



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

---



# Förslag till vägbro över järnväg

Konceptuell design och preliminärdimensionering av  
motorvägsbro på E6 vid trafikplats Alnarp

Kandidatarbete inom Väg och vatten

KAROLINA BESKOW  
GABRIEL BORG  
JOHANNA HENRIKSSON  
ALBIN JOHNSON  
ANTONIA RAMBÖL BRYNTESSON  
MARIE ÅS

---

Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2017  
Kandidatarbete BMTX01-17-50



KANDIDATARBETE BMTX01-17-50

## Förslag till vägbro över järnväg

Konceptuell design och preliminärdimensionering av motorvägsbro på E6 vid trafikplats Alnarp

*Kandidatarbete inom Väg och vatten*

KAROLINA BESKOW  
GABRIEL BORG  
JOHANNA HENRIKSSON  
ALBIN JOHNSSON  
ANTONIA RAMBÖL BRYNTESSON  
MARIE ÅS

Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2017

Förslag till vägbro över järnväg  
Konceptuell design och preliminärdimensionering av motorvägsbro på E6 vid trafikplats Alnarp  
KAROLINA BESKOW  
GABRIEL BORG  
JOHANNA HENRIKSSON  
ALBIN JOHNSSON  
ANTONIA RAMBÖL BRYNTESSON  
MARIE ÅS

© KAROLINA BESKOW, GABRIEL BORG, JOHANNA HENRIKSSON, ALBIN JOHNSSON, AN-  
TONIA RAMBÖL BRYNTESSON, MARIE ÅS, 2017

Kandidatarbete BMTX01-17-50  
ISSN 1654-4676  
Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag:  
Modell över valt koncept

Chalmers Reproservice  
Göteborg, Sverige 2017

Förslag till vägbro över järnväg  
Konceptuell design och preliminärdimensionering av motorvägsbro på E6 vid trafikplats Alnarp  
Kandidatarbete inom Väg och vatten  
KAROLINA BESKOW  
GABRIEL BORG  
JOHANNA HENRIKSSON  
ALBIN JOHNSON  
ANTONIA RAMBÖL BRYNTESSON  
MARIE ÅS  
Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Vid trafikplats Alnarp, utanför Malmö, passerar E6:an över södra stambanans järnvägsspår. Spåren som går mellan Lund och Malmö ska utökas från två till fyra spår på grund av den framtida ökningen av tågtrafiken, och därmed krävs en längre motorvägsbro. Rapportens syfte är att genom en urvalsprocess, där olika brokoncept viktas mot varandra utifrån framtagna kriterier, få fram det mest lämpade konceptet. För det valda konceptet görs även en preliminärdimensionering.

Ett första urval görs där olika brotyper väljs bort på grund av att de inte klarar de krav som ställs av trafikverket eller att de inte är lämpade för det aktuella fallet. Även broar som inte anses vara ekonomiskt försvarbara väljs bort. Efter det första urvalet tas fyra brokoncept fram. Dessa jämförs utifrån tolv kriterier som tagits fram och viktats mot varandra. Vid urvalsprocessen har stor vikt lagts vid att det valda konceptet ska leda till få och korta störningar för tågtrafiken. Av den anledningen har produktionsmetoden spelat en stor roll i poängfördelningen. Det brokoncept som anses mest fördelaktigt utifrån de framtagna kriterierna är en bågbro med dragband.

Två separata men identiska broar konstrueras, en för varje körriktning. Schaktningsarbete vid landfästena krävs då landfästena behöver vara vinkelräta mot körbanan så att bågarne i sin tur blir parallella. Bron kommer vara fritt upplagd och ändstöden grundläggs med pålar. Konceptet kräver inga mittstöd vilket ger en spännvidd på 93 m. Varje bro förses med tre körfält och får således, med säkerhetsmarginaler och vägrenar, en bredd på 17 m. Bågen har formen av en parabel med en maximal höjd på 30 meter. Bågarna binds samman med 21 tvärbalkar och brobanaplattan hängs upp på 19 hängare. Brons prefabricerade stålelement monteras ihop bredvid dess slutgiltiga plats för att sedan lyftas ut i ett stycke. När stommen väl är på plats gjuts betongfarbanan.

Dimensionering av bron görs med hjälp av Matlab och Calfem och är en iterativ process. Dimensionerande lastfall tas fram som sedan används i beräkningar för lasteffekt. Samtidigt görs kapacitetsberäkningar som sedan jämförs med lasteffekten. Brons dimensioner fås när kapaciteten är större än lasteffekten men med en tillräckligt hög utnyttjandegrad.

De antaganden och förenklingar som gjorts under beräkningsstadiet har varit konservativa vilket lett till en bro som troligen är överdimensionerad. Däremot visar beräkningarna att det är möjligt att bygga en bågbro med dragband på den specifika platsen och med de valda materialen. Ytterligare beräkningar behöver göras dels för fler detaljer men också på de större elementen för att optimera systemet.

Nyckelord: Trafikplats Alnarp, Motorvägsbro, Södra stambanan, Bågbro

Propose of a highway bridge  
Conceptual design and preliminary dimensioning  
Bachelor's thesis in Building and Civil Engineering  
KAROLINA BESKOW  
GABRIEL BORG  
JOHANNA HENRIKSSON  
ALBIN JOHNSON  
ANTONIA RAMBÖL BRYNTESSON  
MARIE ÅS  
Department of Civil and Environmental Engineering  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

At the highway interchange Alnarp, outside of Malmö, passes the E6 over the south main railway. The tracks between Lund and Malmö will be expanded from two to four tracks due to the expected increase in railway traffic. Because of that a new bridge over the tracks is required. The purpose of the report is to develop the most suited bridge concept, through a selection process where different concepts are weighed against each other.

A first selection is made where the types of bridges not fulfilling the requirements demanded by Trafikverket are excluded. So are also bridges that are expected to be too expensive. The first selection will result in four different concepts. These will be compared on basis of twelve criteria which have been formulated and weighed against each other. Given the demands, have short interferences in the rail traffic been stressed. As a result is the production method of high importance. The most suitable concept given the conditions is a tied arch bridge.

Two separate but identical bridges will be constructed, one for each direction of travel. It is required to excavate the ground near the abutments due to the fact that they need to be perpendicular the roadway, so that the arches are parallel. The bridge will be simply supported and pile foundation will be used. The concept requires no support in the middle which generates a total span of 93 m. Each bridge provides with three lanes which, including safety margin and roadside, gives a width of 17 m. The arches are formed as a parabola with a total height of 30 m. The two arches are connected with 21 cross-beams and the deck rests on 19 hangers. The bridge will be mounted at the side of the road by prefabricated steel elements. When the whole bridge has been lifted to place, the deck made of concrete will be molded.

The dimensioning is done with the programe Matlab and Calfem and is a iterative process. Different load combinations are calculated and the worst case scenario is used in the calculation of load effect. At the same time the calculation of load capacity is done and that result will be compared to the load effect. The final dimensions of the bridge are the dimensions that are used in the calculation when the capacity is bigger than the load effect and the utilization factor is good enough.

The assumptions and simplifications that are made have been conservative and therefore the bridge is probably over-dimensioned. Despite this, the calculations show that it is possible to build the arch bridge with the given conditions. There are more calculations that needs to be done. More details needs to be dimensioned and the bigger elements needs further calculations to optimize their dimensions.

Keywords: Interchange Alnarp, Highway, Railway, Arch bridge

# INNEHÅLL

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| <b>Sammanfattning</b>                    | <b>i</b>   |
| <b>Abstract</b>                          | <b>ii</b>  |
| <b>Innehåll</b>                          | <b>iii</b> |
| <b>Förord</b>                            | <b>ix</b>  |
| <b>Nomenklatur</b>                       | <b>xi</b>  |
| <b>Begreppsförklaring</b>                | <b>xii</b> |
| <b>1 Introduktion</b>                    | <b>1</b>   |
| 1.1 Syfte . . . . .                      | 1          |
| 1.2 Problembeskrivning . . . . .         | 1          |
| 1.3 Metod . . . . .                      | 1          |
| 1.4 Avgränsningar . . . . .              | 2          |
| <b>2 Förutsättningar</b>                 | <b>3</b>   |
| 2.1 Krav enligt trafikverket . . . . .   | 3          |
| 2.2 Projektets förutsättningar . . . . . | 3          |
| 2.3 Trafikflöde . . . . .                | 4          |
| 2.4 Geotekniska förhållanden . . . . .   | 4          |
| <b>3 Underlag för urval</b>              | <b>6</b>   |
| 3.1 Brotyper . . . . .                   | 6          |
| 3.1.1 Bågverkan . . . . .                | 6          |
| 3.1.2 Linverkan . . . . .                | 8          |
| 3.1.3 Balkverkan . . . . .               | 9          |
| 3.1.4 Fackverkskonstruktioner . . . . .  | 12         |
| 3.2 Grundläggning . . . . .              | 13         |
| 3.2.1 Pålning . . . . .                  | 13         |
| 3.2.2 Plattgrundläggning . . . . .       | 14         |
| 3.3 Material . . . . .                   | 14         |
| 3.3.1 Trä . . . . .                      | 14         |
| 3.3.2 Stål . . . . .                     | 15         |
| 3.3.3 Betong . . . . .                   | 16         |
| 3.4 Förvaltning av broar . . . . .       | 17         |
| 3.4.1 Träkonstruktioner . . . . .        | 17         |
| 3.4.2 Stålkonstruktioner . . . . .       | 17         |
| 3.4.3 Betongkonstruktioner . . . . .     | 17         |

|          |                                              |           |
|----------|----------------------------------------------|-----------|
| 3.5      | Produktionsmetoder . . . . .                 | 18        |
| 3.5.1    | Prefabricerat . . . . .                      | 18        |
| 3.5.2    | Platsgjutning . . . . .                      | 18        |
| 3.5.3    | Lansering . . . . .                          | 19        |
| 3.5.4    | Balanserad konsolutbyggnad . . . . .         | 19        |
| <b>4</b> | <b>Urval</b>                                 | <b>20</b> |
| 4.1      | Beslutskriterier . . . . .                   | 20        |
| 4.1.1    | Beställare . . . . .                         | 20        |
| 4.1.2    | Produktion . . . . .                         | 20        |
| 4.1.3    | Miljö och underhåll . . . . .                | 21        |
| 4.2      | Viktning av kriterier . . . . .              | 22        |
| 4.3      | Första urvalet . . . . .                     | 22        |
| 4.4      | Brokoncept . . . . .                         | 23        |
| 4.4.1    | Koncept 1: Bågbro med dragband . . . . .     | 23        |
| 4.4.2    | Koncept 2: Betongbalkbro med stöd . . . . .  | 24        |
| 4.4.3    | Koncept 3: Betongbalkbro utan stöd . . . . . | 24        |
| 4.4.4    | Koncept 4: Stålbalkbro utan stöd . . . . .   | 25        |
| 4.5      | Andra urvalet . . . . .                      | 25        |
| <b>5</b> | <b>Detaljutförning av valt brokoncept</b>    | <b>28</b> |
| 5.1      | Grundläggning och stöd . . . . .             | 28        |
| 5.2      | Konstruktion av bron . . . . .               | 28        |
| 5.2.1    | Bärverk . . . . .                            | 28        |
| 5.2.2    | Lager . . . . .                              | 29        |
| 5.2.3    | Övergångskonstruktion . . . . .              | 29        |
| 5.2.4    | Räcke . . . . .                              | 30        |
| 5.3      | Produktion . . . . .                         | 30        |
| 5.4      | Förvaltning . . . . .                        | 30        |
| <b>6</b> | <b>Preliminärdimensionering</b>              | <b>32</b> |
| 6.1      | System . . . . .                             | 32        |
| 6.2      | Laster . . . . .                             | 33        |
| 6.2.1    | Egentyngd . . . . .                          | 33        |
| 6.2.2    | Trafiklast . . . . .                         | 33        |
| 6.2.3    | Lastkombinationer . . . . .                  | 36        |
| 6.2.4    | Icke dimensionerande laster . . . . .        | 37        |
| 6.3      | Lasteffekt . . . . .                         | 37        |
| 6.3.1    | Tvärbalk . . . . .                           | 38        |
| 6.3.2    | Båge och dragband . . . . .                  | 38        |
| 6.3.3    | Brobaneplatta . . . . .                      | 39        |
| 6.4      | Lastkapacitet . . . . .                      | 40        |
| 6.4.1    | Tvärbalk . . . . .                           | 41        |
| 6.4.2    | Brobaneplatta . . . . .                      | 42        |



|          |                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------|-----------|
| 6.4.3    | Hängare . . . . .                                | 43        |
| 6.4.4    | Båge . . . . .                                   | 44        |
| 6.4.5    | Dragband . . . . .                               | 45        |
| 6.5      | Detaljer . . . . .                               | 46        |
| 6.5.1    | Infästningar . . . . .                           | 46        |
| 6.5.2    | Svetsar . . . . .                                | 47        |
| 6.5.3    | Lager . . . . .                                  | 47        |
| 6.5.4    | Övergångskonstruktioner . . . . .                | 48        |
| 6.5.5    | Avvattningssystem . . . . .                      | 48        |
| <b>7</b> | <b>Resultat</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>8</b> | <b>Diskussion</b>                                | <b>52</b> |
| 8.1      | Metod . . . . .                                  | 52        |
| 8.2      | Val av koncept . . . . .                         | 52        |
| 8.3      | Antaganden och avgränsningar . . . . .           | 53        |
| 8.4      | Slutgiltiga dimensioner . . . . .                | 54        |
| 8.5      | Kvarstående dimensionering . . . . .             | 54        |
| 8.6      | Källkritik . . . . .                             | 55        |
| <b>9</b> | <b>Slutsats</b>                                  | <b>56</b> |
|          | <b>Referenser</b>                                | <b>57</b> |
|          | <b>Bilaga A Profilirritning</b>                  | <b>61</b> |
|          | <b>Bilaga B Planritning</b>                      | <b>63</b> |
|          | <b>Bilaga C Möjlig placering för brostöd</b>     | <b>65</b> |
|          | <b>Bilaga D Brokoncepten</b>                     | <b>67</b> |
|          | <b>Bilaga E Överslagsberäkning - Vikt bågbro</b> | <b>72</b> |
|          | <b>Bilaga F Schaktning</b>                       | <b>73</b> |
|          | <b>Bilaga G Handberäkningar</b>                  | <b>75</b> |
| G.1      | Tvärbalk . . . . .                               | 75        |
| G.2      | Dragband . . . . .                               | 75        |
| G.3      | Båge . . . . .                                   | 76        |
| G.3.1    | Nedböjning - Lastfall 6 . . . . .                | 76        |
| G.3.2    | Nedböjning - Lastfall 4 . . . . .                | 76        |

|                 |                                             |           |
|-----------------|---------------------------------------------|-----------|
| <b>Bilaga H</b> | <b>Matlabkod</b>                            | <b>77</b> |
| H.1             | Bågbro . . . . .                            | 78        |
| H.2             | Laster . . . . .                            | 87        |
| H.3             | Lasteffekt . . . . .                        | 92        |
| H.3.1           | Tvärbalk-Brottgränstillstånd . . . . .      | 93        |
| H.3.2           | Tvärbalk-Bruksgränstillstånd . . . . .      | 100       |
| H.3.3           | Maximala snittkrafter för bågen . . . . .   | 108       |
| H.3.4           | Dragband . . . . .                          | 157       |
| H.3.5           | Maximala snittkrafter för brobana . . . . . | 161       |
| H.4             | Kapacitet . . . . .                         | 193       |
| H.4.1           | Brobana . . . . .                           | 194       |
| H.4.2           | Båge . . . . .                              | 197       |
| H.4.3           | Dragband . . . . .                          | 201       |
| H.4.4           | Tvärbalk . . . . .                          | 202       |
| H.4.5           | Hängare . . . . .                           | 205       |
| H.4.6           | Svetsar . . . . .                           | 207       |

# Figurer

|      |                                                              |    |
|------|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Jordlagerföljd . . . . .                                     | 5  |
| 3.1  | Bågverkan . . . . .                                          | 6  |
| 3.2  | Valvbro . . . . .                                            | 7  |
| 3.3  | Tre typer av bågbroar . . . . .                              | 7  |
| 3.4  | Linverkan . . . . .                                          | 8  |
| 3.5  | Hängbro . . . . .                                            | 8  |
| 3.6  | Snedkabelbro . . . . .                                       | 9  |
| 3.7  | Balkverkan . . . . .                                         | 9  |
| 3.8  | Balkbro . . . . .                                            | 10 |
| 3.9  | Tvärsnitt för balkbro och plattbro . . . . .                 | 10 |
| 3.10 | Rambro . . . . .                                             | 11 |
| 3.11 | Lådbro med varierande tvärsnitt . . . . .                    | 11 |
| 3.12 | Samverkan I-tvärsnitt av stål och farbana i betong . . . . . | 12 |
| 3.13 | Fackverksbalk . . . . .                                      | 13 |
| 3.14 | Lansering . . . . .                                          | 19 |
| 4.1  | Viktning av kriterier . . . . .                              | 22 |
| 4.2  | Viktning av koncept . . . . .                                | 26 |
| 5.1  | Brons komponenter . . . . .                                  | 29 |
| 6.1  | Beräkningsprogrammets struktur . . . . .                     | 32 |
| 6.2  | Beräkningssystem . . . . .                                   | 33 |
| 6.3  | Tvärsektion vägbanan . . . . .                               | 35 |
| 6.4  | Lastfall 1, tvärbalk . . . . .                               | 35 |
| 6.5  | Lastfall 2, tvärbalk . . . . .                               | 36 |
| 6.6  | CC-avstånd, tvärbalk . . . . .                               | 38 |
| 6.7  | Lastfall, brobaneplatta . . . . .                            | 40 |
| 6.8  | Tvärsnitt, I-tvärbalk . . . . .                              | 41 |
| 6.9  | Tvärsnitt, brobaneplatta . . . . .                           | 42 |
| 6.10 | Tvärkraftsarmering, brobaneplatta . . . . .                  | 43 |
| 6.11 | Tvärsnitt, hängare . . . . .                                 | 44 |
| 6.12 | Lådtvärsnitt, båge . . . . .                                 | 44 |
| 6.13 | Tvärsnitt, dragband . . . . .                                | 45 |
| 6.14 | Infästning hängare . . . . .                                 | 46 |
| 6.15 | Lager, rörelseriktningar . . . . .                           | 48 |
| 6.16 | Tvärsnitt, dräneringskanal . . . . .                         | 49 |
| 7.1  | Slutgiltiga tvärsnitt . . . . .                              | 50 |
| 7.2  | Sektionsritning, slutgiltigt brokoncept . . . . .            | 51 |
| 7.3  | Tvärsnitt, brobana . . . . .                                 | 51 |

# Tabeller

|      |                                         |    |
|------|-----------------------------------------|----|
| 6.1  | Tungheter . . . . .                     | 33 |
| 6.2  | Beräkning av vägbanebredd . . . . .     | 34 |
| 6.3  | Belastning för olika lastfält . . . . . | 35 |
| 6.4  | Lastreduktionstal . . . . .             | 36 |
| 6.5  | Effekt, tvärbalk . . . . .              | 38 |
| 6.6  | Effekt, båge . . . . .                  | 39 |
| 6.7  | Effekt, dragband . . . . .              | 39 |
| 6.8  | Effekt, brobaneplatta . . . . .         | 40 |
| 6.9  | Kapacitet, tvärbalk . . . . .           | 41 |
| 6.10 | Kapacitet, brobaneplatta . . . . .      | 43 |
| 6.11 | Kapacitet, båge . . . . .               | 45 |
| 6.12 | Kapacitet, dragband . . . . .           | 46 |
| 6.13 | Kapacitet, infästning hängare . . . . . | 47 |
| 6.14 | Reaktionskraft, tvärbalkar . . . . .    | 48 |

## FÖRORD

Chalmers har tillsammans med COWI tagit fram ett verkligt exempel där en ny bro behöver konstrueras. Det har gett vårt kandidatarbete en spännande verklighetsförankring. Med detta i åtanke vill vi framförallt tacka Magnus Bäckström och Staffan Lindén på COWI för att de möjliggjort vårt arbete och för all hjälp de bistått med. Vår handledare Filip Nilenius som svarat på alla möjliga frågor som rört vårt arbete förtjänar även han ett stort tack. Vi vill även passa på att tacka Joosef Leppänen, Mats Ander, Robin Andersson och Erik Olsson för att de tog sig tid att ge oss råd och tips under dimensioneringsfasen. Vi har även haft möjlighet att lyssna på flertalet branschaktiva personer som gett oss ovärderlig information om broar och även dessa förtjänar ett tack från vår sida.

Karolina Beskow

Gabriel Borg

Johanna Henriksson

Albin Johnsson

Antonia Ramböl Bryntesson

Marie Ås



# Nomenklatur

## Grekiska bokstäver

|                    |                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| $\alpha$           | Tryckblocksfaktor                                               |
| $\beta$            | Tryckblocksfaktor                                               |
| $\beta_w$          | Korrelationsfaktor med avseende på grundmaterialets hållfasthet |
| $\chi$             | Reduktionsfaktor med avseende på knäckning                      |
| $\chi_{LT}$        | Reduktionsfaktor med avseende på vippning                       |
| $\chi_w$           | Skjuvbucklingskoefficient                                       |
| $\gamma_{M12}$     | Partialkoefficient med avseende på svetsens bärförmåga          |
| $\gamma_{M1}$      | Partialkoefficient med avseende på materialhållfasthet          |
| $\sigma_{\perp}$   | Normalspänning vinkelrät svetsen                                |
| $\tau_{\perp}$     | Skjuvspänning vinkelrät svetsen                                 |
| $\tau_{\parallel}$ | Skjuvspänning parallellt med svetsen                            |
| $\Theta$           | Spricklutning                                                   |

## Romerska gemener

|           |                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| $d$       | Diameter                                                              |
| $d'$      | Avstånd till armering                                                 |
| $d_1$     | Tjocklek längsgående armering                                         |
| $d_t$     | Tjocklek tvärkraftsarmering                                           |
| $e_1$     | Avstånd från hålets centrum till närmsta kanten i belastningsriktning |
| $f_{cd}$  | Dimensionerande betongspänning                                        |
| $f_u$     | Brottsspänning                                                        |
| $f_{ywd}$ | Tvärarmeringens draghållfasthet vid flytning, dimensioneringsvärde    |
| $f_y$     | Flytspänning                                                          |
| $g$       | Utbredd egentyngd                                                     |
| $h$       | Höjd                                                                  |

|       |                                                 |
|-------|-------------------------------------------------|
| $h_w$ | Höjd på liv                                     |
| $q_i$ | Utbredd last                                    |
| $s$   | Centrumavstånd mellan tvärarmeringsenheter      |
| $t_1$ | Godstjocklek för tvärbalkens liv                |
| $t_2$ | Godstjocklek för plåt vid infästning av hängare |
| $t_f$ | Tjocklek på fläns                               |
| $t_w$ | Tjocklek på livet                               |
| $w$   | Vägbanebredd i tvärled                          |
| $x$   | Avstånd till tryckzon                           |
| $z$   | Inre hävarm                                     |

## Romerska versaler

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| $A_b$       | Tvärsnittsarea för bågen                  |
| $A_{sw}$    | Tvärsnittsarea hos en tvärarmeringsenhet  |
| $A_s$       | Hängarens tvärsnittsarea                  |
| $Ed$        | Dimensionerande effekt                    |
| $G$         | Egentyngd                                 |
| $M_{b,Rd}$  | Momentkapacitet med avseende på böjning   |
| $M_{Rd}$    | Momentkapacitet                           |
| $N_{Ed}$    | Dimensionerande normalkraftseffekt        |
| $N_{Rd}$    | Dimensionerande normalkraftskapacitet     |
| $P$         | Spännkraft                                |
| $Q_i$       | Axellast                                  |
| $R$         | Reaktionskraft                            |
| $Rd$        | Dimensionerande kapacitet                 |
| $V_{bw,Rd}$ | Tvärkraftskapacitet med risk för buckling |
| $V_{Rd,s}$  | Tvärkraftskapaciteten vid skjuvglibdbrott |
| $VR$        | Vägren                                    |
| $W$         | Böjmotstånd                               |

# Begreppsförklaring

|                          |                                                                                                                             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ballast -</b>         | Grus, sten och sand.                                                                                                        |
| <b>Beständighet -</b>    | Förmåga att motstå nedbrytningsprocesser.                                                                                   |
| <b>Bombering-</b>        | Dubbelsidigt tvärfall på vägbanan.                                                                                          |
| <b>Eurokod -</b>         | Standarder för beräkningsregler för dimensionering av bärverk.                                                              |
| <b>Förstudie -</b>       | Preliminär studie i det första skedet i ett projekt.                                                                        |
| <b>Karbonatisering -</b> | Karbonatisering i betong innebär att koldioxid i luften reagerar med kalciumhydroxid i betongen och kalciumkarbonat bildas. |
| <b>Kohesion -</b>        | Kraft som gör att molekyler och partiklar hålls samman.                                                                     |
| <b>Korrosion -</b>       | Även frätning. En kemisk reaktion där ett material, ofta en metall, löses upp. Rost är ett resultat av korrosion.           |
| <b>Krympning -</b>       | Deformation i betong som bland annat orsakas av uttorkningsbetingelser.                                                     |
| <b>Krypning -</b>        | Tidsberoende deformation hos betong som bland annat orsakas av last.                                                        |
| <b>Lasteffekt-</b>       | De krafter som uppstår i ett element på grund av pålagda laster.                                                            |
| <b>Lastkapacitet-</b>    | Elementens förmåga att ta laster.                                                                                           |
| <b>Legering -</b>        | Material med metalliska egenskaper som består av en blandning av grundämnen där minst ett av ämnena är en metall.           |
| <b>Pylon -</b>           | Hög, bärande pelare.                                                                                                        |
| <b>Schaktning -</b>      | Markarbete för att förbereda för grundläggning.                                                                             |
| <b>Spännvidd/Spänn -</b> | Fritt avstånd mellan två punkter.                                                                                           |
| <b>Studs -</b>           | Även svetsbult. Bult som svetsas fast i balk. Används för att åstadkomma samverkan mellan två komponenter.                  |



# 1 Introduktion

Vid trafikplats Alnarp, utanför Malmö, går E6 över södra stambanans järnvägsspår. Södra stambanans tågresande mellan Malmö och Lund har tredubblats under det senaste decenniet och är en av Sveriges viktigaste järnvägar för såväl internationella som nationella transporter (Trafikverket, 2017). Vid rusningstrafik belastas tågsträckan till maximal kapacitet både i norr- och södergående trafik vilket gör den störningskänslig. Trafikverket vill därför utöka från två till fyra järnvägsspår för att tillgodose den framtida ökningen av tågtrafiken. För att kunna bygga fler järnvägsspår krävs dock en ombyggnation av den befintliga motorvägsbron vid trafikplats Alnarp (Trafikverket, 2017). Med begränsat utrymme för den nya utbyggda järnvägen och med hänsyn till kontinuerlig bil- och tågtrafik kommer det då ställas krav på förstudien för bron. Under hela byggperioden behövs det även tillfälliga järnvägsspår och vägar förbi trafikplatsen.

Projektet för att optimera och dimensionera vägbron vid Alnarps trafikplats är i planeringsskedet (Trafikverket, 2017). Teknikkonsulterna COWI har tillsammans med Chalmers tekniska högskola, institution Bygg- och Miljöteknik, utformat projektet som ett kandidatarbete för akademiska skäl.

## 1.1 Syfte

Arbetet resulterar i ett förslag på en bro som, utifrån rådande förhållanden och krav, bäst lämpar sig vid trafikplats Alnarp. Förslaget innehåller en konceptuell utformning och fördimensionering.

## 1.2 Problembeskrivning

Bron syftar till att leda E6:an över den hårt trafikerade södra stambanan mellan Malmö och Lund. Enligt planritningen ska den nya bron bestå av sex körfält, vilket kräver en bredd på cirka 35 meter. Det tänkta brospannet över järnvägen är 93 meter. Platsens förutsättningar tillsammans med järnvägen under bron, ställer höga krav på den geometriska utformningen. Placering av brostöd analyseras med hänsyn till järnvägsspåren och risker med potentiella påkörningar. Den fria höjden mellan järnvägsspåren och konstruktionen tas också i beaktande. Under byggtiden finns det givna krav att järnvägstrafiken ska ha framkomlighet på minst två spår enligt M. Bäckström<sup>1</sup>. Detta kräver en god logistik och produktionsplanering för att undvika störningar i trafiken. Förutom de förutsättande kraven analyseras även aspekter som underhåll, behov av inspektioner, kritiska punkter i konstruktionen, beständighet och ekonomisk lönsamhet i begränsad grad.

## 1.3 Metod

Arbetsprocessen delas upp i två delar; en idéfas och en dimensioneringsfas. Idéfasen består av en litteraturstudie och en urvalsprocess.

Litteraturstudien behandlar och presenterar förutsättningar och krav, konstruktionsmaterial, brotyper, produktionsmetoder och underhåll. Information fås via föreläsningar kopplade till ämnet, kurslitteratur

---

<sup>1</sup>Magnus Bäckström (Brokonstruktör COWI) handledningsmöte den 17 januari 2017)

och branschspecifika internetsidor. I urvalsprocessen granskas de framtagna brokoncepten med avseende på de givna förutsättningarna för det aktuella området. De mest lämpade brokoncepten väljs ut och en mer ingående undersökning genomförs. Brokoncepten analyseras utifrån kategorierna konceptets utformning, produktion och miljö/underhåll. Under dessa kategorier tas flertalet kriterier fram, det görs via resonemang om vad som är viktigt vid val av brokoncept. De framtagna kriterierna viktas mot varandra i en beslutsmatris för att få fram vilka kriterier som är mer och mindre viktiga. Utifrån dessa kriterier poängsätts koncepten vilket resulterar i det mest lämpade konceptet.

Dimensioneringsprocessen utgör en preliminärdimensionering av det valda brokonceptet. Beräkningsmodell och lastfall definieras och resulterar i en preliminär beräkning av snittkrafter och kapacitet. Dimensioner och tvärsnittsdata tas fram så att systemet klarar krav för brott- och bruksgränstillstånd enligt Eurokod. Dimensioneringsprocessen är en iterativ process där olika dimensioner testas tills ett optimalt resultat hittas. En modell kommer visuellt illustrera hur den valda bron kommer se ut. Program som Matlab, Calfem och Cad kommer användas som hjälpmedel vid beräkning och illustration.

## 1.4 Avgränsningar

Arbetet avgränsas inom områdena geoteknik, ekonomi, akustik och laster. Platsens geotekniska förutsättningar diskuteras för att säkerställa att de olika koncepten är genomförbara och ekonomiskt försvarbara i dessa avseenden, i övrigt berörs geotekniken ej. Likaså berörs ekonomin endast ytligt vid val av brokoncept. Då vägen och järnvägen redan är befintliga tar rapporten inte hänsyn till hur bullernivån i området påverkas vid nybyggnation av bron. Lasterna vid dimensionering begränsas till egentynngd och trafiklast. Betydande laster vid val av koncept samt dimensionering är, förutom de två tidigare nämnda, bland annat olyckslaster, vindlaster och bromslaster. Dessa finns med i beaktning vid val av koncept men ej i beräkning av den valda bron. Preliminärdimensionering görs endast på brons bärande element samt några utvalda detaljer.

## 2 Förutsättningar

När en bro ska byggas finns det krav från flera håll som måste uppfyllas. Dels har trafikverket olika minimumkrav på den färdiga bron samtidigt som beställaren kan ha ytterligare krav bland annat gällande utformning och kostnad. Förutom de krav som ställs har alla projekt olika förutsättningar framförallt när det kommer till de geotekniska förhållanden som råder på platsen. Det förväntade trafikflödet spelar också en stor roll vid utformning av bron.

### 2.1 Krav enligt trafikverket

Konstruktioner utformas idag efter angivna krav enligt relevanta regelverk. Gällande utformning av brokonstruktioner är det bland annat Trafikverkets regelverk, Trafikverkets tekniska krav Bro (TRVK Bro 11, 2011), som gäller. I dessa ställs tekniska krav på utformning, verifiering av bärförmåga, stadga och beständighet samt på säkerhet vid användning.

Enligt Trafikverkets krav på utformning ska en bro utformas på ett sådant sätt att inspektion, drift och underhåll är möjligt för alla dess delar, vidare ska överytan utformas så att avvattningsmöjligheter finns i varje punkt. Invid lager ska under- och överbyggnad utformas så att avlastning av lagrena är möjligt (Trafikverket, 2011). För träbroar med teknisk livslängd 80 år, rörliga broar, broar med spännvidder större än 100 m, häng-, snedkabel- och bågbroar ska underhållsplaner upprättas (Trafikverket, 2011).

Vid hänsyn till bärförmåga, stadga och beständighet utformas bron både i brott- och bruksgränstillstånd enligt Eurokods grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990. Brottgränstillståndet avser belastning vid brott och bruksgränstillståndet avser egenskaper som deformationer och svängningar vid belastning i bruk. Gällande deformationskraven får inte nedböjningen överstiga 1/400 av den längsta teoretiska spännvidden (Trafikverket, 2011).

Ur säkerhetsperspektiv ställs utformningskrav på fria höjder undertill bron, samt minsta avstånd för mellan- och ändstöd. För broar över väg och järnväg ska, enligt Trafikverket (2011), den fria höjden över körbanan vara minst 5,1 m och för rälsöverkant ska det vara minst 5,9-6,5 m beroende på tågens hastighet. Stöd vid järnväg ska vara utformade som skivstöd samt placerade minst 3 m från spårmittpunkt och om ett mittstöd är placerat mindre än 10 m, räknat från spårmittpunkt, ska påkörning av stöden beaktas vid dimensionering.

### 2.2 Projektets förutsättningar

Den nya vägbron vid trafikplats Alnarp, ska leda E6 över de fyra järnvägsspåren, samt över en ramp. De fyra järnvägsspåren ska dimensioneras för 250 km/h (Alén, Lindvall, Johansson, Magnusson & Norén, 2013). Detta kräver då en fri höjd mellan överkanten av rälsen och underkanten på bron, på minst 6,5 m (Gustavsson, 2007). Höjden mellan järnvägsspåren och färdig vägbanan är 10,5 m, se bilaga A. Kravet på 6,5 m fri höjd medför då att den maximalt tillåtna konstruktionshöjden är 4,0 m. Varje spår skall också ha minst 3 m mellan spårmittpunkt och närmaste brostöd (Trafikverket, 2011).

Vägbanan skall bestå av sex körfält vilket kräver att brobanan är 34 m bred. Huvudspannet på bron har uppmätts till 93 m, se bilaga B. Det finns möjlighet att placera mittstöd bredvid spåren, se bilaga C.

Under byggnationen får inte järnvägstrafiken utsättas för kostsamma störningar, enligt M. Bäckström<sup>1</sup>. Det finns två tillfälliga järnvägsspår vid sidan om huvudspåren, som järnvägstrafiken kan använda vid behov. Detta gör det möjligt att stänga av huvudspåren, som går under huvudspannet på bron, en kortare tid. Spåren kan då beträdas utan säkerhetsrisk. Det ställs, trots detta, höga krav på en välplanerad produktionsprocess och valet av brokoncept är helt avgörande för en effektiv byggnation.

Alnarp ligger i en vindlastzon med medelhastigheten 26 m/s och med minimal respektive maximal lufttemperatur på -24°C och 36°C (Boverket, 2015).

## 2.3 Trafikflöde

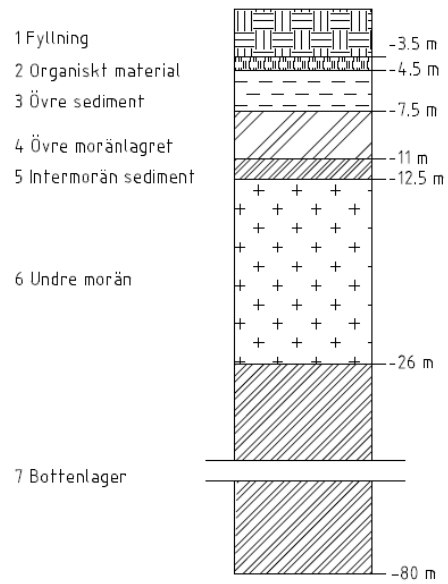
E6 kommer att dimensioneras för en referenshastighet på 110 km/h. Trafikflödet på E6 är idag cirka 40 000 fordon, där 12 % är tung trafik. År 2030 förväntas årsdygnstrafiken (ÅDT) ha ökat till 46 600 fordon, varav 15 % tung trafik, norr om trafikplats Alnarp och till 57 600 fordon, varav 17 % tung trafik, söder om trafikplatsen (Alén m. fl., 2013).

## 2.4 Geotekniska förhållanden

Alnarp befinner sig mitt i ett geologiskt område som kallas Alnarpssänkan. Det är ett område som har en nordvästlig riktning och sträcker sig från Ystad i söder, över Skivarp och Alnarp för att slutligen nå Ven, i norr (Nationalencyklopedin, utan år-a). Alnarpssänkan är en dalgång som är nedskuren i ett kalkstenslager och är idag uppfylld med ett jordlager med en mäktighet upp till 80–90 m. Jordlagerföljden består av sju olika lager. Det första, närmst markytan, består av olika typer av schaktmassor och fyllnadsmaterial, så som sand, moränlera och byggavfall. Mäktigheten på det första lagret är 2–5 m. Därefter kommer ett tunt lager med organiskt material som består av torv, gytta och dy från postglaciala avlagringar. Mäktigheten på detta lager är mindre än 1 m. Det tredje jordlagret kallas det övre sedimentlagret. Det är ungefär 3 m mäktigt och består av tunnare sand, silt och lera. Jordlager fyra i ordningen, även kallad det övre moränlagret, består av lermorän, sandig silt och sandig lermorän. Detta jordlager är 2–5 m mäktigt. Därefter kommer ett jordlager med intermoräna sediment. Detta består av finkornigare lera och finsand, men även de lite grövre sedimenten, mellansand och grus. Mäktigheten på detta lager varierar kraftigt i området och är därför svårt att bestämma utan mer detaljerade undersökningar. Det näst sista jordlagret består av så kallad nordostmorän. Det är en jordart som förekommer i Skåne och är en moräntyp med stor andel urbergsmaterial i grövre dimensioner (Nationalencyklopedin, utan år-d). Detta lager är 10–15 m mäktigt. Det sista lagret består av olika fraktioner av grovmo och är 60–70 m mäktigt (Griwell, 2013). Se hela jordlagerföljden i figur 2.1

---

<sup>1</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör COWI) handledningsmöte den 17 januari 2017)



Figur 2.1: Jordlagerföljden som gäller på platsen där bron ska byggas.

## 3 Underlag för urval

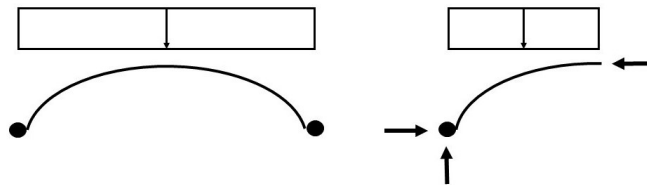
Genom en litteraturstudie ges ett underlag som behövs för att kunna göra en bra bedömning av vilket brokoncept som lämpar sig bäst för platsen.

### 3.1 Brotyper

Gemensamt för i stort sett alla broar är att de består av ett primärbärverk och ett sekundärbärverk. Lasterna som påverkar bron tas upp av sekundärbärverket och förs sedan, via primärbärverket, ned i marken. Brotyper kan kategoriseras på olika sätt. I detta kapitel har en uppdelning gjorts efter konstruktionens verkningssätt.

#### 3.1.1 Bågverkan

Enligt M. Plos<sup>1</sup> bär en bro som utnyttjar bågverkan kraften genom tryck och för att åstadkomma bärförmåga krävs både en horisontal och vertikal stödkraft, se figur 3.1. Konstruktioner som använder sig av bågverkan har en karakteristisk konvex båge.

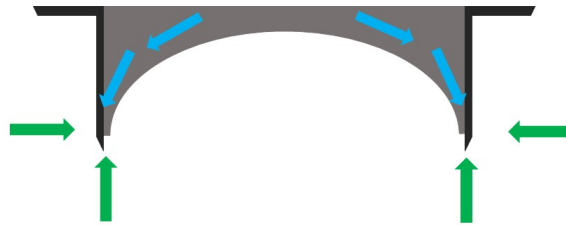


Figur 3.1: Figuren illustrerar bågverkan och de horisontella och vertikala reaktionskrafter som uppkommer vid en utbredd last.

#### Valvbro

Bågverkan började användas tidigt i brons historia, då i form av stenvalvsbroar. Idag är det ovanligt att valvbron byggs i sten eftersom det innebär väldigt höga produktionskostnader, istället används oftast armerad betong (Trafikverket, 2014). Fördelningen av krafter fungerar på samma sätt oberoende av material, kraften från lasten på brobanan tas upp i valvet och förs via tryck ned i grunden, se figur 3.2. Det krävs en bra grundläggning då det är stora krafter som förs ned i jorden, vilket gör att valvbron ofta är placerad på berg eller friktionsjord (Trafikverket, 2014).

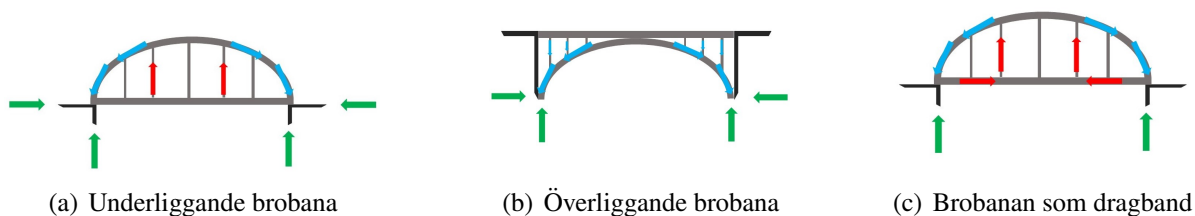
<sup>1</sup>Mario Plos (Docent/Avdelningschef, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 19 januari 2017



Figur 3.2: Figuren illustrerar en valvbros konstruktion och hur lasterna via tryck (blå pilar) förs ned i konstruktionen samt hur de leder till horisontella och vertikala stödkrafter (gröna pilar).

## Bågbro

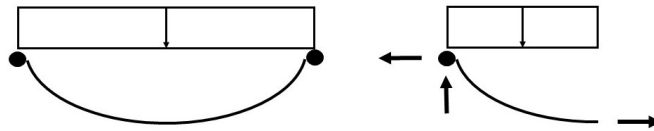
Plos förklarar att bågbron också är en brokonstruktion som använder sig av bågverkan. Vägbanan, som fungerar som det sekundära bärverket, kan antingen vara placerad under eller över bågen, se figur 3.3 (a) respektive (b). Vidare förklarar Plos att när vägbanan är placerad under bågen förs krafterna från vägbanan upp till bågen via drag i stag, jämfört med om vägbanan är placerad ovanför då kraftöverföringen sker via tryckkrafter i pelare. Oavsett var vägbanan är placerad förs krafterna sedan genom bågen ner i marken i form av tryck, se figur 3.3. Vägbanan kan även vara placerad delvis ovanför bågen och delvis under, den har då både stag och pelare och det kallas att den har en mellanliggande väggbana. Enligt Plos används i detta fall både tryck och drag när lasten förflyttas från det sekundära bärverket, vägbanan, till det primära bärverket, bågen. Bågbron kan vara gjord av trä, stål eller betong och kan få en spännvidd på upp till 260 m i ett spann eller 100 m vid flera spann. Precis som för valvbros är det stora krafter som förs ned i stöden vilket kräver en bra grundläggning (Trafikverket, 2014). Plos förklarar att när bågen placeras över brobanan kan bågen spännas fast i brobanan och på så sätt behövs inga horisontella stödkrafter, se figur 3.3 (c). Detta kan liknas vid en spänd pilbåge, vägbanan och bågen arbetar i symbios och det bildas stora dragkrafter i vägbanan.



Figur 3.3: Figuren visar tre typer av bågbroar och hur de leder laster via tryckkrafter (blå pilar) eller dragkrafter (röda pilar) samt påverkas av reaktionskrafter vid upplag (gröna pilar).

### 3.1.2 Linverkan

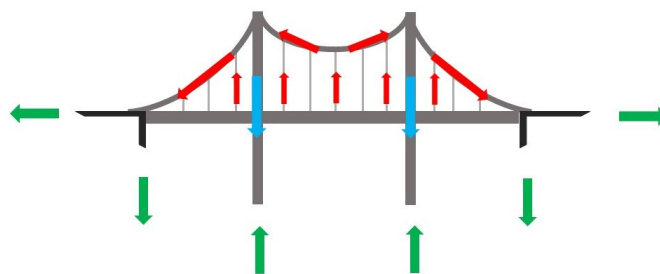
Linverkan är en bärförmåga som påminner om tidigare nämnda bågverkan, men vid linverkan bärs lasten istället genom drag. M. Plos<sup>2</sup> förklarar att precis som för bågverkan behöver även konstruktioner som använder sig av linverkan både horisontella och vertikala stöd, figur 3.4.



Figur 3.4: Figuren illustrerar linverkan och de horisontella och vertikala reaktionskrafterna som uppkommer vid en utbredd last.

### Hängbro

Hängbron är en typisk bro som använder sig av linverkan och har samma karakteristiska bågform som bågbron, förutom att den nu är konkav och alltid återfinns ovanför vägbanan. Trafikverket (2014) beskriver hur två parallella huvudkablar löper via pylontorn från ena broändan till den andra. Huvudkablarna är väl förankrade antingen i berg eller i stora betongfundament. Från huvudkablarna går vertikala kablar ned till brobanan och via dessa bärs lasten från vägbanan upp till linorna. Lasten från huvudkablarna förs sedan ned till marken, antingen via pylontornen via tryck eller ut till dess landfästen, se figur 3.5. Enligt Trafikverket (2014) leder detta till att pylontornen får utstå stora tryckkrafter medans kablarna endast tar dragkrafter. Hängbron används där det krävs stora spännvidder, den längsta hängbron i Sverige är Höga kusten bron som har en fri spännvidd på 1 210 m (Nationalencyklopedin, 2017). Hängbrons storlek gör att egentygnden blir en stor dimensionerande last. Dess storlek leder även till att den påverkas mycket av vindlast, vilket också måste tas i beaktning vid dimensionering (Trafikverket, 2014).



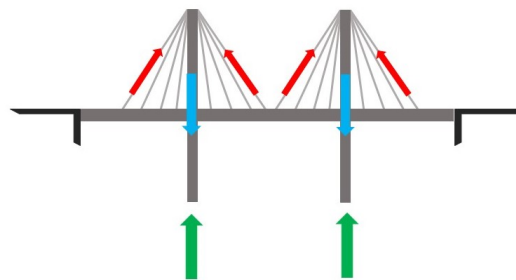
Figur 3.5: Figuren illustrerar en hängbro och hur dess laster förs ned i marken via dragkrafter (röda pilar) i kablarna och tryckkrafter (blå pilar) i pylontornen samt vilka stöd krafter (gröna pilar) detta ger upphov till.

<sup>2</sup>Mario Plos (Docent/Avdelningschef, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 19 januari 2017)



## Snedkabelbro

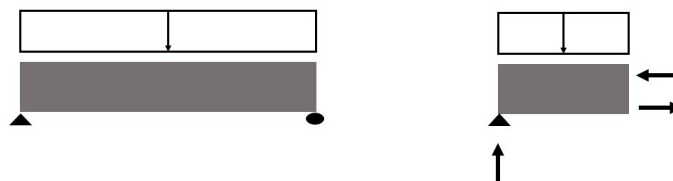
En bro som påminner mycket om hängbron är snedkabelbron. Den har också pylontorn som blir utsatta för stora tryckkrafter, men istället för de bågformade huvudkablarna är pylontornen och vägbanan sammankopplade via snedkablar. Dessa fäster på båda sidor om pylontornet och bär lasterna från vägbanan upp till pylontornet via drag, se figur 3.6 (Trafikverket, 2014). Precis som för hängbron används snedkabelbron vid stora spännvidder, det längsta exemplet i Sverige är Sunningesundsbron i Uddevalla med sin 414 m fria spännvidd (Nationalencyklopedin, 2017). Även för snedkabelbron blir egentygnd och vindlast viktigt vid dimensionering (Trafikverket, 2014). Snedkabelbroar är generellt 30% billigare att producera än hängbroar (Björkman, 2013). Både snedkabelbroar och hängbroar anses dock bli lönsamma först då spännvidder på 150- 200 m krävs (Nationalencyklopedin, 2017).



