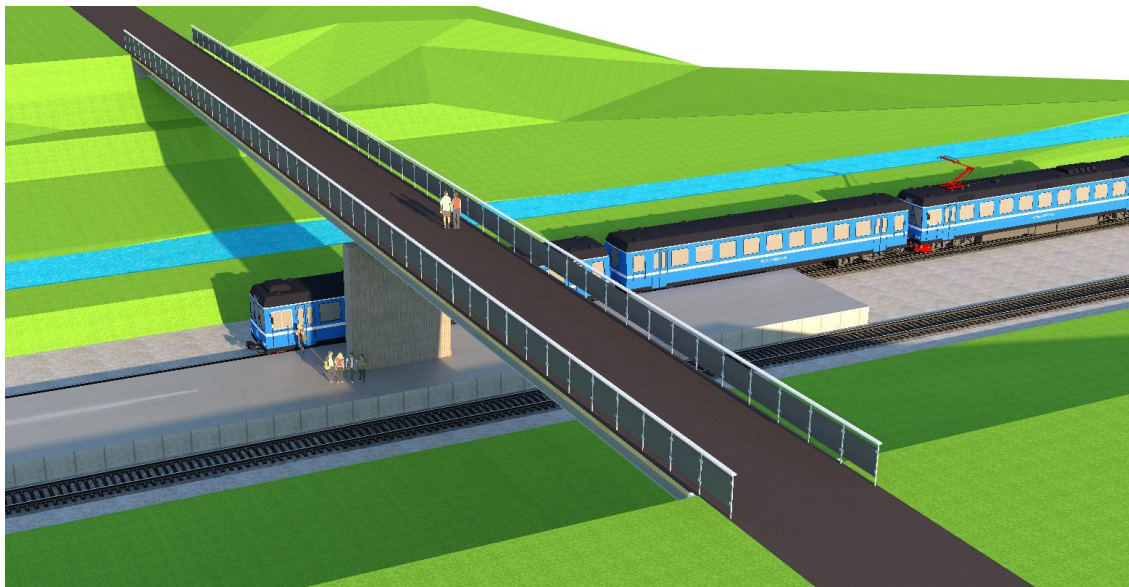


# CHALMERS



## Projektering av gång- och cykelbro vid Hägernäs station Konceptuell design och preliminär dimensionering

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet  
Väg- och vattenbyggnad*

VIKTORIA BODÉN  
MICHAELA HENRIKSSON  
REBECCA HENRIKSSON  
ERIK KARLSSON  
STINA LUNDIN  
ELINA ULANDER

Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2017  
BMTX01-17-52



Projektering av gång- och cykelbro vid Hägernäs station

Konceptuell design och preliminär dimensionering

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet*

*Väg- och vattenbyggnad*

VIKTORIA BODÉN

MICHAELA HENRIKSSON

REBECCA HENRIKSSON

ERIK KARLSSON

STINA LUNDIN

ELINA ULANDER

Institutionen för Bygg- och miljöteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Hägernäs station är belägen i Täby, norr om Stockholm, och är en av de stationer som finns längs med Roslagsbanan. En del i åtgärdsprogrammet för att förbättra kapaciteten på Roslagsbanan, är byggande av en gång- och cykelbro över Hägernäs Station. Bron har projekterats till att bli 73 meter lång och 5 meter bred.

Syftet har varit att, bland framtagna idékoncept, ta fram det mest lämpliga konceptet på en gång- och cykelbro över Hägernäs station och utifrån detta koncept göra en preliminär dimensionering utifrån givna förutsättningar, normer och krav. För att avgöra vilket brokoncept som är mest lämpat har en litteraturstudie med fokus på konstruktionsmaterial, brotyper samt produktionsmetoder genomförts. Denna har genomförts för att ha kunnat bistå med adekvat material till den urvalsprocess som därefter genomfördes. Urvalsprocessen skedde därefter i två steg, där olämpliga brotyper sorterades bort vid första urvalet. I andra urvalet viktades de kvarstående idékoncepten mot varandra utifrån valda kriterier. Urvalsprocessen mynnade därefter ut i ett slutgiltigt brokoncept, en balkbro i stål med ett mellanliggande skivstöd i betong. De spännvidder som uppnås är 31,8 meter respektive 41,2 meter och överbyggnaden har getts ett I-tvårsnitt i ett trebalkssystem bestående av stål. Konceptet har sedan vidareutvecklats genom tillägg i form av landfästen i form av vingmurar, en farbana i trä, beläggning i asfalt, räcken i stål och polykarbonat samt avrinningssystem.

Vidare har dimensionering skett med hänsyn till de laster som verkar i längsled och i tvärled, samt med hänsyn till brott- och bruksgränstillstånd. Genom olika kombinationsregler har, beroende på om brottgräns- eller bruksgränstillstånd studerats, dimensionerande lastkombinationer beräknats. Lastkombinationerna, tillsammans med dimensionerande lastfall, har legat till grund för beräkning och analys av moment, tvärkraft samt nedböjning.

Från den preliminära dimensioneringen har brokonceptets kvalifikation fastslagits som god, då dess bärförmåga har kravanpassats för både brottgräns- och bruksgränstillstånd.

Nyckelord: Preliminär dimensionering, balkbro, stålbro, trebalkssystem, konceptuell design.

Omslag:

Konceptuell design av det färdiga brokonceptet av Borjan Tasic

Institutionen för Bygg- och miljöteknik

Göteborg 2017

BMTX01-17-52

Pedestrian bridge concept proposed for development of Hägernäs station  
Conceptual design and preliminary dimensioning of the bridge  
Bachelor Thesis  
Building and Civil Engineering

VIKTORIA BODÉN  
MICHAELA HENRIKSSON  
REBECCA HENRIKSSON  
ERIK KARLSSON  
STINA LUNDIN  
ELINA ULANDER

Department of Civil and Environmental Engineering  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

Hägernäs Station is located in Täby, a municipality north of Stockholm (Sweden). It is one of the stations by Roslagsbanan, a commuter railway. The capacity of Roslagsbanan is to be expanded to improve the accessibility in favor for the public. One part of the action program is to build a pedestrian bridge at Hägernäs Station. The bridge has been designed to extend 73 meters of length and to be 5 meters wide.

The purpose of this thesis is to present different ideas of a concept for a pedestrian bridge crossing the Hägernäs station, to evaluate the most qualified concept and to do a preliminary dimensioning of the chosen concept. The conceptual design and dimensioning is executed according to requires, standards and regulations.

The evaluation process has been based on a literature study, focused on building materials, bridge types and building methods. The evaluation process was then carried out in two steps, the first one to sift out the unsuitable bridge types and the second one to compare the ones remaining according to assorted criteria's. The evaluation process resulted in a final concept, a girder steel bridge, with a concrete mid support. This results in spans of 31,8 meters and 41,2 meters. The superstructure has been given an I-cross section in a triple-girder system consisting of steel. Further on, the concept then advanced by abutment in form of wing walls, a wooden deck, a bitumen paving, parapets in steel and polycarbonate and a gutter system.

Dimensioning has been done according to longitudinally and transverse acting loads, and according to ultimate limit or serviceability limit state. Through different conditions for combining loads, seen to whether longitudinally and transverse line is being studied, combination of actions have been calculated. The combinations of loads together with the combinations of actions, have been underlying the calculations and analysis regarding bending moment, shear force and deflection.

Based on the preliminary dimensioning, the qualification of the conceptual design has been established as sufficient, since its load capacity has been checked for both failure and operating limit conditions.

Key words: preliminary dimensioning, girder bridge, steel bridge, triple-girder system, conceptual design.

# Innehåll

SAMMANFATTNING	II
ABSTRACT	IV
INNEHÅLL	V
FÖRORD	X
BEGREPPSFÖRKLARING	XI

LITTERATURSTUDIE	1
------------------	---

1 INLEDNING	1
-------------	---

1.1 Syfte	1
1.2 Problembeskrivning	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod	2

2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH KRAV	3
----------------------------	---

2.1 Geografisk placering och geologiska förutsättningar	3
2.2 Klimatdata - Hägernäs	4
2.3 Teknisk data enligt platsspecifika förutsättningar	4

3 BEHANDLADE KONSTRUKTIONSMATERIAL	5
------------------------------------	---

3.1 Trä	5
3.2 Stål	6
3.3 Betong	6

4 BEHANDLADE KONSTRUKTIONSMATERIALS MILJÖPÅVERKAN	8
---	---

4.1 Trä	8
4.2 Stål	8
4.3 Betong	8

5 GRUNDLÄGGNING OCH INFÄSTNING VID BROKONSTRUKTION	10
--	----

5.1 Grundläggningsmetoder	10
5.1.1 Platta på jord	10
5.1.2 Platta på berg	10
5.1.3 Pålning	10
5.2 Landfästen	11

6 VANLIGT FÖREKOMMANDE BROTYPER	12
---------------------------------	----

6.1	Balkverkanbroar	12
6.1.1	Balkbro	12
6.1.2	Plattbro	13
6.1.3	Rambro	13
6.2	Bågverkansbroar	13
6.2.1	Bågbro	14
6.2.2	Rörbro	14
6.2.3	Valvbro	14
6.3	Linverkansbroar	14
6.3.1	Snedkabelbro	15
6.3.2	Hängbro	15
7	PRODUKTIONSMETODER VID BROKONSTRUKTION	16
7.1	Platsgjutning	16
7.2	Prefabricering	16
7.3	Lansering	17
7.4	Kranlyftning	17
8	BYGGNADSEKONOMI	18
9	FÖRVALTNING OCH UNDERHÅLL AV BROAR	19
9.1	Broinspektion	19
9.2	Underhåll	19
	ANALYS OCH FRAMTAGNING AV BROKONCEPT	21
10	FRAMTAGEN URVALSPROCESS FÖR BROKONCEPT	21
10.1	Urvalskriterium	21
10.2	Viktning av kriterier	22
10.3	Första urvalet	23
10.3.1	Olämpliga brokoncept	23
10.4	Kvarstående brokoncept	23
10.4.1	Plattbro i trä – tvärsänd	23
10.4.2	Balkbro i trä	24
10.4.3	Balkbro i stål	24
10.5	Risikanalys för kvarstående koncept	25
10.6	Andra urvalet	26
11	SLUTGILTIGT BROKONCEPT	27
11.1	Utformning av tvärsnitt	27
11.2	Grundläggning	28



11.3	Landfästen och övergångskonstruktioner	28
11.4	Räcken	29
11.5	Avrinningssystem	30
11.6	Produktionsmetod	30
11.7	Underhåll och inspektioner	30
12	PRELIMINÄR DIMENSIONERING AV SLUTGILTIGT BROKONCEPT	31
12.1	Materialdata	31
12.2	Erfordrade beräkningsmodeller	31
12.3	Aktuella laster för gång-och cykelbro	32
12.4	Lastkombinationer för gång-och cykelbro	33
12.4.1	Lastkombinationer i brottgränstillstånd	33
12.4.2	Lastkombinationer i bruksgränstillstånd	34
12.5	Lastfall för dimensionering av överbyggnaden	35
12.6	Dimensionering av brobana – längsled	36
12.6.1	Brottgränstillstånd	36
12.6.2	Bruksgränstillstånd	39
12.7	Dimensionering av brobana – tvärled	40
12.7.1	Brottgränstillstånd	40
12.7.2	Bruksgränstillstånd	42
12.8	Dynamisk analys	43
12.9	Slutliga dimensioner av överbyggnaden	44
12.10	Dimensionering av underbyggnad	46
13	FÖRSLAG PÅ KVARSTÅENDE DIMENSIONERINGAR	50
14	DISKUSSION	51
14.1	Urvalsprocess	51
14.2	Dimensionering	52
14.3	Källor	53
15	SLUTSATS	54
	REFERENSER	55
	BILAGOR	61





## Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete skriven under våren 2017 av sex studenter, vilka läser termin sex på Chalmers Tekniska Högskola (Göteborg) till Väg- och vattenbyggnadsingenjör. Kandidatarbetet har utförts på avdelningen Konstruktionsteknik och omfattar femton högskolepoäng. Utgångspunkten för arbetet är taget ur ett verkligt projekt där COWI AB är beställare.

De kunskaper som inhämtas under de tre första åren av utbildningen har gett grundläggande kunskaper som krävs för att kunna genomföra arbetet. Till största del har arbetet baserats på en litteraturstudie som kompletteras med kunskap från erfarna lärare och handledare. Arbetet har gett oss en djupare förståelse för brobyggnad genom att arbeta med ett större, mer komplicerat och öppet problem.

Vi vill tacka personalen på avdelningen Konstruktionsteknik.

Speciellt tack till Filip Nilenius, Staffan Lindén, Steve Svensson, Joosef Leppänen och Mona Wernbro för er hjälp.

Viktoria Bodén

Michaela Henriksson

Rebecca Henriksson

Erik Karlsson

Stina Lundin

Elina Ulander

Göteborg, maj 2017

# Begreppsförklaring

**Beläggning** - Slitlager och tätskikt ovanpå farbana.

**Brobana** - Del av en bros överbyggnad på vilken trafiken går.

**Bärverk** - Utgör bärande del av konstruktion.

**Eurocode** - Europeiska standarder för dimensionering av bärande konstruktioner.

**Farbana** - Den del av bro där trafikanter färdas.

**Frontmur** - Avskiljande och bärande vägg mot jord vid landfäste.

**Konstruktionshöjd** - Höjden mellan bärverkets underkant och farbanans överkant.

**Landfäste** - Upplag i broände med syfte att föra ner krafter från brobana till mark.

**Lådtvärsnitt** - Slutet eller öppet rektangulärt tvärsnitt med hålighet.

**Prefabricering** - Förtillverkning av konstruktionsdelar.

**Pylon** - Torn eller liknande struktur som bär upp last, exempelvis från brobana.

**Slakarmering** - Armering som gjuts in i betong utan att spännas innan pålastning.

**Spännarmering** - Armering som spänns innan eller efter gjutning av betong.

**Spännvidd/spann** - Avståndet mellan två upplag.

**Teknisk livslängd** - Den tid under vilket ett byggnadsverk eller byggnadsdel ska uppfylla avsedd funktion.

**Ursparing** - Konstruerad hålighet.

**Överbyggnad** - Består av de delar av en bro som är belägen ovanför stöden.

**Övergångskonstruktion** - Konstruktionsdel som förbinder brobana med landfäste.



# Litteraturstudie

## 1 Inledning

För att förbättra tillgängligheten, trafikutbud och avgångstider för resenärer ska AB SL (Storstockholms lokaltrafik) utföra åtgärder genom att förbättra och bygga ut Roslagsbanan. En del i denna åtgärdsplan är ombyggnation av Hägernäs station, som är belägen i Täby, norr om Stockholm. I den detaljplan Täby kommun har tagit fram över dubbelspår Roslagsbanan Hägernäs, inkluderar säkra passager över och under järnvägen. Arbetet för säkra passager sker som följd av transportpolitikens mål som säger att "... transportsystemet ska anpassas till att ingen dödas eller skadas allvarligt till följd av trafikolyckor." (Prop. 2008/09:93, s.2). Norr om Hägernäs station ligger ett grönområde med kolonilotter. Då den gång- och cykelväg som idag är en förbindelse till koloniområdets parkeringsplatser istället kommer anpassas för biltrafik, finns behov av en ny säker väg för gång- och cykeltrafikanter. Av denna anledning planerar AB SL anläggning av en gång- och cykelbro över Hägernäs station, som i dagsläget består av en plattform som ligger längs med befintliga järnvägsspår (Täby Kommun, 2015).

### 1.1 Syfte

Rapporten syftar till att ge ett koncept på en gång- och cykelbro över Hägernäs station utifrån givna förutsättningar, normer och krav. I detta koncept ges ett förslag på utformning samt en preliminär dimensionering av det bärande systemet hos det framtagna konceptet. Syftet med den preliminära dimensioneringen är att utforma systemet så att det klarar de laster som föreskrivs enligt Eurocode samt Trafikverket, i brott- och bruksgränstillstånd.

### 1.2 Problembeskrivning

Enligt förfrågningsunderlag (se Bilaga A1), upprättad av COWI AB samt detaljplan för Roslagsbanan Hägernäs, ska en fem meter bred och 73 meter lång gång- och cykelbro uppföras över en dubbelspårig järnväg, ett vattendrag samt en perrong. Den fria höjden ovanför järnvägen är 6,1 meter (Täby Kommun, 2015, s. 9). Utöver gång- och cykeltrafikanter ska ett servicefordon kunna köra på bron, exempelvis traktor för snöröjning. Det ska även finnas möjlighet för resenärer att ta sig från bron ned till underliggande perrong via en trappa samt en hiss (Täby Kommun, 2015, s. 8). Enligt Täby Kommun ska gång- och cykelbron vid Hägernäs station "utformas så att den upplevs lätt och genomsläpplig" (Täby Kommun, 2015, s. 9). Vidare har de krav på att den ska vara enhetlig med annan utformning längs med Roslagsbanan och den ska även anpassas till omgivningen.

Vid val av brokoncept beaktas aspekter från beställare, konstruktion, produktion, miljö och underhåll. Dessutom tas de krav som står angivna i detaljplanen för projektet med i urvalsprocessen. Dessa krav ska uppfyllas under hela bronns tekniska livslängd på 80 år (Vägverket, 2004a, s.25).

## 1.3 Avgränsningar

Preliminär dimensionering av bron har endast utförts med avseende på konstruktionen mellan dess ändstöd, och för statiskt förhållande i både tvärled samt längsled. Vidare har dimensionering skett med hänsyn till det, som efter beräkningar visar sig var, mest ogynnsamma lastfallet enligt beräkningar med hjälp av Eurocode. Dock kommer inte bromskrafter tas med i beräkningarna. Ekonomiska aspekter samt grundläggning har endast analyserats med hänsyn till genomförbarhet för att ge ett kvalificerat förslag på koncept och kommer därmed inte tas med i beräkningarna. Gällande miljöpåverkan innefattas enbart bedömning av mängden koldioxidutsläpp som genereras vid tillverkning av respektive konstruktionsmaterial, som i sin tur avgränsas till trä, stål och betong. Varken livscykelanalyser eller miljökonsekvensbeskrivningar kommer att genomföras. Konceptet ska möjliggöra för hiss samt trappa ner till perrongen men dessa kommer inte tas med i den preliminära dimensioneringen utan ses som en separat konstruktionsdel.

## 1.4 Metod

Arbetet har genomförts i projektform där projektgruppen delats in i grupper om två med olika inriktningar och därigenom tillgodosett aspekter som rör bron. Inriktningarna har varit; beställare, produktion och förvaltning. Beställarens uppgift har varit att kalla till möten, ta ansvar för hela processen och leda projektet framåt. Ansvarsområdet har även inkluderat att, för samhällets intresse, ha sett till aspekter som rör hållbar utveckling, ekonomi, trafikanter och möjliga risker. De som ansvarat för området produktion har haft i uppgift att ta fram olika produktionsmetoder vid idéutveckling av de olika koncepten samt föreslagit lämplig produktionsordning för respektive idékoncept. Ansvariga över förvaltning har sett över de inspektioner och underhåll som är nödvändiga för de olika idékoncepten samt tagit hänsyn till kritiska sakfrågor gällande miljö och underhåll.

Arbetsprocessen har därefter delats in i tre delar, en litteraturstudie, en analysdel kring brokoncept baserad på litteraturstudien samt en preliminär dimensionering av framtaget brokoncept. I den första delen har gång- och cykelbron undersökts utifrån de givna förutsättningar, krav och normer som råder. Genom litteraturstudie och förfrågningsunderlag från COWI AB, har idéutveckling av olika brokoncept, konstruktionsmaterial samt produktion- och grundläggningsmetoder granskats.

Utifrån de tre intressentgrupperna har, i rapportens andra del, lämpliga urvalskriterier valts och viktats för att ge en jämförelse mellan idékoncepten. Därefter gjordes ett första urval av brotyper där olämpliga brotyper sorterades bort baserat på de rådande platsförutsättningarna. De kvarstående brokoncepten genomgick sedan en riskanalys för att slutligen viktas mot varandra utifrån valda urvalskriterier.

Den preliminära dimensioneringen, som genomförts i rapportens tredje del, består av beräkningar där normer och krav som ställs på vald brotyp har beaktats. Beräkningsmetoder har fåtts från facklitteratur samt från Eurocode. Utöver handberäkningar har programvaran MATLAB (Matrix Laboratory) samt verktyget CALFEM (Computer Aided Learning of the Finite Element Method) använts som hjälpmedel vid beräkningarna av den preliminära dimensioneringen.



## 2 Förutsättningar och krav

För att kunna ta fram ett slutgiltigt brokoncept krävs att platsens förutsättningar och krav behandlas. Detta kapitel innehåller information från förfrågningsunderlag upprättat av COWI AB (Bilaga A1) och från Täby kommuns detaljplan över området. Nedanstående aspekter kommer ligga till grund för idéutveckling av brokoncept.

### 2.1 Geografisk placering och geologiska förutsättningar

Hägernäs station är belägen i ett kuperat tätortsområde i Täby kommun, Stockholms län. Projektområdet, det vill säga vid Hägernäs station, utgörs främst av befintlig järnvägsanläggning. Direkt söder om stationen finns ett bostadsområde och norr om stationen finns ett rekreationsområde med kolonilotter (Täby Kommun, 2015, s. 7). Bron ska byggas över Roslagsbanan och kommer därmed även byggas över Rönningebäcken som rinner längs med järnvägen (se Bilaga A1). Figur 1 ger en översiktlig bild över området kring byggplatsen.



Figur 1. Bild över projektområdets geografiska placering (Hämtad från Lantmäteriet, u.å., altererad av författarna).

Enligt SGU:s (Sveriges geologiska undersökning) karta över områdets geologi ligger jordtäcket mäktighet mellan tre och tio meter. Berggrunden för planområdet har en nedåtgående lutning från bronns södra landfäste (se Bilaga A1) till bäcken för att sedan övergå till en uppåtgående lutning som uppskattas till 1:5, vilket ger ett erforderligt djup på åtta meter vid bron norra landfäste. Södra landfästet har ett uppskattat djup på tre meter och mellanliggande perrong på fyra meter. Från SGU:s jordartskarta (Bilaga A2) och enligt Lindén<sup>1</sup> dras slutsatsen att det mellan marknivå och berggrund endast finns postglacial lera.

---

<sup>1</sup> Staffan Lindén. Brokonstruktör COWI AB.Handledning Chalmers Tekniska Högskola 9 februari 2017.

## 2.2 Klimatdata - Hägernäs

Hägernäs är beläget i ett geografiskt område där klimatet kan växla omfattande beroende av årstid. Den maximala lufttemperaturen under en timme i området uppmättes 2015 till mellan 36 och 38 grader Celsius. Motsvarande minimitemperatur på minus 32 till minus 34 grader Celsius uppmättes (Boverket, 2015, s. 59).

Den nutida dygnsmedeltemperaturen ligger ungefärligen mellan sex och åtta grader Celsius (SMHI, u.å.a). Dimensionering av broar bör dock baseras på klimatanalyser av framtida klimat motsvarande brons livslängd. Enligt prognoser från SMHI förväntas årsmedeltemperaturen öka med uppskattningsvis 2,5 grader Celsius (SMHI, u.å.b). Detta kan antyda på en kommande höjning av den maximala lufttemperaturen. Detta skulle i sådana fall resultera i minskad snömängd, dock måste dimensionering ske enligt rådande krav för snölast enligt Boverkets riktlinjer.

Referensvindhastigheten för området är 24 meter per sekund och ligger i grund för vindlast för dimensionering av brokonstruktionen så väl som för vindlast vid byggskedet (Boverket, 2015, s.46). Med referensvindhastighet,  $v_b$ , menas det karakteristiska värdet för medelvindhastighet under tio minuter tio meter över marken i öppen terräng (terrängtyp II) (Boverket, 1997, s.26).

## 2.3 Teknisk data enligt plats specifika förutsättningar

Brobanans längd och bredd är bestämd till 73 meter respektive fem meter. Rönningebäcken, som rinner parallellt med järnvägsspåren, är vid högsta högvattenstånd 4,6 meter bred (se Bilaga A1). Den fria höjden har bestämts enligt Täby Kommun till 6,1 meter (Täby Kommun, 2015, s. 9). Höjden mellan rälsöverkant och brobanans överkant ligger på 7,1 meter vid båda spåren, som erhålls genom mätning i ritningen i Bilaga A1. Utifrån dessa värden erhålls då en maximal konstruktionshöjd på 1 meter. Under byggperioden tillåts den fria höjden som minst vara 5,6 meter vilket ger en maximal konstruktionshöjd på 1,5 meter (Banverket, 1998, s. 9).

Vid placering av ett stöd längs med järnvägen ska stödet utformas som ett skivstöd och minsta tillåtna avstånd mellan stöd och spårens mittpunkt är tre meter (Trafikverket, 2011, s.31). Vid avstånd mellan 3-10 meter krävs det att stödet dimensioneras för påkörningslast (Vägverket, 1998, s.1).

### 3 Behandlade konstruktionsmaterial

Vid byggnation av broar brukar trä, stål och betong vara de vanligast förekommande konstruktionsmaterialen. För att kunna göra en genomarbetat översiktlig dimensionering och utformning av en bro krävs kunskap om de tre olika materialens egenskaper samt dess för- och nackdelar. Nedan presenteras respektive material samt dess hållfasthet och beständighet.

#### 3.1 Trä

Trä är ett förnyelsebart material och historiskt sett har trä varit ett framstående material vid olika konstruktioner. Runt om i Sverige finns fortfarande byggnader från 1500-talet helt konstruerade i trä. Sverige består till stora delar av skog och beroende av klimat kan samma träslag påvisa varianser i dess egenskaper. Efter avverkning kan materialet sågas upp och eventuellt limmas samman i olika dimensioner och därigenom får trä ett brett användningsområde. Egenskaperna hos trä skiljer åt i många avseenden. Hållfastheten beror av vilket träslag det är och i vilken riktning det belastas. Trä har en högre hållfasthet i träets fiberriktning och en lägre hållfasthet vinkelrätt fibrerna. Trä är således ett anisotropt material (Svenskt Trä, 2003a).

Trä brukar delas upp i olika hållfasthetsklasser med avseende på dess egenskaper, små felfria provkroppar eller stora provkroppar med virkesfel. Med virkesfel menas störningar i provkroppen, exempelvis kvistar, som kommer leda till en viss typ av egenskaper, medan det felfria virket enbart innehåller raka fibrer. Därmed kommer egenskaperna i princip endast bero av träfibrernas egenskaper (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T11).

Hållfastheten hos trä påverkas i stor del av fukttinhåll, ju högre fuktkvot desto lägre hållfasthet. Hållfastheten hos trä minskar även över tid och av belastningens varaktighet. Krypning är en effekt av konstant belastning och ökade deformationer. Avlastning leder till att deformationerna minskar men en viss deformation kommer bestå. Trä kan också utsättas för krympning som är en lastoberoende volymminskning. Detta uppkommer då trä bland annat utsätts för vattenavgång och kan leda till sprickor och kan skapa spänningar i trä. (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T16-T26)

Trä är ett organiskt material som är känsligt för fukt och förkolnas vid höga temperaturer. Organiska material kan dessutom utsättas för angrepp från röta, svamp och insekter. Angrepp är dock inte enbart negativt då det, från ett ekologiskt perspektiv, är en fördel då det kan resultera i avsaknad av restprodukter. Det kan dock betraktas som negativt för en träkonstruktion då det är önskvärt att den ska ha en viss livstid och klara av att bära de laster den utsätts för. Det går att minska risken för nedbrytning genom att hålla fuktkvoten under 20 % och då omöjliggöra för angrepp från rötsvamp. För att detta ska vara möjligt krävs att luft kan cirkulera runt materialet, exempelvis genom luftspalter, och på så vis förhindra uppkomsten av kondens (Burström, 2007, s. 387-390).

Trä kan även utsättas för kemiska angrepp. Sura salter och syror kan bryta ner cellulosan, som är en viktig beståndsdel i växters cellväggar. Trots detta är motståndskraften mot kemiska angrepp relativt god hos trä (Burström, 2007, s. 387).

### 3.2 Stål

Stål är en legering av olika ämnen och tillsammans utgör de stålets egenskaper. Huvudbeståndsdelen i stål är framförallt järn men det består även av kol och andra grundämnen såsom mangan, kisel och kväve. För att framställa stål krävs en temperatur över 1500 grader Celsius (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013 s. S9-S10).

Dragegenskaper hos stål kan beskrivas med en arbetskurva där stålet först är elastiskt, för att sedan gå över till ett plastiskt beteende. Vid elastiskt beteende återgår stålet till sin ursprungliga form efter avlastning. Plastiskt beteende innebär att stålet, efter avlastning, har kvarstående deformationer. Vid en viss spänning når stålet slutligen sin brottgräns (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S11-S23).

Stålkomponenter lämpar sig för masstillverkning då standardiseringsgraden är hög och därmed resulterar till att noggrannheten i dimensionerna är höga. Masstillverkning leder till att konstruktionsdelar i stål tillverkas i fabrik och därefter transporteras till byggplatsen. Svetsade balkar föredras oftare framför valsade balkar i bärande konstruktioner, då svetsade balkar kan dimensioneras att ta önskat moment och samtidigt vara mer materialeffektiva (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S1-S6).

Åldring är ett beständighetsproblem som finns hos stål, framförallt i kallbearbetat stål. När stål utsätts för upprepande belastningar kan det tillslut leda till utmattningsbrott, vilket i sin tur ger upphov till att dess förmåga att kunna ta upp dynamiska laster minskar och därmed ökar risken för sprött brott (Burström, 2007). Stål som material är även känsligt för korrosion. Korrosion sker i samband med ökad luftfuktighet och ökad halt av föroreningar. Om den relativa luftfuktigheten understiger 60 % sker praktiskt taget korrosion i luft. En förorenad metallyta kan leda till att fukt hålls kvar vid stålet och därmed att korrosion uppstår. Korrosionshastigheten påverkas av klorider och svaveldioxid i luften men med korrosionsskydd, som exempelvis täckmålning, kan korrosion i större grad undvikas. Livslängden hos ett rostfritt stål är 120 år medan ett stål som är skyddat med korrosionsskydd har en livslängd på 80 år (Burström, 2007, s. 317-321).

### 3.3 Betong

Betong är ett material som främst används i bärande konstruktioner och som idag har kommit att bli ett av de viktigaste och mest använda byggnadsmaterialen. Att användandet av betong som konstruktionsmaterial är omfattande beror på dess hållfasthet, beständighet och formbarhet. Materialet betong karakteriseras av dess låga draghållfasthet som endast uppgår till en tiondel av materialets tryckhållfasthet. Betong består av vatten, cement, ballast och tillsatsmedel. Genom dimensionering av ovan nämnda komponenter kan önskade egenskaper uppnås (Burström, 2007, s.204-205).

Betong anses vara ett levande material där volymen ändras över tid. Betongkonstruktioner har både kryp- och krympningsbeteende som medför påfrestningar hos konstruktionen. Krympning är beroende av uttorkning i materialet och inträffar oavsett om materialet belastas eller inte, medan krypning ger ökande deformationer med tiden vid belastning. Båda dessa tillskottsdeformationer bidrar till ökad sprickbildning (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. B5).

Den omgivande miljön har stor inverkan på betongkonstruktioner genom nedbrytbara processer i form av fysikaliska och kemiska angrepp (Domone, 2010, s. 180). Fysikaliska angreppen utgörs av frostsprängning, saltsprängning och brand. Frostsprängning medför stora tryckspänningar i betongen som orsakar sprickor och kan i vissa fall spränga loss täckskiktet runt om armeringen. Detta sker då vattnet i betongens porer fryser till is och det sker en volymökning. På samma sätt sker saltsprängning då salt tränger in och spränger betongen (Domone, 2010, s. 187).

Betongkonstruktioner är tåliga mot brand då betong varken brinner, smälter eller avger giftiga gaser (Svensk betong, 2014a). De kemiska angreppen utgörs av två typer av ämnen: dels av ämnen som löser upp betongen utifrån och dels av ämnen som tränger sig in och reagerar med betongen. De upplösande ämnen är oorganiska ämnen; svavel-, salpeter- och saltsyra och bryter ned cementpasta från utsidan. Angrepp inuti betongen kan utgöras av reaktioner mellan ballastmaterial och cementpasta varvid en expanderande produkt bildas och orsakar sprickbildning. Ett annat angrepp som sker inuti betongen är armeringskorrosion. Armeringskorrosion uppstår då armeringen rostar och bildar järnoxid. Detta medför en volymökning som orsakar spänningar på betongen som i sin tur medför sprickbildning (Burström, 2007, s.251-252).

Betongkonstruktioner kan delas in i oarmerad, armerad och förspänd. När betongkonstruktioner belastas i drag uppstår det lätt sprickor och för att kunna uppnå statisk jämvikt efter sprickbildningen utrustas konstruktionen med armeringsstänger. Armeringen, oftast bestående av varmbearbetat stål, gjuts in i de zoner som utsätts för dragpåkänningar. Armeringen har som uppgift att förstärka betongen, förhindra stora sprickor samt fördela sprickbildningen och därigenom öka bärförmågan. Betongen och armeringen kan ses som en komposit där de två materialen tillsammans skapar nya egenskaper vid samverkan. Förspänd armering används för att minska tidiga sprickbildningar och innebär att armeringen spänns innan betongen gjuts vilket leder till att betongen blir tryckt innan belastning. Detta medför att dragspänningar uppkommer senare och därmed också sprickbildning (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. B1-B3).

