(:,1))> abs(min(maxMe11(:,1)));
    Me111max=max(maxMe11(:,1));
else Me111max=min((maxMe11(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
M111maxpos=find((abs(maxMe11(:,1)))==(abs(Me111max)));
FALLM11=maxMe11(M111maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av fältmomentet för snitt 2 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxMe12(:,1))> abs(min(maxMe12(:,1)));
    Me122max=max(maxMe12(:,1));
else Me122max=min((maxMe12(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
M122maxpos=find((abs(maxMe12(:,1)))==(abs(Me122max)));
FALLM12=maxMe12(M122maxpos(1),1:3);
```

TVÄRKRAFT 1

```
%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 1 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxVe11(:,1))> abs(min(maxVe11(:,1)));
    Ve111max=max(maxVe11(:,1));
else Ve111max=min((maxVe11(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
V111maxpos=find((abs(maxVe11(:,1)))==(abs(Ve111max)));
FALLV11=maxVe11(V111maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 2 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxVe12(:,1))> abs(min(maxVe12(:,1)));
    Ve122max=max(maxVe12(:,1));
else Ve122max=min((maxVe12(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
V122maxpos=find((abs(maxVe12(:,1)))==(abs(Ve122max)));
FALLV12=maxVe12(V122maxpos(1),1:3);

%----- SLUT PÅ FALL 1 -----%
```

FALL 2

```

%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
maxMe21=zeros(n,3);
maxMe22=zeros(n,3);
maxVe21=zeros(n,3);
maxVe22=zeros(n,3);
M2Bny=zeros(2,2);
M2Cny=zeros(2,2);

%Loopar ekvationer för fältmoment, stödmoment och tvärkraft där n är
%antalet olika sätt som punktlasten kan placeras på. För varje sätt
%punktlasten kan placeras på fås stödmoment och för varje
%punktlastplacering snittas balken n gånger för att beräkna fältmoment och
%tvärkraft.
for i=1:n;

    %Matrisekvation för moment B och moment C.
    A=L*[2/3 1/6; 1/6 2/3];
    B=[(-(G+q)*(L^3)/12-Q*(x1(i))*L/6)*(1-((x1(i))^2)/L^2));
        (-(G+q)*(L^3)/24-G*(L^3)/24)];

    %Lös ut moment B och moment C i en vektor.
    M2=A\B;

    %Stödmomenten och punktlastens position i en matris.
    M2e=[M2(1) x1(i); M2(2) x1(i)];

    if abs(M2e(1))>abs(M2Bny(1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M2Bny=M2e; %momentet B av n möjliga, i
    end %nollmatrisenmatrisen.

    if abs(M2e(2,1))>abs(M2Cny(2,1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M2Cny=M2e; %momentet C av n möjliga, i
    end %nollmatrisenmatrisen.

    %Stödreaktion beroende av stödmoment B och C.
    RA=M2(1, :)/L+(G+q)*L/2+Q*x1(i)/L;
    RBv=-M2(1, :)/L+(G+q)*L/2+Q*(L-x1(i))/L;
    RBh=-M2(1, :)/L+M2(2, :)/L+(G+q)*L/2;
    RCv=M2(1, :)/L-M2(2, :)/L+(G+q)*L/2;
    RCh=-M2(2, :)/L+G*L/2;

    %----- SNITT 2.1 -----%

    %Definerar längden på snittet.
    y1=linspace(0, (L-x1(i)), n);

    %Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
    %(n st) och för n snitt av balkdelen.
    for k=1:n;

        %Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.

```

```

M21(k)=[RA*y1(k)-(G+q)*(y1(k)^2)/2];
V21(k)=[RA-(G+q)*y1(k)];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me21(k,1:3)=[M21(k) y1(k) (L-x1(i))];
Ve21(k,1:3)=[V21(k) y1(k) (L-x1(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 2.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me21(:,1))> abs(min(Me21(:,1)));
    Me21max=max(Me21(:,1));
else Me21max=min(Me21(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M21maxpos=find((abs(Me21(:,1)))==(abs(Me21max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe21(i,1:3)=[Me21(M21maxpos(1),1); Me21(M21maxpos(1),2);
    Me21(M21maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 2.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve21(:,1))> abs(min(Ve21(:,1)));
    Ve21max=max(Ve21(:,1));
else Ve21max=min(Ve21(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
V21maxpos=find((abs(Ve21(:,1)))==(abs(Ve21max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe21(i,1:3)=[Ve21(V21maxpos(1),1); Ve21(V21maxpos(1),2);
    Ve21(V21maxpos(1),3)]';

%----- SNITT 2.2 -----%

%Definerar längden på snittet.
y2=linspace((L-x1(i)),L,n);

%Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
%(n st) och för n snitt av balkdelen.
for k=1:n

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.

```

```

M22(k)=[RBv*(L-y2(k))+M2(1,:)-(G+q)*((L-y2(k))^2)/2];
V22(k)=[RBv-(G+q)*(L-y2(k))];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me22(k,1:3)=[M22(k) y2(k) (L-x1(i))];
Ve22(k,1:3)=[V22(k) y2(k) (L-x1(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 2.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me22(:,1))> abs(min(Me22(:,1)));
    Me22max=max(Me22(:,1));
else Me22max=min(Me22(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M22maxpos=find((abs(Me22(:,1)))==(abs(Me22max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe22(i,1:3)=[Me22(M22maxpos(1),1); Me22(M22maxpos(1),2);
    Me22(M22maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 2.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve22(:,1))> abs(min(Ve22(:,1)));
    Ve22max=max(Ve22(:,1));
else Ve22max=min(Ve22(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
V22maxpos=find((abs(Ve22(:,1)))==(abs(Ve22max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe22(i,1:3)=[Ve22(V22maxpos(1),1); Ve22(V22maxpos(1),2);
    Ve22(V22maxpos(1),3)]';
end

%----- SLUT PÅ YTTRE LOOP -----%

```

STÖDMOMENT 2

```

%Maximala stödmoment.
M2Bmax=M2Bny;
M2Cmax=M2Cny;

```

FÄLTMOMENT 2

```

%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 1 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxMe21(:,1))> abs(min(maxMe21(:,1)));
    Me211max=max(maxMe21(:,1));
else Me211max=min((maxMe21(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
M211maxpos=find((abs(maxMe21(:,1)))==(abs(Me211max)));
FALLM21=maxMe21(M211maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 2 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxMe22(:,1))> abs(min(maxMe22(:,1)));
    Me222max=max(maxMe22(:,1));
else Me222max=min((maxMe22(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
M222maxpos=find((abs(maxMe22(:,1)))==(abs(Me222max)));
FALLM22=maxMe22(M222maxpos(1),1:3);

```

TVÄRKRAFT 2

```

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 1 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxVe21(:,1))> abs(min(maxVe21(:,1)));
    Ve211max=max(maxVe21(:,1));
else Ve211max=min((maxVe21(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
V211maxpos=find((abs(maxVe21(:,1)))==(abs(Ve211max)));
FALLV21=maxVe21(V211maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 2 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxVe22(:,1))> abs(min(maxVe22(:,1)));
    Ve222max=max(maxVe22(:,1));
else Ve222max=min((maxVe22(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
V222maxpos=find((abs(maxVe22(:,1)))==(abs(Ve222max)));
FALLV22=maxVe22(V222maxpos(1),1:3);

%----- SLUT PÅ FALL 2 -----%

```

FALL 3

```

%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
maxMe31=zeros(n,3);
maxMe33=zeros(n,3);
maxVe31=zeros(n,3);
maxVe32=zeros(n,3);
M3Bny=zeros(2,2);
M3Cny=zeros(2,2);

%Loopar ekvationer för fältmoment, stödmoment och tvärkraft där n är
%antalet olika sätt som punktlasten kan placeras på. För varje sätt
%punktlasten kan placeras på fås stödmoment och för varje
%punktlastplacering snittas balken n gånger för att beräkna fältmoment och
%tvärkraft.
for i=1:n;

    %Matrisekvation för moment B och moment C.
    A=L*[2/3 1/6; 1/6 2/3];
    B=[-(G+q)*(L^3)/12+Q*((x2(i)).*L)/6)*(1-((x2(i))^2)/L^2);
        (-(G+q)*(L^3)/24-G*(L^3)/24-Q*((L-x2(i))*L/6)*(1-((L-x2(i))^2)/L^2));

    %Lös ut moment B och moment C i en vektor.
    M3=A\B;

    %Stödmomenten och punktlastens position i en matris.
    M3e=[M3(1) 2*L-x2(i); M3(2) 2*L-x2(i)];

    if abs(M3e(1))>abs(M3Bny(1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M3Bny=M3e; %momentet B av n möjliga, i
    end %nollmatrisenmatrisen.

    if abs(M3e(2,1))>abs(M3Cny(2,1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M3Cny=M3e; %momentet C av n möjliga, i
    end %nollmatrisenmatrisen.

    %Stödreaktion beroende av stödmoment B och C.
    RA=M3(1,:)/L+(G+q)*L/2;
    RBv=-M3(1,:)/L+(G+q)*L/2;
    RBh=-M3(1,:)/L+M3(2,:)/L+Q*x2(i)/L+(G+q)*L/2;
    RCv=M3(1,:)/L-M3(2,:)/L+Q*(L-x2(i))/L+(G+q)*L/2;
    RCh=-M3(2,:)/L+G*L/2;

    %----- SNITT 3.1 -----%

    %Definerar längden på snittet.
    y1=linspace(L,(2*L-x2(i)),n);

    %Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
    %(n st) och för n snitt av balkdelen.
    for k=1:n;

```

```

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.
M31(k)=[RA*y1(k)+(RBh+RBv)*(y1(k)-L)-(G+q)*((y1(k))^2)/2];
V31(k)=[RBh-(G+q)*(y1(k))];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me31(k,1:3)=[M31(k) y1(k) (2*L-x2(i))];
Ve31(k,1:3)=[V31(k) y1(k) (2*L-x2(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 3.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me31(:,1))> abs(min(Me31(:,1)));
    Me31max=max(Me31(:,1));
else Me31max=min(Me31(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M31maxpos=find((abs(Me31(:,1)))==(abs(Me31max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe31(i,1:3)=[Me31(M31maxpos(1),1); Me31(M31maxpos(1),2);
    Me31(M31maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 3.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve31(:,1))> abs(min(Ve31(:,1)));
    Ve31max=max(Ve31(:,1));
else Ve31max=min(Ve31(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
V31maxpos=find((abs(Ve31(:,1)))==(abs(Ve31max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe31(i,1:3)=[Ve31(V31maxpos(1),1); Ve31(V31maxpos(1),2);
    Ve31(V31maxpos(1),3)]';

%----- SNITT 3.2 -----%

%Definerar längden på snittet.
y2=linspace((2*L-x2(i)),2*L,n);

%Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
%(n st) och för n snitt av balkdelen.
for k=1:n

```

```

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.
M32(k)=[M3(2,:)+RCv*(2*L-y2(k))-(G+q)*((2*L-y2(k))^2)/2];
V32(k)=[RCv-(G+q)*x2(i)];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me32(k,1:3)=[M32(k) y2(k) (2*L-x2(i))];
Ve32(k,1:3)=[V32(k) y2(k) (2*L-x2(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 3.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me32(:,1))> abs(min(Me32(:,1)));
    Me32max=max(Me32(:,1));
else Me32max=min(Me32(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M32maxpos=find((abs(Me32(:,1)))==(abs(Me32max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe32(i,1:3)=[Me32(M32maxpos(1),1); Me32(M32maxpos(1),2);
    Me32(M32maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 3.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve32(:,1))> abs(min(Ve32(:,1)));
    Ve32max=max(Ve32(:,1));
else Ve32max=min(Ve32(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
V32maxpos=find((abs(Ve32(:,1)))==(abs(Ve32max))));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe32(i,1:3)=[Ve32(V32maxpos(1),1); Ve32(V32maxpos(1),2);
    Ve32(V32maxpos(1),3)]';

end

%----- SLUT PÅ YTTRE LOOP -----%

```

STÖDMOMENT 3

```

%Maximala stödmoment.
M3Bmax=M3Bny;
M3Cmax=M3Cny;

```

FÄLTMOMENT 3

```

%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 1 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxMe31(:,1)) > abs(min(maxMe31(:,1)));
    Me311max=max(maxMe31(:,1));
else Me311max=min((maxMe31(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
M311maxpos=find((abs(maxMe31(:,1)))==(abs(Me311max)));
FALLM31=maxMe31(M311maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 2 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxMe32(:,1)) > abs(min(maxMe32(:,1)));
    Me322max=max(maxMe32(:,1));
else Me322max=min((maxMe32(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
M322maxpos=find((abs(maxMe32(:,1)))==(abs(Me322max)));
FALLM32=maxMe32(M322maxpos(1),1:3);

```

TVÄRKRAFT 3

```

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 1 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxVe31(:,1)) > abs(min(maxVe31(:,1)));
    Ve311max=max(maxVe31(:,1));
else Ve311max=min((maxVe31(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
V311maxpos=find((abs(maxVe31(:,1)))==(abs(Ve311max)));
FALLV31=maxVe31(V311maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 2 för alla
%punktlasterpositioner.
if max(maxVe32(:,1)) > abs(min(maxVe32(:,1)));
    Ve322max=max(maxVe32(:,1));
else Ve322max=min((maxVe32(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlaster befinner sig.
V322maxpos=find((abs(maxVe32(:,1)))==(abs(Ve322max)));
FALLV32=maxVe32(V322maxpos(1),1:3);

%----- SLUT PÅ FALL 3 -----%

```

FALL 4

```

%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
maxMe41=zeros(n,3);
maxMe42=zeros(n,3);
maxVe41=zeros(n,3);
maxVe42=zeros(n,3);
M4Bny=zeros(2,2);
M4Cny=zeros(2,2);

%Loopar ekvationer för fältmoment, stödmoment och tvärkraft där n är
%antalet olika sätt som punktlasten kan placeras på. För varje sätt
%punktlasten kan placeras på fås stödmoment och för varje
%punktlastplacering snittas balken n gånger för att beräkna fältmoment och
%tvärkraft.
for i=1:n;

    %Matrisekvation för moment B och moment C.
    A=L*[2/3 1/6; 1/6 2/3];
    B=[-(G+q)*(L^3)/12-Q*((x2(i).L)/6)*(1-(x2(i)^2)/L^2);
        -(G+q)*(L^3)/12-Q*((L-x2(i)).L/6)*(1-((L-x2(i))^2)/L^2))];

    %Lös ut moment B och moment C i en vektor.
    M4=A\B;

    %Stödmomenten och punktlastens position i en matris.
    M4e=[M4(1) 2*L-x2(i); M4(2) 2*L-x2(i)];

    if abs(M4e(1))>abs(M4Bny(1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M4Bny=M4e;                %momentet B av n möjliga, i
    end                            %nollmatrisenmatrisen.

    if abs(M4e(2,1))>abs(M4Cny(2,1)); %Kontrollerar och sätter in det största
        M4Cny=M4e;                %momentet C av n möjliga, i
    end                            %nollmatrisenmatrisen.