Figur 3.6: Figuren illustrerar en snedkabelbro och hur lasterna förs från brobanan till pylontornen via drag (röda pilar) och sedan via tryck (blåa pilar) ned till marken samt hur detta ger upphov till stödkrafter (gröna pilar).

### 3.1.3 Balkverkan

För en bro som använder sig av balkverkan innebär det att bärverkselementet bär vertikala laster genom böjning och fördelar dem sedan till stöd, enligt M. Plos<sup>3</sup>. Det innebär att det krävs en vertikal stödkraft vilket illustreras i figur 3.7.



Figur 3.7: Figuren illustrerar balkverkan vilket innebär att när konstruktionen belastas skapas det tryck i överkant och drag i underkant samt vertikala stödkrafter.

<sup>3</sup>Mario Plos (Docent/Avdelningschef, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 19 januari 2017

## Balkbro

Balkbron byggs vanligtvis av armerad eller förspänd betong men konstruktionsmaterial som stål, trä och kombinationer av materialen förekommer också. Med balkar av armerad betong eller stål kan spännvidder på över 200 m åstadkommas (Nationalencyklopedin, utan år-b). Primärbärverket i en balkbro är en eller flera parallella balkar av konstant eller varierande höjd som tar upp de vertikala lasterna genom balkverkan, se figur 3.8. Vägbanan, som fungerar som sekundärt bärverk, är placerad ovanpå balkarna. Vägbanan har som funktion att bära trafiklaster ner till balkarna samt ge stabilitet till konstruktionen. Antalet balkar beror på vägbanans bredd men framförallt på trafiklast. Lasten från en balkbro förs ned i marken vertikalt via stödpelare som balken är upplagd på. Balkbron kan byggas i flera spann med hjälp av pelare. Över pelarna kan balkbron vara fritt eller kontinuerligt upplagd.



Figur 3.8: Figuren illustrerar en balkbro och hur lasterna förs från brobanan till stöd via drag (röda pilar) och tryck (blåa pilar) samt vilka stödkrafter (gröna pilar) detta ger upphov till.

En annan typ av balkbro är plattbron, som kännetecknas av att en massiv platta har ersatt bärbalkar och färdbaneplatta, se figur 3.9. Plattbron används oftast då tillgänglig konstruktionshöjd är begränsad samt vid korta spännvidder enligt B. Engström<sup>4</sup>. En plattbro är fritt upplagd vid ändstöden och kan uppnå ca 35 m i spännvidd med förspänd betong (Trafikverket, 2014).



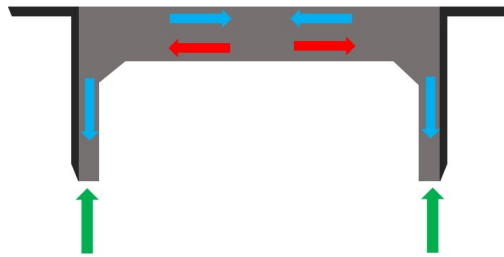
Figur 3.9: Figuren illustrerar skillnaden mellan tvärsnittet för en plattbro (till vänster) och en balkbro (Engström, B. 2017). Återgiven med tillstånd

## Rambro

Rambroar använder sig av ramverkan, se figur 3.10, och kan delas in i två olika typer, plattrambro och balkrambro, där tvärsnittet skiljer dem åt enligt figur 3.9. Ramverkan är när flera knutpunkter är styva och ger motstånd mot förskjutning. Detta gör att ramen kan ta upp horisontella och vertikala krafter enligt B. Engström. Brotypen definieras av att brobaneplattan är inspänd i ändstöden tillskillnad ifrån plattbron som är fritt upplagd. Balkrambroar utformas oftast i kontinuerliga spann och kan få spännvidder på upp till 50 m, vilket är längre än plattrambroar som uppnår samma spännvidder som plattbroar (Trafikverket,

<sup>4</sup>Björn Engström (Biträdande professor, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 19 januari 2017

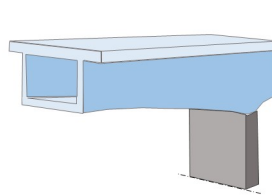
2014). På grund av höga produktionskostnader byggs inte balkrambroar av slakarmerad betong längre. De ersätts istället av balkbroar vid längre spännvidder och av plattbron eller plattrambron vid kortare spännvidder (Trafikverket, 2014).



Figur 3.10: Figuren illustrerar en rambro och den balkverkan (horisontella pilar) som uppstår i brobanan och hur lasterna förs ner i ramen via tryck (blå vertikala pilar) samt vilka stödkrafter (gröna pilar) det ger upphov till.

### Lådbro

Vid större spännvidder används lådbalkbroar, där balktvärsnittet är utformat som en låda för att minska tvärsnittets egetyngd. Tvärsnittets utformning leder också till att balken kan ta hand om horisontella laster genom en genererad vridstyvhet som är större än vridstyvheten hos I- och T-tvärsnitt (Trafikverket, 2014). Ett högt vridmotstånd ger lådbron högre stabilitet och gör den passande till svängda broar. Tvärsnittets utformning kan vara konstant eller variera vilket kan ses i figur 3.11 (Trafikverket, 2014).



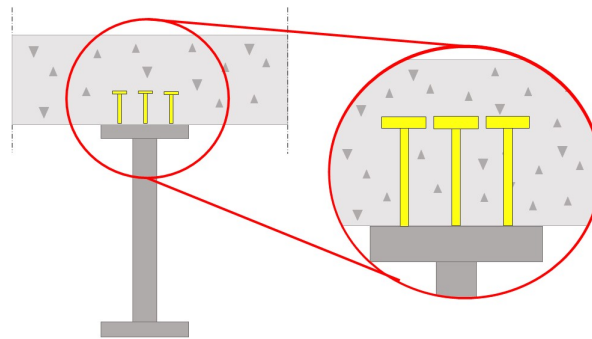
Figur 3.11: Figuren illustrerar en lådbro i betong med ett varierande lådtvärsnitt.

Lådbron kan utformas som en samverkansbro, lådbalken är då gjord i stål och kan antingen ha en farbana av betong som gjuts på plats eller prefabriceras. Görs hela bron i betong kan lådbalken antingen komma som prefabricerade segment som monteras ihop eller så byggs gjutformar och lådbalken gjuts på plats (Trafikverket, 2014). Precis som för samverkansbron gjuts farbanan när lådbalken är monterad. De prebaricerade lådsegmenten används för spannlängder från 40 m eftersom det för kortare spännvidd inte blir ekonomiskt (Trafikverket, 2014). Vid längre spannlängder än 150 m blir egenvikten för tung vid montering. Tvärsnittet kan utformas antingen med en eller flera celler. Vid encellslåda rekommenderas

det att brobaneplattan ej är bredare än 15-18 m (Marklund & Nilsson, 2008).

### Samverkansbro

En samverkansbro fungerar nästan på samma sätt som en vanlig balkbro. Enligt F.Nilenius<sup>5</sup> är skillnaden att materialen som används till brokonstruktionen samverkar både strukturellt och mekaniskt. De två materialen fungerar alltså mekaniskt som en enhet. Betong och stål är två vanliga material i en sådan bro, där studs används för att binda materialen, se figur 3.12. Vidare förklarar Nilenius att i en samverkansbro kan materialens egenskaper, som tryckhållfastheten i betong och draghållfastheten i stål, utnyttjas maximalt. Detta leder till att det inte krävs lika mycket material vilket gör att bron både blir lättare och billigare. För lättare konstruktioner ökar dock risken för instabilitet vilket kräver stag både i längs- och tvärled.



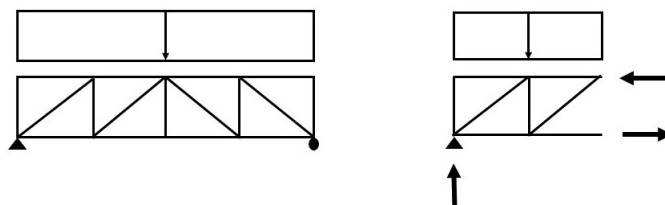
Figur 3.12: Figuren illustrerar ett I-tvårsnitt i stål som samverkar med farbana i betong genom studs (gulmarkerade i figuren) som är förankrade i betongen och fastsvetsade i övre flänsen.

#### 3.1.4 Fackverkskonstruktioner

Fackverkskonstruktioner består av sammankopplade stänger, dessa bär lasterna genom tryck och drag beroende på hur de är placerade. Metoden används inte bara för broar utan även för byggnader, exempelvis som takstolar (Nationalencyklopedin, utan år-c).

Fackverket i en brokonstruktion kan utformas så att det fungerar som en balkbro. Konstruktionen är då uppbyggd av två horisontella huvudstänger som hålls ihop av vertikala och diagonala stänger. De olika stängerna tar laster genom rent drag eller tryck och tillsammans bildas en balk som kan ta upp laster genom balkverkan (Dahlblom & Olsson, 2010). Balkens överkant blir tryckt och i underkant uppstår drag, se figur 3.13. Fackverkskonstruktionen kan vara placerad under eller över brobana. Spännvidder för fackverksbroar är, utförd av stål, upp till 100 m. Är konstruktionen gjord av trä kan 30 m överbyggas. Fackverksbroar har höga produktionskostnader och därför byggs idag endast järnvägsbroar med fackverk, inte vägbroar (Trafikverket, 2014). Även bågbron kan använda sig av fackverkan. Då består bågen av en fackverkskonstruktion istället för en massiv båge som det varit tidigare (Åstedt, 2009).

<sup>5</sup>Filip Nilenius (Forskarassistent, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 27 januari 2017



Figur 3.13: Figuren illustrerar hur det uppstår drag- och tryckkrafter i en fackverskbalk vid belastning samt vilka reaktionskrafter som uppkommer.

## 3.2 Grundläggning

När en bro belastas med stora laster måste dessa föras från bron och ner i marken. Enligt F. Nilenius<sup>6</sup> sker överföringen av den mekaniska lasten med hjälp av grundläggningen och beroende på platsens markförhållande krävs det olika typer av grundläggning. Vidare hävdar Nilenius att även brotyp spelar in i val av grundläggningsmetod men det är jordtypen som är den dimensionerande faktorn. Det görs därför flera prover av marken nära brons landfästen för att få en så korrekt bild som möjligt av marken. Enligt Nilenius används främst pålning eller plattgrundläggning för brokonstruktioner.

### 3.2.1 Pålning

Enligt Nilenius är den vanligaste grundläggningsmetoden för broar pålning, där pålarna huvudsakligen är gjorda av betong men även stål- och träpålar används. En vanlig metod för att driva ner pålarna i marken är nedslagning. Borrning är också en metod som används men i mindre utsträckning. Vidare hävdar Nilenius att det är dyrare att borra en påle än att slå ner en påle, men den borrarade kan bära större horisontella laster samt ger mindre påverkan på omkringliggande mark under nedborrning. Vid en borrarad påle ersätts jorden med en påle jämfört med när pålen slås ned och jorden trängs undan. Den låga ljudnivån vid borring av påle är också en fördel samt att den genererar lägre markvibrationer än en slagen.

Om pålen slås ända ned till berg kommer lastöverföringen, enligt Nilenius, ske via kontaktytan mellan pålspetsen och berget, det kallas att pålen är spetsbärande. Vid de fall pålen inte når ner till berget sker lastöverföringen istället via friktion eller kohesion på pålens yta, dessa pålar kallas för mantelburna.

Vid grundläggning används flera pålar och det är då viktigt att tänka på hur pålarna placeras eftersom de kommer integrera med varandra. Nilenius förklarar att om de sätts för nära varandra kommer hela pålgruppens lastförmåga vara lägre än den totala summan av varje enskild påles lastförmåga. Detta beror på att två eller flera pålar verkar på samma del av jorden som då inte klarar av att ta upp alla laster. Vissa pålar väljs även att slås ned snett, detta för att de ska bli bättre på att ta upp horisontella krafter.

Enligt Nilenius används pålning då det översta jordlagret saknar bärförmåga, lasterna förs då via pålen ned till berg eller jord med högre bärförmåga. Om bron kommer utsättas för stora horisontella laster är pålning att föredra eftersom dess djupa grundläggning leder till att den är bättre på att ta upp moment

<sup>6</sup>Filip Nilenius (Forskarassistent, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 31 januari 2017

jämfört med den ytliga plattgrundläggningen. Vidare förklarar Nilenius att tillfällena då det kommer vara mycket rörelser i jorden, exempelvis vid jorderosion eller svällande och krympande jordlager, är pålning att föredra.

### 3.2.2 Plattgrundläggning

Enligt Nilenius kan plattgrundläggning användas istället för pålning om det övre jordlagret har bra bärförmåga. Lasterna förs då ned i brostöd och fördelas sedan via plattan som är grunt placerad i jorden. Detta är en grundläggningsmetod som kräver mindre material och är lättare att utföra än pålning och därmed även billigare. Enligt Nilenius leder dock jordrörelserna till att stora sättningar samt skjuvbrott kan uppkomma vid grundläggningen.

## 3.3 Material

Val av material i brokonstruktionen har en betydande roll. Materialens egenskaper lämpar sig olika bra till olika förutsättningar. Detta kapitel ska ge en god grund till materialvalet och tar upp de tre främsta konstruktionsmaterialen trä, stål och betong.

### 3.3.1 Trä

Trä är ett naturligt material som i Sverige är det äldsta och enda förnyelsebara byggnadsmaterialet (Svenskt Trä, 2016). Materialet har många användningsområden och inom byggindustrin används trä i stomkonstruktioner, som ytter- och innervägsbeklädnader, inredningar med mera (Svenskt Trä, 2013).

#### Tillverkning och egenskaper

Genom att avverka skog och förädla råvaran i sågverk fås sågat virkesmaterial som slutprodukt. Det sågade virket används vidare som komponent och genom hyvling eller sammanfogning skapas element, som limträ och hyvlat virke i olika varianter, med specifika egenskaper och uppgifter (Svenskt Trä, 2013). Materialet är lättbearbetat vilket underlättar dess formgivning samt kräver, utöver energi från egen biprodukt, liten extern tillförd energi vid sågverken (Svenskt Trä, 2013). Låg framställningsenergi tillsammans med sin förmåga att binda  $CO_2$  gör trä till ett miljövänligt material.

En karaktäristisk egenskap för trä är dess starka hållfasthet i förhållande till sin låga egenvikt. Hållfastheten varierar dock beroende på om materialet belastas längs med eller tvärs fibrerna (Svenskt Trä, 2013). Till skillnad från sin goda hållfasthet har trä en låg styvhet, i jämförelse med stål, vilket gör att deformationer och svängningar ofta är dimensionerade istället för materialbrott (Svenskt Trä, 2013). Materialets ursprung gör att dess naturliga egenskaper, densitet, hållfasthet och beständighet, varierar i stor grad och varje träslag har därför sina typiska användningsområden (Svenskt Trä, 2013).

Trä är ett organiskt material vilket gör det känsligt mot träförstörande organismer, som rötsvamp och insekter över en viss fukthalt. Beroende på träslag, finns en viss naturlig beständighet, vilken även går att förbättra i efterhand genom att behandla materialet med träskyddande kemikalier (Svenskt Trä, 2013). För att i god tid hinna förebygga nedbrytningsrisken krävs under förvaltning kontinuerliga inspektioner av materialet. Inspektionerna kan innefatta utföranden som mätningar av materialets fukthalt.

## För- och nackdelar

Med sin goda arbetbarhet kan trämaterial vid behov formas till komplicerade former med hjälp av lätta verktyg direkt på arbetsplatsen. Arbetbarheten underlättar även tillverkningsprocessen och leder till ett litet behov av tillförd energi, vilket gör trä till ett miljövänligt material. Dess höga hållfasthet gör, vid effektiv användning, att allt slankare konstruktioner kan åstadkommas. På grund av sin låga styvhet dimensioneras ofta trä för deformationer och svängningar istället för materialbrott. Materialets organiska uppbyggnad gör det känsligt mot nedbrytning och måste därför behandlas med träskyddande kemikalier.

### 3.3.2 Stål

Stål är ett relativt nytt material, massproduktionen startade på mitten av 1800-talet och är idag ett vanligt byggmaterial för broar (Stålbyggnadsinstitutet, 2015). I brokonstruktioner finns stål i form av balkar, plåtar och stänger (Sperle, utan år). Enligt F. Nilenius<sup>7</sup> används materialet i rena stålbroar men är också vanligt förekommande i samverkansbroar, då i kombination med betong.

## Tillverkning och egenskaper

Stål är en legering av främst järn och kol (Stålbyggnadsinstitutet, 2015). Beroende på vilka övriga ämnen som används vid legering får stålet olika egenskaper. Majoriteten av de konstruktionsstål som används är handelsstål, dessa utmärks av att ha en låg legeringshalt. Utvecklingen av konstruktionsstålet har lett till en optimal kombination av de olika egenskaperna seghet, hållfasthet och svetsbarhet (Sperle, utan år). Stål har hög hållfasthet och enligt M. Al-Emrani<sup>8</sup> är det ett material som ger mycket hållfasthet och styvhet jämfört med vad det kostar. Framställning av stål är en energikrävande process vilket gör att det kan ses som ett ogynnsamt material ur miljösynpunkt. Dock bör hela stålets livslängd vägas in vid en bedömning av huruvida materialet har en stor miljöpåverkan eller inte (Jernkontoret, 2016). Schablonkostnad för stål när det gäller svetsade balkar inklusive ytbehandling är 40000 kr/ton enligt S. Lindén<sup>9</sup>.

## För- och nackdelar

Stål används för att bygga slanka, lätta konstruktioner vilket är önskvärt vid större broar eftersom det leder till en lägre egentynad. Det är också ett material som går snabbt att bygga med tack vare en hög prefabriceringsgrad (Stålbyggnadsinstitutet, 2016). När stål kommer i kontakt med vatten eller när luftfuktigheten är högre än 60 % finns det risk för korrosion. Rostskyddsmålning är den vanligaste skyddsåtgärden men även emaljering, förzinkning eller användning av legeringar som är korrosionshårdiga, är vanligt förekommande. Val av skyddsåtgärd är viktigt, inte minst ur ett ekonomiskt perspektiv och då framförallt för att det påverkar långsiktiga kostnader så som underhåll och dess livslängd (Burström, 2001).

<sup>7</sup>Filip Nilenius (Forskarassistent, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 27 januari 2017

<sup>8</sup>Mohammad Al-Emrani (Docent, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 2 februari 2017

<sup>9</sup>Staffan Lindén (Brokonstruktör Cowi), personlig kommunikation den 2 mars 2017

### 3.3.3 Betong

Ett betongliknande material användes redan 500 år f.kr. och är idag det dominerande konstruktionsmaterialet för byggnadsverk och står för 50-70 % av världens infrastruktur (Burström, 2001). Materialet används till många olika typer av konstruktioner exempelvis broar, grund- och stomkonstruktioner.

#### Tillverkning och egenskaper

Betong är ett solitt sammansatt material av tre huvudbeståndsdelar: vatten, cement och ballast (Burström, 2001). Cement och vatten blir betongens bindemedel och binder ihop ballastkornen till slutprodukten betong. Genom att variera proportionerna av mängden beståndsdelar, cementtyp och ballastens partikelfördelning kan olika egenskaper uppnås. Tillsatsmaterial och olika organiska eller oorganiska tillsatsmedel kan användas för att modifiera betongens egenskaper i såväl färskt som härdat tillstånd.

Betongens mest karakteristiska egenskap är dess hållfasthet som bestäms av betongens sammansättning och varierar beroende på hur konstruktionen belastas. Draghållfastheten är betydligt lägre än tryckhållfastheten och uppgår endast till 10 % av tryckhållfastheten (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013). När en konstruktion belastas kan uppträdande dragpåkänningar resultera i sprickor. För att förhindra brott i konstruktionen kan den förses med ingjutna armeringsstänger av stål som upptar dragkraft från betongen. Armeringen sitter förankrad inuti konstruktionen och krafter överförs mellan armering och betong genom vidhäftning samt kontaktryck kring armeringsstängernas förtagningar (Al-Emrani m. fl., 2013). Enligt Lindén är schablonpriser för armering, inlagd och bockad, 12000 kr/ton och för betong, inklusive form och gjutning, 1500 kr/ton.

I brukstadiet kan sprickbildningen motverkas genom förspänning, där en spännkraft införs i betongkonstruktionen innan den belastas med en nyttig last. Spännkraften påförs med hjälp av ingjutna spänneheter av höghållfasthetsstål. Vid belastning kommer påkänningarna från förspänningen successivt avlastas (Al-Emrani m. fl., 2013). Förspänningen kan förhindra sprickbildningen helt eller delvis i brukstadiet och senarelägga sprickbildningen jämfört med oarmerad och konventionell armerad betong. Enligt B. Engström<sup>10</sup> påverkas inte bärförmågan primärt av förspänningen, men genom att förspänna betongen kan exempelvis brokonstruktioner göras slankare eller ge längre spännvidder med samma konstruktionshöjd.

Betong är ett material med lång livslängd och god beständighet. Sammansättningen i betongen kan styras vilket påverkar beständigheten och andra egenskaper. Betong klarar av höga temperaturer, är fukttåligt och icke brännbart (Svensk Betong, utan år). Materialet förändras inte av vatten och kan inte mögla, men påverkas av kemiska och fysikaliska angrepp. De kemiska angreppen mot betong kan vara oorganiska syror som bildar sprängning eller sprickbildningar i betongen. Till de fysikaliska angreppen hör fuktbelagda rörelser, frost- och saltspänningar. För armerad betong kan armeringskorrosion uppstå i fuktiga och salthaltiga miljöer, vilket leder till sämre hållfasthet hos stängerna (Burström, 2001).

Beständigheten hos betong varierar även med tiden (Al-Emrani m. fl., 2013). Enligt Engström krymper betong vid successiv uttorkning även efter hårdnad och fortsätter oavsett om konstruktionen är belastad eller ej. Vid långtidsbelastning uppstår ett krypbeteende hos betongkonstruktionen som leder till deformationer. Om rörelserna från krympning och krypning förhindras så ger det upphov till spänningar i konstruktionen. Dessa spänningar kan leda till sprickbildning hävdar Engström.

<sup>10</sup>Björn Engström (Biträdande professor, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 27 januari 2017



## **För- och nackdelar**

Fördelar med att använda betong som konstruktionsmaterial är att råmaterialen är lättillgängliga och billiga. Betong har god formbarhet och är därför smidigt att arbeta med och skapa estetiskt tilltalande konstruktioner (Al-Emrani m. fl., 2013). Det är effektivt att producera och prefabricera vilket underlättar arbetet i byggstadiet. Tillverkningen av cement är dock en energikrävande process som konsumerar vatten och släpper ut växthusgaser. Betong har hög tryckhållfasthet, slitstyrka och tålighet. Materialet klarar av utmanande klimatförhållanden och bibehåller sina egenskaper utan större krav på underhåll i mer än 100 år och kan återvinnas som fyllnadsmaterial (Svensk Betong, utan år). Betong är känsligt för kemiska och fysikaliska angrepp som kan leda till att betongen spricker eller sprängs. Andra nackdelar med betong är den låga draghållfastheten och de tidsberoende deformationer som kan uppstå.

## **3.4 Förvaltning av broar**

Förutsättningarna för bron ändras under dess livslängd, exempelvis till följd av klimatförändringar och ändrade trafiklaster. Enligt rapporten (Trafikverket, 2011) gäller följande:

”Broar ska utformas på sådant sätt att drift och underhåll av all deras delar kan utformas utan svårigheter. I en bro över en järnväg ska avståndet mellan spårmitt och stöd vara sådana att stöden kan byggas, inspekteras och repareras utan att tågtrafiken störs.” (s. 32).

Genom att redan i byggnadsfasen ta hänsyn till inspektion och underhåll kan man underlätta förvaltningen i framtiden och minska kostnader knutna till detta (Trafikverket, 2016).

### **3.4.1 Träkonstruktioner**

Enligt krav från trafikverket ska träkonstruktioner skyddas mot röta och angrepp från virkesförstörande insekter (Pousett & Fjellström, 2004). De ska också skyddas mot väderexponering genom pigmenterad ytbehandling. Horisontella ytor av limträ kräver speciellt skydd, som kan utgöras av gummiduk, plåtbeslag eller tätskiktspapp. Denna skyddsmetod gäller även öppna skarvar och ändträ (Pousett & Fjellström, 2004).

### **3.4.2 Stålkonstruktioner**

Rost är den stora risken med stålkonstruktioner och därför finns det krav på rotskydd (Trafikverket, 1994). För lådtvärnsnitt finns undantag på rotskydd men då finns istället krav på avfuktningssystem. Stålförband som innefattar skruv och spik ska korrosionskyddas. Kablar, i till exempel linbärverk, ska rotskyddas och tätas så att inget vatten kan tränga in i kabeln (Trafikverket, 1994).

### **3.4.3 Betongkonstruktioner**

Betongkonstruktioner ska skyddas mot kloridinträngning och karbonatisering. För att skydda mot klorid-inträngning ska betongytan förses med ett ytskydd i form av djupimpregnering. Detta skydd ska förnyas var tionde år (Silfwerbrand, 2002). För att skydda konstruktionen mot karbonatisering ska utbyte av täckande betongskikt göras, alternativt komplettera betongskiktet. Armeringen i betongkonstruktionerna

behöver skyddas mot korrosion och kan göras genom katodiskt skydd. Skyddets effektivitet behöver kontinuerligt kontrolleras genom elektropotentialmätning (Silfwerbrand, 2002).

## 3.5 Produktionsmetoder

Lämplig produktionsmetod varierar beroende på byggplatsens förutsättningar, ekonomi och tidskrav. Möjliga produktionsmetoder avgör vilken typ av bro som kan byggas. En bra produktionsmetod kännetecknas enligt P-O. Svahn<sup>11</sup> av förutsägbar tidsåtgång, låg kostnad, få temporära konstruktioner och att den är säker att utföra. I fall som detta, då en bro ska byggas över järnvägsspår med högspänningsledningar och passerande tåg, ställs höga krav på säkerheten.

### 3.5.1 Prefabricerat

Vid prefabricering tillverkas de element i fabrik och transporteras sedan till byggplatsen. Där monteras delarna ihop. Prefabricering är möjligt för broar i alla de tre materialen, stål, trä och betong. Storleken på de förtillverkade elementen begränsas främst av hur stora delarna kan vara under transporten. Fördelarna med prefabricering är att högre kvalitet kan garanteras på konstruktionerna då de tillverkas under kontrollerade former (Altun & Utriainen, 2013). Byggtiden kortas även ned och arbetsmiljön blir säkrare då produktion kan ske på lägre höjd och med fasta rutiner. Föreligger svåra grundförutsättningar där det är svårt att bygga tillfälliga stödkonstruktioner för att bygga bron är prefabricering att föredra (Altun & Utriainen, 2013). Stålkonstruktioner har en mycket hög prefabriceringsgrad. Konstruktionsdelarna tillverkas främst efter standardiserade mått. Balkar kan utföras i både valsade och svetsade profiler. Fördelen med valsade produkter är att de är billigare per ton. Nackdelen är att balkarna tillverkas med begränsad höjd, vilket också begränsar spännvidden, enligt M. Al-Emrani<sup>12</sup>. Fördelen med svetsade balkar är att de kan skräddarsys efter behov och kan tillverkas med en större livhöjd vilket möjliggör längre spännvidder. Valsade profiler är billigare vid mindre konstruktioner, vid längre konstruktioner kan det dock bli mer lönsamt med svetsning. För brobalkar är det vanligast med svetsade profiler just eftersom längre och högre balkar kan tillverkas som då kan ta moment på ett bättre sätt (Al-Emrani m. fl., 2013). Prefabricerade träelement blir allt mer vanligt och metoden med förtillverkning lämpar sig mycket väl för trä. Detta på grund av träets låga densitet som ger lätta konstruktionsdelar. Det gör att både transport och montering blir lätt (Svensk byggtidning, 2016).

### 3.5.2 Platsgjutning

Vid platsgjutning av betongbroar byggs en form där armering läggs in och som sedan fylls med betong. Betongen ska kompakteras genom vibrering och sedan härda innan formen kan rivs. Självkompakterande betong som används i allt större utsträckning leder till en säkrare arbetsmiljö för arbetarna eftersom vibrering ej krävs. Även snabbtorkande betong kan beställas som förkortar tiden för härdning (Svensk betong, 2017b). Då höga konstruktioner som till exempel pelare ska gjutas finns huvudsakligen två olika metoder, klätterform och glidform. De två metoderna liknar varandra men vid glidformsgjutning förflyttas formen i jämn takt uppåt, samtidigt som formen fylls med betong. Gjutning, armering och efterarbete

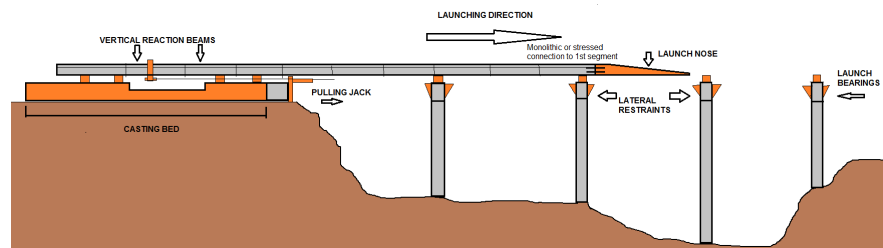
<sup>11</sup>Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Region Stora Projekt, Skanska Sverige AB), föreläsning den 2 februari

<sup>12</sup>Mohammad Al-Emrani (Docent, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers), föreläsning den 2 februari

sker kontinuerligt (Bygging-Uddeman, 2015). Vid klätterformsgjutning sker istället gjutningen etappvis. Nackdelen med platsgjutningen är att formbyggandet är en tidskrävande process. Främsta fördelen är dock att möjligheterna för formgivning är betydligt fler, då formen som betongen gjuts i kan utformas efter önskemål (Altun & Utriainen, 2013).

### 3.5.3 Lansering

En metod som är användbar då markförhållandena gör det svårt att använda sig av lyftkranar och att komma åt att svetsa är lansering. Vid lansering sammanfogas delarna vid ena broändan och skjuts fram över stöden. Enligt P-O. Svahn<sup>13</sup> behövs en nos längst fram för att få brobanan i rätt riktning över stöden, se figur 3.14.



Figur 3.14: Figuren illustrerar produktionsmetoden lansering. Bron förses med en nos längst fram och skjuts sedan på plats (Paulmac, 2014). CC-BY

### 3.5.4 Balanserad konsolutbyggnad

Ytterligare en metod som är användbar då det på platsen är svårt att använda temporära stödkonstruktioner är balanserad konsolutbyggnad. Då byggs de permanenta stöden först och utifrån dessa byggs sedan brobanan ut balanserat på båda sidor om stöden till mitten av det fria spannet (Chen & Duan, 1999). Där förenas konsoler från två motstående pelare. Metoden går att använda vid platsgjutning av betong, med prefabricerade betongelement såväl som med stålelement. Då balkbroar produceras är konstruktionen under hela processen självbärande. Snedkabelbroar kan också byggas med denna metod, då spänns kablarna fast allteftersom brobanan byggs ut (Chen & Duan, 1999).

<sup>13</sup>Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Region Stora Projekt, Skanska Sverige AB), föreläsning den 3 februari

## 4 Urval

Med grund i den litteraturstudie som gjorts görs ett stegvis urval som resulterar i det koncept som anses passa bäst på platsen.

### 4.1 Beslutskriterier

Det första steget i urvalsprocessen för att finna den mest lämpade bron är att ta fram önskvärda kriterier, vilka ska spegla de krav och förutsättningar som ställs. Kriterierna viktas mot varandra för att få fram vilka av dem som är mer eller mindre viktiga i det aktuella fallet. De viktade kriterierna används sedan i en beslutsmatrix och på så vis viktas koncepten mot varandra.

#### 4.1.1 Beställare

Följande kriterier ställs ur beställarens synvinkel där slutprodukt och kostnad är av betydelse.

##### Låg anläggningskostnad

Det brokoncept med lägst kostnad för slutprodukten är det som är mest fördelaktigt. I detta innefattas kostnaden för material samt produktion av bron.

##### Estetiskt tilltalande

För att ett koncept ska anses vara estetiskt tilltalande eftersträvas ett koncept med en design som passar in på platsen. I vissa fall innebär det ett koncept som sticker ut och representerar platsen medan i andra fall är det önskvärt att konceptet smälter in i dess omgivning.

##### Kort byggtid

Kort tid från byggstart till färdigställande är fördelaktigt då detta minimerar trafikstörningar.

#### 4.1.2 Produktion

Nedanstående kriterier syftar till att välja ett koncept som ger den mest fördelaktiga produktionsmetoden.

##### Få risker

Krav på säkerhet och arbetsmiljö är standardiserat i Sverige, men vissa koncept och metoder kan dock innebära större risker vid produktion. I detta kriterium eftersträvas beprövade metoder som ger färre risker och på så vis minskar riskhanteringen i projektet.

##### Korta trafikavbrott

Då järnvägen är starkt trafikerad och störningskänslig är brokoncept med korta trafikavbrott för järnvägen att föredra.

## **Få temporära konstruktioner**

Koncept med smarta lösningar eftersträvas för att effektivisera bygget genom att minska antalet temporära konstruktioner.

## **God genomförbarhet**

Ett koncept ska inte bara vara bra på ritningen utan ska även vara praktiskt genomförbart. Då innefattas att konstruktion och delkomponenter ska vara enkla att utföra och transporter ska kunna ske på ett smidigt sätt.

## **Innovativt koncept**

Ett innovativt koncept eftersträvas och då gäller det främst nya produktionsmetoder som leder till smarta lösningar men även en innovativ design.

### **4.1.3 Miljö och underhåll**

De sista kriterierna ska säkerställa att det koncept som väljs är hållbart ur miljö- och underhållssynpunkt.

#### **Låg materialåtgång**

Syftar till att minimera materialanvändning i såväl huvudkonstruktion som eventuella temporära konstruktioner. Att kunna återanvända temporära konstruktioner, som exempelvis formar, är att föredra framför fler unika konstruktioner.

#### **Låg miljöpåverkan**

Ett koncept där materialens påverkan av miljön under dess livscykel är så låg som möjligt eftersträvas. I detta innefattas framställning av material, transporter, produktion, underhåll samt återvinning av materialet.

#### **Litet underhållsarbete**

Koncepten bör ha ett så litet underhållsarbete som möjligt. Detta innefattar materialval baserat på dess beständighet.

#### **Framkomlighet för inspektion och underhåll**

Ett koncept som förenklar framkomligheten vid inspektion och underhåll av bron och alla dess komponenter eftersträvas.

## 4.2 Viktning av kriterier

De olika kriterierna viktas i en tabell, se figur 4.1, där varje kriterium jämförs en och en med övriga kriterier. De värderas då högre, lägre eller likvärdigt som det andra kriteriet och får utefter detta olika mycket poäng. Den slutgiltiga poängen ger varje kriterium en viss procent, vilket visar på om kriteriet värderas mer eller mindre viktigt i beslutsprocessen. Ju högre procent desto viktigare anses kriteriet vara.

Korta trafikavbrott har värderats högst. Detta på grund av kraven om att tågtrafik ska fungera utan större avbrott. Av samma anledning har även god genomförbarhet värderats högt. Det är inte bara under byggtiden som det är viktigt med korta trafikavbrott utan det är också något som eftersträvas under brons brukstillstånd. Därför har de två kriterierna litet underhållsarbete och framkomlighet för inspektion och underhåll även viktats högt.

Estetiskt tilltalande har värderats lägst. Anledningen är att bron kommer ha få betraktare samt att bron byggs på en plats som från början ej är estetiskt tilltalande. Även kriteriet innovativt koncept har fått lågt poäng i viktningen. I det här fallet eftersträvas inte en unik design. Däremot bör kriteriet vara med för att smarta produktionsmetoder ska föras upp till diskussion och gynnas.

| Kriterier                                      | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | Summa: | Ranking | Viktning (%) |
|------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---------|--------------|
| A - Låg anläggningskostnad                     | - | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 22     | 5       | 8,33         |
| B - Estetiskt tilltalande                      | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11     | 12      | 4,17         |
| C - Kort byggtid                               | 2 | 3 | - | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 20     | 6       | 7,58         |
| D - Få risker                                  | 1 | 3 | 1 | - | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 20     | 6       | 7,58         |
| E - Korta trafikavbrott                        | 3 | 3 | 3 | 3 | - | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 32     | 1       | 12,12        |
| F - Få temporära konstruktioner                | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | - | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 20     | 6       | 7,58         |
| G - God genomförbarhet                         | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | - | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 30     | 2       | 11,36        |
| H - Innovativt koncept                         | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 13     | 11      | 4,92         |
| I - Låg materialåtgång                         | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | - | 2 | 1 | 1 | 19     | 9       | 7,20         |
| J - Låg miljöpåverkan                          | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | - | 1 | 1 | 19     | 9       | 7,20         |
| K - Litet underhållsarbete                     | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | - | 2 | 29     | 3       | 10,98        |
| L - Framkomlighet för inspektion och underhåll | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | - | 29     | 3       | 10,98        |

Figur 4.1: Kriterierna viktas mot varandra med hjälp av ett poängsystem. Det kriterium med högst slutpoäng anses vara viktigaste och kommer därför spela störst roll vid poängbedömning av koncepten.

## 4.3 Första urvalet

Brotyper med liten spännvidd och som därmed kräver flera stöd för att uppnå erforderlig brolängd väljs bort. Enligt krav från trafikverket måste stöd placeras minst 3 m från spårmitte med hänsyn till olyckslast. Detta gör att plattbro, rambro, rörbro väljs bort.

Hängbroar och snedkabelbroar är ekonomiskt lönsamma att bygga, och i många fall det enda alternativet, då långa spännvidder ska överbyggas. I detta fall då spännvidden är 93 m är konstruktionstyperna ej ekonomiskt försvarbara att välja.

De geotekniska förhållandena vid broändorna är ej tillräckligt goda för att en bågbro utan dragband ska kunna byggas. Anledningen till detta är att marken inte kommer klara av att ta upp de stora krafterna från bågen. Inte heller en bågbro med dragband där bågarna är gjorda av betong är ett alternativ eftersom gjutningen av bågarna blir en dyr och komplicerad process på grund av de geotekniska förutsättningarna. Av samma anledning väljs valvbro bort. Inte heller en bågbro med underliggande båge är möjlig eftersom

bron ej kan byggas så hög att erforderlig båge får plats under brobanan och samtidigt uppfyller kravet på minsta fria höjd.

Materialet trä lämpar sig bäst för gång- och cykelbroar på grund av dess låga styvhet. I aktuellt fall anses uppskattad trafiklast och de dimensioner som krävs vara för stora för att trä ska vara ett aktuellt konstruktionsmaterial.

På grund av höga produktionskostnader byggs inte fackverksbroar för vägtrafik, se kapitel 3.1.4. Av samma skäl bygger man inte längre balkrambroar av slakarmerad betong. Alltså är de två konstruktionsstyperna inget som kommer användas i detta fall.

Platsgjutna konstruktioner bör undvikas då detta är en tidskrävande produktionsmetod som kommer leda till lång byggtid och kräva ett stort antal temporära stödkonstruktioner. En bågbro av betong väljs av denna anledning bort.

## **4.4 Brokoncept**

Fyra brokoncept tas fram där material och tvärsnitt varierar. Gemensamt för alla koncepten är att körbanan delas upp och två identiska broar byggs, en för vardera körriktning. Detta gör att den totala längden blir 93 m och bredden 17 m. Alla brotyperna grundläggs med friktionspålar.

### **4.4.1 Koncept 1: Bågbro med dragband**

Bågbron utförs som förspänd och fritt upplagd vid de båda ändstöden. Konstruktionen byggs utan mellanstöd vilket ger en spännvidd på 93 m. Stommen som inkluderar bågarna och dragbandet är ett enhetlig element av stål. Hängarna utgörs av lodräta massiva ståltag och bågarna förbinds med tvärbalkar av stål. Farbanan platsgjuts av betong, se bilaga D.

### **Produktionsmetod**

Båge samt dragband förproduceras i stora element. Maximal storlek som kan transporteras är det som begränsar delarnas storlek. På byggplats monteras delarna ihop innan hela stålkonstruktionen lyfts ut. Eftersom bron delas upp i två separata broar, en för vardera körriktning, minskar den tyngd som behöver lyftas ut åt gången. Uppskattad vikt för vardera bro är 655 ton, se bilaga E. Väl på plats över spannet gjuts farbanan av betong. Produktionsmetoden innebär att en stor monteringsyta krävs. För att bågarna ska kunna vara helt parallella krävs jordfyllnad vid broändarna. Alla ståldelar ska vara korrosionsskyddade innan de lämnar fabrik.

### **Motivering till koncept**

Enligt trafikverket gynnas koncept med kort byggtid. Eftersom denna konstruktion har en hög prefabriceringsgrad kommer byggtiden på plats vara förhållandevis kort. Själva lyftet av bron bör kunna utföras under en enda natt, i enlighet med liknande tidigare projekt (Peab, 2015). Prefabriceringen och det faktum att bron lyfts ut gör att produktionen har säkra arbetsförhållanden. Antalet tillfälliga konstruktioner är få. Att bron utförs i ett enda spann gör att olycksriskerna vid bruk minskas. Det finns ingen risk att tåg spårar ur och kör in i ett stöd. Konceptet anses även ha en tilltalande och utstickande design.

#### **4.4.2 Koncept 2: Betongbalkbro med stöd**

Följande koncept konstrueras som en balkbro med lådtvärsnitt och farbana av betong, se bilaga D. Konceptet utformas med ett mittstöd vilket leder till att spannet delas upp i två mindre spann, 24,5 m respektive 68,5 m.

##### **Produktionsmetod**

Detta koncept utgörs av prefabricerade lådsegment, dessa görs i fabrik och transporteras till arbetsplatsen via väg eller järnväg. Lådsegmentens längd och vikt är det som begränsar transportmöjligheter mellan fabrik och broläge. Montering av segment inleds i ena änden av bron där ett segment i taget monteras. Under montering krävs tillfälliga stöd. Denna typ av monteringsteknik kallas progressiv byggteknik. När lådbalken sträcker sig över hela spannet gjuts farbanan. Stödet platsgjuts med en klätterform. För stödet krävs även grundläggning (Marklund & Nilsson, 2008).

##### **Motivering till koncept**

Med prefabricerade element flyttas mycket av produktionen från en provisorisk arbetsplats till fasta fabriker där arbetsmomenten är standardiserade. På så vis utgörs stor del av arbetet på platsen av montering vilket leder till färre riskfyllda jobb samt att byggtiden minskar avsevärt (Svensk betong, 2017a). Mittstödet leder till kortare spännvidder vilket gör att konstruktionshöjden minskas och därmed även materialåtgång till brobanan. Med lättare segment och kortare spann minskas även behovet av temporära konstruktioner dock tillför stödet ytterligare geotekniskt arbete.

#### **4.4.3 Koncept 3: Betongbalkbro utan stöd**

Detta koncept görs som en balkbro med lådtvärsnitt och farbana i betong, se bilaga D. Konceptet utformas utan mittstöd och får således en spännvidd på 93 m.

##### **Produktionsmetod**

Produktionsmetoden är densamma som för koncept 2, se kapitel 4.4.2. Skillnaden är att i detta koncept finns inga permanenta stöd, det krävs istället fler temporära stöd.

##### **Motivering till koncept**

Segmentbrotekniken har en hög prefabriceringsgrad och alla broelement kan prefabriceras i fabrik vilket möjliggör en kortare byggtid än om segmenten gjuts på plats. Precis som för föregående koncept leder den höga prefabriceringsgraden till säkrare arbetsförhållanden på platsen. En annan fördel är att tvärsnittet är ihåliga, vilket gör att bronns egenvikt minskar. Generellt sett är materialkostnad för betong låg, vilket påverkar anläggningskostnaden på ett positivt sätt. Det faktum att konceptet saknar mittstöd kan leda till att materialåtgången minskas, dock måste det tas i beaktning att konstruktionshöjden blir högre utan stöd. Utan mittstöd minskas grundläggningsarbetet och mängden geotekniska undersökningar (Almaleh & Djuric, 2005).

Nackdelen med betongsegment är att spännvidden kräver regelbundna temporära stöd och en utlastningsanordning under montering av bron. Detta gör att tekniken ej lämpar sig för de aktuella fallet



eftersom området under bron är begränsat då järnvägsspåret måste vara i bruk (Marklund & Nilsson, 2008).

#### **4.4.4 Koncept 4: Stålbalkbro utan stöd**

För det andra konceptet med balkbro utan stöd görs en samverkanskonstruktion. Lådtvärsnittet är av stål och farbanan av betong, se bilaga D.

#### **Produktionsmetod**

Stålet tillverkas som lådbalkselement i fabrik och transporteras sedan elementvis till byggplatsen. Elementen sätts successivt samman på land och skjuts etappvis ut över spannet. Att använda sig av just lansering kräver mycket plats vid brofästet (Bjerstedt, Mundell, Timmerman & Jacobsson, 2014). Då de tillfälliga spåren kommer gå söder om bro, sker lanseringen från norr, för att ha plats för arbete och upplag av elementen. När lådbalken är monterad används den som bärverk för gjutformen till farbanan. Då betong gjuts samman med stålet bildas samverkan (Bjerstedt m. fl., 2014).

#### **Motivering till koncept**

Det faktum att stål och betong samverkar och att materialen utnyttjas på bästa sätt gör konceptet materialeffektivt. De prefabricerade stålelementen är också en fördel eftersom det förkortar byggtiden. Tack vare dess ihåliga tvärsnitt reduceras bronns egenvikt. Precis som för två av de tidigare koncepten behövs inget mittstöd vilket minskar risken för påkörning från tågtrafiken samt ger en säkrare arbetsplats. Produktionsmetoden leder till att få arbeten behöver göras nere vid järnvägen.