## 4 Behandlade konstruktionsmaterials miljöpåverkan

Området öster om Hägernäs station är klassat som ett naturområde av klass tre och har således ett naturvärde (Täby Kommun, 2015). Ett kriterium då ett brokoncept ska tas fram kan vara att de konstruktionsmaterial som används ska ha så lite miljöpåverkan som möjligt. Nedan följer förenklade beskrivningar av materialen trä, stål och betongs miljöpåverkan.

### 4.1 Trä

Trä är ett så kallat koldioxidneutralt material, det vill säga att den mängd koldioxid trä absorberar genom fotosyntesen under sin livstid är ekvivalent den mängd som genereras när träet förbränns. Även energiåtgången vid tillverkning av en träkonstruktion är koldioxidneutral och förnyelsebar, då den ofta fås från biprodukter från sågverken. Av ekonomiska skäl, snarare än miljömässiga, kan bjälklag av trä återanvändas. Då produkten är uttjänt, till exempel då hållfastheten inte längre uppnår de krav som råder, kan den istället återvinnas och bli till papper eller spånskivor (Svenskt Trä, 2003b). Då trä är ett material som kan produceras lokalt ger träprodukter dessutom låga koldioxidutsläpp i form av transport (Svenskt Trä, 2003c).

### 4.2 Stål

Framställning av stål är energi- såväl som resurskrävande. Många av delprocesserna vid framställningen kräver höga temperaturer och för att uppnå dessa används främst fossila bränslen. Den största delen av mängden koldioxidutsläpp som framställningen genererar kommer från reduktionen av järnoxid till järn, där kol används som bränsle. Tillverkning av ett kilogram råstål motsvaras av koldioxidutsläpp på 1,2 kilogram (Återvinningsindustrierna, u.å.). Förutom koldioxid förekommer luftutsläpp av kväveoxider, svaveloxider, stoft och dioxiner.

Vid framställningen går det dessutom åt stora mängder vatten för kylning, stora mängder smörjmedel samt omfattande rening av processgaser. Detta gör att anläggningarna ligger i närheten av vatten. Förutom närheten till vatten brukar anläggningarna även ligga nära bebyggelse vilket kan orsaka bullerstörning (Jernkontoret, u.å.).

### 4.3 Betong

Det finns flera fördelar med att använda betong som byggnadsmaterial ur miljöperspektiv. Betong framställs av naturliga material vilket gör att det kan återanvändas, och då främst som fyllnadsmaterial i exempelvis vägbankar. Då betongfabriker finns utspridda runt om i Sverige kan transportsträckorna hållas nere, då byggplatsen ofta är i nära anknytning till fabrikena (Svensk betong, 2014b).

Betong tar upp och binder koldioxid ur luften under hela sin livslängd, vilket ger en kompensation av dess miljöpåverkan. Koldioxidutsläpp vid tillverkning av ett

kilogram betong varierar mellan ungefär 0,14 till 0,2 kilogram (Cagner, 2013, september). Betongens största miljöpåverkan är dock i form av koldioxidutsläpp vid framställning av cement. Med dagens tillverkningsprocesser bildas ett ton koldioxid vid tillverkning av ett ton cement och dessa utsläpp försöks ständigt åtgärdas genom reducering av cementhalten i betongen (Svensk betong, 2014b).

## **5 Grundläggning och infästning vid brokonstruktion**

Grundläggningens syfte är att föra över all mekanisk last från konstruktionen genom stöden ned till underliggande mark. Vid val av grundläggningstyp spelar de geotekniska förutsättningarna en stor roll, men även val av brokoncept har en betydande inverkan. De geotekniska förutsättningarna innefattar jordlagerföljd, grundvattennivå, materialegenskaper och tjälsäkert djup. Det är också av stor vikt att anslutningar mellan bro och befintlig väg utformas korrekt.

### **5.1 Grundläggningsmetoder**

De tre mest vanligt förekommande metoderna för grundläggning, vilka är de metoder detta stycke kommer behandla, är platta på jord, platta på berg samt pålning.

#### **5.1.1 Platta på jord**

Denna variant av grundläggning används i regel när det översta jordskiktet anses bärande och det är en förhållandevis ekonomisk metod. Grundläggning på jord betraktas som en mindre komplicerad metod där en armerad betongplatta placeras direkt på mark. Löst liggande jord schaktas bort varefter marken utjämnas. För att ge en bra grund för betongplattan placeras dränerande och kapillärbrytande skikt ut för att sedan packas (Svenskt Trä, 2003d). Vid grundläggning eftersträvas utförande under torra förhållanden. För att klara detta sänks grundvattenytan provisoriskt om den ligger i eller ovanför grundläggningsnivån (Vägverket, 1996a, s.28-29).

#### **5.1.2 Platta på berg**

Grundläggning på berg används då schaktning ned till berg anses mer fördelaktigt än alternativet platta på jord. Denna grundläggningsmetod kräver en plan yta och om det inte förekommer naturligt sprängs berget plant med marken med påföljande packning av de bortsprängda massorna. Då bärförmågan för berg är stor kan bottenplattor utformas relativt små och ändå ge en styv inspanning åt stöden. Det är dessutom vanligt att varje stöd utrustas med en separat platta (Vägverket, 1996a, s.28).

#### **5.1.3 Pålning**

Pålning används för att överföra laster från konstruktionen ned till bärande jordskikt eller till berg. Den mest vanligt förekommande pålningsmetoden vid brokonstruktioner är prefabricerade betongpålar. Vid svåra förhållanden, som vid blockrik jord eller vid risk för vattensprängning, anses stålpålar vara ett mer lämpligt alternativ. Då pålning i vatten är kostsamt krävs att en utförlig geoteknisk undersökning utförs, där genomförbarhet samt storlek på pålgruppen studeras (Vägverket, 1996a, s.30-31).



Pålar har olika verkningsätt och delas in i mantelburna och spetsburna pålar. Enligt Nilenius<sup>2</sup> monteras mantelburna pålar till ett bestämt djup där lastöverföring sker via friktion, alternativt kohesion, mellan jord och pålens kontaktyta. Spetsburna pålar däremot, slås ned ända till berg och all last tas upp av pålens spets.

## 5.2 Landfästen

Landfästets yttersta funktion är att, tillsammans med eventuella pelare, bära lasterna från brons överbyggnad samt att bära lasterna från anslutande bank (Vägverket, 1996a, s.36).

Fristående landfäste och uppdelat fristående landfäste är två varianter av landfästen där den fristående är vanligast förekommande, vilken grundläggs med platta på mark. För mindre till medelhöga landfästen lämpar sig fristående landfäste bäst, medan det för högre landfästen används uppdelat fristående landfäste. Den sistnämnda kan nyttjas för alla varianter av grundläggning. Syfte med uppdelat landfäste är att reducera jordtrycket mot frontmuren (Banverket, 2007, s.30-31).

---

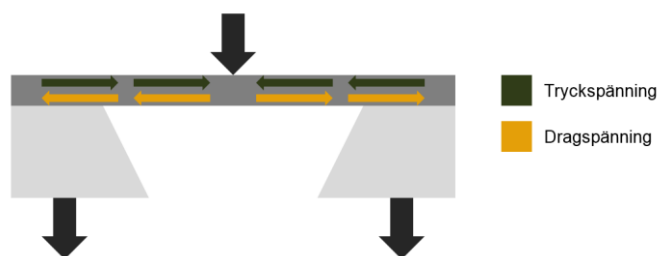
<sup>2</sup> Filip Nilenius. Forskarassistent Konstruktionsteknik. Föreläsning Chalmers Tekniska Högskola 31 januari 2017.

## 6 Vanligt förekommande brotyper

Nedan kategoriseras ett antal utvalda brotyper utifrån de principiella verkningssätten; balkverkan, bågverkan samt linverkan. Dessa verkningssätt skiljer sig åt vad gäller konstruktion och hur de bär laster. Erhållna värden på maximala spännvidder för vägtrafik kan ökas för gång- och cykelbroar enligt Trafikverkets upphandling Bro och Tunnel Management (Trafikverket, 2014, s.19-27).

### 6.1 Balkverkanbroar

Verkningssättet balkverkan innebär att bron bär laster genom tryck- och dragspänningar, vilket kräver minst två stöd (se Figur 2). Då balken böjs ned av en vertikal, nedåtriktad kraft uppstår dragspänningar i balkens underkant och tryckspänningar i balkens överkant. Detta medför att balkens material klarar av både tryck- och dragpåkänning (Vägverket, 1996b, s. 48-51).



Figur 2. Kraftöverföring vid balkverkan.

#### 6.1.1 Balkbro

En balkbro består av ett primärbärverk med en eller flera längsgående primärbalkar samt ett sekundärbärverk i form av en brobana. Sekundärbärverket placeras ovanpå eller mellan primärbalkarna. En balkbro kan ha ett eller flera spann. Vid flerspannsbroar väljs antingen en kontinuerlig balk eller flera fritt upplagda balkar (Trafikverket, 2014, s.19-27).

Primärbalkarna är vanligtvis tillverkade i armerad betong, stål eller trä. Vid stora spännvidder kan lådtvärsnitt användas och vid enbalksbroar kan ursparingar, det vill säga konstruerade håligheter, göras för att reducera egenvikt och materialåtgång. För vägtrafik används betongbalkbroar i slakarmerad betong för spännvidder upp till cirka 25 meter och i spännarmerad betong upp till cirka 200 meter. Stålbalkbroars och träbalksbroars motsvarande maximala spännvidd är cirka 80 meter respektive cirka 30 meter (Trafikverket, 2014, s.19-27).

Balkbro förekommer med fackverksbalkar som primärbärverk och även sekundärbärverket kan utformas med fackverksbalkar i varierande omfattning. Fackverket består av en överramstång och en underramsstång som löper parallellt med brobanan, samt vertikala och diagonala stänger mellan dessa. Oftast är stängerna centriskt ledade och då överförs inte moment utan endast drag- och tryckkrafter (Trafikverket, 2014, s.19-27). För gång och cykelbroar i trä, med brobredd upp till 3,5 meter, utgör fackverket vanligtvis dessutom broräcket. För bredare broar i trä krävs

högre fackverk som kan behöva stagas med vindförband (Svenskt Trä, 2003e). Med vindförband menas snedställda stag som verkar för att stabilisera mot vindlaster. För vägtrafik finns balkbroar med fackverk utförda i stål och trä med spännvidder upp till cirka 100 meter respektive cirka 30 meter (Trafikverket, 2014, s.19-27).

### **6.1.2 Plattbro**

Till skillnad från balkbroar kombinerar en plattbro både primärbärverk och brobana i ett element. Det finns två kriterier som avgör om en bro definieras som balkbro eller plattbro. Om primärbärverket utgörs av ett element, med bredd större än eller lika med fem gånger bärverkets höjd, är det en plattbro. Är den dessutom utförd i betong ska den längsgående armeringen i överkant vara jämnt fördelad i tvärlängd. En plattbro kan precis som en balkbro vara fritt upplagd eller kontinuerlig (Trafikverket, 2014, s.14-19).

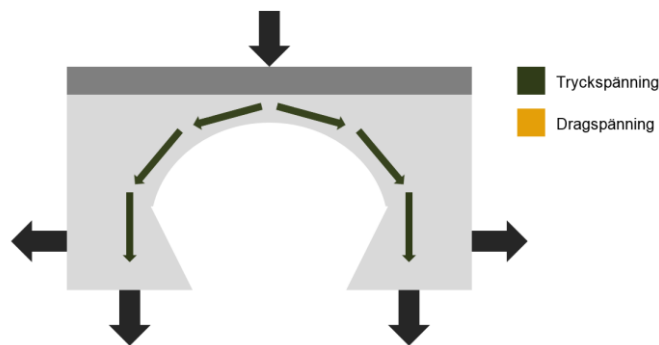
Primärbärverket för en plattbro utformas ofta i armerad betong eller i trä. För vägtrafik är den maximala spännvidden för primärbärverk i trä cirka sjutton meter. Motsvarande maximala spännvidd för slakarmerad betong är cirka 25 meter och för spännarmerad betong cirka 35 meter. Vanligtvis är ett primärbärverk utformat som en homogen platta med konstant tjocklek över hela brons längd. Vid större spännvidder kan plattan utformas med öppna eller slutna ursparingar, för att reducera egentyngd och materialåtgång (Trafikverket, 2014, s.14-19).

### **6.1.3 Rambro**

En av de vanligaste brotyperna i Sverige är rambro utförd i armerad betong. Idag tillverkas rambroar endast som enspannsbroar, då det är mer ekonomiskt och tekniskt fördelaktigt med en kontinuerlig balkbro vid flerspannsbroar (Vägverket, 1996b, s.39-44). Konstruktionens primärbärverk är kontinuerlig över ramhörnen och fortsätter ner i stöden (Trafikverket, 2014, s. 9-10). Rambroar utformas i två huvudtyper - plattrambro respektive balkrambro. Plattrambro utförs vanligtvis i slakarmerad betong men förekommer även i spännarmerad betong. Spännarmerad betong anläggs upp till cirka 50 meters spännvidd. För vägtrafik utformas den i slakarmerad betong upp till cirka 22-25 meter och i spännarmerad betong upp till cirka 35 meter. Balkrambroar förekommer i både slakarmerad och spännarmerad betong. I dagsläget anläggs inte slakarmerade balkrambroar till följd av höga produktionskostnader. Vid stora spännvidder ersätts balkrambro av balkbro, och vid små spännvidder av plattbro (Trafikverket, 2014, s.14-33).

## **6.2 Bågverkansbroar**

Bågverkan innebär att last förs till stöd via en trycksträva (se Figur 3). Det betyder att formen på konstruktionen är anpassad så att egentyngden skapar stora tryckkrafter, vilket ger bron sin bärförmåga.



Figur 3. Kraftöverföring vid bågverkan.

### 6.2.1 Bågbro

Primärbärverket i bågbroar är en eller flera bågar och sekundärbärverket är brobanan, som är placerad över, under eller mellan bågarna. Både primärbärverket och sekundärbärverket är vanligen utformade i armerad betong, stål eller trä. En bågbro kan vara fast inspänd, ledad eller fritt upplagd. Vid fri uppläggning krävs ett dragband mellan bågens ändar som tar upp dragkrafter. Bågbroar förekommer som enspannsbroar med spännvidd upp till cirka 260 meter och flerspannsbroar med spännvidder upp till cirka 100 meter (Trafikverket, 2014, s.41-45).

### 6.2.2 Rörbro

Rörbroar förekommer i Sverige med spännvidder från två till femton meter och tillverkas vanligen i stål eller betong. Rörbroar utförda i stål bär last genom samverkan mellan rör och kringfyllnadsmaterial. Bärförmågan fås genom det jordvalv som bildas runt röret vilket ger att överfyllnadstjockleken får en direkt betydelse. Rörbroar i betong samverkar inte med kringfyllnadsmaterialet, eftersom de är styva konstruktioner (Trafikverket, 2014, s.34-38).

### 6.2.3 Valvbro

Primärbärverket för denna brotyp utgörs av ett valv som är helt täckt med material, vanligen med sten eller med betong. Idag görs valvbroar endast i armerad betong och används för vägtrafik med spännvidder upp till cirka 30 meter (Trafikverket, 2014, s.38-41).

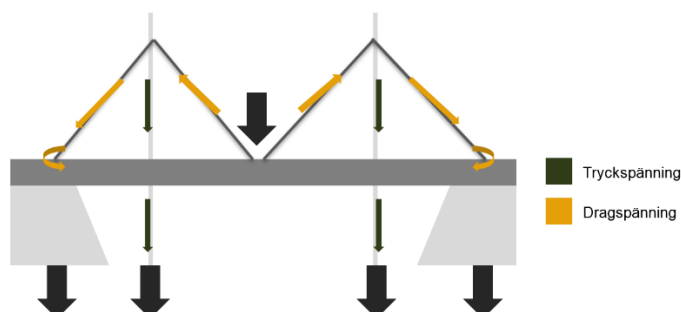
## 6.3 Linverkansbroar

Snedkabelbroar och hängbroar är två brotyper som bär laster genom linverkan, även kallat hängverkan. Enligt Plos<sup>3</sup> har linverkan motsatt verkningsätt gentemot

---

<sup>3</sup> Mario Plos. Docent/Avdelningschef Konstruktionsteknik. Föreläsning Chalmers Tekniska Högskola 19 januari 2017.

bågverkan. Vidare menar Plos<sup>3</sup> att linorna i en bro med hängverkan tar upp dragkrafter, och för sedan dessa till stöden där reaktionskrafter uppstår i form av horisontella och vertikala krafter (se Figur 4). Pylonerna, som bropelarna kallas, blir tryckta element som för ner lasterna i stöden och vidare i marken.



Figur 4. Kraftöverföring vid linverkan.

### 6.3.1 Snedkabelbro

Snedkabelbro kallas den brotyp där farbanan hängs upp i sneda kablar, förankrade i pyloner. Primärbärverket består av snedkablar, pyloner samt brobana. Snedkablarna är endast avsedda att ta upp dragkrafter medan pylonerna har som uppgift att ta de tryckkrafter som uppstår. Brobanan fungerar som en avstyvningsbalk där syftet är att minska inverkan av horisontella vindlaster. En konstruktion bestående av pyloner och snedkablar leder till att denna brotyp blir av större format än många andra. Detta medför att egentytningen blir den dominerande lasten. Snedkabelbroar lämpar sig huvudsakligen där stora spännvidder är ett krav, exempelvis då farled förekommer och till följd av grundläggningsförutsättningar. Spännvidder hos dessa brotyper på omkring 410 meter kan förekomma (Trafikverket, 2014, s.45).

### 6.3.2 Hängbro

Hängbroar är konstruerade med en farbana upphängd i vertikala hängkablar. Dessa är i sin tur anslutna till två huvudkablar, vilka sträcker sig över pylonerna. Huvudkablarna är anslutna i ankare som är fastsatta i antingen bergrum eller stora, massiva betongfundament placerade bakom bron. Pylonerna och huvudkablarna, tillsammans med hängkablarna och brobanan, utgör primärbärverket. Huvudkablarna och hängkablarna bär upp dragkrafter medan pylonerna tar upp tryckkrafter. Brobanan är vad som verkar mot de horisontella vindlasterna. Likt snedkabelbroar blir egentytningen den mest betydelsefulla lasten. Användningsområden för hängbroar är där exempelvis underliggande farled, grundläggningsförhållanden samt vattendjup ställer krav på stora spännvidder. Hängbroar möjliggör för spännvidder på omkring 1200 meter (Trafikverket, 2014, s.46-47).

## 7 Produktionsmetoder vid brokonstruktion

Enligt Svahn<sup>4</sup> kräver ett genomtänkt brokoncept en produktionsmetod som är säker att utföra, det vill säga att det inte ska innebära någon fara för de som producerar bron, för civila och inte heller för omliggande natur. Dessutom ska brokoncept ha en förutsägbar tidsåtgång samt vara kostnadseffektivt. För att uppnå en effektiv produktionsmetod menar Svahn<sup>4</sup> att ett högt materialutnyttjande, enkelt utförande, minimerat antal temporära konstruktioner och en kort byggtid ska eftersträvas. Hur detta uppnås beror på platsspecifika förutsättningar som tillgänglighet, utrymme, trafikstörningar samt närliggande befintliga konstruktioner.

### 7.1 Platsgjutning

Platsgjutna konstruktioner innebär att råmaterial eller färdigt byggmaterial transporteras direkt till byggarbetsplatsen varpå konstruktionen utformas på plats. Vid platsgjutning av betong, vilket är det vanligast förekommande val av material för denna typ av produktionsmetod, finns två typer av utformning. Dessa utformningstyper är kvarsittande form eller rationella formsystem (Svensk betong, 2014c). Svahn<sup>4</sup> menar att kvarsittande former används när det inte finns behov av flyttbara formsystem utan elementen gjuts direkt på önskad plats. Rationella system används när betongelement behöver flyttas eller formas till redan befintlig konstruktionsdel. Vid broprojektering finns flera formsystem som kan användas vid platsgjutning. Undergrund, stöd och farbana är vanliga platsgjutna element vid brobyggen.

### 7.2 Prefabricering

Broproduktioner kan göras med hjälp av förtillverkade, prefabricerade, broelement och ibland kan hela broar prefabriceras. Detta medför att produktkvalitet och arbetsmiljö kan säkerhetsställas i fabrik samt att byggnationstid på plats kan minimeras. Dock begränsas möjligheter till utformning med denna metod och hänsyn måste tas till transport av stora element från fabrik till byggarbetsplats (Eriksson & Jakobson, 2009, s.17-22).

Trä- och stålelement tillverkas med hög prefabriceringsgrad. För spann under femton meter kan en förtillverkad tvärspäänd träplatta levereras till byggplatsen som ett solitt element för att sedan lyftas på plats (Svenska Kommunförbundet, 1998). De stålbroar som tillverkas idag är oftast en kombination av farbana i betong och bärverk i stål, där stålelement kan tillverkas enligt standardiserade mått i fabrik (Stålbyggnadsinstitutet, 2016). I Norden tillverkas broelement i betong främst genom platsgjutning, delvis på grund av brist på erfarenhet gällande prefabricerade betongbroar (Eriksson & Jakobson, 2009, s. 77-86).

---

<sup>4</sup> Per-Ola Svahn. Teknisk chef Skanska Sverige AB. Föreläsning Chalmers Tekniska högskola 3 februari 2017.

### **7.3 Lansering**

Det finns olika lanseringsmetoder för broar och de som oftast förekommer är horisontell lansering och balanserad utbyggd bro. Lansering används oftast vid byggnation av broar som sträcker sig över svåråtkomliga eller på andra sätt problematiska områden (Mathern, A. & Larsson, T., 2013, s. 10).

Vid horisontell lansering skjuts brobanan ut stegvis över stöden med hjälp av en lanseringsnos som är placerad längst fram. Lanseringsnosens uppgift är att minska nedböjningen under utskjutningen. Den är oftast konstruerad i stål, för på så vis uppnå en slank utformning (Mathern, A. & Larsson, T., 2013, s. 27-28). Balanserad utbyggd bro är en metod som är lämpar sig bäst för broar med ett spann mellan 60-150 meter. Produktionen utgår från bropelarna och brobanan byggs balanserat ut åt bägge sidor med hjälp av en formställning, vilken är fixerad till en flyttbar stålkonstruktion. Denna metod kräver inga temporära konstruktioner och passar oavsett material (VSL, 2017).

### **7.4 Kranlyftning**

Kranlyftning är en produktionsmetod som ofta används på byggarbetsplatser. Vid brokonstruktion används denna metod oftast vid korta spann för att installera prefabricerade element. Metoden kan också användas för tunga och långa spann, men då krävs ibland flera kranar (Mathern, A. & Larsson, T., 2013, s.27).

Vid kranlyftning används både mobila kranar och fasta kranar för att lyfta brodelar på plats. Dagens mobila kranar har en kapacitet på drygt 100 ton och en radie på 20 meter. I fall där det krävs stora mobila kranar kan kostnaden ibland bli så hög att kranlyftning inte är ett alternativ. De fasta kranarna har dock en högre kapacitet än de mobila (Mathern, A. & Larsson, T., 2013, s.27).

## 8 Byggnadsekonomi

Enligt Svahn<sup>5</sup> finns ett flertal faktorer som inverkar på kostnader, däribland direkta kostnader så som materialkostnader, arbetskostnader och kostnader för temporära konstruktioner. För att ge en översiktlig jämförelse mellan materialkostnaderna har en gång- och cykelbro byggd i Gamlestaden 1996, Göteborg, studerats som ett exempel. Vid byggnation av denna bro i trä var slutkostnaden 9 275 kronor per kvadratmeter. Om tillverkningen istället skett i stål eller i betong skulle slutkostnaden istället varit 11 500 respektive 11 100 kronor per kvadratmeter (Svenska Kommunförbundet, 1998, s.16-17). Detta ger en överblick av skillnaden i pris hos de olika konstruktionsmaterialen och det visar att kostnaden för trä skiljer sig nämnvärt jämfört med stål och betong.

Då broar dimensioneras för en livslängd på 80 år kommer olika inspektioner och underhåll behöva utföras. Detta är något som tas med i beräkningarna för hur det ekonomiska utfallet kommer yttra sig. Andra viktiga kostnadsposter enligt Svahn<sup>5</sup> är grundläggning- och produktionsmetoder. Vidare menar Svahn<sup>5</sup> att oavsett grundförutsättningar eftersträvas ett minimum av antal stöpelare och att pålning undviks i den mån som är möjlig. När det kommer till produktionsmetoder skiljer det i pris beroende på vilken metod som väljs. Dock är den brotyp som är billigast att producera inte nödvändigtvis den mest ekonomiska bron sett ur ett livscykelperspektiv.

---

<sup>5</sup> Per-Ola Svahn. Teknisk chef Skanska Sverige AB. Föreläsning Chalmers Tekniska högskola 3 februari 2017.



## 9 Förvaltning och underhåll av broar

För att säkerhetsställa att broar hålls säkra och funktionella under hela sin livslängd krävs det regelbundna inspektioner. Flera olika inspektioner kan behöva utföras beroende på vilken typ av bro som ska kontrolleras. Broar ska dimensioneras med hänsyn till att inspektioner och underhåll av alla konstruktionsdelar ska kunna genomföras på ett smidigt sätt (Vägverket, 1993, s.14-17).

### 9.1 Broinspektion

Enligt Trafikverket finns det fem olika typer av broinspektioner. Fortlöpande, översiktlig, allmän, huvud- och särskild inspektion. Varje inspektion kontrollerar olika delar av bron samt att vissa specifika krav är uppfyllda. Huvudinspektion är den mest omfattande av samtliga inspektioner och utförs med ett tidsintervall med max sex års mellanrum. Alla konstruktionsdelar kontrolleras och även eventuella maskinell och elektriska system omfattas (Vägverket, 1993, s.14-17).

### 9.2 Underhåll

En av de främsta underhållskostnaderna för broar är de rörande broräcken. "I underhållet ligger ett vidmakthållande av funktionen, vilket i praktiken är att laga påkörda räcken, kontrollera linspänning och justera räckens läge i fråga om höjd och lutning." (Trafikverket, 2013). För dessa kostnader står underhåll för cirka 70 procent och material för cirka 30 procent. Broräcken har en förväntad livstid på 40 år vilket resulterar i att de behöver bytas ut minst en gång under bronns livslängd. Vid nyinsättning är kostnaderna för arbete och material 50 procent vardera (Trafikverket, 2013).

Vad gäller övergången mellan brobana och landfästen kan underhåll krävas för övergångskonstruktioner. Det kan då röra sig om att nivåskillnad mellan slitlager (exempelvis asfaltsbeläggning) och brobana uppkommit, utmattningsskador i gummimembran eller lösa plåtar i övergångskonstruktionen (Stockholms Stad Trafikkontoret, 2010, s.25-35).

För konstruktioner i trä bör kontroller av fuktkvot göras. Vid en fuktkvot mellan 20-30 % bör orsaken till detta utredas, och om fuktkvoten överstiger 30 % betraktas den som en skada som ska åtgärdas. För att förhindra mot fuktangrepp kan trä täckmålas och en korrekt täckmålning kan hålla i cirka tio år. Upptäcks dock sprickor större än en millimeter i färgskiktet ska underhållsmålning genomföras. Om färgskiktet blir påtagligt tjockt och krackelerat bör en ommålning göras (Fjällström & Pousette, 2004, s.12-15).

Underhåll konstruktionsdelar i stål utgörs främst av att rikta stänger (Reuterswärd, 2010), reparera eller byta ut räcken och övergångskonstruktioner samt byta ut nitar och skruvar. Vidare sker kontinuerligt underhåll i form av att tvätta och eventuellt förbättra målning stålet för att förhindra korrosion. Tvättning minskar nedbrytning av färgen och alltså även korrosionshastigheten. Vid målning särskiljs bättringsmålning

och ommålning. Bättringsmålning utförs om mindre än fem procent av det målade ytskiktet är skadat (Vägverket, 1994, s.15).

Underhållning av betong sker genom att laga sprickor i belägningen, att laga sprickor mellan betongelementet och anslutande konstruktionsdelar samt genom förbättring av karbonatiseringsskydd. Det sistnämnda sker genom antingen komplettering eller utbyte av täckande betongskikt. (Vägverket, 1994, s.14).

Övriga underhållskostnader är; påkörningsskador, lösa konstruktioner över brobana, fogfyllnader, lösa kantstöd, förskjutning av brostöd till följd av exempelvis urschaktning, vattenansamlingar på brobanan, igensatta avlopp, vegetation och föroreningar på överbyggnaden, stänkskydd, belysning med mera. (Stockholms Stad Trafikkontoret, 2010, s.25-35).

# Analys och framtagning av brokoncept

## 10 Framtagen urvalsprocess för brokoncept

Det brokoncept som anses mest lämpat för gång- och cykelbron vid Hägernäs Station väljs genom en urvalsprocess. Nedan presenteras sju urvalskriterier varpå de viktas, detta för att kunna ge en jämförelse mellan idékoncepten. I första urvalet kommer de koncept som inte anses lämpliga direkt att väljas bort och därefter beskrivs de kvarstående koncepten kortfattat. I andra urvalet genomgår de brokoncept som kvarstår en viktning där urvalskriterierna viktas mot varandra varefter koncepten poängsätts för hur väl de bedöms uppfylla dessa kriterier. Utifrån detta erhålls ett slutgiltigt brokoncept.

### 10.1 Urvalskriterium

Sju kriterier har tagits fram och dessa ligger till grund för valet av ett slutgiltigt brokoncept. Vid framtagande av kriterierna har hänsyn tagits till de tre olika intressentgrupperna; beställare, produktion och förvaltning. Nedan presenteras de kriterier samt de avgränsningar som valts för att möjliggöra en översiktlig jämförelse.

#### Kriterium 1 - Gestaltning

Utformningen avser hur estetiskt tilltalande konceptet är och hur väl konceptet stämmer överens med Täby Kommuns önskan om gensiktighet. Det eftersträvas att bron ska upplevas enhetlig med befintlig bebyggelse i avseende på material- och färgval. Gestaltning bedöms ur en subjektiv synvinkel.

#### Kriterium 2 – Anpassning till omgivning

Vid utformningen av den konceptuella designen eftersträvas en anpassning till omgivning sådan att bron inte ger ett dominerande intryck. Platsens identitet ska skapas av omgivande skogsområden och natur. Den ska framhäva och ge mervärde till Rönningebäcken samt bli en naturlig och lättillgänglig förbindelse över järnvägen. Detta kriterium bedöms också subjektivt.

#### Kriterium 3 - Byggtid

En kort byggtid eftersträvas för att minimera kostnader samt störningar på den befintliga järnvägstrafiken under byggnationen. Val av produktionsmetod har en betydande roll och därmed också valet av brotyp samt material.

#### Kriterium 4 - Byggekostnad

Det är vanligtvis önskvärt att kostnaden är låg men då det inte finns någon formulerad budget från Täby Kommun kommer detta kriterium inte viktas högt. En låg kostnad

anses dock fördelaktig. För detta kriterium exkluderas de kostnader som rör grundläggning. Vid jämförelse har skillnad i kostnad för de olika konstruktionsmaterialen studerats.

### Kriterium 5 - Underhållskostnad

Förvaltning av bron innebär underhåll och kontroller för att säkerställa att bron klarar de krav och funktioner den dimensioneras efter. Faktorer som exempelvis materialegenskaper, klimat, slitage och skadegörelse påverkar huruvida bron kommer behöva mer omfattande underhåll och därmed ökad kostnad.

### Kriterium 6 - Grundläggning

Grundläggningen bedöms utefter hur komplicerat utförandet blir i förhållande till valda idéer för brokoncept och de förutsättningar, exempelvis spännvidd, som förekommer. Spännvidder påverkar antalet stöd som krävs för respektive brokoncept och därmed också kostnaden för grundläggning. Inom urvalskriteriet grundläggning avses även de kostnader som kan uppstå beroende på val av grundläggningsmetod.

### Kriterium 7 - Miljöpåverkan

Miljöpåverkan bedöms utifrån mängden koldioxidutsläpp som framställning av de olika materialen trä, betong och stål medför.

## 10.2 Viktning av kriterier

I Tabell 1 nedan jämförs stegvis två kriterier mot varandra där det kriterium vars egenskaper främst motsvarar ponerade prioriteringar förses med ett plustecken, och det andra med ett minustecken. Därefter summeras antal plustecken ihop och en procentsats beräknas till varje kriterium.