    %Stödreaktion beroende av stödmoment B och C.
    RA=M4(1, :)/L+(G+q)*L/2;
    RBv=-M4(1, :)/L+(G+q)*L/2;
    RBh=-M4(1, :)/L+M4(2, :)/L+(G+q)*L/2+Q*x2(i)/L;
    RCv=M4(1, :)/L-M4(2, :)/L+(G+q)*L/2+Q*(L-x2(i))/L;
    RCh=-M4(2, :)/L+(G+q)*L/2;
    RD=M4(2, :)/L+(G+q)*L/2;

    %----- SNITT 4.1 -----%

    %Definerar längden på snittet.
    y1=linspace(L, (2*L-x2(i)), n);

    %Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
    %(n st) och för n snitt av balkdelen.
    for k=1:n;

```

```

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.
M41(k)=[RA*y1(k)+(RBh+RBv)*(y1(k)-L)-(G+q)*((y1(k))^2)/2];
V41(k)=[RBh-(G+q)*(y1(k))];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me41(k,1:3)=[M41(k) y1(k) (2*L-x2(i))];
Ve41(k,1:3)=[V41(k) y1(k) (2*L-x2(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 4.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me41(:,1))> abs(min(Me41(:,1)));
    Me41max=max(Me41(:,1));
else Me41max=min(Me41(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M41maxpos=find((abs(Me41(:,1)))==(abs(Me41max)));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe41(i,1:3)=[Me41(M41maxpos(1),1); Me41(M41maxpos(1),2);
    Me41(M41maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 4.1 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve41(:,1))> abs(min(Ve41(:,1)));
    Ve41max=max(Ve41(:,1));
else Ve41max=min(Ve41(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
V41maxpos=find((abs(Ve41(:,1)))==(abs(Ve41max)));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe41(i,1:3)=[Ve41(V41maxpos(1),1); Ve41(V41maxpos(1),2);
    Ve41(V41maxpos(1),3)]';

%----- SNITT 4.2 -----%

%Definerar längden på snittet.
y2=linspace((2*L-x2(i)),2*L,n);

%Loopar ekvationer för stödmoment och tvärkraft för varje punktlast
%(n st) och för n snitt av balkdelen.
for k=1:n

```

```

%Räknar ut alla moment och tvärkrafter för n snitt.
M42(k)=[M4(2,:)+RCv*(2*L-y2(k))-(G+q)*((2*L-y2(k))^2)/2];
V42(k)=[RCv-(G+q)*(x2(i))];

%Ger n*3-matriser för alla moment och tvärkrafter samt dess
%position och punktlasten position. En matris per punktlastposition fås.
Me42(k,1:3)=[M42(k) y2(k) (2*L-x2(i))];
Ve42(k,1:3)=[V42(k) y2(k) (2*L-x2(i))];
end

%----- FÄLTMOMENT 4.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Me42(:,1))> abs(min(Me42(:,1)));
    Me42max=max(Me42(:,1));
else Me42max=min(Me42(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
M42maxpos=find((abs(Me42(:,1)))==(abs(Me42max)));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxMe42(i,1:3)=[Me42(M42maxpos(1),1); Me42(M42maxpos(1),2);
    Me42(M42maxpos(1),3)]';

%----- TVÄRKRAFT 4.2 -----%

%Bestämmer extremvärde för varje n*3-matris. Ett extremvärde per
%punktlastposition fås, alltså n st.
if max(Ve42(:,1))> abs(min(Ve42(:,1)));
    Ve42max=max(Ve42(:,1));
else Ve42max=min(Ve42(:,1));
end

%Hittar positionen för extremvärdena samt vart punktlasten befinner sig.
V42maxpos=find((abs(Ve42(:,1)))==(abs(Ve42max)));

%Placerar in extremvärdet och dess tillhörande positioner i
%en n*3 nollmatris.
maxVe42(i,1:3)=[Ve42(V42maxpos(1),1); Ve42(V42maxpos(1),2);
    Ve42(V42maxpos(1),3)]';
end

%----- SLUT PÅ YTTRE LOOP -----%

```

STÖDMOMENT 4

```

%Maximala stödmoment.
M4Bmax=M4Bny;
M4Cmax=M4Cny;

```

FÄLTMOMENT 4

```

%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 1 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxMe41(:,1))> abs(min(maxMe41(:,1)));
    Me411max=max(maxMe41(:,1));
else Me411max=min((maxMe41(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
M411maxpos=find((abs(maxMe41(:,1)))==(abs(Me411max)));
FALLM41=maxMe41(M411maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av fältmoment för snitt 2 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxMe42(:,1))> abs(min(maxMe42(:,1)));
    Me422max=max(maxMe42(:,1));
else Me422max=min((maxMe42(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
M422maxpos=find((abs(maxMe42(:,1)))==(abs(Me422max)));
FALLM42=maxMe42(M422maxpos(1),1:3);

```

TVÄRKRAFT 4

```

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 1 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxVe41(:,1))> abs(min(maxVe41(:,1)));
    Ve411max=max(maxVe41(:,1));
else Ve411max=min((maxVe41(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
V411maxpos=find((abs(maxVe41(:,1)))==(abs(Ve411max)));
FALLV41=maxVe41(V411maxpos(1),1:3);

%Bestämmer extremvärde av tvärkraft för snitt 2 för alla
%punktlastpositioner.
if max(maxVe42(:,1))> abs(min(maxVe42(:,1)));
    Ve422max=max(maxVe42(:,1));
else Ve422max=min((maxVe42(:,1)));
end

%Hittar positionen för extremvärde samt vart punktlasten befinner sig.
V422maxpos=find((abs(maxVe42(:,1)))==(abs(Ve422max)));
FALLV42=maxVe42(V422maxpos(1),1:3);

%----- SLUT PÅ FALL 4 -----%

```

SLUTLIGA BERÄKNINGAR

MAX FÄLTMOMENT

```
%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
MFallmaxnoll=zeros(9,4);

%Placerar in alla fallen och snittens extremvärden i en nollmatris, alltså
%2 snitt multiplicerat med 4 fall ger 8 extremvärden. Kolumn ett sparars
%för text.
MFallmaxnoll(2:9,2:4)=[FALLM11; FALLM12; FALLM21; FALLM22;
                       FALLM31; FALLM32; FALLM41; FALLM42];

%Bestämmer extremvärde av alla fallen och snittens extremvärden. Här fås
%sökt fältmoment, alltså ett värde (eller flera om de är lika).
if max(MFallmaxnoll(:,2))>abs(min(MFallmaxnoll(:,2)));
    TotmaxM=max(MFallmaxnoll(:,2));
else TotmaxM=min(MFallmaxnoll(:,2));
end

%Hittar positionen för extremvärdet och positionen för punktlasten.
TotmaxtotM=find((abs(MFallmaxnoll(:,2))-TotmaxM) <0.1));

%Gör om nollmatrisen med inplacerade extremvärden plus positioner till en
%textfil och skriver sedan in i kolumn ett vilket fall och snitt som hör
%till extremvärdena.
FallmaxM=num2cell(MFallmaxnoll);
FallmaxM{1,1}='FALL OCH SNITT';
FallmaxM{1,2}='MOMENT';
FallmaxM{1,3}='MOMENTPOS';
FallmaxM{1,4}='PUNKTLASTPOS';
FallmaxM{2,1}='FALL 1: SNITT 1';
FallmaxM{3,1}='FALL 1: SNITT 2';
FallmaxM{4,1}='FALL 2: SNITT 1';
FallmaxM{5,1}='FALL 2: SNITT 2';
FallmaxM{6,1}='FALL 3: SNITT 1';
FallmaxM{7,1}='FALL 3: SNITT 2';
FallmaxM{8,1}='FALL 4: SNITT 1';
FallmaxM{9,1}='FALL 4: SNITT 2';

%Hittar extremvärdet och dess position i textfilen.
Maxmomentpos=[FallmaxM(1,1:4); FallmaxM(TotmaxtotM,1:4)];

%Skriver ut extremvärdet och dess positioner som en icke-textfil.
Maxmoment=MFallmaxnoll(TotmaxtotM,2:4);
Mmaxplatta=TotmaxM;
```

MAX TVÄRKRAFT

```
%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
VFallmaxnoll=zeros(9,4);
```

```

%Placerar in alla fallen och snittens extremvärden i en nollmatris, alltså
%2 snitt multiplicerat med 4 fall ger 8 extremvärden. Kolumn ett sparars
%för text.
VFallmaxnoll(2:9,2:4)=[FALLV11; FALLV12; FALLV21; FALLV22;
                      FALLV31; FALLV32; FALLV41; FALLV42];

%Bestämmer extremvärde av alla fallen och snittens extremvärden. Här fås
%sökt tvärkraft, alltså ett värde (eller flera om de är lika).
if max(VFallmaxnoll(:,2))>abs(min(VFallmaxnoll(:,2)));
    TotmaxV=max(VFallmaxnoll(:,2));
else TotmaxV=min(VFallmaxnoll(:,2));
end

%Hittar positionen för extremvärdet och positionen för punktlasten.
TotmaxV=find((abs(VFallmaxnoll(:,2))-TotmaxV) < 0.1));

%Gör om nollmatrisen med inplacerade extremvärden plus positioner till en
%textfil och skriver sedan in i kolumn ett vilket fall och snitt som hör
%till extremvärdena.
FallmaxV=num2cell(VFallmaxnoll);
FallmaxV{1,1}='FALL OCH SNITT';
FallmaxV{1,2}='TVÄTKRAFT';
FallmaxV{1,3}='TVÄRKRAFTSPOS';
FallmaxV{1,4}='PUNKTLASTPOS';
FallmaxV{2,1}='FALL 1: SNITT 1';
FallmaxV{3,1}='FALL 1: SNITT 2';
FallmaxV{4,1}='FALL 2: SNITT 1';
FallmaxV{5,1}='FALL 2: SNITT 2';
FallmaxV{6,1}='FALL 3: SNITT 1';
FallmaxV{7,1}='FALL 3: SNITT 2';
FallmaxV{8,1}='FALL 4: SNITT 1';
FallmaxV{9,1}='FALL 4: SNITT 2';

%Hittar extremvärdet och dess position i textfilen.
Maxtvarkraftpos=[FallmaxV(1,1:4); FallmaxV(TotmaxV,1:4)];

%Skriver ut extremvärdet och dess positioner som en icke-textfil.
Maxtvarkraft=VFallmaxnoll(TotmaxV,2:4);
Vmaxplatta=TotmaxV;

```

MAX STÖDMOMENT B

```

%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
ABmaxnoll=zeros(9,3);

%Placerar in alla fallens extremvärden i en nollmatris.
ABmaxnoll(2:9,2:3)=[M1Bmax; M2Bmax; M3Bmax; M4Bmax];

%Förbereder en vektor med enbart extremvärdena för att kunna hitta största
%värdet.
ABmax=[ABmaxnoll(2,2) ABmaxnoll(4,2) ABmaxnoll(6,2) ABmaxnoll(8,2)];

```

```

%Bestämmer extremvärde av alla fallens extremvärden. Här fås
%sökt stödmoment, alltså ett värde (eller flera om de är lika).
if max(ABmax)> abs(min(ABmax));
    Bmax=max(ABmax);
else Bmax=min(ABmax);
end

%Hittar extremvärdet för stödmoment B och punktlastens positionen, här
%skrivs också tillhörande stödmoment C med.
Bmaxpos=find((abs(ABmaxnoll(:,2))==(abs(Bmax))));

%Gör om nollmatrisen med inplacerade extremvärden plus positioner till en
%textfil och skriver sedan in i kolumn ett vilket fall som hör
%till extremvärdena.
FallmaxB=num2cell(ABmaxnoll);
FallmaxB{1,1}='FALL';
FallmaxB{1,2}='MOMENT';
FallmaxB{1,3}='PUNKTLASTPOS';
FallmaxB{2,1}='FALL 1';
FallmaxB{3,1}='FALL 1';
FallmaxB{4,1}='FALL 2';
FallmaxB{5,1}='FALL 2';
FallmaxB{6,1}='FALL 3';
FallmaxB{7,1}='FALL 3';
FallmaxB{8,1}='FALL 4';
FallmaxB{9,1}='FALL 4';

%Hittar extremvärdet för stödmoment B samt tillhörande stödmoment C
%och dess positioner i textfilen.
maxStdmomentBpos=[FallmaxB(1,1:3); FallmaxB(Bmaxpos:(Bmaxpos+1),1:3)];

%Skriver ut extremvärdet för stödmoment B samt tillhörande stödmoment C
%och dess positioner som en icke-textfl.
maxStdmomentB=ABmaxnoll(Bmaxpos:(Bmaxpos+1),2:3);

```

MAX STÖDMOMENT C

```

%Nollmatriser som förbereds för extremvärden.
ACmaxnoll=zeros(9,3);

%Placerar in alla fallens extremvärden i en nollmatris.
ACmaxnoll(2:9,2:3)=[M1Cmax; M2Cmax; M3Cmax; M4Cmax];

%Förbereder en vektor med enbart extremvärdena för att kunna hitta största
%värdet.
ACmax=[ACmaxnoll(3,2) ACmaxnoll(5,2) ACmaxnoll(7,2) ACmaxnoll(9,2)];

%Bestämmer extremvärde av alla fallens extremvärden. Här fås
%sökt stödmoment, alltså ett värde (eller flera om de är lika).
if max(ACmax)> abs(min(ACmax));
    Cmax=max(ACmax);
else Cmax=min(ACmax);
end

```