### **4.5 Andra urvalet**

Det andra och slutgiltiga urvalet görs genom att med ett poängsystem bedöma de fyra koncepten utefter de framtagna kriterierna. Poängskalan är 1-5, där 1 är mycket dåligt och 5 är mycket bra. Poängen för varje kriterium multipliceras sedan med den tidigare framtagna viktningen. Det koncept med högst slutpoäng är det mest fördelaktiga alternativet, se figur 4.2.

| Kriterium    | Viktfaktor | Koncept 1 |              | Koncept 2 |              | Koncept 3 |              | Koncept 4 |              |
|--------------|------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
|              |            | Betyg     | Viktat värde | Betyg     | Viktat värde | Betyg     | Viktat värde | Betyg     | Viktat värde |
| A            | 0,0833     | 2         | 0,1666       | 4         | 0,3332       | 4         | 0,3332       | 2         | 0,1666       |
| B            | 0,0417     | 5         | 0,2085       | 2         | 0,0834       | 3         | 0,1251       | 3         | 0,1251       |
| C            | 0,0758     | 5         | 0,379        | 2         | 0,1516       | 3         | 0,2274       | 4         | 0,3032       |
| D            | 0,0758     | 4         | 0,3032       | 2         | 0,1516       | 2         | 0,1516       | 4         | 0,3032       |
| E            | 0,1212     | 5         | 0,606        | 3         | 0,3636       | 2         | 0,2424       | 4         | 0,4848       |
| F            | 0,0758     | 5         | 0,379        | 2         | 0,1516       | 2         | 0,1516       | 5         | 0,379        |
| G            | 0,1136     | 5         | 0,568        | 2         | 0,2272       | 2         | 0,2272       | 4         | 0,4544       |
| H            | 0,0492     | 1         | 0,0492       | 1         | 0,0492       | 1         | 0,0492       | 1         | 0,0492       |
| I            | 0,072      | 3         | 0,216        | 2         | 0,144        | 2         | 0,144        | 5         | 0,36         |
| J            | 0,072      | 3         | 0,216        | 2         | 0,144        | 2         | 0,144        | 4         | 0,288        |
| K            | 0,1098     | 3         | 0,3294       | 3         | 0,3294       | 3         | 0,3294       | 3         | 0,3294       |
| L            | 0,1098     | 2         | 0,2196       | 2         | 0,2196       | 3         | 0,3294       | 3         | 0,3294       |
| Total poäng: |            | 3,6405    |              | 2,3484    |              | 2,4545    |              | 3,5723    |              |

|                                                |
|------------------------------------------------|
| A - Låg anläggningskostnad                     |
| B - Estetiskt tilltalande                      |
| C - Kort byggtid                               |
| D - Få risker                                  |
| E - Korta trafikavbrott                        |
| F - Få temporära konstruktioner                |
| G - God genomförbarhet                         |
| H - Innovativ koncept                          |
| I - Låg materialåtgång                         |
| J - Låg miljöpåverkan                          |
| K - Litet underhållsarbete                     |
| L - Framkomlighet för inspektion och underhåll |

| Betyg             |
|-------------------|
| 1 - Mycket dåligt |
| 2 - Dåligt        |
| 3 - Varken eller  |
| 4 - Bra           |
| 5 - Mycket bra    |

Figur 4.2: I den övre tabellen syns poängbedömningen av de olika koncepten samt de viktade värdena. Det koncept med högst slutpoäng är det mest fördelaktiga.

Låg anläggningskostnad innefattar både material- och produktionskostnader. Bågbron och samverkansbron innehåller stål vilket ger en högre materialkostnad. De prefabricerade elementen som de båda broarna innehåller ger också en relativt hög produktionskostnad. De båda betongbroarna anses vara ett billigare alternativ.

Bågbron anses ha en tilltalande design och är även den enda designen som är synlig för trafiken som passerar över bron och får därmed högsta betyg i kriteriet estetiskt tilltalande. Balkbron med stöd anses däremot inte lika smakfull på grund av osymmetrin som uppstår på grund av mittstödet placering. Bågbrons höga prefabriceringsgrad leder till en kort byggtid vilket är fördelaktigt. Balkbron med stöd har till skillnad från bågbron många komponenter som ska platsgjutas, bland annat mittstödet, och får därmed en längre byggtid och då också ett lägre betyg.

Betongbalkbroar är ett beprövat koncept och borde av den anledningen ge få risker på byggarbetsplatsen. I detta fall är arbetsplatsen vid en järnväg och de två produktionsmetoderna för balkbroar leder till mycket arbete bredvid och över järnvägen, vilket innebär stora risker. För bågbron sker däremot all montering bredvid spannet som ska överbyggas och lyfts sedan på plats i sin helhet. Det leder till att arbetet nära järnvägen minimeras och riskerna på arbetsplatsen minskas. Även för samverkansbron görs mycket av arbetet bredvid dess slutgiltiga plats då konstruktionen lanseras på plats. Dock finns det flertalet risker som uppkommer när stora element ska lyftas eller lanseras på plats som kan undvikas genom platsgjutning. Det kräver uppmärksamhet från alla inblandade när stora element ska förflyttas då misstag kan ge katastrofala följder. Elementen är tunga och otympliga och inte något som varken personer eller materiella ting bör hamna under. Men med järnvägen i åtanke anses ändå bågbron och samverkansbron ge en säkrare arbetsplats. Det faktum att den ena balkbron har ett mittstöd är också något som bör finnas med i åtanke då det för mittstödet finns en påkörningsrisk från tågtrafik.

Val av produktionsmetod påverkar hur stora avbrott för tågtrafiken som krävs. Även här är bågbrons och samverkanbrons produktionsmetoder att föredra då de ger väldigt lite arbete bredvid och över järnvägen. Betongbron utan stöd använder sig av en metod som kräver många temporära stöd och som därför kommer leda till trafikavbrott. De båda betongbroarna kräver flertalet temporära konstruktioner vilket är en nackdel. Av samma anledning, samt långsamma produktionsmetoder, är de två betongbroarna inte heller fördelaktiga när det kommer till kriteriet god genomförbarhet. Däremot har både bågbron och samverkansbron både god genomförbarhet och få temporära konstruktioner. Alla fyra koncept är beprövade metoder som redan finns på många platser och de är därför inga innovativa koncept.

Materialåtgång och låg miljöpåverkan går ofta hand i hand, vilket syns i poängbedömningen av dessa kriterier. Här får samverkanbron högst betyg då den är optimerad för att utnyttja så mycket kapacitet som möjligt av de olika materialen.

Alla fyra broar anses behöva lika mycket underhåll, däremot varierar framkomligheten för underhåll och inspektioner. För att undersöka bågen på det första konceptet krävs någon typ av lyftanordning vilket komplicerar arbetet. Betongbron med ett mittstöd får fler delkomponenter vilket gör att det blir mer att underhålla och inspektera. Mittstödet är placerat relativt nära järnvägen vilket också är en nackdel i det här fallet.

De två broar som fick högst poäng är bågbron och samverkansbro, mycket tack vare deras produktionsmetoder som leder till korta trafikavbrott och litet arbete bredvid och över järnvägen. Det slutgiltiga valet blir bågbron främst då den anses ha kortare trafikavbrott än samverkansbron, vilket är ett viktigt krav från beställaren. Bågbrokonceptet bygger på en referensbro vilket också gör den fördelaktig. Kriteriet estetiskt tilltalande har inte värderats högt men det ses ändå som något positivt att bågbron har en tilltalande design och är därmed en faktor som vägs med i valet mellan de två koncepten.

## 5 Detaljutformning av valt brokoncept

För det valda konceptet, bågbro med dragband, görs en mer detaljerad utformning. Det läggs då vikt på grundläggning, konstruktion, produktion och förvaltning av bron.

### 5.1 Grundläggning och stöd

Det valda brokonceptet kräver, enligt beskrivning i kapitel 4.4.1, att bågarna är helt parallella och att landfästena är vinkelräta mot körbanan. Detta kräver ett schaktningsarbete vid de båda landfästena. På ena sidan om landfästet krävs urschaktning och på andra sidan krävs utfyllnadsmaterial, se bilaga F. För att inte öka spännvidden kommer de två broarna vara förskjutna längsleds och ett liknande schaktningsarbete kommer utföras för vardera bro. För att vara kostnadseffektiva kommer massorna från ena sidan av bron användas som fyllnadsmaterial vid andra sidan. Detta medför endast några få meter transportsträcka och även korta produktionstider. Grundläggningsförhållandena på platsen anses kräva en grundläggningsmetod där landfästena stabiliseras genom grupper av friktionspålar, se kapitel 3.2.1 för detaljerad beskrivning. De ska också konstrueras så att jordmassorna från vägbanken hålls undan. Landfästena konstrueras på ett sådant sätt att inspektion och underhåll ska vara lätt att göra.

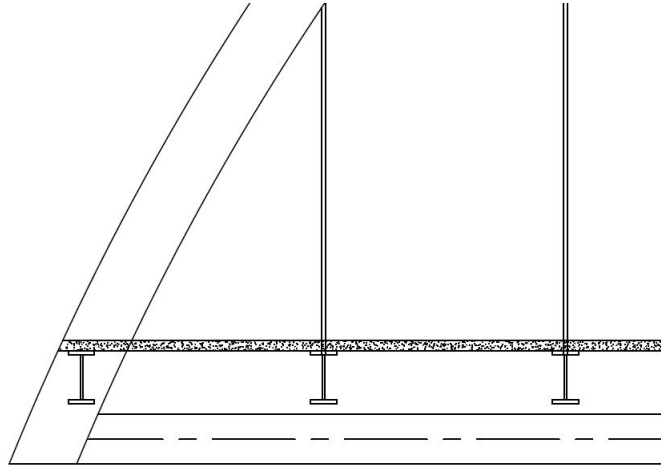
### 5.2 Konstruktion av bron

Som beskrivits i kapitel 4.4 delas bron upp i två broar. Varje bro har tre körfält på vardera 3.75 m samt en yttre vägren på 2.75 m och en inre vägren på 1 m. Dessutom har räcket ett minsta krav på arbetsbredd på 0.6 m. Inom detta område får inga oeftergivliga hinder finnas. Därför läggs 1 m till på vardera sida för att få mellanrum mellan räcke och båge. Slutlig bredd på brobanan blir 17 m. Den totala längden på bron är även efter att schaktningsarbetet utförts 93 m. Bågarna utformas i parabelform eftersom det är den mest strukturellt effektiva utformning (Steelconstructions.info, utan år).

#### 5.2.1 Bärverk

Primärbärverket utgörs av två ovanliggande stålbågar som i båda ändar kopplas samman med dragbanden. Stålbågarna har ett rektangulärt ihåligt tvärsnitt och dragbanden ett ihåligt cirkulärt tvärsnitt. Bågen utnyttjar bågverkan och dragbanden motverkar bågens horisontella rörelse i längsled.

21 tvärbalkar placeras med ett jämt avstånd mellan broändarna. Styva vertikala hängare placeras med samma avstånd som tvärbalkarna och fäster in i tvärbalk och båge och lyfter på så sätt upp tvärbalkarna, se figur 5.1. På tvärbalkarna vilar sedan en kontinuerlig brobaneplatta. Lasten kommer fördelas via brobaneplattan till tvärbalken som för lasterna vidare till bågen via hängarna. Bågen stabiliseras med tvärbalkar som placeras parallellt i övre delen av bågen. Alla element består av stål förutom brobaneplattan som är av armerad betong.



Figur 5.1: Figuren illustrerar brons komponenter. Bågen och dragbandet bildar en konstruktion som kan liknas med en pilbåge. I bågen fästs hängarna som i sin tur bär upp tvärbalkarna med brobaneplattan.

## 5.2.2 Lager

Bågbron är fritt upplagd och för att kunna ta upp samtliga laster kommer gummipottlager att användas. Gummipottlager är ett av de vanligaste lagren som används idag. Karaktäristiskt för dessa lager är att det har god kapacitet för att ta upp höga laster och samtidigt är de lätta att montera och underhålla (Internordisk Spännarmering, 2017).

Gummipottlagren kan utformas på tre olika vis och därmed ge tre olika verkningssätt. Dess lager kallas fast lager, ensidigt rörligt lager och allsidigt rörligt lager. Samtliga kan på ett eller annat sätt ta hand om de vertikala och horisontella lasterna bron utsätts för. Valet av lager beror på vilket verkningssätt som önskas.

## 5.2.3 Övergångskonstruktion

Övergångskonstruktioner används för att möjliggöra längdförändringar av brobanan på grund av temperaturförändringar (Internordisk Spännarmering, utan år). För det valda konceptet kommer fingerfogar användas. Plattorna som används är 1 m breda vilket innebär att det räcker att stänga av ett körfält i taget om plattorna behöver bytas ut. Under fingerfogen ska ett avrinningssystem finnas, detta måste rensas och underhållas årligen (Internordisk Spännarmering, utan år).

Enligt Trafikverket (2011) ska ett tillägg på 10 mm till den uträknade rörelsen för bron göras, detta för att ta i beaktning rörelser i grundläggningen. Vidare ska övergångskonstruktionen klara av samma laster som resterande delar av bron. Enligt Trafikverket (2011) ska överkonstruktionen vara placerad så den ger en god komfort för de passerande trafikanterna samtidigt som dess överyta ska vara placerad 5 mm under omkringliggande beläggningsyta.

#### 5.2.4 Räcke

För broar som går över järnväg, som i detta fall, finns krav på skyddsnät i broräcket (Trafikverket, 2011). Räckena ska utgöras av slutna profiler. För en vägbro ska kapacitetsgränsen vara av klass H2, vilket innebär att räcket testas för att klara en personbil på 900 kg och en buss på 13000 kg. Räckets höjd måste vara minst 1,2 m (Saferoad-Birsta, 2017).

### 5.3 Produktion

Som tidigare nämnts så förproduceras både dragband och bågar som stora element i fabrik. För att möjliggöra transport delas de stora dragbanden och bågarna upp i delelement som svetsas ihop på plats. Det ställs krav på transport av elementen då det krävs speciella tillstånd för transport av ekipage på över 30 m (Trafikverket, 2017). Även hängare och tvärbalkar förproduceras i fabrik och transporteras till byggplatsen. Infästingsenheter för hängarna förmonteras på bågarna och tvärbalkarna. Samtliga element skall vara korrosionsskyddade när de lämnar fabrik.

Produktionsmetoden kräver en stor yta vid sidan av bron för montering. Dragbandselementen svetsas ihop till kontinuerliga element och bågeselementen svetsas ihop till homogena bågar. Bågarna svetsas ihop med dragbanden till ett homogent system. Hängare i form av massiva stålstag fästs i båge och tvärbalk med hjälp av infästingsenheten, där stagen kommer gängas och förankras fast med bultar och svetsar.

Hela stålkonstruktionen lyfts på plats i ett stycke vilket kräver en stor kran för att klara av hela brons egentynghet. Som tidigare nämnts så uppskattas egenvikten på varje bro till 655 ton. Ett exempel på en lämplig kran är TEREX PC 6800 som har använts till liknande projekt och klarar att lyfta upp till 1200 ton (Terex Corporation, 2017). Farbanan i betong gjuts efter att stålkonstruktionen är på plats över spannet och slutligen beläggs farbanan med ett slitlager.

### 5.4 Förvaltning

Korrosion av stål är, som tidigare nämnts i kapitel 3.4.2, det största problemet för stålkonstruktioner, J. Sandberg<sup>1</sup> påpekar därför att den skyddande färgen är av ytterst vikt. Oftast utgörs den av fem lager där även kontroller som vidhäftningsprover tilläggs för att säkerhetsställa bästa kvalitet på korrosionsskyddet, hävdar Sandberg. Vid en inspektion av bron görs därför visuella kontroller av ytan med avseende på eventuella korrosionsangrepp men även på mekanisk påverkan i form av ovanliga deformationer.

Bågarna som består av ett rektangulärt ihåligt tvärsnitt bör enligt Sandberg utföras med tätsvetsar för att åstadkomma en sluten miljö inne i tvärsnittet och på så vis förhindra korrosion. Insidan kontrolleras sedan vid inspektioner genom titthålkikare vilket kan liknas med principen en läkare använder vid operation. Delar som ansluts med skruvförband riskerar spaltkorrosion, synnerligen om dessa utsätts för rörelser. Enligt Sandberg bör dessa därför istället anslutas med svetsförband. För detta konceptet innefattas dragband samt hängare i delar som utsätts för rörelse.

Med krav på en lång teknisk livslängd är förebyggande arbeten mot korrosion en viktig aspekt. Redan vid projektering tas detta i beaktande genom att utforma alla delar så att vattenavrinning är möjlig i varje punkt. Vidare under förvaltningsskedet genomgår bron inspektioner samt underhållsarbete i form av

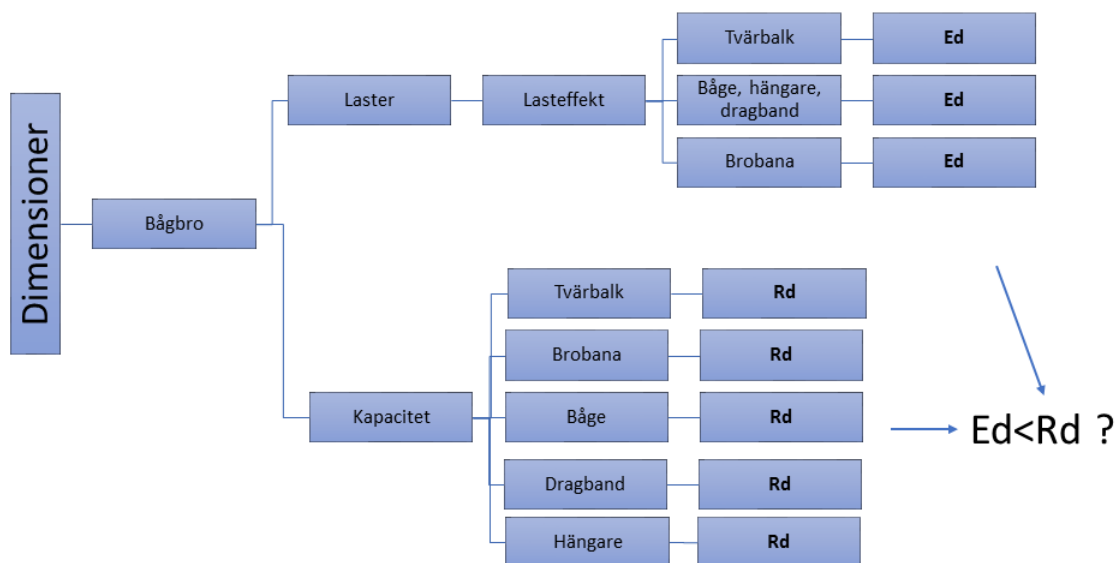
<sup>1</sup>Jan Sandberg (Brokontroll AB), personlig kommunikation den 3 mars 2017

rengöring och ommålning. Gällande åtkomst av alla delar så förhindrar den underliggande järnvägen att undersidan av bron nås från marken. För att komma runt och inspektera undersidan med kran är det därför viktigt att ha tillräckligt med avstånd mellan broarna, avståndet behöver även beakta plats för ställningar vid underhållsarbeten.

## 6 Preliminärdimensionering

Här ska dimensioner för det valda brokonceptet beräknas. Dimensionerna på bron ska vara tillräckliga så att dess lastkapacitet är större än lasteffekterna på bron. Det ställs även ett nedböjningskrav på de bärande delarna. Enligt Trafikverket (2011) är den maximalt tillåtna nedböjningen för en vägbro som utsetts av variabel last  $L/400$ , där  $L$  motsvarar den teoretiska spännvidden. Det faktum att kravet gäller för variabel last innebär att den nedböjningen som berörs är skillnaden i nedböjning mellan den maximala nedböjningen som sker på grund av trafiklast och nedböjningen som uppkommer av brons egen tyngd.

Då både lasteffekt och lastkapacitet beror på dimensionerna blir dimensioneringen en iterativ process där ett utgångsvärde på dimensioner väljs och kontrolleras tills godkända dimensioner hittas. Beräkningarna görs i Matlab där ett startvärde på dimensioner matas in i ett huvudprogram. Laster, lasteffekt och lastkapacitet beräknas i funktionsfiler med indata från huvudprogrammet. Slutligen jämför huvudprogrammet lasteffekt och lastkapacitet och kontrollerar utnyttjandegrad. Huvudprogrammet finns i bilaga H och strukturen på programmet illustreras i figur 6.1.

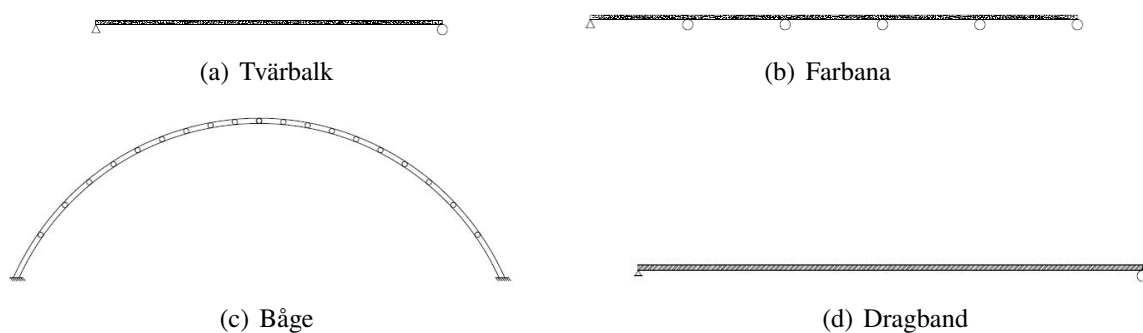


Figur 6.1: Strukturen på beräkningsprogrammen som görs i Matlab.

### 6.1 System

För att kunna genomföra en preliminärdimensionering av bron behöver en beräkningsmodell väljas och förenklade system som ska analyseras och dimensioneras behöver definieras. I detta fall studeras fyra olika system; tvärbalkarna, brobanan i längsled, dragband och bågen, se figur 6.2. För kapacitetsbeträffningar beaktas fem system där båge och hängare ses som två separata system. Systemen utgör brons bärande element.





Figur 6.2: De fyra systemen som används vid beräkningar i Matlab.

## 6.2 Laster

För att kunna beräkna lasteffekt på bron behöver de verkande lasterna beräknas. De laster som tas hänsyn till i dimensioneringen är egentygnd och trafiklast. Dessa laster verkar vertikalt på bron. Båda lasterna beräknas i brott- och bruksgränstillstånd. De verkande lasterna beräknas i form av magnitud, läge, riktning och varaktighet. Även icke dimensionerande laster som vindlast, bromslast och temperaturlast presenteras kort nedan.

### 6.2.1 Egentygnd

Vikten av brons samtliga konstruktionsdelar ger upphov till en last som kallas brons egentygnd. Egentygnden varierar marginellt med tiden och ses därför som en konstant permanent bunden last. Lasten verkar vertikalt på brons bärande delar. Bågbron består av ett bärverk av stål samt en farbana med armerad betong och ett slitlager av asfalt. Även icke bärande delar såsom räcke ska ingå i brons egentygnd. Egentygnden är starkt beroende av dimensionerna på konstruktionsdelarna och beräknas med hjälp av Matlab. Tungheterna som använts i beräkningen kan ses i tabell 6.1. Värden på tungheterna är hämtade från Eurokod 1991-1. Egentygnden anges som en jämt utbredd last i tvärled och längsled och används för att dimensionera samtliga system. Beräkning av egentygnd ges i bilaga H.

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| Stål           | $78 \text{ kN/m}^3$ |
| Armerad betong | $25 \text{ kN/m}^3$ |
| Asfalt         | $23 \text{ kN/m}^3$ |
| Räcke          | $0,5 \text{ kN/m}$  |

Tabell 6.1: Tungheter för konstruktionsmaterialen samt räckets egentygnd.

### 6.2.2 Trafiklast

Trafiklast är de laster som trafiken orsakar på bron. Trafikflödet varierar med tiden och det medför att även trafiklasterna gör det. De ses därför som variabla laster i samtliga lastberäkningar. Trafiklasternas storlek och verkningssätt beräknas med hjälp av standarden SS-EN 1991-2 (EN-1991, 2003).

Trafiken varierar i längsled och i tvärled. Den delen av vägbanan som ska belastas av trafiklaster kallas vägbanebredden och beräknas, i tvärled, enligt tabell 6.2. När vägbanebredden väl är framtagen, delas den in i olika lastfält. Dessa lastfält kan sedan belastas på olika sätt beroende på hur trafiksituationen för bron ser ut. De olika belastningssätten kallas för väglastmodeller (LM). Mängden tung trafik, risken för köbildning och trafikflödet är tre faktorer som bland annat varierar med hänsyn till lastmodell.

| w                          | Antal filer             | Filbredd | Återstående bredd       |
|----------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|
| $3 \leq w < 5,4 \text{ m}$ | 1                       | 3m       | $w-3$                   |
| $5,4 \leq w < 6 \text{ m}$ | 2                       | $w/2$    | 0                       |
| $w \geq 6$                 | $n_1 = \text{int}(w/3)$ | 3 m      | $w - n_1 * 3 \text{ m}$ |

Tabell 6.2: Beräkningsmodell för beräkning av vägbanebredden w i tvärled.

**Lastmodell 1 (LM1)** Lastmodell 1 tar hänsyn till tunga lastfordon, trafikstockning och lasterna från eventuella specialfordon. Lasterna som verkar på bron är axellaster (TS), även kallad boggielaster, och utbredda fillaster (UDL). Dessa två lasttyper täcker in de flesta lastfall som kan uppkomma på bron. Storleken på axellasterna och de utbredda fillasterna varierar i de olika lastfälten och placeras ut så ogynnsamt som möjligt.

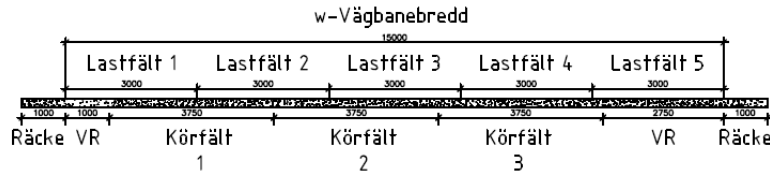
**Lastmodell 2 (LM2)** Lastmodell 2 beaktar enstaka axellaster som belastar bron på specifika ytor. Modellen tar även hänsyn till de dynamiska effekterna av vanlig trafik som orsakar last på konstruktionsdelar med små spännvidder.

**Lastmodell 3 (LM3)** Lastmodell 3 är en modell som beaktar specialfordonens belastning på bron. Specialfordon är exempelvis stora industriella transporter eller andra transporter där fordonets totala tyngd är större än normalt.

**Lastmodell 4 (LM4)** Lastmodell 4 innefattar laster från folkmassor och används i situationer där Lastmodell 1 inte räcker till.

Beräkningar med samtliga lastmodeller görs för att ta fram den modell som är dimensionerande. När den dimensionerande modellen väl är framtagen ska lasterna placeras ut i de framtagna lastfälten. Lasternas placering ska göras på ett sådant sätt att den mest ogynnsamma lasteffekten uppkommer. Detta innebär att lastfältens numrering inte har något samband med var det placeras på vägbanan.

Vid beräkningar av trafiklasterna som verkar på bron vid trafikplats Alnarp kommer endast lastmodell 1 användas vid preliminärdimensionering, eftersom det är den modell som oftast blir dimensionerande. Brobanan är totalt 17 m bred och detta medför att bron kommer ha 5 st lastfält där bredden är 3 m. Den totala vägbanebredden blir då 15 m, se figur 6.3. För lastmodell 1 belastas de olika lastfälten enligt tabell 6.3.

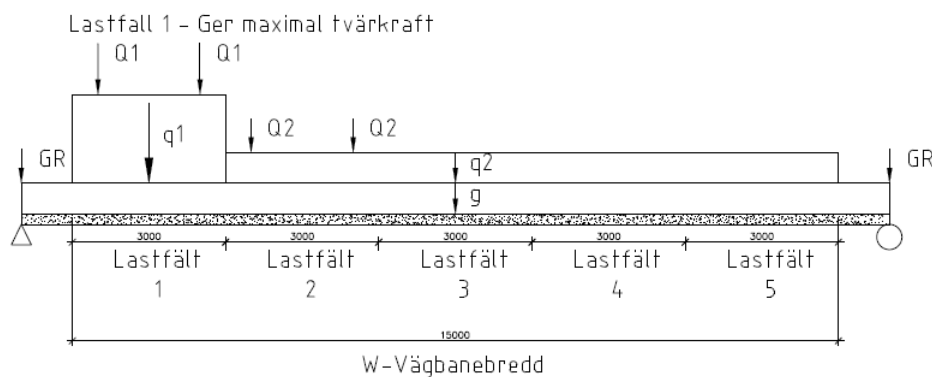


Figur 6.3: Figuren visar hur vägbanan är uppdelad i tre körfält, två vägrenar och två yttre områden som gränsar till vägräcket. Vägbanebreddens  $w$  är den del av vägbanan som kommer belastas av trafiklaster och delas in i fem olika lastfält.

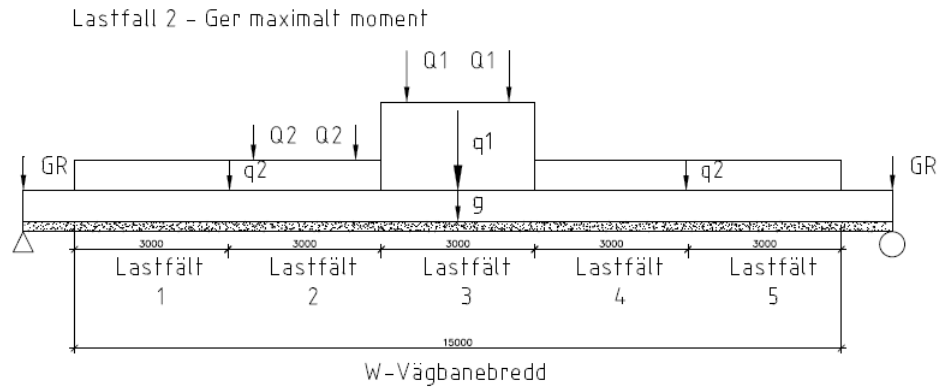
|                        | Axellast [ $kN$ ] | Utbredd<br>fillast<br>[ $kN/m^2$ ] | Svenska<br>reduk-<br>tionsfaktor | Förhållandefaktor |
|------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
|                        | $Q_{ik}$          | $q_{ik}$                           | $\alpha Q_i$                     | $\alpha q_i$      |
| <b>Lastfält 1</b>      | 300               | 9                                  | 0.9                              | 0.8               |
| <b>Lastfält 2</b>      | 200               | 2.5                                | 0.9                              | 1.0               |
| <b>Lastfält 3</b>      | 100               | 2.5                                | 0                                | 1.0               |
| <b>Övriga lastfält</b> | 0                 | 2.5                                |                                  | 1.0               |
| <b>Återstående yta</b> | 0                 | 2.5                                |                                  | 1.0               |

Tabell 6.3: Belastning på de olika lastfälten för lastmodell 1 samt reduktionstal enligt SS-EN 1991-2 sid 33.

Utplaceringen av axellasterna och de utbredda trafiklasterna görs med hänsyn till vilket fall som ger den största tvärkraften, lastfall 1, och det fall som ger störst moment och nedböjning, lastfall 2. I båda fallen belastar egentyingden  $g$  hela balken och egentyingden från räcket  $GR$  som två punktlaster. De båda lastfallen illustreras i figur 6.4 och 6.5.



Figur 6.4: Figuren visar lastfall 1. Det lastfall som är minst gynnsamt för tvärkraftpåkning i tvärbalkarna.



Figur 6.5: Figuren illustrerar lastfall 2. Det lastfall som är det minst gynnsamma för momentpåkning i tvärbalkarna.

### 6.2.3 Lastkombinationer

För att ta fram lasteffekt och beräkna bärförmåga behöver lasterna kombineras för tänkta situationer. Den mest kritiska kombinationen blir dimensionerande. Tillvägagångssättet för kombination av laster bygger på ett antagande om vilken lasttyp som agerar huvudlast. Både variabel och permanent last kan inte vara huvudlast samtidigt enligt Eurokod (EN-1990, 2002). Antingen är den permanenta lasten huvudlast och då antas den verka med sin fulla storlek medan den variabla lasten reduceras med ett lastreduktionstal som anges i tabell 6.4 eller tvärt om. Det fall som ger störst total last blir dimensionerande.

| Lastreduktionstal         | Kombinationsvärde   | Frekventvärde       | Långtidsvärde    |
|---------------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| <b>Axellaster</b>         | $\Psi_{0,1} = 0,75$ | $\Psi_{1,1} = 0,75$ | $\Psi_{2,1} = 0$ |
| <b>Utbredd trafiklast</b> | $\Psi_{0,2} = 0,75$ | $\Psi_{1,2} = 0,40$ | $\Psi_{2,2} = 0$ |

Tabell 6.4: Lastreduktionstal för axellast och utbredd trafiklast.

Enligt Eurokod SS-EN 1990 (EN-1990, 2002) beräknas dimensionerande last i brottgränstillstånd med ekvation 6.1 eller ekvation 6.2 beroende på vilken last som är huvudlast.

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.1)$$

Ekvation 6.10a, SS-EN 1990 sid 42

$$\sum \zeta_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.2)$$

Ekvation 6.10b, SS-EN 1990 sid 42

För bruksgränstillstånd är de dimensionerande lasterna ej beroende av vilken last som agerar huvudlast. Dimensionerande last för bruksgränstillstånd beräknas enligt ekvation 6.3 för reversibelt tillstånd i Eurokod SS-EN 1990 (EN-1990, 2002).

$$\sum G_{kj} + P + \gamma_{1,1} Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.3)$$

Ekvation 6.15b, SS-EN 1990

Samtliga dimensioneringsberäkningarna baseras på värden på dimensionerande laster som anges i bilaga H.

#### 6.2.4 Icke dimensionerande laster

Som tidigare nämnt så finns det flera lasttyper som vanligtvis är dimensionerande för broar men som i preliminärdimensioneringen har avgränsats ifrån. Några av dessa laster är vindlast, bromslast och temperaturlast.

##### Vindlast

Vindlast är en variabel last som utgörs av det tryck som en påliggande vind utgör. Storleken på vindlasten varierar med höjd över markytan och exponerad area. Lasten verkar horisontellt, främst i längsled.

Horisontella laster som verkar på bron i längsled kommer att vilja förflytta brobaneplattan i tvärled. Det faktum att brobaneplattan enbart är fäst i brons ändar och hänger fritt på hängarna i spannet mellan stöden innebär att brobaneplattan kommer böja ut i sidled mellan ändarna. Bron måste klara av dessa rörelser utan för stora påkänningar.

##### Bromslast

En bil som bromsar ger upphov till en last som kallas bromslast som verkar i brons längdriktning. Magnituden beror på längden på bron samt riktningen på lasten. Sneda inbromsningar ger upphov till både en komposant i brons längdriktning och en komposant i tvärled. Detta innebär att brons utsätts för en sidokraft. Denna sidokraft kommer precis som vindlasten att ge upphov till rörelser i tvärled som bron måste klara av.

##### Temperaturlast

Temperaturdifferenser ger upphov till en variabel last som kallas temperaturlast. Temperaturdifferenser ger upphov till volymförändring i materialen som kan generera spänningar om rörelsen förhindras och därmed orsakar inre tvångskrafter. Klimatdata för platsen ger information om maximala temperaturdifferanser som blir dimensionerande. Temperaturlaster dimensionerar lager och övergångskonstruktioner som har som funktion att se till att bron har rörelsefrihet så att inte volymvariation ger upphov till för stora spänningar.

## 6.3 Lasteffekt

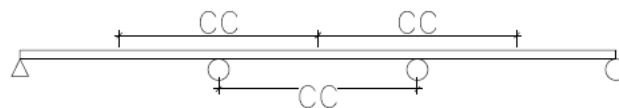
Här följer beräkningar av de snittkrafter och nedböjningar som uppstår då bron belastas med de laster som beräknats i föregående avsnitt. De resultat som fås ska sedan jämföras med kapacitetsberäkningarna

som följer i kapitel 6.4.5 och tvärsnittsmåtten anpassas så att kapaciteten blir större än lasteffekten. Nedböjningen jämförs med det krav som ställs av Trafikverket. Snittkrafterna beräknas i brottgränstillstånd medan maximal nedböjning beräknas i brukgränstillstånd. Beräkningarna utförs med hjälp av Calfem i programmet Matlab, se bilaga H.3.

### 6.3.1 Tvärbalk

Tvärbalkarna är, som nämnts i kapitel 6.1, placerade under brobaneplattan och dess ändar fäster till varsin hängare. Förutom egentyingden ska tvärbalkarna även bära upp brobaneplattans egentyingd samt all trafiklast som verkar på bron. Varje tvärbalk kommer bära upp den trafiklast samt egentyingd från brobaneplattan som verkar inom ett visst cc-mått, se figur 6.6. Tvärbalken antas vara fritt upplagd på två kantstöd då detta ger det mest konservativa fallet, se figur 6.2(a).

Tre olika lastfall beräknas. Det första fallet ska ge upphov till störst tvärkraft och då placeras axellaster och störst utbredd last nära ett av stöden, se figur 6.4. Det andra lastfallet ska ge upphov till maximalt moment och nedböjning varpå axellaster och största utbredda laster placeras i mitten på spannet, se figur 6.5. I det tredje fallet belastas tvärbalken enbart med egentyingd. Detta lastfall skall användas vid beräkning av systemet bestående av bågen, se kapitel 6.3.2. Maximalt moment, maximal tvärkraft och nedböjning som verkar på bron vid de slutgiltiga dimensionerna redovisas i tabell 6.5.



Figur 6.6: Figuren visar CC-avståndet mellan tvärbalkarna. Egentyingden från brobanan som bärs upp av en tvärbalk har influensarea med bredden motsvarande CC-måttet.

| Maximalt moment | Maximal tvärkraft | Maximal nedböjning |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| 13,08 MNm       | 1.38 MN           | 0.031 m            |

Tabell 6.5: Maximala snittkrafter och maximal nedböjning för tvärbalken vid de slutgiltiga dimensionerna.

### 6.3.2 Båge och dragband

Bågen och dragbandet sätts, som tidigare nämnts, ihop till en enhet, se figur 6.2(c). Vid beräkning kopplas dragbandet och bågen isär till två separata system för att randvillkoren för dragbandet och bågen är olika. Bågen ses som förhindrad att röra sig i horisontal- och vertikalled, men har full rotationsförmåga, detta för att få ut de maximala horisontella reaktionskrafterna som den kommer påverka dragbandet med. Om bågen istället hade setts som fritt upplagd hade den inte utnyttjat dragbandet maximalt. Dragbandet behöver vara fritt upplagd för att få fram maximala dragkraften som uppstår till följd av reaktionskrafterna från bågen. De reaktionskrafter som fås i tvärbalkens ändar leds via hängare upp till bågen. I beräkningssystemet belastas bågen med motsvarande nedåtriktad kraft i varje punkt där en hängare fäster in. Till denna last läggs även hängarnas egentyingd. Krafterna leds ned i bågen till broändarna. Den vertikala komponenten leds ned i underlaget medan den horisontella komponenten tas upp av dragbandet. I beräkningarna illustreras detta genom att den horisontella reaktionskraften förs över från bågens beräkningssystem

till systemet med dragbandet. Den horisontella kraften blir således en dragkraft i dragbandet. Förutom dragkraft belastas dragbandet även med sin egentygnd, för övrigt ska den inte bära någon annan last.

För att hitta dimensionerande värden görs beräkningar på fem olika lastfall. För det första lastfallet belastas de fyra första hängarna med den maximala reaktionskraften som uppstår i tvärbalksberäkningen. De övriga hängarna belastas endast med den reaktionskraft som uppkommer på grund av egentygnd från tvärbalk och brobaneplattan. I det andra lastfallet belastas de fem mittersta hängarna med trafiklast och övriga endast med egentygnd. För det tredje fallet belastas alla hängare med trafiklast. I det fjärde fallet belastas alla hängare med trafiklast förutom de fem mittersta som endast belastas med egentygnd. I det sista fallet belastas hälften av hängarna med trafiklast och hälften endast med egentygnd. Från beräkningarna fås maximalt moment, tvärkraft, normalkraft samt nedböjning för bågen. Resultaten från de olika lastfallen jämförs med varandra och de största värdena plockas ut och redovisas i tabell 6.6. Den största horisontella reaktionskraften används sedan vid beräkning av dragbandet vilket ger den maximala dragkraften och nedböjningen för dragbandet, se tabell 6.7. De värden som återfinns i tabellerna motsvarar de snittkrafter och den nedböjning som uppstår på grund av de slutgiltiga dimensionerna i de olika elementen.

| Maximal normalkraft | Maximalt moment | Maximal tvärkraft | Maximal nedböjning |
|---------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| 30,70 MN            | 53,51 MNm       | 4,09 MN           | 0,252 m            |

Tabell 6.6: Maximala snittkrafter och nedböjning för bågen vid de slutgiltiga dimensionerna.

| Maximal dragkraft | Maximal nedböjning |
|-------------------|--------------------|
| 19,34 MN          | 1,540 m            |

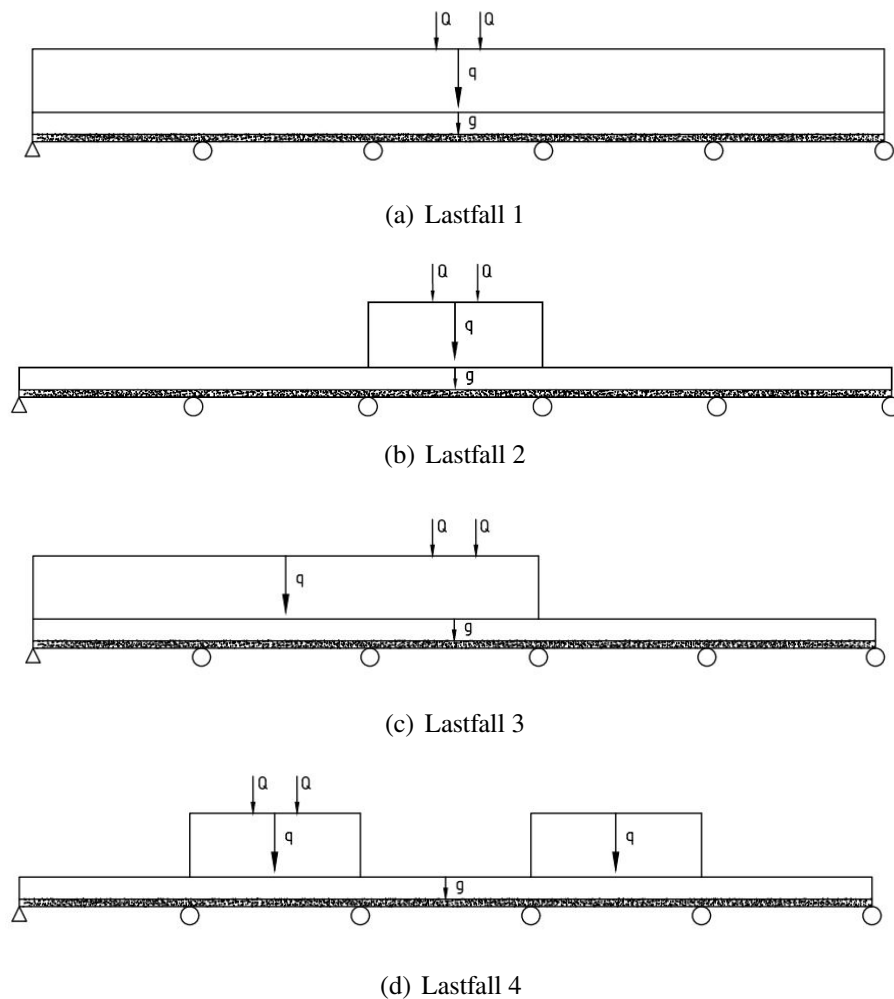
Tabell 6.7: Maximal dragkraft och nedböjning för dragbandet vid de slutgiltiga dimensionerna.

Som synes i tabell 6.7 är den maximala nedböjningen för dragbandet väldigt stor. Dragbandets funktion påverkas inte av nedböjningen och därför är nedböjningen i sig inget problem, däremot ger det ett otryggt intryck då nedböjningen visuellt kommer vara tydlig. För att motverka nedböjningen föreslås en upphängningsanordning där dragbandet på ett flertal ställen fästs till tvärbalkar med hjälp av vajrar. Vajrarna kommer endast se till att dragbandet hålls upp och kommer inte överföra några laster från tvärbalken ned i dragbandet. Ett annat alternativ är att redan vid tillverkning av dragbandet ta hänsyn till den nedböjning som kommer uppstå genom att bygga den böjd med dragens ovansida. Höjden på dragbandets båge är samma som nedböjningen blir vid montering och därmed blir dragbandet, vid belastning av egentygnden, rak.

### 6.3.3 Brobaneplatta

För brobaneplattan görs en förenkling av systemet och endast fem fack tas med vid beräkningen, se figur 6.2(b). De fem facken ses som fritt upplagda där stöden motsvaras av tvärbalkarna. Beräkningen görs endast på en breddmeter eftersom krafterna som uppstår i brobanan inte varierar över bredden.

Det finns många möjliga lastkombinationer men beräkning har endast gjorts på de fyra, som efter resonemang, anses vara de mest kritiska fallen, se figur 6.7. De maximala snittkrafter och nedböjning som uppstår i brobaneplattan vid de slutgiltiga dimensionerna redovisas i tabell 6.8. Då brobaneplattan endast belastas med vertikala krafter kommer det inte uppstå någon normalkraft i plattan.



Figur 6.7: Figuren illustrerar de olika lastfallen som används vid beräkning av snittkrafter och nedböjning för brobaneplattan.

| Maximalt moment | Maximal tvärkraft | Maximal nedböjning |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| 6,20 MNm        | 6,07 MN           | 0,004 m            |

Tabell 6.8: Maximala snittkrafter och maximal nedböjning för brobaneplattan vid de slutgiltiga dimensionerna.

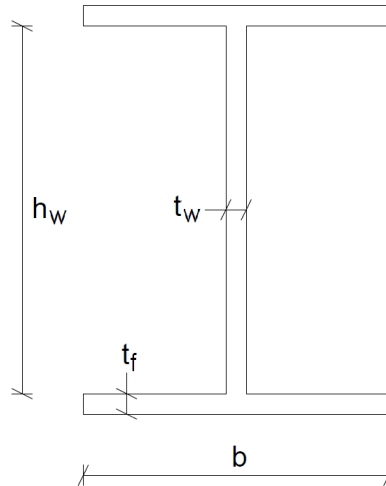
## 6.4 Lastkapacitet

Följande kapitel beskriver beräkningar för elementens kapacitet som sedan jämförs med de tidigare beräknade lasteffekterna från kapitel 6.3. Element som berörs i kapitlet är tvärbalk, brobaneplatta, båge, dragband, hängare och infästningar för hängare. Beräkningarna utförs enligt Eurokod och Bärande konstruktioner del 1 och 2 i programmet Matlab, för beräkningar se bilaga H.4.



### 6.4.1 Tvärbalk

Tvärbalkarna är utformad som ett I-tvårsnitt, se figur 6.8, och ses som en fritt upplagd balk. Tvärkraft- och momentkapaciteten beräknas för tvärbalkarna. Ekvationen 6.4 används för att beräkna momentkapacitet och ekvationen 6.5 för tvärkraftskapacitet. Tvärbalkens moment- och tvärkraftskapacitet vid de slutgiltiga dimensionerna presenteras i tabell 6.9. Alla tvärbalkar dimensioneras efter den som är mest kritisk belastad. Vid dimensionering jämförs alltså tvärbalkarnas kapacitet med maximalt moment och maximal tvärkraft från tabell 6.5.



Figur 6.8: Figuren illustrerar tvärsnittet för en I-tvärbalk.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.4)$$

Ekvation S4-41, (Al-Emrani m. fl., 2013)

$$V_{bw,Rd} = \chi_w h_w t_w \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (6.5)$$

Ekvation S5-20, (Al-Emrani m. fl., 2013)

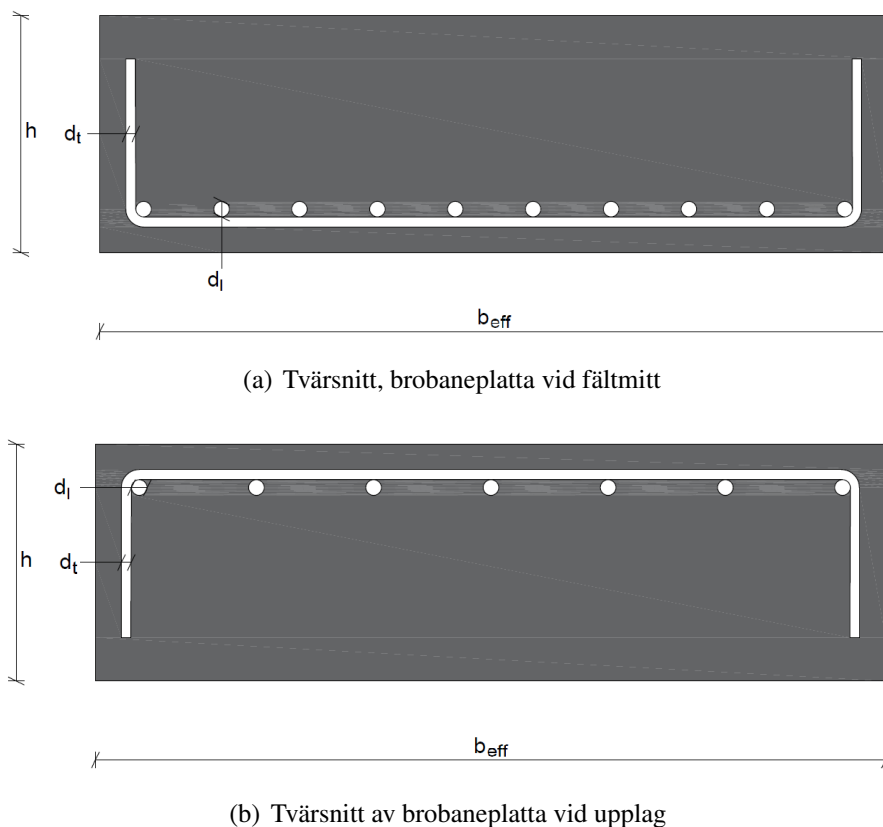
| Momentkapacitet | Tvärkraftskapacitet |
|-----------------|---------------------|
| 8,24 MNm        | 14.13 MN            |

Tabell 6.9: Moment- och tvärkraftskapacitet för tvärbalken vid de slutgiltiga dimensionerna.