*Tabell 1. Viktning av urvalskriterium, där två kriterier stegvis jämförs mot varandra. Det kriterium vars egenskaper främst motsvarar ponerade prioriteringar förses med ett plustecken, och det andra med ett minustecken.*

Kriterium	1	2	3	4	5	6	7	Summa	Placering	Viktning
Gestaltning	1	0	+	-	+	+	+	5	2	23,81%
Anpassning till omgivning	2	-	0	-	-	+	+	2	4	9,52%
Byggtid	3	+	+	0	+	+	+	6	1	28,57%
Byggkostnad	4	-	+	-	0	-	-	1	5	4,76%
Underhållskostnad	5	-	-	-	+	0	-	1	5	4,76%
Grundläggning	6	-	-	-	+	+	0	3	3	14,29%
Miljöpåverkan	7	-	+	-	+	+	-	0	3	14,29%
Summa		1	4	0	5	5	3	3	21	100,00%

## 10.3 Första urvalet

I första urvalet tas olämpliga brotyper bort med hänsyn till rådande förutsättningar vad gäller lägsta fria höjd och spännvidder. Brotyper som dessutom inte anses vara material-, tids- och kostnadseffektiva eller saknar önskvärda estetiska egenskaper sorteras också bort. Detta urval är en subjektiv bedömning och de brotyper som väljs bort kommer kort motiveras.

### 10.3.1 Olämpliga brokoncept

Hängbroar samt snedkabelbroar lämpar sig främst vid större spännvidder, något som inte är aktuellt utifrån gällande förutsättningar och anses därför olämpliga. Spännvidder är även vad som gör att bågbroar anses olämpliga, då de inte är tillräckligt kostnadseffektiva sett till aktuellt avstånd mellan landfästena. Valvbroar och rörbroar anses inte vara genomsläppliga på grund av sin konstruktionsutformning, samtidigt som de anses ineffektiva gällande materialåtgång. Då byggtid är högt prioriterat anses betongbroar inte uppfylla kriteriet då de främst platsgjuts vilket skulle kräva tillfälliga konstruktioner och medföra begränsad framkomlighet för järnvägstrafiken under längre perioder. På grund av detta kommer varken balkbro eller plattbro utformad i betong eller rambro behandlas vidare. Slutligen anses inte fackverksbroar lämpliga på grund av mängden underhållsarbete som kommer erfordras. Detta till följd av att fackverksbroar har flertalet fria ytor och infästningar där fukt och föroreningar kan ansamlas och orsaka negativa effekter.

## 10.4 Kvarstående brokoncept

Efter första urvalet har brotyper som anses mindre fördelaktiga uteslutits och tre brokoncept har behandlats vidare som förslag till brokoncept för Hågernäs Station. Vid beräkning av erforderlig mängd stöd tas hänsyn till placering av mittstöd och de därigenom aktuella spännvidderna på 31,8 respektive 41,2 meter. Samtliga koncept har utformats med tätskikt samt asfaltsbeläggning ovanpå farbanan.

### 10.4.1 Plattbro i trä – tvärspänd

Plattbroar kan utformas som en kontinuerligt upplagd brobana bestående av limträbalkar som spänns ihop med stålstänger (stålstag) i tvärled. Med hänsyn till möjlig spännvidd på drygt 17 meter och platsspecifika förutsättningar krävs fyra stöd exklusive landfästen. Produktionsmetoden bedöms orsaka minimala trafikstörningar på järnvägen då hög prefabriceringsgrad kan utnyttjas. För kortvarig montering kan limträbalkar förtillverkas i den dimension transport möjliggör. Limträbalkarna passas och skarvas samman för att därefter spännas med stålstag, vilket medför att bärverk och farbana verkar som ett solitt element.

Volymförändringar till följd av fukt, det vill säga krympning och svällning, blir små då en tvärspänd brobana har liten fri yta i förhållande till volym. Inspektioner kommer krävas löpande för att kontrollera panel samt eventuella otätheter i brobanan där fukt kan tränga in. Fukthalt mäts regelmässigt för att försäkra låg risk för röta.

Grundläggning görs genom platta på berg samt pålning. Det södra landfästet samt det närmast intilliggande stödet kan grundläggas genom platta på berg. De övriga tre stöden och norra landfästet behöver pålas ned till fast berg.

En bro tillverkad i trä har en mindre miljöpåverkan jämfört med stål om det ses till mängden koldioxidutsläpp. Trä tar upp all koldioxid som den själv producerar och ger låga utsläpp vid transporter då materialet kan produceras lokalt.

#### **10.4.2 Balkbro i trä**

För en balkbro i trä ligger den maximala spännvidden på drygt 30 meter. Detta medför att det krävs minst 3 stöd exklusive landfästena. En balkbro i trä kan i hög grad prefabriceras vilket ger få störningar på befintlig järnvägstrafik. Byggtiden optimeras då element snabbt kan lyftas på plats med hjälp av kranar som under en kortare tid upptar yta jämfört med platsgjutna element. Träbalkarna och träfarbana monteras separat vilket är ett ytterligare moment jämfört med en tvärspänd plattbro.

Träbalkar är i hög grad utsatta för fukt och angrepp som exempelvis röta. Detta förvärras av de sprickor som kan uppkomma vid krympning och därför kommer regelbundna kontroller och underhåll genomföras.

Det norra landfästet och mellanliggande stöd kommer grundläggas med hjälp av pålning ned till berggrund på grund av det mäktiga jordlagret med lera. Det södra landfästet kommer däremot grundläggas med platta på berg.

Trä som konstruktionsmaterial har mindre koldioxidutsläpp än stål och det produceras ofta lokalt vilket bidrar till korta transportsträckor.

#### **10.4.3 Balkbro i stål**

Balkbro i stål kan ha en spännvidd upp till drygt 80 meter. Trots detta placeras ett stöd mellan landfästena för att kunna reducera konstruktionshöjden, och därmed öka möjligheten att uppnå de krav som råder för fri höjd. Balkbroar utformas vanligen med stålbalkar och med en ovanliggande farbana i trä. Materialet trä väljs med motivering att det ger en lägre miljöpåverkan, genererar en kortare produktionstid samt har en lägre egentyngd jämfört med stål och betong. Stål har i förhållande till trä en större miljöpåverkan då framställningen av stål kräver användning av fossila bränslen vilket i sin tur ger olika sorters utsläpp. Utsläppen består främst av koldioxid, men även andra utsläpp som kväveoxider och svaveldioxid genereras vid tillverkningen.

Prefabricering av stål ger en relativt kort byggtid och en minimal mängd störning på järnvägstrafiken. Likt balkbro i trä monteras balkar och farbanan separat. Balkarna lyfts med hjälp av kranar varpå farbanan monteras ovanpå dessa.

Stål utmattas med tiden, men genom kontroller försäkras att stålet bibehåller sin bärförmåga. Stålet behandlas med färg för att minimera risken för korrosion. Vid inspektioner av farbanan kontrolleras träet så inga fuktskador uppkommer.

Grundläggning av brons norra landfäste samt mellanliggande stöd kommer ske med pålning från markyta ner till berg, medan det södra landfästet är grundlagt med platta direkt på berg.

## 10.5 Riskanalys för kvarstående koncept

För samtliga riskanalyser, se Tabell 2-4, har de olika riskernas allvarlighetsgrad tilldelats lika värde då riskerna anses vara lika allvarliga oavsett brotyp. Sannolikheten för att byggtiden skall överstigas anses vara låg. Den är dock något högre för idékoncepten i trä än det i stål då dessa kräver fler stöd vilket kräver mer markarbete. Då det ibland kan vara svårt att uppskatta exakta markförhållanden ökar därmed risken att problem som kan påverka tidsplanen kan uppstå. Samma anledning är vad som kan komma att påverka projektets ekonomi negativt då en ökad byggtid medför ökade kostnader. Mängden stöd är även vad som gör att plattbro i trä får ett högre värde än de övriga två idékoncepten gällande miljöpåverkan på plats. Detta på grund av att det idékonceptet kräver minst fyra stöd vilket ökar risken för negativa miljöpåverkningar med hänsyn till Rönningebäcken. Vad gäller risken för arbetsplatsolycka anses den vara allvarlig men låg för samtliga idékoncept då väl beprövade metoder kommer användas. Riskerna för brand respektive påkörning anses låga men brandrisken ges ett något högre värde då bron är i nära anslutning till ett skogsområde, vilket vid skogsbrand, medför ökade risker även för bron. Anledningen att påkörningsrisken antas vara mycket låg är att det är ovanligt att tåg spårar ut (AB Stockholms Lokaltrafik, 2010, s.67).

*Tabell 2-4. Förenklad riskbedömning där varje potentiell risk samt dess allvarlighetsgrad och sannolikhet poängsätts med en siffra mellan 1-5. 1 innebär att sannolikheten/allvarligheten är minimal och 5 innebär att sannolikheten/allvarligheten är mycket hög.*

### Plattbro Trä

Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	3	9
Ekonomi	2	3	6
Miljöpåverkan på plats	4	2	8
Arbetsplatsolycka	5	1	5
Brand	4	2	8
Påkörning	5	1	5

### Balkbro Trä

Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	3	9
Ekonomi	2	3	6
Miljöpåverkan på plats	4	1	4
Arbetsplatsolycka	5	1	5
Brand	4	2	8
Påkörning	5	1	5

## Balkbro Stål

Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	2	6
Ekonomi	2	2	4
Miljöpåverkan på plats	4	1	4
Arbetsplatsolycka	5	1	5
Brand	4	2	4
Påkörning	5	1	5

Inget av idékoncepten sorterades bort efter genomförda riskanalyser då samtliga riskpoäng ansetts vara låga. Bortsett från risk för brand och påkörning kan alla risker minimeras med små åtgärder.

## 10.6 Andra urvalet

Viktningen i det andra urvalet, se Tabell 5, utförs genom att varje brotyp poängsätts med en siffra mellan 1-5, där 1 betyder att kriteriet uppfylls i låg grad och 5 betyder att det uppfylls mycket väl. Därefter multipliceras poängen med den viktade poängen, som erhållits i det första urvalet, och en viktad poäng erhålls. Den brotyp som får störst viktad poäng blir det slutgiltiga brokonceptet.

*Tabell 5. Viktning av brokoncept där respektive brokoncept jämförs mot varandra utifrån viktade urvalskriterier. Idékoncepten poängsätts mellan 1-5, där 1 betyder att kriteriet uppfylls i låg grad och 5 betyder att det uppfylls mycket väl.*

Brotyp	Plattbro Trä		Balkbro Trä		Balkbro Stål	
	Poäng	Viktad poäng	Poäng	Viktad poäng	Poäng	Viktad poäng
Gestaltning (23,81%)	3	0,71	2	0,48	5	1,19
Anpassning till omgivning (9,52%)	4	0,38	4	0,38	3	0,29
Byggtid (28,57%)	3	0,86	3	0,86	4	1,14
Byggkostnad (4,76%)	4	0,19	4	0,19	3	0,14
Underhållskostnad (4,76%)	2	0,10	1	0,05	4	0,24
Grundläggning (14,29%)	3	0,43	4	0,57	5	0,71
Miljöpåverkan (14,29%)	4	0,57	4	0,57	2	0,29
<b>Summa</b>		<b>3,24</b>		<b>3,10</b>		<b>4,00</b>

Som kan ses i tabell 5 skiljer sig inte summan av den viktade poängen nämnvärt mellan de olika idékoncepten. Detta innebär att samtliga idékoncept varit möjliga val till slutgiltigt koncept. Då gestaltning och byggtid är de kriterier som viktats högst, och alltså ansetts viktigast, är det de som i slutändan avgjort vilket idékoncept som ansetts bäst lämpat.

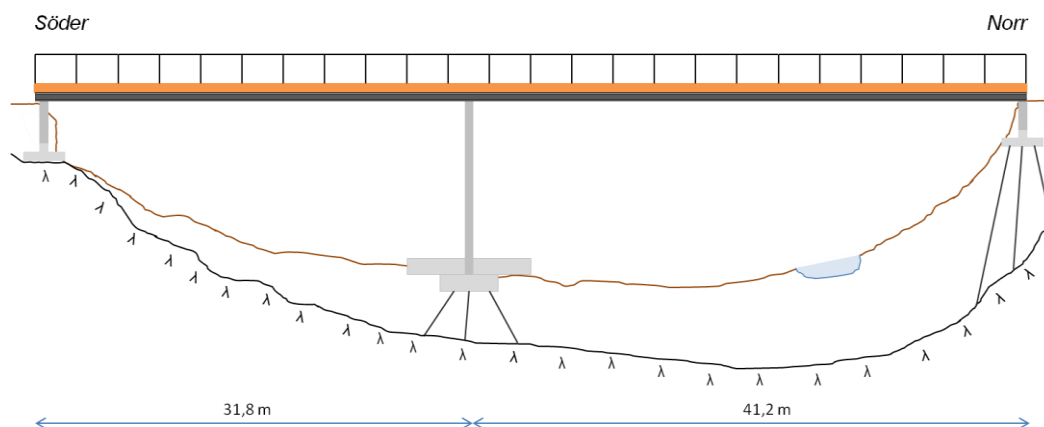


# 11 Slutgiltigt brokoncept

Det slutgiltiga brokonceptet för en gång- och cykelbro över Hägernäs station, vilket erhöles efter det andra urvalet, är en balkbro i stål med farbana i trä. Detta brokoncept har sedan utvecklats vidare i en detaljutformning där antal stöd, placering av stöd samt utformning av tvärsnitt blivit avgörande vid beräkningar. Till följd av långa spännvidder i kombination med, i förhållande, låg konstruktionshöjd kan det uppkomma behov att genomföra vissa ändringar av konceptet. Detta för att klara aktuella lastfall. Sådana ändringar kan vara att använda ett högre hållfast stål, byta till ett tvärsnitt som genererar ökad styvhet i konstruktionen samt att öka antal stöd.

## 11.1 Utformning av tvärsnitt

Som tidigare nämnt kan en balkbro i stål utformas med ett spann på 80 meter. På grund av förhållandet mellan spännvidd och konstruktionshöjd har konceptet tilldelats ett mellanliggande stöd. Detta stöd placeras i befintligt perrong vilket medför en spännvidd på 31,8 meter söder om det mellanliggande stödet och 41,2 meter norr om stödet (se Figur 5). Bredvid detta stöd ges möjlighet till en separat konstruktion för transport via hiss och trappa ned till underliggande perrong.

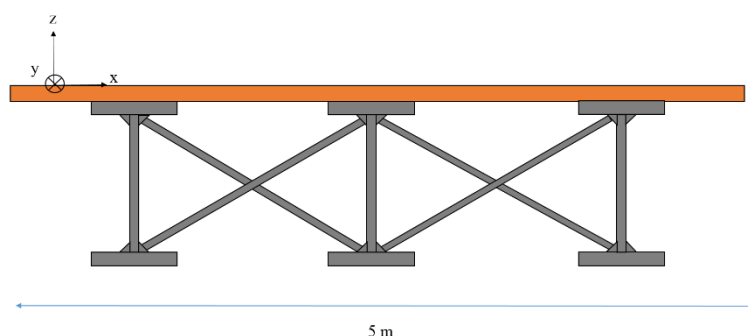


Figur 5. Illustration av stödplacering och grundläggning.

Det mellanliggande stödet placeras mellan två järnvägsspår och måste därmed dimensioneras med risk för påkörning av järnvägsfordon. Då stödet placeras intill järnväg kommer stödet utformas som ett skivstöd i betong. Materialet betong väljs på grund av betongens förmåga att uppta tryckkrafter.

Tvärsnittet utformas som ett I-tvärsnitt i konstruktionsstål, där liv och flänsar svetsas samman genom halssvets. Svetsade balkar är, som tidigare nämnts, att föredra framför valsade då de kan dimensioneras med avseende på moment vilket resulterar i en lägre egenvikt. Trafiklasterna kommer inte vara omfattande då det rör sig om en gång- och cykelbro. Vidare blir bredden på farbanan fem meter då det endast finns krav på att ett servicefordon åt gången ska kunna passera över bron. Utifrån dessa förutsättningar

väljs ett trebalkssystem med korslagda balkar för att staga upp brobanan i sidled, det vill säga motverka risken för vippning (se Figur 6).



Figur 6. Illustration av brobanans tvärsnitt.

## 11.2 Grundläggning

Enligt avsnitt 2.1 varierar jordtäcket djup från tre till tio meter och består av postglacial lera. Det södra landfästet kommer grundläggas med platta på berg då djupet beräknas vara under tre meter. Lerlagret schaktas bort och fylls med krossmaterial där plattan gjuts. Med hänsyn till sättningsrisk grundläggs det norra landfästet med spetsburna betongpålar på ett uppskattat djup av åtta meter. Valet att använda spetsburna pålar är till följd av att neddrivning av pålar till berg är möjlig. Det mellanliggande stödet förankras till befintlig perrong med hjälp av en gjuten platta, vilken sträcker sig ned under perrongen och vilar på pålar. Grundläggningen illustreras i Figur 7.

## 11.3 Landfästen och övergångskonstruktioner

Bron är upplagd på fristående landfästen där respektive frontmur är förlängd upp till brobanan med ett grusskift. Grusskiftet, tillsammans med vingmurarna fungerar som mothåll för bakomliggande jordmassor (Trafikverket, 2016, s.169-174). Brobanan ligger på lager som vilar på lagerplintar i betong, fastgjutna i den horisontella betongytan framför grusskiftet som benämns lagerpall (se Figur 7).

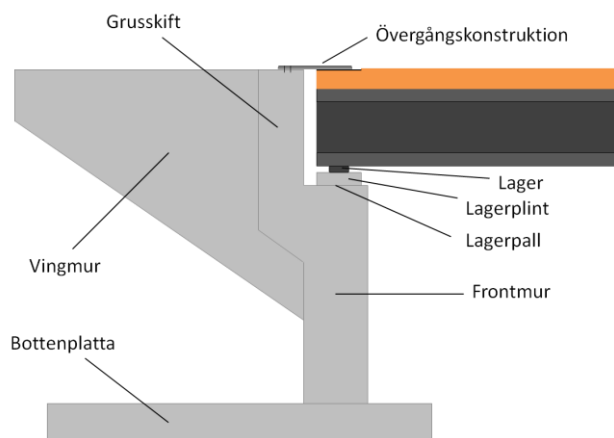
Vid det norra samt det södra landfästet är den ena balken upplagd på ett tvåsidigt rörligt lager där förskjutningar är möjliga i både längs- och tvärgående led. Den andra balken är upplagd på ett ensidigt rörligt lager som är låst i tvärgående led men tillåter rörelser i längsled. Vid det mellanliggande stödet är den ena balken försedd med ett fast lager och den andra balken ligger på ett ensidigt rörligt lager där rörelser i tvärlid är möjligt men inte i längsgående riktning. Denna kombination av lager tillåter längdutvidgning till följd av temperaturförändringar, och medför att krafterna tas upp i det fasta lagret varpå de leds ner i det mellanliggande stödet.

På grund av att stål och trä har olika längdutvidgning, enligt Lindén<sup>6</sup> valdes en glidplåt som övergångskonstruktion mellan landfästen och broände. Den överliggande plåten fästs i landfästet och vilar på en klack med en gummimatta där plåten tillåts att

---

<sup>6</sup> Staffan Lindén. Brokonstruktör COWI AB.Handledning på COWI 9 mars 2017.

glida fram och tillbaka för att kompensera för temperaturutvidgning. Gummimattan fungerar även som tätning så att vatten och föroreningar inte tränger ner till lagren.



Figur 7. Illustration över landfäste och övergångskonstruktion.

## 11.4 Räckten

För att kunna säkerhetsställa säkerheten för samtliga som passerar över bron och till följd av att bron går över en järnväg ställs krav på en räckeshöjd på 1,4 meter. Utöver räcke erfordras elskydd samt fallskydd på minst 1,1 meter över markytan till följd av att bron är belägen över järnväg. Vidare ställs krav för gång- och cykelbroar att den största fria öppningen på räcket i vertikalled inte får överstiga 450 millimeter. Till gång- och cykelbron över Hägernäs Station väljs ett gång- och cykelräcke, Birsta GC, från tillverkaren Saferoad (se Figur 8). Räcket är utrustat med stänkskydd i glas och tillverkat i polykarbonat och stål. Räcket kompletteras med LED-belysning (Light-Emitting Diode) för en ökad trygghetskänsla för gång- och cykeltrafikanterna på bron (Trafikverket, 2011, s. 124).



Figur 8. Broräckets utformning.

## 11.5 Avrinningsystem

Brobanans överyta utformas så att avvattning av beläggning och tätskikt blir möjligt. För att möjliggöra avrinning kommer brobanan utformas med ett tvärfall på 2,5 % på båda sidor. För att regnvattnet inte ska rinna ner direkt på järnvägsspår eller perrong leds vattnet från brobanan bort via ytavlopp. Ytavloppen placeras så att dess överyta förläggs tio millimeter under beläggningsens överyta för gång- och cykelbroar (Trafikverket, 2011, s. 112). Vattnet leds därefter vidare från ytavloppen till fyra stuprör som är placerade vid gång- och cykelbrons landfästen. Det leds sedan vidare till Täby kommuns befintliga system för dagvattenshantering.

## 11.6 Produktionsmetod

Produktionen börjar med att markarbete och pålning utförs, varpå södra och norra landfästet samt det mellanliggande stödet platsgjuts. Därefter transporteras prefabricerade stålbalkar till platsen i längder om maximalt 24 meter. Väl på plats svetsas balkarna ihop med stumsvets, och stag placeras mellan balkarna och bildar ett stålbärverk. Grusskift och vingmur (se Figur 7), på södra landfästet, gjuts först efter att stålbärverket är på plats, detta för att möjliggöra horisontell lansering. Den horisontella lanseringen av stålbärverket sker från det södra till norra landfästet. Vid norra landfästet kommer en mobil lyftkran ta emot stålbärverket för att undvika nedböjningar. När stålbärverket är på plats lyfts farbanan i trä sektionvis på plats med hjälp av den mobila kranen. Fria ytor, i anslutning till bron, kommer behövas för att möjliggöra transport av material, svetsning och lansering vilket innebär att avverkning av skog på södra sidan kan behövas.

## 11.7 Underhåll och inspektioner

Detta brokoncept kommer bestå av stål, betong och trä vilket kräver olika underhållsmetoder och inspektioner. För primärbärverket i stål kommer tvättning krävas och eventuellt även att förbättringsmålning utförs, detta för att förhindra att stålet korroderar. Ommålning av bron förväntas utföras minst två gånger under brons livslängd på 80 år. Vidare kommer kontroll och utbyte av skruvar nitar genomföras.

Då valt koncept har en farbana i trä bör kontroller av fuktkvot göras. För att motverka fuktangrepp har val av täckmålning av trä gjorts. Att träfarbanan målas kan dessutom vara fördelaktigt sett till primärbärverket i stål, då även dessa på så vis utsätts för mindre fukt i de delar som är i kontakt med farbanan.

Underhåll av betong kommer främst behövas för det mellanliggande stödet, men behov kommer även finnas för de två vingmurarna. Detta underhåll kommer bestå av all laga sprickor och eventuellt förstärka armering om korrosion skulle uppstå.

Under brons livslängd kommer övergångskonstruktionernas glidplåtar samt gummimatta behöva bytas ut. Underhåll av beläggnings i asfalt, broräckets belysning, utbyte av skadade räcken samt rensning av avrinningsystem bör även det ske kontinuerligt.

## 12 Preliminär dimensionering av slutgiltigt brokoncept

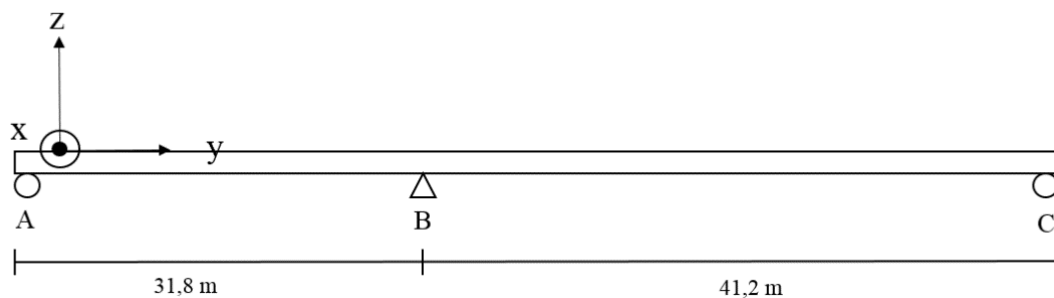
Gång- och cykelbrons överbyggnad samt underbyggnad har dimensionerats för de laster som verkar på bron, detta för att uppnå rådande krav på bärförmåga. Den preliminära dimensioneringen har varit en iterativ process, då flertalet parametrar gällande material och dimensioner är beroende av varandra. För att säkerhetsställa krav så som brukbarhet, beständighet och bärförmåga, har beräkningar utförts i brott- och bruksgränstillstånd. Samtliga beräkningar har utförts i enighet med beräkningsmodeller från Eurocode, Trafikverket samt med stöd från Bärande konstruktioner Del 1 och Bärande konstruktioner Del 2. Gällande brons underbyggnad kommer endast uppskattade dimensioner av skivstödet att redovisas.

### 12.1 Materialdata

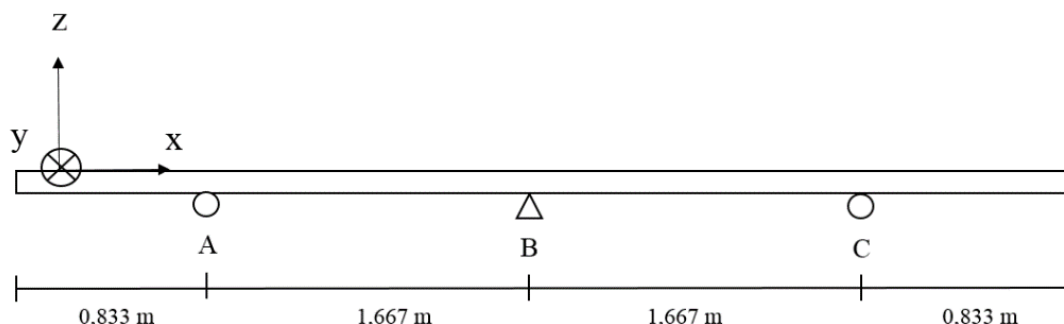
Det stål som valts för balkarna är av ett konstruktionsstål av kvalitet S355. Denna stålqualität valdes då den är välbeprövad vid stålkonstruktioner och möjliggör förhållandet mellan spännvidder och konstruktionshöjd. För farbanan valdes ett hållfasthetshomogent limträ, GL32k, för att undvika potentiell sprickbildning i asfaltsbeläggningen (Svenskt trä, 2003f). Ur Bärande konstruktioner Del 1 erhålls karakteristiska hållfasthetsvärden för trä samt för stål, som redovisas i Bilaga B1.

### 12.2 Erfordrade beräkningsmodeller

Vid dimensionering av stålbalkarna har ett förenklat statiskt system i längsled upprättats (se Figur 9), vilket representerar en fritt upplagd balk vilandes på det mellanliggande skivstödet samt de två landfästena. Det faktiska systemet, som innefattar tre kontinuerliga fritt upplagda balkar, har därmed förenklats till en kontinuerlig fritt upplagd balk. Detta till följd av en jämn fördelning av laster mellan balkarna. Även vid dimensionering i tvärled antas farbanan fungera som en fritt upplagd balk på tre stöd. De tre stöden i denna riktning motsvarar de tre I-balkarna i primärbärverket (se Figur 10). Placeringen av de tre I-balkarna i tvärled är vald så att deras effektiva bredd, på vilken lasterna verkar, är lika stora.



Figur 9. Beräkningsmodell för dimensionering av stålbalkar i längsled.



Figur 10. Beräkningsmodell för dimensionering av träfarbana i tvärled.

### 12.3 Aktuella laster för gång-och cykelbro

Bron belastas av både permanenta och variabla laster. De laster som benämns med beteckningar i detta kapitel är de som inkluderats vid beräkningar (se Tabell 6). Hur dessa värden beräknats redovisas i Bilaga B2. I vertikalled verkar bland annat egentygden, vilken ses som en permanent last. Egentygden har beräknats på olika sätt beroende på om dimensionering skett med avseende på stålbalkarna i längsled eller med avseende på träfarbanan i tvärled. För att särskilja de två fallen betecknas egentygden därför som  $G_l$  i längsled och som  $G_t$  i tvärled. Vid dimensionering av balkarna används den egentygnd som verkar på dessa, det vill säga egentygnd från räckan, beläggning, farbana och balkar. Vid dimensionering av farbanan inkluderas egentygnd från farbana, räckan och beläggning.

I vertikalled verkar även variabla laster, vilka inkluderar en koncentrerad last, en punktlast från ett servicefordon,  $Q_{serv}$ , samt en jämnt utbredd trafiklast,  $Q_{fk}$  (SS-EN 1991-2, 2010, s. 59-60). Då trafiklasten är angiven i tyngdenhet per kvadratmeter har beräkning av trafiklasten i längsled genomförts genom effektivbredd per balk, medan i tvärled har beräkningar genomförts per meter i längsled.

Bron belastas även av vertikal vindlast, temperaturlast samt snölast (Trafikverket, 2011, s. 54–55). Enligt Eurocode behöver varken snölasten eller den koncentrerade lasten beaktas. Detta till följd av att en koncentrerad last inte behöver beaktas samtidigt som last från servicefordon, och snölast inte kombineras med gång- och cykeltrafik eller med horisontella laster (SS-EN 1990, 2014, s.56). Vidare har inte den vertikala vindlasten samt temperaturlasten tagits med i beräkningarna då dess storlek inte anses ha betydande inverkan på den preliminära dimensioneringen.

I horisontalled verkar laster från vind, både vinkelrätt bron,  $F_{wx}$ , och parallellt bron (SS-EN 1991-1-4, 2008, s.76–83). Det område där bron skall placeras har antagits vara ett område med låg vegetation till följd av den öppna terrängen i anknötning till spårvägen. Detta har lett till att den vindlast som verkar vinkelrätt brobanan dimensionerats enligt terrängtyp II (SS-EN 1991-1-4, 2008, s. 85). Likt den vertikala vindlasten har inte vindlast som verkar längs med brobanan tagits med i beräkningarna till följd av dess ringa storlek.

Längs med bron verkar även en horisontell bromslast (SS-EN 1991–2, 2010, s. 97), vilken uppkommer antingen från trafiklast eller från servicefordon. Det verkar dessutom en horisontell temperaturlast längs med brobanan (Trafikverket, 2011, s. 54–55). Denna temperaturlast samt bromslasten inkluderas inte, då deras storlek inte anses ha betydande inverkan på den preliminära dimensioneringen.

Tabell 6. Sammanställning av de laster som tagits med i den preliminära dimensioneringen.

Laster			
Permanent last	Egentyngd_längsled	$G_l$ [kN/m]	32,36
	Egentyngd_tvärlad	$G_t$ [kN/m]	16,26
Variabel vertikal last	Servicefordon	$Q_{serv}$ [kN]	120,00
	Utbredd trafiklast_längsled	$Q_{fk_l}$ [kN/m]	25,00
	Utbredd trafiklast_tvärlad	$Q_{fk_t}$ [kN/m]	5,00
Variabel horisontell last	Vindlast	$F_{wx}$ [kN]	239,08

## 12.4 Lastkombinationer för gång-och cykelbro

Lastkombinationer används för att styrka att erforderlig bärförmåga är tillräcklig under inverkan av en kombination av olika laster, i brott- och bruksgränstillstånd. Lastkombinationerna resulterar i adapterade storlekar för respektive last och det är dessa värden (se Bilaga B3) som använts i beräkningarna. Från Eurocode erhålls olika kombinationsregler beroende på om brottgräns- eller bruksgränstillstånd beräknas, och utifrån erhålls olika lastkombinationer (SS-EN 1990, 2014, s. 42-44).

### 12.4.1 Lastkombinationer i brottgränstillstånd

Brottgränstillstånd är ett gränstillstånd som påverkar både människors och bärverkets säkerhet (SS-EN 1990, 2014, s.28). Från Eurocode har ekvationerna 6.10a och 6.10b hämtats (se Figur 11) vilka används för beräkning av lastkombinationer med varaktiga respektive tillfälliga dimensioneringssituationer (SS-EN 1990, 2014, s.40–44). Vid framtagning av lastkombinationer erhöles att beräknade värden enligt ekvationen 6.10b var dimensionerande, varpå dessa använts vid dimensionering av överbyggnaden i brottgränstillstånd. Ekvation 6.10 b mynnade ut i två primära lastkombinationer, vilka i det ena fallet var då den jämnt utbredda trafiklasten var huvudlast och egentyngden ogynnsam last. I det andra fallet beräknades det vara då servicefordonet var huvudlast och egentyngden ogynnsam last. Trafiklasten och lasten från servicefordonet kombineras ej samtidigt på grund av att de inte tillhör samma lastgrupp (SS-EN 1991–2, 2010, s. 63). Lastgrupper anger vilka laster som tillåts att verka samtidigt på bärverket.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G_j} G_{k_j} + \gamma_P P + \gamma_{Q_1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G_j} G_{k_j} + \gamma_P P + \gamma_{Q_1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G_j} G_{k_j} + \gamma_P P + \gamma_{Q_1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G_j} G_{k_j} + \gamma_P P + \gamma_{Q_1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad (6.10b)$$

Figur 11. Ekvation 6.10 a representerar lastkombinationer där egentyngden är huvudlast och därav reduceras endast de variabla lasterna. Ekvation 6.10b representerar lastkombinationer där variabla lasterna istället är huvudlast och därför reduceras egentyngden. Ekvationerna innefattar egentyngd, spännkraft samt variabla laster (SS-EN 1990, 2014, s.42).