```

%Hittar extremvärdet för stödmoment C och punktlastens positionen, här
%skrivs också tillhörande stödmoment B med.
Cmaxpos=find((abs(ACmaxnoll(:,2))==(abs(Cmax))));

%Gör om nollmatrisen med inplacerade extremvärden plus positioner till en
%textfil och skriver sedan in i kolumn ett vilket fall som hör
%till extremvärdena.
FallmaxC=num2cell(ACmaxnoll);
FallmaxC{1,1}='FALL';
FallmaxC{1,2}='MOMENT';
FallmaxC{1,3}='PUNKTLASTPOS';
FallmaxC{2,1}='FALL 1';
FallmaxC{3,1}='FALL 1';
FallmaxC{4,1}='FALL 2';
FallmaxC{5,1}='FALL 2';
FallmaxC{6,1}='FALL 3';
FallmaxC{7,1}='FALL 3';
FallmaxC{8,1}='FALL 4';
FallmaxC{9,1}='FALL 4';

%Hittar extremvärdet för stödmoment C samt tillhörande stödmoment B
%och dess positioner i textfilen.
maxStdmomentCpos=[FallmaxC(1,1:3); FallmaxC((Cmaxpos-1):Cmaxpos,1:3)];

%Skriver ut extremvärdet för stödmoment C samt tillhörande stödmoment B
%och dess positioner som en icke-textfil.
maxStdmomentC=ACmaxnoll((Cmaxpos-1):Cmaxpos,2:3);

```

RITAR UPP RESULTATET

```

%Plottar upp balken med stöd
for i=16:19

figure(i)
xlim([-0.5 12.5])
ylim([0 3])
hold on
plot([0 12],[1 1]);
plot([-0.1 0],[0.9 1]);
plot([0 0.1],[1 0.9])
plot([-0.1 0.1],[0.9 0.9])
plot([3.9 4.0],[0.9 1]);
plot([4.0 4.1],[1 0.9])

plot([3.9 4.1],[0.9 0.9])
plot([7.9 8.0],[0.9 1]);
plot([8.0 8.1],[1 0.9])
plot([7.9 8.1],[0.9 0.9])

plot([11.9 12.0],[0.9 1]);
plot([12.0 12.1],[1 0.9])
plot([11.9 12.1],[0.9 0.9])

```

```
text(4.8,0.5,'Innerfack','FontSize',16)
text(0.8,0.5,'Ytterfack','FontSize',16)
end
```

figure (16) %Maximalt fältmoment i balksystemet där punktlastens
 % position är utmarkerad.

```
a=[Maxmoment(1)*10^-3 Maxmoment(3)]; %Max fältmoment, punktlastposition.

title('Maximala fältmoment vid punktlasten i yttererfack','FontSize',12)
text(0.8*a(2),2,'Punktlast','FontSize',14)
text(0.8*a(2),1.8,['X=' num2str(a(2)) 'm.'])
text(a(2),1.3,'\downarrow')
text(4.3,1.5,['Maximala faltmomentet =' num2str(a(1)) 'kN.'],'color','b')
```

figure (17) %Maximal tvärkraft i balksystemet där punktlastens
 % position är utmarkerad.

```
b=[Maxtvarkraft(1)*10^-3 Maxtvarkraft(3)]; %Max tvärkraft, punktlastpos.
title('Maximal tvärkraft vid punktlasten i ytterfack','FontSize',12)
text(b(2),2,'Punktlast','FontSize',14)
text(b(2),1.8,['X=' num2str(b(2)) 'm.'])
text(b(2),1.3,'\downarrow')
text(2.5,1.7,['Maximal tvarkraft =' num2str(b(1)) 'kN'],'color','g')
text(2.5,1.5,['och sker vid punktlasten.'],'color','g')
```

figure(18) %Maximala stödmoment i balksystemet där punktlastens
 % position är utmarkerad.

```
c=[maxStdmomentB(1,1) maxStdmomentB(2,1) maxStdmomentB(1,2)]; %MB, MC,
                                     %punktpos.

title('Maximala stödmoment med punktlasten i ytterfacket','FontSize',12)
text(c(3),1.3,'\downarrow')
text(c(3),2,'Punktlast','FontSize',14)
text(c(3),1.8,['x=' num2str(c(3)) 'm.'])
text(3,1.5,['Mb=' num2str(c(1)*10^-3) 'kN.'],'color','r','FontSize',12)
text(6.7,1.5,['Mc=' num2str(c(2)*10^-3) 'kN.'],'color','r','FontSize',12)
```

figure(19) %Maximala stödmoment i balksystemet där punktlastens
 % position är utmarkerad

```
d=[maxStdmomentC(1,1) maxStdmomentC(2,1) maxStdmomentC(1,2)]; %MB, MC,
                                     %punktpos.

title('Maximala stödmoment med punktlasten i innerfacket','FontSize',12)
text(d(3),1.3,'\downarrow')
text(d(3),2,'Punktlast','FontSize',14)
text(d(3),1.8,['x=' num2str(d(3)) 'm.'])
text(3,1.5,['Mb=' num2str(d(1)*10^-3) 'kN.'],'color','r','FontSize',12)
```