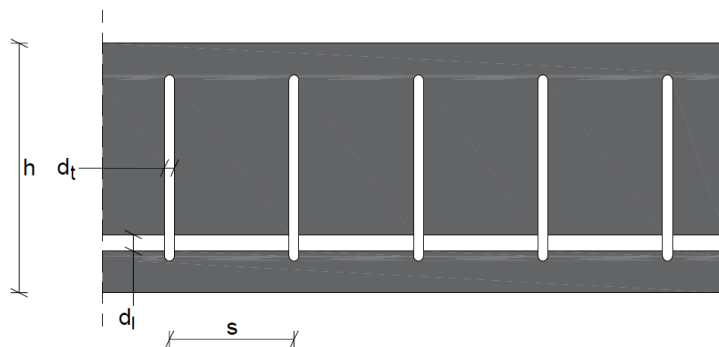
Eftersom brobanepattan enbart vilar på hängarna finns risk för svängning i sidled. För att förhindra dessa horisontella rörelser i brobanan svetsas de två yttersta tvärbalkarna fast i bågarnas ände. Då beräkningarna inte gjorts på de horisontella lasterna framgår de inte om de yttersta tvärbalkarna har de dimensioner som krävs för att morverka svängning.

### 6.4.2 Brobaneplatta

Brobanan består av en platsgjuten platta i betong med samverkande drag- och tvärkraftsarmering, se figur 6.9 samt 6.10. Plattan är kontinuerlig över hela brospannet och vilar som fritt upplagd över samtliga tvärbalkar. Brobanan är tänkt att ta upp de vertikala laster som trafiken ger upphov till och fördela dem vidare över tvärbalkarna. Vid dimensioneringen av brobanan studeras ett meterbrett element av brobanan i två snitt av elementet, i fältmitt och över tvärbalken. I respektive snitt beräknas kapaciteten för drag- och tvärkraftsarmeringen. Brobanans momentkapacitet och tvärkraftskapacitet beräknas enligt ekvation 6.6 och 6.7. Vid dimensionering jämförs kapaciteterna med lasteffekterna från tabell 6.8. Kapaciteterna vid de slutgiltiga dimensionerna redovisas i tabell 6.10.



Figur 6.9: Figuren illustrerar de olika tvärsnitt för ett meterbrett element av brobaneplattan som dimensioneras.



Figur 6.10: Figuren illustrerar utformningen av brobaneplattans tvärkraftsarmering vid fältmitt.

$$M_{Rd} = \alpha f_{cd} b x (d' - \beta x) \quad (6.6)$$

Ekvation B5-9, (Al-Emrani m. fl., 2013)

$$V_{Rd,s} = f_{ywd} A_{sw} \frac{z \cot \Theta}{s} \quad (6.7)$$

Ekvation B6-21, (Al-Emrani m. fl., 2013)

| Momentkapacitet | Tvärkraftskapacitet |
|-----------------|---------------------|
| 7,03 MNm        | 6,35 MN             |

Tabell 6.10: Moment- och tvärkraftskapacitet för brobaneplattan vid de slutgiltiga dimensionerna.

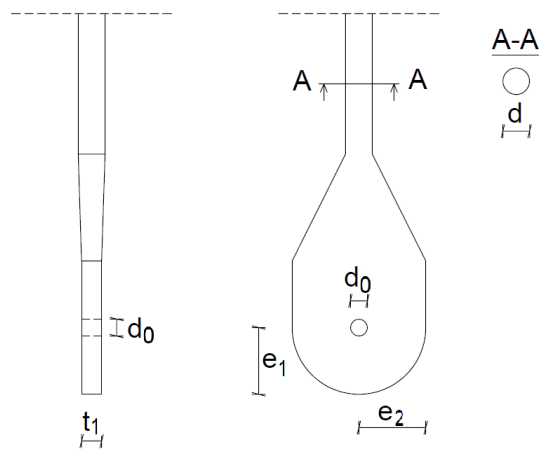
### 6.4.3 Hängare

De cirkulära massiva hängarna belastas av en normalkraft som är i rent drag och den dimensionerande diametern för hängaren bestäms av stålets flytspänning samt normalkraft. Ekvationen 6.8 används för att beräkna hängarens diameter vilket kan ses i figur 6.11.

$$A_s = \frac{N_{Ed}}{f_y} \quad (6.8)$$

Baserad på ekvation S3-2, (Al-Emrani m. fl., 2013)

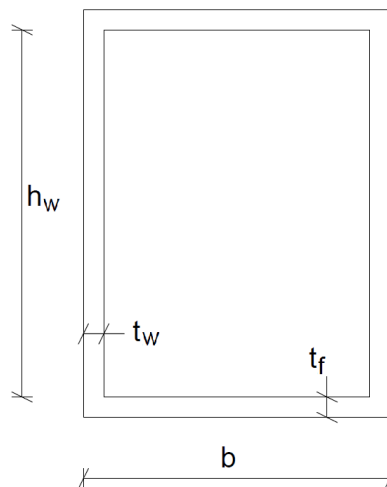
Ytterligare i figur 6.11 åskådliggörs hängarens ändar som används för att ansluta infästningarna. Normalkraftkapaciteten optimeras för att motsvara den maximala normalkraft från tabell 6.6.



Figur 6.11: Figuren illustrerar de cirkulära och massiva tvärsnittet som används för hängarna samt dess ändar.

#### 6.4.4 Båge

Bågen är utformad med ett rektangulärt tvärsnitt, se figur 6.12. Bågens moment-, tvärkrafts- och normalkraftskapacitet beräknas och jämförs med maximalt moment och maximal tvär- och normalkraft vid dimensionering. Även risken för knäckning beräknas. Bågen antas vara stagad mot knäckning i plan, bågens veka riktning, och därför görs kontroll för knäckning endast i bågens profil, styva riktningen, se 6.12. För kontroll av knäckning räcker det att endast studera den längsta båglängden mellan två hängare. Kapaciteten för bågen vid slutgiltiga dimensioner beräknades med hjälp av ekvation 6.9, 6.10 och 6.11. Kapaciteterna vid de valda dimensionerna kan ses i tabell 6.11.



Figur 6.12: Figuren illustrerar bågens lådtvärsnitt. Den styva riktningen är längs med längden  $b$  och den veka riktningen går längs med längden  $h_w$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.9)$$

Ekvation S4-41, (Al-Emrani m. fl., 2013)

$$V_{bw,Rd} = \chi_w h_w 2t_w \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} \quad (6.10)$$

Ekvation S5-20, (Al-Emrani m. fl., 2013)

$$N_{Rd} = A \chi \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.11)$$

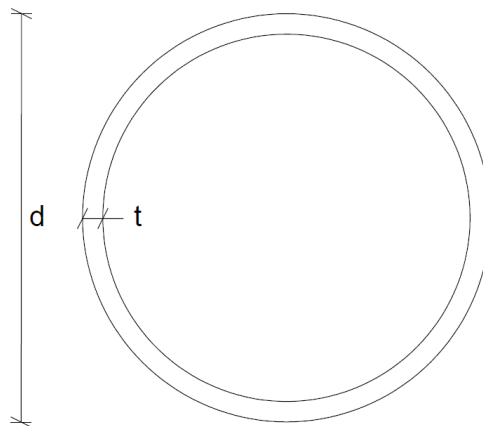
Ekvation S6-6, (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2011)

| Normalkraftskapacitet | Momentkapacitet | Tvärkraftskapacitet |
|-----------------------|-----------------|---------------------|
| 1,19 MN               | 60,35 MNm       | 8,24 MN             |

Tabell 6.11: Kapacitet för bågen vid de slutgiltiga dimensionerna.

#### 6.4.5 Dragband

Dragbandet utformas som ett cirkulärt tvärsnitt där tvärsnittet är ihåligt för att minska egentygden på elementet, se figur 6.13. Diametern för dragbandet får inte överstiga bågens bredd,  $b$  se figur 6.12, då de ska svetsas samman. Dragbandet fästs så att den hamnar 5 cm under tvärbalken på grund av underhållsaspekter. Dragbandet belastas huvudsakligen i drag varpå normalkapaciteten för dragbandet beräknas enligt ekvation 6.12. Kapaciteten i dragbandet vid de slutgiltiga dimensionerna åskådliggörs i tabell 6.12 och jämförs med maximal normalkraft i tabell 6.6.



Figur 6.13: Figuren illustrerar dragbandets cirkulära tvärsnitt.

$$N_{Rd} = f_y A_s \quad (6.12)$$

Ekvation S3-2, (Al-Emrani m. fl., 2013)

| Normalkraftskapacitet |
|-----------------------|
| 20,27 MN              |

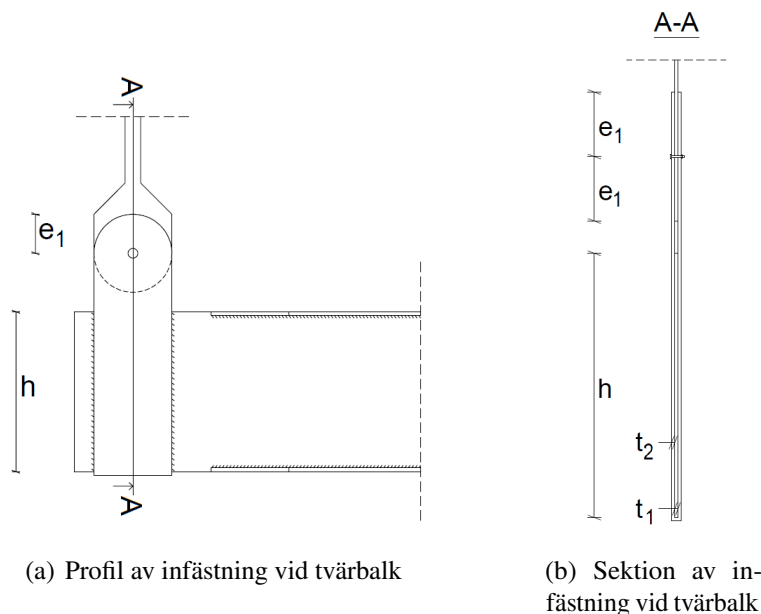
Tabell 6.12: Kapacitet för dragband vid de slutgiltiga dimensionerna.

## 6.5 Detaljer

Utöver farbana, tvärbalkar, dragband, båge och hängare så dimensioneras ett antal detaljer på bron som har betydelse. De detaljer som berörs är svetsar, infästningar, lager, övergångskonstruktioner och avvattningsystem.

### 6.5.1 Infästningar

Infästningar används för att ansluta både hängarna med båge och hängarna med tvärbalk. Infästningen består av två plåtar med ett gap för hängarens plåt som ansluts med en genomgående bult. De två plåtarna svetsas fast på både bågens liv och tvärbalkens liv, se figur 6.14(a). Dimensioneringen för infästningen görs med avseende på det minsta värdet av skjuvbrottskapaciten och hålkantsbrottskapaciteten. Hålkantsbrottskapaciteten visar sig vara dimensionerande, se tabell 6.13. En sektionsvy för figur 6.14(a) kan åskildliggöras i figur 6.14(b).



Figur 6.14: Figuren illustrerar hur hängarens infästning ansluts till tvärbalk.

| Hålkantsbrottskapacitet |
|-------------------------|
| 2,94 MN                 |

Tabell 6.13: Kapaciteten för plåtarna mellan infästning och hängare vid de slutgiltiga dimensionerna.

### 6.5.2 Svetsar

För att förbinda olika stålelement så används svetsar. Samtliga svetsar dimensioneras ej här utan dimensioneringen begränsas till de mest relevanta och utsatta. De tre svetsarna som dimensioneras är den mellan hängarens infästningsanordning och tvärbalken, hängarens infästningsanordning och båge samt den mellan båge och dragband. Svetsen mellan hängarens infästningsanordning och tvärbalk dimensioneras efter maximala upplagskrafter i tvärbalken. Svetsen mellan hängare och båge har däremot bättre förutsättningar och antas därför att klara samma lasteffekt som svetsen mellan hängare och tvärbalk. Som ses i figuren 6.14(a) så tätsvetsas hängarna för att inte få in vatten men det kan antas att det enbart är de vertikala svetsarna som bär lasten. Därför dimensioneras endast de vertikala svetsarna som antas ta all tvärkraft. Svetsen mellan dragband och båge dimensioneras efter normalkraften i dragbandet då dragbandet enbart belastas i drag. Svetsarnas kapacitet beräknas och kontrolleras enligt ekvation 6.13 och 6.14. Samtliga svetsar klarar belastningarna.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (6.13)$$

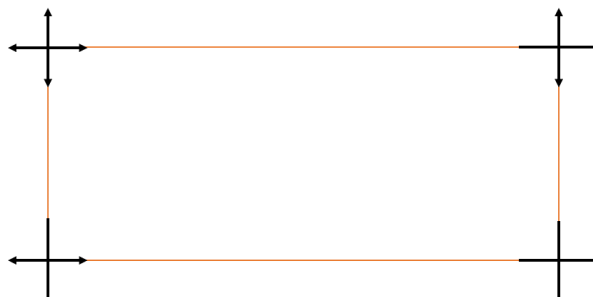
Ekvation S9-12, (Al-Emrani m. fl., 2011)

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (6.14)$$

Ekvation S9-13, (Al-Emrani m. fl., 2011)

### 6.5.3 Lager

Som tidigare nämnt i kapitel 5.2.2 så vilar bron på gummipottlager vars funktion är att föra över laster från bron till brofästena och se till att bron har rörelsefrihet i samtliga riktningar. Det placeras ett lager vid varje båges hörn vilket för de båda broarna blir åtta lager sammanlagt. Lagren utformas för att klara brons rörelser från temperaturdifferenser samtidigt som bron inte ska kunna åka iväg fritt. Den effekten ges genom att placera ett lager som är fast, ett med allsidig rörlighet och två med ensidigt rörlighet, se figur 6.15.



Figur 6.15: Figuren visar hur lagrena måste vara utformade för att klara av att ta upp de laster som verkar på bron. Pilarna symboliserar i vilken riktning bron är fri att röra sig.

Lagren ska ta hand om vertikala och horisontella laster. De vertikala lasterna som lagren ska klara av motsvarar vertikala stödreaktioner vid bågens ändar. Vindlast, bromslast, temperaturlaster samt horisontella reaktionskrafter ger upphov till de horisontella lasterna som lagren dimensioneras för. Lagren dimensioneras utifrån minimala och maximala vertikala laster och maximala horisontella laster. De minimala vertikala lasterna är reaktionskrafter då bron enbart belastas med egentygnd och de maximala då det värsta lastfallet från trafiklaster belastar bron. De dimensionerande lasterna kan jämföras med värden från leverantörer för att hitta passande dimensioner på lager. Då arbetet avgränsas från att dimensionera bron för vindlast, temperaturlast och bromslast så kan de horisontella lasterna ej bestämmas. Lagren dimensioneras i detta fallet enbart utefter vertikala laster och det lager som klarar dessa laster antas klara motsvarande horisontella laster.

| $R_{max}$ | $R_{min}$ |
|-----------|-----------|
| 23,85 MN  | 13,05 MN  |

Tabell 6.14: Vertikala reaktionskrafter vid brostöd med de slutgiltiga dimensionerna.

#### 6.5.4 Övergångskonstruktioner

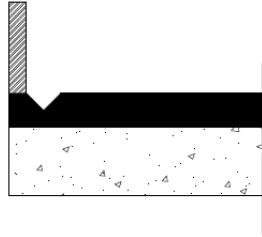
Bron utrustas med en övergångskonstruktion mellan brobana och landfäste för att klara av rörelser i vertikalled och horisontalled orsakade av temperaturdifferenser. Övergångskonstruktionen ska alltså klara av brons maximala längdutvidgning orsakad av den teoretisk maximala temperaturdifferensen på platsen.

#### 6.5.5 Avvattningssystem

När det regnar ansamlas vatten på brobanan. Detta vatten måste ledas bort då det kan uppstå olyckor om vattnet inte rinner av vägen. Vägbanan är därför bomberad med en lutning på 2,5 %, så att vattnet rinner ifrån mitten och ut mot kanterna av bron. Där måste vattnet samlas upp då det är förorenat av oljor



och andra kemikalier som finns på brobanans yta. Uppsamlingen görs genom att kantbalken stoppar upp vattnet från att rinna över kanten och en skåra i förslitningslager, en så kallad dräneringskanal, leder sedan bort det ut mot broändarna, se figur 6.16. För att vattnet ska rinna ut mot ändarna krävs det även en vertikallutning. Vid broändarna tas vattnet upp av brunnar där det renas innan det får rinna ut i naturen (Trafikverket, 2011).

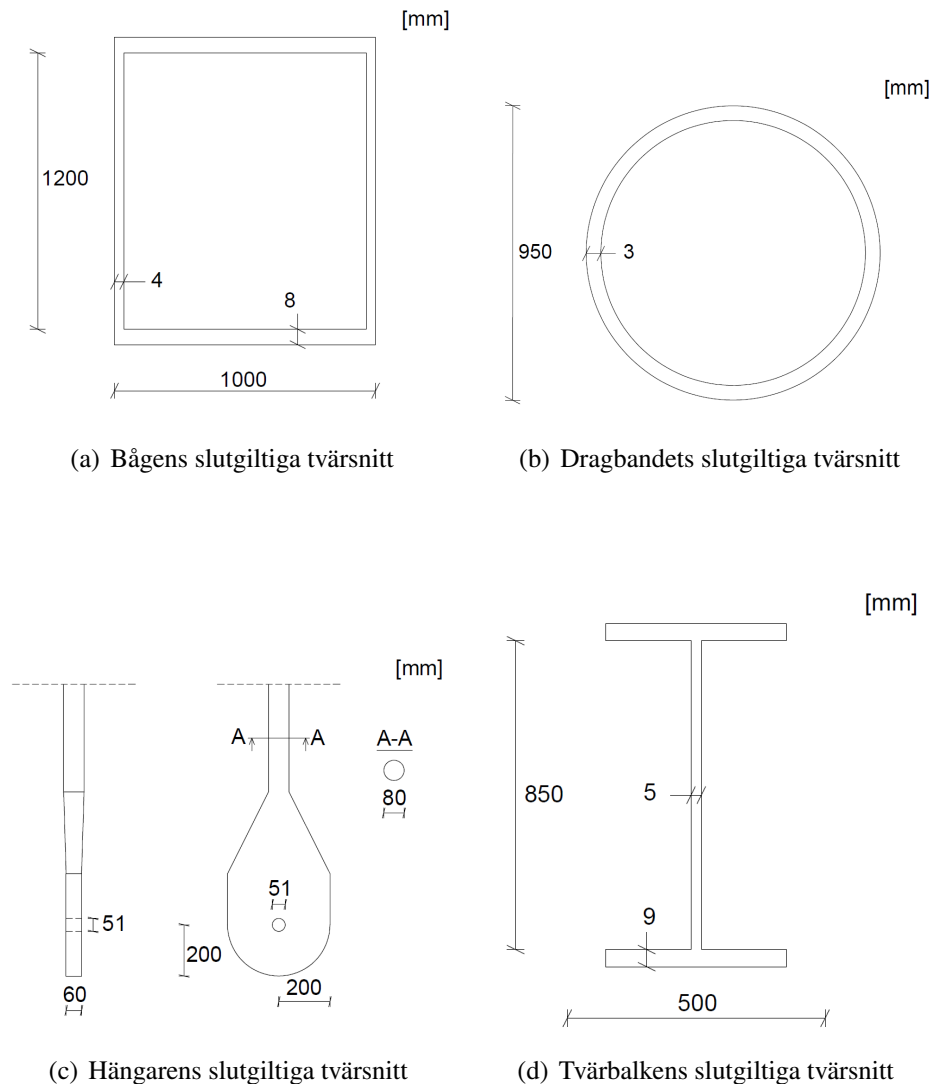


Figur 6.16: Figuren visar dräneringskanalen och kantbalken i ett tvärsnitt av brobaneplattan.

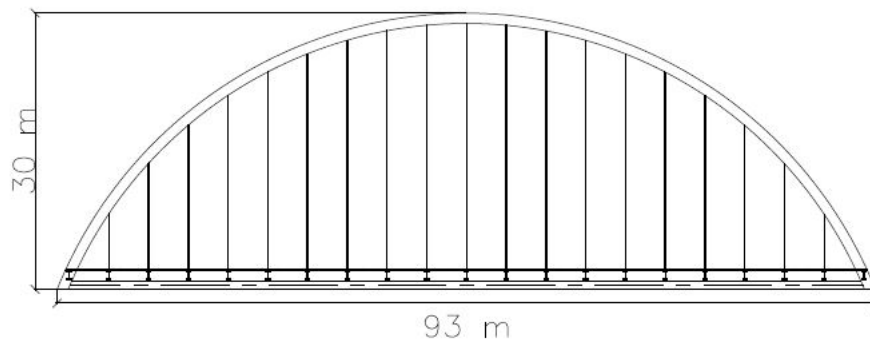
## 7 Resultat

Genom att undersöka platsens och projektets förutsättningar kunde ett antal fungerande brokoncept tas fram. Vid en jämförelse av de olika koncepten blev resultatet att det mest fördelaktiga konceptet var två parallella bågbroar av stål, en för varje körriktning. Längden på vardera bro är 93 m och bredden är 17 m.

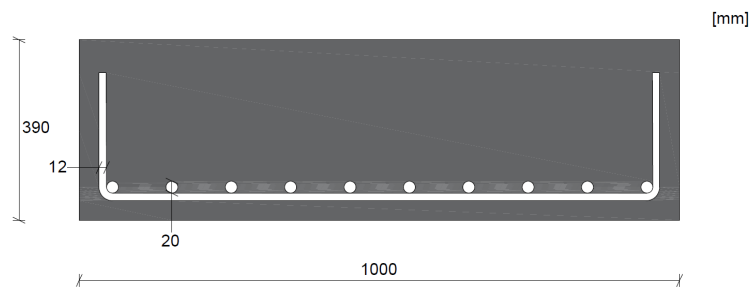
De dimensioner på brobaneplatta, båge, dragband, hängare och tvärbalkar som krävs för att klara av brons egentygnd och tänkt trafiklast presenteras i figur 7.1 - 7.3. Brobaneplattan av armerad betong fördelar ut trafiklasten och dess egentygnd på de 21 underliggande tvärbalkarna. Tvärbalkarna leder sedan upp lasten i de 19 hängarna som för vidare den ut i de 30 m höga bågarna och ner i stöd. Två dragband förbinds i de båda bågarnas ändar. Bågarna stagas med ovanliggande tvärbalkar.



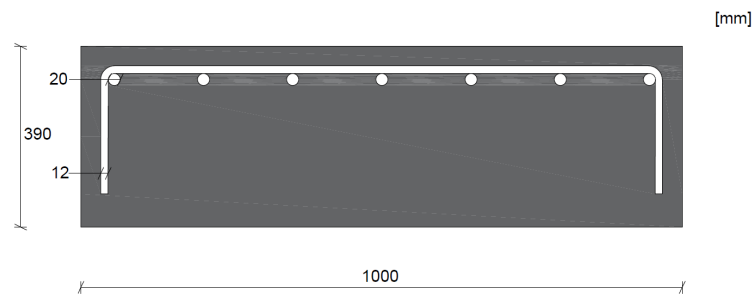
Figur 7.1: Figuren illustrerar broelementens tvärsnitt.



Figur 7.2: Sektionsritning av det slutgiltiga brokonceptet.



(a) Brobanans tvärsnitt i fältmitt



(b) Brobanans tvärsnitt över upplag

Figur 7.3: Figuren illustrerar meterbreda tvärsnitt för brobanan.

De värden på dimensionerna som fåtts anses vara rimliga, vilket tyder på att programmet som skrivits i Matlab och som räknar ut dimensionerna är korrekt. För att verifiera detta har ett antal handberäkningar och jämviktskontroller gjorts, se bilaga G. Den första ekvationen kontrollerar snittkrafterna i tvärbalken. Den andra nedböjningen i dragbandet och den sista gör en lastjämviktskontroll för bågen för att se att alla pålagda laster i vertikal riktning fås som upplagskrafter vid stöden. Alla dessa överslagsberäkningar stämmer mycket bra överens med de givna värdena från programmet.

## 8 Diskussion

Diskussionen syftar till att utvärdera resultat och tillvägagångssätt under idéfasen och dimensioneringen. De förenklingar som gjorts undersöks och eventuella variationer i resultat och felmarginaler diskuteras.

### 8.1 Metod

Fyra möjliga koncept togs fram och av dessa valdes det mest lämpade konceptet. Det gjordes med hjälp av en litteraturstudie och en beslutsprocess. I beslutsprocessen vägs flertalet kriterier mot varandra och förses med en viktningsfaktor. Varje koncept utvärderas och poängsätts där kriteriernas viktningsfaktor räknas med. Beslutsprocessen kan anses välgrundad med tanke på att de kriterier som innefattas baseras på beställarens önskemål samt produktion och förvaltning av bron, vilket ger en helhetssyn på brons funktion och produktion. Det faktum att urvalsprocessen är baserad på en subjektiv poängsättning och viktning gör dock att beslutet ej bör anses definitivt. Små skillnader i exempelvis viktningen kan ge ett helt annorlunda resultat. Dock är arbetet med att ta fram det mest lämpade brokonceptet ett öppet problem med fler än en lösning vilket inte kräver ett definitivt resultat. Det faktum att två av koncepten fick nästan samma slutgiltiga poäng tyder på att det andra konceptet också skulle kunna vara det mest lämpade konceptet om små förändringar i poängsättning eller viktning gjorts.

Den metod som används vid dimensionering av bron är en iterativ process. Lasteffekt och lastkapacitet beror på laster och dimensioner samtidigt som lasterna från egentygden i sin tur också beror på dimensionerna. Ett definitivt resultat på dimensioner kan ej hittas utan det resultat som fås är ett jämviktsläge där bron klarar av att ta hand om lasterna samtidigt som utnyttjandegraden inte är för låg. Det går även att använda andra förhållanden mellan dimensionerna för till exempel I-tvärsnittet på balkarna eller för förhållandet mellan betong och armering som också skulle ge ett fungerande resultat. Det innebär att resultatet inte är entydigt.

Vid preliminärdimensioneringen används ett antal 2D-modeller vars resultat sammanställs till ett gemensamt. Resultatet anses tillräckligt nära verkligheten i det här skedet av dimensioneringsprocessen. Vid en mer detaljerad dimensionering och för att få en helhetsbild av systemet kan beräkningarna kompletteras med en 3D-modell som innefattar alla element. Beräkningarna görs med hjälp av Calfem i programmet Matlab som har inbyggda funktioner för att ta fram exempelvis snittkrafterna. För att säkerställa att inga större programmeringsfel har inträffat görs handberäkningar vars resultat jämförs med resultaten från programmet. Det resultat som fås från handberäkningarna anses tillräckligt lika de från programmet för att stödja programmets tillförlitlighet. I nästa skede kan fler handberäkningar göras för att få ytterligare säkerhet.

### 8.2 Val av koncept

Fokus vid val av koncept var framförallt kort byggtid och korta trafikavbrott då detta är ett tydligt krav från Trafikverket. Utifrån det anses bågbron som ett bra koncept då produktionsmetoden möjliggör minimalt med arbete över spåret. Konceptet anses även byggbart då liknande referensbroar har byggts med goda resultat. Även samverkansbron var utifrån de givna kriterierna ett lämpligt alternativ. När

de båda koncepten jämförs med varandra anses dock bågbron vara något bättre för det specifika fallet, framförallt på grund av dess produktionsmetod.

Urvalet genomfördes utan ingående undersökning av ekonomi då arbetet avgränsas från det. Ekonomin hade troligtvis haft en stor inverkan på val av koncept i praktiken. Bågbron har generellt sett hög anläggningskostnad vilket antagligen hade gett större skillnader på poängsättningen för det specifika kriteriet vid en mer noggrann ekonomisk analys. I de fall som beställaren eftersträvar en låg anläggningskostnad hade det troligen inneburit att beställaren valt bort konceptet av just ekonomiska skäl. I de fall som bågbroar byggs idag så ställs ofta stora krav på estetisk utformning vilket det inte görs i detta fallet. Av dessa två anledningar kan det antas att sannolikheten att bågbron blir vald i praktiken inte är så stor.

### 8.3 Antaganden och avgränsningar

Vid dimensionering av bron har en rad antaganden och förenklingar gjorts. Det har gjorts på grund av begränsad kunskap och tid samt med hänsyn till att dimensioneringen är preliminär. Samtliga antaganden har gjorts så att beräkningarna är konservativa, de är alltså på säkra sidan. I vissa fall kan en del antaganden vara för konservativa så att bron blir något överdimensionerad. Detta innebär att vissa dimensioner kan vara onödigt stora och kräver mer material än nödvändigt.

Bågbron utformas så att dragband och tvärbalkar inte har någon kontakt. Utformningen ska säkerställa att dragbandet endast utsetts för horisontella krafter från bågen samt sin egentyngd. Anledningen till att systemet utformades som det gjordes är för att dragbandet ska utnyttjas maximalt. Om systemet istället hade byggts upp så att tvärbalkar och dragband har kontakt så ger det ett annat beräkningssystem och därmed ett annat resultat. Det system som valdes leder dock till nedböjningsproblem för dragbandet vilket diskuteras i kapitel 8.4.

Preliminärdimensioneringen baseras endast på två olika laster, trafiklast och egentyngder. Då det finns ytterligare laster som är av betydelse vid dimensionering, så som vind- och bromslast, finns det en risk att bron kräver andra dimensioner. De laster som bortses ifrån är horisontella laster och de dimensionerande lasterna är enbart vertikala. Det innebär att det kan behövas stora ändringar och förstärkningar när de horisontella lasterna tas med i beräkning. Som tidigare nämnt kan det innebära problem att brobaneplattan enbart vilar på hängarna eftersom det då finns risk för rörelser i tvärled om den belastas horisontellt.

I nuläget har enbart lastmodell 1 använts för att ta fram verkande trafiklast. Valet har gjorts på grund av att lastmodell 1 oftast blir dimensionerande men det kan hända att någon annan lastmodell ger ett mer ogynnsamt fall lokalt. Det kan innebära att de nuvarande dimensionerna lokalt sett är för veka då de andra lastmodellerna skulle kunna ge ett värre fall någonstans i konstruktionen.

För att underlätta kapacitetsberäkningen gjordes en rad förenklingar. Bågen antas stagad i horisontalled av tvärbalkar som placeras på övre delen av bågen. Tvärbalkarna måste placeras såpass högt att hög trafik kan köra på bron. Det innebär att det är en bit av bågen vid de båda ändarna som ej är stagad för knäckning i sidled som i sin tur innebär att bågen riskerar knäckning, vilket bör kontrolleras.

Som nämnts vid flertalet tillfällen finns det inte en entydig lösning för val av dimensioner för bron. Det beror på att det görs många antaganden som var och en sätter en prägel på det slutgiltiga resultatet. Likaså påverkas resultatet av de avgränsningar som görs. Vid andra antaganden och avgränsningar hade den slutgiltiga bron kunnat se ut på ett helt annat sätt än den bågbro som är resultatet av detta arbete.

## 8.4 Slutgiltiga dimensioner

Som tidigare nämnt är beräkningarna konservativt gjorda och därmed är de slutgiltiga tvärsnitten i vissa fall överdimensionerade. Trots överdimensioneringen visar beräkningarna att det koncept som valts är fullt möjligt att uppföra på den specifika platsen och med den tänkta belastningen.

Framförallt är bågen överdimensionerad då momentfördelningen varierar utefter bågens längd. Ett alternativ till konstant tvärsnitt i bågen, som dimensioneras efter maximalt moment, är att ha ett varierat tvärsnitt som följer momentfördelningen. En lösning med varierat tvärsnitt blir mer materialeffektivt då materialet används efter exakt behov. Även dimensioner på tvärbalkarna hade kunnat varieras då moment och tvärkraft varierar längs balken och därmed krävs olika dimensioner för att klara av lasteffkterna. Modellering med varierat tvärsnitt innebär mer komplicerade beräkningar och har därför inte gjorts vid denna preliminärdimensionering. Varierade tvärsnitt komplicerar även byggprocessen då samtliga komponenter måste specialkonstrueras. Komponenterna till bågen måste antagligen specialkonstrueras oavsett, då det inte finns standardmodeller för bågelement, men för tvärbalkarna skulle varierade tvärsnitt antagligen innebära en längre produktionstid.

I ett tidigt stadie av dimensioneringen var tanken att dragbandet skulle ha formen av ett I-tvärsnitt. Under arbetets gång konstaterades det att ett cirkulärt tvärsnitts egenskaper passar bättre med dragbandets funktion. I och med att normalkraften som belastar dragbandet är konstant över hela elementet kommer tvärsnittet vara konstant. Vid hög utnyttjandegrad kan dragbandets dimensioner anses optimala. Trots att det valdes ett cirkulärt ihåligt tvärsnitt blev egentygden på dragbandet stor vilket leder till en stor nedböjning. Nedböjningen kan förhindras genom att hänga upp dragbandet på ett antal vajrar som fäster i tvärbalkarna för att ge ett visuellt säkrare intryck. Det kan även vara fördelaktigt med avseende på vindlastens påverkan så att dragbandet inte har lika stort utrymme att svänga. Då dragbandet inte är ett bärande element är nedböjningen i sig inget problem men det ger ett osäkert visuellt intryck. Hängarna har ett konstant cirkulärt och massivt tvärsnitt då det enbart belastas med dragkrafter.

Brobanep Plattans dimensioner har som tidigare nämnts inte en entydig lösning. Det går att ändra dimensioner och mängd armering och ändå få en brobanep latta som klarar av att bära lasterna. Det innebär att det kan finnas mer materialeffektiva och billigare alternativ på dimensioner.

## 8.5 Kvarstående dimensionering

Den dimensionering som genomförs är enbart preliminär vilket innebär att konceptet kan utvecklas ytterligare. Fler och mer noggranna beräkningar bör genomföras för att dels få ett mer optimerat resultat samt komplettera med de beräkningar och kontroller som saknas.

Fler detaljer bör kontrolleras vid en mer detaljerad dimensionering. Exempelvis måste samtliga svetsar och förband dimensioneras. De svetsar eller förband som kvarstår är bland annat de mellan bågens olika delar och de mellan hängare och båge. Antal vajrar och dess dimensioner som behövs för att motverka nedböjning av dragbandet måste beräknas i nästa steg.

Som tidigare nämnts så kan tvärsnitten optimeras för att undvika överdimensionering. Beräkningar med varierade tvärsnitt för tvärbalkar och båge bör genomföras för att materialeffektivisera konstruktionen. Även fler iterationer i dimensioneringen kan genomföras för att hitta dimensioner som ger en ännu högre utnyttjandegrad.

Vid en noggrann dimensionering måste samtliga verkande laster tas hänsyn till. Systemen måste alltså

även dimensioneras för vindlast, bromslast, accelerationslast och temperaturlast. Nuvarande beräkningar har endast gjorts med lastmodell 1, i ett senare skede bör alla lastmodeller beräknas. Ytterligare lastfall bör också kontrolleras. Bron bör även dimensioneras för att klara den påkänning som uppstår då den lyfts på plats. Eventuellt kan temporära förstärkningar behövas.

Då arbetet avgränsas från geoteknik har det inte beräknas hur många och hur stora pålar som behövs vid varje stöd vilket måste göras i nästa steg. Även landfästen måste dimensioneras.

## 8.6 Källkritik

Arbetet baseras framförallt på beräkningar från Eurokoder. Det är standardiserade modeller som är väl beprövade och kan därför anses som säkra. I idéfasen har andra externa källor använts. Samtliga källor kan anses säkra då de i stor utsträckning utgörs av tryckta verk eller uppslagsverk. De tryckta källorna kompletteras med muntliga källor som anses som säkra då personerna i fråga är experter på ämnet. Deras uttalanden baseras på tidigare erfarenhet inom liknande projekt vilket styrker resultatet. Mycket av den information som samlats in har återfunnits från flertalet källor vilket också tyder på trovärdighet.

## 9 Slutsats

Det brokoncept som anses mest lämpad på platsen är en bågbro med dragband. Båge, hängare, tvärbalkar och dragband är prefabricerade stålelement. Bron har en platsgjuten farbana av armerad betong. Bron monteras ihop bredvid den slutgiltiga platsen till ett komplett system som i ett helt stycke lyfts på plats över spannet.

Med de antaganden och avgränsningar som görs klarar bron de krav som ställs. Det innebär att det är möjligt att bygga en bro av den här typen på den aktuella platsen. Dock måste problemet med dragbandets stora nedböjning lösas så att bron även ger ett säkert och estetiskt intryck. Det återstår även flertalet beräkningar vilket kan leda till problem vid ytterligare dimensionering. Ett kritiskt moment är de horisontella lasterna, så som vind- och bromslast, som ej tagits med i beräkning.

Eftersom bågbroen är relativt dyr att producera samt en bro som ofta väljs av estetiska skäl är det troligt att det i praktiken väljs ett annat koncept för det specifika fallet. Den stora fördelen med bågbroen är dess korta byggtid som prioriterades i detta fall men troligtvis väger de inte upp mot de höga kostnaderna om ekonomin spelar en större roll vid urvalet.

Det viktigaste kravet från trafikverket är korta trafikavbrott vilket konceptet uppfyller väl tack vare dess produktionsmetod. Konceptets utformning och dimensionering har kommit långt då preliminärdimensionering har kompletterats med flertalet detaljutformningar. De dimensioner som ges från beräkningarna är rimliga för det valda konceptet och för de specifika förutsättningarna. I och med detta har syftet med rapporten uppfyllts.



# Referenser

- EN-1990. (2002). *Eurocode - Basis of structural design*. (Se sidan 36).
- EN-1991. (2003). *Eurocode 1: Laster på bärverk - del 2: Trafiklast på broar*. (Se sidan 33).
- Alén, C., Lindvall, A., Johansson, M., Magnusson, J. & Norén, C. (2013). *Systemhandling Flackarp – Arlöv, fyra spår, Slutläge*. Trafikverket. (Se sidorna 3, 4).
- Almaleh, N. & Djuric, M. (2005). *Utformning av lådbalkbroar i högpresterande betong med extern förspänning*. Byggvetenskap - KTH. (Se sidan 24).
- Altun, T. & Utriainen, T. (2013). *Prefabricerad eller platsbyggd stomme- En jämförelse ur ett ekonomiskt perspektiv* (examensuppsats, Tekniska högskolan Jönköping, Byggnadsteknik). (Se sidorna 18, 19).
- Bjerstedt, J., Mundell, C., Timmerman, R. & Jacobsson, B.-M. (2014). PM Produktion och rivning - Ny Bro 2020 - Underlag för inriktningsbeslut. Hämtad 3 mars 2017, från <http://www.lidingo.se/download/18.598c000614806e52d9510b06/1410790738512/PM+Produktion+och+rivning.pdf%5C%207>. (Se sidan 25)
- Björkman, M. (2013). Världens bredaste snedkabelbro öppnad. Hämtad 22 februari 2017, från [http://www.infrastrukturnyheter.se/20161228/11752/varldens-bredaste-snedkabelbro-oppnad?quicktabs\\_webtv=1](http://www.infrastrukturnyheter.se/20161228/11752/varldens-bredaste-snedkabelbro-oppnad?quicktabs_webtv=1). (Se sidan 9)
- Boverket. (2015). *BFS - EKS 10 2015:6*. Boverket. (Se sidan 4).
- Burström, P. G. (2001). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur AB, Lund. (Se sidorna 15, 16).
- Bygging-Uddeman. (2015). Traditionell glidformsgjutning. Hämtad 20 februari 2017, från <http://www.bygging-uddemann.se/sv/traditionell-glidformsgjutning/>. (Se sidan 19)
- Chen, W.-F. & Duan, L. (1999). *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton. (Se sidan 19).
- Dahlblom, O. & Olsson, K.-G. (2010). *Strukturmekanik: Modellering och analys av ramar och fackverk*. Studentlitteratur AB, Lund. (Se sidan 12).
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner: Del 2*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik. (Se sidorna 45, 47).
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner: Del 1*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik. (Se sidorna 16–18, 41, 43, 45, 46).
- Åstedt, B. (2009). Bågbroar. Hämtad 25 februari 2017, från <http://stalbyggnadsinstitutet.se/uploads/source/files/Artiklar/Bagbroar.pdf>. (Se sidan 12)
- Griwell, F. (2013). *Systemhandling Flackarp – Arlöv, fyra spår Geokonstruktioner*. Trafikverket. (Se sidan 4).
- Gustavsson, L. (2007). *Handbok BVH 583.20*. Banverket. (Se sidan 3).
- Internordisk Spännarmering. (utan år). B2 övergångskonstruktioner. Hämtad 2 mars 2017, från [http://www.skanska.se/cdn-1d270014bd914f5/Global/Bygg\\_och\\_anlaggning/Vag\\_anlaggning\\_och\\_infrastruktur/B2-%5C%C3%5C%B6verg%5C%C3%5C%A5ngskonstruktioner-sp%5C%C3%5C%A4nnarmering.pdf](http://www.skanska.se/cdn-1d270014bd914f5/Global/Bygg_och_anlaggning/Vag_anlaggning_och_infrastruktur/B2-%5C%C3%5C%B6verg%5C%C3%5C%A5ngskonstruktioner-sp%5C%C3%5C%A4nnarmering.pdf). (Se sidan 29)
- Internordisk Spännarmering. (2017). B2 gummipottlager. Hämtad 5 mars 2017, från [http://www.skanska.se/cdn-1d255cd54dc7eaf/Global/Bygg\\_och\\_anlaggning/Vag\\_anlaggning\\_och\\_infrastruktur/B2-gummipottlager.pdf](http://www.skanska.se/cdn-1d255cd54dc7eaf/Global/Bygg_och_anlaggning/Vag_anlaggning_och_infrastruktur/B2-gummipottlager.pdf). (Se sidan 29)

- Jernkontoret. (2016). Produktrelaterade miljöfrågor. Hämtad 18 februari 2017, från <http://www.jernkontoret.se/sv/energi--miljo/produktrelaterade-miljofragor>. (Se sidan 15)
- Marklund, M. & Nilsson, E. (2008). *Prefabricerade segmentbroar för väg -Jämförande konstruktionsberäkningar och dimensioneringsförslag*. Samhällsbyggnad - LTU. (Se sidorna 12, 24, 25).
- Nationalencyklopedin. (utan år-a). Alnarpssänkan. Hämtad 6 februari 2017, från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/alnarpss%C3%A4nkan>. (Se sidan 4)
- Nationalencyklopedin. (utan år-b). Balkbroar. Hämtad 2 februari 2017, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro/brotyper/balkbroar>. (Se sidan 10)
- Nationalencyklopedin. (utan år-c). Fackverk. Hämtad 25 februari 2017, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/fackverk>. (Se sidan 12)
- Nationalencyklopedin. (utan år-d). Nordostmorän. Hämtad 26 april 2017, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/nordostmor%C3%A4n>. (Se sidan 4)
- Nationalencyklopedin. (2017). Hängbroar och snedkabelbroar. Hämtad 5 mars 2017, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro/brotyper/h%C3%A4ngbroar-och-snedkabelbroar>. (Se sidorna 8, 9)
- Paulmac, B. (2014). Incremental bridge launch process. Hämtad 9 mars 2017, från [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AIncremental\\_bridge\\_launch\\_process.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AIncremental_bridge_launch_process.png). (Se sidan 19)
- Peab. (2015). Natligt brolyft av Nordens största kran vid Arenastaden i Solna. Hämtad 3 mars 2017, från <http://www.peab.se/bostader--projekt/nya-omraden/arenastaden-i-solna/natligt-brolyft-av-nordens-storsta-kran-vid-arenastaden-i-solna/>. (Se sidan 23)
- Pousett, A. & Fjellström, P.-A. (2004). *Broinspektion- Träbroar*. SP Bygg och mekanik- Träteknik. (Se sidan 17).
- Saferoad-Birsta. (2017). Om vägräcken. Hämtad 7 mars 2017, från <http://www.saferoadbirsta.se/allmant-om-vagracken/>. (Se sidan 30)
- Silfwerbrand, J. (2002). *Aktivt brounderhåll- En förstudie*. KTH. (Se sidorna 17, 18).
- Sperle, J.-O. (utan år). Konstruktionsstål. Hämtad 29 januari 2017, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/konstruktionsst%C3%A5l>. (Se sidan 15)
- Steelconstructions.info. (utan år). Tied-arch bridges. Hämtad 7 mars 2017, från [http://www.steelconstruction.info/Tied-arch\\_bridges](http://www.steelconstruction.info/Tied-arch_bridges). (Se sidan 28)
- Stålbyggnadsinstitutet. (2015). Materialet. Hämtad 29 januari 2017, från <http://sbi.se/om-stal/materialet>. (Se sidan 15)
- Stålbyggnadsinstitutet. (2016). Brobyggnad: Broar. Hämtad 29 januari 2017, från <http://sbi.se/om-stal/brobyggnad>. (Se sidan 15)
- Svensk Betong. (utan år). Fakta/Egenskaper. Hämtad 29 januari 2017, från <http://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper>. (Se sidorna 16, 17)
- Svensk betong. (2017a). Industrialisering och kvalitet. Hämtad 3 mars 2017, från <http://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/industrialisering-och-kvalitet>. (Se sidan 24)
- Svensk betong. (2017b). Produktion: Industrialiserat platsgjutet byggande. Hämtad 20 februari 2017, från <http://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/produktion>. (Se sidan 18)
- Svensk byggtidning. (2016). Kortare byggtid med prefabricerade träelement. Hämtad 22 februari 2017, från <http://svenskbyggtidning.se/kortare-byggtid-med-prefabricerade-traelement>. (Se sidan 18)
- Svenskt Trä. (2013). Att välja trä: En faktaskrift om trä. Hämtad 1 februari 2017, från <http://www.svensktra.se/siteassets/6-om-oss/publikationer/pdf/att-valja-tra.pdf>. (Se sidan 14)