I dessa ekvationer benämns variabla laster som Q och egentyngd som G. Spännkraften, P, är noll då denna variant av kraft inte existerar för detta koncept. Vid beräkningar i brottgränstillstånd används en partialkoefficient,  $\gamma$ . Denna varierar beroende på vilken typ av last den aktuella lasten är, samt om denna är gynnsam eller ogynnsam. Vidare finns en reduktionsfaktor,  $\xi$ , och ett lastreduktionstal,  $\psi_0$ , som båda varierar med hänsyn till vilken typ av last den multipliceras med (SS-EN 1990, 2014, s.42). Värderna på partialkoefficienter, reduktionsfaktor, lastreduktionstal samt framtagna värden för brottgränstillstånd återfinns i Bilaga B3.1.

## 12.4.2 Lastkombinationer i bruksgränstillstånd

Bruksgränstillstånd är ett gränstillstånd som påverkar människors välbefinnande, byggnadsverkets utseende samt bärverkets funktion vid normal användning (SS-EN 1990, 2014, s.28). Bruksgränstillstånd dimensioneras också med hjälp av lastkombinationer. Brobanan har dimensionerats för både kvasi-permanenta lastkombinationer (vid långtidslast) så väl som för frekventa lastkombinationer (vid korttidslast), och sker enligt Figur 12 (SS-EN 1990, 2014, s.44). Ekvation 6.16b gäller för kvasi-permanent lastkombination och ekvation 6.15b gäller för frekvent lastkombination. Lastreduktionstalet,  $\psi_2$ , är noll för alla laster vid beräkning i bruksgränstillstånd (SS-EN 1990, 2014, s.59), vilket medför att det i ekvation 6.16b endast är egentyngden som inverkar. Vid framtagning av värden från de två lastkombinationerna erhöles det att ekvationen 6.15b var den dimensionerande och denna har därför använts vid dimensionering av överbyggnaden i bruksgränstillstånd.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k_j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k_j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

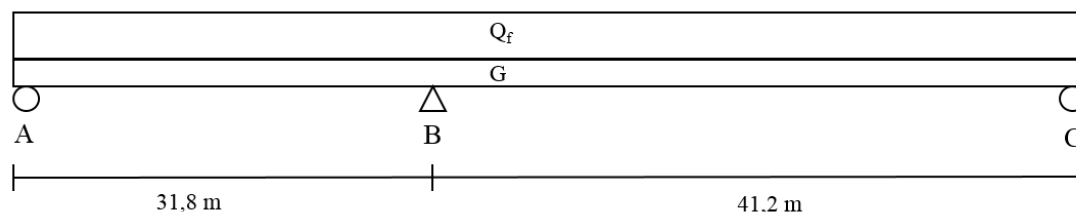
Figur 12. Ekvation 6.15b representerar frekvent lastkombination och 6.16b representerar kvasi-permanent lastkombination. I ekvation 6.16b är det endast egentyngden som inverkar då spännkraften och lastreduktionstalet  $\psi_2$  är noll. Däremot i ekvation 6.15b inverkar både egentyngden samt variabla laster. Ekvationerna innefattar egentyngd, spännkraft samt variabla laster (SS-EN 1990, 2014, s.44).



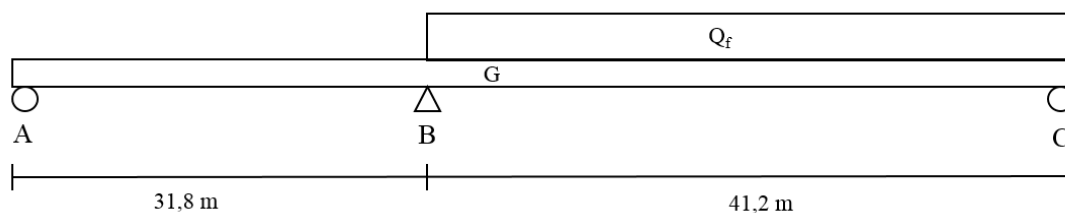
Likt ekvationerna för brottgränstillstånd benämns egentygngden som  $G$  och variabla laster som  $Q$ . Spännkraften,  $P$ , är noll även här då den ej existerar för detta koncept. Ekvationer i bruksgränstillstånd innehåller lastreduktionstalet  $\psi_1$  för frekvent värde, och  $\psi_2$  för kvasi-permanent värde. Dessa varierar med hänsyn till vilken typ av last de ska multipliceras med, på samma sätt som  $\psi_0$  varierar vid beräkningar i brottgränstillstånd. Värden på lastreduktionstal samt framtagna värden för bruksgränstillstånd återfinns i Bilaga B3.2.

## 12.5 Lastfall för dimensionering av överbyggnaden

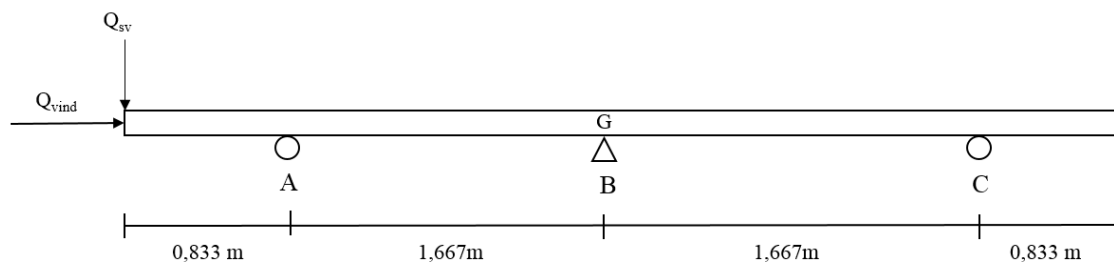
För dimensionering av detta koncept har lastfall tagits fram genom förenklade placeringar av aktuella laster, detta för att kunna redovisa möjliga dimensionerande lastfall. Dessa dimensionerande lastfall ligger sedan till grund för beräkning och analys av moment, tvärkraft samt nedböjning. Vilka laster som verkar samtidigt i respektive lastfall har fått utifrån lastgrupper som beskrivs i Eurocode (SS-EN 1991-2, 2010, s. 63). De olika lastfallen skiljer sig åt beroende på hur laster placerats samt beroende på vilken riktning som studeras, det vill säga om studier i längsled eller i tvärled genomförts. De lastfall, i brott- och bruksgränstillstånd, som studerats i längsled redovisas i Bilaga B5.1 och de som studerats i tvärled redovisas i Bilaga B6.1. De dimensionerande lastfallen för respektive tillstånd och riktning presenteras i Figur 13 - 15 nedan.



Figur 13. Dimensionerande lastfall, Lastfall 1, med avseende på moment och tvärkraft för brottgränstillstånd i längsled.



Figur 14. Dimensionerande lastfall, Lastfall 3, med avseende på nedböjning för bruksgränstillstånd i längsled.



Figur 15. Dimensionerande lastfall, Lastfall 12, med avseende på moment, tvärkraft samt nedböjning för brottgränstillstånd i tvärlöd.

## 12.6 Dimensionering av brobana – längsled

I längsled har bron dimensionerats för att klara krav gällande momentkapacitet, tvärkraftskapacitet samt nedböjning. Detta har möjliggjorts genom optimering av stålbalkarnas tvärsnitt. Beräkningsgången har skett per balk, då den effektiva bredden som verkar på samtliga balkar är lika stor för respektive balk till följd av balkarnas placering. Detta innebär att de värden som erhållits i beräkningar, se Bilaga B5, är värden per balk. Beräkningarna har utförts i MATLAB med stöd av CALFEM.

### 12.6.1 Brottgränstillstånd

Vid brottgränstillstånd ställs krav på momentkapacitet, tvärkraftskapacitet samt interaktion mellan dessa. Detta för att bron ska klara de belastningar den utsätts för.

När beräkning av tvärsnittets bärförmåga genomförts beaktas risken för lokal instabilitet genom hänsyn till fyra olika tvärsnittsklasser. Tvärsnittsklassen ges från slankheten i tvärsnittet, och ju större risken för lokal instabilitet är desto högre tvärsnittsklass tilldelas tvärsnittet.

I Figur 16 ges ekvationen för beräkning av momentkapacitet hos en stålbalk,  $M_{b,Rd}$ , vilken ska vara större eller lika med momentet orsakat av yttre påverkan,  $M_{Ed}$ . Värdet på  $M_{b,Rd}$  beror av vilken tvärsnittsklass tvärsnittet tillhör, huruvida böjmotståndet ses som plastiskt eller elastiskt. (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S84).

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (S4-41)$$

$W$  är tvärsnittets böjmotstånd  
 $W = W_{pl}$  för tvärsnitt i klass 1 och 2  
 $W = W_{el}$  för tvärsnitt i klass 3  
 $W = W_{eff}$  för tvärsnitt i klass 4

Figur 16. Figuren visar ekvationen för momentkapaciteten,  $M_{b,Rd}$ , hos en stålbalk samt de olika böjmotstånden,  $W$ , som finns beroende av vilken tvärsnittsklass tvärsnittet befinner sig i (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S71).

Bärförmågan, sett till tvärsnittet hos en stålbalk, kan begränsas av instabilitetsfenomenet skjuvbuckling vid tvärsnittets tryckta delar. Till följd av slankhet hos balken kan skjuvbuckling uppkomma innan fullt plastiskt moment kan uppnås. I Figur 17 nedan ses den gräns för vid vilken skjuvbuckling inte sker (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S84).

För oavstyvad livplåt

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (S5-19)$$

För liv med vertikala avstyvningar

$$\frac{h_w}{t} \leq 31 \frac{\varepsilon}{\eta} \sqrt{\kappa_\tau}$$

Figur 17. Den gräns för vilken Eurocode anger att skjuvbuckling inte sker (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S83).

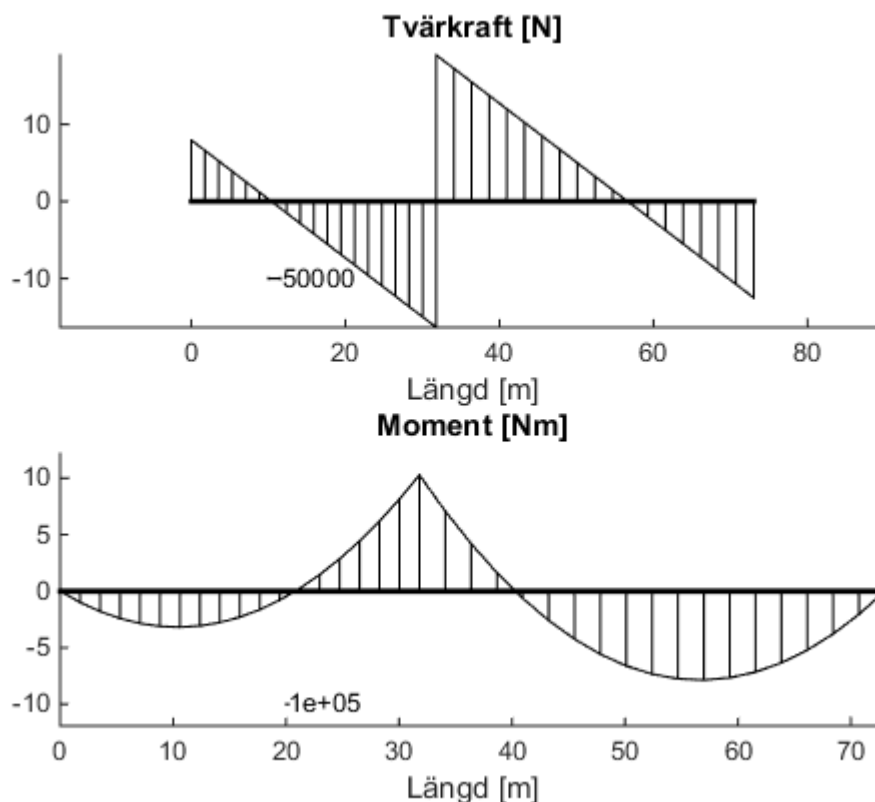
Den tvärkraftskapacitet,  $V_{Rd}$ , som erhålls vid uppnådd skjuvhållfasthet skall vara större eller lika med den tvärkraft,  $V_{Ed}$ , som uppstår till följd av aktuella lasteffekter. Beräkningen har skett med antagandet att vertikala avstyvningar förekommer varannan meter. Då detta koncept inte klarade gränsen, för vid vilken skjuvbuckling uppstår, beräknades tvärkraftskapaciteten i enighet med metod för slanka balkliv enligt ekvationen i Figur 18 nedan.

$$V_{bw,Rd} = \chi_w \cdot h_w \cdot t_w \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (S5-20)$$

Figur 18. Ekvation för tvärkraftskapacitet hos slanka balkliv (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S84).

Utifrån beräkningar erhöles att balkarnas flansar tillhör tvärsnittsklass två och att livet tillhör tvärsnittsklass ett. Därmed framkom att hela tvärsnittet ligger i tvärsnittsklass två. Detta leder i sin tur till att vardera balken har en bärförmåga, med avseende på moment, med värdet  $M_{b,Rd} = 10\,583,72$  kNm. Det värdet är större än lasteffekten per balk med värdet  $M_{Ed} = 4\,349,17$  kNm. Tvärkraftskapaciteten per balk resulterade i ett värde  $V_{Rd} = 2\,557,70$  kN, vilket är större än lasteffekten per balk  $V_{Ed} = 618,06$  kN. Detta medför att tvärsnittet klarade de krav som finns gällande moment- och tvärkraftskapacitet.

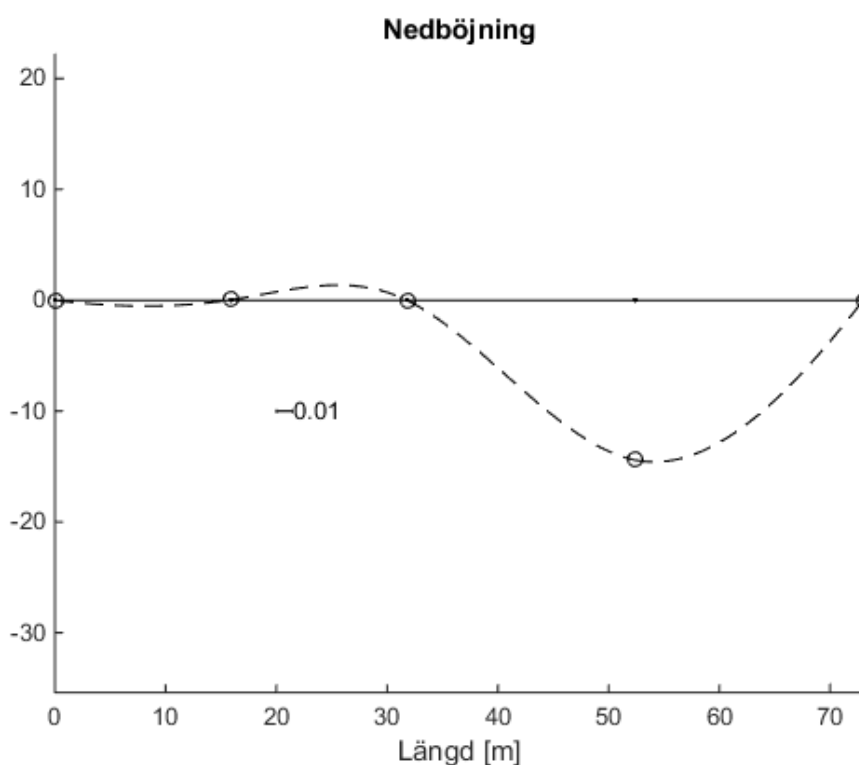
Verkningsgraden för moment blev 41 % och verkningsgraden för tvärkraft blev 24 %. Då verkningsgraderna blev lägre än 50 % har inte hänsyn till interaktion mellan moment och tvärkraft behövt tas i beaktning (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S86). I Figur 19 visas moment- och tvärkraftsdiagram över det dimensionerande lastfallet, Lastfall 1. Beräkningar av bärförmåga kan ses i Bilaga B5.2.



Figur 19. Diagram över dimensionerande moment och tvärkraft per balk vilka erhöles ur Lastfall 1.

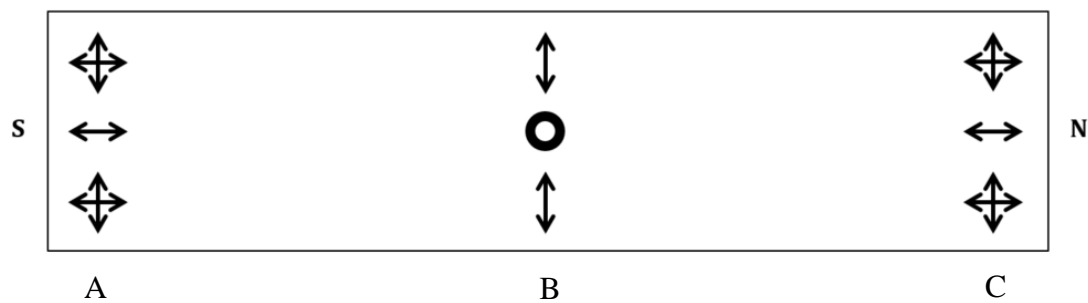
## 12.6.2 Bruksgränstillstånd

För bruksgränstillstånd i längsled kontrolleras nedböjning samt längdförändring till följd av temperaturdifferens, vilka redovisas i Bilaga B5.3. Maximal nedböjning får inte överskrida tillåten nedböjningen på  $L/400$ , där  $L$  är bronns spännvidd varvid maximal nedböjning uppkommer (Trafikverket, 2011, s. 58). De spännvidder nedböjning kontrollerats mot är både den på 31,8 meter, och den på 41,2 meter. Utifrån detta erhålls att de slutgiltiga nedböjningarna inte får överstiga  $w_{\max\_till} = 79,50$  millimeter samt  $w_{\max\_till} = 103$  millimeter. De slutliga nedböjningar som erhöles var  $w_{\text{kort\_spann}} = 21,86$  millimeter och  $w_{\text{långt\_spann}} = 102,97$  millimeter, och alltså blev dimensionerande nedböjning  $w_{\text{långt\_spann}}$ . Därmed uppfylldes de krav som finns gällande nedböjning. Fri höjd vid skivstöd har optimerats till 6,122 meter för att uppfylla höjden för fria rummet, det vill säga det hinderfria utrymme som krävs, ovan spår I Figur 20 nedan redovisas diagram över nedböjning för Lastfall 3, det lastfall där maximal nedböjning erhöles.



Figur 20. Diagram över dimensionerande nedböjning per balk vilka erhöles ur Lastfall 3.

Vid beaktning av längdförändring till följd av temperaturdifferens studeras träfarbanan och stålbalkarna separat, och beräkning sker med hänsyn till den längsta spännvidden. Endast ett spann studeras till följd av det fasta lagret i stöd B, vilket separerar längdförändringen åt norr respektive söder (se Figur 21).



Figur 21. Lagers rörelseriktningar sett från brobanans ovansida. Sett från vänster; stöd A, stöd B och stöd C.

Längdutvidningskoefficienten är materialspecifik och utifrån den kan temperaturändringen (se Figur 22) beräknas för trä respektive stål (Lebet & Hirt, 2013, s.210).

$$\Delta l = \alpha_T \cdot l \cdot \Delta T_1 \quad (10.3)$$

Figur 22. Ekvation för längdförändring till följd av temperaturdifferens (Lebet & Hirt, 2013, s.210).

Medeltemperaturen beräknas öka med 2,5 grader Celsius 80 år framåt i tiden (SMHI, u.å.b), och det är genom framtida värden beräkning av längdförändringen genomförts. De resulterande längdförändringarna till följd av temperaturdifferens,  $\Delta T_1$ , samt materialberoende längdutvidningskoefficient,  $\alpha_T$ , för trä respektive stål beräknades till  $\Delta l_{\text{trä}} = 148,30$  millimeter samt  $\Delta l_{\text{stål}} = 29,66$  millimeter. Dessa värden representerar spannet av farbanans absoluta längdförändring (utvidgning samt krympning).

## 12.7 Dimensionering av brobana – tvärled

I tvärled har bron dimensionerats för att klara krav gällande momentkapacitet, tvärkraftskapacitet samt nedböjning, vilket möjliggjorts genom optimering av träfarbanans tvärsnitt. Erhållna värden samt beräkningsgång återfinns i Bilaga B6. Beräkningarna har utförts i MATLAB med stöd av CALFEM.

### 12.7.1 Brottgränstillstånd

I brottgränstillstånd ska den spänning som uppstår på grund av lasteffekterna vara mindre eller lika med den dimensionerande hållfastheten. I somliga fall kan detta istället uttryckas genom att det moment som orsakas av yttre påverkan,  $M_{Ed}$ , ska vara mindre eller lika med kapaciteten,  $M_{Rd}$  (se Figur 23). (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T37-T51).

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (T3-13)$$

Detta kan skrivas om som:

$$M_{Ed} \leq W \cdot f_{m,d} \quad (T3-14)$$

*Figur 23. Villkor vid kontroll av momentkapacitet där moment orsakat av yttre påverkan ska vara mindre eller lika med kapaciteten (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T43).*

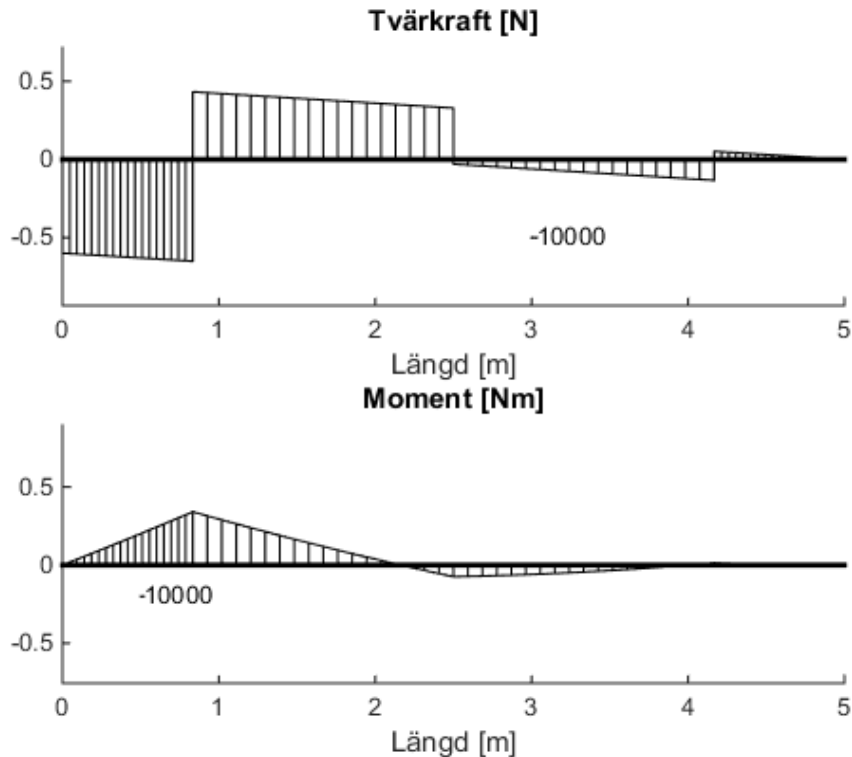
För att ekvation T3-14 i Figur 23 ovan ska gälla krävs att samtliga balkar i systemet är stagade mot vippning. Detta sker genom korslagda stag som verkar mellan stålbalkarna. Den dimensionerande hållfastheten,  $f_d$  beräknas enligt ekvationen i Figur 24 nedan, där  $f_k$  är den karakteristiska hållfastheten.

$$f_d = k_{\text{mod}} \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (T2-12)$$

*Figur 24. Ekvation för beräkning av dimensionerande hållfasthet,  $f_d$  (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T32).*

Den tvärkraft,  $V_{Ed}$ , som uppkommer till följd av lasteffekten, måste vara mindre än den tvärkraft,  $V_{Rd}$ , vilket tvärsnittet kan bära om skjuvhållfastheten är uppnådd. För att beräkna  $V_{Rd}$  antas skjuvspänningen vara lika med skjuvhållfastheten. Likt den dimensionerande hållfastheten beräknas skjuvhållfastheten enligt ekvationen i Figur 23 ovan, där det är  $f_k$  som varierar.  $V_{Rd}$  kan därefter lösas ut med hjälp av Jourawskis formel, och då kan tvärkraftskapaciteten kontrolleras (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T53-T57).

Resultaten från beräkningarna visade att  $M_{Rd} = 522,05$  kNm vilket är större än  $M_{Ed} = 156,48$  kNm. Tvärkraftskapaciteten som erhöles var  $V_{Rd} = 1\,218,53$  kN vilket är större än  $V_{Ed} = 195,56$  kN. Detta innebär att tvärsnittet klarade de rådande kraven. Verkningsgraden för moment beräknades till 30 % och verkningsgraden för tvärkraft till 16 %. I Figur 25 visas momentdiagram och tvärkraftsdiagram över det dimensionerande lastfallet, Lastfall 12. Utförliga beräkningar för bärförmågan redovisas i Bilaga B.2.

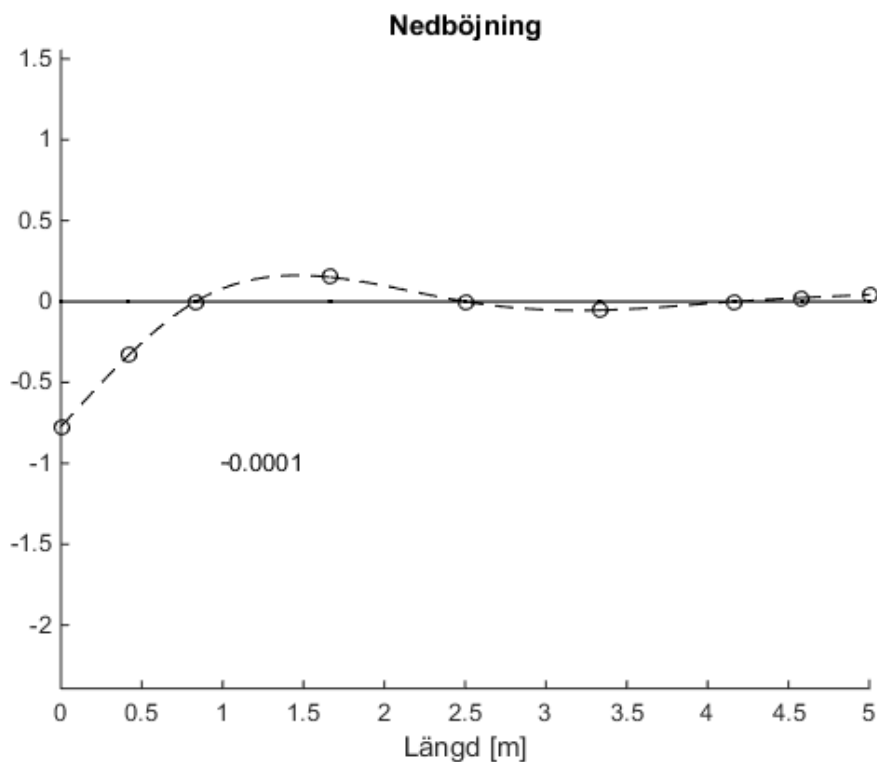


Figur 25. Diagram över dimensionerande moment och tvärkraft vilka erhöles ur Lastfall 12.

### 12.7.2 Bruksgränstillstånd

I tvärled har nedböjning kontrollerats för bruksgränstillstånd och resultaten redovisats i Bilaga B6.3. Likt beräkning av nedböjning i längsled får inte maximalt värde på  $L/400$  överskridas (Trafikverket, 2011, s. 58). Den spännvidd som nedböjning kontrollerats mot har i detta fall två olika värden, då maximal nedböjning har delats upp i två fall. Uppdelningen har skett genom att i det första fallet räkna med avståndet mellan brobanans ändpunkt till närliggande stöd, och i det andra fallet med avståndet mellan två balkar. Detta ger spännvidder på 0,833 meter respektive 1,667 meter. Utifrån detta erhålls att de slutgiltiga nedböjningarna inte får överstiga  $w_{\max\_till} = 2,08$  millimeter samt  $w_{\max\_till} = 4,17$  millimeter. De slutliga nedböjningarna som erhöles var  $w_{konsol} = 2,08$  millimeter och  $w_{mitt} = 0,44$  millimeter. Detta vilket resulterade i att kraven uppfylldes samt att dimensionerande nedböjning blev  $w_{\max} = 2,08$  millimeter. I Figur 26 nedan visas diagram över nedböjningen från Lastfall 12 där maximal nedböjning erhöles.





Figur 26. Diagram över dimensionerande nedböjning vilka erhöles ur Lastfall 12.

## 12.8 Dynamisk analys

För gång- och cykelbroar behöver en dynamisk analys utföras, detta för att säkerställa att inget obehag uppstår för gångtrafikanter till följd av resonans från brons och trafikens egenfrekvens. Avsnittet i Eurocode, för vilket beräkningsgången har utförts enligt, är avsett för träkonstruktioner. Dock kan beräkningarna även tillämpas för stålkonstruktioner då de ingående parametrarna inte är materialspecifika (Zivanovic, Pavic & Ingolfsson, 2010, s.1297). Om egenfrekvensen,  $f_1$ , (se Figur 27) för en spännvidd inte uppfyller givna krav, måste komfortkriterier verifieras utifrån största tillåtna acceleration (SS-EN 1990, 2002, s.68).

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

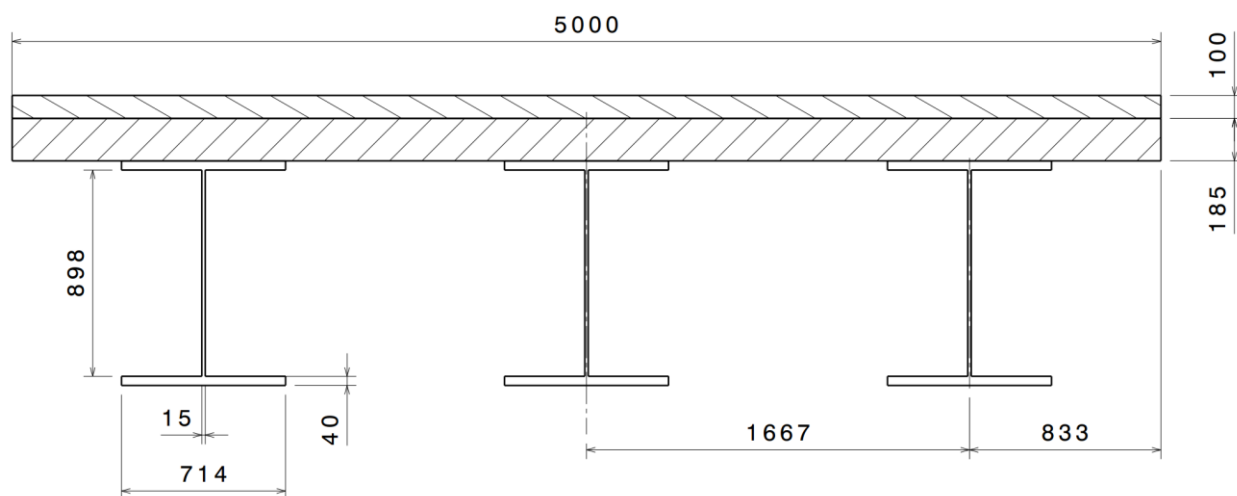
Figur 27. Ekvation för beräkning av egenfrekvens med avseende på aktuell spännvidd (SS-EN 1995-1-1, 2004, s. 57).

Vid vertikal dynamisk respons ska egenfrekvensen vara större än 5,00 hertz för att uppfylla kraven. Horisontell dynamisk respons anses uppfyllt då egenfrekvensen är större än 2,50 hertz (SS-EN 1990, 2002, s.68). Vertikala accelerationer får inte överstiga  $0,70 \text{ m/s}^2$  och horisontella vibrationer får inte överstiga  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Enligt Eurocode ska accelerationer kontrolleras med avseende på en person som går över bron, en löpare som springer över bron samt från grupper av personer (SS-EN 1995-2, 2004, s.28-30).