```
text(6.7,1.5,['Mc=' num2str(d(2)*10^-3) 'kN.'], 'color','r','FontSize',12)  
end
```

Published with MATLAB® R2013b

BILAGA 8

Dimensionering av brodelar i Mathcad

INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGA 8

Dimensionering av brobaneplatta.....	1
Dimensionering av tvärbalkar inklusive svetsar.....	7
Dimensionering av hängare och dess infästningar.....	13
Dimensionering av båge.....	16
Dimensionering av förstyrningsbalk.....	24
Dimensionering av svetsar mellan förstyrningsbalk och båge.....	25
Dimensionering av förslitningslager.....	26

Dimensionering av brobaneplatta enligt Bärande konstruktioner del 1

Indata:

Koefficienter och faktorer:

$$\chi_{LT} := 1$$

Reduktionsfaktor map vippning

$$\gamma_{M1} := 1$$

Partialkoefficient map materialets hållfasthet

$$\eta := 1.2$$

Faktor som beaktar stålets töjningshårdnande

$$\kappa_t := 5.34$$

Bucklingskoefficient för balkar med tvärgående avstyvningar endast över upplag

Materialparametrar:

$$\rho_{stal} := 78000 \quad [kg/m^3]$$

Stålets densitet

$$\rho_{asf} := 23000 \quad [kg/m^3]$$

Asfaltens densitet

$$E := 210 \cdot 10^9 \quad [Pa]$$

Stålets E-modul

$$fy := 355 \quad [MPa]$$

Stålets flytgräns

Mått:

$$L := 3.4 \quad [m]$$

Längd mellan två tvärbalkars kanter

$$ha := 0.19 \quad [m]$$

$$b := 1 \quad [m]$$

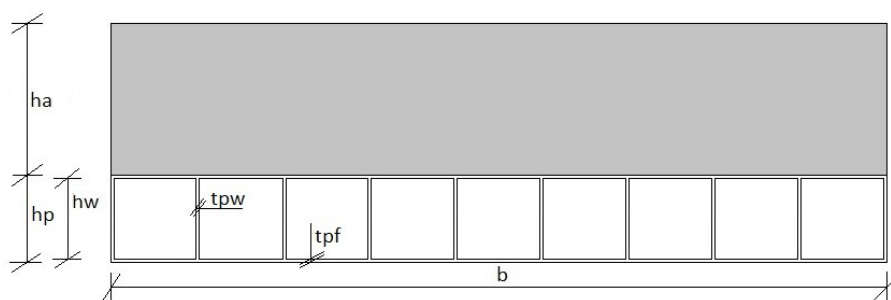
$$hp := 0.12 \quad [m]$$

$$tpf := 0.01 \quad [m]$$

$$tpw := 0.01 \quad [m]$$

$$hw := hp - 2 \cdot tpf = 0.1 \quad [m]$$

$$d := hp - 2 \cdot tpf \quad [m]$$



$$c := \frac{\left(\frac{b}{10} - tpw\right)}{2} = 0.045 \quad [m]$$

Dimensionerande laster från bilaga 7:

$$M_{Ed} := 0.88143 \cdot 10^6 \quad [Nm]$$

$$V_{Ed} := 0.85743 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Beräkning av tvärsnittsklass för liv respektive fläns enligt tabell S4.2 och S4.3 sid. S68-69

$$\varepsilon := \sqrt[2]{\frac{235}{f_y}} = 0.814 \quad \text{med } f_y \text{ i MPa}$$

För livet:

$$\frac{d}{tpw} = 10$$

Klass 1:

$$72 \cdot \varepsilon = 58.58$$

Klass 2:

$$83 \cdot \varepsilon = 67.53$$

Klass 3:

$$124 \cdot \varepsilon = 100.888$$

Ligger i klass 1!

För flänsen:

$$\frac{c}{tpf} = 4.5$$

Klass 1:

$$9 \cdot \varepsilon = 7.323$$

Klass 2:

$$10 \cdot \varepsilon = 8.136$$

Klass 3:

$$14 \cdot \varepsilon = 11.391$$

Ligger i klass 1!

Plastiskt böjmotstånd används därmed för att beräkna tvärsnittets momentkapacitet

$$W_{pl} := 17 \cdot \left(tpf \cdot b \cdot (tpf + hw) + 10 \cdot \frac{tpw \cdot hw^2}{4} \right) = 0.023 \text{ [m}^3 \text{]} \quad \begin{array}{l} \text{Gäller för klass 1 och 2} \\ \text{Ser det som en I-balk med} \\ \text{170 liv} \end{array}$$

$$M_{b.Rd} := \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y \cdot 10^6}{\gamma_{M1}} = 8.147 \cdot 10^6 \quad [\text{Nm}] \quad \text{Ekv (S4-41)}$$

$$M_{Ed} := 0.88143 \cdot 10^6 \text{ [Nm]}$$

Utifrån detta kan vi se att brobaneplattan klarar av att bära momentet

Beräkning av tvärkraftskapacitet med hänsyn tagen till buckling, $V_{bw,Rd}$

$$\lambda_w := \frac{\left(\frac{hw}{tpw} \right)}{\left(37.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt[2]{\kappa_t} \right)} = 0.142 \quad \text{Ekv (S5-21)}$$

Slankhetsgräns enligt tabell S5.1

$\eta := 1.2$

Styva ändavstyvningar

Veka ändavstyvningar

1:	$\frac{0.8}{\eta} = 0.667$	η	η
2:	$\frac{0.8}{\eta} < \lambda_w < 1.08$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$
3:	$\lambda_w > 1.08$	$\frac{1.37}{0.7 + \lambda_w}$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$

$$\chi_w := \eta$$

Kontrollerar hela brobanans tvärsnittskapacitet:

$$V_{bw,Rd} := \chi_w \cdot 170 \cdot hw \cdot tpw \cdot \frac{(fy \cdot 10^6)}{\sqrt[2]{3} \cdot \gamma_{M1}} = 4.181 \cdot 10^7 \quad [N] \quad \text{Ekv (S5-20)}$$

$$V_{Ed} := 0.85743 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Utifrån detta kan vi se att brobaneplattan klarar av att bära tvärkraften

Beräkning av flänsarnas momentkapacitet $M_{f,Rd}$

$$W_{pl,f} := 2 \cdot \left(t_{pf} \cdot b \cdot \left(\frac{hw}{2} + \frac{t_{pf}}{2} \right) \right) = 0.001 \quad [m^3] \quad \text{Ekv (S4-30)}$$

$$M_{f,Rd} := W_{pl,f} \cdot \frac{f_y \cdot 10^6}{\gamma_{M1}} = 3.905 \cdot 10^5 \quad [Nm] \quad \text{Ekv (S4-41)}$$

Kontroll av interaktion av moment och tvärkraft

Interaktion är nödvändig:

- om moment av yttre last kan bäras av enbartflänsarna, det vill säga $M_{ed} < M_{f,Rd}$ där $M_{f,Rd}$ är flänsarnas bidrag till tvärsnittets momentkapacitet
- Här förutsätts att $V_{ed} < V_{bw,Rd}$

Eller:

- om tvärkraften av yttre last V_{ed} inte överskrider 50% av balkens tvärkraftskapacitet $V_{bw,Rd}$

$$M_{Ed} := 0.88143 \cdot 10^6 \quad [Nm] \quad M_{f,Rd} = 3.905 \cdot 10^5 \quad [Nm]$$

$$V_{Ed} := 0.85743 \cdot 10^6 \quad [N] \quad V_{bw,Rd} = 4.181 \cdot 10^7 \quad [N]$$

$$0.5 \cdot V_{bw,Rd} = 2.091 \cdot 10^7$$

Interaktion ej nödvändig!

Beräkning av maximal nedböjning för brobaneplattan:

Dimensionerande laster i brukgränstillstånd enligt lastframtagning:

Axellast i den aktuella filen

$$Q1 := 405 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Utbredd fillast i den aktuella filen

$$q1 := 10.8 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

Egentyngd hos brobana samt förslitningslager

$$G3 := (tpw \cdot hw \cdot 10 + 2 \cdot b \cdot tpf) \cdot \rho_{stal} + ha \cdot b \cdot \rho_{asf} = 6.71 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

I för 1 m bred brobana

$$I := 10 \cdot \frac{tpw \cdot hw^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{b \cdot tpf^3}{12} + b \cdot tpf \cdot \left(\frac{hw}{2} + \frac{tpf}{2} \right)^2 \right) = 6.9 \cdot 10^{-5} [m^4]$$

Beräkning av nedböjning:

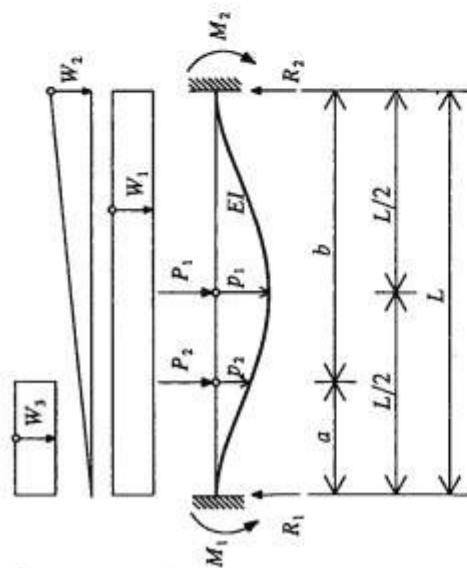
$$w := \frac{L^3 \cdot Q1}{192 \cdot E \cdot I} + \frac{(q1 + G3) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = 0.00614 \quad [m]$$

Enl elementarfall för fast inspänt element. Se nästa sida

Nedböjningskrav:

$$\frac{L}{400} = 0.009 \quad [m] \quad \text{Nedböjningen är OK!}$$

Elementarfall fast inspänning :



$F_1 = M_1$ och $F_2 = -M_2$ kallas för balkens fixmoment av lasterna $P_1, \dots, P_n$

Snittmomentet under P_1 av P_1 och W_1 är $\frac{P_1 L}{8} + \frac{W_1 L^2}{24}$

Snittmomentet under P_2 av P_2 är $\frac{2P_2 a^2 b^2}{L^3}$

$$C = \begin{cases} \frac{a^2 L}{48EI} \left(3 - \frac{4a}{L} \right) & \text{för } a \leq \frac{L}{2} \\ \frac{b^2 L}{48EI} \left(3 - \frac{4b}{L} \right) & \text{för } a \geq \frac{L}{2} \end{cases}$$

	P_1	P_2	W_1	W_2	W_3
$R_1 =$	$\frac{1}{2}$	$\frac{b^2}{L^2} \left(1 + \frac{2a}{L} \right)$	$\frac{L}{2}$	$\frac{3L}{20}$	$a \left(1 - \frac{a^2}{L^2} + \frac{a^3}{2L^3} \right)$
$R_2 =$	$\frac{1}{2}$	$\frac{a^2}{L^2} \left(1 + \frac{2b}{L} \right)$	$\frac{L}{2}$	$\frac{7L}{20}$	$a \left(\frac{a^2}{L^2} - \frac{a^3}{2L^3} \right)$
$M_1 =$	$\frac{L}{8}$	$\frac{ab^3}{L^2}$	$\frac{L^2}{12}$	$\frac{L^2}{30}$	$\frac{a^2}{12} \left(6 - \frac{8a}{L} + \frac{3a^2}{L^2} \right)$
$M_2 =$	$\frac{L}{8}$	$\frac{a^3 b}{L^2}$	$\frac{L^2}{12}$	$\frac{L^2}{20}$	$\frac{a^3}{12L} \left(4 - \frac{3a}{L} \right)$
$P_1 =$	$\frac{L^3}{192EI}$	C	$\frac{L^4}{384EI}$	$\frac{3L^4}{768EI}$	-
$P_2 =$	C	$\frac{a^3 b^3}{36EI L^3}$	$\frac{a^2 L^2}{24EI} \left(1 - \frac{a}{L} \right)^2$	$\frac{aL^3}{120EI} \left(\frac{2a}{L} - \frac{3a^2}{L^2} + \frac{a^4}{L^4} \right)$	-

Beräkningar utförda enligt Bärande konstruktioner del 1 och 2

Beräkning av tvärsnittsklass för tvärbalkarnas tvärsnitt:

Indata:

Koefficienter och faktorer:

$$\chi_{LT} := 1$$

Reduktionsfaktor map vippning

$$\gamma_{M1} := 1$$

Partialkoefficient map materialets hållfasthet

$$\eta := 1.2$$

Faktor som beaktar stålets töjningshårdnande

$$\kappa_t := 5.34$$

Bucklingskoefficient för balkar med tvärgående avstyvningar endast över upplag

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Partialkoefficient map materialets hållfasthet och deformationsförmåga

$$\beta_W := 0.9$$

Korrelationsfaktor som beror på grundmaterialets hållfasthet

Materialparametrar:

$$E := 210 \cdot 10^9 \quad [Pa]$$

Stålets E-modul

$$f_y := 355 \quad [MPa]$$

Stålets flytgräns

$$f_u := 510 \cdot 10^6 \quad [Pa]$$

Stålets brottgräns

Mått:

$$b_{ft} := 0.6 \quad [m]$$

$$h := 0.93 \quad [m]$$

$$t_{ft} := 0.04 \quad [m]$$

$$t_{wt} := 0.04 \quad [m]$$

$$a := 0.012 \quad [m]$$

Svetsens a-mått mot dragbandet

$$h_{wt} := h - 2 \cdot t_{ft} = 0.85 \quad [m]$$

$$d := b_{ft} - 2 \cdot t_{wt} = 0.52 \quad [m]$$

$$l_1 := b_{ft} = 0.6 \quad [m]$$

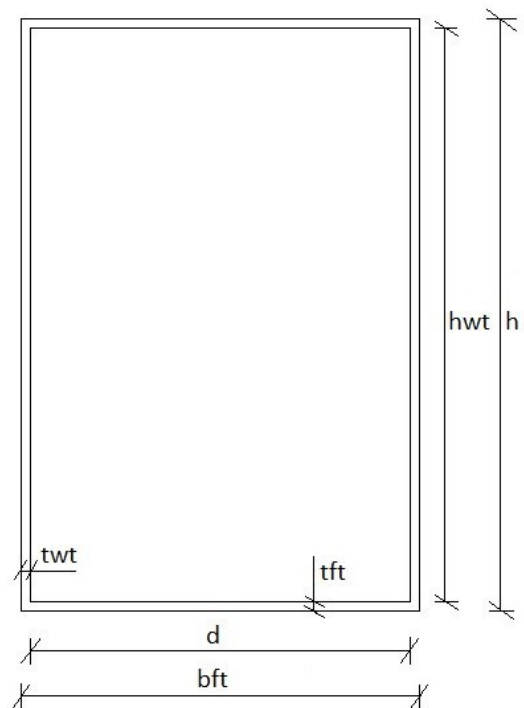
$$l_2 := h = 0.93 \quad [m]$$

Svetsarnas mått mot dragbandet

Dimensionerande laster från bilaga 7:

$$M_{Ed} := 6.7625 \cdot 10^6 \quad [Nm]$$

$$V_{Ed} := 1.5862 \cdot 10^6 \quad [N]$$



Beräkning av tvärsnittsklass enligt tabell S4.2 sid.68 :

$$\varepsilon := \sqrt[2]{\frac{235}{fy}} = 0.814 \quad \text{med } fy \text{ i MPa (gäller för båda)}$$

$$\frac{hwt}{twl} = 21.25$$

För livet:
(böjning)

Klass 1:

$$72 \cdot \varepsilon = 58.58$$

Klass 2:

$$83 \cdot \varepsilon = 67.53$$

Klass 3:

$$124 \cdot \varepsilon = 100.888$$

$$\frac{d}{tft} = 13$$

För flänsarna:
(tryck)

Klass 1:

$$33 \cdot \varepsilon = 26.849$$

Klass 2:

$$38 \cdot \varepsilon = 30.917$$

Klass 3:

$$42 \cdot \varepsilon = 34.172$$

Utifrån detta kan vi se att hela tvärsnittet ligger i klass 1.