- Svenskt Trä. (2016). Om trä: Materialet trä. Hämtad 1 februari 2017, från <http://traguiden.se/om-tra/materialet-tra/>. (Se sidan 14)
- Terex Corporation. (2017). CC 6800-1. Hämtad 7 mars 2017, från <http://www.terex.com/cranes/en/products-demag/lattice-boom-crawler-cranes/CC6800-1/index.htm>. (Se sidan 30)
- Trafikverket. (1994). Bro 94: Stål-, trä- och aluminiumkonstruktioner (1994:5). Hämtad 15 februari 2017, från [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11037/RelatedFiles/1994\\_5\\_atb\\_bro\\_94\\_del\\_5\\_stal\\_tra\\_och\\_aluminiumkonstruktioner\\_tidigare\\_version.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11037/RelatedFiles/1994_5_atb_bro_94_del_5_stal_tra_och_aluminiumkonstruktioner_tidigare_version.pdf). (Se sidan 17)
- Trafikverket. (2011). TRVK Bro 11 (TRV: 2011:085). Hämtad 15 februari 2017, från [http://www.trafikverket.se/contentassets/1ffad0ea826f43308e2c2a5dfe883d5f/filer/2011\\_085\\_trvk\\_bro\\_11.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/1ffad0ea826f43308e2c2a5dfe883d5f/filer/2011_085_trvk_bro_11.pdf). (Se sidorna 3, 17, 29, 30, 32, 49)
- Trafikverket. (2014). BaTMan - Kodförteckning och beskrivning av brotyper. Hämtad 24 januari 2017, från [https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01\\_Dokument%5C%20Batman/Kodfoerteckning%5C%20och%5C%20beskrivning%5C%20av%5C%20brotyper.pdf](https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01_Dokument%5C%20Batman/Kodfoerteckning%5C%20och%5C%20beskrivning%5C%20av%5C%20brotyper.pdf). (Se sidorna 6–12)
- Trafikverket. (2016). Skötsel av broar. Hämtad 13 februari 2017, från <http://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-broar/>. (Se sidan 17)
- Trafikverket. (2017). Lund-Arlöv, fyra spår. Hämtad 18 januari 2017, från <http://www.trafikverket.se/lund-arlov>. (Se sidorna 1, 30)



## A Profiliritning

Technical drawing of a road cross-section showing elevation (0.00 to 20.00) and stationing (0+380 to 0+910). The drawing includes a 'MARKYTA 1 STAKAD LINE' (top), a 'MARKYTA 25M HOGER OM STAKAD LINE' (middle), and a 'MARKYTA 25M HOGER' (bottom). A 'BRD' (road) is indicated. The drawing is divided into sections with different grades: 133%, 0/6% 750, -0/25%, 0/9% 243, and -0/102. A table at the bottom provides data for 'LUTNING / RÅDE', 'PROFILHÖJD', 'LÄNGDPROFILING', 'RÄKNAD LINE', 'PLANDATA', 'VÄNSTER', 'TVÄRFALL', 'HÖGER', 'ÖVERBYGGNAD', 'MARKSLAG', and 'JORDART'.

| LUTNING / RÅDE | PROFILHÖJD | LÄNGDPROFILING | RÄKNAD LINE | PLANDATA | VÄNSTER | TVÄRFALL | HÖGER | ÖVERBYGGNAD | MARKSLAG | JORDART |
|----------------|------------|----------------|-------------|----------|---------|----------|-------|-------------|----------|---------|
|                | -8.69      | 0/380          |             |          | 5%      |          |       |             |          |         |
|                | -8.95      |                |             |          | 25%     |          |       |             |          |         |
|                | -9.22      |                |             |          | 0%      |          |       |             |          |         |
|                | -9.48      |                |             |          | -25%    |          |       |             |          |         |
|                | -9.75      |                |             |          | -5%     |          |       |             |          |         |
|                | -10.02     | 0/480          |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -10.28     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -10.55     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -10.81     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -11.08     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -11.34     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -11.61     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -11.87     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -12.14     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -12.40     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -12.66     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -12.91     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.12     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.30     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.45     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.57     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.65     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.71     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.74     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.73     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.70     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.63     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.53     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.41     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.25     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -13.06     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -12.85     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -12.75     |                |             |          |         |          |       |             |          |         |
|                | -10.2      | 0/910          |             |          |         |          |       |             |          |         |

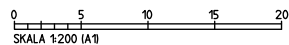
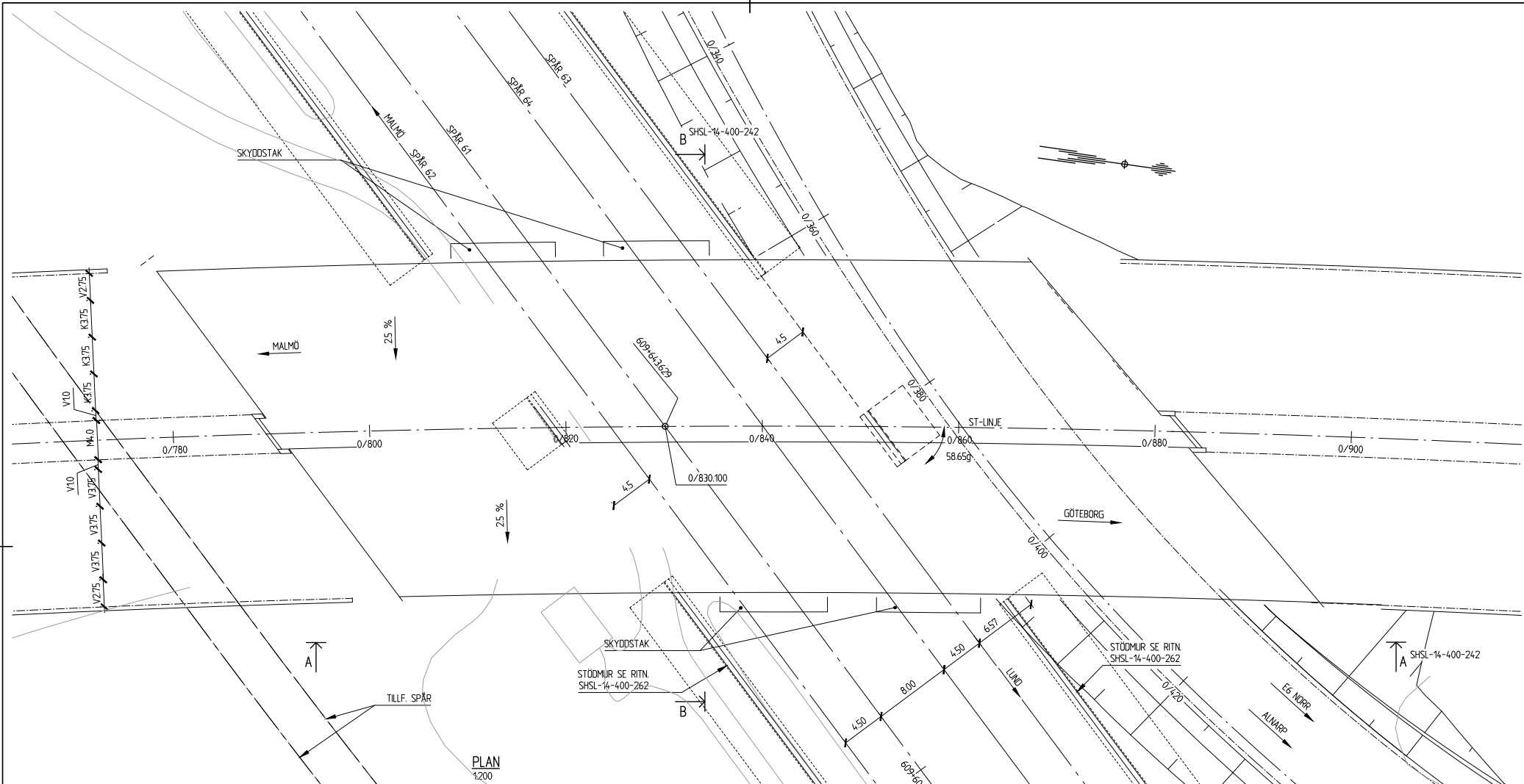
## PROFIL

|       |                                          |
|-------|------------------------------------------|
| _____ | PROFILPLAN                               |
| _____ | BEFINTLIG MARK 1 STAKAD LINJE            |
| ----- | BEFINTLIG MARK, 2M HÖGER OM STAKAD LINJE |

PLANSYSTEM: SWEREF 99 13 30  
HÖJDSYSTEM: RH 70

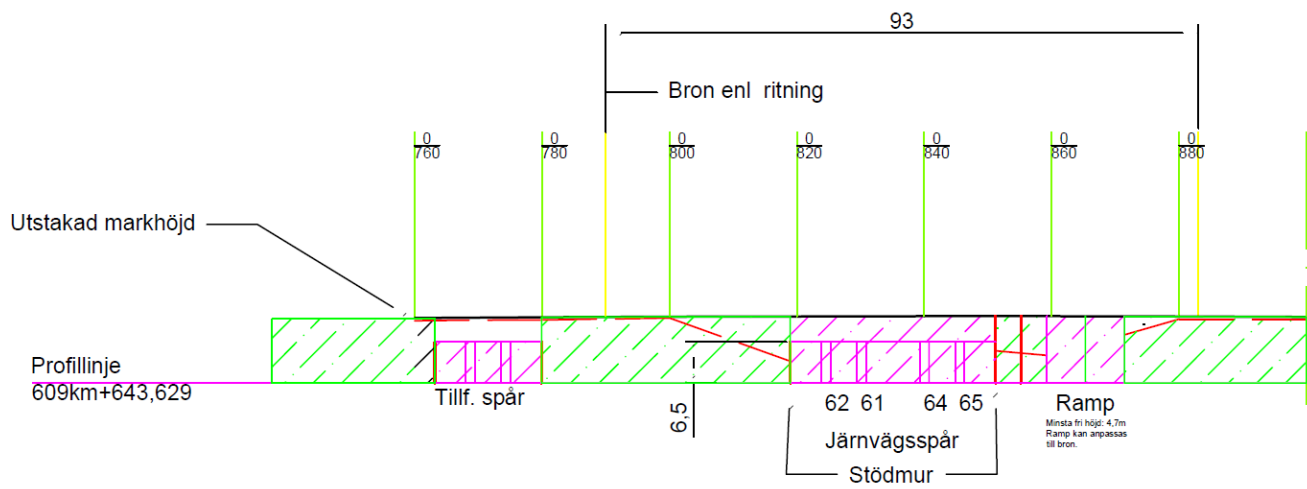
|                                                                                                                                                                     |     |                        |                                                                                                            |       |          |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|--------------|
| REV                                                                                                                                                                 | ANT | ÄNDRINGEN AVSER        | GOOK                                                                                                       | DATUM | VY DATUM | VY SÄNNINGAR |
| ARBETSPLAN                                                                                                                                                          |     |                        | FÖRHANDSKOPIA                                                                                              |       |          |              |
|  <b>TRAFIKVERKET</b>                                                           |     |                        | <b>FLACKARP - ARLÖV</b><br><br><b>TRAFIKPLATS ALNARP</b><br>VÄG E6<br><br>SAMMA PROFIL SOM BEHÅLLIG        |       |          |              |
| <br>Telefon: 0771-156 159 / <a href="http://www.vectura.se">www.vectura.se</a> |     |                        | <b>PROFIL</b><br><br> |       |          |              |
| UPPGRADESNÄMNS C. SJÖGREN                                                                                                                                           |     | UPPGRADESNUMMER 107461 | FÖRSLUT A1 SKALA H=1:100 L=1:2000                                                                          |       |          |              |
| BERO F. ANDERSSON                                                                                                                                                   |     | GRÄNS                  | RITNINGSSKALA                                                                                              |       |          |              |
| MALMÖ                                                                                                                                                               |     | 2011-11-09             | OBJEKT NR                                                                                                  |       |          |              |
| C. SJÖGREN                                                                                                                                                          |     |                        | 101 T 03 01                                                                                                |       |          |              |
|                                                                                                                                                                     |     |                        | REV                                                                                                        |       |          |              |

## **B Planritning**

[illegible]



## **C   Möjlig placering för bröstöd**

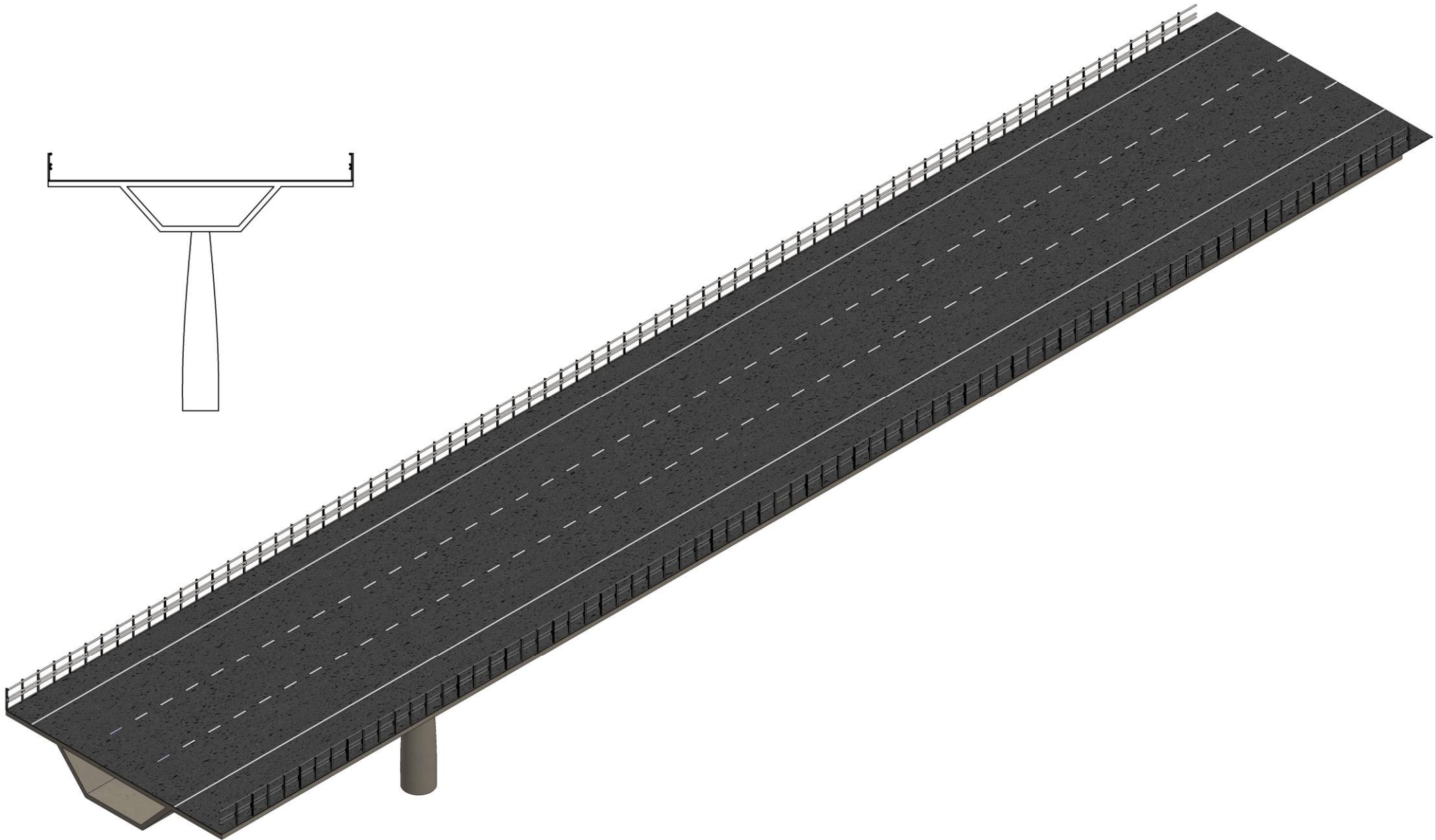


## **D Brokoncepten**

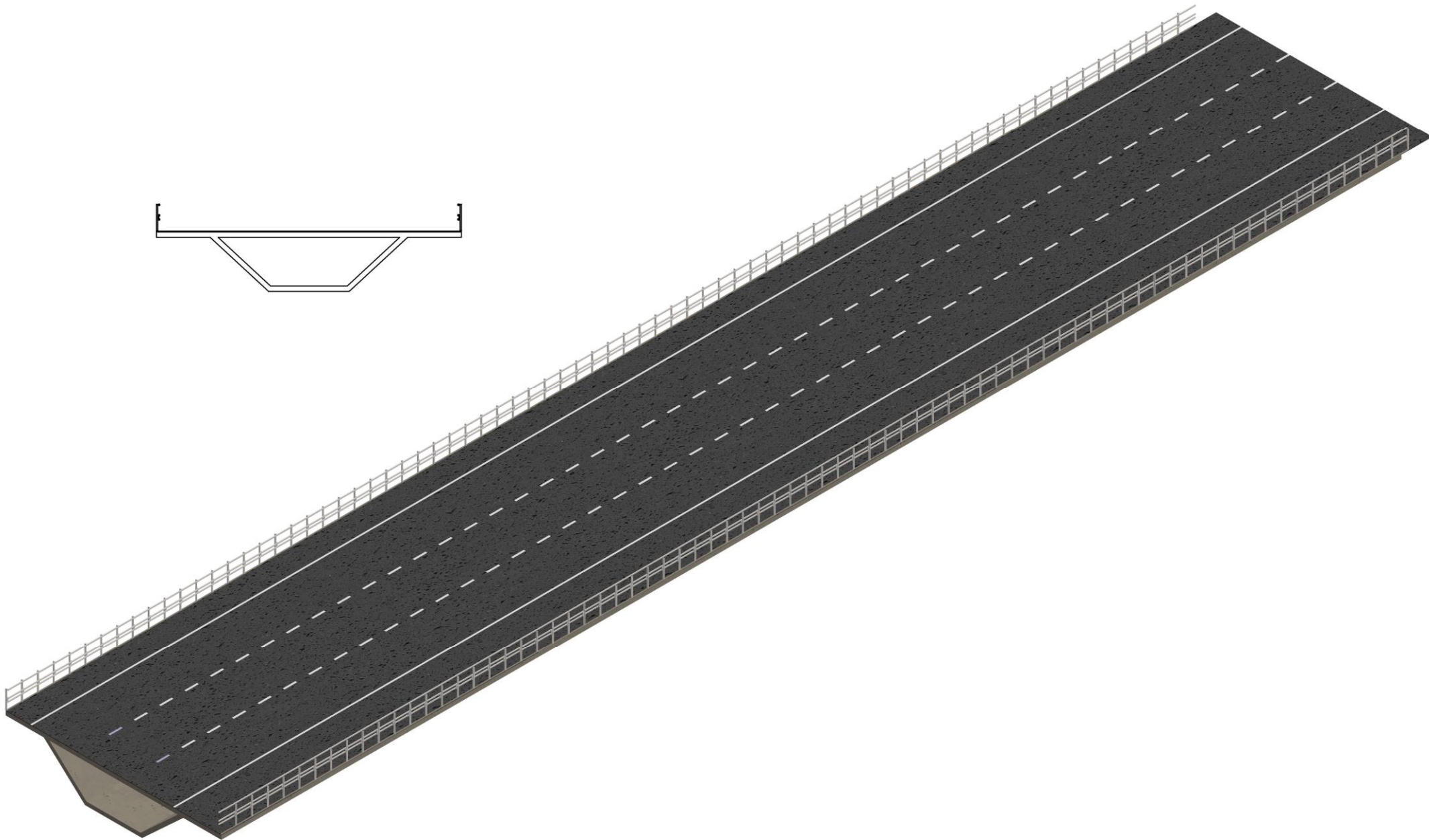
## Koncept 1: Bågbro med dragband



## Koncept 2: Betongbalkbro med stöd

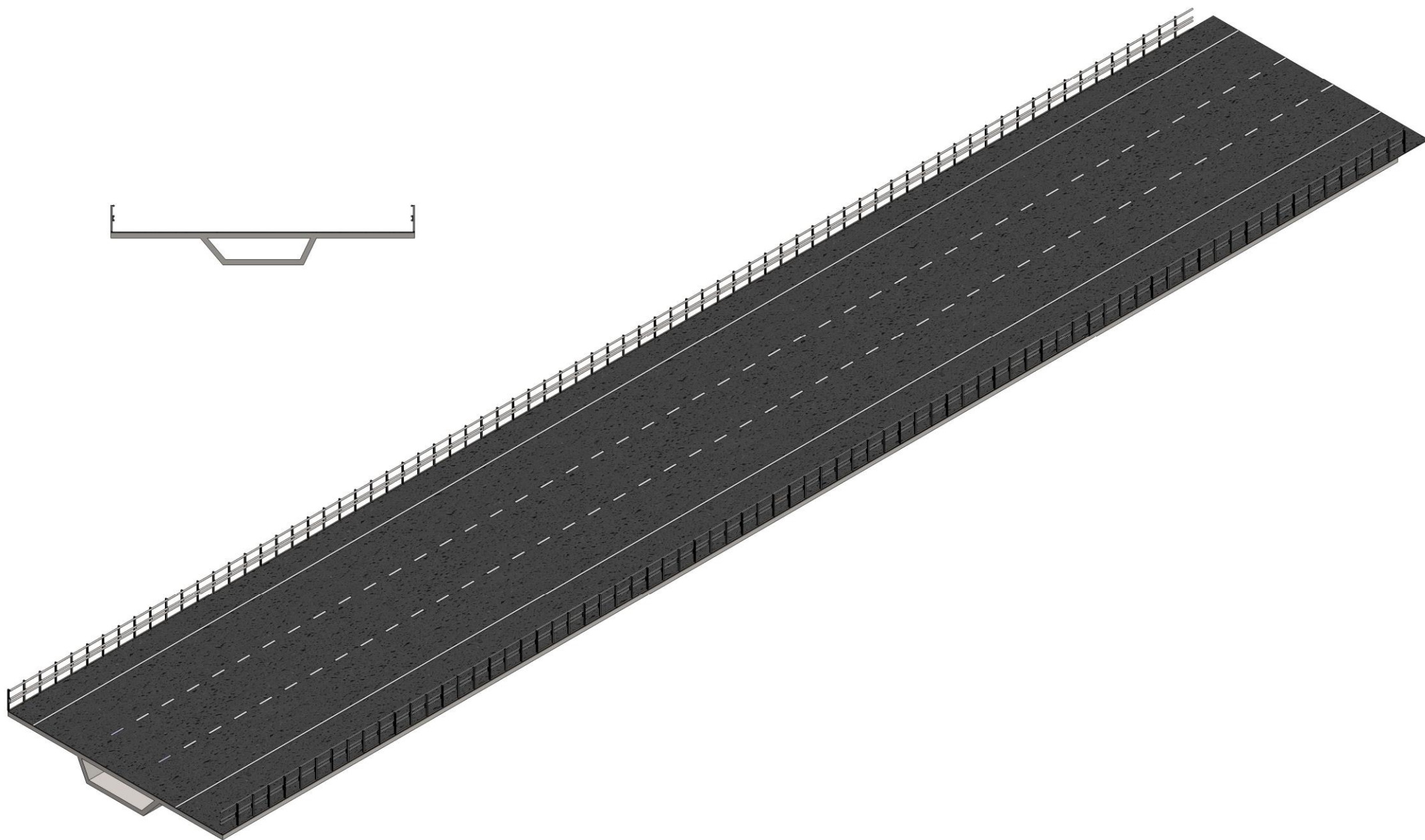


### Koncept 3: Betongbalkbro utan stöd





## Koncept 4: Stålbalkbro utan stöd



## E Överslagsberäkning - Vikt bågbro

Referensbro: Gång- och cykelbro, längd 67 m, bredd 13 m, total vikt 300 ton.

Skillnad mellan gång- och cykelbro och vägbro tas hänsyn till genom en generell viktökning med 20 %

$$300/(67 * 13) = 0,344 \quad (E.1)$$

$$0,344 * (93 * 17) = 545 \quad (E.2)$$

$$545 * 1.2 = 653 \quad (E.3)$$

Slutlig vikt blir ungefär 655 ton.



## **F Schaktning**



# G Handberäkningar

## G.1 Tvärbalk

$$\begin{aligned}\uparrow: R_A + R_B - g * L_0 - q_2 * L_2 - q_1 * L_1 - q_2 * L_2 - 2 * GR - 2 * Q_2 - 2 * Q_1 &= 0 \\ \Rightarrow R_A + R_B = g * L_0 + q_2 * L_2 + q_1 * L_1 + q_2 * L_2 + 2 * GR + 2 * Q_2 + 2 * Q_1 &= 7091 kN\end{aligned}\quad (G.1)$$

$$R_A + R_B = 7091 kN$$

$$\begin{aligned}\curvearrowright A: q_2 * L_2 * 4 + g * L_0 * \frac{L_0}{2} + q_1 * L_1 * \frac{L_0}{2} + q_2 * L_2 * 13 + Q_2 * 4,5 + Q_2 * \\ 6,5 + Q_1 * 7,5 + Q_1 * 9,5 + GR * L_0 - R_B * L_0 &= 0\end{aligned}\quad (G.2)$$

$$\Rightarrow: R_B = 3355 kN$$

$$R_A = 7091 - 3355 = 3736 kN$$

$$\begin{aligned}M(x) + g * \frac{L_0}{2} * \frac{x}{2} + \frac{q_1(x-7)^2}{2} + q_2 * L_1 * (x-4) + Q_2 * (x-4,5) + Q_2 * (x-6,5) + Q_1 * \\ (x-7,5) - (R_A - GR) * x &= 0\end{aligned}\quad (G.3)$$

$$\begin{aligned}M(x) = (R_A - GR) * x - g * \frac{L_0}{2} * \frac{x}{2} - \frac{q_1(x-7)^2}{2} - q_2 * L_1 * (x-4) - Q_2 * (x-4,5) - Q_2 * \\ (x-6,5) - Q_1 * (x-7,5)\end{aligned}\quad (G.4)$$

$$M(x = 17/2) = 26,5 MNm$$

## G.2 Dragband

$$p = \frac{(g * 5 * L^4)}{384 * E * I}\quad (G.5)$$

$$p = \frac{(3,4367 * 10^3 * 5 * 93^4)}{384 * 210 * 10^9 * 0,0101}$$

$$p = 1,578 m$$

## G.3 Båge

Summan av pålagda laster hämtas från MATLAB som summan av lastvektorn  $f$ . De vertikala reaktionskrafterna hämtas från MATLAB ur reaktionskraftsvektorn  $r$  för nod 2 och 62.

### G.3.1 Nedböjning - Lastfall 6

$$\begin{aligned} \downarrow: & \text{sum}(g + q + P) \\ \uparrow & R_A + R_B \end{aligned} \tag{G.6}$$

$$\begin{aligned} \text{sum}(g + q + P) &= -1,307 * 10^7 \\ R_A + R_B &= 6,523 * 10^6 * 2 = 1,307 * 10^7 \end{aligned}$$

$$\text{sum}(g + q + P) + (R_A + R_B) = 0$$

### G.3.2 Nedböjning - Lastfall 4

$$\begin{aligned} \downarrow: & \text{sum}(g + q + P) \\ \uparrow & R_A + R_B \end{aligned} \tag{G.7}$$

$$\begin{aligned} \text{sum}(g + q + P) &= -3,909 * 10^7 \\ R_A + R_B &= 1,955 * 10^6 * 2 = 3,909 * 10^7 \end{aligned}$$

$$\text{sum}(g + q + P) + (R_A + R_B) = 0$$

## **H   Matlabkod**

---

## H.1 Bågbro

### Table of Contents

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Bågbro .....                      | 1 |
| Brogeometri .....                 | 1 |
| Laster .....                      | 2 |
| Snittkrafter och nedböjning ..... | 3 |
| Kapacitetsberäkningar .....       | 5 |
| Kontroll utböjningar .....        | 8 |

## Bågbro

```
%=====
%
% Huvudfil för beräkningar av dimensioner av bro:
%
% Huvudfilen anropar samtliga funktionsfiler och hämtar värden på
% laster,
% snittkrafter och reaktionskrafter. En kontroll på lasteffekten och
% kapaciteten hos tvärsnitten görs sedan.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
% Rensar alla variabler, tömmer skärmen och stänger alla öppna
% figurfönster
clc
clear
close all
```

## Brogeometri

```
L=93; % Längden på bron [m]
B=17; % Bredden på bron [m]
n=19; % Antal hängare
cc=4.65; % Avståndet mellan
% tvärbalkarna/
% [m]
hängarna % Elasticitetsmodulen
E=210e9; %stål [Pa]
för % Elasticitetsmodul
Ecm=31e9; %betong [Pa]
för
% Bågens dimensioner - "Lådtvärsnitt"
h_B=1.2; % Livhöjd [m]
b_B=1.0; % Flänsbredd [m]
```

---

```

tw_B=0.04; % Livtjocklek [m]
tf_B=0.08; % Flänstjocklek [m]
A_B=2*(h_B*tw_B)+2*((b_B-2*tw_B)*tf_B); % Tvärsnittsarea [m^2]
I_B=2*(tw_B*h_B^3)/12+2*((b_B*tf_B^3)/12+tf_B*b_B*(h_B/2+tf_B/2)^2); % Yttröghetsmoment
[m^4]
fun= @(x)sqrt(1+(1.2899-0.02774.*x).^2);
L_B=integral(fun,0,L); % Båglängd

% Dragbandets dimensioner - "Cirkulärt tvärsnitt"
d_Db= 0.95; % Ytterdiameter [m]
t_Db= 0.03; % Tjocklek [m]
I_Db=pi/8*d_Db^3*t_Db; % Yttröghetsmoment
[m^4]
A_Db=(d_Db^2*pi)/4-((d_Db-t_Db)^2*pi)/4; % Tvärsnittsarea [m^2]

% Tvärbalkens dimensioner - "I-tvärnitt"

hw_T=0.85; % Livhöjd [m]
b_T=0.5; % Flänsbredd [m]
tw_T=0.05; % Livtjocklek [m]
tf_T=0.09; % Flänstjocklek [m]
A_T=2*(tf_T*b_T)+tw_T*hw_T; % Tvärsnittsarea [m^2]
I_T=tw_T*hw_T^3/12+2*(b_T*tf_T^3/12+b_T*tf_T*((tf_T+hw_T)/2)^2); % Yttröghetsmoment
[m^4]

% Brobaneplattans dimensioner - Rektangulärt tvärsnitt
h_Bb=0.39; % Betonglagrets höjd
[m]
h_Sl=0.1; % Slitlagrets höjd [m]
A_Bb=h_Bb*cc; % Area längsled -
betong % [m^2]
A_Sl=h_Sl*cc; % Area längsled-
asfalt % [m^2]

% Hängarnas dimensioner - Cirkulärt tvärsnitt

D_H= 0.08; % Diameter hängare [m]
A_H=(D_H^2*pi)/4; % Tvärsnittsarea
hängare % [m^2]

```

## Laster

Dimensionerande laster - Egentyngd och trafiklaster

[GH, GDb, GT, GBb, GR, GB, GDb\_Bruk, GT\_Bruk, GBb\_Bruk, GR\_Bruk, GB\_Bruk, GH\_Bruk, ...]

---

```

Q1, Q2, q1, q2, q3, q4, Q1_Bruk, Q2_Bruk, q1_Bruk, q2_Bruk, q3_Bruk, q4_Bruk, ...
P, Qg, Qq, P_Bruk, Qg_Bruk, Qq_Bruk,
T_S]=Lasterc(B, cc, A_Sl, A_Bb, A_T, A_Db, A_H, ...
A_B);

```

*Lastkombination enligt ekv 6.10b är dimensionerande*

## Snittkrafter och nedböjning

```

% Tvärbalk
% Dimensionerande snittkrafter brottgränstillstånd
[Mmax_T_brott, Vmax_T_brott, R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott]=...
Tvarbalk_brottc
(E, A_T, I_T, hw_T, b_T, tw_T, tf_T, B, GT, GBb, GR, Q1, Q2, q1, q2);

fprintf('Maximal tvärkraft i tvärbalken i brottgränstillstånd
är %4.0f N\nMaximalt moment i tvärbalken i brottgränstillstånd
är %4.0f Nm \nMaximal reaktionskraft vid stöd till följd
av belastning av trafiklast i brottgränstillstånd är
%4.0f N\nMaximal reaktionskraft vid stöd till följd av
belastning av egentynd i brottgränstillstånd är %4.0f N
\n', max(Vmax_T_brott), max(Mmax_T_brott), max(R_Trafik_brott), max(R_Egentyngd_brott))

% Dimensionerande snittkrafter brukgränstillstånd
[Mmax_T_bruk, Vmax_T_bruk, R_Trafik_bruk, R_Egentyngd_bruk, Ed_max]=...
Tvarbalk_brukc
(E, A_T, I_T, hw_T, b_T, tw_T, tf_T, B, GT_Bruk, GBb_Bruk, ...
GR_Bruk, Q1_Bruk, Q2_Bruk, q1_Bruk, q2_Bruk);

fprintf('Maximal tvärkraft i tvärbalken i brukgränstillstånd är
%4.0f N \nMaximalt moment i tvärbalken vid brukgränstillstånd
är %4.0f Nm \nMaximal reaktionskraft vid stöd till följd
av belastning av trafiklast i brukgränstillstånd är
%4.0f N\nMaximal reaktionskraft vid stöd till följd av
belastning av egentynd i brukgränstillstånd är %4.0f N
\n', max(Vmax_T_bruk), max(Mmax_T_bruk), max(R_Trafik_bruk), max(R_Egentyngd_bruk))

% Båge
[R_h_max, R_v_max, N_B, T_B, M_B, nedmax_B]=bage_max_effekt(L, cc, n, E,
A_B, ...
I_B, R_Trafik_brott, ...
R_Egentyngd_brott, GH, GB, R_Trafik_bruk, R_Egentyngd_bruk, GH_Bruk, ...
GB_Bruk);

% Båge helt utan trafiklast
[Nedbojning6_b_max_bruk]=bage6_effekt_brukc(L, cc, n, E, A_B, I_B, ...
R_Egentyngd_bruk, GH_Bruk, GB_Bruk);

```



```
fprintf('Maximal normalkraft i bågen är %4.0f N \nMaximal tvärkraft
i bågen är %4.0f N \nMaximalt moment i bågen är %4.4f Nm \nMaxiaml
nedböjning i bågen är %4.4f m \n',N_B(1),T_B(1),M_B(1),nedmax_B(1))
```

```
% Dragband
```

```
[maxned_Db,N_Db]=
dragband_effekt_brott(R_h_max,L,E,A_Db,I_Db,GDb_Bruk,cc);
```

```
fprintf('Maximal normalkraft i dragbandet är %4.0f N \nMaxiaml
nedböjning i dragbandet är %4.4f m \n',N_Db(1),maxned_Db(1))
```

```
% % Brobana
```

```
[N_Bb_max,T_Bb_max,M_Bb_max,Utbojning_Bb_max]=Funktionsfilbrobanac(P,...
Qg,Qq,h_Bb,h_Sl,cc, Ecm,P_Bruk,Qg_Bruk,Qq_Bruk);
```

```
fprintf('Maximal normalkraft i brobanan är %4.0f N \nMaximal
tvärkraft i brobanan är %4.0f N \nMaximalt moment i brobanan
är %4.4f Nm \nMaxiaml nedböjning i brobanan är %4.4f m
\n',N_Bb_max(1),T_Bb_max(1),M_Bb_max(1),Utbojning_Bb_max(1))
```

```
Maximal tvärkraft i tvärbalken i brottgränstillstånd är 1380223 N
Maximalt moment i tvärbalken i brottgränstillstånd är 13084692 Nm
Maximal reaktionskraft vid stöd till följd av belastning av trafiklast
i brottgränstillstånd är 1986699 N
Maximal reaktionskraft vid stöd till följd av belastning av egentynd i
brottgränstillstånd är 647332 N
Maximal tvärkraft i tvärbalken i brukgränstillstånd är 759561 N
Maximalt moment i tvärbalken vid brukgränstillstånd är 5130105 Nm
Maximal reaktionskraft vid stöd till följd av belastning av trafiklast
i brukgränstillstånd är 921288 N
Maximal reaktionskraft vid stöd till följd av belastning av egentynd i
brukgränstillstånd är 564124 N
Maximal normalkraft i bågen är 30703159 N
Maximal tvärkraft i bågen är 4090419 N
Maximalt moment i bågen är 53505100.3986 Nm
Maxiaml nedböjning i bågen är 0.2519 m
Maximal normalkraft i dragbandet är 19339585 N
Maxiaml nedböjning i dragbandet är 1.5396 m
Maximal normalkraft i brobanan är 0 N
Maximal tvärkraft i brobanan är 4289101 N
Maximalt moment i brobanan är 4349470.3812 Nm
Maxiaml nedböjning i brobanan är 0.0038 m
```

---

## Kapacitetsberäkningar

Kapacitet brobaneplatta

```
[Mrd_f, Mrd_sup, Vrd_c, Vrd, n_f, n_sup, n_t, s, Dm, Dt]=...  
    Brobaneplattakapacitetc(h_Bb, abs(M_Bb_max(1,1)),  
    abs(M_Bb_max(2,1)), ...  
    abs(max(T_Bb_max(1)))));  
  
if Mrd_f*17>= abs(M_Bb_max(2,1))                % Skalar upp kapaciteten  
    från 1m element till 17m  
    disp('Tillräckligt momentkapacitet vid stöd - Brobaneplatta')  
else disp('Ej tillräcklig momentkapacitet vid stöd - Brobaneplatta')  
end  
  
if Mrd_sup*17>= abs(M_Bb_max(1,1))                % Skalar upp kapaciteten  
    från 1m element till 17m  
    disp('Tillräckligt momentkapacitet vid fältmitt - Brobaneplatta')
```

---

```

else disp('Ej tillräcklig momentkapacitet vid fältmitt -
    Brobaneplatta')
end

UtnyttBbMf= abs(M_Bb_max(2,1))/(Mrd_f*17)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på brobaneplattans moment vid
    stöd blir %4.2f %% \n ', UtnyttBbMf)

UtnyttBbMs= abs(M_Bb_max(1,1))/(Mrd_sup*17)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på brobaneplattans moment vid
    fältmitt blir %4.2f %% \n', UtnyttBbMs)

UtnyttBbV= abs(max(T_Bb_max(1)))/(Vrd*17)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på brobaneplattans tvärkraft
    vid stöd blir %4.2f %% \n', UtnyttBbV)

% Kapacitet båge
[Mrd_b, Vbw_rd, Nrd]=Bagbrokapacitetc(N_B(1), T_B(1), M_B(1), h_B,...
    tw_B, b_B, tf_B);

    if Mrd_b >= M_B(1)
        disp('Tillräcklig momentkapacitet i båge')
    else
        disp('Ej tillräcklig momentkapacitet i båge')
    end

    if Vbw_rd >= T_B(1)
        disp('Tillräcklig tvärkraftskapacitet i båge')
    else
        disp('Ej tillräcklig tvärkraftskapacitet i båge')
    end

UtnyttBm= (M_B(1)/Mrd_b)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på bågens moment blir %4.2f %
    % \n ', UtnyttBm)

UtnyttBv= (T_B(1)/Vbw_rd)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på bågens tvärkraft blir %4.2f
    %% \n', UtnyttBv)

UtnyttDn= (N_B(1)/Nrd)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på bågens normalkraft blir
    %4.2f %% \n', UtnyttDn)

% Kapacitet dragband
[Nrd_f]=Dragband_kapacitetc(A_Db);

    if Nrd_f >= N_Db(1)
        disp('Tillräcklig dragkapacitet i dragband')
    else
        disp('Ej tillräcklig dragkapacitet i dragband')
    end
end

```

---

```

Utnytttdn= (N_Db(1)/Nrd_f)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på dragbandets normalkraft
      blir %4.2f %% \n ', Utnytttdn)

% Kapacitet hängare och infästning till hängare
[Nrd_h, D_h,Frd]=Hangarekapacitetc(max([abs(R_Trafik_brott(1)),...
      abs(R_Trafik_brott(2))]), cc, T_S);

if max([abs(R_Trafik_brott(1)),abs(R_Trafik_brott(2))]) < Frd
    disp(' Infästningen håller')
else
    disp('Infästningen håller inte')
end

disp(' Utnyttjingsgraden med avseende hängarens normalkraft blir 100
    %')

Utnyttthn= (max([abs(R_Trafik_brott(1)),abs(R_Trafik_brott(2))])/
Frd)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på normalkraften vid hängarens
      och infästningens anslutning blir %4.2f %% \n', Utnyttthn)

% Kapacitet tvärbalk
[Mrd_t, Vbw_rd]=TvarbalkarKapacitetc(Mmax_T_brott, Vmax_T_brott,...
      hw_T, tw_T, b_T, tf_T);

    if Mrd_t >= Mmax_T_brott
        disp('Tillräcklig momentkapacitet vid tvärbalkens fältmitt')
    else
        disp('Ej tillräcklig momentkapacitet vid tvärbalkens fältmitt')
    end

    if Vbw_rd >= Vmax_T_brott
        disp('Tillräcklig tvärkraftskapacitet vid tvärbalksupplag')
    else
        disp('Ej tillräcklig tvärkraftskapacitet vid tvärbalkssupplag')
    end

Utnyttttm= (Mmax_T_brott/Mrd_t)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på tvärbalkens moment blir
      %4.2f %%\n ', Utnyttttm)

Utnyttttv= (Vmax_T_brott/Vbw_rd)*100;
fprintf('Utnyttjingsgraden med avseende på tvärbalkens tvärkraft blir
      %4.2f %% \n', Utnyttttv)

% Kontroll av svetsarnas kapacitet

[Svets1,Svets2]=Svetsarc (hw_T,d_Db,R_Trafik_brott,N_Db);
if Svets1==1;
    disp('Svetsarna mellan hängare och tvärbalk håller')

```

```

else disp('Svetsarna mellan hängare och tvärbalk håller inte')
end
if Svets2==1;
    disp('Svetsarna mellan båge och dragband håller')
else disp('Svetsarna mellan båge och dragband håller inte')
end

Stålet flyter, sektion vid tvärbalk
Seghet uppfylls vid tvärbalk
Stålet flyter, sektion vid fältmitt
Seghet uppfylls vid fältmitt
Ej tillräcklig tvärkraftskapacitet, tvärkraftsarmering behövs
Inget livtryckbrott i brobaneplatta
Mängden armering uppfyller minimumvillkoret
Avståndet för tvärkraftsarmeringen uppfyller maximumkravet
Tillräckligt momentkapacitet vid stöd - Brobaneplatta
Tillräckligt momentkapacitet vid fältmitt - Brobaneplatta
Utnyttjingsgraden med avseende på brobaneplattans moment vid stöd blir
88.12 %
Utnyttjingsgraden med avseende på brobaneplattans moment vid fältmitt
blir 85.37 %
Utnyttjingsgraden med avseende på brobaneplattans tvärkraft vid stöd
blir 92.77 %
Ingen interaktion är nödvändig
Normalkraftskapacitet i båge beräknas med beaktning av risk för
knäckning
Tillräcklig momentkapacitet i båge
Tillräcklig tvärkraftskapacitet i båge
Utnyttjingsgraden med avseende på bågens moment blir 88.66 %
Utnyttjingsgraden med avseende på bågens tvärkraft blir 13.37 %
Utnyttjingsgraden med avseende på bågens normalkraft blir 25.71 %
Tillräcklig dragkapacitet i dragband
Utnyttjingsgraden med avseende på dragbandets normalkraft blir 95.42
%
Infästningen håller
Utnyttjingsgraden med avseende på hängarens normalkraft blir 100 %
Utnyttjingsgraden med avseende på normalkraften vid hängarens och
infästningens anslutning blir 80.61 %
Ingen interaktion är nödvändig
Tillräcklig momentkapacitet vid tvärbalkens fältmitt
Tillräcklig tvärkraftskapacitet vid tvärbalksupplag
Utnyttjingsgraden med avseende på tvärbalkens moment blir 92.58 %
Utnyttjingsgraden med avseende på tvärbalkens tvärkraft blir 16.75 %
Svetsarna mellan hängare och tvärbalk håller
Svetsarna mellan båge och dragband håller

```

## Kontroll utböjningar

```

% Tvärbalk

if Ed_max<=B/400
    disp('Nedböjning i tvärbalk är godkänd')
else disp('Nedböjning i tvärbalk är ej godkänd')

```

---

```

end

%Brobaneplatta

if Utbojning_Bb_max(1)<=cc/400
    disp('Nedböjning i brobaneplatta är godkänd')
else disp('Nedböjning i brobaneplatta är ej godkänd')
end

% B?ge

if nedmax_B(1)-Nedbojning6_b_max_bruk(1)<=L_B/400
    disp('Nedböjning i båge är godkänd')
else disp('Nedböjning i båge är ej godkänd')
end

Nedböjning i tvärbalk är godkänd
Nedböjning i brobaneplatta är godkänd
Nedböjning i båge är godkänd

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## H.2 Laster

### Table of Contents

|                                                |   |
|------------------------------------------------|---|
| .....                                          | 1 |
| Beräkning av egentyingd och trafiklaster. .... | 1 |
| Beräkning av egentyingd .....                  | 1 |
| Beräkning av trafiklaster .....                | 2 |

#### function

```
[GH, GF, GT, GBb, GR, GB, GF_Bruk, GT_Bruk, GBb_Bruk, GR_Bruk, GB_Bruk, ...  
  
GH_Bruk, Q1, Q2, q1, q2, q3, q4, Q1_Bruk, Q2_Bruk, q1_Bruk, q2_Bruk, q3_Bruk, ...  
q4_Bruk, P, Qg, Qq, P_Bruk, Qg_Bruk, Qq_Bruk,  
T_S]=Lasterc(B, cc, A_Sl, A_Bb, A_T, ...  
A_Db, A_H, A_B)
```

### Beräkning av egentyingd och trafiklaster.

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av elementens egentyingd samt
% trafiklaster:
%
% Geometrin på tvärsnittet för samtliga element hämtas i huvudfilen.
% De utgående parameterarna är egentyingden för elementen samt
% trafiklasterna som påverkar bron. Dessa tas fram i både brott- och
% i brukgränstillstånd för att kunna ta fram dimensionerande
% snittkrafter
% och utböjning.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

### Beräkning av egentyingd

Materialdata

```
T_S=78000; % Tunghet Stål [N/m3]
T_B=25000; % Tunghet Betong [N/m3]
T_Sl=23000; % Tunghet slitlager, asfalt [N/
m3]
T_R=500; % Tunghet Räckle [N/m]

% Egentyingd g=Tvärsnittsarea*Tunghet;
g_Db=A_Db*T_S; % Dragbandi längsled [N/m]
g_T=A_T*T_S; % Tvärbalkarna i tvärlädd [N/m]
g_Bb=A_Bb*T_B+A_Sl*T_Sl; % Farbana i längsled [N/m]
```

---

```

g_R=T_R; % Räckle [N/m]
g_H=T_S*A_H; % Hängare [N/m]
g_B=T_S*A_B; % Båge / lådtvärnsnitt [N/m]
% Partialkoefficienter
Y_G=1.35; % Permanent last
Y_Q=1.5; % Variabellast
Si=0.85; % Reduktionsfaktor i ekv 6.10b
%-----
% Lastkombinationer - Permanenta laster - Brottgränstillstånd
GF_a=Y_G*g_Db*cc; % 6.10a) Dragband [N]
GF_b=Si*Y_G*g_Db*cc; % 6.10b) Dragband [N]

GT_a=Y_G*g_T; % 6.10a) Tvärbalken [N/m]
GT_b=Si*Y_G*g_T; % 6.10b) Tvärbalken [N/m]

GBB_a=Y_G*g_Bb; % 6.10a) Brobana [N/m]
GBB_b=Si*Y_G*g_Bb; % 6.10b) Brobana [N/m]

GR_a=Y_G*g_R*cc; % 6.10a) Räcklen [N]
GR_b=Si*Y_G*g_R*cc; % 6.10b) Räcklen [N]

GH=Y_G*g_H; % 6.10a) Hängare [N/m]

GB_a=Y_G*g_B; % 6.10a) Båge [N/m]
GB_b=Y_G*g_B*Si; % 6.10b) Båge [N/m]
%-----
% Dimensionerande permanenta laster - Bruksgränstillstånd
GF_Bruk=g_Db*cc; % 6.15b) Dragbandet [N]
GT_Bruk=g_T; % 6.15b) Tvärbalken [N/m]
GBb_Bruk=g_Bb; % 6.15b) Farbana [N/m]
GR_Bruk=g_R*cc; % 6.15b) Räcklen [N]
GB_Bruk=g_B; % 6.15b) Båge [N/m]
GH_Bruk=g_H; % 6.15b) Hängare [N/m]

Not enough input arguments.