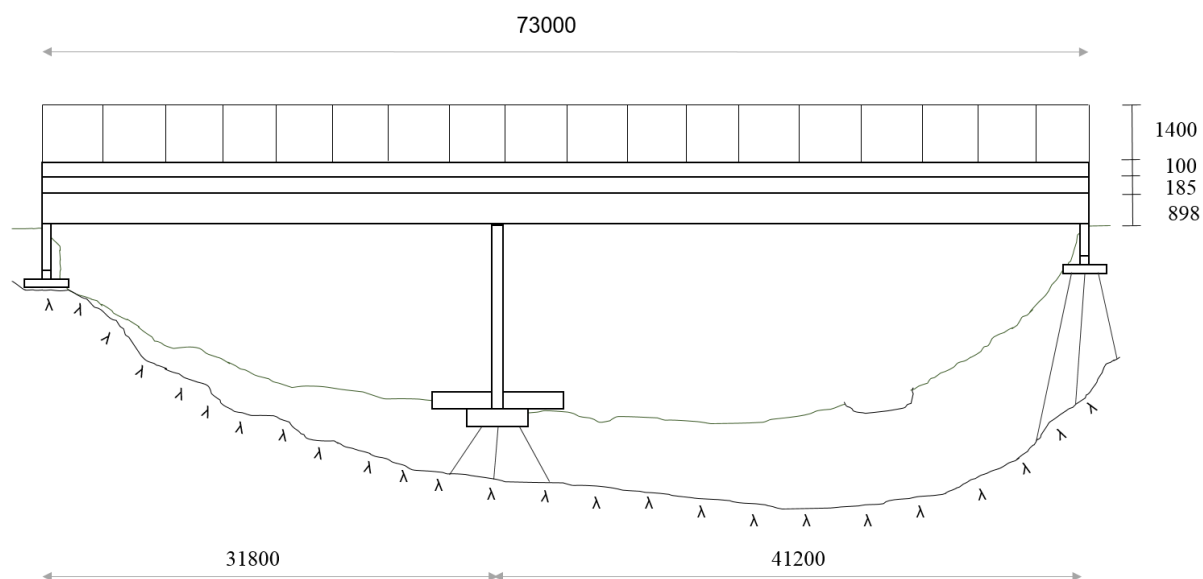
Brons horisontella respons klarade kravet för egenfrekvensen medan den vertikala responsen, med kravet på 5,00 hertz ej uppfylldes för någon av spännvidderna, varpå komfortkriterier behövde verifieras. Accelerationerna beräknades till  $0,005 \text{ m/s}^2$ ;  $0,029 \text{ m/s}^2$ ;  $0,010 \text{ m/s}^2$  samt  $0,075 \text{ m/s}^2$  för spännvidden på 31,8 meter. För spännvidden på 41,2 meter blev accelerationerna istället  $0,008 \text{ m/s}^2$ ;  $0 \text{ m/s}^2$ ;  $0,011 \text{ m/s}^2$  samt  $0,108 \text{ m/s}^2$ . Dessa resultat innebär därmed att komfortkriterierna uppfylldes. Beräkningar har genomförts med hjälp av MATLAB och redovisas i Bilaga B7.

## 12.9 Slutliga dimensioner av överbyggnaden

Utifrån beräkningar i brott- och bruksgränstillstånd, i både längsled och tvärlägen, erhöles slutliga dimensioner efter optimering (se Tabell 7). I Figur 28 ses sektionsritning av den slutgiltiga överbyggnadens dimensioner, som vardera delkomponent innehar, och i Figur 29 visas överbyggnaden i längsled.



Figur 28. Sektionsritning över dimensionerade komponenter för överbyggnaden där mått är angivna i millimeter för respektive konstruktionsdel.



Figur 29. Elevationsritning över överbyggnaden där mått är angivna i millimeter för respektive konstruktionsdel. (Ritning är ej skalenlig).

Tabell 7. Överbyggnadens slutgiltiga dimensioner för respektive konstruktionsdel angivna i millimeter.

Dimensioner av överbyggnaden [mm]

Längd på brobanan	73 000
Bredd på brobanan	5 000
Höjd på räcket	1 400
Tjocklek på asfalten	100
Tjocklek på träfarbanan	185
Tjocklek på ställiv	15
Höjd på ställiv	898
Tjocklek på stålbläns	40
Bredd på stålbläns	714
Total höjd på stålblekarna	987
Fri höjd	6 122

## 12.10 Dimensionering av underbyggnad

I detta kapitel ges uppskattade dimensioner samt armeringsinnehåll för skivstödet utifrån reaktionskraften i stöd B, vilken erhöles vid dimensionering av överbyggnaden i brottgränstillstånd. Beräkningar har skett med hjälp av MATLAB och redovisas i Bilaga B8.

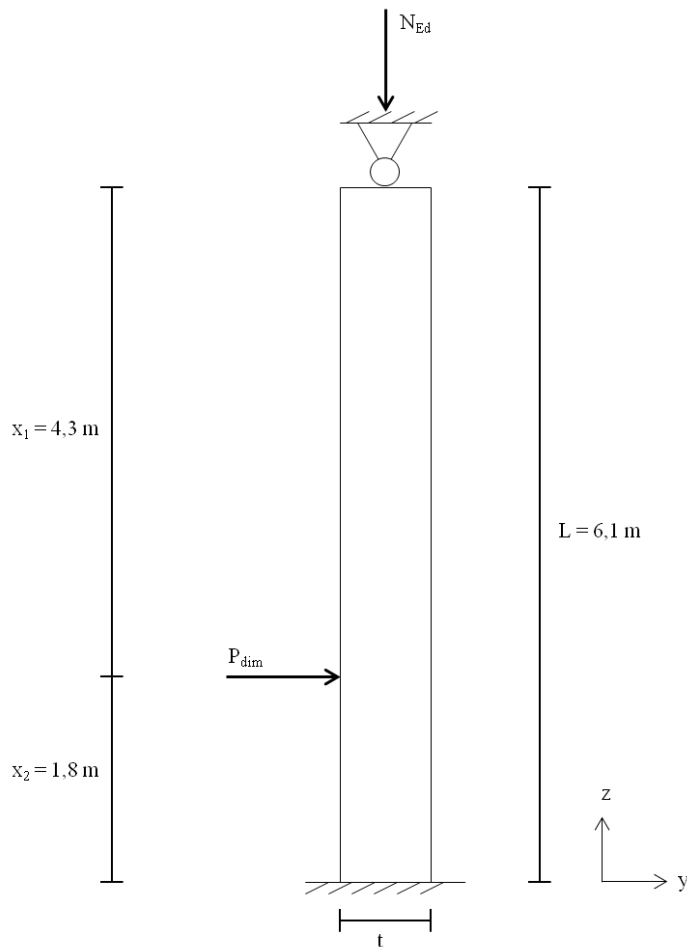
Skivstödet bredd har, likt brobanans bredd, bestämts till fem meter. Detta för att stål balkarna ska rymmas samt för att symmetri ska uppnås. Den fria höjden som erhöles vid skivstödet blev vid dimensionering av överbyggnaden 6,122 meter. Då denna analys syftar till att ge uppskattade tvärsnittsdimensioner har skivstödet längd,  $L$ , satts till 6,1 meter. Beräkningsgången fokuserade på att ta fram den tjocklek på skivstödet som krävs för att det inte skall gå till brott.

Dimensionering av skivstödet utfördes genom en iterativ process. I denna process kontrollerades en antagen tjocklek först mot knäckning i den veka riktningen, varpå den kontrollerades mot påkörning i samma riktning. Tvärsnittets veka riktning är den längs med bron, vilken motsvarar  $y$ -riktningen. Knäckning beräknades utifrån Eulers tredje knäckfall som ses i Figur 30 nedan.

$$N_B = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \quad (\text{K2-5})$$

*Figur 30. Ekvation för knäcklasten,  $N_B$  utifrån Eulerknäckning där knäcklängden,  $l_0$ , motsvaras av  $0,7L$  för Eulers tredje knäckfall (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2011, s. K3).*

Påkörningslasten har en angreppspunkt på en höjd av 1,80 meter, vilken är den rekommenderade angreppspunkten för påkörning från tåg. Detta gäller för tåg med en hastighet under 120 km/h med påkörning på vertikala bärverksdelar (se Figur 31) (SS-EN 1991-1-7, 2006, s.22). Påkörningskraft,  $P_{dim}$ , gäller då avståndet från skivstöd till centrumlinje för närliggande spår ligger mellan 3-5 meter (SS-EN 1991-1-7, 2006, s.22). Det mest kritiska fallet är då kraften angriper skivstödet långsida, vinkelrätt mot spårets riktning, alltså i bärverkets  $y$ -riktning.



Figur 31. Beräkningsmodell för skivstödet sett som en ensidigt fast inspänd pelare under belastning av en stödreaktionskraft,  $N_{Ed}$  samt en påkörningslast,  $P_{dim}$ .

Till följd av den horisontellt angripande påkörningskraften uppstår ett moment, och därmed krävs en kontroll av momentkapaciteten. Utifrån beräkning av första samt andra ordningens moment, kunde lasteffekten ansättas lika stor som momentkapaciteten, och därmed kunde erforderligt antal armeringsstänger bestämmas. Antalet stänger fördelades jämnt utmed skivstödet bredd, varpå ett s-avstånd erhöles. Därefter gjordes en rimlighetsbedömning av antalet stänger samt s-avstånd. Beräkning av första ordningens moment kan ses i Figur 32, där hänsyn tagits till imperfektioner hos skivstödet.

$$M_{0Ed}(z) = M(z) + N_{Ed} [e(z) + e_i(z)] \quad (\text{B11-9})$$

där  $M(z)$  = första ordningens moment på grund av transversallast  
 $e(z)$  = total avsiktlig excentricitet enligt fig. B11.11a  
 $e_i(z)$  = excentricitet på grund av formfel

Figur 32. Ekvation för beräkning av första ordningens moment,  $M_{0Ed}$  (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2011, s. B356).

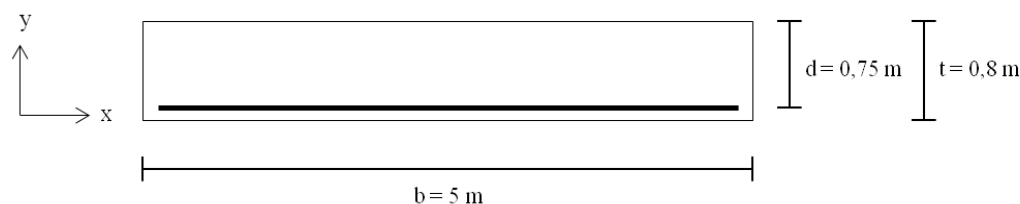
$M(z)$  beräknades genom att se skivstödet som en ensidigt fast inspänd, jämnstyv balk. Reaktionskraften,  $N_{Ed}$ , beräknades genom att multiplicera den dimensionerande stödreaktionen som verkar på respektive balk i stöd B (se Bilaga B5.2). Detta medförde att värdet på den totala stödreaktionskraften blev  $N_{Ed} = 3\,451,20$  kN.

Andra ordningens moment,  $M_{Ed2}$ , beräknades enligt ekvationen i Figur 33 nedan. Då dimensionering av skivstödet endast är översiktlig, för att uppskatta dess tvärsnittsdimensioner, har ett approximativt värde för andra ordningens effekter antagits i beräkningarna.

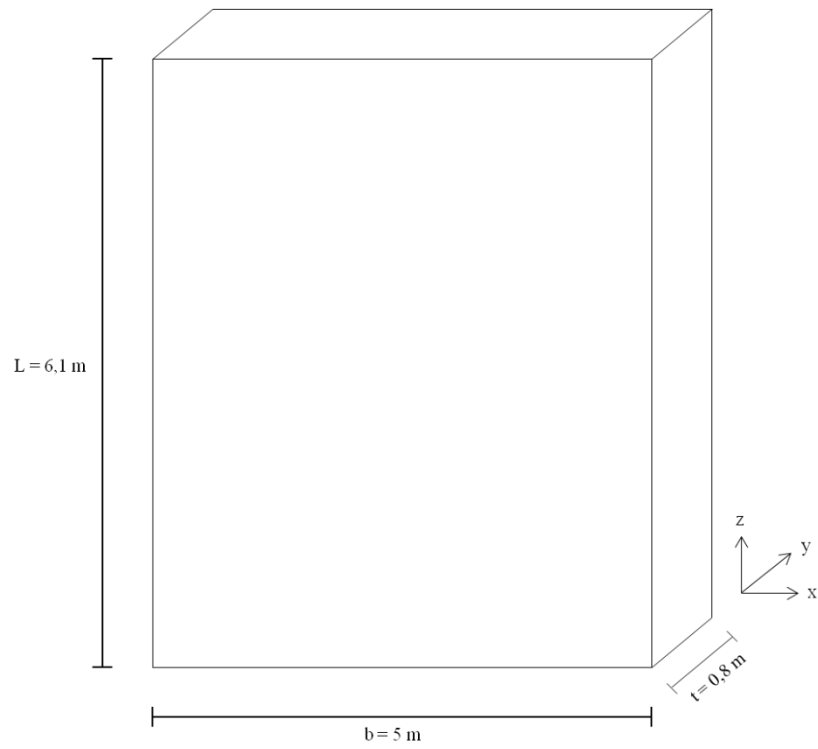
$$M_{Ed} = \left[ 1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right] M_{0Ed} \quad (\text{B11-16})$$

Figur 33. Ekvation för beräkning av andra ordningens moment,  $M_{Ed2}$ . Där andra ordningens effekter multipliceras med första ordningens moment (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2011, s. B362).

De slutliga dimensionerna som erhöles för skivstödet kan ses i Figur 34 och 35. Beräkningarna resulterade i en tjocklek på 0,8 meter. Val av armeringsstänger B500B med diameter på tolv millimeter medförde att det erforderade antalet armeringsstänger uppgick till 48 stycken, vilket i sin tur resulterade i ett s-avstånd på 0,10 meter. Då detta endast är en översiktlig beräkning har armering enbart lagts längs utmed med en utav sidorna.



Figur 34. Illustration av skivstödet, sett ovanifrån med armering längs med ena långsidan.



*Figur 35. Illustration av skivstödet och dess slutgiltiga dimensioner.*

## 13 Förslag på kvarstående dimensioneringar

Utöver den preliminära dimensioneringen som utförts återstår flertalet dimensioneringar för den färdiga konstruktionen. För överbyggnaden återstår att dimensionera övergångskonstruktionen, i form av en glidplåt, mellan väg och brobana. Detta bland annat för att klara de temperaturberoende rörelser som sker längs med brobanan. Vidare behöver dimensionering ske med hänsyn till landfästen, I-balkarnas halssvetsar, stumsvets mellan balkarna samt med hänsyn till korsstag som finns för att stabilisera bron i sidled. För att klara av den erforderliga skjuvspänningen som uppkommer måste halssvets mellan liv- och flänsplåt dimensioneras.

Verkningsgraden hos stålbalkarna kan förbättras genom separata optimeringar för övre respektive undre fläns. Detta då den fläns som tar upp positiva moment kräver lägre dimensioner än den fläns som skall ta upp negativa moment.

De laster som inte tagits med i den preliminära dimensioneringen; horisontell vindlast längs med bron, vertikal vindlast, bromslast samt temperaturlast bör tas i beaktning i en vidare dimensionering. Spänningar som uppstår på grund av temperaturförändringar i materialen har inte heller beaktas i den preliminära dimensioneringen. Även beräkningar gällande olyckslast så som brand bör beaktas i vidare dimensionering.

Räcket skall, förutom att skydda personer från fall från bron, också dimensioneras för att klara en horisontallast som kan uppkomma vid exempelvis plogning. Det är också av största vikt att skivorna i polykarbonat är ordentligt infästa, samt innehar den hållfasthet som krävs för att tåla exempelvis påkörning. Detta för att inga personolyckor skall kunna inträffa. Vidare skall även skyddstak placeras, och infästningar för dessa utformas, för att undvika urinerings på högspänningsledningarna.

Då bron sträcker sig över järnväg, och med hänsyn till risk för att ett tåg kan passera med hög hastighet, kan aerodynamiska krafter som kan verka som en dragkraft på brobanan behöva tas med i vidare beräkningar. Eftersom bron stäcker sig över en järnväg ska placering och dimensioner av hiss och trappa också tas med i en vidare dimensionering av brokonceptet.

Grundläggningsutförandet bör kompletteras med utförliga markundersökningar. Utifrån resultatet av dessa skulle beräkningar för pålar och sättningar kunna genomföras. Även dimensioner för landfästernas bottenplattor bör bestämmas. Detaljer, så som förband, bör även beaktas i en utförligare dimensioneringsprocess.

Noggrannare analys av brons dynamiska egenskaper kan utföras med den internationella standarden Sétra, detta som komplement till den analys som utförts enligt Eurocode.

En utförligare dimensionering för skivstödet hade under en fortsatt analys varit essentiell. Då denna dimensionering utgår från delvis approximerade värden hade detaljerade beräkningar av dessa resulterat i mer exakta dimensioner. Vad gäller armeringen i skivstödet behöver vidare beräkningar göras. Detta med hänsyn till påkörning från olika riktningar, för att kunna beräkna erforderlig armeringsmängd längs med stödets samtliga sidor.



## 14 Diskussion

Rapporten delades upp i två delprocesser, där den ena har varit att ta fram ett brokoncept och den andra att genomföra preliminära dimensioneringar för detta koncept. I dessa två processer har antaganden och förenklingar gjorts för att möjliggöra den preliminära dimensioneringen. I diskussionsavsnittet utvärderas dessa förenklingar och antaganden gällande rimlighet, samt hur de påverkar det slutgiltiga resultatet. I detta avsnitt kommer även referensernas tillförlitlighet behandlas.

### 14.1 Urvalsprocess

Processen för att ta fram ett brokoncept inleddes med litteraturstudier följt av urval. De brotyper som ansågs vara direkt olämpliga sållades bort. Detta gällde brotyper där spännvidderna överskred brons längd, och därigenom ansågs bli mindre ekonomiska att producera. Samma sak gällde brotyper med korta spännvidder som skulle kräva fler stöd, vilka kunde generera i ökad risk för miljöpåverkan. Att dessa brotyper sållades bort berodde främst på att det exempelvis skulle krävas att minst ett stöd placerats hade placerats nära, eller i, Rönningebäcken. Fler stöd hade även lett till ökade kostnader för grundläggning och hade kunnat generera större risker gällande byggtid. Dessa, direkt olämpliga, förslag hade kunnat vara genomförbara men hade således sållats bort vid urvalsprocessens senare skede till följd av låg poängsättning.

Den urvalspoäng som, genom urvalsprocessen, varje idékoncept tilldelades är enligt subjektiva bedömningar och är enbart baserad på överskådliga jämförelser. Exempelvis har kriteriet byggkostnad enbart baserats utifrån hur mycket material som skulle kunna gå åt, vad materialet rimligtvis skulle kunna kosta och därefter hur mycket själva produktionen skulle kosta. För projekt i denna storleksordning finns vanligtvis en budget som bör efterföljas. Byggkostnaden skulle då kalkyleras noggrannare och med fler ingående parametrar, vilket skulle leda till en mer korrekt bedömning i urvalsskedet. På grund av detta, samt rapportens omfattning, tidsram och avsaknad av tillgång till kravformuleringar från Täby Kommun har därför inte hänsyn tagits till konceptets ekonomiska aspekter.

Hur väl bron passar in i omgivande miljö samt huruvida den anses vara estetiskt tilltalande är båda subjektiva bedömningar, och i detta fall är det författarnas åsikter som speglas. Täby kommun har en önskan om en "lätt och genomskinlig" bro men hur väl den slutgiltiga bron överensstämmer med detta är svårbedömt. Även för ett fullskaligt projekt hade denna parameter varit subjektiv och svårbedömd.

Miljöpåverkan har i denna rapport endast viktats gällande de olika materialens utsläpp av koldioxid vid framställning. För en korrekt analys borde även tillgänglighet, transportsträckor och återvinningsmöjligheter tas hänsyn till. Vidare bör även hänsyn tas till andra utsläpp än koldioxid samt en viktning av i vilken grad dessa påverkar miljön på lång sikt. En sådan mer utförlig analys hade kunnat påverka det slutgiltiga utfallet av brokoncept.

Valet av farbana i trä motiverades bland annat med att trä har en låg egenvikt samt att det ansågs vara det mest miljövänliga av de aktuella alternativen. Trä anses också vedertaget vara lämpligt materialval för farbanor vid byggnation av gång- och cykelbroar. Problematiken som kan uppstå vid kombination av stål och trä för brobanor är att dessa material har olika längdförändringar, alltså att materialen skulle ändra sin volym olika vid temperaturdifferenser. Detta märks tydligast vid övergångskonstruktionerna. För att förhindra att spänningar uppkommer i brobanan har glidplåtar samt rörliga lager vid de båda landfästena valts. Hade det varit samverkan mellan balkarna och farbanan hade det funnits en risk att detta dock inte varit tillräckligt för att förhindra spänningarna. Om farbanan och balkarna istället varit i samma material hade lagren och övergångskonstruktionerna kunnat utformas på andra sätt.

## 14.2 Dimensionering

Dimensioneringsprocessen inleddes med valet att ha två bärande I-balkar, men då detta inte klarade de krav som fanns gällande nedböjning krävdes ett styvare bärverk. Då konstruktionshöjden var begränsad, och det fanns krav om genomsiktighet, blev valet att addera ytterligare en I-balk istället för att använda andra utformningar på tvärsnittet eller fler stöd. Det ansågs fördelaktigt med I-balkar då dessa är effektiva gällande upptagning av moment jämfört med andra typer av stålprofiler. En annan valmöjlighet som uppstod i val av tvärsnittsutförning var att välja en lådbalk istället för I-balkar, men begränsningar gällande konstruktionshöjd skulle medföra en sluten, solid lådbalk. Detta ansågs inte vara tillräckligt materialeffektivt och dessutom skulle det innebära komplicerade inspektioner och underhållsarbeten. Dock hade ett ännu styvare tvärsnitt, så som exempelvis ett lådtvärsnitt, kunnat resultera i att nedböjningen ej blir dimensionerande. Detta hade i sin tur kunnat leda till högre verkningsgrader och därmed ett mer effektivt tvärsnitt. Följaktligen hade verkningsgraderna delvis kunnat förbättras genom vidare optimering av flänsarnas storlek. Ett styvare tvärsnitt hade bidragit till en säkrare analys av bronns dynamiska egenskaper, ifall styvheten blir tillräckligt stor behövs komfortkriterierna inte verifieras.

Som nämnt ovan ansågs det fördelaktigt att ha så få stöd som möjligt, både med avseende på kostnader men också då det inte var önskvärt att ha stöd nära eller i bäcken. Hade istället ett koncept med fler stöd valts, hade detta möjliggjort för en slankare bro med lägre konstruktionshöjd och högre verkningsgrader.

Det är inte verifierat hur tidigare grundläggning av perrongen genomförts, men den anses i denna rapport inte vara bärande. Detta resulterar i att det vid byggnation av skivstödet kommer behövas ytterligare grundläggning med pålar. Grundläggning av perrongen kan leda till att järnvägen kan behövas stängas av under en begränsad tid, något som inte har beaktats i denna studie. En geoteknisk undersökning hade kunnat leda till förändrade förutsättningar. Detta exempelvis genom att där det tidigare antagandet om att grundläggning genom platta på berg varit möjlig, egentligen kräver pålning. Den hade även kunnat påvisa att lasterna hade blivit för stora, och jordlagrets bärförmåga därmed skulle överskridas vid användning av enbart tre stöd. Vid en sådan situation hade eventuellt andra typer av stöd, eller fler antal stöd varit ett bättre alternativ.

## 14.3 Källor

Källor i beräkningsgången har framförallt varit Bärande konstruktioner Del 1 och Bärande konstruktioner Del 2. Dessa källor inkluderar standarder enligt Eurocode som anses vara en pålitlig källa då det klassas som ett uppslagsverk.

Trafikverket har varit en huvudsaklig informationskälla, gällande olika broar och deras säkerhet, i denna rapport. Trafikverket som källa anses vara tillförlitlig då detta är en opartisk aktör i ämnet.

Inhämtning av information från Svenskt Trä, Svensk Betong och Stålbyggnadsinstitutet anses tillförlitlig, men då dessa aktörer tillsynes ha egenintressen har det varit av stor vikt att dessa granskats kritiskt. Detta gäller även NCC och VSL, vilka är aktörer inom branschen och kan ha haft sitt anseende i åtanke vid val av material de publicerat. Trots detta har de ansetts ha relevant och pålitlig information i de frågor som rört denna rapport.

## 15 Slutsats

Utifrån de förutsättningar som finns i området där bron skall byggas och utifrån de krav som finns från beställaren har denna rapport resulterat i ett väl anpassat och fungerande förslag på ett brokoncept. Den konstruktion som tagits fram klarar de kraven som finns på trafik och kommer kunna säkerhetsställa säkra passager, något som var målet med denna bro.

Stålbalkbro med I-tvårsnitt ses som en bra lösning då den ger en kort byggtid då produktionsmetoden är effektiv. Den effektiva produktionsmetoden ges från att stora delar utav bron kan prefabriceras. Ur underhålls- och reparationssynpunkt är den öppna konstruktionen bra ur ett inspektions- och underhållsperspektiv.

Från den preliminära dimensioneringen har brokonceptets kvalifikation fastslagits som god då dess bärförmåga kontrollerats samt kravanpassats för både brottgräns- och bruksgränstillstånd. Rapporten kan användas som en grund för fortsatt dimensionering av brokonceptet inklusive detaljlösningar innan byggnation av bron kan påbörjas.

## Referenser

AB Stockholm Lokaltrafik. (2010). *Förstudie Roslagsbanan – kapacitetsförstärkning inklusive dubbelspår etapp 2 (PLAN-rapport 2010:1)*. Utan förlagsort: AB Stockholm Lokaltrafik.

Hämtad 2017-04-06, från:

<http://www.sll.se/Global/Verksamhet/Kollektivtrafik/Alla-projekt/Roslagsbanan/Beslut-och-handlingar/Forstudie/Roslagsbanan-Forstudie-etapp2-Slutrapport.pdf>

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. och Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner Del 1*. (Rapport, 2013:1). Göteborg: Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. och Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner Del 2*. (Rapport, 2011:1). Göteborg: Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik.

BFS 2015:6 EKS 10. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*. (Utan förlagsort). Boverket.

Tillgänglig:

<http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/eks---bfs-201110/>

BVH 583.20. *Broprojektering: Landfäste*. (Utan förlagsort). Banverket.

Tillgänglig:

<http://documents.vsect.chalmers.se/structural-engineering/SorenLindgren/bro/Banverket-broprojektering.pdf>

BVF 586.20. *Spårteknik: Fritt utrymme utmed banan*. Utan Förlagsort: Banverket.

Tillgänglig:

[https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/vagledning/godkannande/bilaga\\_7\\_bvf\\_586\\_20.pdf](https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/vagledning/godkannande/bilaga_7_bvf_586_20.pdf)

Boverket (1997). *Boverkets handbok om snö- och vindlast: BSV97 (2. utg.)*.

Karlskrona: Tryckeri Balder.

Tillgänglig:

<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/1998/handbok-sno-vindlast-utg-2.pdf>

Burström, P. (2007). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper (2:13 uppl.)*. Lund: Studentlitteratur AB.

Cagner, R. (2013, september). Debatt: Glöm inte byggmaterialen. *Energi & Miljö, Nr 9*

Tillgänglig:

<http://www.energi-miljo.se/energi-miljo/debatt-glom-inte-byggmaterialen>

Domone, P. (2010). *Construction materials: Their Nature and Behavior*. Fourth edition. New York: Spon Press.

Tillgänglig:

<https://www.allbeton.ru/upload/mediawiki/048/construction-materials.pdf>

Eriksson, D., & Jakobson, H. (2009). *Prefabricerade betongbroar, ett lönsamt koncept?* En fallstudie av NCC Montagebro (Examensarbete). Lund: Institutionen för byggproduktion, Lunds tekniska högskola.

Tillgänglig:

[http://www.bekon.lth.se/fileadmin/byggnadsekonomi/DEriksson\\_HJakobson\\_Prefabricerade\\_betongbroar\\_-\\_ett\\_loensamt\\_koncept\\_091229.pdf](http://www.bekon.lth.se/fileadmin/byggnadsekonomi/DEriksson_HJakobson_Prefabricerade_betongbroar_-_ett_loensamt_koncept_091229.pdf)

Fjällström, P-A. & Pousette, A. (2004) *Broinspektion – träbroar*. (SP Rapport 2004:41). Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. (Hämtad 2017-03-04)

[http://www.trafikverket.se/contentassets/c9b4cd990b164b53b5b7584eb54df3f5/inspektionshandbok\\_for\\_trabroar\\_statens\\_provningsanstalts\\_rapport\\_2004\\_41.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/c9b4cd990b164b53b5b7584eb54df3f5/inspektionshandbok_for_trabroar_statens_provningsanstalts_rapport_2004_41.pdf)

Jernkontoret (u.å.) *Energi och miljö*.

Hämtad 2017-02-11, från:

<http://www.jernkontoret.se/sv/energi--miljo/>

Lantmäteriet. (u.å.). *Lantmäteriets öppna geodata*.

Hämtad 2017-04-06, från:

<http://kso.etjanster.lantmateriet.se/#>

Lebet, J.P., Hirt, M. (2013). *Steel Bridges: Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*.

Mathern, A. & Larsson, T. (2013). *Snabba brobyten och brobyggnationer* (Rapport: 12691). Göteborg: NCC Teknik.

Hämtad 2017-02-21, från:

<http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/67DF1791-66C1-426B-8B17-371F122316E7/FinalReport/SBUF%2012691%20-%20Slutrapport%20Snabba%20brobyten%20och%20brobyggnationer.pdf>

Prop. 2008/09:93. *Mål för framtidens resor och transporter*.

Tillgänglig:

<http://www.regeringen.se/rattsdokument/proposition/2009/03/prop.-20080993/>

Reuterswärd, P. (2010). *Optimal skötsel av stålbroar* (Swerea KIMAB 2010-130 rev). Stockholm: Swerea KIMAB.

Hämtad 2017-05-04, från:

[http://introteknik.com/swe/media/SwereaKIMAB\\_130.pdf](http://introteknik.com/swe/media/SwereaKIMAB_130.pdf)

SMHI (u.å.a). Årsmedeltemperatur.

Hämtad 2017-02-16, från:

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?myn=13&par=tmpYr>

SMHI (u.å.b). Klimatscenarier.

Hämtad 2017-02-16, från:

<http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=t&sc=rcp85&seas=ar&dnr=0&sp=sv&sx=0&sy=482#sc=rcp45>

SS – EN 1990. (2014). *Eurocode - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. Stockholm: SIS Swedish Standards Institute.

SS – EN 1991-2. (2010). *Eurocode 1 - Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*. Stockholm: SIS Swedish Standards Institute.

SS – EN 1991-1-4. (2008). *Eurocode 1 - Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast*. Stockholm: SIS Swedish Standards Institute.

SS – EN 1991-1-5. (2009). *Eurocode 1 - Laster på bärande konstruktioner – Del 1-5: Allmänna laster – Temperaturpåverkan*. Stockholm: SIS Swedish Standards Institute.

SS – EN 1991-1-7. (2006). *Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-7: Allmänna laster – Olyckslast*. Stockholm: SIS Swedish Standards Institute.

Stockholms Stad Trafikkontoret. (2010). Teknisk handbok: *Del 3 – Konstbyggnader*.

Hämtad (2017-03-06):

<http://docplayer.se/32334257-Teknisk-handbok-del-3-konstbyggnader-michael-ahstrom.html>

Stålbyggnadsinstitutet (2016). *Brobyggnad*.

Hämtad 2017-02-23, från:

<http://sbi.se/om-stal/brobyggnad>

Svensk Betong (2014a). *Brand*.

Hämtad 2017-01-31, från:

<http://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/brand>

Svensk Betong. (2014b). *Miljö och klimat*.

Hämtad 2017-02-05, från:

<http://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/miljo>

Svensk Betong. (2014c). *Bygga med platsgjutet*

Hämtad 2017-02-27, från:

<https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet>

Svenska Kommunförbundet (1998). Träbroar: *Ett alternativ till stål och betong*. Stockholm: Katarina Tryck AB.

Tillgänglig:

<http://webbutik.skl.se/bilder/artiklar/pdf/7099-757-8.pdf>

Svenskt Trä. (2003a). TräGuiden: *Om trä*.

Hämtad 2017-01-30, från:

<http://www.traguiden.se/om-tra/>

Svenskt Trä. (2003b). TräGuiden: *Miljöeffekter*.

Hämtad 2017-03-03, från:

<http://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljoeffekter/>

Svenskt Trä. (2003c). TräGuiden: *Trä är ett hållbart byggmaterial*.

Hämtad 2017-03-03, från:

<http://www.svensktra.se/om-tra/att-valja-tra/tra-och-miljo/tra-ar-ett-hallbart-byggmaterial/>

Svenskt Trä. (2003d). TräGuiden: *Platta på mark*.

Hämtad 2017-02-08, från:

<http://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/grundlaggning/grundlaggning/platta-pa-mark/>

Svenskt Trä. (2003e). TräGuiden: *Fackverksbroar*.

Hämtad 2017-02-16, från:

<http://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/fackverksbroar/>

Svenskt Trä. (2003f). TräGuiden: *Beläggning*.

Hämtad 2017-05-08, från:

<http://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/trabroar/trabroar/belaggnig/>

Trafikverket. (2014). BaTMan – *Bro och tunnel management: Kodförteckning och beskrivning av brotyper*. Borlänge: Utan förlag

Tillgänglig:

[https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01\\_Dokument%20Batman/Kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf](https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01_Dokument%20Batman/Kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf)

Trafikverket. (2011). TRVK Bro 11: *Trafikverkets tekniska krav Bro*. TRV publ

2011:085. Borlänge: Utan förlag

Tillgänglig:

[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)



Trafikverket. (2013). *Väg- och broräcken*.