Beräkning av hela tvärsnittets momentkapacitet $M_{b,Rd}$

$$W_{pl} := tft \cdot bft \cdot (tft + hwt) + \frac{twt \cdot hwt^2}{2} = 0.036 \quad [m^3]$$

$$M_{b,Rd} := \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{fy \cdot 10^6}{\gamma_{M1}} = 1.271 \cdot 10^7 \quad [Nm] \quad \text{Ekv (S4-41)}$$

$$M_{Ed} := 6.7625 \cdot 10^6 \quad [Nm]$$

Utifrån detta kan vi se att tvärbalken klarar avv att bära momentet

Beräkning av tvärkraftskapacitet med hänsyn tagen till buckling, $V_{bw,Rd}$

$$\lambda_w := \frac{\left(\frac{hwt}{twt}\right)}{\left(37.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt[2]{\kappa_t}\right)} = 0.302 \quad \text{Ekv (S5-21)}$$

Slankhetsgräns enligt tabell S5.1 sid.84

$$\eta := 1.2$$

Styva ändavstyvnngar

Veka ändavstyvnningar

1:	$\frac{0.8}{\eta} = 0.667$	η	η
2:	$\frac{0.8}{\eta} < \lambda_w < 1.08$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$
3:	$\lambda_w > 1.08$	$\frac{1.37}{0.7 + \lambda_w}$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$

$$\chi_w := \eta$$

$$V_{bw,Rd} := \chi_w \cdot 2 \cdot hwt \cdot twt \cdot \frac{(fy \cdot 10^6)}{\sqrt[2]{3} \cdot \gamma_{M1}} = 1.672 \cdot 10^7 \quad [N] \quad \text{Ekv (S5-20)}$$

$$V_{Ed} := 1.5862 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Utifrån detta kan vi se att tvärbalken klarar av att bära tvärkraften

Beräkning av flänsarnas momentkapacitet $M_{f,Rd}$

$$W_{pl,f} := 2 \cdot \left(t_{ft} \cdot b_{ft} \cdot \left(\frac{h_{wt}}{2} + \frac{t_{ft}}{2} \right) \right) = 0.021 \quad [m^3] \quad \text{Ekv (S4-30)}$$

$$M_{f,Rd} := W_{pl,f} \cdot \frac{f_y \cdot 10^6}{\gamma_{M1}} = 7.583 \cdot 10^6 \quad [Nm] \quad \text{Ekv (S4-41)}$$

Kontroll av interaktion av moment och tvärkraft

Interaktion är nödvändig:

- om moment av yttre last kan bäras av enbartflänsarna, det vill säga $M_{ed} < M_{f,Rd}$ där $M_{f,Rd}$ är flänsarnas bidrag till tvärsnittets momentkapacitet
- Här förutsätts att $V_{ed} < V_{bw,Rd}$

Eller:

- om tvärkraften av yttre last V_{ed} inte överskrider 50% av balkens tvärkraftskapacitet $V_{bw,Rd}$

$$M_{Ed} := 6.7625 \cdot 10^6 \quad [Nm] \quad M_{f,Rd} = 7.583 \cdot 10^6 \quad [Nm]$$

$$V_{Ed} := 1.5862 \cdot 10^6 \quad [N] \quad V_{bw,Rd} = 1.672 \cdot 10^7 \quad [N]$$

$$0.5 \cdot V_{bw,Rd} = 8.362 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Interaktion ej nödvändig!

Kontroll av svetsar: Det antas att all tvärkraft tas upp av liven och allt moment tas upp av flänsarna

Dimensionerande laster:

$$\begin{array}{ll} V := 1.5862 \cdot 10^6 & [N] \\ M := 4.1576 \cdot 10^6 & [Nm] \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Maximala krafter i tvärbalkens ända} \\ \text{hämtas från bilaga 7} \end{array}$$

Sökt kontroll:

$$\sqrt{\sigma_{90}^2 + 3 \cdot (\tau_{90}^2 + \tau_0^2)} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{Ekv (S9-12)}$$

och

$$\sigma_{90} \leq 0.9 \cdot \frac{fu}{\gamma_{M2}} \quad \text{Ekv (S9-13)}$$

Beräkning av spänningar i liv:

$$\tau_0 := \frac{V}{2 \cdot l_2 \cdot a} = 7.107 \cdot 10^7 \quad [Pa]$$

$$\sigma_{90} := 0 \quad [Pa]$$

$$\tau_{90} := \sigma_{90} \quad [Pa]$$

Beräkning av spänningar i fläns:

$$\tau_{0M} := 0 \quad [Pa]$$

$$\sigma_{90M} := \frac{\frac{M}{l_2}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot l_1 \cdot a} = 2.195 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\tau_{90M} := \sigma_{90M} \quad [Pa]$$

Kontroll:

$$\sqrt{\sigma_{90}^2 + 3 \cdot (\tau_{90}^2 + \tau_0^2)} = 1.231 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\sqrt{\sigma_{90M}^2 + 3 \cdot (\tau_{90M}^2 + \tau_{0M}^2)} = 4.39 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\sigma_{90} = 0 \quad [Pa]$$

$$\sigma_{90M} = 2.195 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\frac{f_u}{\beta_W \cdot \gamma_{M2}} = 4.533 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

OK!

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 3.672 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

OK!

Beräkning av tvärbalkarnas nedböjning:

Utförs med cal fem analys i matlab

Beräkningar utförda enligt Bärande konstruktioner del 2
Dimensionering av hängare:

$N_1 := 1.5862 \cdot 10^6$	$[N]$	Normalkraft i hängare från tvärbalkar och dess laster från bilaga 7. (Max tvärkraft är max upplagskraft)
$A_f := 0.12$	$[m^2]$	Tvärsnittsarea för förstärkningsbalken
$\rho_{stal} := 78000$	$\left[\frac{N}{m^3}\right]$	Stålets densitet
$cc := 4$	$[m]$	Centrumavstånd mellan tvärbalkar
$N_2 := A_f \cdot \rho_{stal} \cdot cc = 3.744 \cdot 10^4 [N]$ Normalkraft från förstärkningsbalkens egentyngd		

Normalkraft från hängarnas egentyngd försummas

$$N := N_1 + N_2 = 1.624 \cdot 10^6 \quad [N]$$

A Söks:

$f_y := 355 \cdot 10^6$	$[Pa]$	Stålets flytspänning
$\sigma := \frac{N}{A}$	$\sigma \leq f_y$	$=> A := \frac{N}{f_y} = 0.005$
		$=> r := \sqrt[2]{\frac{A}{\pi}} = 0.038$
		$[m]$

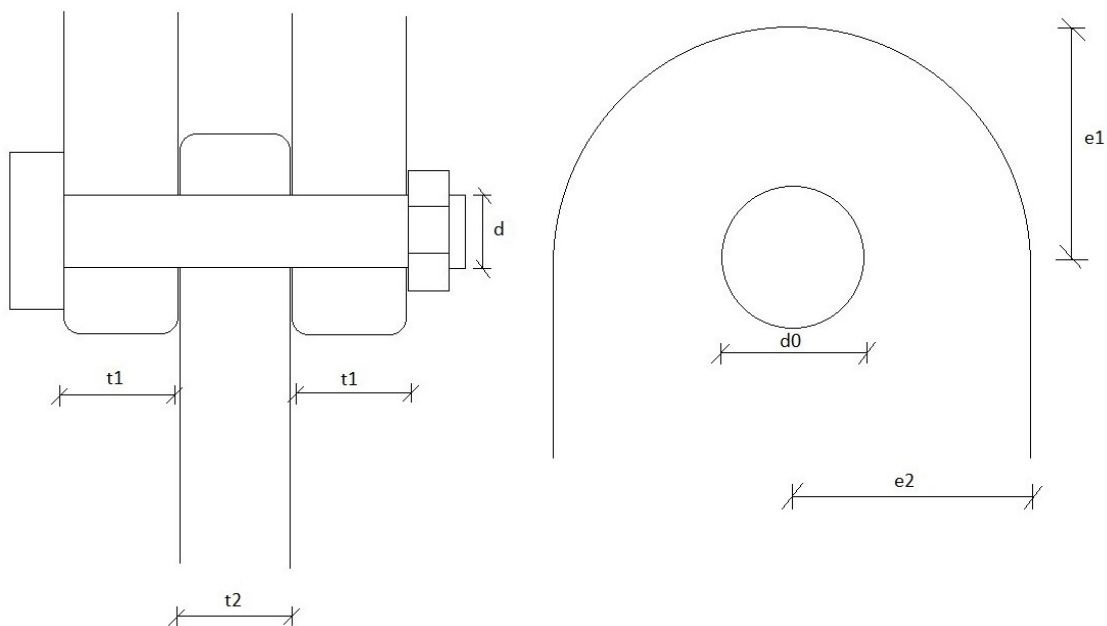
Detta ger att en diameter på 8cm väljs för hängarna

Beräkning av infästning till hängare

Indata:

Vald skruv: M48 10.9

$t_1 := 0.05$	[m]	Infästningsplattornas tjocklek enligt bild nedan
$t_2 := 0.05$	[m]	Upphångningsplattans tjocklek enligt bild nedan
$f_{ub} := 1000 \cdot 10^6$	[Pa]	Skruvens brotthållfasthet
$f_u := 510 \cdot 10^6$	[Pa]	Stålplattans brotthållfasthet
$\alpha_v := 0.6$		Reduktionsfaktor om skjuvsnittet går genom den gängade delen
$\gamma_{M2} := 1.25$		Är partialkoefficient med avseende på materialets hållfasthet och plastisk deformationsförmåga
$d := 0.048$	[m]	Skruvens diameter
$e1 := 0.12$	[m]	Avståndet mellan hålcentrum och kant i kraftens riktning.
$e2 := e1$	[m]	Avståndet mellan hålcentrum och kant vinkelrätt mot kraftens riktning.
$d0 := d + 0.003 = 0.051$	[m]	Hålets diameter enligt S8.2.5
$A := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0.002$	[m ²]	Skruvens area



Beräkning av bärförmåga enligt Eurokoderna

Brott mellan hål och kant på plåten (enda fallet som kan uppstå)

$$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad \text{Tar hänsyn till brottmod a enligt Figur S8.10}$$

$$\alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0.784 \quad \text{Reduktionsfaktor för brott mellan hål och kant}$$

$$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = 0.784 \quad (\text{S8-21})$$

Kontroll av kapacitet mot skjuvbrott i skruv

$$F_{v.Rd1} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 8.686 \cdot 10^5 \quad [N] \quad (\text{S8-20}) \quad \text{För ett skär}$$

$$F_{v.Rd} := 2 \cdot F_{v.Rd1} = 1.737 \cdot 10^6 \quad [N] \quad \text{För två skär}$$

Kontroll av kapacitet mot hålkantbrott i plåten:

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_2}{\gamma_{M2}} = 1.92 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (\text{S8-21})$$

$$N = 1.624 \cdot 10^6 \quad [N]$$

$$N < \min(F_{v.Rd}, F_{b.Rd}) \quad \Rightarrow \quad N < F_{b.Rd} \quad \text{OK! Infästningen håller}$$

Dimensionering av bågar efter moment-, tvärkrafts- och normalkraftskapacitet. Samt kontroll av knäckning. Beräkningar utförda enligt Bärande konstruktioner del 1 och 2

Indata:

Koefficienter och faktorer:

$$\chi := 1$$

Reduktionsfaktor map vippning

$$\gamma_{M0} := 1.1$$

Partialkoefficient

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

Partialkoefficient map materialets hållfasthet

$$\eta := 1.2$$

Faktor som beaktar stålets töjningshårdnande

$$\kappa_t := 5.34$$

Bucklingskoefficient för balkar med tvärgående avstyvningar endast över upplag

$$k_{yy} := 1.5$$

Interaktionsfaktor för moment och normalkraft vid knäckning

Materialparametrar:

$$f_y := 355 \cdot 10^6 \quad [Pa]$$

Stålets flytgräns

$$E := 210 \cdot 10^9 \quad [Pa]$$

Stålets E-modul

Mått:

$$bfb := 0.6 \quad [m]$$

$$tfb := 0.04 \quad [m]$$

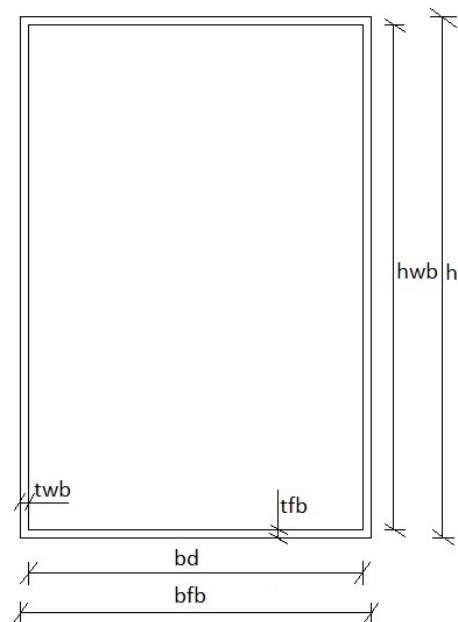
$$twb := 0.04 \quad [m]$$

$$bd := bfb - 2 \cdot twb = 0.52 \quad [m]$$

$$hwb := 1.1 \quad [m]$$

$$h := hwb + 2 \cdot tfb = 1.18 \quad [m]$$

$$d := hwb = 1.1 \quad [m]$$



Dimensionerande laster på bågen, från bilaga 7:

$$M_{Ed} := 7.3767 \cdot 10^6 \quad [Nm]$$

$$V_{Ed} := 1.5073 \cdot 10^6 \quad [N]$$

$$N_{c.Ed} := 1.5026 \cdot 10^7 \quad [N]$$

Beräkning av tvärsnittsklass för liv respektive fläns

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \cdot 10^6}{f_y}} = 0.814$$

För livet:
(böjning, tabell S4.2 sid. S68)

$$\frac{d}{twb} = 27.5$$

Klass 1:

$$72 \cdot \varepsilon = 58.58$$

Klass 2:

$$83 \cdot \varepsilon = 67.53$$

Klass 3:

$$124 \cdot \varepsilon = 100.888$$

För flänsarna:
(tryck, tabell S4.2 sid. S68)

$$\frac{bd}{tfb} = 13$$

Klass 1:

$$33 \cdot \varepsilon = 26.849$$

Klass 2:

$$38 \cdot \varepsilon = 30.917$$

Klass 3:

$$42 \cdot \varepsilon = 34.172$$

Utifrån detta kan vi se att hela tvärsnittet ligger i klass 1.

Beräkning och kontroll av momentkapacitet

$$I := 2 \cdot \frac{twb \cdot hwb^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{bfb \cdot tfb^3}{12} + bfb \cdot tfb \cdot \left(\frac{hwb}{2} + \frac{tfb}{2} \right)^2 \right) = 0.024 \quad [m^4]$$

$$W_{pl} := tfb \cdot bfb \cdot (tfb + hwb) + \frac{twb \cdot hwb^2}{2} = 0.052 \quad [m^3] \quad \text{klass 1 och 2}$$

$$W_{el} := \frac{I}{\left(\frac{h}{2} \right)} = 0.041 \quad [m^3] \quad \text{Klass 3}$$

$$M_{b.Rd} := \chi \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1.83 \cdot 10^7 \quad [Nm] \quad \text{Klass 1 och 2}$$

Ekv (S4-41)