Error in Lasterc (line 29)
g_Db=A_Db*T_S; % Dragbandi längsled [N/m]

```

## Beräkning av trafiklaster

Anpassningskoefficienter enligt svenska förhållanden - SS-EN 1991

```

% Axiellast TS      Utbredd trafiklast UDL
aQ1=0.9;            aQ1=0.8;
aQ2=0.9;            aQ2=1.0;
aQ3=0;              aQ3=1.0;
aQ4=1.0;

LF=3; % Lastfältsbredd

% Lastreduktionstal, Tabell A2-1, SS-EN-1990
% Lastreduktionstal-Axiellalaster TS
red0a=0.75; % Kombinationsvärde

```



```

red1a=0.75; % Frekvent värde eller vanligt
värde
red2a=0; % Kvasipermanent värde

%Lastreduktionstal-Jämnt utbredd trafiklast UDL
red0u=0.40; % Kombinationsvärde
red1u=0.40; % Frekvent värde eller vanligt
värde
red2u=0; % Kvasipermanent värde

%-----
%Axiallaster för resp lastfall,karaktäristisk
Q1k=2*300000*aQ1; % [N] Två axelpar
Q2k=2*200000*aQ2; % [N]

%Jämnt utbredd fillast för resp lastfall,karaktäristisk
q1k=9000*aq1; % [N/m2]
q2k=2500*aq2; % [N/m2]
q3k=2500*aq3; % [N/m2]
q4k=2500*aq4; % [N/m2]

%-----
% Dimensionerande variabla laster, brottgränstillstånd, ekv 6.10a
Q1da=Y_Q*red0a*Q1k; % Dimensionerande axiallast
% lastfält 1 enligt 6.10a
Q1db=Y_Q*Q1k; % Dimensionerande axiallast
% lastfält 1 enligt 6.10b
Q2da=Y_Q*red0a*Q2k; % Dimensionerande axiallast
% lastfält 2 enligt 6.10a
Q2db=Y_Q*Q2k; % Dimensionerande axiallast
% lastfält 2 enligt 6.10b

%-----
%Dimensionerande utbredda fillaster, UDL - Brottgränstillstånd
q1da=Y_Q*red0u*q1k*cc; % Dimensionerande UDL i
% lastfält 1 enligt 6.10a
q1db=Y_Q*q1k*cc; % Dimensionerande UDL i
% lastfält 1 enligt 6.10b

q2da=Y_Q*red0u*q2k*cc; % Dimensionerande UDL i
% lastfält 2 enligt 6.10a

q2db=Y_Q*q2k*cc; % Dimensionerande UDL i
% lastfält 2 enligt 6.10b

q3da=Y_Q*red0u*q3k*cc; % Dimensionerande UDL i
% lastfält 3 enligt 6.10a

q3db=Y_Q*q3k*cc; % Dimensionerande UDL i
% lastfält 3 enligt 6.10b

q4da=Y_Q*red0u*q4k*cc; % Dimensionerande UDL i
% övrigt fält enligt 6.10a

```

```

q4db=Y_Q*q4k*cc; % Dimensionerande UDL i
                  % övrigt fält enligt 6.10b

%-----
% Dimensionerande trafiklaster - bruksgränstillstånd
% Dimensionerande axellast, TS
Q1_Bruk=red0u*Q1k; % Dimensionerande axellast i
                  % lastfält 1 enligt 6.10a
Q2_Bruk=red0u*Q2k; % Dimensionerande axellast i
                  % lastfält 2 enligt 6.10a

%Dimensionerande utbredda fillaster, UDL
q1_Bruk=red0u*q1k*cc; % Dimensionerande UDL i
                    % lastfält 1 enligt 6.10a
q2_Bruk=red0u*q2k*cc; % Dimensionerande UDL i
                    % lastfält 2 enligt 6.10a
q3_Bruk=red0u*q3k*cc; % Dimensionerande UDL i
                    % lastfält 3 enligt 6.10a
q4_Bruk=red0u*q4k*cc; % Dimensionerande UDL i
                    % övrigt fält enligt 6.10a

%-----
% Hitta huvudlasten genom att se vilken av ekvationerna som orsakar
  störst
% resulterande last, på tvärbalken.

% Momentjämviktsekvationer för att ta fram dimensionerande lastfall

if GF_a+GT_a*B+GBB_a*B+GR_a+GB_a+Q1da+Q2da+q1da*LF+q2da*LF+...
    q3da*LF+2*q4da*LF>GF_b+GT_b*B+GBB_b*B+GR_b+GB_b+Q1db+...
    Q2db+q1db*LF+q2db*LF+q3db*LF+2*q4db*LF;
    disp('Lastkombination enligt ekv 6.10a är dimensionerande');
    GF=GF_a;
    GT=GT_a;
    GBb=GBB_a;
    GR=GR_a;
    GB=GB_a;
    Q1=Q1da;
    Q2=Q2da;
    q1=q1da;
    q2=q2da;
    q3=q3da;
    q4=q4da;
else
    disp('Lastkombination enligt ekv 6.10b är dimensionerande');
    GF=GF_b;
    GT=GT_b;
    GBb=GBB_b;
    GR=GR_b;
    GB=GB_b;
    Q1=Q1db;
    Q2=Q2db;

```

---

```
q1=q1db;  
q2=q2db;  
q3=q3db;  
q4=q4db;  
  
end  
% Dimensionerande laster  
% Utgående laster längsled  
P=2*Q1+2*Q2;  
Qg=GBb/cc*B;  
Qq=(q1+q2+q3+2*q4)*LF;  
  
P_Bruk=2*Q1_Bruk+2*Q2_Bruk;  
Qg_Bruk=GBb_Bruk/cc*B;  
Qq_Bruk=(q1_Bruk+q2_Bruk+q3_Bruk+2*q4_Bruk)*LF;  
  
end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

### **H.3 Lasteffekt**

---

### H.3.1 Tvärbalk-Brottgränstillstånd

## Table of Contents

|                                                        |   |
|--------------------------------------------------------|---|
| .....                                                  | 1 |
| Tvärbalk - Effekt - Brottgränstillstånd .....          | 1 |
| System- och elementegenskaper .....                    | 1 |
| Dimensionering med lastfall 1 - Störst Tvärkraft ..... | 2 |
| Dimensionering med lastfall 2 - Störst moment .....    | 3 |
| Lastfall där endast egentygden verkar .....            | 5 |
| Plottar diagram för maximal tvärkraft och moment ..... | 6 |
| Utgående parametrar .....                              | 7 |

#### function

```
[Mmax_T_brott,Vmax_T_brott,R_Trafik_brott,R_Egentyngd_brott]=...  
    Tvarbalk_brottpc  
(E,A_T,I_T,hw_T,b_T,tw_T,tf_T,B,GT,GFB,GR,Q1,Q2,q1,q2)
```

## Tvärbalk - Effekt - Brottgränstillstånd

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximalt moment, tvärkraft för
% tvärbalken
% i brottgränstillstånd.
%
% I denna funktionsfil beräknas det maximala momentet, den största
% tvärkraften och reaktionskrafterna som uppkommer när tvärbalken
% belastas
% med egentygden från konstruktionen och trafiklast. Trafiklastens
% placering varierar i två olika lastfall. Lastfall 1 ger störst
% tvärkraft
% och lastfall 2 ger stöst moment. Samtliga beräkningar är i
% brottgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System- och elementegenskaper

```
%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];

%Fördimensionering av styvhetsmatris och kraftvektor
K1=zeros(39);
K2=zeros(39);
K3=zeros(39);

f1=zeros(39,1);
f2=zeros(39,1);
f3=zeros(39,1);

%Elementegenskaper
ep=[E A_T I_T];
%Elementkoordinater
ex1=[0 1]; ex2=[1 1.5]; ex3=[1.5 3.5]; ex4=[3.5 4]; ex5=[4 4.5];...
ex6=[4.5 6.5];
ex7=[6.5 7]; ex8=[7 7.5]; ex9=[7.5 9.5]; ex10=[9.5 10]; ex11=[10
B-1];...
ex12=[B-1 B];
ey=[0 0];
%Randvilkor
bc=[1 0;2 0;38 0];

Not enough input arguments.

Error in Tvarbalk_brottpc (line 46)
ep=[E A_T I_T];

```

## Dimensinering med lastfall 1 - Störst Tvärkraft

```

%Elementlaster
eq1=[0 -q1];
eq2=[0 -q2];
eqg=[0 -(GFB+GT)];
%Axellaster
f1(8)=-Q1;
f1(11)=-Q1;
f1(17)=-Q2;
f1(20)=-Q2;
%Egentyngden från räcken
f1(2)=-GR;
f1(38)=f1(1);

% Elementstyvhetsmatriser
[Ke11, fe11]=beam2e(ex1, ey, ep, (eqg));
[Ke21, fe21]=beam2e(ex2, ey, ep, (eq1+eqg));
[Ke31, fe31]=beam2e(ex3, ey, ep, (eq1+eqg));
[Ke41, fe41]=beam2e(ex4, ey, ep, (eq1+eqg));
[Ke51, fe51]=beam2e(ex5, ey, ep, (eq2+eqg));

```

---

```

[Ke61, fe61]=beam2e(ex6, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke71, fe71]=beam2e(ex7, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke81, fe81]=beam2e(ex8, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke91, fe91]=beam2e(ex9, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke101, fe101]=beam2e(ex10, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke111, fe111]=beam2e(ex11, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke121, fe121]=beam2e(ex12, ey, ep, (eqg));

%Global styvhetsmatris för tvärkraft
[K1, f1]=assem(Edof(1, :), K1, Ke11, f1, fe11);
[K1, f1]=assem(Edof(2, :), K1, Ke21, f1, fe21);
[K1, f1]=assem(Edof(3, :), K1, Ke31, f1, fe31);
[K1, f1]=assem(Edof(4, :), K1, Ke41, f1, fe41);
[K1, f1]=assem(Edof(5, :), K1, Ke51, f1, fe51);
[K1, f1]=assem(Edof(6, :), K1, Ke61, f1, fe61);
[K1, f1]=assem(Edof(7, :), K1, Ke71, f1, fe71);
[K1, f1]=assem(Edof(8, :), K1, Ke81, f1, fe81);
[K1, f1]=assem(Edof(9, :), K1, Ke91, f1, fe91);
[K1, f1]=assem(Edof(10, :), K1, Ke101, f1, fe101);
[K1, f1]=assem(Edof(11, :), K1, Ke111, f1, fe111);
[K1, f1]=assem(Edof(12, :), K1, Ke121, f1, fe121);

%Löser ekvationssystemet
[a1, r1]=solveq(K1, f1, bc);

% Tar ut förskjutningarna för varje element
Ed1=extract(Edof, a1);
% Tar fram maximal nedböjning
Ed1_max_brott=max([max(abs(Ed1(:, 2))), max(abs(Ed1(:, 5))))]);

%Tar ut snittkrafter för varje element
%Antalet snitt per element
n=10;
es11=beam2s(ex1, ey, ep, Ed1(1, :), (eqg), n);
es21=beam2s(ex2, ey, ep, Ed1(2, :), (eq1+eqg), n);
es31=beam2s(ex3, ey, ep, Ed1(3, :), (eq1+eqg), n);
es41=beam2s(ex4, ey, ep, Ed1(4, :), (eq1+eqg), n);
es51=beam2s(ex5, ey, ep, Ed1(5, :), (eq2+eqg), n);
es61=beam2s(ex6, ey, ep, Ed1(6, :), (eq2+eqg), n);
es71=beam2s(ex7, ey, ep, Ed1(7, :), (eq2+eqg), n);
es81=beam2s(ex8, ey, ep, Ed1(8, :), (eq2+eqg), n);
es91=beam2s(ex9, ey, ep, Ed1(9, :), (eq2+eqg), n);
es101=beam2s(ex10, ey, ep, Ed1(10, :), (eq2+eqg), n);
es111=beam2s(ex11, ey, ep, Ed1(11, :), (eq2+eqg), n);
es121=beam2s(ex12, ey, ep, Ed1(12, :), (eqg), n);
%Reaktionskrafter i stöden
RA1=es11(1, 2);
RB1=es121(n, 2);

```

## Dimensionering med lastfall 2 - Störst moment

```
%Axellaster
```

---

```

f2(17)=-Q2;
f2(20)=-Q2;
f2(26)=-Q1;
f2(29)=-Q1;
%Egentyngden från räckan
f2(2)=-GR;
f2(38)=f1(1);

%Elementstyvhetsmatriser
[Ke12, fe12]=beam2e(ex1, ey, ep, eqg);
[Ke22, fe22]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke32, fe32]=beam2e(ex3, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke42, fe42]=beam2e(ex4, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke52, fe52]=beam2e(ex5, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke62, fe62]=beam2e(ex6, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke72, fe72]=beam2e(ex7, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke82, fe82]=beam2e(ex8, ey, ep, eq1+eqg);
[Ke92, fe92]=beam2e(ex9, ey, ep, eq1+eqg);
[Ke102, fe102]=beam2e(ex10, ey, ep, eq1+eqg);
[Ke112, fe112]=beam2e(ex11, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke122, fe122]=beam2e(ex12, ey, ep, eqg);

%Global styvhetsmatris
[K2, f2]=assem(Edof(1, :), K2, Ke12, f2, fe12);
[K2, f2]=assem(Edof(2, :), K2, Ke22, f2, fe22);
[K2, f2]=assem(Edof(3, :), K2, Ke32, f2, fe32);
[K2, f2]=assem(Edof(4, :), K2, Ke42, f2, fe42);
[K2, f2]=assem(Edof(5, :), K2, Ke52, f2, fe52);
[K2, f2]=assem(Edof(6, :), K2, Ke62, f2, fe62);
[K2, f2]=assem(Edof(7, :), K2, Ke72, f2, fe72);
[K2, f2]=assem(Edof(8, :), K2, Ke82, f2, fe82);
[K2, f2]=assem(Edof(9, :), K2, Ke92, f2, fe92);
[K2, f2]=assem(Edof(10, :), K2, Ke102, f2, fe102);
[K2, f2]=assem(Edof(11, :), K2, Ke112, f2, fe112);
[K2, f2]=assem(Edof(12, :), K2, Ke122, f2, fe122);

%Löser ekvationssystem
[a2, r2]=solveq(K2, f2, bc);
% Tar ut förskjutningarna för varje element
Ed2=extract(Edof, a2);

%Tar ut maximal nedböjning
Ed2_max_brott=max([max(abs(Ed2(:, 2))), max(abs(Ed2(:, 5))))]);

%Tar fram snittkrafter
es12=beam2s(ex1, ey, ep, Ed2(1, :), (eqg), n);
es22=beam2s(ex2, ey, ep, Ed2(2, :), (eq2+eqg), n);
es32=beam2s(ex3, ey, ep, Ed2(3, :), (eq2+eqg), n);
es42=beam2s(ex4, ey, ep, Ed2(4, :), (eq2+eqg), n);
es52=beam2s(ex5, ey, ep, Ed2(5, :), (eq2+eqg), n);
es62=beam2s(ex6, ey, ep, Ed2(6, :), (eq2+eqg), n);
es72=beam2s(ex7, ey, ep, Ed2(7, :), (eq2+eqg), n);
es82=beam2s(ex8, ey, ep, Ed2(8, :), (eq1+eqg), n);
es92=beam2s(ex9, ey, ep, Ed2(9, :), (eq1+eqg), n);

```



```

es102=beam2s(ex10, ey, ep, Ed2(10, :), (eq1+eqg), n);
es112=beam2s(ex11, ey, ep, Ed2(11, :), (eq2+eqg), n);
es122=beam2s(ex12, ey, ep, Ed2(12, :), (eqg), n);
%Reaktionskrafter i stöden
RA2=es12(1, 2);
RB2=es122(n, 2);

```

## Lastfall där endast egentyingden verkar

```

%Fall där inga trafiklaster verkar
f3(2)=-GR;
f3(38)=f3(1);

%Elementstyvhetsmatriser
[Ke13, fe13]=beam2e(ex1, ey, ep, (eqg));
[Ke23, fe23]=beam2e(ex2, ey, ep, (eqg));
[Ke33, fe33]=beam2e(ex3, ey, ep, (eqg));
[Ke43, fe43]=beam2e(ex4, ey, ep, (eqg));
[Ke53, fe53]=beam2e(ex5, ey, ep, (eqg));
[Ke63, fe63]=beam2e(ex6, ey, ep, (eqg));
[Ke73, fe73]=beam2e(ex7, ey, ep, (eqg));
[Ke83, fe83]=beam2e(ex8, ey, ep, (eqg));
[Ke93, fe93]=beam2e(ex9, ey, ep, (eqg));
[Ke103, fe103]=beam2e(ex10, ey, ep, (eqg));
[Ke113, fe113]=beam2e(ex11, ey, ep, (eqg));
[Ke123, fe123]=beam2e(ex12, ey, ep, (eqg));

%Global styvhetsmatrix
[K3, f3]=assem(Edof(1, :), K3, Ke13, f3, fe13);
[K3, f3]=assem(Edof(2, :), K3, Ke23, f3, fe23);
[K3, f3]=assem(Edof(3, :), K3, Ke33, f3, fe33);
[K3, f3]=assem(Edof(4, :), K3, Ke43, f3, fe43);
[K3, f3]=assem(Edof(5, :), K3, Ke53, f3, fe53);
[K3, f3]=assem(Edof(6, :), K3, Ke63, f3, fe63);
[K3, f3]=assem(Edof(7, :), K3, Ke73, f3, fe73);
[K3, f3]=assem(Edof(8, :), K3, Ke83, f3, fe83);
[K3, f3]=assem(Edof(9, :), K3, Ke93, f3, fe93);
[K3, f3]=assem(Edof(10, :), K3, Ke103, f3, fe103);
[K3, f3]=assem(Edof(11, :), K3, Ke113, f3, fe113);
[K3, f3]=assem(Edof(12, :), K3, Ke123, f3, fe123);

%Löser ekvationssystem
[a3, r3]=solveq(K3, f3, bc);

% Tar ut förskjutningarna för varje element
Ed3=extract(Edof, a3);

%Tar ut snittkrafter
es13=beam2s(ex1, ey, ep, Ed3(1, :), (eqg), n);
es23=beam2s(ex2, ey, ep, Ed3(2, :), (eqg), n);
es33=beam2s(ex3, ey, ep, Ed3(3, :), (eqg), n);
es43=beam2s(ex4, ey, ep, Ed3(4, :), (eqg), n);
es53=beam2s(ex5, ey, ep, Ed3(5, :), (eqg), n);

```

```

es63=beam2s(ex6, ey, ep, Ed3(6, :), (eqg), n);
es73=beam2s(ex7, ey, ep, Ed3(7, :), (eqg), n);
es83=beam2s(ex8, ey, ep, Ed3(8, :), (eqg), n);
es93=beam2s(ex9, ey, ep, Ed3(9, :), (eqg), n);
es103=beam2s(ex10, ey, ep, Ed3(10, :), (eqg), n);
es113=beam2s(ex11, ey, ep, Ed3(11, :), (eqg), n);
es123=beam2s(ex12, ey, ep, Ed3(12, :), (eqg), n);
%Reaktionskrafter i stöden
RA3=es13(1, 2);
RB3=es123(n, 2);

```

## Plottar diagram för maximal tvärkraft och moment

```

%Tvärkraft för fall 1 - Det värsta fallet för tvärkrafter
figure(1)
plotpar=[2 1];
sfac=10^(-6);
eldia2(ex1, ey, es11(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex2, ey, es21(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex3, ey, es31(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex4, ey, es41(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex5, ey, es51(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex6, ey, es61(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex7, ey, es71(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex8, ey, es81(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex9, ey, es91(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex10, ey, es101(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex11, ey, es111(:, 2), plotpar, sfac);
eldia2(ex12, ey, es121(:, 2), plotpar, sfac);
axis([-1.5 18 -3 5]);
pltscalb2(sfac, [1e6 0 -1]);
title('Tvärkraftdiagram - Tvärbalk [MN]')

%Momentdiagram för fall 2 - Det värsta fallet för momentkrafter
figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=10^(-6);
eldia2(ex1, ey, es12(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex2, ey, es22(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex3, ey, es32(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex4, ey, es42(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex5, ey, es52(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex6, ey, es62(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex7, ey, es72(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex8, ey, es82(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex9, ey, es92(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex10, ey, es102(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex11, ey, es112(:, 3), plotpar, sfac);
eldia2(ex12, ey, es122(:, 3), plotpar, sfac);
axis([-1.5 18 -13 3]);
pltscalb2(sfac, [1e6 0 -12]);

```

---

```
title('Momentdiagram - Tvärbalk [MNm]')
```

## Utgående parametrar

```
%Maximala reaktionskrafter i stöden
R_Trafik_brott=[max([RA1;RA2]), max([RB1;RB2])];
R_Egentyngd_brott=[RA3 RB3];

%Maximal tvärkraft och moment hos tvärbalken
Vmax_T_brott=max([max(es11(:,2)); max(es21(:,2));max(es31(:,2));...
    max(es41(:,2));max(es51(:,2));max(es61(:,2));max(es71(:,2));...
    max(es81(:,2));max(es91(:,2));max(es101(:,2));max(es111(:,2));...
    max(es121(:,2))]];
Mmax_T_brott=max([max(abs(es12(:,3))); max(abs(es22(:,3)));...
    max(abs(es32(:,3)));max(abs(es42(:,3)));max(abs(es52(:,3)));...
    max(abs(es62(:,3)));max(abs(es72(:,3)));max(abs(es82(:,3)));...
    max(abs(es92(:,3)));max(abs(es102(:,3)));max(abs(es112(:,3)));...
    max(abs(es122(:,3)))]);

end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

### H.3.2 Tvärbalk-Bruksgränstillstånd

## Table of Contents

|                                                        |   |
|--------------------------------------------------------|---|
| .....                                                  | 1 |
| Tvärbalk - Effekt - Bruksgränstillstånd .....          | 1 |
| System- och elementegenskaper .....                    | 1 |
| Dimensionering med lastfall 1 - Störst Tvärkraft ..... | 2 |
| Dimensionering med lastfall 2 - Störst moment .....    | 3 |
| Lastfall där endast egentygden verkar .....            | 5 |
| Plottar diagram för maximal tvärkraft och moment ..... | 6 |
| Utgående parametrar .....                              | 7 |

#### function

```
[Mmax_T_bruk,Vmax_T_bruk,R_Trafik_bruk,R_Egentyngd_bruk,Ed_max]=...  
  Tvarbalk_bruk  
(E,A_T,I_T,hw_T,b_T,tw_T,tf_T,B,GT_Bruk,GFB_Bruk,...  
  GR_Bruk,Q1_Bruk,Q2_Bruk,q1_Bruk,q2_Bruk)
```

## Tvärbalk - Effekt - Bruksgränstillstånd

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximalt moment, tvärkraft för
% tvärbalken
% i bruksgränstillstånd.
%
% I denna funktionsfil beräknas det maximala momentet, den största
% tvärkraften och reaktionskrafterna som uppkommer när tvärbalken
% belastas
% med egentygden från konstruktionen och trafiklast. Trafiklastens
% placering varierar i två olika lastfall. Lastfall 1 ger störst
% tvärkraft
% och lastfall 2 ger stöst moment. Samtliga beräkningar är i
% bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System- och elementegenskaper

```
%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];

%Fördimensionering av styvhetsmatris och kraftvektor
K1=zeros(39);
K2=zeros(39);
K3=zeros(39);

f1=zeros(39,1);
f2=zeros(39,1);
f3=zeros(39,1);

%Elementegenskaper
ep=[E A_T I_T];
%Elementkoordinater
ex1=[0 1]; ex2=[1 1.5]; ex3=[1.5 3.5]; ex4=[3.5 4]; ex5=[4 4.5];...
    ex6=[4.5 6.5];
ex7=[6.5 7]; ex8=[7 7.5]; ex9=[7.5 9.5]; ex10=[9.5 10]; ex11=[10
    B-1];...
    ex12=[B-1 B];
ey=[0 0];

%Randvilkor
bc=[1 0;2 0;38 0];

Not enough input arguments.

Error in Tvarbalk_bruk (line 47)
ep=[E A_T I_T];

```

## Dimensinering med lastfall 1 - Störst Tvärkraft

```

%Elementlaster
eq1=[0 -q1_Bruk];
eq2=[0 -q2_Bruk];
eqg=[0 -(GFB_Bruk+GT_Bruk)];
%Axellaster
f1(8)=-Q1_Bruk;
f1(11)=-Q1_Bruk;
f1(17)=-Q2_Bruk;
f1(20)=-Q2_Bruk;
%Egentyngden från räcken
f1(2)=-GR_Bruk;
f1(38)=f1(1);

% Elementstyvhetsmatriser
[Ke11, fe11]=beam2e(ex1, ey, ep, (eqg));
[Ke21, fe21]=beam2e(ex2, ey, ep, (eq1+eqg));
[Ke31, fe31]=beam2e(ex3, ey, ep, (eq1+eqg));
[Ke41, fe41]=beam2e(ex4, ey, ep, (eq1+eqg));

```

---

```

[Ke51, fe51]=beam2e(ex5, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke61, fe61]=beam2e(ex6, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke71, fe71]=beam2e(ex7, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke81, fe81]=beam2e(ex8, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke91, fe91]=beam2e(ex9, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke101, fe101]=beam2e(ex10, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke111, fe111]=beam2e(ex11, ey, ep, (eq2+eqg));
[Ke121, fe121]=beam2e(ex12, ey, ep, (eqg));

%Global styvhetsmatris för tvärkraft
[K1, f1]=assem(Edof(1, :), K1, Ke11, f1, fe11);
[K1, f1]=assem(Edof(2, :), K1, Ke21, f1, fe21);
[K1, f1]=assem(Edof(3, :), K1, Ke31, f1, fe31);
[K1, f1]=assem(Edof(4, :), K1, Ke41, f1, fe41);
[K1, f1]=assem(Edof(5, :), K1, Ke51, f1, fe51);
[K1, f1]=assem(Edof(6, :), K1, Ke61, f1, fe61);
[K1, f1]=assem(Edof(7, :), K1, Ke71, f1, fe71);
[K1, f1]=assem(Edof(8, :), K1, Ke81, f1, fe81);
[K1, f1]=assem(Edof(9, :), K1, Ke91, f1, fe91);
[K1, f1]=assem(Edof(10, :), K1, Ke101, f1, fe101);
[K1, f1]=assem(Edof(11, :), K1, Ke111, f1, fe111);
[K1, f1]=assem(Edof(12, :), K1, Ke121, f1, fe121);

%Löser ekvationssystemet
[a1, r1]=solveq(K1, f1, bc);

% Tar ut förskjutningarna för varje element
Ed1=extract(Edof, a1);
% Tar fram maximal nedböjning
Ed1_max=max([max(abs(Ed1(:, 2))), max(abs(Ed1(:, 5))))]);

%Tar ut snittkrafter för varje element
%Antalet snitt per element
n=10;
es11=beam2s(ex1, ey, ep, Ed1(1, :), (eqg), n);
es21=beam2s(ex2, ey, ep, Ed1(2, :), (eq1+eqg), n);
es31=beam2s(ex3, ey, ep, Ed1(3, :), (eq1+eqg), n);
es41=beam2s(ex4, ey, ep, Ed1(4, :), (eq1+eqg), n);
es51=beam2s(ex5, ey, ep, Ed1(5, :), (eq2+eqg), n);
es61=beam2s(ex6, ey, ep, Ed1(6, :), (eq2+eqg), n);
es71=beam2s(ex7, ey, ep, Ed1(7, :), (eq2+eqg), n);
es81=beam2s(ex8, ey, ep, Ed1(8, :), (eq2+eqg), n);
es91=beam2s(ex9, ey, ep, Ed1(9, :), (eq2+eqg), n);
es101=beam2s(ex10, ey, ep, Ed1(10, :), (eq2+eqg), n);
es111=beam2s(ex11, ey, ep, Ed1(11, :), (eq2+eqg), n);
es121=beam2s(ex12, ey, ep, Ed1(12, :), (eqg), n);
%Reaktionskrafter i stöden
RA1=es11(1, 2);
RB1=es121(n, 2);

```

## Dimensionering med lastfall 2 - Störst moment

```
%Axellaster
```

```

f2(17)=-Q2_Bruk;
f2(20)=-Q2_Bruk;
f2(26)=-Q1_Bruk;
f2(29)=-Q1_Bruk;
%Egentyngden från räckan
f2(2)=-GR_Bruk;
f2(38)=f1(1);

%Elementstyvhetsmatriser
[Ke12, fe12]=beam2e(ex1, ey, ep, eqg);
[Ke22, fe22]=beam2e(ex2, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke32, fe32]=beam2e(ex3, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke42, fe42]=beam2e(ex4, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke52, fe52]=beam2e(ex5, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke62, fe62]=beam2e(ex6, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke72, fe72]=beam2e(ex7, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke82, fe82]=beam2e(ex8, ey, ep, eq1+eqg);
[Ke92, fe92]=beam2e(ex9, ey, ep, eq1+eqg);
[Ke102, fe102]=beam2e(ex10, ey, ep, eq1+eqg);
[Ke112, fe112]=beam2e(ex11, ey, ep, eq2+eqg);
[Ke122, fe122]=beam2e(ex12, ey, ep, eqg);

%Global styvhetsmatris
[K2, f2]=assem(Edof(1, :), K2, Ke12, f2, fe12);
[K2, f2]=assem(Edof(2, :), K2, Ke22, f2, fe22);
[K2, f2]=assem(Edof(3, :), K2, Ke32, f2, fe32);
[K2, f2]=assem(Edof(4, :), K2, Ke42, f2, fe42);
[K2, f2]=assem(Edof(5, :), K2, Ke52, f2, fe52);
[K2, f2]=assem(Edof(6, :), K2, Ke62, f2, fe62);
[K2, f2]=assem(Edof(7, :), K2, Ke72, f2, fe72);
[K2, f2]=assem(Edof(8, :), K2, Ke82, f2, fe82);
[K2, f2]=assem(Edof(9, :), K2, Ke92, f2, fe92);
[K2, f2]=assem(Edof(10, :), K2, Ke102, f2, fe102);
[K2, f2]=assem(Edof(11, :), K2, Ke112, f2, fe112);
[K2, f2]=assem(Edof(12, :), K2, Ke122, f2, fe122);

%Löser ekvationssystem
[a2, r2]=solveq(K2, f2, bc);
% Tar ut förskjutningarna för varje element
Ed2=extract(Edof, a2);

%Tar ut maximal nedböjning
Ed2_max=max([max(abs(Ed2(:, 2))), max(abs(Ed2(:, 5))))]);

%Tar fram snittkrafter
es12=beam2s(ex1, ey, ep, Ed2(1, :), (eqg), n);
es22=beam2s(ex2, ey, ep, Ed2(2, :), (eq2+eqg), n);
es32=beam2s(ex3, ey, ep, Ed2(3, :), (eq2+eqg), n);
es42=beam2s(ex4, ey, ep, Ed2(4, :), (eq2+eqg), n);
es52=beam2s(ex5, ey, ep, Ed2(5, :), (eq2+eqg), n);
es62=beam2s(ex6, ey, ep, Ed2(6, :), (eq2+eqg), n);
es72=beam2s(ex7, ey, ep, Ed2(7, :), (eq2+eqg), n);
es82=beam2s(ex8, ey, ep, Ed2(8, :), (eq1+eqg), n);
es92=beam2s(ex9, ey, ep, Ed2(9, :), (eq1+eqg), n);

```

```

es102=beam2s(ex10, ey, ep, Ed2(10, :), (eq1+eqg), n);
es112=beam2s(ex11, ey, ep, Ed2(11, :), (eq2+eqg), n);
es122=beam2s(ex12, ey, ep, Ed2(12, :), (eqg), n);
%Reaktionskrafter i stöden
RA2=es12(1, 2);
RB2=es122(n, 2);

```

## Lastfall där endast egentyingden verkar

```

%Fall där inga trafiklaster verkar
f3(2)=-GR_Bruk;
f3(38)=f3(1);

%Elementstyvhetsmatriser
[Ke13, fe13]=beam2e(ex1, ey, ep, (eqg));
[Ke23, fe23]=beam2e(ex2, ey, ep, (eqg));
[Ke33, fe33]=beam2e(ex3, ey, ep, (eqg));
[Ke43, fe43]=beam2e(ex4, ey, ep, (eqg));
[Ke53, fe53]=beam2e(ex5, ey, ep, (eqg));
[Ke63, fe63]=beam2e(ex6, ey, ep, (eqg));
[Ke73, fe73]=beam2e(ex7, ey, ep, (eqg));
[Ke83, fe83]=beam2e(ex8, ey, ep, (eqg));
[Ke93, fe93]=beam2e(ex9, ey, ep, (eqg));
[Ke103, fe103]=beam2e(ex10, ey, ep, (eqg));
[Ke113, fe113]=beam2e(ex11, ey, ep, (eqg));
[Ke123, fe123]=beam2e(ex12, ey, ep, (eqg));

%Global styvhetsmatris
[K3, f3]=assem(Edof(1, :), K3, Ke13, f3, fe13);
[K3, f3]=assem(Edof(2, :), K3, Ke23, f3, fe23);
[K3, f3]=assem(Edof(3, :), K3, Ke33, f3, fe33);
[K3, f3]=assem(Edof(4, :), K3, Ke43, f3, fe43);
[K3, f3]=assem(Edof(5, :), K3, Ke53, f3, fe53);
[K3, f3]=assem(Edof(6, :), K3, Ke63, f3, fe63);
[K3, f3]=assem(Edof(7, :), K3, Ke73, f3, fe73);
[K3, f3]=assem(Edof(8, :), K3, Ke83, f3, fe83);
[K3, f3]=assem(Edof(9, :), K3, Ke93, f3, fe93);
[K3, f3]=assem(Edof(10, :), K3, Ke103, f3, fe103);
[K3, f3]=assem(Edof(11, :), K3, Ke113, f3, fe113);
[K3, f3]=assem(Edof(12, :), K3, Ke123, f3, fe123);

%Löser ekvationssystem
[a3, r3]=solveq(K3, f3, bc);

% Tar ut förskjutningarna för varje element
Ed3=extract(Edof, a3);

%Tar ut snittkrafter
es13=beam2s(ex1, ey, ep, Ed3(1, :), (eqg), n);
es23=beam2s(ex2, ey, ep, Ed3(2, :), (eqg), n);
es33=beam2s(ex3, ey, ep, Ed3(3, :), (eqg), n);
es43=beam2s(ex4, ey, ep, Ed3(4, :), (eqg), n);
es53=beam2s(ex5, ey, ep, Ed3(5, :), (eqg), n);

```



```

es63=beam2s(ex6, ey, ep, Ed3(6, :), (eqg), n);
es73=beam2s(ex7, ey, ep, Ed3(7, :), (eqg), n);
es83=beam2s(ex8, ey, ep, Ed3(8, :), (eqg), n);
es93=beam2s(ex9, ey, ep, Ed3(9, :), (eqg), n);
es103=beam2s(ex10, ey, ep, Ed3(10, :), (eqg), n);
es113=beam2s(ex11, ey, ep, Ed3(11, :), (eqg), n);
es123=beam2s(ex12, ey, ep, Ed3(12, :), (eqg), n);
%Reaktionskrafter i stöden
RA3=es13(1, 2);
RB3=es123(n, 2);

```

## Plottar diagram för maximal tvärkraft och moment

%Tvärkraft för fall 1 - Det värsta fallet för tvärkrafter

```

figure(3)
plotpar=[2 1];
sfac=10^(-6);
eldia2(ex1, ey, es11(:, 2), plotpar, sfac); %Element 1
eldia2(ex2, ey, es21(:, 2), plotpar, sfac); %Element 2
eldia2(ex3, ey, es31(:, 2), plotpar, sfac); %Element 3
eldia2(ex4, ey, es41(:, 2), plotpar, sfac); %Element 4
eldia2(ex5, ey, es51(:, 2), plotpar, sfac); %Element 5
eldia2(ex6, ey, es61(:, 2), plotpar, sfac); %Element 6
eldia2(ex7, ey, es71(:, 2), plotpar, sfac); %Element 7
eldia2(ex8, ey, es81(:, 2), plotpar, sfac); %Element 8
eldia2(ex9, ey, es91(:, 2), plotpar, sfac); %Element 9
eldia2(ex10, ey, es101(:, 2), plotpar, sfac); %Element 10
eldia2(ex11, ey, es111(:, 2), plotpar, sfac); %Element 11
eldia2(ex12, ey, es121(:, 2), plotpar, sfac); %Element 12
axis([-1.5 18 -3 5]);
pltscalb2(sfac, [1e6 0 -1]);
title('Tvärkraft Brukgränstillstånd [MN]')

```

% Momentdiagram för fall 2 - Det värsta fallet för momentkrafter

```

figure(4)
plotpar=[2 1];
sfac=10^(-6);
eldia2(ex1, ey, es12(:, 3), plotpar, sfac); %Element 1
eldia2(ex2, ey, es22(:, 3), plotpar, sfac); %Element 2
eldia2(ex3, ey, es32(:, 3), plotpar, sfac); %Element 3
eldia2(ex4, ey, es42(:, 3), plotpar, sfac); %Element 4
eldia2(ex5, ey, es52(:, 3), plotpar, sfac); %Element 5
eldia2(ex6, ey, es62(:, 3), plotpar, sfac); %Element 6
eldia2(ex7, ey, es72(:, 3), plotpar, sfac); %Element 7
eldia2(ex8, ey, es82(:, 3), plotpar, sfac); %Element 8
eldia2(ex9, ey, es92(:, 3), plotpar, sfac); %Element 9
eldia2(ex10, ey, es102(:, 3), plotpar, sfac); %Element 10
eldia2(ex11, ey, es112(:, 3), plotpar, sfac); %Element 11
eldia2(ex12, ey, es122(:, 3), plotpar, sfac); %Element 12
axis([-1.5 18 -13 3]);
pltscalb2(sfac, [1e6 0 -12]);

```

---

```
title('Moment Brukgränstillstånd [MNm]')
```

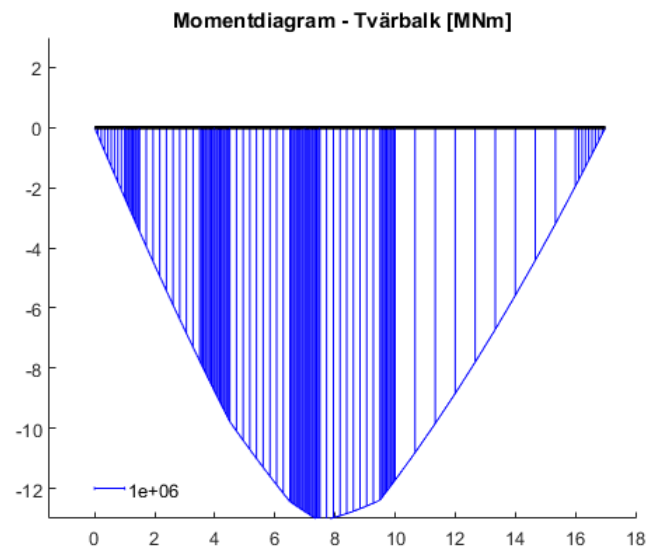
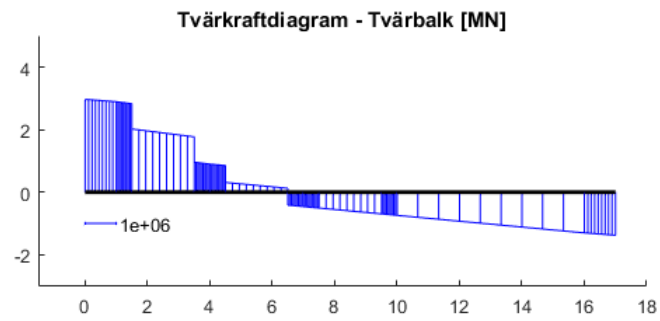
## Utgående parametrar

```
%Maximal nedböjning
Ed_max=max([Ed1_max,Ed2_max]);
%Maximala reaktionskrafter i stöden
R_Trafik_bruk=[max([RA1;RA2]), max([RB1;RB2])];
R_Egentyngd_bruk=[RA3 RB3];

%Maximal tvärkraft och moment hos tvärbalken
Vmax_T_bruk=max([max(es11(:,2)); max(es21(:,2));max(es31(:,2));...
    max(es41(:,2));max(es51(:,2));max(es61(:,2));max(es71(:,2));...
    max(es81(:,2));max(es91(:,2));max(es101(:,2));max(es111(:,2));...
    max(es121(:,2))]);
Mmax_T_bruk=max([max(abs(es12(:,3))); max(abs(es22(:,3)));...
    max(abs(es32(:,3)));max(abs(es42(:,3)));max(abs(es52(:,3)));...
    max(abs(es62(:,3)));max(abs(es72(:,3)));max(abs(es82(:,3)));...
    max(abs(es92(:,3)));max(abs(es102(:,3)));max(abs(es112(:,3)));...
    max(abs(es122(:,3)))]);

end
```

*Published with MATLAB® R2015b*



---

### H.3.3 Maximala snittkrafter för bågen

```
function [R_h_max,R_v_max,N_B,T_B,M_B,nedmax_B]=bage_max_effekt...
(L,cc,n,E, A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB,...
R_Trafik_bruk,R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,...
GB_Bruk)
```

## Maxvärden - Båge

```
%=====
%
% Funktionsfil för framtagning av maximal lasteffekter i båge:
%
% Denna funktionsfil hämtar värden från alla de funktionsfiler som
% beräknar
% snittkrafter och nedböjning för bågen för olika lastfall.
% Utparametrar är
% de maximala värden för respektive kraft samt nedböjning.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%

Hämtar värden från funktionsfilerna för de olika lastfallen

[N_max1,T_max1,M_max1,Reaktion1_max_hori,Reaktion1_max_vert]=...
    bage1_effekt_brott(L,cc,n,E,...
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB);
[N_max2,T_max2,M_max2,Reaktion2_max_hori,Reaktion2_max_vert]=...
    bage2_effekt_brott(L,cc,n,E,...
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB);
[N_max3,T_max3,M_max3,Reaktion3_max_hori,Reaktion3_max_vert]=...
    bage3_effekt_brott(L,cc,n,E,...
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB);
[N_max4,T_max4,M_max4,Reaktion4_max_hori,Reaktion4_max_vert]=...
    bage4_effekt_brott(L,cc,n,E,...
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB);
[N_max5,T_max5,M_max5,Reaktion5_max_hori,Reaktion5_max_vert]=...
    bage5_effekt_brott(L,cc,n,E,...
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB);

[Nedbojning1_b_max_bruk]=bage1_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B,I_B,R_Trafik_bruk,...
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk);
[Nedbojning2_b_max_bruk]=bage2_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B,
    I_B,R_Trafik_bruk,...
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk);
[Nedbojning3_b_max_bruk]=bage3_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B,
    I_B,R_Trafik_bruk,...
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk);
[Nedbojning4_b_max_bruk]=bage4_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B,
    I_B,R_Trafik_bruk,...
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk);
```

---

```

[Nedbojning5_b_max_bruk]=bage5_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B,
    I_B,R_Trafik_bruk,...
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk);

% Skapar radvektorer med värden på krafter från de olika lastfallen
R_h=[Reaktion1_max_hori, Reaktion2_max_hori,Reaktion3_max_hori,...
    Reaktion4_max_hori,Reaktion5_max_hori];
R_v=[Reaktion1_max_vert,Reaktion2_max_vert,Reaktion3_max_vert,...
    Reaktion4_max_vert,Reaktion5_max_vert,];
N=[N_max1,N_max2,N_max3,N_max4,N_max5];
T=[T_max1,T_max2,T_max3,T_max4,T_max5];
M=[M_max1,M_max2,M_max3,M_max4,M_max5];

Ned=[Nedbojning1_b_max_bruk,Nedbojning2_b_max_bruk,...

    Nedbojning3_b_max_bruk,Nedbojning4_b_max_bruk,Nedbojning5_b_max_bruk];

% Tar fram maximala värden
R_h_max= [max(abs(R_h)), find(R_h==max(abs(R_h)))];
R_v_max= [max(abs(R_v)); find(R_h==max(abs(R_h)))];

N_B=[max(abs(N)), find(N==max(abs(N)))];
T_B=[max(abs(T)), find(T==max(abs(T)))];
M_B=[max(abs(M)), find(M==max(abs(M)))];

nedmax_B=[max(abs(Ned)), find(Ned==max(abs(Ned)))];

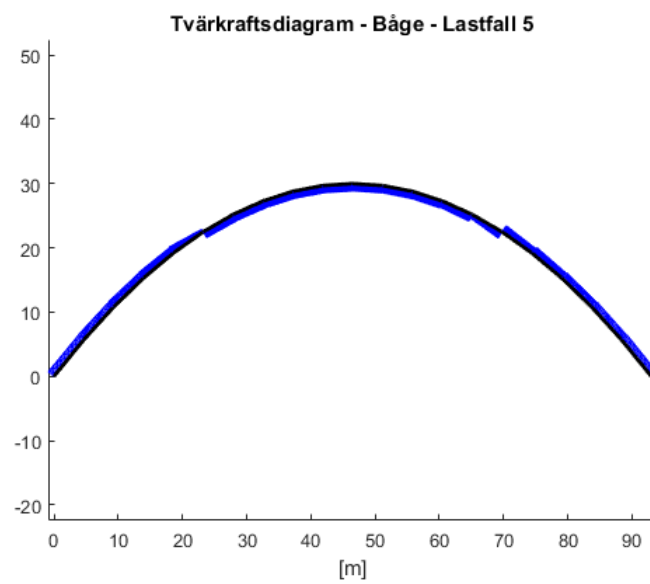
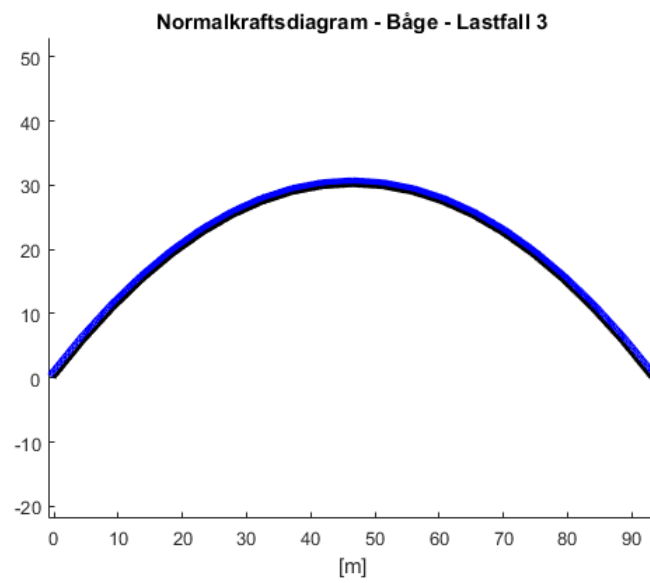
Not enough input arguments.