Hämtad 2017-03-03, från:

[http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/produktivitet\\_och\\_innovation/industriellt-och-seriellt-byggande/Vag--och-broracken/](http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/produktivitet_och_innovation/industriellt-och-seriellt-byggande/Vag--och-broracken/)

Trafikverket (2016). Råd: *Råd Brobyggnad*. TDOK 2016:0203. Utan ort: Utan förlag  
Tillgänglig:

<http://trvdokument.trafikverket.se/Versioner.aspx?spid=141&dokumentId=TDOK%202016%3a0203>

Täby kommun, Stadsbyggnadskontoret. (2015). *Planbeskrivning. Dnr SBN 208/2013-20. Detaljplan för dubbelspår Roslagsbanan Hägernäs, del av Roslags-Näsby 2:1 och Hägernäs 7:6 m.fl.* Täby: Utan förlag

Tillgänglig:

[http://www.taby.se/PageFiles/46649/A\\_dubbelsp%C3%A5r%20Roslagsbanan%20H%C3%A4gern%C3%A4s\\_pb\\_150302.pdf](http://www.taby.se/PageFiles/46649/A_dubbelsp%C3%A5r%20Roslagsbanan%20H%C3%A4gern%C3%A4s_pb_150302.pdf)

VSL. (2016). *Free cantilever method*.

Hämtad 2017-02-21, från:

<http://en.vsl.cz/free-cantilever-method/>

VVFS 2007:494. (2007). *Vägverkets författarsamling*. Utan ort: Vägverket.

Tillgänglig:

<http://webapp.trafikverket.se/TRVFS/pdf/2007nr494.pdf>

Vägverket. (2004a). *Vägar och gators utformning: Dimensioneringsgrunder - Livslängd*. Publ 2004:80. Borlänge: Vägverket

Tillgänglig:

[http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga\\_och\\_underhalla/Vag/Vagutformning/Dokument\\_vag\\_och\\_gatuutformning/Vagar\\_och\\_gators\\_utformning/Dimensioneringsgrunder/09\\_livslangd\\_dimensioneringsgrunder.pdf](http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Vag/Vagutformning/Dokument_vag_och_gatuutformning/Vagar_och_gators_utformning/Dimensioneringsgrunder/09_livslangd_dimensioneringsgrunder.pdf)

Vägverket. (2004b). *Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättring av broar. Bro 2004*.

Publ 2004:56

Hämtad (2017-04-03):

[http://www.trafikverket.se/contentassets/b17c237f0be54a4d995dcad265fca9fe/bro\\_2004\\_2\\_lastforutsattningar.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/b17c237f0be54a4d995dcad265fca9fe/bro_2004_2_lastforutsattningar.pdf)

Vägverket. (1993). *BaTMan - Handbok för broinspektion*.

Publ 1993:34. Borlänge: Utan förlag

Tillgänglig:

[https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/30\\_Gamla%20broregler/Broinspektionshandbok%201993/Handbok%20foer%20broinspektion.pdf?WindowGuid=eb2f3340-0757-4dfc-8656-fb6c1e88c2e6](https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/30_Gamla%20broregler/Broinspektionshandbok%201993/Handbok%20foer%20broinspektion.pdf?WindowGuid=eb2f3340-0757-4dfc-8656-fb6c1e88c2e6)

Vägverket. (1994). *Allmän teknisk beskrivning för broar: BRO 94* .

Publ 1994:7. Borlänge: Vägverket

Tillgänglig:

[https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11034/RelatedFiles/1994\\_7\\_bro\\_94\\_del\\_7\\_brounderhall.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11034/RelatedFiles/1994_7_bro_94_del_7_brounderhall.pdf)

Vägverket. (1996a). *Grundläggning. Broprojektering - En handbok*. Publ 1996:63.

Borlänge: Vägverkets Tryckeri.

Tillgänglig:

[http://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/broprojektering\\_en\\_handbok\\_kap5\\_6.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/broprojektering_en_handbok_kap5_6.pdf)

Vägverket. (1996b). *Brotyper Broprojektering - En handbok*. Publ 1996:63

Borlänge: Vägverkets Tryckeri.

Tillgänglig:

[http://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/broprojektering\\_en\\_handbok\\_kap5\\_6.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/broprojektering_en_handbok_kap5_6.pdf)

Vägverket. (1998). *Förstudie till ramprojekt: "Trafiksäkra broar"*. Bilaga 2.

Borlänge: Utan förlag

Tillgänglig:

<http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Bro-och-tunnel/Bro-och-tunnel---dokument/Forstudier---FoU-bro/>

Zivanovic, S., Pavic, A., & Ingolfsson, E. T. (2010). Modeling spatially unrestricted pedestrian traffic on footbridges. *Journal of structural engineering*. 136(10), 1296-1308.

Tillgänglig:

<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0000226>

Återvinningsindustrierna. (u.å.). *Återvinningens klimatnytta*

Hämtad 2017-04-03, från:

<http://www.recycling.se/branschfragor/atervinningens-klimatnytta>

# Bilagor

## A – FÖRUTSÄTTNINGAR

A1. Förfrågningsunderlag av COWI AB

A2. Jordartskarta från SGU

## B – BERÄKNINGAR

B1. Materialkonstanter

B2. Aktuella laster för gång-och cykelbro

B3. Parametrar tillhörande aktuella laster

B3.1. Brottgränstillstånd

B3.2. Bruksgränstillstånd

B4. Huvudprogram - MATLAB

B5. Dimensionering av brobana - längsled

B5.1. Lastfall

B5.2. Brottgränstillstånd

B5.3. Bruksgränstillstånd

B6. Dimensionering av brobana - tvärled

B6.1. Lastfall

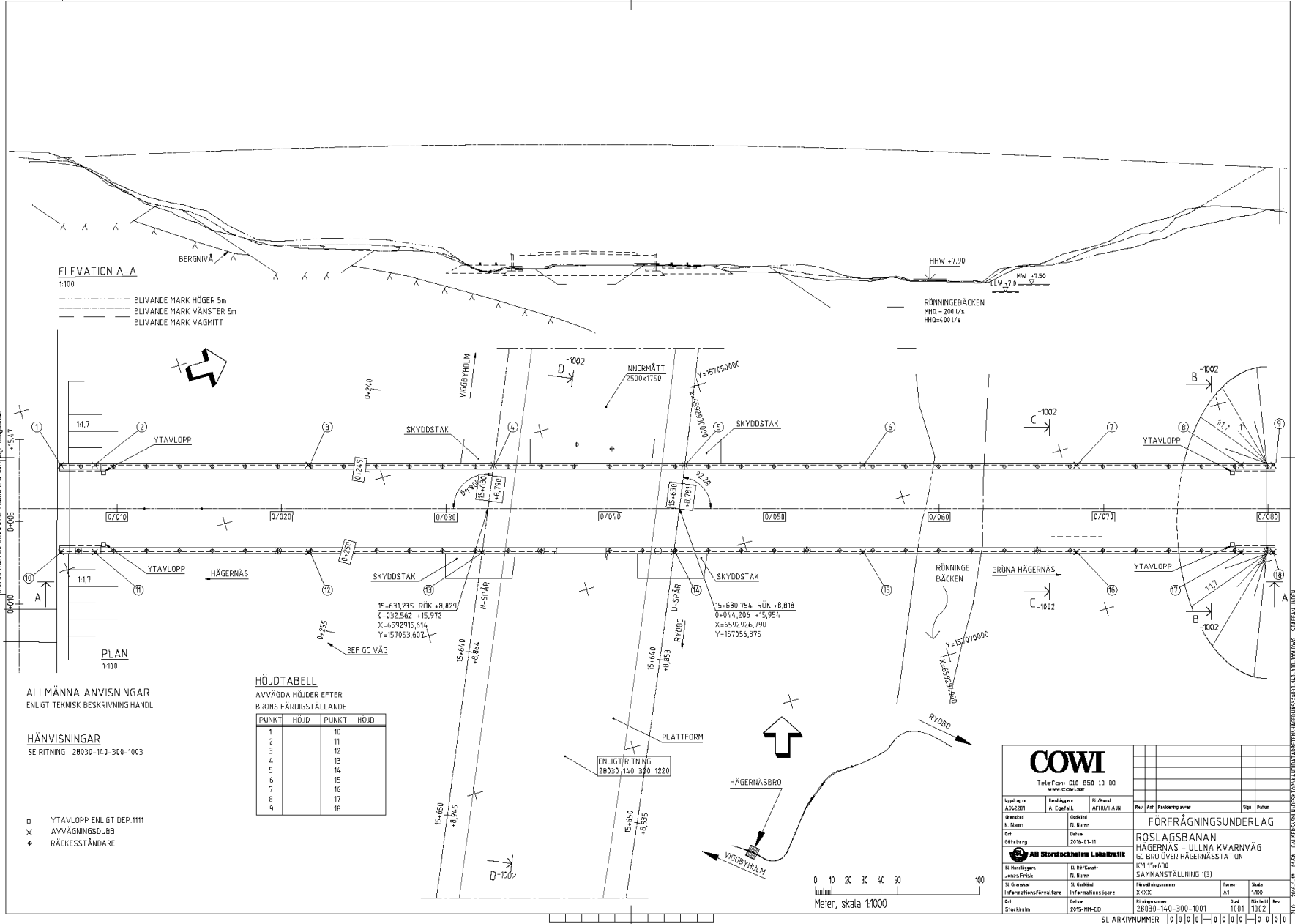
B6.2. Brottgränstillstånd

B6.3. Bruksgränstillstånd

B7. Dynamisk analys

B8. Dimensionering av underbyggnaden

## **A1. Förfrågningsunderlag av COWI AB**



**ELEVATION A-A**  
1:100

- - - - - BLIVANDE MARK HÖGER 5m  
 - - - - - BLIVANDE MARK VÄNSTER 5m  
 - - - - - BLIVANDE MARK VÄGMITT

**PLAN**  
1:100

**ALLMÄNNA ANVISNINGAR**  
ENLIGT TEKNISK BESKRIVNING HÄNDL

**HÄNVISNINGAR**  
SE RITNING 28030-140-300-1003

- YTAVLOPP ENLIGT DEP.111
- × AVVÄGNINGSDUBB
- ◆ RÄCKESSTÄNDARE

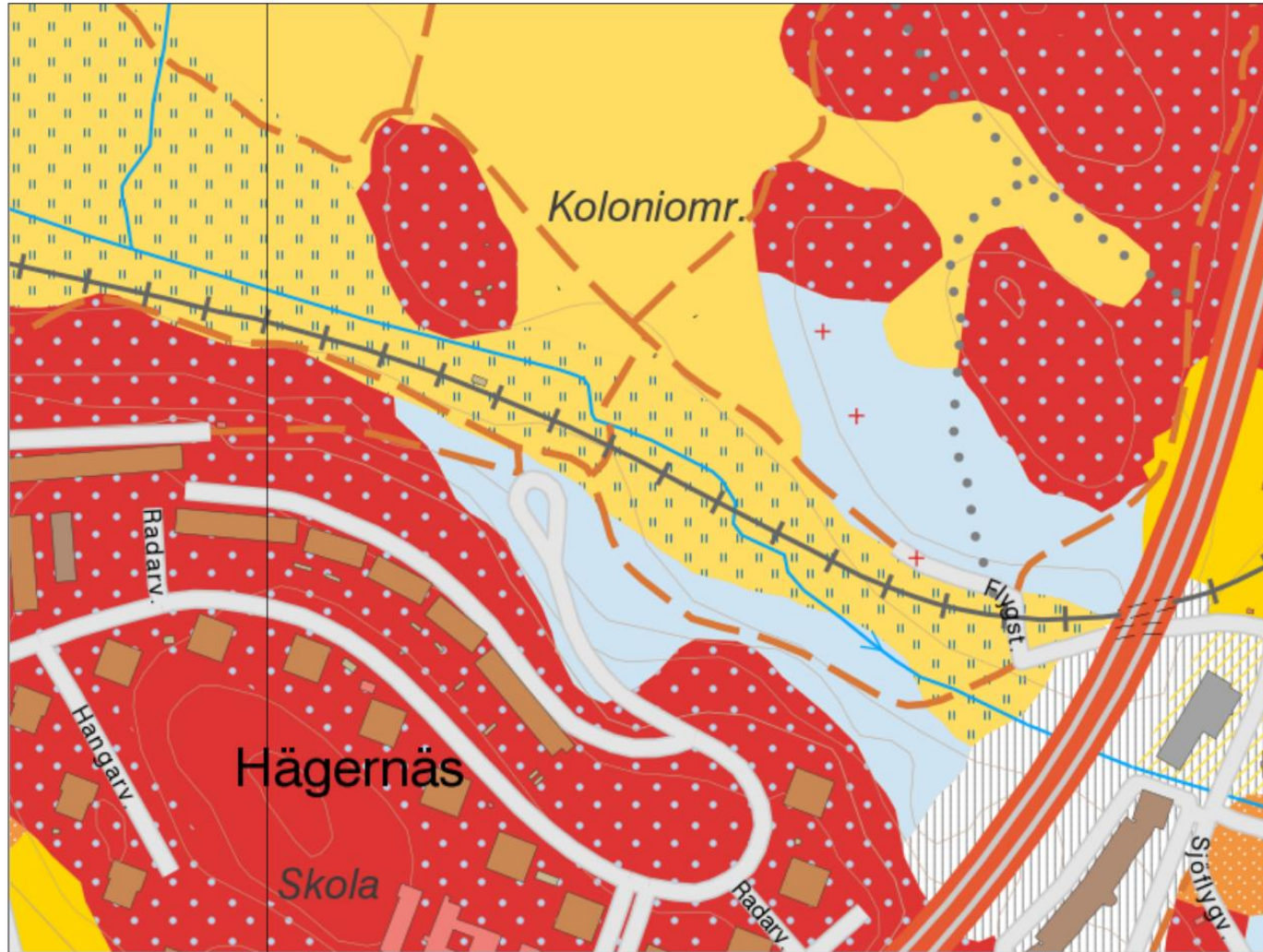
**HÖJDTABELL**  
AVVÄGDA HÖJDER EFTER  
BRONS FÄRDIGSTÄLLANDE

PUNKT	HÖJD	PUNKT	HÖJD
1	10	10	
2	11	11	
3	12	12	
4	13	13	
5	14	14	
6	15	15	
7	16	16	
8	17	17	
9	18	18	

**COWI**  
Telefon: 010-850 10 00  
www.cowi.se

Uppdrag nr: A962281	Förfrågare: A. Egelvik	Skissat: AFH/HJ/JN	Rev: 01	Revidering avser: Sign	Datum:
Görskat: In. Namn:	Göskänd: In. Namn:	<b>FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG</b>			
Ort: Göteborg	Datum: 2016-01-11	<b>ROS LAGSBANAN HÄGERNÄS - ULLNA KVARNVÄG GÅ BRÖ ÖVER HÄGERNÄSSTATION</b>			
AB Storstockholms Lokaltrafik St. Huvudkontor: Janus Friisk St. Överkontor: Informationsförvaltare		St. Projektkontor: 2922 St. Sammanställning: 113 Formel: A1 Skala: 1:100			
Ort: Stockholm	Datum: 2016-01-11	Ritningsnummer: 28030-140-300-1001	Blad: 1001	Skala till ritning: 1:100	Rev: 1002
SÄ. ARKIVNUMMER: 0					

## **A2. Jordartskarta från SGU**



Sveriges geologiska undersökning (SGU)  
Huvudkontor/Head Office:  
Box 670  
Besök/Visit: Villavägen 18  
SE-751 28 Uppsala, Sweden  
Tel: +46(0) 18 17 90 00  
Fax: +46(0) 18 17 92 10  
E-post: [sgu@sgu.se](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

0 50 100 m  
Skala 1:5000

Topografiskt underlag:  
Ur GSD-Vägkartan.  
© Lantmäteriet.  
Rutnät i svart anger  
koordinater i Sweref99TM

SGUs kartvisare  
**Jordarter**  
1:25 000–1:100 000

**SGU**  
Sveriges geologiska undersökning

#### Om kartan





Detta är en utskrift från kartvisaren Jordarter 1:25 000–1:100 000. Syftet är att ge underlag för analyser av grundvattenförhållanden, spridning av föroreningar i mark och grundvatten, markstabilitet, erosion, byggbarhet, naturvärden och andra markrelaterade frågor. Kartvisaren innehåller information om jordart (grundlager, underliggande lager, tunt eller osammanhängande ytlager), landform, blockighet i markytan, linjeobjekt och punktobjekt. Informationen i kartan kan med fördel användas för framställning av olika tematiska produkter, till exempel grundvattnets sårbarhet, markens genomsläpplighet, erosionskänslighet och skredrisker.

Läs mer om kartvisaren på [www.sgu.se](http://www.sgu.se)



<p><b>Punktobjekt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Kalktuff</li> <li> Blocksänka</li> <li> Talus (rasmassor)</li> <li> Dyn</li> <li> Klapper</li> <li> Rauk</li> <li> Dödisgrop</li> <li> Moränkulle</li> <li> Blockmark</li> <li> Jätteblock</li> <li> Sedimentärt berg</li> <li> Fanerozoisk diabas</li> <li> Berg</li> <li> Källa</li> <li> Slukhål</li> <li> Jättegryta</li> <li> Grotta</li> <li> Ka Kaolin</li> <li> Ki Kiselgur</li> <li> Stenbrott, gruva och / eller bergtäkt</li> </ul> <p><b>Linjeobjekt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Kalktuff</li> <li> Brant med aktiv erosion, t.ex. nipa</li> <li> Talus, (rasmassor)</li> <li> Dyn</li> <li> Postglacial förkastning</li> <li> Strandvall</li> <li> Klint</li> <li> Raukfält</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Fornstrand</li> <li> Högsta kustlinjen</li> <li> Isälvsavlagring</li> <li> Krön på isälvsavlagring</li> <li> Dödisgrop</li> <li> Isälvsränna, bredd &lt; 50 m</li> <li> Isälvsränna, bredd &gt; 50 m</li> <li> Övergiven fluvial fåra</li> <li> Omväxlande morän och sorterade sediment</li> <li> Moränrygg</li> <li> Moränrygg, bredd &lt;30m</li> <li> Moränrygg, bredd 30-125 m</li> <li> Moränrygg, bredd &gt;125m</li> <li> Drumlin eller liknande</li> <li> Drumlin eller liknande, bredd &lt;30m</li> <li> Drumlin eller liknande, bredd 30-125m</li> <li> Drumlin eller liknande, bredd &gt;125m</li> <li> Sedimentär berggrund</li> <li> Fanerozoisk diabas</li> <li> Berg</li> <li> Stenbrott, gruva eller bergtäkt</li> </ul> <p><b>Blockighet i markytan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Blockrik</li> <li> Storblockig yta</li> <li> Hög blockfrekvens inom icke moränyta</li> <li> Blockrik till storblockig yta</li> </ul> <p>Jordart, tunt eller osamman-</p>	<p><b>hängande översta ytlager</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Torv</li> <li> Svallsediment</li> <li> Isälvs sediment</li> </ul> <p><b>Jordart, tunt eller osammanhängande ytlager</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Torv</li> <li> Svåmsediment</li> <li> Älvsediment</li> <li> Flygsand</li> <li> Lera-silt</li> <li> Sand-grus</li> <li> Postglacial sand-grus</li> <li> Svallsediment</li> <li> Glacial grovsilt-finsand</li> <li> Isälvs sediment</li> <li> Moränlera</li> <li> Morän</li> <li> Vittringsjord</li> <li> Oklassad jordart</li> </ul> <p><b>Jordart, underliggande lager</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Torv</li> </ul>
---	---	---



 Älv- och svämsediment	 Torv	 Älvsediment, sten-block
 Lera och silt	 Mossetorv	 Flygsand
 Sand-grus	 Kärrtorv	 Gyttjlera eller lergyttja
 Isälvsediment	 Gyttja	 Postglacial finlera
 Morän	 Bleke och kalkgyttja	 Postglacial lera
 Vittringsjord	 Kalktuff	 Postglacial grovlera
 Berg	 Torv, tidvis under vatten	 Postglacial silt
 Sedimentär berg	 Lera-silt, tidvis under vatten	 Lera-Silt
 Fanerozoisk diabas	 Oklassat område, tidvis under vatten	 Silt
	 Flytjord eller skredjord	 Lera
<b>Landform</b>	 Talus	 Finsand
 Strukturmark	 Svämsediment	 Sand
 Polygonmark	 Svämsediment, ler-silt	 Sand-grus
 Blocksänka	 Svämsediment, grovsilt-finsand	 Sten-block
 Isälvsroderat område	 Svämsediment, sand	 Blockmark
 Moränrygg	 Svämsediment, grus	 Postglacial grovsilt-finsand
 Drumlin eller liknande	 Älvsediment	 Postglacial finsand
 Moränbacklandskap, kullig morän	 Älvsediment, ler-silt	 Postglacial sand
 Moränbacklandskap, veikimorän	 Älvsediment, grovsilt-finsand	 Svällsediment, grus
	 Älvsediment, sand	 Klapper
<b>Jordarter</b>	 Älvsediment, grus	 Skalljord
<b>Jordart, grundlager</b>		



## B1. Materialkonstanter

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Tyngdaccelerationen.

### Trä GL32k:

$$f_{mk} = 32 \text{ MPa}$$

Karakteristisk hållfasthet, böjning parallellt fibrerna.

$$f_{ck} = 29 \text{ MPa}$$

Karakteristisk hållfasthet, tryck parallellt fibrerna.

$$f_{vk} = 3,8 \text{ MPa}$$

Karakteristisk hållfasthet, skjuvning.

$$E_{trä} = 13700 \text{ MPa}$$

Elasticitetsmodulen parallellt fibrerna.

$$\rho_{trä} = 430 \text{ kg/m}^3$$

Densiteten för trä.

$$\gamma_{trä} = \rho_{trä} \times g = 4,218 \text{ kN/m}^3$$

Tungheten för trä.

$$\gamma_M = 1,25$$

Partialkoefficient för konstruktionsvirke.

*(Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. T31)*

### Stål S355:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Karakteristisk flytgräns.

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Brotthållfasthet.

$$E_{stål} = 210000 \text{ MPa}$$

Elasticitetsmodulen för stål.

$$\rho_{stål} = 7800 \text{ kg/m}^3$$

Densiteten för stål.

$$\gamma_{stål} = \rho_{stål} \times g = 76,518 \text{ kN/m}^3$$

Tungheten för stål.

*(Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013, s. S31-S32)*

## B2. Aktuella laster för gång- och cykelbro

### Egentyngd

```
%-----  
% FUNKTION 1: Egenvikt  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----  
  
function [G1, Gt]=Egenvikt(hw,tw,tf,bf,t_t,b)  
t_a=0.1; %asfalts tjocklek  
  
%STÅL  
Tunghet_s=76.518e3; %Tungheten för stål [N/m^3]  
gstalbalk=(bf*tf*2+tw*(hw-2*tw))*Tunghet_s; %Egenvikt per stål balk [N/m]  
  
%ASFALT  
Tunghet_as=23e3; %Tungheten för asfalt [N/m^3]  
gasfalt=t_a*b*Tunghet_as; %Egenvikt för asfalt [N/m]  
  
%TRÄ  
Tunghet_t=4.218e3; %Tungheten för trä [N/m^3]  
gtra=t_t*b*Tunghet_t; %Egenvikt för trä [N/m]  
  
%RÄCKE  
gracke=0.43e3; %Egenvikt per räcke[N/m]  
  
%TOTAL EGENVIKT  
  
%Längsled (med stål balkar)  
G1=3*gstalbalk+gasfalt+gtra+gracke*2; %Egenvikten som verkar på  
stål balkarna[N/m]  
fprintf('Egenvikt som verkar på balkar: G1 = %2.2f [N/m] \n', G1)  
  
%Tvärlled (utan stål balkar)  
Gt=gasfalt+gtra+gracke*2; %Egenvikten som verkar på träfarbanan [N/m]  
fprintf('Egenvikt som verkar på träfarbana: Gt = %2.2f [N/m] \n', Gt)  
end
```

*[Published with MATLAB® R2014b](#)*

## Vindlast

Beräkning av vindlasten i x-led har genomförts med hjälp utav Matlab. Referensvindhastigheten,  $v_b$ , beräknas enligt (Vägverket, 2007) medan resterande värden och ekvationer erhålls ur Eurocode (SS-EN 1991-1-4, 2008, s. 76-83).

```
%-----  
% FUNKTION 4: Vindlast  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-04-20  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----  
  
function [Fw_x]=Vindlast(t_t,hw,tf)
```

## INDATA

```
L=73; %Brobanans länggd [m]  
b=5; %Brobanans bredd m]  
t_asfalt=0.1; %Tjockleken på asfalten [m]  
  
densitet_luft=1.25; %Luftens densitet [kg/m^3] rekommenderar värde enligt  
4.5  
vb=24; %Referensvindhastighet [m/s] Enligt Vägverkets författarsamling, s.21  
tabell 4.1  
  
Ce=2.35; %Exponeringsfaktorn, terrängtyp 2 samt 10 m över ytan -> se graf i  
fig.4.2  
Cf_x0=1.2; %Formfaktor för kraft, b/d=4.608 -> Cf_x0, se graf i fig.8.3  
Cf_z=0.9; %Formfaktor för kraft, rekommenderat värde enligt 8.3.3 (1)  
C=Ce*Cf_x0; %Formfaktor för kraft  
  
d=t_asfalt+t_t+hw+2*tf; %Totala höjden på överbyggnaden [m]  
Aref_x=L*(d+2); %Referensarean i x-led med en hinderhöjd på 2 m [m^2]  
Aref_z=L*b; %Referensarean i z-led [m^2]
```

## BERÄKNING AV VINDLASTEN

```
Fw_x=0.5*densitet_luft*vb^2*C*Aref_x; %Vindlast i x-led [N]
```

```
end
```

*[Published with MATLAB® R2014b](#)*

### **Trafiklast**

Den utbredda trafiklasten som verkar i vertikalled har ett värde på  $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$  (SS-EN 1991-2, 2010, s. 63). För att uttrycka lasten i kN/m multipliceras  $q_{fk}$  med brobanans bredd vid beräkningar i längsled, och med en meter brolängd vid beräkningar i tvärlid.

$$\text{Längsled: } Q_{fk} = q_{fk} \times b = 5 \times 5 = 25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tvärlid: } Q_{fk} = q_{fk} \times 1 \text{ m} = 5 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$$

Vidare görs beräkningar av laster per balk i längsled, och då samtliga tre balkar har samma effektiva bredd medför detta att trafiklasten divideras med tre.

### **Servicefordon**

Vid beräkning av lasten från servicefordonet har en tvåaxlad lastgrupp om 40 kN respektive 80 kN på en hjulbas med 3 meter studerats (SS-EN 1991-2, 2010, s. 64). Utifrån det antogs att den totala lasten som verkar i fordonets tyngdpunkt då är summan av dessa laster.

$$Q_{\text{serv}} = 40 + 80 = 120 \text{ kN}$$

## B3. Parametrar tillhörande aktuella laster

### B3.1. Brottgränstillstånd

Tabell I. Lastreduktionstal samt reduktionsfaktor för brottgränstillstånd (SS-EN 1990, 2014, s. 58-64 ).

Reduktionsfaktor & lastreduktionstal: Brott		$\psi_0$	$\xi$
Permanent last	Egentyngd	-	0,85
Variabel vertikal last	Servicefordon	0,75	-
	Utbredd trafiklast	0,40	-

Tabell II. Partialkoefficienter vid brottgränstillstånd (SS – EN 1990, 2014, s. 48).

Partialkoefficienter: Brott		$\gamma$
Permanent last	Gynnsam	1,00
	Ogynnsam	1,35
Variabel utbredd last	Gynnsam	0
	Ogynnsam	1,5
Punktlast	Gynnsam	0
	Ogynnsam	1,5

Tabell III. Lastkombinationsvärden vid brottgränstillstånd från lastkombinationer enligt ekvationerna 6.10a respektive ekvation 6.10b.

Framtagna värden: Brott		Egentyngd [kN/m] Längsled/Tvärled	Trafiklast [kN/m] Längsled/Tvärled	Servicefordon [kN]
6.10a	Ogynnsam	43,67/21,95	15,00/3,00	135,00
	Gynnsam	32,36/16,26	0	0
	Huvudlast	43,67/21,95	-	-
6.10b	Ogynnsam	37,13/18,66	15,00/3,00	135,00
	Gynnsam	27,51/13,82	0	0
	Huvudlast	-	37,50/7,50	180,00

## B3.2. Bruksgränstillstånd

Tabell IV. Lastreduktionstal vid brukgränstillstånd (SS-EN 1990, 2014, s.59).

Lastreduktionstal: Bruks		$\psi_1$	$\psi_2$
Permanent last	Egentyngd	-	0
	Variabel vertikal last		
	Servicefordon	0,75	0
	Utbredd trafiklast	0,40	0

Tabell V. Kombinationsvärden vid brukgränstillstånd, vilka fås från lastkombinationer i ekvationerna 6.15b respektive ekvation 6.16b.

Framtagna värden: Bruks		Egentyngd [kN/m] Längsled/Tvärled	Trafiklast [kN/m] Längsled/Tvärled	Servicefordon [kN]
6.15b	KOMBO 1	32,36/16,26	10,00/2,00	0
	KOMBO 2	32,36/16,26	0	90,00
6.16b	KOMBO 1	32,36/16,26	0	0



## B4. Huvudprogram – MATLAB

```
%-----  
% SAMLINGSPROGRAM  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-05  
%-----  
  
clc  
clear all  
close all
```

### INDATA

```
%ALLMÄNNA MÅTT  
b=5; %Brobredd [m]  
L=73; %Brolängd [m]  
  
fprintf('\n\nDIMENSIONERADE PARAMETRAR\n\n')  
  
%STÅLBALK DIMENSIONER  
tw=0.015; %Livtjocklek [m]  
tf=0.04; %Flänstjocklek [m]  
bf=0.714; %Flänsbredd [m]  
hw=0.898; %Livhöljd [m]  
a=0.04; %Svetsarnas a-mått [m]  
fprintf('Total konstruktionshöjd: %2.4f [m]\n',hw+2*tf)  
fprintf('Höjd liv, hw: %2.4f [m]\n ',hw)  
fprintf('Tjocklek liv, tw: %2.4f [m]\n ',tw)  
fprintf('Bredd fläns, bf: %2.4f [m]\n ',bf)  
fprintf('Tjocklek fläns, tf: %2.4f [m]\n ',tf)  
fprintf('svetsarnas a-mått: %2.4f [m]\n ',a)  
  
%TRÄFARBANA  
t_t=0.185; %träsyll tjocklek [m]  
  
%EGENVIKT, funktion 1  
fprintf('\n\nEGENVIKT BERÄKNING\n\n')  
[G1, Gt]=Egenvikt(hw,tw,tf,bf,t_t,b);
```

### LÄNGSLED

```
%BROTTGRÄNSTILLSTÅND: VED, MED, funktion 2  
fprintf('\n\nLÄNGSLED: BROTTGRÄNS - VED MED \n\n')  
[Ved, Med, LASTFALLUTDATA, reaktion]=LANGSLED_Ved_Med(tw,tf,bf,hw,G1);
```

```

%BROTTGRÄNSSTILLSTÅND: Mrd, Vrd, funktion 3
fprintf('\n\nLÄNGSLED: BROTTGRÄNS - MRD VRD \n\n')
[Mbrd, Vrd]=LANGSLED_Mrd_Vrd(Med,ved,tw,tf,bf,hw,a);

%BRUKGRÄNSTILLSTÅND NEDBÖJNING, funktion 4
fprintf('\n\nLÄNGSLED: BRUKGRÄNS NEDBÖJNING \n\n')
[Nedboj_L1_max,
Nedboj_L2_max,Nedboj_max_perlastfall_1]=LANGSLED_Nedbojning(Gl,tw,tf,bf,hw,a
,b);

```

## 15.1 TVÄRLED

```

%VINDLAST I X-RIKTNING, funktion 5
[Fw_x]=vindlast(t_t,hw,tf);

%BROTTGRÄNSTILLSTÅND: Ved, Med i , funktion 6
fprintf('\n\nTVÄRLED:BROTTGRÄNS - VED MED \n\n')
[Vedt, Medt, LASTFALLUTDATAt]=TVARLED_Ved_Med(Gt, t_t,Fw_x,b);

%BROTTGRÄNSTILLSTÅND: Vrd, Mrd, funktion 7
fprintf('\n\nTVÄRLED:BROTTGRÄNS - MRD VRD \n\n')
[Mrd,Vrd]=TVARLED_Mrd_Vrd(Medt,vedt,t_t,b);

%BRUKSGRÄNTILLSTÅND: NEDBÖJNING, funktion 8
fprintf('\n\nTVÄRLED:BRUKGRÄNS NEDBÖJNING \n\n')
[Nedboj_konsole_max,
Nedboj_mitt_max,Nedboj_max_perlastfall_t]=TVARLED_Nedbojning(Gt,t_t,b);

```

## YTTERLIGARE BERÄKNING

```

%DYNAMISK ANALYS funktion 9
fprintf('\n\n')
[gf]=dynamisk_analys(tw,hw,bf,tf,a,t_t);

```

### DIMENSIONERADE PARAMETRAR

```

Total konstruktionshöjd: 0.9780 [m]
Höjd liv, hw: 0.8980 [m]
Tjocklek liv, tw: 0.0150 [m]
Bredd fläns, bf: 0.7140 [m]
Tjocklek fläns, tf: 0.0400 [m]
Svetsarnas a-mått: 0.0400 [m]

```

### EGENVIKT BERÄKNING

Egenvikt som verkar på balkar:  $G_l = 32362.57$  [N/m]  
Egenvikt som verkar på träfarbana:  $G_t = 16261.65$  [N/m]

LÄNGSLED: BROTTGRÄNS - VED MED

Dimensionerande tvärkraft:  $V_{ed} = 618063.15$  [N]  
Dimensionerande moment:  $M_{ed} = 4349166.81$  [Nm]

LÄNGSLED: BROTTGRÄNS - MRD VRD

Fläns: TK2  
Liv: TK1  
Räknar med  $w_{pl}$   
Momentkapacitet:  $M_{brd} = 10583719.73$  [Nm]  
Verkningsgrad Moment: 0.41  
Styva ändavstyvningar  
EJ OK, bucklingsrisk finns, räknar mer  
Tväkraftskapacitet:  $V_{rd} = 2557702.90$  [N]  
Verkningsgrad Tvärkraft: 0.24  
Ingen interaktion nödvändig, OK!