$$M_{b.Rd3} := \chi \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1.473 \cdot 10^7 \quad [Nm] \quad \text{Klass 3}$$

$$M_{Ed} = 7.377 \cdot 10^6 \quad [Nm]$$

Utnyttjandegrad:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.403 < 1.0 \quad \text{OK, dvs bågen har tillräcklig momentkapacitet.}$$

Beräkning och kontroll av tvärkraftskapacitet

Finns risk för skjuvbuckling?

$$\kappa_t = 5.34$$

$$\eta = 1.2$$

$$\left(\frac{hwb \cdot \eta}{twb \cdot \varepsilon} \right) = 40.56 \quad < 72, \text{ dvs. ingen risk för skjuvbuckling} \quad \text{Ekv (S5-19)}$$

$V_{bw,rd}$:

$$V_{bw.Rd} := 2 \cdot \eta \cdot hwb \cdot twb \cdot \frac{f_y}{\sqrt[2]{3} \cdot \gamma_{M1}} = 2.164 \cdot 10^7 \quad [N] \quad \text{Ekv (S5-20)}$$

$$V_{Ed} = 1.507 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Utnyttjandegrad:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw.Rd}} = 0.07 \quad < 1.0 \quad \text{OK, dvs bågen har tillräcklig tvärkraftskapacitet.}$$

Kontroll av interaktion mellan moment och tvärkraft

Interaktionskontroll är ej nödvändig:

- om moment av yttre last kan bäras av enbart flänsarna, det vill säga $M_{ed} < M_{f,Rd}$ där $M_{f,Rd}$ är flänsarnas bidrag till tvärsnittets momentkapacitet
- Här förutsätts att $V_{ed} < V_{bw,Rd}$

Eller:

- om tvärkraften av yttre last V_{ed} inte överskrider 50% av balkens tvärkraftskapacitet $V_{bw,Rd}$

$$0.5 \cdot V_{bw,Rd} = 1.082 \cdot 10^7 \quad [N]$$

$$V_{Ed} = 1.507 \cdot 10^6 \quad [N]$$

$V_{Ed} < 50\%$ av $V_{bw,Rd}$ dvs. interaktion behöver inte kontrolleras.

Kontroll av bågens normalkraftskapacitet

$$f_y = 3.55 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$A := 2 \cdot b_{fb} \cdot t_{fb} + 2 \cdot h_{wb} \cdot t_{wb} = 0.136 \quad [m^2]$$

$$N_{c.Rd} := A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4.389 \cdot 10^7 \quad [N] \quad \text{Enligt EC 1993-1-1:2005 ekv (6-10)}$$

$$N_{c.Ed} = 1.503 \cdot 10^7 \quad [N]$$

Utnyttjandegrad:

$$\frac{N_{c.Ed}}{N_{c.Rd}} = 0.342 \quad < 1.0 \quad \text{OK, dvs bågen har tillräcklig normalkraftskapacitet}$$

Kontroll av knäckning Båge - profil

Beräkning med metod med knäckkurva enligt Eurokod 3 för stålpelare i tryck och böjning

$$\frac{N_{c.Ed}}{\chi \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + \frac{k_{yy} \cdot M_{Ed}}{M_{b.Rd}} < 1 \quad \text{Ekv (S5-20)}$$

$$\begin{aligned} E &= 2.1 \cdot 10^{11} & [Pa] & & k_{yy} &= 1.5 \\ f_y &= 3.55 \cdot 10^8 & [Pa] & & \gamma_{M1} &= 1 \end{aligned}$$

$$L_c := 7.569 \quad [m] \quad \text{Knäcklängd, den längsta längden mellan två hängare}$$

$$\alpha := 0.34 \quad \text{Imperfektionsfaktor för tvärsnitt i imperfektionsklass b enligt tabell S6.3}$$

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ekv (S6-11)}$$

$$A := 2 \cdot b_{fb} \cdot t_{fb} + 2 \cdot h_{wb} \cdot t_{wb} = 0.136 \quad [m^2]$$

$$I := 2 \cdot \frac{t_{wb} \cdot h_{wb}^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{b_{fb} \cdot t_{fb}^3}{12} + b_{fb} \cdot t_{fb} \cdot \left(\frac{h_{wb}}{2} + \frac{t_{fb}}{2} \right)^2 \right) = 0.024 \quad [m^4]$$

$$i = 0.424$$

$$\lambda := \frac{L_c}{i} = 17.842 \quad \text{Ekv (S6-10)}$$

$$\lambda_c := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.234 \quad \text{Ekv (S6-9)}$$

$$\phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_c - 0.2) + \lambda_c^2) = 0.533 \quad \text{Ekv (S6-8)}$$

$$\chi := \left(\frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_c^2}} \right) = 0.988 \quad \text{Ekv (S6-7)}$$

$$\frac{N_{c.Ed}}{\chi \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + \frac{k_{yy} \cdot M_{Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.919 < 1 \quad \text{OK, dvs bågen riskerar inte att knäcka i profil}$$

Kontroll av knäckning båge -plan

Beräkning av knäcklast enligt elasticitetsteori med Eulerfall.

Den största normalkraften som uppkommer används i alla fall för att vara på säkra sidan.

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2} \quad [N] \quad \text{Ekv (K2-5)}$$

$$N_{c.Ed} = 1.503 \cdot 10^7 \quad [N] \quad \text{Dimensionerande tryckande normalkraft}$$

$$BL := 122.4951 \quad [m] \quad \text{Båglängd}$$

Knäckning mellan bågens ände och första transversalen: ses som fast inspänd i ena änden och fri i andra

$$L := \frac{BL}{5} = 24.499 \quad [m] \quad \text{Första bågelementets längd}$$

$$l_0 := 0.7 \cdot L \quad [m] \quad \text{Knäcklängd}$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2} = 1.725 \cdot 10^8 \quad [N]$$

$$\frac{N_{c.Ed}}{N_B} = 0.087 \quad < 1.0 \text{ OK}$$

Knäckning mellan två transversaler: ses som fri i båda ändarna

$$L := \frac{BL}{5} = 24.499 \quad [m] \quad \text{Andra bågelementets längd}$$

$$l_0 := L \quad [m] \quad \text{Knäcklängd}$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2} = 8.452 \cdot 10^7 \quad [N]$$

$$\frac{N_{c.Ed}}{N_B} = 0.178 \quad < 1.0 \text{ OK}$$

I de två fallen är knäcklasten större än den dimensionerande normalkraften, vilket innebär att ingen risk för knäckning i plan föreligger.

Kontroll av dragkraftskapacitet förstyrningsbalk enligt Bärande konstruktioner del 1

Indata:

Materialparametrar:

$$f_y := 355 \cdot 10^6 \quad [Pa]$$

$$E := 210 \cdot 10^9 \quad [Pa]$$

Stålets flytgräns

Stålets E-modul

Mått:

$$bff := 0.5 \quad [m]$$

$$tff := 0.04 \quad [m]$$

$$twf := 0.04 \quad [m]$$

$$bd := bff - 2 \cdot twf = 0.42 \quad [m]$$

$$hwf := 1.0 \quad [m]$$

$$h := hwf + 2 \cdot tff = 1.08 \quad [m]$$

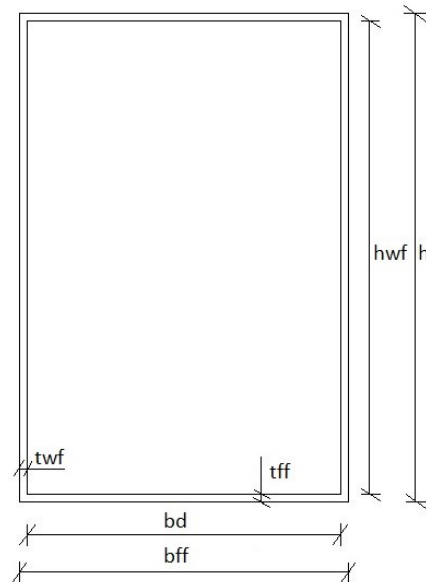
$$d := hwf = 1 \quad [m]$$

Kontroll av dragkraftskapacitet

$$A := 2 \cdot bff \cdot tff + 2 \cdot hwf \cdot twf = 0.12 \quad [m^2]$$

$$f_y = 3.55 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$N_{t.Rd} := A \cdot f_y = 4.26 \cdot 10^7 \quad [N]$$



Ekv (S3-2)

Dimensionerande lasteffekt: från bilaga 7

$$N_{t.Ed} := 9.1148 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Utnyttjandegrad:

$$\frac{N_{t.Ed}}{N_{t.Rd}} = 0.214 < 1.0$$

OK, dvs förstyrningsbalken har tillräcklig dragkraftskapacitet

Beräkningar utförda enligt Bärande konstruktioner del 2

Kontroll av svetsar mellan dragband och båge. Dragbandet svetsas in i bågen

Indata:

$$fu := 510 \cdot 10^6 \quad [Pa]$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$hwf := 1 \quad [m]$$

$$bff := 0.5 \quad [m]$$

$$a := 0.012 \quad [m]$$

$$N := 9.1140 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Stålets brottgräns

Partialkoefficient för materialets hållfasthet och deformationsförmåga

Korrelationsfaktor som beror på grundmaterialets hållfasthet

Förstyvningsbalkens höjd

Förstyvningsbalkens bredd

Svetsens a-mått

Normalkraft i dragbandet.

Hämtas från bilaga 7

Sökt kontroll:

$$\sqrt{\sigma_{90}^2 + 3 \cdot (\tau_{90}^2 + \tau_0^2)} \leq \frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{Ekv (S9.12)}$$

och

$$\sigma_{90} \leq 0.9 \cdot \frac{fu}{\gamma_{M2}} \quad \text{Ekv (S9.13)}$$

Beräkning av spänningar:

$$\sigma_{90} := \frac{N}{(2 \cdot hwf + 2 \cdot bff) \cdot \sqrt{2} \cdot a} = 1.79 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\tau_{90} := \sigma_{90} \quad [Pa]$$

$$\tau_0 := 0 \quad [Pa]$$

Kontroll:

$$\sqrt{\sigma_{90}^2 + 3 \cdot (\tau_{90}^2 + \tau_0^2)} = 3.58 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\sigma_{90} = 1.79 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

$$\frac{fu}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 4.533 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

OK!

$$0.9 \cdot \frac{fu}{\gamma_{M2}} = 3.672 \cdot 10^8 \quad [Pa]$$

OK!

Beräkning av förslitningslager :

Beräkning av ekvivalenta standardaxlar:

Indata från förutsättningar, se kapitel 2 avsnitt 2:

$A := 15$	Andel tunga fordon i %
$ADT_k := 44000$	Årsdygnstrafik
$k := \left(\frac{(60 - 44)}{15} - 1 \right) \cdot 100 = 6.667$	Antagen trafikförändring per år i %
$n := 100$	Avsedd teknisk livslängd i år

Ekvationer och tabeller enligt VÄG 94 (VV Publ. 1994:23), kapitel 3:

$B := 1.3$	Ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon
------------	---

$$N_{ekv} := ADT_k \cdot 3.65 \cdot A \cdot B \cdot \sum_j^n \left(1 + \frac{k}{100} \right)^j$$

Ekvivalent antal standardaxlar, ekvation från sida 12.

$$N_{ekv} := ADT_k \cdot 3.65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k} \right) \cdot \left(\left(1 + \frac{k}{100} \right)^n - 1 \right) = 3.178 \cdot 10^{10} \quad \text{om } k \neq 0 \text{ (} k=6.667 \text{)}$$

$$N_{ekv} := ADT_k \cdot 3.65 \cdot A \cdot B \cdot n \quad \text{om } k=0$$

$$N_{ekv} := 3.178 \cdot 10^{10} \Rightarrow \text{Trafikklass 7 (Tabell 3.4-1)} \Rightarrow \text{Bitumenöverbyggnad: Slitlager=40mm, Bärlager=150mm (Tabell 3.5-27)}$$

BILAGA 9

Övriga beräkningar i Mathcad

INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGA 9

Beräkning av brons egentyngd och bromskraft samt dimensionering av lager.....	1
Beräkning av vindlast.....	4
Förklaring till beräkningar i matlabfilen för brobaneplattan.....	5
Beräkning av brons längdutvidgning.....	13

Kraft i lager från brons egentyngd:

$$\gamma_{asf} := 23 \cdot 10^3 \left[\frac{N}{m^3} \right]$$

Förslitningslagrets tunghet

$$\gamma := 78 \cdot 10^3 \left[\frac{N}{m^3} \right]$$

stålets tunghet

Mått från förstyrningsbalk:

$$bff := 0.5$$

Flänsens bredd

$$hwf := 1.0$$

Livets höjd

$$twf := 0.04$$

Livets tjocklek

$$tff := 0.04$$

Flänsens tjocklek

Mått från bäge:

$$bfb := 0.6$$

Flänsens bredd

$$hwb := 1.1$$

Livets höjd

$$tfb := 0.04$$

Livets tjocklek

$$twb := 0.04$$

Flänsens tjocklek

Mått från brobanepatta:

$$B := 17$$

Brobanans bredd

$$ha := 0.19$$

Förslitningslagrets tjocklek

$$hpw := 0.1$$

Livets höjd

$$tpf := 0.01$$

Flänsens tjocklek

$$tpw := 0.01$$

Livets tjocklek

Mått på tvärbalkar:

$$bft := 0.6$$

Flänsens bredd

$$hwt := 0.85$$

Livets höjd

$$tft := 0.04$$

Livets tjocklek

$$twt := 0.04$$

Flänsens tjocklek

$$d := 0.08$$

Diameter på hängare

$$L := 100$$

brons längd

$$H := 30$$

bågens höjd

$$R := \left(\frac{L^2 + 4 \cdot H^2}{8 \cdot H} \right) = 56.667$$

Bågens radie

$$D := 123.854 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot R = 122.494$$

Bågens längd

$$l1 := \sqrt[2]{R^2 - \left(4 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 6.426$$

[m] De första 12 hängarnas längd.
Totalt 48 hängare som kan delas
in i 4 likadana delar

$$l2 := \sqrt[2]{R^2 - \left(8 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 11.374$$

[m]

$$l3 := \sqrt[2]{R^2 - \left(12 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 15.37 \quad [m]$$

$$l4 := \sqrt[2]{R^2 - \left(16 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 18.667 \quad [m]$$

$$l5 := \sqrt[2]{R^2 - \left(20 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 21.407 \quad [m]$$

$$l6 := \sqrt[2]{R^2 - \left(24 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 23.683 \quad [m]$$

$$l7 := \sqrt[2]{R^2 - \left(28 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 25.555 \quad [m]$$

$$l8 := \sqrt[2]{R^2 - \left(32 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 27.065 \quad [m]$$

$$l9 := \sqrt[2]{R^2 - \left(36 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 28.243 \quad [m]$$

$$l10 := \sqrt[2]{R^2 - \left(40 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 29.111 \quad [m]$$

$$l11 := \sqrt[2]{R^2 - \left(44 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 29.681 \quad [m]$$

$$l12 := \sqrt[2]{R^2 - \left(48 - \frac{L}{2}\right)^2} + (H - R) = 29.965 \quad [m]$$

$$ltot := l1 + l2 + l3 + l4 + l5 + l6 + l7 + l8 + l9 + l10 + l11 + l12 = 266.548 \quad [m]$$

$$Nf := (2 \cdot bff \cdot tff + 2 \cdot hwf \cdot twf) \cdot 100 \cdot 2 \cdot \gamma = 1.872 \cdot 10^6 \quad [N] \quad \text{Kraft från förstyrningsbalk}$$

$$Nb := (2 \cdot bfb \cdot tfb + 2 \cdot hwb \cdot twb) \cdot D \cdot 2 \cdot \gamma = 2.599 \cdot 10^6 \quad [N] \quad \text{Kraft från båge}$$

$$Np := (170 \cdot hpw \cdot tpf + B \cdot tpf \cdot 2) \cdot 100 \cdot \gamma = 3.978 \cdot 10^6 \quad [N] \quad \text{Kraft från blobaneplatta}$$

$$Na := (ha \cdot B \cdot L) \cdot \gamma_{asf} = 7.429 \cdot 10^6 \quad [N] \quad \text{Kraft från förslitningslager}$$

$$Nt := (2 \cdot bft \cdot tft + 2 \cdot hwt \cdot twt) \cdot B \cdot 26 \cdot \gamma = 3.999 \cdot 10^6 \quad [N] \quad \text{Kraft från tvärbalkar}$$

$$Nh := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot ltot \cdot 4 \cdot \gamma = 4.18 \cdot 10^5 \quad [N] \quad \text{Kraft från hängare}$$

$$Ntot := Nf + Nb + Np + Na + Nt + Nh = 2.03 \cdot 10^7 \quad [N] \quad \text{Total kraft}$$

$$N := \frac{Ntot}{4} = 5.074 \cdot 10^6 \quad \text{Vertikal kraft i varje lager från egentygnd}$$

Kraft i lager från bromskrafter enligt SS-EN 1991-2:2003:

Längs bron:

$\alpha_{Q1} := 0.9$	Anpassningsfaktor för axellast
$\alpha_{q1} := 0.8$	Anpassningsfaktor för utbredd last
$Q_{1k} := 600 \quad [kN]$	Axellast från lastfall 1
$q_{1k} := 9 \quad [kN]$	
$w_1 := 3 \quad [m]$	Bredd lastfält 1

$$Q_{lk} := 0.6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot 2 \cdot Q_{1k} + 0.1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 864 \quad [kN] \quad \text{Ekv. 4.6}$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{lk} \leq 900 \quad [kN]$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} = 162 \quad \text{OK!}$$

Tvärs bron:

$$Q_{f1} := 0.25 \cdot Q_{lk} = 216 \quad [kN]$$

Beräkning av vindlast enligt Eurocode SS-EN 1991-1-4:2005

Indata:

$$L := 100 \quad [m]$$

$$H := 30 \quad [m]$$

$$d := 5.31 \quad [m]$$

$$d_{tot} := 6.41 \quad [m]$$

$$b := 17 \quad [m]$$

$$v_b := 26 \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

Terrängtyp II: fält

$$\text{ger:} \quad q_p := 0.55 \quad [kPa]$$

$$R1 := \frac{L^2 + 4 \cdot H^2}{8 \cdot H} = 56.667 \quad [m]$$

$$R2 := R1 - 1.1 = 55.567 \quad [m]$$

$$\alpha := \arcsin\left(\frac{\frac{L}{2}}{R1}\right) \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = 61.928$$

$$A1 := \frac{2 \cdot \alpha}{360} \cdot \pi \cdot R1^2 = 3.471 \cdot 10^3 \quad [m^2]$$

$$A2 := \frac{2 \cdot \alpha}{360} \cdot \pi \cdot R2^2 = 3.337 \cdot 10^3 \quad [m^2]$$

$$A_{bage} := A1 - A2 = 133.437 \quad [m^2]$$

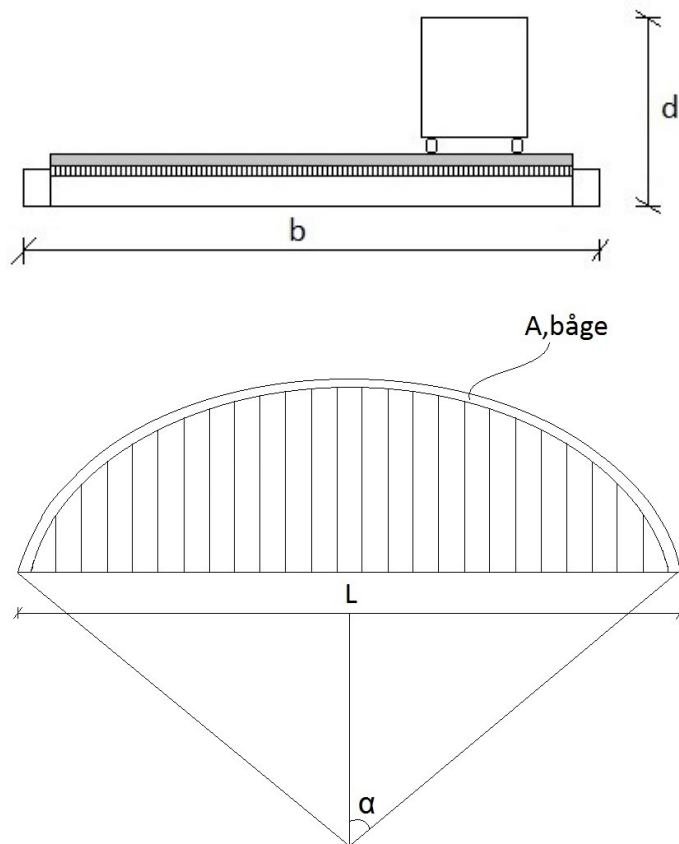
$$A_{ref} := d \cdot L + A_{bage} = 664.437 \quad [m^2]$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = 2.652 \quad 0.5 < \frac{b}{d_{tot}} < 5$$

$$c_f := 2.56 - 0.311 \cdot \frac{b}{d_{tot}} = 1.735$$

$$F_w := c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 634.11 \quad [kN]$$

Enligt uttryck 8.2 SS-EN 1991 1-4:2005



Förberedande beräkning av moment och tvärkraft för brobaneplatta:

X beskriver vart på balken punktlasten befinner sig, varje spann är 4 meter. X definieras på två olika sätt beroende på fall. För fall 1 och 2 gäller X_1 och för fall 3 och 4 gäller X_2 .

$$L := 4$$

$$0 < X_1 < L$$

$$L < X_2 < 0$$

$$i := 1000$$

i är antalet sätt som punktlasten placeras på på balken.

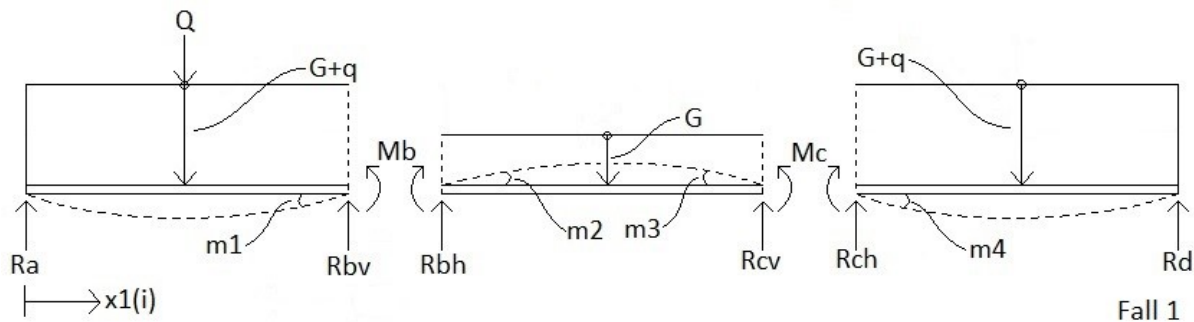
Q=punktlast

G=egentygd

q=utbreddlast

Använder vinkeländringsmetoden och elementarfall för att ta fram stödmoment:

Fall 1:



$$m_1 := M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + (G + q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI} + Q \cdot X_1(i) \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} \cdot \left(1 - \frac{X_1(i)^2}{L^2} \right)$$

$$m_2 := -M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - M_C \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} - G \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_3 := -M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - M_B \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} - G \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_4 := M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + (G + q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_1 := m_2 \quad (1) \quad m_3 := m_4 \quad (2) \quad \text{M.h.a symmetri}$$

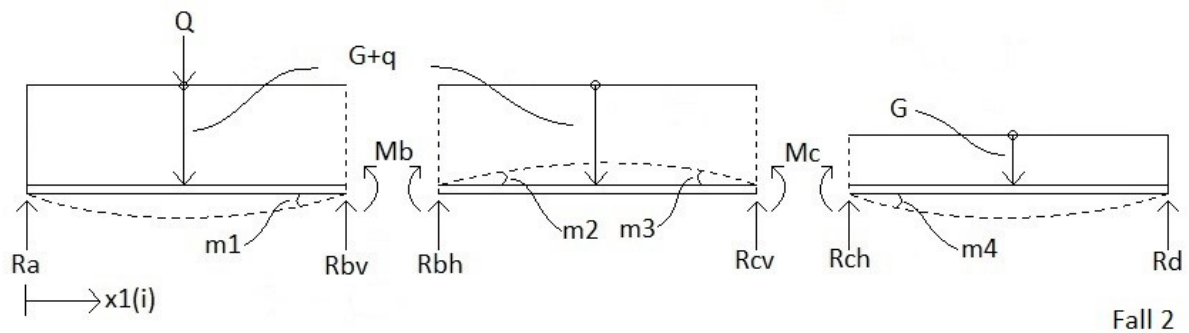
(1) ger

$$M_B \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_C \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{24} - G \cdot \frac{L^3}{24} - Q \cdot X_1(i) \cdot \frac{L}{6} \cdot \left(1 - \frac{X_1(i)^2}{L^2}\right)$$

(2) ger

$$M_C \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_B \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{24} - G \cdot \frac{L^3}{24}$$

Fall 2:



$$m_1 := M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI} + Q \cdot X_1(i) \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} \cdot \left(1 - \frac{X_1(i)^2}{L^2}\right)$$

$$m_2 := -M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - M_C \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} - (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_3 := -M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - M_B \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} - (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_4 := M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + G \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

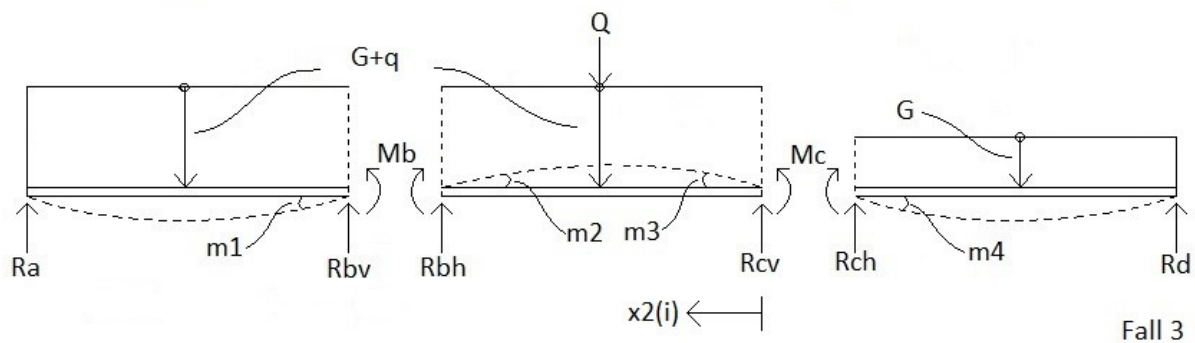
...

(1) ger

$$M_B \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_C \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{12} - Q \cdot X_1(i) \cdot \frac{L}{6} \cdot \left(1 - \frac{X_1(i)^2}{L^2}\right)$$

(2) ger

$$M_C \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_B \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{24} - G \cdot \frac{L^3}{24}$$

Fall 3:

$$m_1 := -M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_2 := M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + M_C \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} + (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI} + Q \cdot X_2(i) \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} \cdot \left(1 - \frac{X_2(i)^2}{L^2}\right)$$

$$m_3 := M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + M_B \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} + (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI} + Q \cdot (L - X_2(i)) \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{(L - X_2(i))^2}{L^2}\right)$$

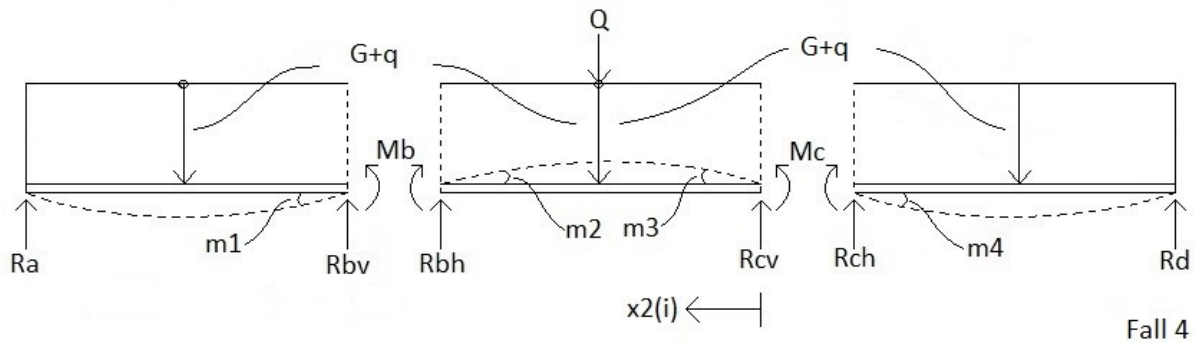
$$m_4 := -M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - G \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

(1) ger

$$M_B \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_C \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{12} + Q \cdot X_2(i) \cdot \frac{L}{6} \cdot \left(1 - \frac{X_2(i)^2}{L^2}\right)$$

(2) ger

$$M_C \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_B \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{24} - G \cdot \frac{L^3}{24} - Q \cdot (L - X_2(i)) \cdot \frac{L}{6} \cdot \left(1 - \frac{(L - X_2(i))^2}{L^2}\right)$$

Fall 4:

$$m_1 := -M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

$$m_2 := M_B \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + M_C \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} + (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI} + Q \cdot X_2(i) \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} \cdot \left(1 - \frac{X_2(i)^2}{L^2}\right)$$

$$m_3 := M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} + M_B \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} + (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI} + Q \cdot (L - X_2(i)) \cdot \frac{L}{6 \cdot EI} \cdot \left(1 - \frac{(L - X_2(i))^2}{L^2}\right)$$

$$m_4 := -M_C \cdot \frac{L}{3 \cdot EI} - (G+q) \cdot \frac{L^3}{24 \cdot EI}$$

(1) ger

$$M_B \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_C \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{12} + Q \cdot X_2(i) \cdot \frac{L}{6} \cdot \left(1 - \frac{X_2(i)^2}{L^2}\right)$$

(2) ger

$$M_C \cdot 2 \cdot \frac{L}{3} + M_B \cdot \frac{L}{6} = -(G+q) \cdot \frac{L^3}{12} - Q \cdot (L - X_2(i)) \cdot \frac{L}{6} \cdot \frac{(1 - (L - X_2(i))^2)}{L^2}$$

Beräknar reaktionskrafter och fältmoment m.h.a uträknade stödmoment:

Snitt 1 ($Y_1(k)$) är precis innan punktlasten.

Snitt 2 ($Y_2(k)$) är precis efter punktlasten.

$k=1000$ (så många gånger som varje "snitt" snittas).

Fall 1:

Reaktionskrafter:
$$R_A := \frac{M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2} + Q \cdot \frac{X_1(i)}{L}$$

$$R_{BV} := \frac{-M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2} + Q \cdot \frac{(L - X_1(i))}{L}$$

$$R_{BH} := \frac{-M_B}{L} + \frac{M_C}{L} + G \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CV} := \frac{M_B}{L} - \frac{M_C}{L} + G \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CH} := \frac{-M_C}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

Snitt 1 $0 < Y_1(k) < L - X_1(i)$

$$M(Y_1) := R_A \cdot Y_1(k) - (G + q) \cdot \frac{Y_1(k)^2}{2}$$

$$V(Y_1) := R_A - (G + q) \cdot Y_1(k)$$

Snitt 2 $L - X_1(i) < Y_2(k) < L$

$$M(Y_2) := R_{BV} \cdot (L - Y_2(k)) + M_B - (G + q) \cdot \frac{(L - Y_2(k))^2}{2}$$

$$V(Y_2) := R_{BV} - (G + q) \cdot (L - Y_2(k))$$

- . . -

Fall 2

Reaktionskrafter: $R_A := \frac{M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2} + Q \cdot \frac{X_1(i)}{L}$

$$R_{BV} := \frac{-M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2} + Q \cdot \frac{(L - X_1(i))}{L}$$

$$R_{BH} := \frac{-M_B}{L} + \frac{M_C}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CV} := \frac{M_B}{L} - \frac{M_C}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CH} := \frac{-M_C}{L} + G \cdot \frac{L}{2}$$

Snitt 1 $0 < Y_1(k) < L - X_1(i)$

$$M(Y_1) := R_A \cdot Y_1(k) - (G + q) \cdot \frac{Y_1(k)^2}{2}$$

$$V(Y_1) := R_A - (G + q) \cdot Y_1(k)$$

Snitt 2 $L - X_1(i) < Y_2(k) < L$

$$M(Y_2) := R_{BV} \cdot (L - Y_2(k)) + M_B - (G + q) \cdot \frac{(L - Y_2(k))^2}{2}$$

$$V(Y_2) := R_{BV} - (G + q) \cdot (L - Y_2(k))$$

- . . -

Fall 3

Reaktionskrafter: $R_A := \frac{M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$

$$R_{BV} := \frac{-M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{BH} := \frac{-M_B}{L} + \frac{M_C}{L} + Q \cdot \frac{X_2(i)}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CV} := \frac{M_B}{L} - \frac{M_C}{L} + Q \cdot \frac{(L - X_2(i))}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CH} := \frac{-M_C}{L} + G \cdot \frac{L}{2}$$

Snitt 1 $L < Y_1(k) < 2 \cdot L - X_2(i)$

$$M(Y_1) := R_A \cdot Y_1(k) + (R_{BV} + R_{BH}) \cdot (Y_1(k) - L) - (G + q) \cdot \frac{Y_1(k)^2}{2}$$

$$V(Y_1) := R_{BH} - (G + q) \cdot Y_1(k)$$

Snitt 2 $2 \cdot L - X_2(i) < Y_2(k) < 2 \cdot L$

$$M(Y_2) := M_C + R_{CV} \cdot (2 \cdot L - Y_2(k)) - (G + q) \cdot \frac{(2 \cdot L - Y_2(k))^2}{2}$$

$$V(Y_2) := R_{CV} - (G + q) \cdot X_2(i)$$

- . . .

Fall 4

Reaktionskrafter: $R_A := \frac{M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$

$$R_{BV} := \frac{-M_B}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{BH} := \frac{-M_B}{L} + \frac{M_C}{L} + Q \cdot \frac{X_2(i)}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CV} := \frac{M_B}{L} - \frac{M_C}{L} + Q \cdot \frac{(L - X_2(i))}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

$$R_{CH} := \frac{-M_C}{L} + (G + q) \cdot \frac{L}{2}$$

Snitt 1 $L < Y_1(k) < 2 \cdot L - X_2(i)$

$$M(Y_1) := R_A \cdot Y_1(k) + (R_{BV} + R_{BH}) \cdot (Y_1(k) - L) - (G + q) \cdot \frac{Y_1(k)^2}{2}$$

$$V(Y_1) := R_{BH} - (G + q) \cdot Y_1(k)$$

Snitt 2 $2 \cdot L - X_2(i) < Y_2(k) < 2 \cdot L$

$$M(Y_2) := M_C + R_{CV} \cdot (2 \cdot L - Y_2(k)) - (G + q) \cdot \frac{(2 \cdot L - Y_2(k))^2}{2}$$

$$V(Y_2) := R_{CV} - (G + q) \cdot X_2(i)$$

Överslagsberäkning på temperaturutvidgning för bron i längsled enligt Bärande konstruktioner del 1 och EKS-BFS 2015:6

$$\begin{array}{ll} T_{max} := 36 & \left[\begin{array}{c} ^\circ \end{array} \right] \\ T_{min} := -24 & \left[\begin{array}{c} ^\circ \end{array} \right] \end{array}$$

$$\Delta T := T_{max} - T_{min} = 60 \quad \left[\begin{array}{c} ^\circ \end{array} \right]$$

$$\begin{array}{ll} L := 100 & \left[\begin{array}{c} m \end{array} \right] \\ B := 17 & \left[\begin{array}{c} m \end{array} \right] \end{array}$$

$$\alpha := 1.2 \cdot 10^{-5} \quad \left[\begin{array}{c} \frac{1}{^\circ} \end{array} \right] \quad \text{Längdutvidgningskoefficient. S32}$$

Försummar asfaltens utvidgning och dragande effekt på stålet samt att bron kommer ha olika temp på över och undersida

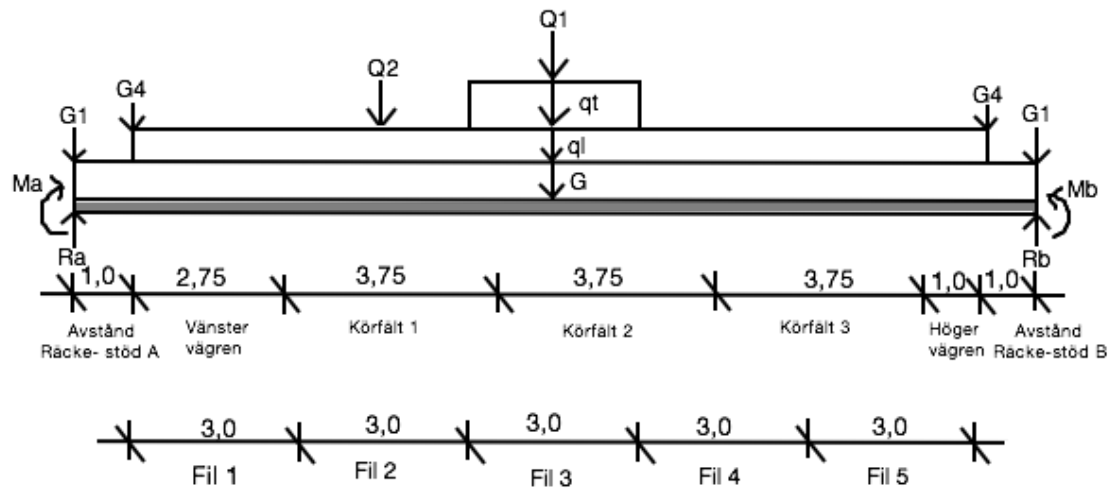
$$\begin{array}{lll} \Delta L := \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 0.072 & \left[\begin{array}{c} m \end{array} \right] & \text{Brons maximala längdändring i längsled} \\ \Delta B := \alpha \cdot \Delta T \cdot B = 0.012 & \left[\begin{array}{c} m \end{array} \right] & \text{Brons maximala längdändring i sidled} \end{array}$$

BILAGA 10

Förklaring till snittkraftsberäkningar
för tvärbalkar

INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGA 10

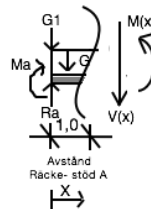
Lastfall för dimensionerande moment.....	1
Lastfall för dimensionerande tvärkraft.....	3



Snitt 1: $0 < x < 1$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx$$

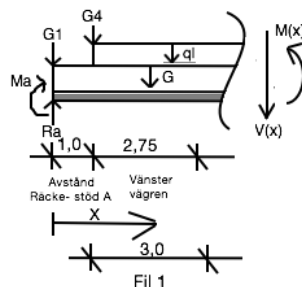
$$M(x) = R_ax + M_a - G_1x - Gx^2/2$$



Snitt 2: $1 < x < 5,5$

$$V(x) = R_a - G_1 - G_4 - Gx - q_l(x-1)$$

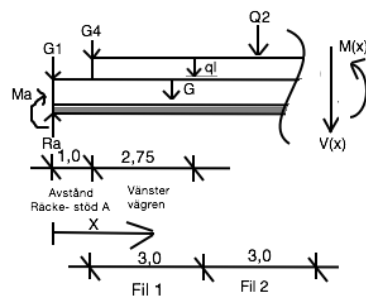
$$M(x) = R_ax + M_a - G_1x - G_4(x-1) - Gx^2/2 - q_l(x-1)^2/2$$



Snitt 3: $5,5 < x < 7$

$$V(x) = R_a - G_1 - G_4 - Gx - q_l(x-1) - Q_2$$

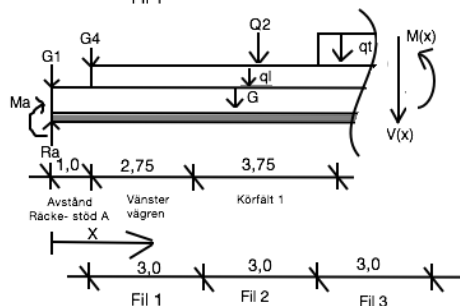
$$M(x) = R_ax + M_a - G_1x - G_4(x-1) - Gx^2/2 - q_l(x-1)^2/2 - Q_2(x-5,5)$$



Snitt 4: $7 < x < 8,5$

$$V(x) = R_a - G_1 - G_4 - Gx - q_l(x-1) - Q_2 - q_t(x-7)$$

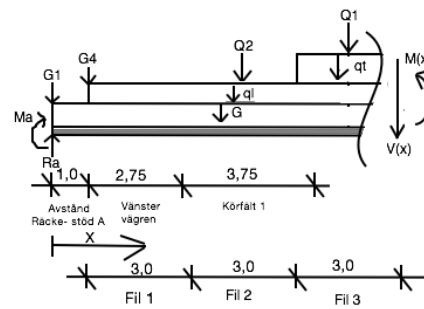
$$M(x) = R_ax + M_a - G_1x - G_4(x-1) - Gx^2/2 - q_l(x-1)^2/2 - Q_2(x-5,5) - q_t(x-7)^2/2$$



Snitt 5: $8,5 < x < 10$

$$V(x) = R_a - G_1 - G_4 - Gx - q_l(x-1) - Q_2 - q_t(x-7) - Q_1$$

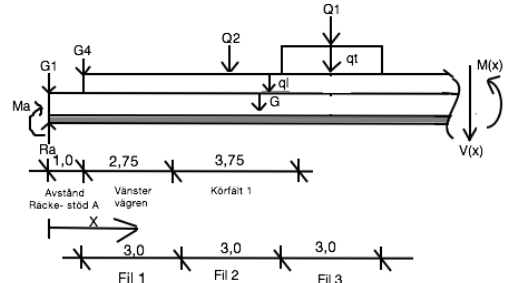
$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - G_4(x-1) - Gx^2/2 - q_l(x-1)^2/2 - Q_2(x-5,5) - q_t(x-7)^2/2 - Q_1(x-8,5)$$



Snitt 6: $10 < x < 16$

$$V(x) = R_a - G_1 - G_4 - Gx - q_l(x-1) - Q_2 - 3 \cdot q_t - Q_1$$

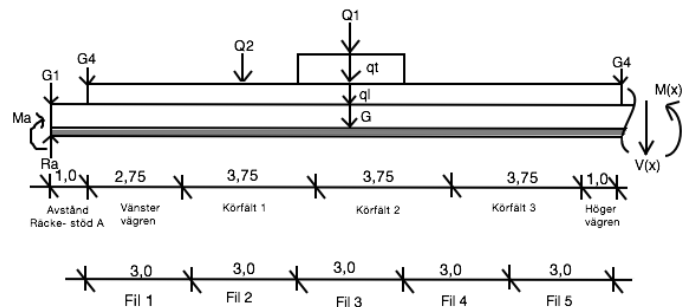
$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - G_4(x-1) - Gx^2/2 - q_l(x-1)^2/2 - Q_2(x-5,5) - q_t \cdot 3(x-8,5) - Q_1(x-8,5)$$

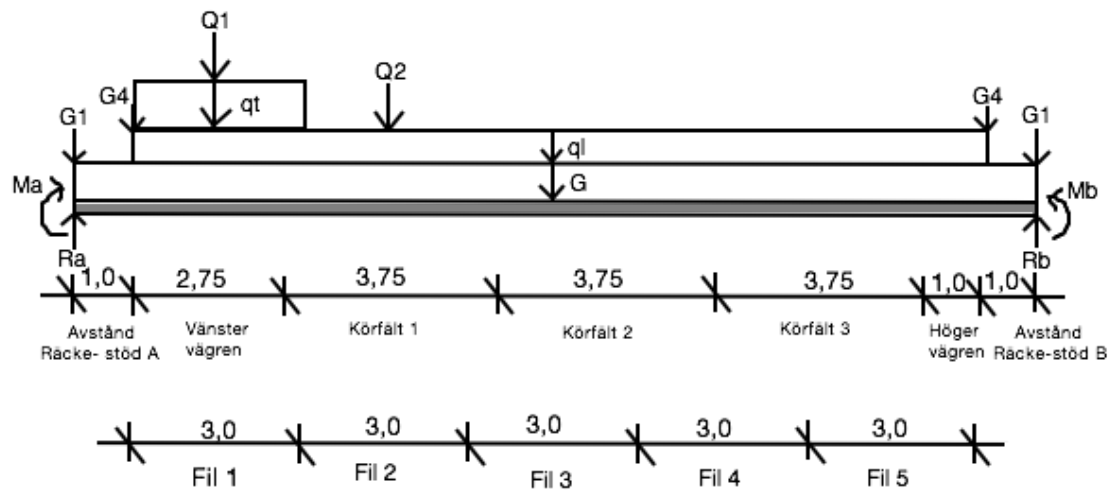


Snitt 7: $16 < x < 17$

$$V(x) = R_a - G_1 - 2G_4 - Gx - 3 \cdot 5 \cdot q_l - Q_2 - 3 \cdot q_t - Q_1$$

$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - G_4(x-1) - Gx^2/2 - q_l \cdot 3 \cdot 5(x-8,5) - Q_2(x-5,5) - q_t \cdot 3(x-8,5) - Q_1(x-8,5) - G_4(x-16)$$

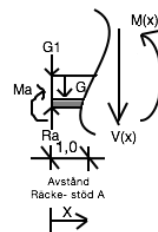




Snitt 1: $0 < x < 1$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx$$

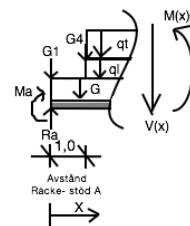
$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - Gx^2/2$$



Snitt 2: $1 < x < 2,5$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx - G_4 - q_l(x-1) - q_t(x-1)$$

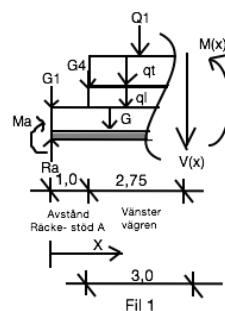
$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - Gx^2/2 - G_4(x-1) - q_l(x-1)^2/2 - q_t(x-1)^2/2$$



Snitt 3: $2,5 < x < 4$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx - G_4 - q_l(x-1) - q_t(x-1) - Q_1$$

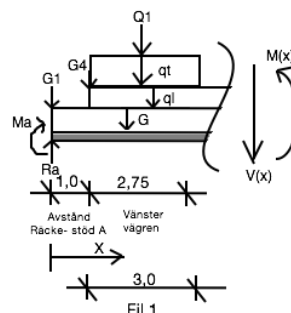
$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - Gx^2/2 - G_4(x-1) - q_l(x-1)^2/2 - q_t(x-1)^2/2 - Q_1(x-2,5)$$



Snitt 4: $4 < x < 5,5$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx - G_4 - q_l(x-1) - q_t \cdot 3 - Q_1$$

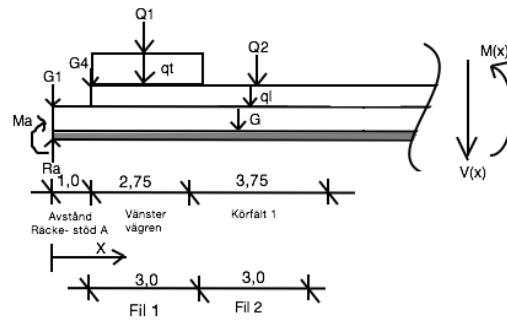
$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - Gx^2/2 - G_4(x-1) - q_l(x-1)^2/2 - q_t \cdot 3(x-2,5) - Q_1(x-2,5)$$



Snitt 5: $5,5 < x < 16$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx - G_4 - q_l(x-1) - q_t \cdot 3 - Q_1 - Q_2$$

$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - Gx^2/2 - G_4(x-1) - q_l(x-1)^2/2 - q_t \cdot 3(x-2,5) - Q_1(x-2,5) - Q_2(x-5,5)$$



Snitt 6: $16 < x < 17$

$$V(x) = R_a - G_1 - Gx - 2G_4 - q_l \cdot 3 \cdot 5 - q_t \cdot 3 - Q_1 - Q_2$$

$$M(x) = R_a x + M_a - G_1 x - Gx^2/2 - G_4(x-16) - q_l \cdot 3 \cdot 5 \cdot (x-8,5) - q_t \cdot 3(x-2,5) - Q_1(x-2,5) - Q_2(x-5,5)$$