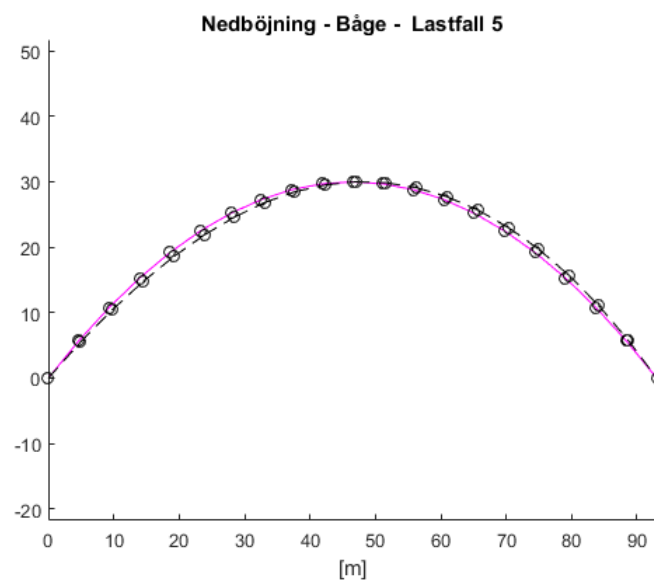
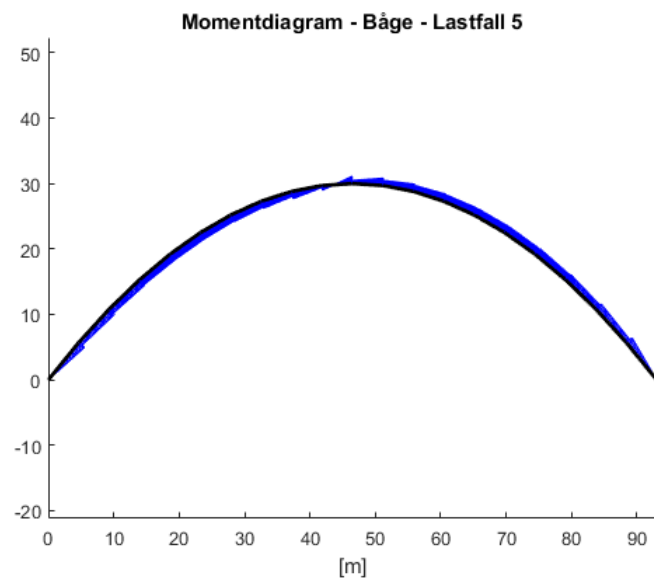
Error in bage_max_effekt (line 22)
    bage1_effekt_brott(L,cc,n,E,...

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*





## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 1 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotting .....                     | 3 |

### function

```
[N_max1,T_max1,M_max1,Reaktion1_max_hori,Reaktion1_max_vert]=...  
    bage1_effekt_brott(L,cc,n,E, A_B, I_B,R_Trafik_brott,...  
    R_Egentyngd_brott,GH,GB)
```

## Båge - Effekt - Fall 1

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal lasteffekter i båge för fall
% 1:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maxiamlt moment för båge.
% De fyra första hängarna belastas med trafiklast och övriga
% endast med egentyngd av brobaneplatta och hängare.
% De laster som används är i brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'];

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi

m=0;
```



---

```

for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
    m=m+3;
end

% Elementegenskaper
epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:4
    L_hangare=y_bageelement(j,2); % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=- (max(abs(R_Trafik_brott))+abs(GH)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=17;
for j=5:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2); % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=- (max(abs(R_Egentygnd_brott))+abs(GH)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentygnd
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
        (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB;
    end
end

```

---

```
end
```

```
Not enough input arguments.
```

```
Error in bage1_effekt_brott (line 23)
```

```
x_bage=linspace(0,L,n+2);
```

## Lösning av systemet

```
% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i  
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentygnd
```

```
for j=1:n+1;
```

```
    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),  
    y_bageelement(j,:), ...  
    epbage, eqbage(j,:));
```

```
    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
```

```
end
```

```
% Randvillkor
```

```
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];
```

```
% Lösning av systemet
```

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

```
% Tar fram stödreaktioner
```

```
Reaktion1_max_vert=[r(2) r(62)];
```

```
Reaktion1_max_hori=[r(1) r(61)];
```

```
% Tar fram elementens förskjutning
```

```
Ed=extract(edofbage, a);
```

```
% Tar fram snittkrafter för bågelementen
```

```
for i=1:n+1;
```

```
    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...  
    eqbage, 20);
```

```
    Nmax(i,1)=max(abs(esbage(:,1)));
```

```
    Tmax(i,1)=max(abs(esbage(:,2)));
```

```
    Mmax(i,1)=max(abs(esbage(:,3)));
```

```
end
```

```
N_max1=max(Nmax);
```

```
T_max1=max(Tmax);
```

```
M_max1=max(Mmax);
```

## Plottning

```
% Plottning av deformationer
```

---

```

% Plottar normalkraft
figure(22)
title('Normalkraft - Lastfall 1')
xlabel('[m]')

for i=1:n+1
    [esbage]=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
        eqbage,30);
    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,1),0.2);

    eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,1), [2
    1],sfac);

end

% Plottar tvärkraft
figure(23)
title('Tvärkraft - Lastfall 1')
xlabel('[m]')

plotpar=[2 1];

for i=1:n+1
    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
        eqbage,30);
    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,2),0.2);
    eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,2), [2
    1],sfac);

end

% Plottar momentdiagram
figure(24)
title('Moment - Lastfall 1')
xlabel('[m]')

plotpar=[2 1];

for i=1:n+1

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
        eqbage,30);

    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,3),0.2);
    eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,3), [2
    1],sfac);
end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 2 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotning .....                     | 4 |

### function

```
[N_max2,T_max2,M_max2,Reaktion2_max_hori,Reaktion2_max_vert]=...  
    bage2_effekt_brott(L,cc,n,E,...  
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB)
```

## Båge - Effekt - Fall 2

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal snittkrafter i båge för fall
% 2:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maxiamlt moment för båge.
% De fem hängarna i mitten belastas med trafiklast och övriga
% endast med egentyngd av brobaneplatta och hängare.
% De laster som används är i brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'];

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi
```

---

```

m=0;
for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
    m=m+3;
end

% Elementegenskaper
epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetsmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=26;
for j=8:12
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_brott))+abs(GH)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=5;
for j=1:7;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_brott))+abs(GH)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=41;
for j=13:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_brott))+abs(GH)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentyngd
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

```

```

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2))-y_bageelement(i,1))/...
            (abs(x_bageelement(i,2))-x_bageelement(i,1)));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB;
    end
end

```

*Not enough input arguments.*

*Error in bage2\_effekt\_brott (line 24)*  
*x\_bage=linspace(0,L,n+2);*

## Lösning av systemet

*% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelenen och assemblerar in i*  
*% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelenen med egentygnd*

```

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
        y_bageelement(j,:), ...
        epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktioner
Reaktion2_max_vert=[r(2) r(62)];
Reaktion2_max_hori=[r(1) r(61)];

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

% Tar fram snittkrafter för bågelenen
for i=1:n+1;

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
        eqbage, 20);
    Nmax(i,1)=max(abs(esbage(:,1)));
    Tmax(i,1)=max(abs(esbage(:,2)));
    Mmax(i,1)=max(abs(esbage(:,3)));

```

---

```
end
```

```
N_max2=max(Nmax);  
T_max2=max(Tmax);  
M_max2=max(Mmax);
```

## Plottning

```
% Plottning av deformationer  
% Plottar normalkraft  
figure(26)  
title('Normalkraft - Lastfall 2')  
xlabel('[m]')  
  
for i=1:n+1  
[esbage]=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...  
eqbage,30);  
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,1),0.2);  
  
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,1), [2  
1],sfac);  
  
end  
  
% Plottar tvärkraft  
figure(27)  
title('Tvärkraft - Lastfall 2')  
xlabel('[m]')  
  
plotpar=[2 1];  
  
for i=1:n+1  
esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...  
eqbage,30);  
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,2),0.2);  
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,2), [2  
1],sfac);  
  
end  
  
% Plottar momentdiagram  
figure(28)  
title('Moment - Lastfall 2')  
xlabel('[m]')  
  
plotpar=[2 1];  
  
for i=1:n+1  
  
esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
```

---

```
eqbage, 30);  
  
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,3),0.2);  
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,3), [2  
1],sfac);  
end
```

*Published with MATLAB® R2015b*



---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 3 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 2 |
| Plotning .....                     | 3 |

### function

```
[N_max3,T_max3,M_max3,Reaktion3_max_hori,Reaktion3_max_vert]=...  
    bage3_effekt_brott(L,cc,n,E,...  
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB)
```

## Båge - Effekt - Fall 3

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal snittkrafter i båge för fall
% 3:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft,
% tvärkraft och maxiamlt moment för bågen.
% Alla hängare belastas med trafiklast.
% De laster som används är i brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'];

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi

m=0;
```

---

```

for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)= [i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
    m=m+3;
end

% Elementegenskaper
epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetsmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:n
    L_hangare=y_bageelement(j,2);           % Beräknar längd för
    hangare                                     hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_brott))+abs(GH)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje bagelements
egentyngd
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
            (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB;
    end
end

end

Not enough input arguments.

Error in bage3_effekt_brott (line 23)
x_bage=linspace(0,L,n+2);

```

## Lösning av systemet

```

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bagelementen och assemblerar in i

```

---

```

% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentyngd

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
    y_bageelement(j,:), ...
    epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktioner
Reaktion3_max_vert=[r(2) r(62)];
Reaktion3_max_hori=[r(1) r(61)];

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

% Tar fram snittkrafter för bågelementen
for i=1:n+1;

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
    eqbage, 20);
    Nmax(i,1)=max(abs(esbage(:,1)));
    Tmax(i,1)=max(abs(esbage(:,2)));
    Mmax(i,1)=max(abs(esbage(:,3)));
end

N_max3=max(Nmax);
T_max3=max(Tmax);
M_max3=max(Mmax);

```

## Plottning

```

% Plottning av deformationer
% Plottar normalkraft
figure(30)
title('Normalkraftsdiagram - Båge - Lastfall 3')
xlabel('[m]')

for i=1:n+1
    [esbage]=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
    eqbage, 30);
    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:), y_bageelement(1,:), esbage(:,1), 0.2);

```

---

```

eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,1), [2
1], sfac);

end

% Plottar tvärkraft
figure(31)
title('Tvärkraft - Lastfall 3')
xlabel('[m]')

plotpar=[2 1];

for i=1:n+1
    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
eqbage, 30);
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:), y_bageelement(1,:), esbage(:,2), 0.2);
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,2), [2
1], sfac);

end

% Plottar momentdiagram
figure(32)
title('Moment - Lastfall 3')
xlabel('[m]')

plotpar=[2 1];

for i=1:n+1

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
eqbage, 30);

    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:), y_bageelement(1,:), esbage(:,3), 0.2);
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,3), [2
1], sfac);
end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 4 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotning .....                     | 4 |

### function

```
[N_max4,T_max4,M_max4,Reaktion4_max_hori,Reaktion4_max_vert]=...  
    bage4_effekt_brott(L,cc,n,E,...  
    A_B, I_B,R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott,GH,GB)
```

## Båge - Effekt - Fall 4

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal snittkrafter i båge för fall
% 4:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maxiamlt moment för båge.
% De fem hängarna i mitten belastas endast med egentyngd av
% brobaneplatta och hängare. Övriga hängare belastas med trafiklast.
% De laster som används är i brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'];

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi

m=0;
```

---

```

for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
    m=m+3;
end

% Elementegenskaper
epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=26;
for j=8:12
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_brott))+abs(GH)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:7;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_brott))+abs(GH)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=41;
for j=13:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_brott))+abs(GH)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentygnd
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

```

```

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2))-y_bageelement(i,1))/...
            (abs(x_bageelement(i,2))-x_bageelement(i,1)));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB;
    end
end

```

*Not enough input arguments.*

*Error in bage4\_effekt\_brott (line 24)*  
*x\_bage=linspace(0,L,n+2);*

## Lösning av systemet

*% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelenen och assemblerar in i*  
*% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelenen med egentygnd*

```

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
        y_bageelement(j,:), ...
        epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

```

*% Randvillkor*  
*bc=[1 0; 2 0; (n+1)\*3+1 0; (n+1)\*3+2 0];*

*% Lösning av systemet*  
*[a, r]=solveq(K, f, bc);*

*% Tar fram stödreaktioner*  
*Reaktion4\_max\_vert=[r(2) r(62)];*  
*Reaktion4\_max\_hori=[r(1) r(61)];*

*% Tar fram elementens förskjutning*  
*Ed=extract(edofbage, a);*

*% Tar fram snittkrafer för bågelenen*  
for i=1:n+1;

```

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
        eqbage, 20);
    Nmax(i,1)=max(abs(esbage(:,1)));
    Tmax(i,1)=max(abs(esbage(:,2)));
    Mmax(i,1)=max(abs(esbage(:,3)));
end

```

---

```
end
```

```
N_max4=max(Nmax);  
T_max4=max(Tmax);  
M_max4=max(Mmax);
```

## Plottning

```
% Plottning av deformationer  
% Plottar normalkraft  
figure(34)  
title('Normalkraft - Lastfall 4')  
xlabel('[m]')  
  
for i=1:n+1  
[esbage]=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...  
eqbage,30);  
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,1),0.2);  
  
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,1), [2  
1],sfac);  
  
end  
  
% Plottar tvärkraft  
figure(35)  
title('Tvärkraft - Lastfall 4')  
xlabel('[m]')  
  
plotpar=[2 1];  
  
for i=1:n+1  
esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...  
eqbage,30);  
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,2),0.2);  
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,2), [2  
1],sfac);  
  
end  
  
% Plottar momentdiagram  
figure(36)  
title('Moment - Lastfall 4')  
xlabel('[m]')  
  
plotpar=[2 1];  
  
for i=1:n+1  
  
esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
```



---

```
eqbage, 30);  
  
[sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,3),0.2);  
eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,3), [2  
1],sfac);  
end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 5 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotning .....                     | 4 |

### function

```
[N_max5, T_max5, M_max5, Reaktion5_max_hori, Reaktion5_max_vert]=...  
    bage5_effekt_brott(L, cc, n, E, ...  
    A_B, I_B, R_Trafik_brott, R_Egentyngd_brott, GH, GB)
```

## Båge - Effekt - Fall 5

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal snittkrafter i båge för fall
% 5:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maxiamlt moment för båge.
% Hälften av hängarna belastas med trafiklast och övriga
% endast med egentyngd av brobaneplatta och hängare.
% De laster som används är i brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0, L, n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'];

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi
```

---

```

m=0;
for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
    m=m+3;
end

% Elementegenskaper
epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:9;
    L_hangare=y_bageelement(j,2); % Beräknar längd för
    hangare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_brott))+abs(GH)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=29;
for j=10:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2); % Beräknar längd för
    hangare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_brott))+abs(GH)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentygnd
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
        (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;

```

```

        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB;
    end
end

Not enough input arguments.

Error in bage5_effekt_brott (line 23)
x_bage=linspace(0,L,n+2);

```

## Lösning av systemet

```

% Skapar elementstyvhetmatriser för bågelenen och assemblerar in i
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelenen med egentygnd

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
    y_bageelement(j,:), ...
    epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram stödreaktioner
Reaktion5_max_vert=[r(2) r(62)];
Reaktion5_max_hori=[r(1) r(61)];

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

% Tar fram snittkrafter för bågelenen
for i=1:n+1;

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), epbage, Ed(i,:), ...
    eqbage, 20);
    Nmax(i,1)=max(abs(esbage(:,1)));
    Tmax(i,1)=max(abs(esbage(:,2)));
    Mmax(i,1)=max(abs(esbage(:,3)));
end

N_max5=max(Nmax);
T_max5=max(Tmax);
M_max5=max(Mmax);

```

---

# Plottning

```
% Plottning av deformationer
% Plottar normalkraft
figure(38)
title('Normalkraft - Lastfall 5')
xlabel('[m]')

for i=1:n+1
    [esbage]=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
        eqbage,30);
    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,1),0.2);

    eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,1), [2
    1],sfac);

end

% Plottar tvärkraft
figure(39)
title('Tvärkraftsdiagram - Båge - Lastfall 5')
xlabel('[m]')

plotpar=[2 1];

for i=1:n+1
    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
        eqbage,30);
    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,2),0.2);
    eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,2), [2
    1],sfac);

end

% Plottar momentdiagram
figure(40)
title('Momentdiagram - Båge - Lastfall 5')
xlabel('[m]')

plotpar=[2 1];

for i=1:n+1

    esbage=beam2s(x_bageelement(i,:),y_bageelement(i,:),epbage,Ed(i,:),...
        eqbage,30);

    [sfac]=scalfact2(x_bageelement(1,:),y_bageelement(1,:),esbage(:,3),0.2);
    eldia2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), esbage(:,3), [2
    1],sfac);

end
```

---

*Published with MATLAB® R2015b*

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 1 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plottning .....                    | 3 |

```
function [Nedbojning1_b_max_bruk]=bage1_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B, ...  
    I_B,R_Trafik_bruk, ...  
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk)
```

## Båge - Effekt - Fall 1

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i båge för fall 1:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för båge.
% De fyra första hängarna belastas med trafiklast och övriga
% endast med egentyngd av brobaneplatta och hängare.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'] ;

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi båge

m=0;
for i=1:n+1;
```

---

```

        edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
        m=m+3;
end

% Elementegenskaper

epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetsmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:4
    L_hangare=y_bageelement(j,2);    % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=- (max(abs(R_Trafik_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=17;
for j=5:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);    % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=- (max(abs(R_Egentygnd_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentygnd.
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
        (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB_Bruk;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB_Bruk;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB_Bruk;
    end
end

```



---

```
end
```

```
Not enough input arguments.
```

```
Error in bage1_effekt_bruk (line 22)
```

```
x_bage=linspace(0,L,n+2);
```

## Lösning av systemet

```
% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i  
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentygnd
```

```
for j=1:n+1;
```

```
    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),  
    y_bageelement(j,:), ...  
    epbage, eqbage(j,:));
```

```
    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
```

```
end
```

```
% Randvillkor
```

```
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];
```

```
% Lösning av systemet
```

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

```
% Tar fram elementens förskjutning
```

```
Ed=extract(edofbage, a);
```

```
Nedbojning1_b_max_bruk=max(a);
```

```
p_b=find(abs(a)==Nedbojning1_b_max_bruk);
```

```
position_x3_b=a(p_b);
```

## Plottning

```
% Plottning av deformationer
```

```
figure(25)
```

```
title('Nedböjning - Lastfall 1')
```

```
xlabel('[m]')
```

```
for i=1:n+1;
```

```
    eldraw2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), [1 3 1]);
```

```
end
```

```
sfac=scalfact2(x_bageelement(11,:), y_bageelement(11,:), Ed(11,:),  
    0.1);
```

```
for i=1:n+1;
```

```
    [sfac]=eldisp2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), Ed(i,:), [2 1  
    1], ...
```

---

```
    sfac);  
end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 2 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotning .....                     | 3 |

```
function [Nedbojning2_b_max_bruk]=bage2_effekt_bruk...  
    (L,cc,n,E,A_B, I_B,R_Trafik_bruk,...  
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk)
```

## Båge - Effekt - Fall 2

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i båge för fall 2:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för båge.
% De fem hängarna i mitten belastas med trafiklast och övriga
% endast med egentyngd av brobaneplatta och hängare.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'] ;

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi båge

m=0;
for i=1:n+1;
```

---

```

        edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
        m=m+3;
    end

% Elementegenskaper

epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=26;
for j=8:12;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);    % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=5;
for j=1:7;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);    % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=41;
for j=13:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);    % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje bågelements
egentygnd.
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

```

```

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
            (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB_Bruk;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB_Bruk;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB_Bruk;
    end
end

```

*Not enough input arguments.*

*Error in bage2\_effekt\_bruk (line 22)*  
*x\_bage=linspace(0,L,n+2);*

## Lösning av systemet

*% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i*  
*% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentygnd*

```

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
        y_bageelement(j,:), ...
        epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

```

*% Randvillkor*  
*bc=[1 0; 2 0; (n+1)\*3+1 0; (n+1)\*3+2 0];*

*% Lösning av systemet*  
*[a, r]=solveq(K, f, bc);*

*% Tar fram elementens förskjutning*  
*Ed=extract(edofbage, a);*

*Nedbojning2\_b\_max\_bruk=max(a);*  
*p\_b=find(abs(a)==Nedbojning2\_b\_max\_bruk);*  
*position\_x3\_b=a(p\_b);*

## Plottning

```

% Plottning av deformationer
figure(29)
title('Nedböjning - Lastfall 2')
xlabel('[m]')

for i=1:n+1;

```

---

```
eldraw2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), [1 3 1]);  
end  
  
sfac=scalfact2(x_bageelement(11,:), y_bageelement(11,:), Ed(11,:),  
0.1);  
  
for i=1:n+1;  
[sfac]=eldisp2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), Ed(i,:), [2 1  
1], ...  
sfac);  
end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 3 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 2 |
| Plotning .....                     | 3 |

```
function [Nedbojning3_b_max_bruk]=bage3_effekt_bruk...  
    (L,cc,n,E,A_B, I_B,R_Trafik_bruk,...  
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk)
```

## Båge - Effekt - Fall 3

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i båge för fall 3:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för bågen.
% Alla hängare belastas med trafiklast.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'];

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi

m=0;
for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)= [i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
```

```

        m=m+3;
    end

    % Elementegenskaper
    epbage= [E A_B I_B];

    % Skapar nollmatris för elementstyvhetsmatris och lastvektor
    K=zeros((n+2)*3);
    f=zeros(((n+2)*3),1);

    % Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
    % tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentyingd
    m=5;
    for j=1:n
        L_hangare=y_bageelement(j,2);           % Beräknar längd för
        hängare

        % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
        f(m)=-(max(abs(R_Trafik_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);

        m=m+3;
    end

    % Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
    egentyingd
    % Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
    koordinatsystemet

    for i=1:n+1;
        a=atan((abs(y_bageelement(i,2))-y_bageelement(i,1))/...
            (abs(x_bageelement(i,2))-x_bageelement(i,1)));
        eqbage(i,2)=-cos(a)*GB_Bruk;
        if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
            eqbage(i,1)=-sin(a)*GB_Bruk;
        else
            eqbage(i,1)=sin(a)*GB_Bruk;
        end
    end

    Not enough input arguments.

    Error in bage3_effekt_bruk (line 22)
    x_bage=linspace(0,L,n+2);

```

## Lösning av systemet

```

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentyingd

for j=1:n+1;

```



---

```

        [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
        y_bageelement(j,:), ...
        epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

Nedbojning3_b_max_bruk=max(a);
p_b=find(abs(a)==Nedbojning3_b_max_bruk);
position_x3_b=a(p_b);

```

## Plottning

```

% Plottning av deformationer
figure(33)
title('Nedböjning - Lastfall 3')
xlabel('[m]')

for i=1:n+1;
    eldraw2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), [1 3 1]);
end

sfac=scalfact2(x_bageelement(11,:), y_bageelement(11,:), Ed(11,:),
    0.1);

for i=1:n+1;
    [sfac]=eldisp2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), Ed(i,:), [2 1
    1], ...
    sfac);
end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 4 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotning .....                     | 3 |

```
function [Nedbojning4_b_max_bruk]=bage4_effekt_bruk...  
    (L,cc,n,E,A_B, I_B,R_Trafik_bruk,...  
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk)
```

## Båge - Effekt - Fall 4

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i båge för fall 4:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för båge.
% De fem hängarna i mitten belastas endast med egentyngd av
% brobaneplatta och hängare. Övriga hängare belastas med trafiklast.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'] ;

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi båge

m=0;
for i=1:n+1;
```

---

```

        edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
        m=m+3;
end

% Elementegenskaper

epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetsmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=26;
for j=8:12
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:7;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=41;
for j=13:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);          % Beräknar längd för hängare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);
    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentyngd.

```

---

```

% Komponentuppdelar för att få krafterna i det lokala
% koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2))-y_bageelement(i,1))/...
        (abs(x_bageelement(i,2))-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB_Bruk;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB_Bruk;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB_Bruk;
    end
end

Not enough input arguments.

Error in bage4_effekt_bruk (line 22)
x_bage=linspace(0,L,n+2);

```

## Lösning av systemet

```

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentygnd

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
        y_bageelement(j,:), ...
        epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

Nedbojning4_b_max_bruk=max(a);
p_b=find(abs(a)==Nedbojning4_b_max_bruk);
position_x3_b=a(p_b);

```

## Plottning

```

% Plottning av deformationer
figure(37)
title('Nedböjning - Lastfall 4')

```

---

```
xlabel(' [m] ')\n\nfor i=1:n+1;\neldraw2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:),[1 3 1]);\nend\n\nsfac=scalfact2(x_bageelement(11,:), y_bageelement(11,:), Ed(11,:),\n    0.1);\n\nfor i=1:n+1;\n[sfac]=eldisp2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), Ed(i,:), [2 1\n    1], ...,\n    sfac);\nend
```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 5 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |
| Plotning .....                     | 3 |

```
function [Nedbojning5_b_max_bruk]=bage5_effekt_bruk...  
    (L,cc,n,E,A_B, I_B,R_Trafik_bruk,...  
    R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk)
```

## Båge - Effekt - Fall 5

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i båge för fall 5:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för båge.
% Hälften av hängarna belastas med trafiklast och övriga
% endast med egentyngd av brobaneplatta och hängare.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'] ;

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi båge

m=0;
for i=1:n+1;
```

---

```

        edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
        m=m+3;
    end

% Elementegenskaper

epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med trafiklast och egentygnd
m=5;
for j=1:9
    L_hangare=y_bageelement(j,2);           % Beräknar längd för
    hangare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Trafik_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som endast är belastade med egentygnd
m=29;
for j=10:n;
    L_hangare=y_bageelement(j,2);           % Beräknar längd för
    hangare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentygnd.
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
        (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB_Bruk;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB_Bruk;
    else

```

```

        eqbage(i,1)=sin(a)*GB_Bruk;
    end
end

```

*Not enough input arguments.*

*Error in bage5\_effekt\_bruk (line 23)*  
*x\_bage=linspace(0,L,n+2);*

## Lösning av systemet

```

% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentyngd

```

```

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
    y_bageelement(j,:), ...
    epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

```

```

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

```

```

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

```

```

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

```

```

Nedbojning5_b_max_bruk=max(a);
p_b=find(abs(a)==Nedbojning5_b_max_bruk);
position_x3_b=a(p_b);

```

## Plottning

```

% Plottning av deformationer
figure(41)
title('Nedböjning - Båge - Lastfall 5')
xlabel('[m]')

for i=1:n+1;
    eldraw2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), [1 3 1]);
end

sfac=scalfact2(x_bageelement(11,:), y_bageelement(11,:), Ed(11,:),
    0.1);

for i=1:n+1;

```



---

```
[sfac]=eldisp2(x_bageelement(i,:), y_bageelement(i,:), Ed(i,:), [2 1  
1], ...  
    sfac);  
end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Båge - Effekt - Fall 6 .....       | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Lösning av systemet .....          | 3 |

```
function [Nedbojning6_b_max_bruk]=bage6_effekt_bruk(L,cc,n,E,A_B,  
I_B,...  
R_Egentyngd_bruk,GH_Bruk,GB_Bruk)
```

## Båge - Effekt - Fall 6

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i båge för fall 6:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för båge.
% Alla hängare belastas med egentyngder, inga variabla laster. De
% laster
% som används är i bruksgränstillstånd. Värdet som fås används enbart
% för
% att beräkna nedböjning i bågen som ska jämföras med kravet på
% maximal
% nedböjning.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## System och elementegenskaper

```
% Vektor med bågens x-koordinater
x_bage=linspace(0,L,n+2);

% Vektor med bågens y-koordinater
y_bage=-0.01387*x_bage.^2+1.2899*x_bage;

% Matris med bågens delelements noder i x-led
x_bageelement= [x_bage(1:n+1)' x_bage(2:n+2)'] ;

% Matris med bågens delelements noder i y-led
y_bageelement= [y_bage(1:n+1)' y_bage(2:n+2)'];

% Topologi båge
```

---

```

m=0;
for i=1:n+1;

    edofbage(i,:)=[i m+1 m+2 m+3 m+4 m+5 m+6];
    m=m+3;
end

%Elementegenskaper

epbage= [E A_B I_B];

% Skapar nollmatris för elementstyvhetmatris och lastvektor
K=zeros((n+2)*3);
f=zeros(((n+2)*3),1);

% Placerar ut punktlaster på bågen i form av reaktionskrafter från
% tvärbalkarna som är belastade med egentygnd
m=5;
for j=1:n
    L_hangare=y_bageelement(j,2);           % Beräknar längd för
    hangare

    % Beräknar total last som verkar på bågen där hängaren fäster in
    f(m)=-(max(abs(R_Egentygnd_bruk))+abs(GH_Bruk)*L_hangare);

    m=m+3;
end

% Skapar vektor för utbredda laster i form av varje båglements
egentygnd.
% Komposantuppdelar för att få krafterna i det lokala
koordinatsystemet

for i=1:n+1;
    a=atan((abs(y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1)))/...
        (abs(x_bageelement(i,2)-x_bageelement(i,1))));
    eqbage(i,2)=-cos(a)*GB_Bruk;
    if (y_bageelement(i,2)-y_bageelement(i,1))>0;
        eqbage(i,1)=-sin(a)*GB_Bruk;
    else
        eqbage(i,1)=sin(a)*GB_Bruk;
    end
end

Not enough input arguments.

Error in bage6_effekt_bruk (line 22)
x_bage=linspace(0,L,n+2);

```

---

## Lösning av systemet

```
% Skapar elementstyvhetsmatriser för bågelementen och assemblerar in i
% globala styvhetsmatrisen samt belastar bågelementen med egentygnd

for j=1:n+1;

    [Kebage, febage]=beam2e(x_bageelement(j,:),
    y_bageelement(j,:), ...
    epbage, eqbage(j,:));

    [K, f]=assem(edofbage(j,:), K, Kebage, f, febage);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; (n+1)*3+1 0; (n+1)*3+2 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram elementens förskjutning
Ed=extract(edofbage, a);

Nedbojning6_b_max_bruk=max(a);
p_b=find(abs(a)==Nedbojning6_b_max_bruk);
position_x3_b=a(p_b);

end
```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## H.3.4 Dragband

### Table of Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| .....                              | 1 |
| Dragband - Effekt .....            | 1 |
| System och elementegenskaper ..... | 1 |
| Dragkraft i dragbandet .....       | 3 |

```
function [maxned_Db,N_Db]= dragband_effekt_brott...  
    (R_h_max,L,E,A_Db,I_Db,GDb_Bruk,cc)
```

### Dragband - Effekt

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i dragband:
%
% Denna funktionsfil beräknar först maximala nedböjningen för
% dragbandet.
% Den utbredda lasten i form av egentygngden är beräknad i
% bruksgränstillstånd. Sedan beräknas den maximala dragkraften i
% dragbandet. De laster som används är de maximala horisontella
% reaktionskrafterna vid bågens stöd, vilka är beräknade i
% brottgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
```

### System och elementegenskaper

```
% Vektor med dragbandets x-koordinater
x_balkelement=[0 L/7; L/7 (2*L)/7;(2*L)/7 (3*L)/7; ...
    (3*L)/7 (4*L)/7; (4*L)/7 (5*L)/7; (5*L)/7 (6*L)/7; (6*L)/7
    (7*L)/7];
% Vektor med dragbandets y-koordinater
y_balkelement=[0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Elementegenskaper
epbalk= [E A_Db I_Db];

% Topologi
edofbalk=[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] ;

% Skapar nollmatris för elementstyvhetsmatris och lastvektor
K= zeros(24);
f= zeros(24,1);

% Punktlaster i form av horisontella reaktionskrafter från bågen,
% vilka ger
% upphov till dragkraft i dragbandet (dessa är beräknade ur
% brottgränstillstånd, men påverkar ej nedböjningen).

f(1)=-R_h_max(1);
f(22)=R_h_max(1);

% Skapar elementstyvhetsmatriser för dragbandselementen och
% assemblerar in i
% globala styvhetsmatrisen samt belastar hela dragbandet med egentynngd
% (beräknad i bruksgränstillstånd)
for j=1:7;
    eqbalk=[0 -GDb_Bruk/cc];
    [Kebalk, febalk]=beam2e(x_balkelement(j,:),
    y_balkelement(j,:), ...
    epbalk, eqbalk);

    [K, f]=assem(edofbalk(j,:), K, Kebalk, f, febalk);
end

bc= [1 0; 2 0; 23 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar fram elementförskjutningar
Ed=extract(edofbalk, a);

% Maximal nedböjning
maxned_Db=max(abs(a));
figure(42)
title('Nedböjning - Dragband')
for i=1:7;
    eldraw2(x_balkelement(i,:), y_balkelement(i,:),[1 3 1]);
end

sfac=scalfact2(x_balkelement(5,:), y_balkelement(5,:), Ed(5,:), 0.1);

for i=1:7;
    [sfac]=eldisp2(x_balkelement(i,:), y_balkelement(i,:), Ed(i,:), [2 1
    1], ...
    sfac);
end

Not enough input arguments.

```

---

*Error in dragband\_effekt\_brott (line 23)*  
*x\_balkelement=[0 L/7; L/7 (2\*L)/7;(2\*L)/7 (3\*L)/7; ...*

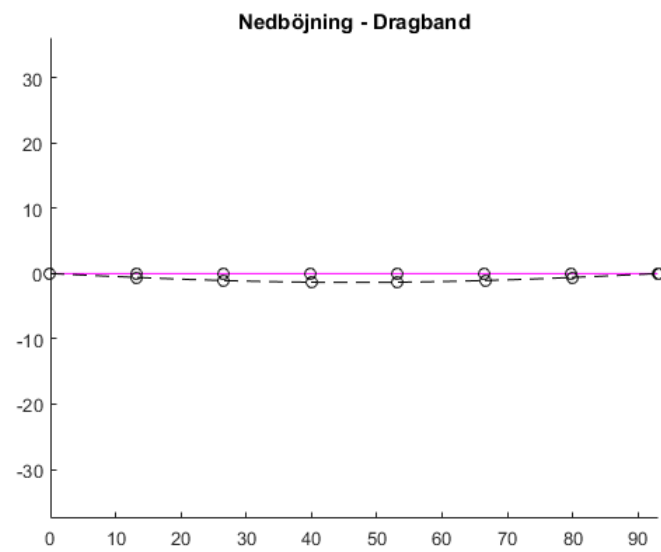
## Dragkraft i dragbandet

```
% Tar fram dragkraften för varje delelement av dragbandet
for i=1:7;

    esbalk=beam2s(x_balkelement(i,:),y_balkelement(i,:),epbalk,Ed(i,:),...
        eqbalk,20);
    Nmax(i,1)=max(abs(esbalk(:,1)));
end

% Plockar ut största värdet på dragkraft
N_Db=max(Nmax);
```

*Published with MATLAB® R2015b*





### H.3.5 Maximala snittkrafter för brobana

## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Maximala värden - Brobaneplatta ..... | 1 |
| Hämtar värden .....                   | 1 |
| Framtagning av maximala värden .....  | 2 |

```
function [N_Fb_max,T_Fb_max,M_Fb_max,Utbojning_Fb_max]=...  
    Funktionsfilbrobanac(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc,  
    Ecm,P_Bruk,Qg_Bruk,Qq_Bruk)
```

## Maximala värden - Brobaneplatta

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximala lasteffekter samt nedböjning
% av brobaneplattan:
%
% Funktionsfil som beräknar maximala snittkrafter och
% nedböjningar i brobaneplattan
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Hämtar värden

```
[N_max1, T_max1, M_max1, N_min1, T_min1, M_min1]=...  
    Brobaneplatta_Effekt1_brott(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
[N_max2, T_max2, M_max2, N_min2, T_min2, M_min2]=...  
    Brobaneplatta_Effekt2_brott(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
[N_max3, T_max3, M_max3, N_min3, T_min3, M_min3]=...  
    Brobaneplatta_Effekt3_brott(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
[N_max4, T_max4, M_max4, N_min4, T_min4, M_min4]=...  
    Brobaneplatta_Effekt4_brott(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
  
[Utbojning_max1]=Brobaneplatta_Effekt1_bruk(...  
    (P_Bruk,Qg_Bruk,Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
[Utbojning_max2]=Brobaneplatta_Effekt2_bruk(...  
    (P_Bruk,Qg_Bruk,Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
[Utbojning_max3]=Brobaneplatta_Effekt3_bruk(...  
    (P_Bruk,Qg_Bruk,Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
[Utbojning_max4]=Brobaneplatta_Effekt4_bruk(...  
    (P_Bruk,Qg_Bruk,Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm);  
  
Not enough input arguments.
```

---

Error in Funktionsfilbrobanac (line 22)  
Brobanaplatta\_Effekt1\_brott(P,Qg,Qq,h\_Fb,h\_Sl,cc, Ecm);

## Framtagning av maximala värden

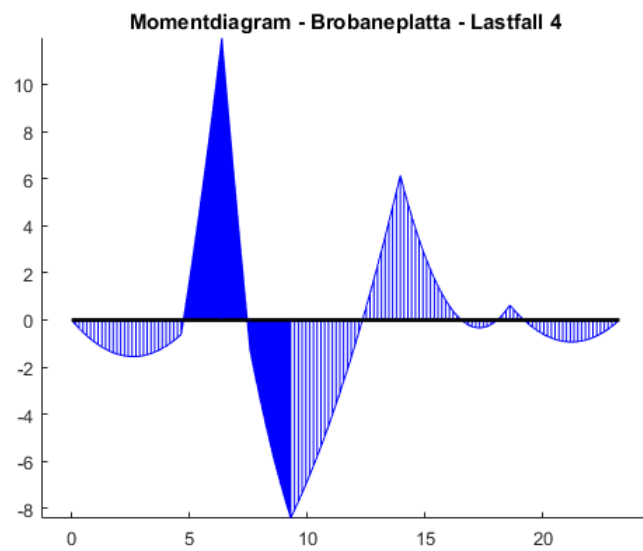
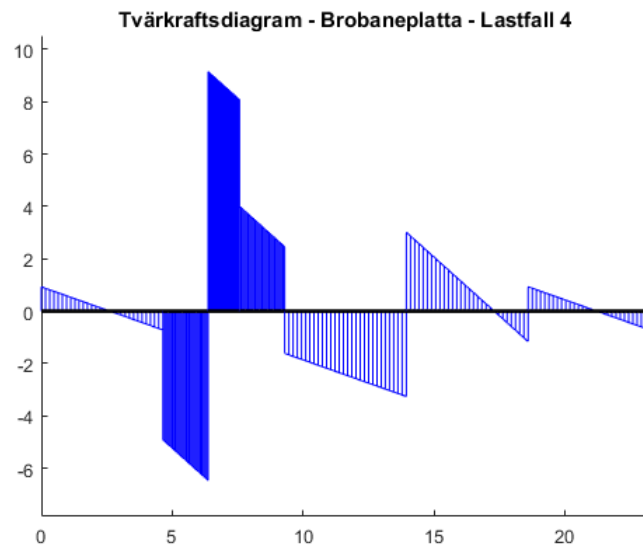
```
% Vektor med maximal normalkraft från de fyra fallen
N_Fb1=[N_max1, N_max2, N_max3, N_max4];
N_Fb2=[N_min1, N_min2, N_min3, N_min4];
% Tar fram den maximala normalkraften samt positionen för detta värde
N_Fb_max=[max(N_Fb1), find(N_Fb1==max(N_Fb1)); min(N_Fb2), ...
    find(N_Fb2==min(N_Fb2))];

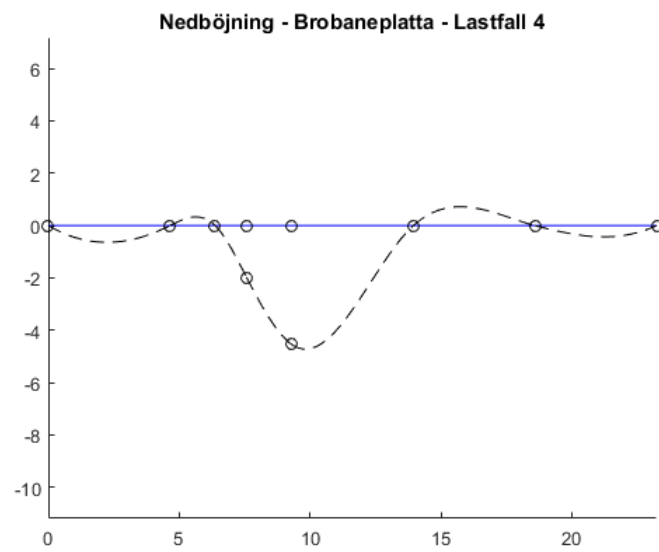
% Vektor med maximal tvärkraft från de fyra fallen
T_Fb1=[T_max1, T_max2, T_max3, T_max4];
T_Fb2=[T_min1, T_min2, T_min3, T_min4];
% Tar fram den maximala tvärkraften samt positionen för detta värde
T_Fb_max=[max(T_Fb1), find(T_Fb1==max(T_Fb1)); ...
    min((T_Fb2)), find(T_Fb2==min(T_Fb2))];

% Vektor med maximalt moment från de fyra fallen
M_Fb1=[M_max1, M_max2, M_max3, M_max4];
M_Fb2=[M_min1, M_min2, M_min3, M_min4];
% Tar fram det maximala momentet samt positionen för detta värde
M_Fb_max=[max(M_Fb1), find(M_Fb1==max(M_Fb1)); min((M_Fb2)), ...
    find(M_Fb2==min(M_Fb2))];

% Vektor med maximal nedböjning från de fyra fallen
Utbojning_Fb=[Utbojning_max1, Utbojning_max2, Utbojning_max3, ...
    Utbojning_max4];
% Tar fram den maximala nedböjningen samt positionen för detta värde
Utbojning_Fb_max=[max(abs(Utbojning_Fb)), ...
    find(Utbojning_Fb==max(abs(Utbojning_Fb)))];
```

Published with MATLAB® R2015b





## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Brobaneplatta - Effekt - Fall 1 ..... | 1 |
| Indata .....                          | 1 |
| System och elementegenskaper .....    | 1 |

```
function [N_max1, T_max1, M_max1, N_min1, T_min1, M_min1]=...  
    Brobaneplatta_Effekt1_brottpc(P, Qg, Qq, ...  
    h_Fb, h_Sl, cc, Ecm)
```

## Brobaneplatta - Effekt - Fall 1

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximala snittkrafter i brobaneplattan
% för
% fall 1:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maximalt
% moment för brobaneplattan. Den belastas med trafiklast i alla facken
% samt
% punktlast i mittenfacket. De laster som används är i
% brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                        % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;    % Yttre röghetsmoment per breddmeter [m^4]
n=7;                           % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

```
Error in Brobaneplatta_Effekt1_brottpc (line 22)
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

```
% x-koordinater och y-koordinater
x_platta= [0 cc; cc 2*cc; 2*cc (2*cc+(cc-ab)/2); (2*cc+(cc-ab)/2)...
```

---

```

        (2*cc+(cc-ab)/2+ab); (2*cc+(cc-ab)/2+ab) 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc
        5*cc];

y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Axiallaster
f(11)=-P;
f(11+3)=-P;

% Elementlaster
eq_platta= [0 -(Qg+Qq)];

% Skapar elementstyvhetsmatriser och assemblerar in i global
  styvhetsmatrix
for i=1:n;

    [Keplatta, feplatta]=beam2e(x_platta(i,:), y_platta(i,:),
    ep_platta,...
    eq_platta);

    [K, f]=assem(edof_platta(i,:), K, Keplatta, f, feplatta);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

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

% Tar fram förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar fram snittkrafter för varje element
esplatta1=beam2s(x_platta(1,:), y_platta(1,:), ep_platta, Ed(1,:), ...
eq_platta, 30);
esplatta2=beam2s(x_platta(2,:), y_platta(2,:), ep_platta, Ed(2,:), ...
eq_platta, 30);

```

```

esplatta3=beam2s(x_platta(3,:),y_platta(3,:),ep_platta,Ed(3,:),...
eq_platta,30);
esplatta4=beam2s(x_platta(4,:),y_platta(4,:),ep_platta,Ed(4,:),...
,eq_platta,30);
esplatta5=beam2s(x_platta(5,:),y_platta(5,:),ep_platta,Ed(5,:),...
eq_platta,30);
esplatta6=beam2s(x_platta(6,:),y_platta(6,:),ep_platta,Ed(6,:),...
eq_platta,30);
esplatta7=beam2s(x_platta(7,:),y_platta(7,:),ep_platta,Ed(7,:),...
eq_platta,30);

% Samlar alla snittkrafter i en matris
esplatta=[esplatta1; esplatta2; esplatta3; esplatta4; esplatta5;...
esplatta6; esplatta7] ;

% Tar fram maximala snittkrafterna över stöd
N_max1=max(esplatta(:,1));
T_max1=max(esplatta(:,2));
M_max1=max(esplatta(:,3));

% Tar fram maximala snittkrafter i fält
N_min1=min(esplatta(:,1));
T_min1=min(esplatta(:,2));
M_min1=min(esplatta(:,3));

% Plottar normalkraftsdiagram
figure(5)
title('Normalkraftsdiagram för brobaneplatta - Lastfall 1')

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,1),0.2);

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,1),plotpar, sfac);

% Plottar tvärkraftsdiagram
figure(6)
title('Tvärkraftsdiagram för brobaneplatta - Lastfall 1');

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,2),0.2);
eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,2),plotpar, sfac);

```

---

```
% Plottar momentdiagram
figure(7)
title('Momentdiagram för brobaneplatta - Lastfall 1');

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,3),0.2);

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,3),plotpar, sfac);

end
```

*Published with MATLAB® R2015b*



---

## Table of Contents

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| .....                                | 1 |
| Brobanepatta - Effekt - Fall 2 ..... | 1 |
| Indata .....                         | 1 |
| System och elementegenskaper .....   | 1 |

```
function [N_max2, T_max2, M_max2, N_min2, T_min2, M_min2]=...  
    Brobanepatta_Effekt2_brott(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm)
```

## Brobanepatta - Effekt - Fall 2

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximala snittkrafter i brobanepattan
% för
% fall 2:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maximalt
% moment för brobanepattan. Den belastas med trafiklast i
% mittenfacket
% samt punktlast i mittenfacket. De laster som används är i
% brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                        % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;     % Yttröghetsmoment per breddmeter
    [m^4]
n=7;                           % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

```
Error in Brobanepatta_Effekt2_brott (line 21)
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

```
% x-koordinater och y-koordinater
x_platta= [0 cc;  cc 2*cc;  2*cc (2*cc+(cc-ab)/2); (2*cc+(cc-ab)/2)...
```

---

```

        (2*cc+(cc-ab)/2+ab); (2*cc+(cc-ab)/2+ab) 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc
        5*cc];

y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Axiallaster
f(11)=-P;
f(11+3)=-P;

% Elementlaster
eq_plattatrafik=[0 -(Qg+Qq)];
eq_plattaegen= [0 -Qg];

% Skapar elementstyvhetsmatriser
[Keplatta1, feplatta1]=beam2e(x_platta(1,:), y_platta(1,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta2, feplatta2]=beam2e(x_platta(2,:), y_platta(2,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta3, feplatta3]=beam2e(x_platta(3,:), y_platta(3,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta4, feplatta4]=beam2e(x_platta(4,:), y_platta(4,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta5, feplatta5]=beam2e(x_platta(5,:), y_platta(5,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta6, feplatta6]=beam2e(x_platta(6,:), y_platta(6,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta7, feplatta7]=beam2e(x_platta(7,:), y_platta(7,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);