LÄNGSLED: BRUKGRÄNS NEDBÖJNING

Nedböjning max spann L1: 0.02186 [m]  
Tillgodo gräns L1: 0.05764 [m]  
Nedböjning max spann L2: 0.10297 [m]  
Tillgodo gräns L2: 0.00003 [m]

TVÄRLED: BROTTGRÄNS - VED MED

Dimensionerande tvärkraft:  $V_{ed} = 195550.20$  [N]  
Dimensionerande moment:  $M_{ed} = 156479.25$  [Nm]

TVÄRLED: BROTTGRÄNS - MRD VRD

Momentkapaciteten:  $M_{rd} = 522045.33$  [Nm]  
Verkningsgrad Moment: 0.30  
Tväkraftskapaciteten:  $V_{rd} = 1218533.33$  [N]  
Verkningsgrad Tvärkraft: 0.16

TVÄRLED: BRUKGRÄNS NEDBÖJNING

Nedböjning max mitt: 0.00044 [m]

Tillgodo gräns mitt: 0.00373 [m]  
Nedböjning max konsol: 0.00208 [m]  
Tillgodo gräns konsol: 0.00000 [m]

VERTIKAL DYNAMISK RESPONS L=31.8

egenfrekvensen < 5 Hz ==> EJ OK! , komfortkriterier måste verifieras!

Om en person går över bron

Avert1 < 0.7 ==> OK!

Om en löpare springer över bron

Avert2 < 0.7 ==> OK!

om fler personen går över bron samtidigt

Accelerationen för en sammanhållen grupp < 0.7 ==> OK!

Accelerationen för en konternuerlig ström av personer < 0.7 ==> OK!

VERTIKAL DYNAMISK RESPONS L=41.2

egenfrekvensen < 5 Hz ==> ej ok , komfortkriterier måste verifieras!

Om en person går över bron

Avert11 < 0.7 ==> OK!

Om en löpare springer över bron

Avert22 < 0.7 ==> OK!

om fler personen går över bron samtidigt

Accelerationen för en sammanhållen grupp < 0.7 m/s<sup>2</sup> ==> OK!

Accelerationen för en konternuerlig ström av personer < 0.7 m/s<sup>2</sup> ==> OK!

HORISONTELL DYNAMISK RESPONS L=31.8

Egenfrekvensen >2.5 Hz ==> OK!

HORISONTELL DYNAMISK RESPONS L=41.2

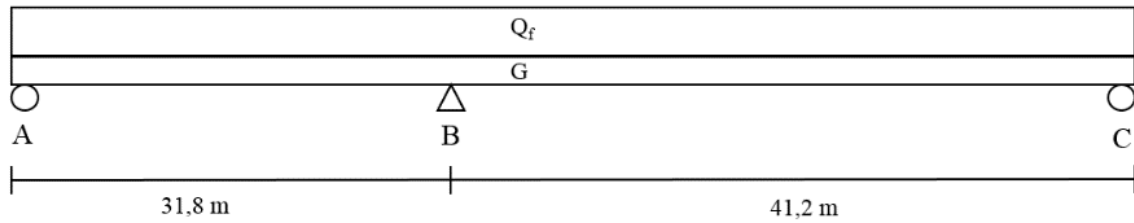
Egenfrekvensen > 2.5 Hz ==> OK!

*Published with MATLAB® R2014b*

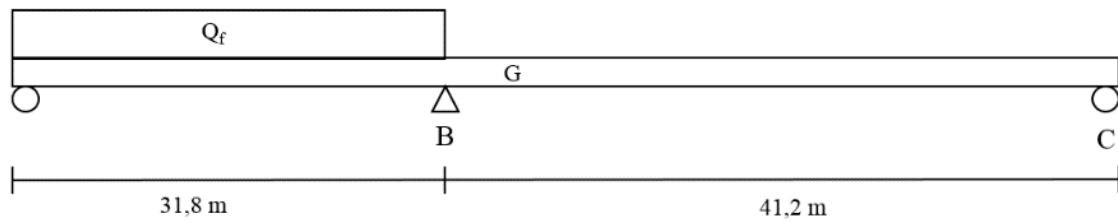
## B5. Dimensionering av brobana – längsled

### B5.1. Lastfall

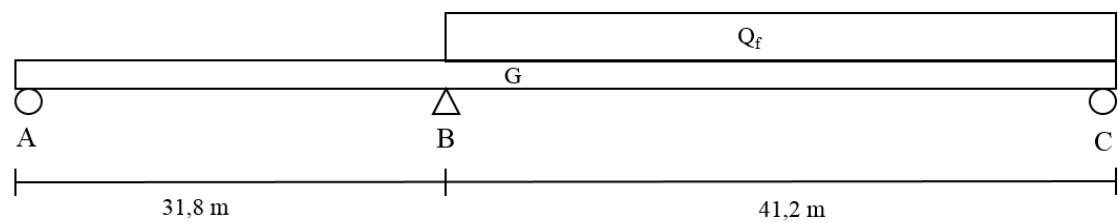
#### Lastfall 1



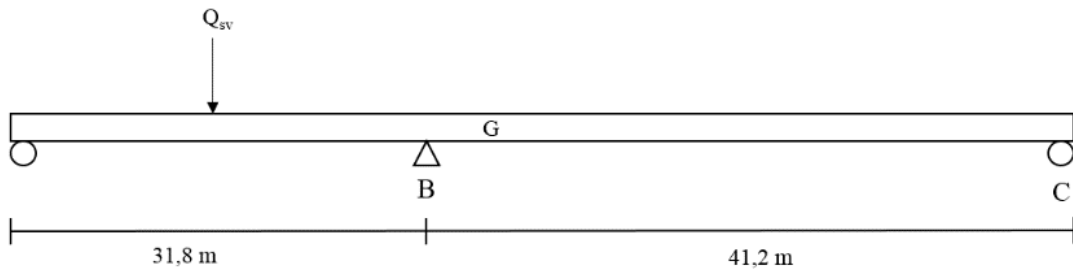
#### Lastfall 2



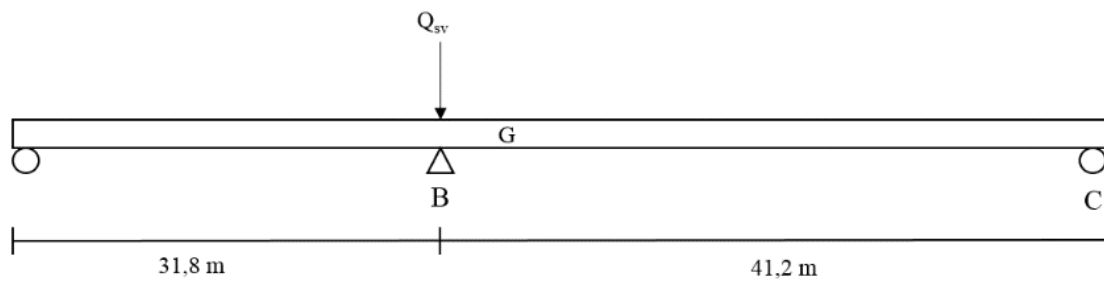
#### Lastfall 3



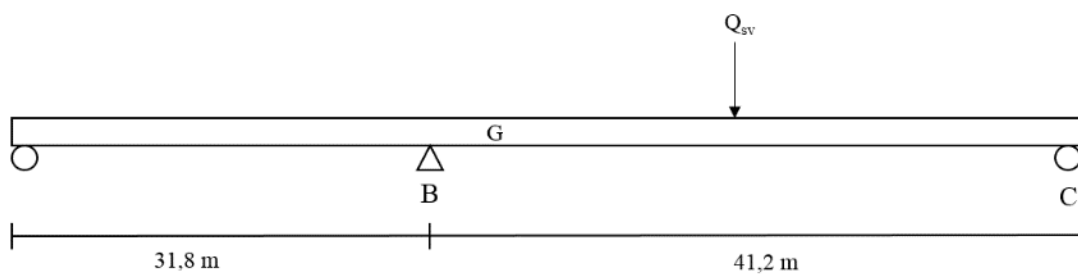
### Lastfall 4



### Lastfall 5



### Lastfall 6



## B5.2. Brottgränstillstånd

### Moment och tvärkraft

```
%-----  
%FUNKTION 2; Längsled Ved & Med  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----  
  
function [Ved,Med, LASTFALLUTDATA, reaktion]=LANGSLED_Ved_Med(tw,tf,bf,hw,G1)
```

### INDATA

```
%TVÄRSNITTSEGENSKAPER  
Es=210e9; %Elasticitetsmodul för stål [Pa]  
As= hw*tw+2*tf*bf; %Area per stålbalk  
Is=(tw*hw^3)/12 + 2*(bf*tf^3/12+((hw+tf)/2)^2*bf*tf); %Yttröghetsmoment per  
balk [m^4]  
  
%SPÄNNVIDDER  
L1=31.8; %Spännvidd 1 [m]  
L2=41.2; %Spännvidd 2 [m]  
b=5; %Brobanebredd [m]  
  
%LASTER & KOMBINATIONSVÄRDEN  
G_pb=G1*1.35*0.85/3; %Egentyngd per balk [N/m], med partialkoeffecient och  
chi  
Qsv_pb = 120*1.5*1e3/3; %Kombinationsvärde för axellaster från fordon per  
balk [N]  
Qf_pb = 5*b*1.5e3/3; %Kombinationsvärde utbredd trafiklast (folkmassa) per  
balk [N/m]  
  
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];  
%Topologimatrix  
bc=[2 0; 7 0; 8 0; 14 0]; %Upplagsvillkor  
ex=[0 L1/2;L1/2 L1;L1 L1+L2/2;L1+L2/2 L1+L2]; %Koordinatvektorer för  
elementen  
ey=zeros(4,2); %Koordinatvektorer för elementen  
ep=[Es As Is]; %Skapar en vektor med elementegenskaper  
  
LASTFALLUTDATA=zeros(6,5); %Skapar en 6x5 matris med nollor  
Ved=0; %Fördefinierar  
Med=0; %Fördefinierar
```

## LASTFALL

```
%LOOPAR DE 6 OLIKA LASTFALLEN
for i=1:6

    k=zeros(15); %Skapar en 15x15 matris med nollor
    f=zeros(15,1); %Skapar en 15x1 vektor med nollor
    if i==1
        eq=[0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb)];
    elseif i==2
        eq=[0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb)];
    elseif i==3
        eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb)];
    elseif i==4
        eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb)]; f(5)=-Qsv_pb;
    elseif i==5
        eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb)]; f(8)=-Qsv_pb;
    elseif i==6
        eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb)]; f(11)=-Qsv_pb;
    end
end
```

## BERÄKNING AV MED & VED

```
for n=1:4
    [Ke, fe]=beam2e(ex(n,:), ey(n,:), ep, eq(n,:)); %Tar fram styvhetsmatris och
    lastvektor för varje balkelement
    [K, f]=assem(Edof(n,:), K, Ke, f, fe); %Assembling till global
    styvhetsmatris och global lastvektor
end

[a, r]=solveq(K, f, bc); %Beräknar förskjutningarna a[m] i noderna samt
    upplagskrafterna r[N]
reaktion(i,:)= [i r(2) r(8) r(14)]; %Samlar alla reaktionskrafter i en
    matris

Ed=extract(Edof, a); %Elementkrafterna beräknas, [N]

figure(i)
hold on
plotpar=[1,1]; %Anger linjefärg samt elementfärg till figurerna

%skapar es-matriser med normalkraft i koloumn 1, tvärkraft i koloumn 2
    och moment i koloumn 3.
es1=beam2s(ex(1,:), ey(1,:), ep, Ed(1,:), eq(1,:), 10);
es2=beam2s(ex(2,:), ey(2,:), ep, Ed(2,:), eq(2,:), 10);
es3=beam2s(ex(3,:), ey(3,:), ep, Ed(3,:), eq(3,:), 10);
es4=beam2s(ex(4,:), ey(4,:), ep, Ed(4,:), eq(4,:), 10);

es=[es1 es2 es3 es4];
vmax=0; %Fördefinierar
```



```

Vmin=0; %Fördefineras

%TVÄRKRAFT PLOT
for n=1:4
subplot(2,1,1), title('Tvärkraft [N]'), xlabel('Längd [m]')
sfac2=scalfact2(ex(2,:),ey(2,:),es(:,(2)),0.5); %Anger skala på
figurerna
eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(2+(n-1)*3)),plotpar,sfac2); %Ritar diagram
av 2D balkelement
Vmaxs=max(es(:,(2+(n-1)*3))); Vmax=max(Vmaxs,Vmax);
Vmins=min(es(:,(2+(n-1)*3))); Vmin=min(Vmins,Vmin);
end
pltscalb2(sfac2, [50e3 10 -10], 1);

Mmax=0; %Fördefineras
Mmin=0; %Fördefineras

%MOMENT PLOT
for n=1:4
subplot(2,1,2),title('Moment [Nm]'), xlabel('Längd [m]')
plotpar=[1 1];
sfac=scalfact2(ex(2,:),ey(2,:),es(:,3),0.2);
eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(3+(n-1)*3)),plotpar,sfac);
Mmaxs=max(es(:,(3+(n-1)*3))); Mmax=max(Mmaxs,Mmax);
Mmins=min(es(:,(3+(n-1)*3))); Mmin=min(Mmins,Mmin);
end
pltscalb2(sfac, [100000 20 -10], 1);

K=zeros(15); %Skapar en 15x15 matris med nollor
f=zeros(15,1); %Skapar en 15x1 vektor med nollor

LASTFALLUTDATA(i,:)= [i Vmin Vmax Mmax Mmin]; %Skapar en matris med
värden för tvärkraft och moment för varje lastfall

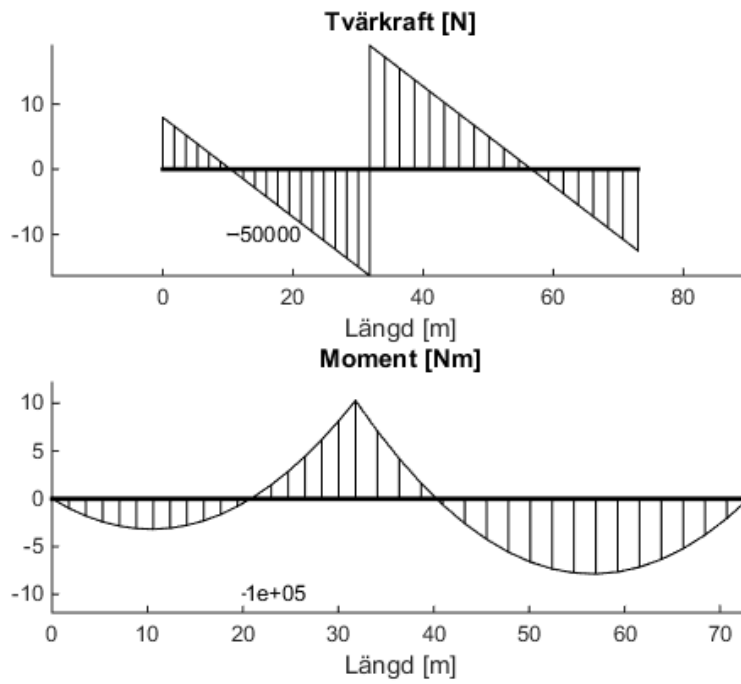
%BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE MOMENT
Meds=max(abs(Mmax),abs(Mmin)); %Tar fram maxvärdet från vektorerna Mmax
och Mmin
Med=max(Meds, Med); %Beräknar maximalt moment [Nm]
end

%BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE TVÄRKRAFT
Ved=max(max(abs(LASTFALLUTDATA(:,2))),max(abs(LASTFALLUTDATA(:,3))));
%Beräknar maximal tvärkraft [N]
fprintf('Dimensionerande tvärkraft: Ved = %2.2f [N] \n', Ved)
fprintf('Dimensionerande moment: Med= %2.2f [Nm] \n', Med)
end

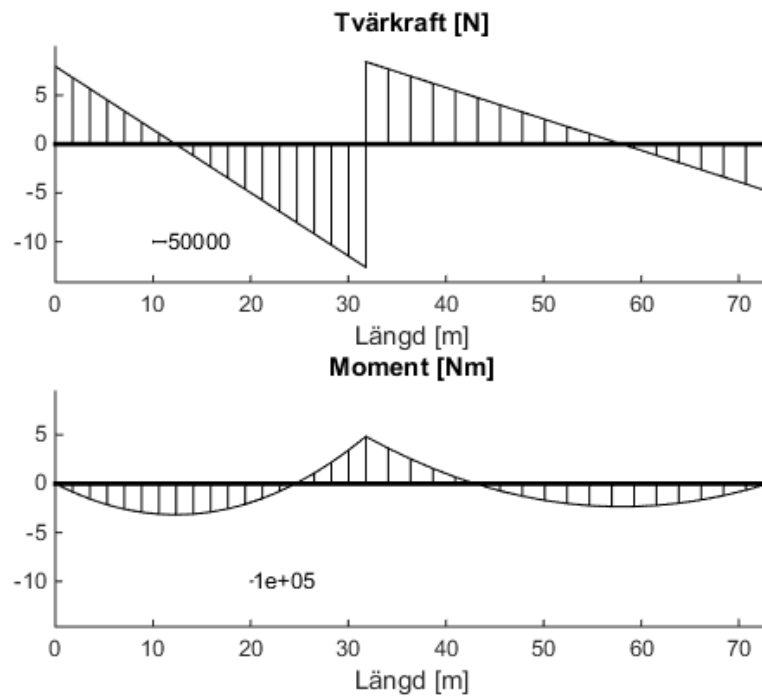
```

*[Published with MATLAB® R2014b](#)*

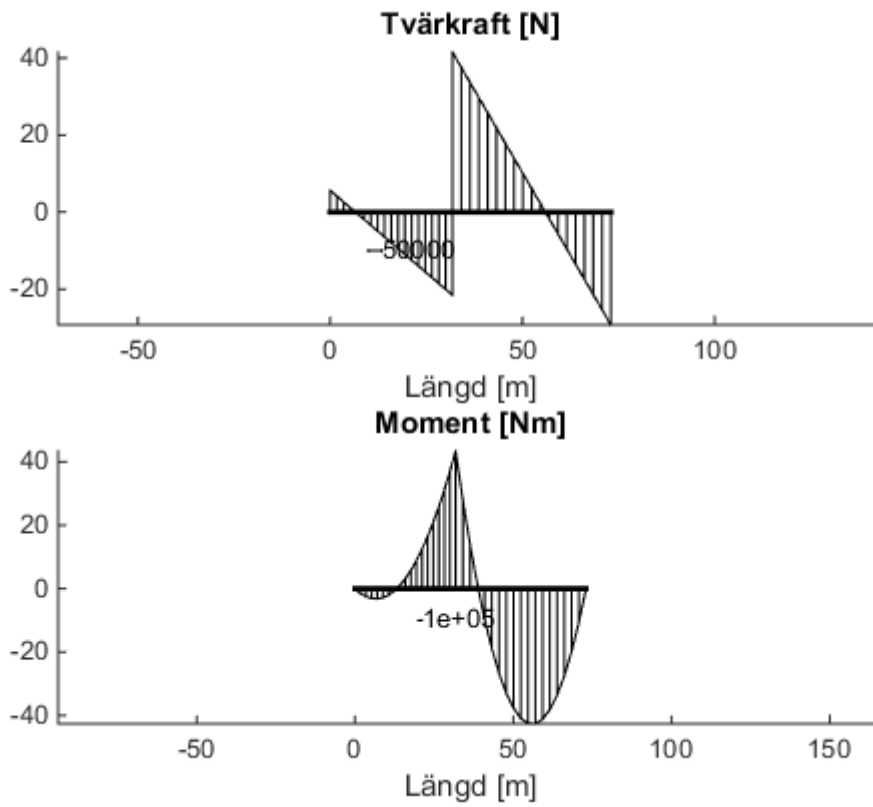
### Lastfall 1



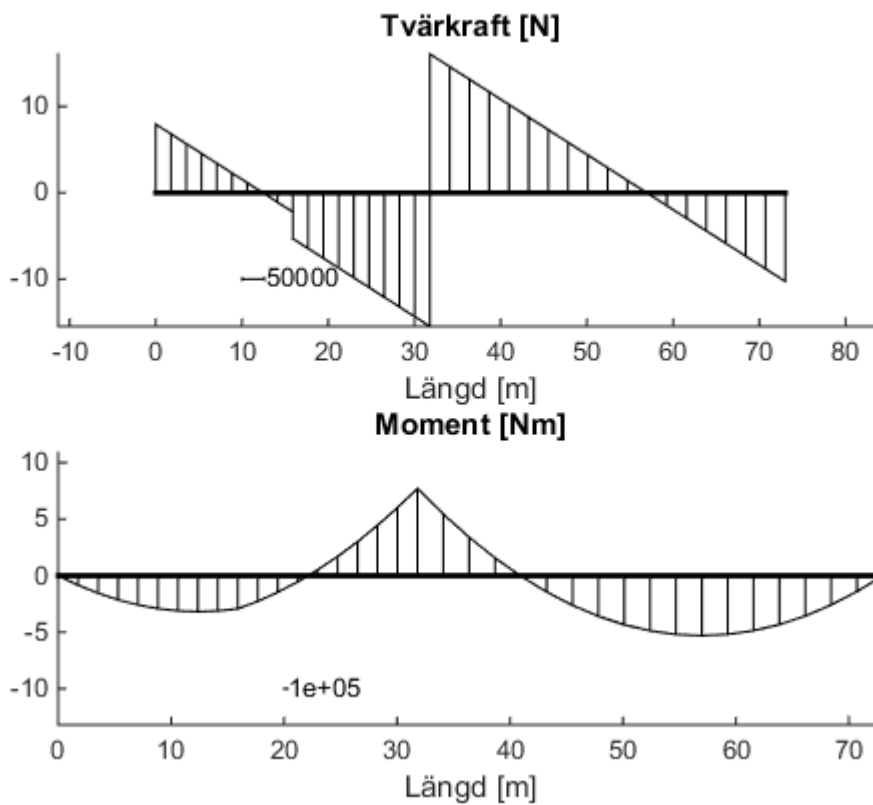
### Lastfall 2



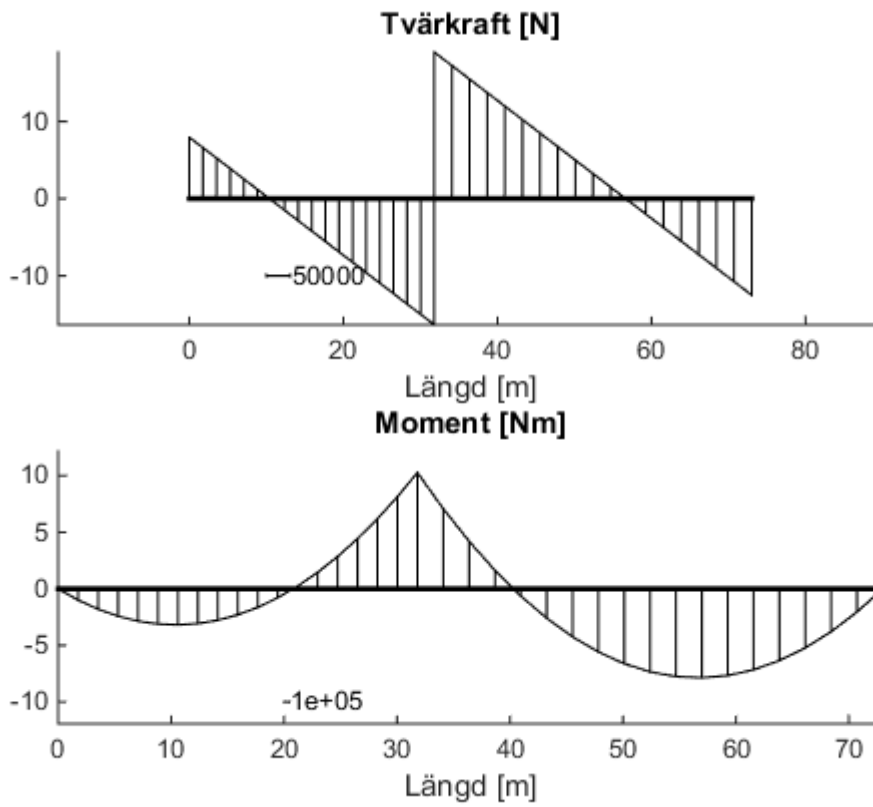
### Lastfall 3



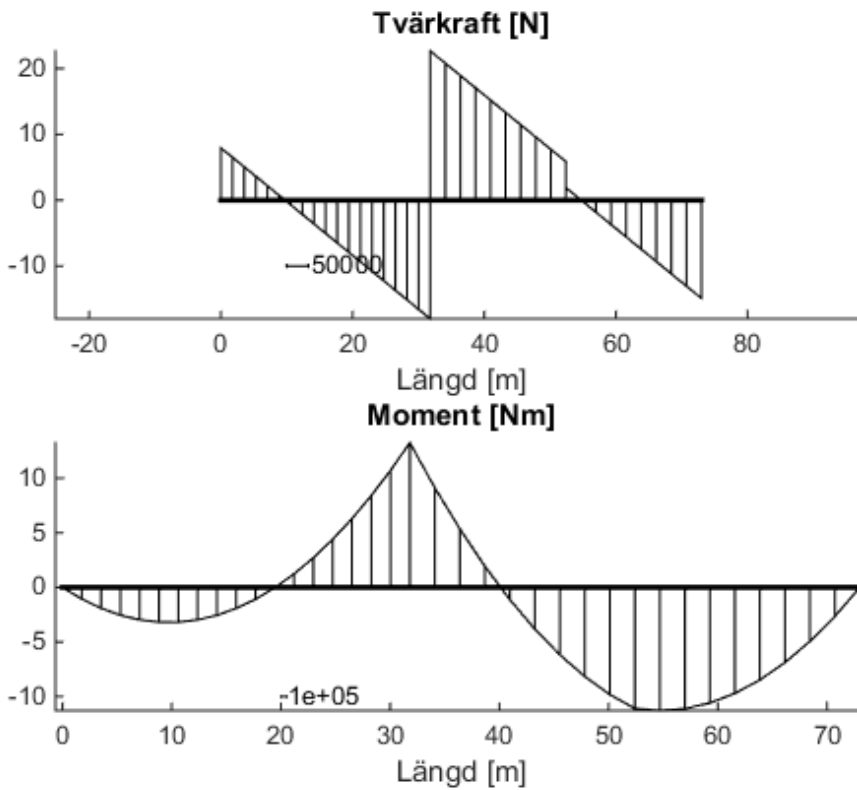
### Lastfall 4



### Lastfall 5



### Lastfall 6



Tabell VI. Dimensionerande tvärkraft och moment för vardera lastfall i längsled per balk. De fetstilta värdena är de dimensionerande värdena som erhölls av Lastfall 1, vilka används vid kontroll av kapaciteten. För varje lastfall erhöles dimensionerande värden ur det spann vars längd är 41,2 meter.

Längsled: Brottgränstillstånd	$V_{ED}$ [kN]	$M_{ED}$ [kNm]
Lastfall 1	<b>618,06</b>	<b>4 349,17</b>
Lastfall 2	485,27	2 852,30
Lastfall 3	601,36	3 660,90
Lastfall 4	311,31	2 319,80
Lastfall 5	307,52	2 164,00
Lastfall 6	343,87	2 425,60

### Stödreaktionskrafter

Tabell VII. Stödreaktioner i brottgränstillstånd för de olika lastfallen i längsled. Den fetstilta stödreaktionen under stöd B är den största stödreaktion som verkar på bron. Observera att reaktionskrafterna är redovisade per balk, vilket innebär att en faktor 3 bör multipliceras med stödreaktionen för att få total reaktionskraft som verkar i respektive stöd.