```

---

```

% Assemblerar in i elementstyvhetsmatriserna i global styvhetsmatris
[K, f]=assem(edof_platta(1,:), K, Keplatta1, f, feplatta1);
[K, f]=assem(edof_platta(2,:), K, Keplatta2, f, feplatta2);
[K, f]=assem(edof_platta(3,:), K, Keplatta3, f, feplatta3);
[K, f]=assem(edof_platta(4,:), K, Keplatta4, f, feplatta4);
[K, f]=assem(edof_platta(5,:), K, Keplatta5, f, feplatta5);
[K, f]=assem(edof_platta(6,:), K, Keplatta6, f, feplatta6);
[K, f]=assem(edof_platta(7,:), K, Keplatta7, f, feplatta7);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

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

% Tar fram förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar fram snittkrafter för varje element
esplatta1=beam2s(x_platta(1,:),y_platta(1,:),ep_platta,Ed(1,:),...
    eq_plattaegen,30);
esplatta2=beam2s(x_platta(2,:),y_platta(2,:),ep_platta,Ed(2,:),...
    eq_plattaegen,30);
esplatta3=beam2s(x_platta(3,:),y_platta(3,:),ep_platta,Ed(3,:),...
    eq_plattatrafik,30);
esplatta4=beam2s(x_platta(4,:),y_platta(4,:),ep_platta,Ed(4,:),...
    eq_plattatrafik,30);
esplatta5=beam2s(x_platta(5,:),y_platta(5,:),ep_platta,Ed(5,:),...
    eq_plattatrafik,30);
esplatta6=beam2s(x_platta(6,:),y_platta(6,:),ep_platta,Ed(6,:),...
    eq_plattaegen,30);
esplatta7=beam2s(x_platta(7,:),y_platta(7,:),ep_platta,Ed(7,:),...
    eq_plattaegen,30);

% Samlar alla snittkrafter i en matris
esplatta=[esplatta1; esplatta2; esplatta3; esplatta4; esplatta5;...
    esplatta6; esplatta7] ;

% Tar fram maximala snittkrafterna över stöd
N_max2=max(esplatta(:,1));
T_max2=max(esplatta(:,2));
M_max2=max(esplatta(:,3));

% Tar fram maximala snittkrafter i fält
N_min2=min(esplatta(:,1));
T_min2=min(esplatta(:,2));
M_min2=min(esplatta(:,3));

% Plottar normalkraftsdiagram
figure(9)
title('Normalkraft för brobaneplatta - Lastfall 2')

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,1),0.2);

```

```

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,1),plotpar, sfac);

```

```

% Plottar tv?rkraftsdiagram

```

```

figure(10)
title('Tvärkraft för brobaneplatta - Lastfall 2');

```

```

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,2),0.2);
eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,2),plotpar, sfac);

```

```

% Plottar momentdiagram

```

```

figure(11)
title('Moment för brobaneplatta - Lastfall 2');
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,3),0.2);

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,3),plotpar, sfac);

```

```

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Brobaneplatta - Effekt - Fall 3 ..... | 1 |
| Indata .....                          | 1 |
| System och elementegenskaper .....    | 1 |

```
function [N_max3, T_max3, M_max3, N_min3, T_min3, M_min3]=...  
    Brobaneplatta_Effekt3_brott(P, Qg, Qq, h_Fb, h_Sl, cc, Ecm)
```

## Brobaneplatta - Effekt - Fall 3

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximala snittkrafter i brobaneplattan
% för
% fall 3:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maximalt
% moment för brobaneplattan. Den belastas med trafiklast i de tre
% första
% facken samt punktlast i mittenfacket. De laster som används är i
% brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                        % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;     % Yttröghetsmoment per breddmeter
    [m^4]
n=7;                           % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

```
Error in Brobaneplatta_Effekt3_brott (line 21)
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

```
% x-koordinater och y-koordinater
x_platta= [0 cc;  cc 2*cc;  2*cc (2*cc+(cc-ab)/2); (2*cc+(cc-ab)/2)...
```

```

        (2*cc+(cc-ab)/2+ab); (2*cc+(cc-ab)/2+ab) 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc
        5*cc];
y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Axiallaster
f(11)=-P;
f(11+3)=-P;

% Elementlaster
eq_plattaegen= [0 -Qg];
eq_plattatrafik=[0 -(Qg+Qq)];

% Skapar elementstyvhetsmatriser
[Keplatta1, feplatta1]=beam2e(x_platta(1,:), y_platta(1,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta2, feplatta2]=beam2e(x_platta(2,:), y_platta(2,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta3, feplatta3]=beam2e(x_platta(3,:), y_platta(3,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta4, feplatta4]=beam2e(x_platta(4,:), y_platta(4,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta5, feplatta5]=beam2e(x_platta(5,:), y_platta(5,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta6, feplatta6]=beam2e(x_platta(6,:), y_platta(6,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta7, feplatta7]=beam2e(x_platta(7,:), y_platta(7,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);

% Assemblerar in elementstyvhetsmatriser i global styvhetsmatrix
[K, f]=assem(edof_platta(1,:), K, Keplatta1, f, feplatta1);

```

---

```

[K, f]=assem(edof_platta(2,:), K, Keplatta2, f, feplatta2);
[K, f]=assem(edof_platta(3,:), K, Keplatta3, f, feplatta3);
[K, f]=assem(edof_platta(4,:), K, Keplatta4, f, feplatta4);
[K, f]=assem(edof_platta(5,:), K, Keplatta5, f, feplatta5);
[K, f]=assem(edof_platta(6,:), K, Keplatta6, f, feplatta6);
[K, f]=assem(edof_platta(7,:), K, Keplatta7, f, feplatta7);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

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

% Tar fram förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar fram snittkrafter för varje element
esplatta1=beam2s(x_platta(1,:),y_platta(1,:),ep_platta,Ed(1,:),...
eq_plattatrafik,30);
esplatta2=beam2s(x_platta(2,:),y_platta(2,:),ep_platta,Ed(2,:),...
eq_plattatrafik,30);
esplatta3=beam2s(x_platta(3,:),y_platta(3,:),ep_platta,Ed(3,:),...
eq_plattatrafik,30);
esplatta4=beam2s(x_platta(4,:),y_platta(4,:),ep_platta,Ed(4,:),...
eq_plattatrafik,30);
esplatta5=beam2s(x_platta(5,:),y_platta(5,:),ep_platta,Ed(5,:),...
eq_plattatrafik,30);
esplatta6=beam2s(x_platta(6,:),y_platta(6,:),ep_platta,Ed(6,:),...
eq_plattaegen,30);
esplatta7=beam2s(x_platta(7,:),y_platta(7,:),ep_platta,Ed(7,:),...
eq_plattaegen,30);

% Samlar alla snittkrafter i en matris
esplatta=[esplatta1; esplatta2; esplatta3; esplatta4; esplatta5;...
esplatta6; esplatta7] ;

% Tar fram maximala snittkrafterna över stöd
N_max3=max(esplatta(:,1));
T_max3=max(esplatta(:,2));
M_max3=max(esplatta(:,3));

% Tar fram maximala snittkrafter i fält
N_min3=min(esplatta(:,1));
T_min3=min(esplatta(:,2));
M_min3=min(esplatta(:,3));

% Plottar normalkraftsdiagram
figure(13)
title('Normalkraft för brobaneplatta - Lastfall 3')

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,1),0.2);

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,1),plotpar, sfac);

```

```

eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,1),plotpar, sfac);

```

```

% Plottar tvärkraftsdiagram

```

```

figure(14)
title('Tvärkraft för brobaneplatta - Lastfall 3');

```

```

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,2),0.2);
eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,2),plotpar, sfac);

```

```

% Plottar momentdiagram

```

```

figure(15)
title('Moment för brobaneplatta - Lastfall 3');
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,3),0.2);

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,3),plotpar, sfac);

```

```

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*



---

## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Brobaneplatta - Effekt - Fall 4 ..... | 1 |
| Indata .....                          | 1 |
| System och beräkningar .....          | 1 |

```
function [N_max4, T_max4, M_max4, N_min4, T_min4, M_min4]=...  
    Brobaneplatta_Effekt4_brottpc(P,Qg,Qq,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm)
```

## Brobaneplatta - Effekt - Fall 4

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximala snittkrafter i brobaneplattan
% för
% fall 4:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal normalkraft, tvärkraft och
% maxiamlt moment för brobaneplattan då
% den belastas med trafiklast i fack 2 och 4 samt punktlast
% i fack 2.
% De laster som används är i brottsgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                        % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;     % Yttröghetsmoment per breddmeter
    [m^4]
n=7;                           % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

```
Error in Brobaneplatta_Effekt4_brottpc (line 22)
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och beräkningar

```
%x-koordinater och y-koordinater
x_platta= [0 cc; cc (cc+(cc-ab)/2); (cc+(cc-ab)/2) (cc+(cc-  
ab)/2+ab); ...  
    (cc+(cc-ab)/2+ab) 2*cc; 2*cc 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc 5*cc];
```

---

```

y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Axiallaster
f(11)=-P;
f(11+3)=-P;

% Elementlaster
eq_plattaegen= [0 -Qg];
eq_plattatrafik=[0 -(Qg+Qq)];

% Skapar elementstyvhetsmatrixer
[Keplatta1, feplatta1]=beam2e(x_platta(1,:), y_platta(1,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta2, feplatta2]=beam2e(x_platta(2,:), y_platta(2,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta3, feplatta3]=beam2e(x_platta(3,:), y_platta(3,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta4, feplatta4]=beam2e(x_platta(4,:), y_platta(4,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta5, feplatta5]=beam2e(x_platta(5,:), y_platta(5,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta6, feplatta6]=beam2e(x_platta(6,:), y_platta(6,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta7, feplatta7]=beam2e(x_platta(7,:), y_platta(7,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);

% Assemblerar in i elementstyvhetsmatrixerna i global styvhetsmatrix

```

---

```

[K, f]=assem(edof_platta(1,:), K, Keplatta1, f, feplatta1);
[K, f]=assem(edof_platta(2,:), K, Keplatta2, f, feplatta2);
[K, f]=assem(edof_platta(3,:), K, Keplatta3, f, feplatta3);
[K, f]=assem(edof_platta(4,:), K, Keplatta4, f, feplatta4);
[K, f]=assem(edof_platta(5,:), K, Keplatta5, f, feplatta5);
[K, f]=assem(edof_platta(6,:), K, Keplatta6, f, feplatta6);
[K, f]=assem(edof_platta(7,:), K, Keplatta7, f, feplatta7);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

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

% Tar fram förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar fram snittkrafter för varje element
esplatta1=beam2s(x_platta(1,:), y_platta(1,:), ep_platta, Ed(1,:), ...
    eq_plattaegen, 30);
esplatta2=beam2s(x_platta(2,:), y_platta(2,:), ep_platta, Ed(2,:), ...
    eq_plattatrafik, 30);
esplatta3=beam2s(x_platta(3,:), y_platta(3,:), ep_platta, Ed(3,:), ...
    eq_plattatrafik, 30);
esplatta4=beam2s(x_platta(4,:), y_platta(4,:), ep_platta, Ed(4,:), ...
    eq_plattatrafik, 30);
esplatta5=beam2s(x_platta(5,:), y_platta(5,:), ep_platta, Ed(5,:), ...
    eq_plattaegen, 30);
esplatta6=beam2s(x_platta(6,:), y_platta(6,:), ep_platta, Ed(6,:), ...
    eq_plattatrafik, 30);
esplatta7=beam2s(x_platta(7,:), y_platta(7,:), ep_platta, Ed(7,:), ...
    eq_plattaegen, 30);

% Samlar alla snittkrafter i en matris
esplatta=[esplatta1; esplatta2; esplatta3; esplatta4; esplatta5; ...
    esplatta6; esplatta7];

% Tar fram maximala snittkrafterna över stöd
N_max4=max(esplatta(:,1));
T_max4=max(esplatta(:,2));
M_max4=max(esplatta(:,3));

% Tar fram maximala snittkrafter i fält
N_min4=min(esplatta(:,1));
T_min4=min(esplatta(:,2));
M_min4=min(esplatta(:,3));

% Plottar normalkraftsdiagram
figure(17)
title('Normalkraft för brobaneplatta - Lastfall 4')

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:), y_platta(n,:), esplatta7(:,1), 0.2);

```

---

```

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,1),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,1),plotpar, sfac);

% Plottar tvärkraftsdiagram
figure(18)
title('Tvärkraftsdiagram - Brobaneplatta - Lastfall 4');

plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,2),0.2);
eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,2),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,2),plotpar, sfac);

% Plottar momentdiagram
figure(19)
title('Momentdiagram - Brobaneplatta - Lastfall 4');
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), esplatta7(:,3),0.2);

eldia2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), esplatta1(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), esplatta2(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), esplatta3(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), esplatta4(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), esplatta5(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), esplatta6(:,3),plotpar, sfac);
eldia2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), esplatta7(:,3),plotpar, sfac);

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Brobaneplatta - Effekt - Fall 1 ..... | 1 |
| Indata .....                          | 1 |
| System och elementegenskaper .....    | 1 |
| Plottning av deformationer .....      | 2 |

### function

```
[Utbojning_max1]=Brobaneplatta_Effekt1_bruk(P_Bruk,Qg_Bruk,...  
Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm)
```

## Brobaneplatta - Effekt - Fall 1

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i brobaneplattan
% för
% fall 1:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för brobaneplattan.
% Den
% belastas med trafiklast i alla facken samt punktlast i mittenfacket.
% De
% laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;          % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                       % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;    % Yttreghetsmoment per breddmeter [m^4]
n=7;                          % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

*Error in Brobaneplatta\_Effekt1\_bruk (line 20)*

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;          % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

```
% x- och y-koordinater
x_platta= [0 cc; cc 2*cc; 2*cc (2*cc+(cc-ab)/2); (2*cc+(cc-ab)/2)...  
(2*cc+(cc-ab)/2+ab); (2*cc+(cc-ab)/2+ab) 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc  
5*cc];
```

---

```

y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Elementlaster
eq_platta= [0 -(Qg_Bruk+Qq_Bruk)];

% Axiallaster
f(11)=-P_Bruk;
f(11+3)=-P_Bruk;

% Skapar elementstyvhetsmatriser och assemblerar in i global
  styvhetsmatrix
for i=1:n;

    [Keplatta, feplatta]=beam2e(x_platta(i,:), y_platta(i,:),
    ep_platta,...
    eq_platta);

    [K, f]=assem(edof_platta(i,:), K, Keplatta, f, feplatta);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

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

% Tar fram varje elements förskjutning
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar fram maximala utböjning
Utböjning_max1=max(a);

```

## Plottning av deformationer

```

figure(8)
plotpar=[1 2 1];

```

---

```

title('Utböjning för brobaneplatta - Lastfall 1')

eldraw2(x_platta(1,:),y_platta(1,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(2,:),y_platta(2,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(3,:),y_platta(3,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(4,:),y_platta(4,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(5,:),y_platta(5,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(6,:),y_platta(6,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(7,:),y_platta(7,:), plotpar) ;

sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), Ed(n,:),0.1);

plotpar=[2 1 1];

eldisp2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), Ed(1,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), Ed(2,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), Ed(3,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), Ed(4,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), Ed(5,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), Ed(6,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), Ed(7,:), plotpar, sfac);

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Brobaneplatta - Effekt - Fall 2 ..... | 1 |
| System och elementegenskaper .....    | 1 |
| Lösning av systemet .....             | 2 |
| Plottning av deformationer .....      | 3 |

### function

```
[Utbojning_max2]=Brobaneplatta_Effekt2_bruk(P_Bruk,Qg_Bruk,...  
      Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm)
```

## Brobaneplatta - Effekt - Fall 2

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i brobaneplattan
% för
% fall 2:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för brobaneplattan.
% Den
% belastas med trafiklast i mittenfacket samt punktlast i
% mittenfacket. De
% laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;          % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                      % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;   % Yttörghetsmoment per breddmeter
    [m^4]
n=7;                          % Antal element

Not enough input arguments.

Error in Brobaneplatta_Effekt2_bruk (line 20)
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;          % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

```
% x- och y-koordinater
x_platta= [0 cc; cc 2*cc; 2*cc (2*cc+(cc-ab)/2); (2*cc+(cc-ab)/2)...
    (2*cc+(cc-ab)/2+ab); (2*cc+(cc-ab)/2+ab) 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc
    5*cc];
y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];
```



---

```

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix samt lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Elementlaster
eq_plattaegen= [0 -Qg_Bruk];
eq_plattatrafik=[0 -(Qg_Bruk+Qq_Bruk)];

% Axiallaster
f(11)=-P_Bruk;
f(11+3)=-P_Bruk;

```

## Lösning av systemet

```

% Elementstyvhetsmatriser och lastvektorer
[Keplatta1, feplatta1]=beam2e(x_platta(1,:), y_platta(1,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta2, feplatta2]=beam2e(x_platta(2,:), y_platta(2,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta3, feplatta3]=beam2e(x_platta(3,:), y_platta(3,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta4, feplatta4]=beam2e(x_platta(4,:), y_platta(4,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta5, feplatta5]=beam2e(x_platta(5,:), y_platta(5,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta6, feplatta6]=beam2e(x_platta(6,:), y_platta(6,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta7, feplatta7]=beam2e(x_platta(7,:), y_platta(7,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);

% Assemblering till global styvhetsmatrix och lastvektor
[K, f]=assem(edof_platta(1,:), K, Keplatta1, f, feplatta1);

```

---

```

[K, f]=assem(edof_platta(2,:), K, Keplatta2, f, feplatta2);
[K, f]=assem(edof_platta(3,:), K, Keplatta3, f, feplatta3);
[K, f]=assem(edof_platta(4,:), K, Keplatta4, f, feplatta4);
[K, f]=assem(edof_platta(5,:), K, Keplatta5, f, feplatta5);
[K, f]=assem(edof_platta(6,:), K, Keplatta6, f, feplatta6);
[K, f]=assem(edof_platta(7,:), K, Keplatta7, f, feplatta7);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar ut förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar ut maximal nedböjning i systemet
Utbojning_max2=max(a);

```

## Plottning av deformationer

```

figure(12)
plotpar=[1 2 1];
title('Utböjning för brobaneplatta - Lastfall 2')

eldraw2(x_platta(1,:),y_platta(1,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(2,:),y_platta(2,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(3,:),y_platta(3,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(4,:),y_platta(4,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(5,:),y_platta(5,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(6,:),y_platta(6,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(7,:),y_platta(7,:), plotpar) ;

sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), Ed(n,:),0.1);

plotpar=[2 1 1];

eldisp2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), Ed(1,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), Ed(2,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), Ed(3,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), Ed(4,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), Ed(5,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), Ed(6,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), Ed(7,:), plotpar, sfac);

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| .....                                | 1 |
| Brobanepatta - Effekt - Fall 3 ..... | 1 |
| Indata .....                         | 1 |
| System och elementegenskaper .....   | 1 |
| Lösning av systemet .....            | 2 |
| Plotning av deformationer .....      | 3 |

### function

```
[Utbojning_max3]=Brobanepatta_Effekt3 Brukc(P_Bruk,Qg_Bruk,...  
Qq_Bruk,h_Fb,h_SL,cc, Ecm)
```

## Brobanepatta - Effekt - Fall 3

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i brobanepattan
% för
% fall 3:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för brobanepattan
% då
% den belastas med trafiklast i de tre första facken samt punktlast
% i mittenfacket.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_SL)*1; % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2; % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_SL)^3)/12; % Yttröghetsmoment per breddmeter
[m^4]
n=7; % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

*Error in Brobanepatta\_Effekt3 Brukc (line 21)*

```
A_Fb=(h_Fb+h_SL)*1; % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

```
% x- och y-koordinater
x_platta= [0 cc; cc 2*cc; 2*cc (2*cc+(cc-ab)/2); (2*cc+(cc-ab)/2)...
```

```

        (2*cc+(cc-ab)/2+ab); (2*cc+(cc-ab)/2+ab) 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc
        5*cc];
y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Toplogimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatris och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Elementlaster
eq_plattaegen= [0 -Qg_Bruk];
eq_plattatrafik=[0 -(Qg_Bruk+Qq_Bruk)];

% Axiallaster
f(11)=-P_Bruk;
f(11+3)=-P_Bruk;

```

## Lösning av systemet

```

% Elementstyvhetsmatriser och elementlastvektorer
[Keplatta1, feplatta1]=beam2e(x_platta(1,:), y_platta(1,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta2, feplatta2]=beam2e(x_platta(2,:), y_platta(2,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta3, feplatta3]=beam2e(x_platta(3,:), y_platta(3,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta4, feplatta4]=beam2e(x_platta(4,:), y_platta(4,:),
    ep_platta,...
    eq_plattatrafik);
[Keplatta5, feplatta5]=beam2e(x_platta(5,:), y_platta(5,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta6, feplatta6]=beam2e(x_platta(6,:), y_platta(6,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);
[Keplatta7, feplatta7]=beam2e(x_platta(7,:), y_platta(7,:),
    ep_platta,...
    eq_plattaegen);

```

```

eq_plattaegen);

% Assemblering till global styvhetsmatris och lastvektor
[K, f]=assem(edof_platta(1,:), K, Keplatta1, f, feplatta1);
[K, f]=assem(edof_platta(2,:), K, Keplatta2, f, feplatta2);
[K, f]=assem(edof_platta(3,:), K, Keplatta3, f, feplatta3);
[K, f]=assem(edof_platta(4,:), K, Keplatta4, f, feplatta4);
[K, f]=assem(edof_platta(5,:), K, Keplatta5, f, feplatta5);
[K, f]=assem(edof_platta(6,:), K, Keplatta6, f, feplatta6);
[K, f]=assem(edof_platta(7,:), K, Keplatta7, f, feplatta7);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar ut förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar ut maximala utböjningen i systemet
Utbojning_max3=max(a);

```

## Plottning av deformationer

```

figure(16)
plotpar=[1 2 1];
title('Utböjning för brobaneplatta - Lastfall 3')

eldraw2(x_platta(1,:),y_platta(1,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(2,:),y_platta(2,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(3,:),y_platta(3,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(4,:),y_platta(4,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(5,:),y_platta(5,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(6,:),y_platta(6,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(7,:),y_platta(7,:), plotpar) ;

sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), Ed(n,:),0.1);

plotpar=[2 1 1];

eldisp2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), Ed(1,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), Ed(2,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), Ed(3,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), Ed(4,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), Ed(5,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), Ed(6,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), Ed(7,:), plotpar, sfac);

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## Table of Contents

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| .....                                 | 1 |
| Brobaneplatta - Effekt - Fall 4 ..... | 1 |
| Indata .....                          | 1 |
| System och elementegenskaper .....    | 1 |
| Lösning av systemet .....             | 2 |
| Plotting av deformationen .....       | 3 |

### function

```
[Utbojning_max4]=Brobaneplatta_Effekt4 Brukc(P_Bruk,Qg_Bruk,...  
Qq_Bruk,h_Fb,h_Sl,cc, Ecm)
```

## Brobaneplatta - Effekt - Fall 4

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av maximal nedböjning i brobaneplattan
% för
% fall 4:
%
% I denna funktionsfil beräknas maximal nedböjning för brobaneplattan
% då
% den belastas med trafiklast i fack 2 och 4 samt punktlast i fack
% 2.
% De laster som används är i bruksgränstillstånd.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
ab=1.2;                        % Bredd mellan axlar för punktlast
I_Fb=(1*(h_Fb+h_Sl)^3)/12;    % Yttröghetsmoment per breddmeter [m^4]
n=7;                          % Antal element
```

*Not enough input arguments.*

*Error in Brobaneplatta\_Effekt4 Brukc (line 20)*

```
A_Fb=(h_Fb+h_Sl)*1;           % Area per breddmeter [m^2]
```

## System och elementegenskaper

x- och y-koordinater för varje element

---

```

x_platta= [0 cc; cc (cc+(cc-ab)/2); (cc+(cc-ab)/2) (cc+(cc-ab)/2+ab);...
(cc+(cc-ab)/2+ab) 2*cc; 2*cc 3*cc; 3*cc 4*cc; 4*cc 5*cc];
y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global elementstyvhetsmatrix samt lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);
% Elementlaster
eq_plattaegen= [0 -Qg_Bruk];
eq_plattatrafik=[0 -(Qg_Bruk+Qq_Bruk)];

% Axellaster
f(11)=-P_Bruk;
f(11+3)=-P_Bruk;

```

## Lösning av systemet

```

% Elementstyvhetsmatriser och elementlastvektorer
[Keplatta1, feplatta1]=beam2e(x_platta(1,:), y_platta(1,:),...
ep_platta, eq_plattaegen);
[Keplatta2, feplatta2]=beam2e(x_platta(2,:), y_platta(2,:),...
ep_platta, eq_plattatrafik);
[Keplatta3, feplatta3]=beam2e(x_platta(3,:), y_platta(3,:),...
ep_platta, eq_plattatrafik);
[Keplatta4, feplatta4]=beam2e(x_platta(4,:), y_platta(4,:),...
ep_platta, eq_plattatrafik);
[Keplatta5, feplatta5]=beam2e(x_platta(5,:), y_platta(5,:),...
ep_platta, eq_plattaegen);
[Keplatta6, feplatta6]=beam2e(x_platta(6,:), y_platta(6,:),...
ep_platta, eq_plattatrafik);
[Keplatta7, feplatta7]=beam2e(x_platta(7,:), y_platta(7,:),...
ep_platta, eq_plattaegen);

% Assemblering till global
% styvhetsmatrix och lastvektor
[K, f]=assem(edof_platta(1,:), K, Keplatta1, f, feplatta1);
[K, f]=assem(edof_platta(2,:), K, Keplatta2, f, feplatta2);
[K, f]=assem(edof_platta(3,:), K, Keplatta3, f, feplatta3);

```

---

```

[K, f]=assem(edof_platta(4,:), K, Keplatta4, f, feplatta4);
[K, f]=assem(edof_platta(5,:), K, Keplatta5, f, feplatta5);
[K, f]=assem(edof_platta(6,:), K, Keplatta6, f, feplatta6);
[K, f]=assem(edof_platta(7,:), K, Keplatta7, f, feplatta7);

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

% Lösning av systemet
[a, r]=solveq(K, f, bc);

% Tar ut förskjutningar för varje element
Ed=extract(edof_platta, a);

% Beräknar maximal utböjning
Utböjning_max4=max(a);

```

## Plottning av deformationen

```

figure(20)
plotpar=[1 2 1];
title('Nedböjning - Brobaneplatta - Lastfall 4')

eldraw2(x_platta(1,:),y_platta(1,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(2,:),y_platta(2,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(3,:),y_platta(3,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(4,:),y_platta(4,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(5,:),y_platta(5,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(6,:),y_platta(6,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(7,:),y_platta(7,:), plotpar) ;

sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), Ed(n,:),0.1);
plotpar=[2 1 1];

eldisp2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), Ed(1,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), Ed(2,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), Ed(3,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), Ed(4,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), Ed(5,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), Ed(6,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), Ed(7,:), plotpar, sfac);

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*



## **H.4 Kapacitet**

## H.4.1 Brobana

### Table of Contents

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| .....                           | 1 |
| Brobaneplatta - Kapacitet ..... | 1 |
| Indata .....                    | 1 |
| Uppskattning av armering .....  | 2 |
| Momentkapacitet .....           | 2 |
| Tvärkraftskapacitet .....       | 4 |

```
function [Mrd_f, Mrd_sup, Vrd_c, Vrd, n_f, n_sup, n_t, s, Dm, Dt]=...  
    Brobaneplattakapacitet(h, Med_sup_in, Med_f_in, Ved_in)
```

### Brobaneplatta - Kapacitet

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av kapacitet i brobaneplattan:
%
% I denna funktionsfil beräknas moment-, tvärkraft- och
% normalkraftkapacitet. Även kontroll av knäckning görs.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

### Indata

```
Med_sup = Med_sup_in / 17;    % Räknar om momentet till Nm/m
Med_f = Med_f_in / 17;
Ved = Ved_in / 17;

Ecm=31*10^9;                  % Betong E-modul
fck=30*10^6;                  % [MPa] Betong C30/37
alfacc= 1;                    % Faktor hållfasthetsreduktion,
                              % Långvarig belastning
yc=1.5;                       % Partialkoefficient för betong
fcd= (alfacc*fck)/yc;         % [MPa]

% Armering B500B
Es=200*10^9;                  % [Pa] stål E-Modul B2-25
fyk= 500*10^6;                % [MPa] stålets flytgräns
ys=1.15;                      %
fyd=fyk/ys;                   % Spänningar då stålet flyter
sigmaS=fyd;                   % Antar armering flyter

Not enough input arguments.
```

---

```

y_platta= [0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0; 0 0];

% Topologimatrix
edof_platta= [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];

% Elementegenskaper
ep_platta=[Ecm A_Fb I_Fb];

% Fördimensionerar global styvhetsmatrix och lastvektor
K= zeros(24);
f=zeros(24,1);

% Elementlaster
eq_platta= [0 -(Qg_Bruk+Qq_Bruk)];

% Axiallaster
f(11)=-P_Bruk;
f(11+3)=-P_Bruk;

% Skapar elementstyvhetsmatriser och assemblerar in i global
  styvhetsmatrix
for i=1:n;

    [Keplatta, feplatta]=beam2e(x_platta(i,:), y_platta(i,:),
    ep_platta,...
    eq_platta);

    [K, f]=assem(edof_platta(i,:), K, Keplatta, f, feplatta);
end

% Randvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 17 0; 20 0; 23 0];

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

% Tar fram varje elements förskjutning
Ed=extract(edof_platta, a);

% Tar fram maximala utböjning
Utböjning_max1=max(a);

```

## Plottning av deformationer

```

figure(8)
plotpar=[1 2 1];

```

---

```

title('Utböjning för brobaneplatta - Lastfall 1')

eldraw2(x_platta(1,:),y_platta(1,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(2,:),y_platta(2,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(3,:),y_platta(3,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(4,:),y_platta(4,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(5,:),y_platta(5,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(6,:),y_platta(6,:), plotpar) ;
eldraw2(x_platta(7,:),y_platta(7,:), plotpar) ;

sfac=scalfact2(x_platta(n,:),y_platta(n,:), Ed(n,:),0.1);

plotpar=[2 1 1];

eldisp2(x_platta(1,:), y_platta(1,:), Ed(1,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(2,:), y_platta(2,:), Ed(2,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(3,:), y_platta(3,:), Ed(3,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(4,:), y_platta(4,:), Ed(4,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(5,:), y_platta(5,:), Ed(5,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(6,:), y_platta(6,:), Ed(6,:), plotpar, sfac);
eldisp2(x_platta(7,:), y_platta(7,:), Ed(7,:), plotpar, sfac);

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

## H.4.2 Båge

### Table of Contents

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| .....                                                               | 1 |
| Kapacitet - Båge .....                                              | 1 |
| Indata .....                                                        | 1 |
| Beräkningar - Tvärkraftskapacitet och momentkapacitet .....         | 2 |
| Knäckning .....                                                     | 3 |
| Beräkningar - Normalkraftskapacitet med avseende på knäckning ..... | 4 |

```
function [Mrd_b, Vbw_rd, Nrd]=Bagbrokapacitetc(Ned_b, Ved_b, Med_b,  
    hw, ...  
        bw, bf, tf)
```

### Kapacitet - Båge

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkningar av kapacitet av båge:
%
% I denna funktionsfil beräknas moment-, tvärkraft- och
% normalkraftkapacitet. även kontroll av knäckning görs.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

### Indata

```
X_LT=1; % Reduktionsfaktor vippning
Gamma_0=1.1; % Partialkoefficient
Gamma_1=1.0; % Partialkoefficient hållf.
toj=1.2 ; % Stålets töjningshårdnandefaktor
kt=5.34 ; % Bucklingkoefficient
kyy=1.5; % Interaktionsfaktor % EN
1993-1-1
f_y= 460*10^6; % [Pa] Stålets flytgräns
Es=210*10^9; % [Pa] Stålets E-modul
bfb=bf-2*tf;
h=hw+2*tf;
d=hw;

Not enough input arguments.

Error in Bagbrokapacitetc (line 26)
bfb=bf-2*tf;
```

---

# Beräkningar - Tvärkraftskapacitet och momentkapacitet

Tvärkraft Beräkning av bågens tvärsnittsklass för liv och flöns

```
eps=sqrt((235*10^6)/f_y) ;
```

```
I=2*(bw*hw^3)/12+ 2*((bf*tf^3)/12+...           % Tröghetsmoment, Ix
    tf*bf*((hw+tf)/2)^2);
```

```
Wel=I/(h/2);                                     % Elastiskt böjmotst?
```

```
nd
```

```
Wpl=tf*bf*(tf+hw)+2*(bw*hw^2)/4;               % Plastiskt böjmotst?
```

```
nd
```

```
% Kontroll av tvärsnittsklass
```

```
if d/bw <= 72*eps
```

```
    liv_klass_boj=1;
```

```
elseif d/bw <= 83*eps
```

```
    liv_klass_boj=2;
```

```
elseif d/bw <= 124*eps
```

```
    liv_klass_boj=3;
```

```
end
```

```
if bfb/tf <=33*eps
```

```
    liv_klass_tryck=1;
```

```
elseif bfb/tf <=38*eps
```

```
    liv_klass_tryck=2;
```

```
elseif bfb/tf<=42*eps
```

```
    liv_klass_tryck=3;
```

```
end
```

```
if liv_klass_boj<=1 && liv_klass_tryck<=1
```

```
    w=wpl;
```

```
elseif liv_klass_boj<=2 && liv_klass_tryck<=2
```

```
    w=wpl;
```

```
elseif liv_klass_boj<=3 && liv_klass_tryck<=3
```

```
    w=Wel;
```

```
end
```

```
Mrd_b= X_LT*W*(f_y/Gamma_1);
```

```
% Beräkning av bågens tvärkraftkapacitet, Vrd
```

```
toj=1.2;                                         %Töjningsfaktor för stålqualität under
S460
```

```
kt=5.34;                                       %Ändavstyvningar
```

```
landaw=(hw/bw)/(37.4*eps*sqrt(kt));
```

```
Gamma_0=1.1;
```

```
Av=toj*hw*bw;
```

---

```

if (hw*toj)/(bw*eps) < 72

% Slankhetsgräns
% Antar styva avstyvningar

if landaw < 0.8/toj
    Xw=toj;
elseif 0.8/toj < landaw < 1.08
    Xw=0.83/landaw;
elseif landaw > 1.08
    Xw=0.83/landaw;
end

Liv=2; % Antal liv
Vbw_rd=Xw*Liv*hw*bw*(f_y/(sqrt(3)*Gamma_1)); %
    Tvärkraftskapaciteten % hos slanka balkliv

else
    Vbw_rd= Liv*Av*(f_y /sqrt(3))/Gamma_0;
end

% Momentberäkning
% Flänsarens momentkapacitet

Wpl_f=2*(tf*bf*(hw/2+tf/2)) ;
Mf_rd=Wpl_f*(f_y/Gamma_1);

Mpl_rd=X_LT*Wpl*(f_y/Gamma_1);

% Kontroll - Interaktion moment och tvärkraft

if (Med_b<Mf_rd && Ved_b<Vbw_rd) | (Ved_b <= 0.5*Vbw_rd)
    disp('Ingen interaktion är nödvändig')
elseif Med_b<=Mf_rd+(Mpl_rd-Mf_rd)*(1-((2*Ved_b)/Vbw_rd-1)^2)
    disp('Bågens kapaciteten är tillräcklig med hänsyn till
    interaktion')
else
    disp('Bågens kapacitet ej tillräcklig med hänsyn till
    interaktion) ')
end

```

## Knäckning

Kontroll för knäckning i bågprofil för stpelare i tryck och böjning (EC3)

```

% Beräkning av längsta båglängd
Q=zeros(1,20);
for j=1:20

a=4.65*(j-1);
b=a+4.65;
f=@(x)sqrt(1+(-0.02774*x+1.2899).^2);

```

---

```

q=integral(f,a,b);
Q(j) = q;
end

baglangd=max(q);

% Beräkning av knäcklängd
Betac=0.8; % För stång, fast inspänd
i % ena änden och ledad i
andra.
L=baglangd;
Lc=Betac*L; % Knäcklängd

% Beräkning av knäckningskonstanter
Abage=2*bf*tf+2*hw*bw;
i=sqrt(I/Abage);
landa=Lc/i; % S6-10
landaR=(landa/pi)*sqrt(f_y/Es);
alfaimp=0.34; % Imperfektionsfaktor
% för imperfektionsklass b

Fi=0.5*(1+alfaimp*(landaR-0.2)+landaR^2);
X_si=1/(Fi+sqrt(Fi^2-landaR^2)); % Reduktionsfaktor
% för knäckning

```

## Beräkningar - Normalkraftskapacitet med avseende på knäckning

```

kontroll= Ned_b/(X_si*Abage*(f_y/Gamma_1))+(kyy*Med_b)/Mrd_b;

if kontroll <=1
disp('Normalkraftskapacitet kan beräknas utan att hänsyn till
knäckning ')
Nrd=Abage*(f_y/Gamma_0); % Kapacitet enligt
% EC 1993-1-1:2005
ekv(6-10)
else
disp('Normalkraftskapacitet i båge beräknas med beaktning av risk
för knäckning')
Nrd=(Abage*X_si*f_y)/Gamma_1;
end
end

```

*Published with MATLAB® R2015b*



---

### H.4.3 Dragband

```
function [Nrd_f]=Dragband_kapacitetc(A_Db)
```

## Dragband - Kapacitet

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av kapacitet av dragband:
%
% Denna funktionsfil beräknar dragkapaciteten i dragbandet.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Beräkning - Dragkapacitet

```
f_y = 460*10^6; % Flytgräns för stålaterialet S460
d? % t<40mm [Pa], om t>40mm f_y =
430*10^6
Nrd_f = A_Db*f_y; % [N] (Ekv. S3-2)
Not enough input arguments.
Error in Dragband_kapacitetc (line 19)
Nrd_f = A_Db*f_y; % [N] (Ekv. S3-2)
end
```

Published with MATLAB® R2015b

---

## H.4.4 Tvärbalk

### Table of Contents

|                                                      |   |
|------------------------------------------------------|---|
| .....                                                | 1 |
| Tvärbalk - Kapacitet .....                           | 1 |
| Indata .....                                         | 1 |
| Beräkning - Momentkapacitet .....                    | 2 |
| Beräkning - Tvärkraft vid tvärbalkarnas upplag ..... | 2 |
| Beräkning - Momentkapacitet flänsar .....            | 3 |
| Kontroll - Interaktion moment och tvärkraft .....    | 3 |

```
function [Mrd_t, Vbw_rd]=TvarbalkarKapacitetc(Med_t, Ved_t, h, bw, bf,
tf)
```

### Tvärbalk - Kapacitet

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkningar av kapacitet av tvärbalk:
%
% Denna funktionsfil beräknar moment- och tvärkraftskapacitet för
% tvärbalkarna.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

### Indata

```
f_y = 355*10^6;           % Flytgräns för stålmaterial S355 (Om
    t<40mm)[Pa]
X_LT = 1.0;               % Reduktionsfaktor map. vippning,
                           % ingen risk föreligger (S71)
Gamma_1 = 1.0 ;           % Partialfaktor som beaktar materialets
Gamma_0=1.1;              % hållfasthet (S71)

eta=1.2;                  % Faktor som beaktar stålets töjningshårdnande
hw=h-2*tf;
a=0.012;
d=hw-2*sqrt(2)*a;
c=(bf-bw)/2-sqrt(2)*a;

    Not enough input arguments.

Error in TvarbalkarKapacitetc (line 23)
    hw=h-2*tf;
```

---

## Beräkning - Momentkapacitet

```
eps=sqrt((235*10^6)/f_y) ;
Ix=(bw*hw^3)/12+ 2*((bf*tf^3)/12+tf*bf*((hw+tf)/2)^2); %
    Tröghetsmoment
Wel=Ix/(h/2); % Elastiskt
    böjmotstånd
Wpl=tf*bf*(tf+hw)+(bw*hw^2)/4; % Plastiskt
    böjmotstånd

% Tvärsnittsklass liv
if d/bw <= 72*eps
    liv_klass=1;
elseif d/bw <= 83*eps
    liv_klass=2;
elseif d/bw <= 124*eps
    liv_klass=3;
end

% Tvärsnittsklass fläns
if c/tf <=9*eps
    flans_klass=1;
elseif c/tf <=10*eps
    flans_klass=2;
elseif c/tf<=14*eps
    flans_klass=3;
end

% Tvärsnittsklasser avgör plastiskt eller elastiskt böjmotstånd
if liv_klass<=1 && flans_klass<=1
    w=wpl;
elseif liv_klass<=2 && flans_klass<=2
    w=wpl;
elseif liv_klass<=3 && flans_klass<=3
    w=wel;
end

% Momentkapacitet
Mrd_t= X_LT*W*(f_y/Gamma_1);
```

## Beräkning - Tvärkraft vid tvärbalkarnas upplag

```
toj=1.2; % Töjningsfaktor för
          % Stålkvalitet under
          S460
kt=5.34; % Ändavstyvningar
landaw=(hw/bw)/(37.4*eps*sqrt(kt));
Av=toj*hw*bw;

if (hw*toj)/(bw*eps) < 72
if landaw < 0.8/toj % Slankhetsgräns
```

---

```

        Xw=toj; % Antar styva
        avstyvningar
    elseif 0.8/toj < landaw < 1.08
        Xw=0.83/landaw;
    elseif landaw > 1.08
        Xw=0.83/landaw;
    end

    Vbw_rd=Xw*hw*bw*(f_y/(sqrt(3)*Gamma_1)); %
    Tvärkraftskapaciteten % hos slanka balkliv

else
    Vbw_rd= Av*(f_y /sqrt(3))/Gamma_0;
end

```

## Beräkning - Momentkapacitet flänsar

```

Wpl_f=2*(tf*bf*(hw/2+tf/2)); % Plastiskt
    böjmotstånd

Mf_rd=Wpl_f*(f_y/Gamma_1); % fläns
    fläns % Momentkapacitet

```

## Kontroll - Interaktion moment och tvärkraft

```

Mpl_rd=X_LT*Wpl*(f_y/Gamma_1);

if (Med_t<Mf_rd && Ved_t<Vbw_rd) | (Ved_t <= 0.5*Vbw_rd)
    disp('Ingen interaktion är nödvändig')
elseif Med_t<=Mf_rd+(Mpl_rd-Mf_rd)*(1-((2*Ved_t)/Vbw_rd-1)^2)
    disp('Tillräcklig tvärkraftskapacitet med hänsyn till interaktion')
else
    error('Ej tillräcklig tvärkraftskapacitet med hänsyn till
    interaktion')
end

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

## H.4.5 Hängare

### Table of Contents

|                                                                             |   |
|-----------------------------------------------------------------------------|---|
| .....                                                                       | 1 |
| Hängare - Kapacitet .....                                                   | 1 |
| Indata .....                                                                | 1 |
| Beräkning - Normalkraftskapacitet - Hängare .....                           | 1 |
| Beräkning - Hängarnas infästning .....                                      | 1 |
| Beräkning av kapacitet för hållkanbrott i plåt och skjuvbrott i skruv ..... | 2 |

```
function [Nrd_h, D_h, Frd]=Hangarekapacitetc(Ned_h, cc, T_S)
```

### Hängare - Kapacitet

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av kapacitet av hängare samt infästning:
%
% Denna funktionsfil beräknar hängarnas normalkraftskapacitet samt
% kapacitet för hållkanbrott i plåt och skjuvbrott i skruv.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

### Indata

```
N = Ned_h;
rastal=T_S;
CC_h=cc ;
fy=355*10^6;           %[Pa] Stålets flytspänning
A_H=N/fy;              % Massiva stänger
r=sqrt(A_H/pi);
D_h=2*r;               % Hängarnas diameter [m]
```

*Not enough input arguments.*

*Error in Hangarekapacitetc (line 16)*

*N = Ned\_h;*

### Beräkning - Normalkraftskapacitet - Hängare

```
Nrd_h = A_H*fy;        % [N]
```

### Beräkning - Hängarnas infästning

```
%Vald skruv M48 , 10.9
```

---

```

fub=1000*10^6;           % [Pa] Skruvens brotthållfasthet
fu=510*10^6;             % [Pa] stålplattans brotthållfasthet
alfav=0.6;               % Reduktionsfaktor om skjuvsnitt i
                          % gängad del
t1=0.06 ;               % Infästningsplåt tjocklek [m]
t2=0.06 ;               % Upphängningsplåt tjocklek [m]

Gamma_2=1.25;           % Partiallkoefficient.

d=0.048;                % Skruvens diameter [m]

%Infästningens mått
e1=0.2;                 % Avståndet mellan hålcentrum och
                          % kant vinkelrätt med farbanan [m]
e2=0.2;                 % Avståndet mellan hålcentrum och kant
                          % längs farbanans riktning [m]

d0=d+0.003;             % Hålets diameter för M27 och större
                          % [m]

Ahal= (pi*d^2)/4;       % Skruvens area [m]

```

## Beräkning av kapacitet för hållkanbrott i plåt och skjuvbrott i skruv

```

k1=min([(2.8*(e2/d0)-1.7), 2.5]); % Hänsyn till brottmod
alfad= e1/(3*d0);                 % Reduktionsfaktor
alfab=min([alfad , (fub/fu), 1]);

% Kontroll av kapacitet mot skjuvbrott i skruv

Fv_rd1=(alfav*fub*A_H)/Gamma_2;   % 1 skär [N]
Fv_rd2=2*(alfav*fub*A_H)/Gamma_2; % 2 skär [N]

% Kontroll av hållkansbrott i plåt

Fb_rd=(k1*alfab*fu*d*t2)/Gamma_2; %[N]

Frd=min([Fv_rd1 , Fv_rd2 , Fb_rd]); % Dimensioneras efter den
                                      % största sannolikheten
                                      % för brott

end

```

*Published with MATLAB® R2015b*

---

## H.4.6 Svetsar

### Table of Contents

|                                                |   |
|------------------------------------------------|---|
| .....                                          | 1 |
| Kapacitet - Svetsar .....                      | 1 |
| Indata .....                                   | 1 |
| Svets mellan hängare och tvärbalk / båge ..... | 2 |
| Svets mellan förstärkningsbalk och båge .....  | 2 |

```
function [Svets1,Svets2]=Svetsarc(hw_T,d_Db, R_Trafik_brott,N_F)
```

## Kapacitet - Svetsar

```
%=====
%
% Funktionsfil för beräkning av kapacitet av svetsar:
%
% Denna funktionsfil beräknar och kontrollerar kapaciteten för svetsar
% mellan hängare och tvärbalk/båge samt mellan båge och dragband.
%
% Kandidatarbete BMTX01-17-50: Karolina Beskow, Gabriel Borg, Johanna
% Henriksson, Albin Johansson, Antonia Ramböl Bryntesson, Marie Ås
%
%=====
%
```

## Indata

```
a1=0.008; % Svetsarnas mellan tvärbalk och hängare a-
mått
a2=0.014; % Svetsarna mellan förstärkningsbalk
% och bågens a-mått
r_f=d_Db/2; % Diameter på förstärkningsbalk
l1=4*hw_T; % Längden på den vertikala svetsen
% mellan tvärbalk och hängare
l2=(2*pi*r_f); % Längden på svetsen mellan
% förstärkningsbalk och båge
fu=490*10^6; % Brothållfasthet för grundmaterialet
Bw=0.9; % Korrelationsfaktor
Ym2=1.25; % Partialkoefficient
V=max(abs(R_Trafik_brott)); % Maximal tvärkraft i stöd på
tvärbalk
N=N_F(1); % Normalkraft i förstärkningsbalkarna (ska
hämtas)

Not enough input arguments.

Error in Svetsarc (line 20)
r_f=d_Db/2; % Diameter på förstärkningsbalk
```

---

## Svets mellan hängare och tvärbalk / båge

```
% Spänningar
Tao01=V/(2*l1*a1);           % Skjuvspänning parallellt
svetsen

Sigma901=0;                  % Normalspänning vinkelrät
svetsen

Tao901=0;                    % Skjuvspänning vinkelrät svetsen

% Kontroll av kapacitet

if sqrt(Sigma901^2+(3*(Tao01^2+Tao901^2))<(fu/Bw*Ym2) && ...
    Sigma901<(0.9*fu/Ym2);
    Svets1=1;
else Svets1=2;
end
```

## Svets mellan förstyrningsbalk och båge

```
%Spänningar

Sigma902=N/(l2*sqrt(2)*a2);  % Normalspänning vinkelrät
svetsen

Tao902=Sigma902;             % Skjuvspänning vinkelrät svetsen

Tao02=0;                     % Skjuvspänning parallellt svetsen

%Kontroll av kapacitet

if sqrt(Sigma902^2+(3*(Tao02^2+Tao902^2))<(fu/Bw*Ym2) && ...
    Sigma902<(0.9*fu/Ym2)
    Svets2=1;
else Svets2=2;
end

end
```

*Published with MATLAB® R2015b*