Reaktionskrafter: Längsled – Brott	Stöd A [kN]	Stöd B [kN]	Stöd C [kN]
Lastfall 1	258,80	<b>1 150,40</b>	406,94
Lastfall 2	305,88	809,50	185,77
Lastfall 3	81,70	913,30	423,64
Lastfall 4	153,87	611,08	198,69
Lastfall 5	128,77	632,40	202,48
Lastfall 6	120,55	616,97	226,13

## Kontroll av moment- och tvärkraftskapacitet

```
%-----  
%FUNKTION 3; Längsled Mrd, Vrd & Nedbojning  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----  
  
function [Mbrd, Vrd]=LANGSLED_Mrd_Vrd(Med,ved,tw,tf,bf,hw,a)
```

## INDATA

```
fy=355e6;  
gammamo=1;  
gammamett=1;  
xlt=1;  
  
format long  
antag=1; %antag avstyvad livplåt  
am=2; %antagande om mellanliggande avstyvningar --> avstånd mellan dessa am  
e=sqrt(235e6/fy);
```

## TVÄRSNITTSKLASSER

```
%TVÄRSNITTSKLASS FLÄNS  
c=(bf-tw)/2-sqrt(2)*a;  
SF=c/tf; %Slankhet fläns  
  
if SF<9*e disp('Fläns: TK1'), TKf=1; %Tvärnittsklass 1 fläns  
elseif 9*e<SF && SF<10*e disp('Fläns: TK2'),TKf=2; %Tvärnittsklass 2 fläns  
elseif 10*e<SF && SF<14*e disp('Fläns: TK3'),TKf=3; %Tvärnittsklass 3 fläns  
else disp('Fläns ERROR, ev. TK4')  
end  
  
%TVÄRSNITTSKLASS LIV  
d=hw-2*sqrt(2)*a;  
SL=d/tw; %Slankhet liv  
  
if SL<72*e disp('Liv: TK1'), TKl=1; %Tvärnittsklass 1 liv  
elseif 72*e<SL && SL<83*e disp('Liv: TK2'), TKl=2; %Tvärnittsklass 2 liv  
elseif 83*e<SL && SL<124*e disp('Liv: TK3'), TKl=3; %Tvärnittsklass 3 liv  
else disp('Liv ERROR, ev. TK4')  
end
```

```

%TVÄRSNITTSKLASS TOTALT
if TKl>TKf TK=TKl;
else TK=TKf;
end

%MOMENTKAPACITET
Ix=(tw*hw^3)/12+2*((bf*tf^3)/12+(bf*tf)*(hw/2+tf/2)^2);%Yttröghetsmoment
[m^4]
if TK<=2;
wpl=tf*bf*(tf+hw)+(tw*hw^2)/4; w=wpl; disp('Räknar med wpl')%Plastiskt
böjmotstånd [m^3]
elseif TK==3;
wel=Ix/((hw/2)+tf); w=wel; disp('Räknar med wel')%Elastiskt böjmotstånd
[m^3]
else disp('Error mom-kap')
end
Mbrd=xlt*w*fy/gammamett; %wel alt. wpl, loopen ovan avgör
VerkMom=Med/Mbrd; %Verkningsgrad Moment
fprintf('Momentkapacitet: Mbrd = %2.2f [Nm]\n', Mbrd)
fprintf('Verkningsgrad Moment: %2.2f\n', VerkMom)

%TVÄRKRAFTSKAPACITET
if fy>460e6 disp('n-faktorn stämmer ej, högre stålqualität än 420, loop
gäller ej') %Loopen gäller endast för stålqualität under 420
else n=1.2; %n-faktor
if antag~=1 disp('kontrollera antagande styva/veka avstyvningar') %Antag
oavstyvad livplåt: antag skiljt från 1
else disp('Styva ändavstyvningar')
if a/d<1 Ktao=4+5.34/(am/d)^2; %Antag att mellanliggande
avstyvningar finns
else Ktao=5.34+4/(am/d)^2;
end
if (hw/tw)<(31*e*sqrt(Ktao)/n)
disp('OK, bucklingrisk finns ej'), Av=n*hw*tw;
vplrd=Av*(fy/sqrt(3))/gammamo; verkT=Ved/vplrd;
vbwrđ=0;vrđ=max(vbwrđ,vplrd); %ekv(S5-18)
fprintf('\n\nTvärkraftskapacitet: vrđ = %2.2f [N]',vplrd)
fprintf('\n\nVerkningsgrad Tvärkraft: %2.2f', verkT)
else disp('EJ OK, bucklingsrisk finns, räknar mer')

slankgrans=(hw/tw)/(37.4*e*sqrt(Ktao));

if slankgrans<0.8/n %Loop bestämmer skjuvbucklingskoefficient
Xw=n
elseif 0.8/n<slankgrans && slankgrans<1.08
xw=0.83/slankgrans;
elseif slankgrans>1.08
xw=1.37/(0.7+slankgrans);
else disp('Error')
end

```

```

        Vbwrđ=Xw*hw*tw*fy/(sqrt(3)*gammamett); Verkt=ved/Vbwrđ; vplrd=0;
Vrd=max(Vbwrđ,vplrd); %ekv(S5-20)
fprintf('Tvärkraftskapacitet: vrd = %2.2f [N]\n',Vbwrđ)
fprintf('verkningsgrad Tvärkraft: %2.2f\n', verkt)
%INTERAKTIONSKONTROLL se s.86, Bärande konstruktioner del 1
avsnitt S5.4
wplf=2*tf*bf*(hw+tf)/2;
Mfplrd=wplf*fy/gammamett; %Momentkapacitet flänsar
if Med<Mfplrd && ved<Vbwrđ; ok1=1;
else ok1=0;
end
if ved<0.5*Vbwrđ ok2=1;
else ok2=0;
end
if ok1+ok2>=1 disp('Ingen interaktion nödvändig, OK!')
elseif Med<=(Mfplrd+(Mbrđ-Mfplrd)*(1-((2*ved/Vbwrđ)-1)^2))
disp('Inom interaktionsområde')
else disp('interaktion EJ OK, utanför område')
end
end
end
end
end
end

```

*Published with MATLAB® R2014b*



### B5.3. Bruksgränstillstånd

#### Längdförändring till följd av temperaturdifferens

$$l_{\max} = 73 - 31,8 = 41,2 \text{ m}$$

$$T_{\max} = 38 + 2,5 = 40,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = -34 + 2,5 = -31,5^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} = 40,5 - (-31,5) = 72^{\circ}\text{C}$$

Maximala och minimal temperatur erhöles ur kapitel 2.2 (*Boverket, 2015, s.59*).

$$\alpha_{T_{\text{trä}}} = 5 \times 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\alpha_{T_{\text{stål}}} = 1 \times 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

(*Vägverket, 2004b, s.21*)

$$\Delta l = \alpha_T \times \Delta T \times l_{\max}$$

$$\Delta l_{\text{trä}} = 0,1483 \text{ m} = 148,3 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\text{stål}} = 0,02966 \text{ m} = 29,66 \text{ mm}$$

(*Lebet & Hirt, 2013, s.210*)

## Nedböjning

```
%-----  
% FUNKTION 4: Längsled Nedböjning  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----  
  
function [Nedboj_L1_max,  
Nedboj_L2_max,Nedboj_max_perlastfall_1]=LANGSLED_Nedbojning(GI,tw,tf,bf,hw,a  
,b)
```

## INDATA

```
%TVÄRSNITTSEGENSKAPER  
Es =210*10^9; %elasticitetsmodul allmänt stål [Pa]  
As= hw*tw+2*tf*bf; %Area per stål balk  
Is = (tw*hw^3)/12 + 2*(bf*tf^3/12+((hw+tf)/2)^2*bf*tf); %Yttröghetsmoment  
per balk [m^4]  
  
%SPÄNNVIDDER  
L1 = 31.8; %Spännvidd 1 [m]  
L2 = 41.2; %Spännvidd 2 [m]  
  
%LASTER OCH KOMBINATIONSVÄRDEN  
G_pb=G/3; %per balk m.h.t lastfördelning, brukgränstillstånd egentygnd inga  
extra faktorer  
Qsv_pb = 120e3*0.75/3; % kombinationsvärde för axellaster från fordon per  
balk [N]  
Qf_pb = 5e3*b*0.4/3;% kombinationsvärde utbredd trafiklast spann 2 per balk  
(folkmassa) [N/m]  
  
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];  
%Topologimatrix  
bc=[2 0; 7 0; 8 0; 14 0]; %Upplagsvillkor  
ex=[0 L1/2;L1/2 L1;L1 L1+L2/2;L1+L2/2 L1+L2]; %Koordinatvektorer för  
elementen  
ey=zeros(4,2); %Koordinatvektorer för elementen  
ep=[Es As Is]; %Skapar en vektor med elementegenskaper  
%  
% k=zeros(15); %Skapar en 15x15 matris med nollor  
% f=zeros(15,1); %Skapar en 15x1 vektor med nollor  
  
Nedboj_L1_max=0; %Fördefinierar
```

```
Nedboj_L2_max=0;%Fördefineras
Nedboj_max_perlastfall_1=zeros(6,3);
```

## LASTFALL

```
%LOOPAR DE 6 OLIKA LASTFALLEN
```

```
for i=1:6
```

```
f=zeros(15,1);
```

```
k=zeros(15);
```

```
if i==1
```

```
eq=[0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb)];
```

```
elseif i==2
```

```
eq=[0 -(G_pb+Qf_pb);0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb); 0 -(G_pb)];
```

```
elseif i==3
```

```
eq=[0 -(G_pb);0 -(G_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb); 0 -(G_pb+Qf_pb)];
```

```
elseif i==4
```

```
eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb);0 -(G_pb);0 -(G_pb)];f(5)=-Qsv_pb;
```

```
elseif i==5
```

```
eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb);0 -(G_pb);0 -(G_pb)];f(8)=-Qsv_pb;
```

```
elseif i==6
```

```
eq=[0 -(G_pb); 0 -(G_pb);0 -(G_pb);0 -(G_pb)];f(11)=-Qsv_pb;
```

```
end
```

## BERÄKNING

```
for n=1:4
```

```
[ke,fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:)); %Tar fram styvhetsmatrix och lastvektor för varje balkelement
```

```
[k,f]=assem(Edof(n,:),k,ke,f,fe); %Assembling till global styvhetsmatrix och global lastvektor
```

```
end
```

```
[a,r]=solveq(k,f,bc); %Beräknar förskjutningarna a[m] i noderna samt upplagskrafterna r[N]
```

```
Ed=extract(Edof,a);%Elementkrafterna beräknas, [N]
```

```
[es1,edi1,ec1]=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq(1,:),100);
```

```
[es2,edi2,ec2]=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq(2,:),100);
```

```
[es3,edi3,ec3]=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq(3,:),100);
```

```
[es4,edi4,ec4]=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq(4,:),100);
```

```
edikortspann=[edi1; edi2];
```

```
edilangtspann=[edi3; edi4];
```

```
Nedboj_L1_max=max(max(abs(edikortspann(:,2))), Nedboj_L1_max); %Beräknar maximal nedböjning över kortare spannet [m]
```

```
Nedboj_L2_max=max(max(abs(edilangtspann(:,2))), Nedboj_L2_max);
```

```

%Beräknar maximal nedböjning över längre spannet [m]

Nedboj_max_perlastfall_1(i,:)= [i max(abs(edikortspann(:,2)))
max(abs(edilangtspann(:,2)))];

if Nedboj_L1_max>(L1/400) disp('Nedböjning spann L1 EJ OK')
end
if Nedboj_L2_max>(L2/400) disp('Nedböjning spann L2 EJ OK')
end

if ((abs(edilangtspann(round((4.5)*200/L2),2)))+hw+2*tf)>1
disp('ej ok fri höjd över spår') %frittrum höjdmax ligger
(2+2.5)meter*200punkter/41.2meter [punkter] från början av element 3
end

%NEDBÖJNING PLOT
figure(i+6)
plotpar=[1,1]; %Anger linjefärg samt elementfärg till figurerna
title('Nedböjning'), xlabel('Längd [m]')
sfac1=scalfact2(ex(3,:),ey(3,:),Ed(3,:),0.7); %Anger skala på figurerna

pltscalb2(sfac1, [1e-2 20 -10], 1)
for n=1:4
eldraw2(ex(n,:),ey(n,:),[1 1 0]);
eldisp2(ex(n,:),ey(n,:),Ed(n,:),[2 1 1], sfac1);
end

end

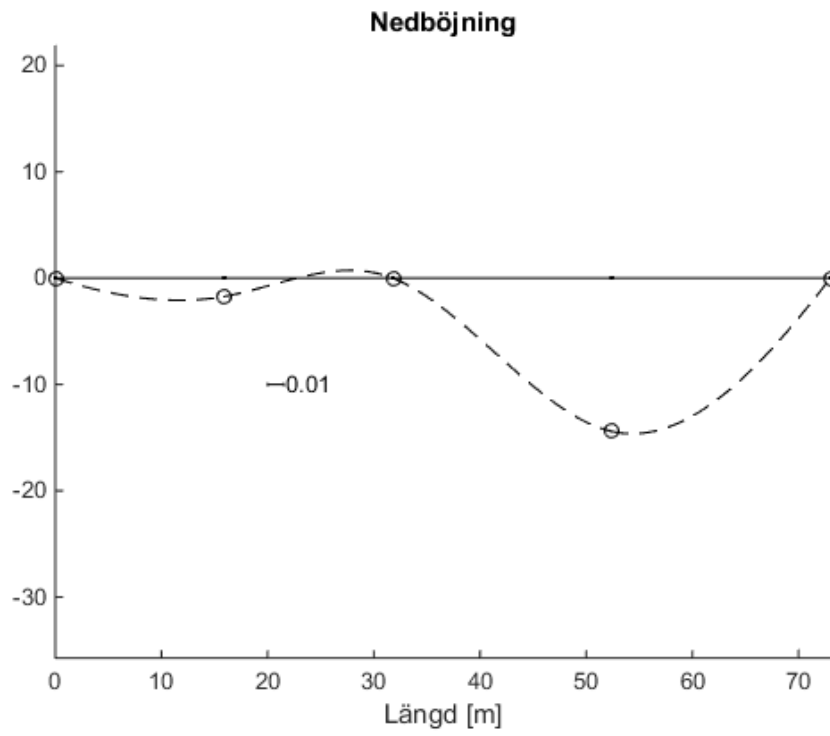
fprintf('Nedböjning max spann L1: %2.5f [m] \n', Nedboj_L1_max)
fprintf('Tillgodo gräns L1: %2.5f [m] \n', L1/400-Nedboj_L1_max)
fprintf('Nedböjning max spann L2: %2.5f [m] \n', Nedboj_L2_max)
fprintf('Tillgodo gräns L2: %2.5f [m] \n', L2/400-Nedboj_L2_max)

end

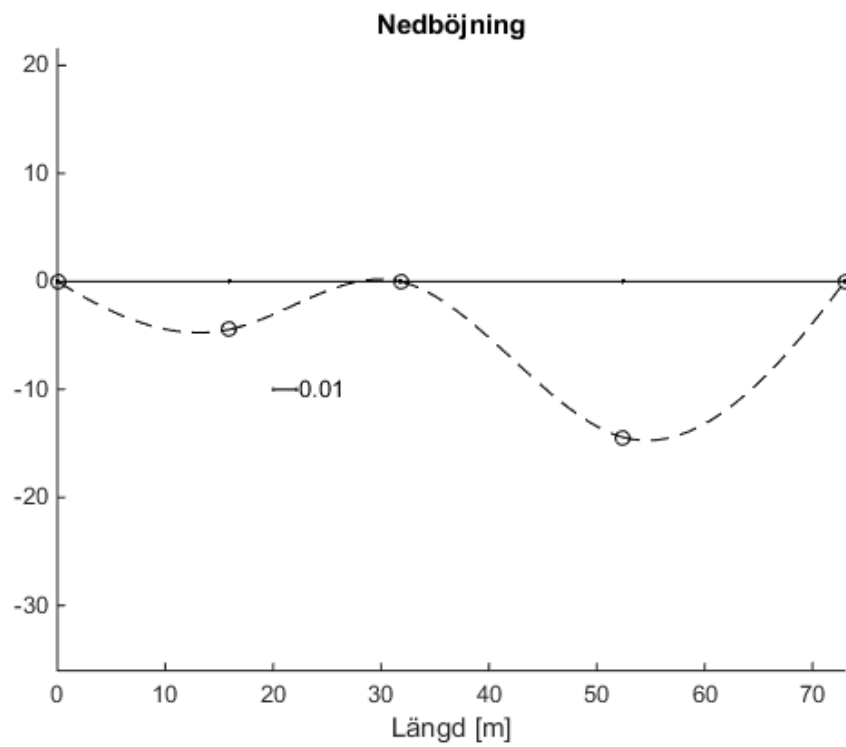
```

*Published with MATLAB® R2014b*

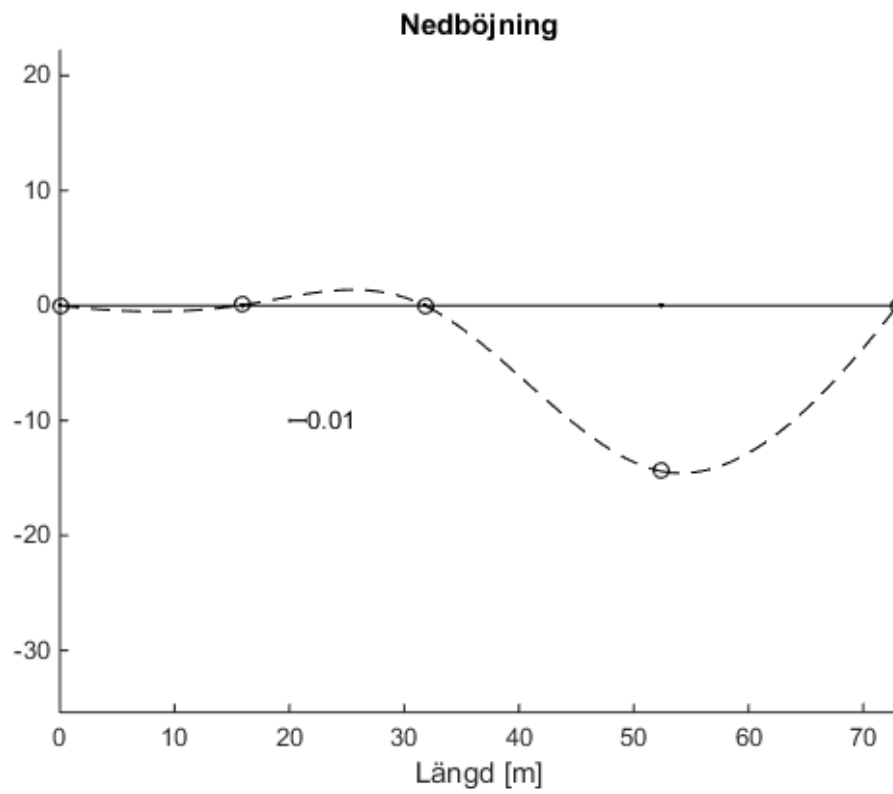
### Lastfall 1



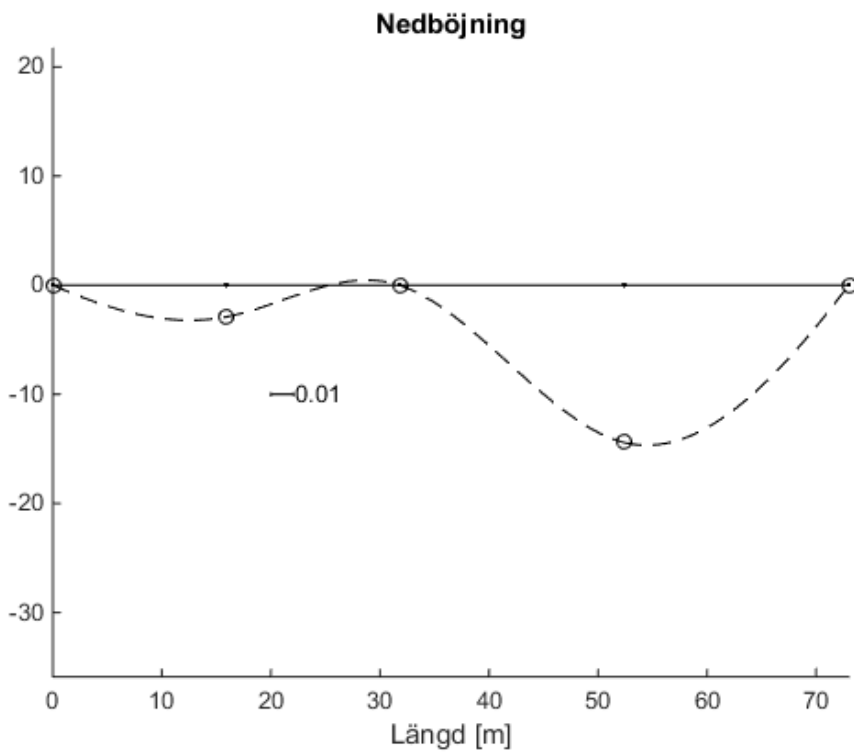
### Lastfall 2



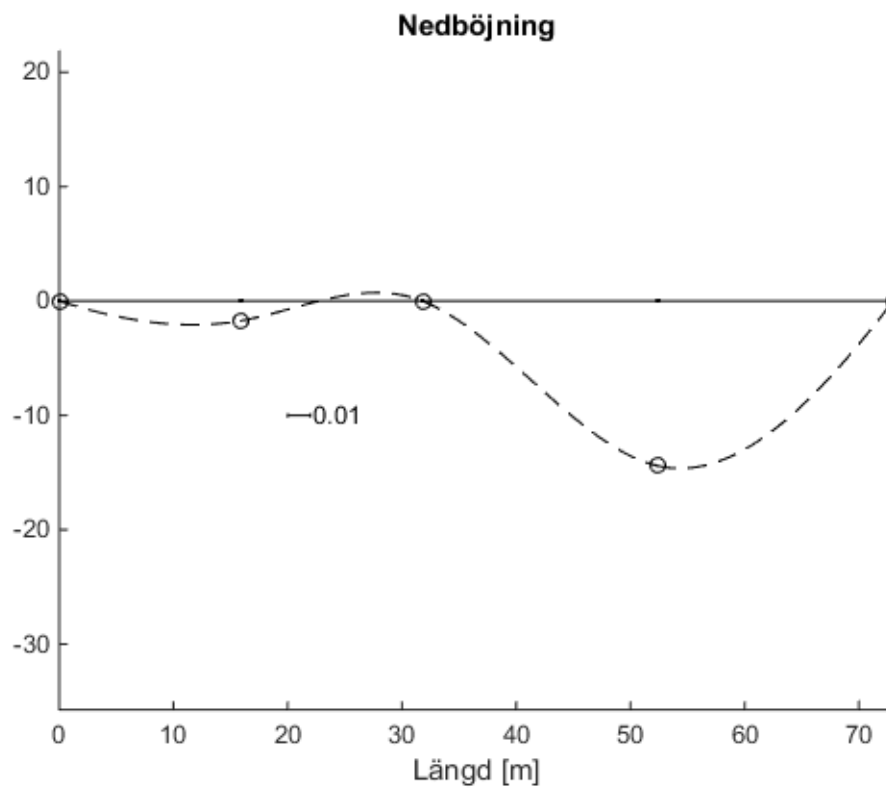
### Lastfall 3



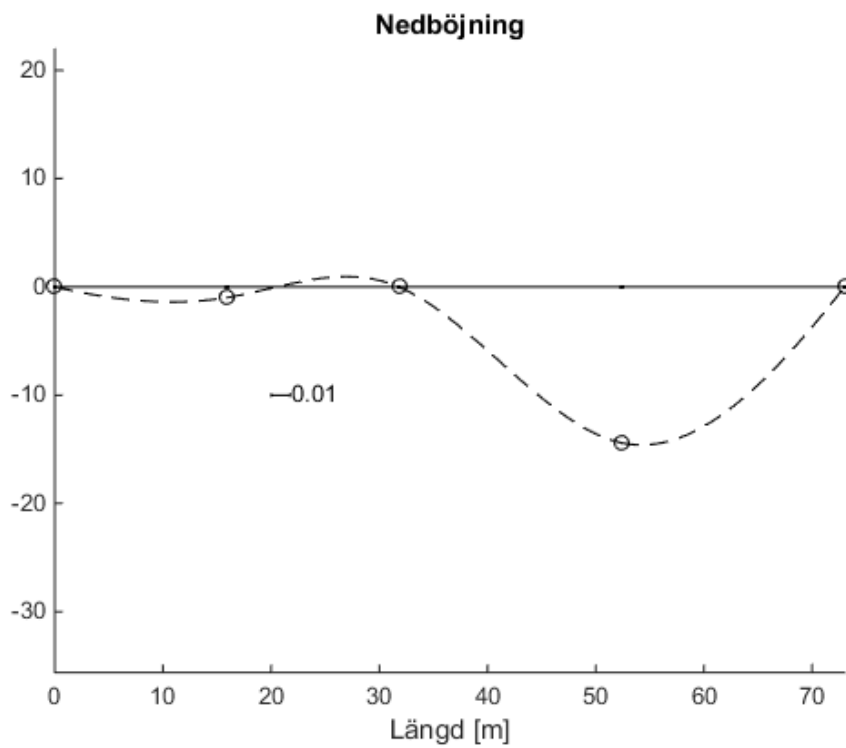
### Lastfall 4



### Lastfall 5



### Lastfall 6



Tabell VIII. Dimensionerande nedböjning för respektive lastfall i längsled per balk. Det fetstilta värdet är det dimensionerande som uppkom av Lastfall 3. I längsled uppkom den dimensionerade värden för vardera lastfall i det spann vars längd är 41,2 meter.

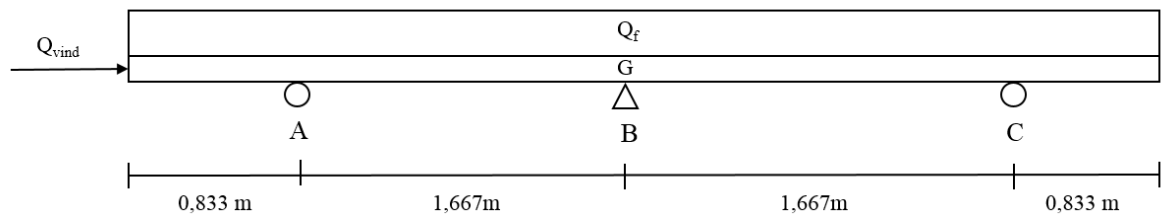
Längsled: Bruksgränstillstånd	Nedböjning [mm]
Lastfall 1	96,40
Lastfall 2	67,20
Lastfall 3	<b>102,97</b>
Lastfall 4	70,09
Lastfall 5	73,7
Lastfall 6	84,20



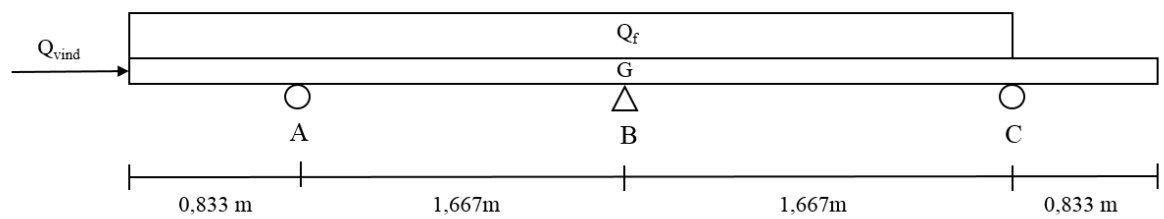
## B6. Dimensionering av brobana – tvärled

### B6.1. Lastfall

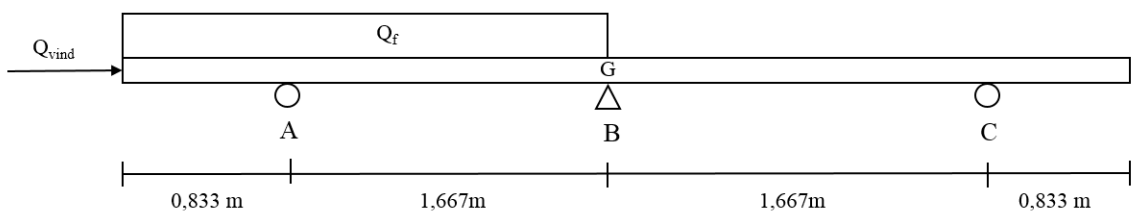
#### Lastfall 1



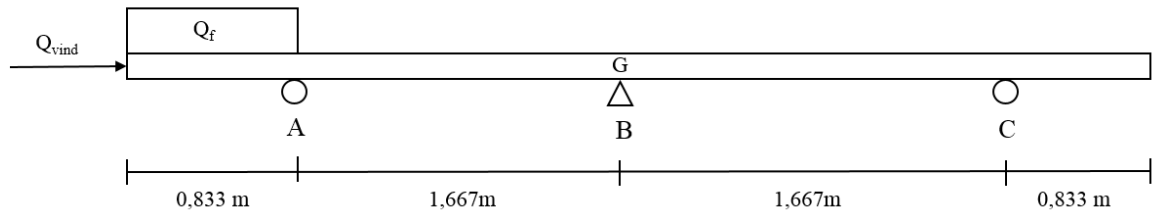
#### Lastfall 2



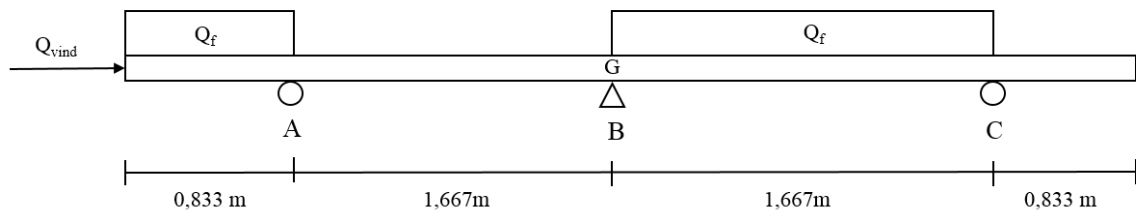
#### Lastfall 3



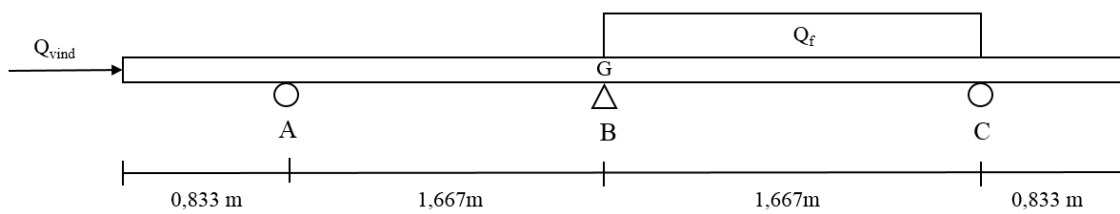
### Lastfall 4



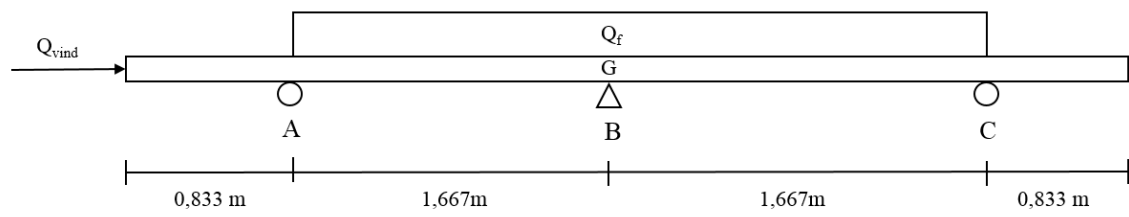
### Lastfall 5



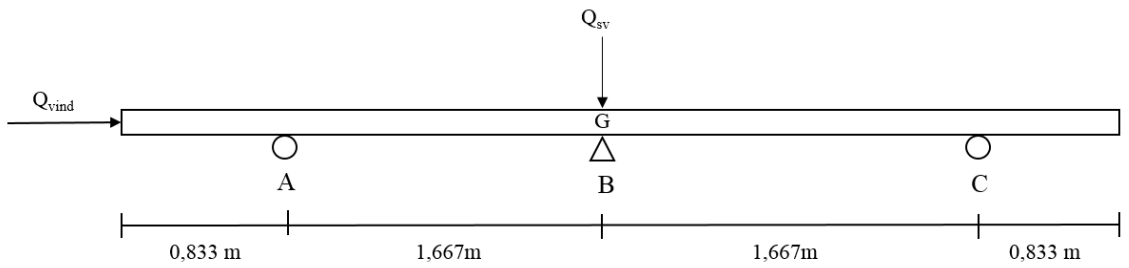
### Lastfall 6



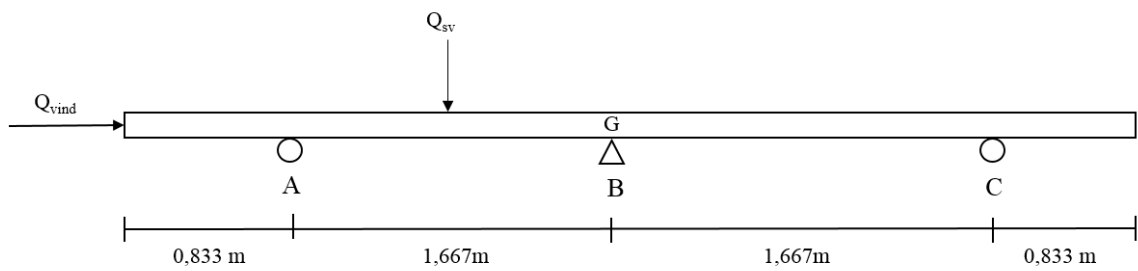
### Lastfall 7



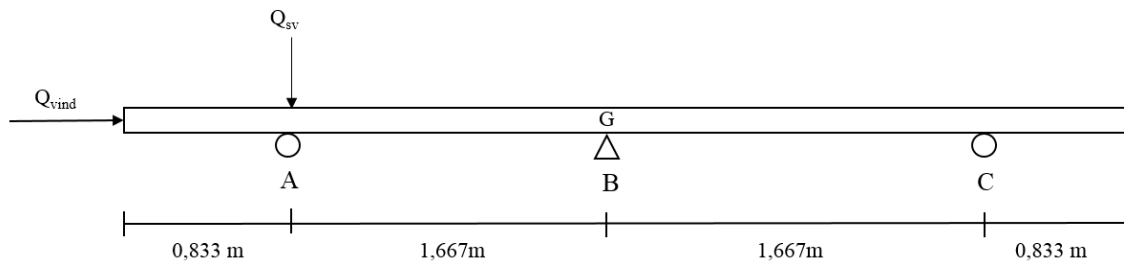
### Lastfall 8



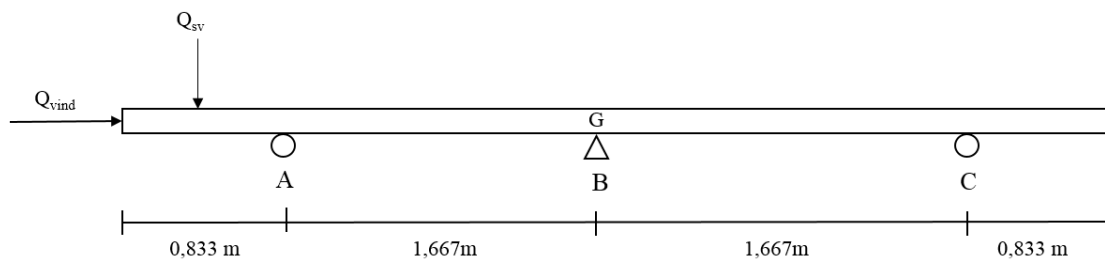
### Lastfall 9



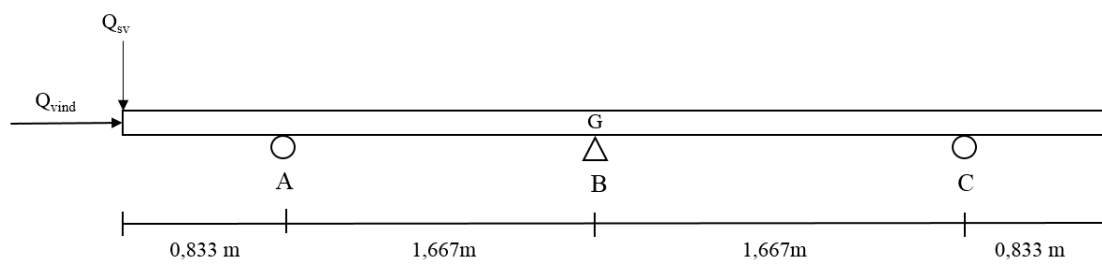
### Lastfall 10



### Lastfall 11



### Lastfall 12



## B6.2. Brottgränstillstånd

### Moment och tvärkraft

```
%-----  
% FUNKTION 6: Tvärled Brottgränstillstånd Ved & Med  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----
```

### INDATA

```
function [vedt, medt, LASTFALLUTDATAt]=TVARLED_Ved_Med(Gt, t_t, Fw_x, b)  
  
%TVÄRSNITTSEGENSKAPER  
Et=9000e6; %Elasticitetsmodul [Pa]  
At=t_t*b; %Area för träsyll [m^2]  
It=(b*t_t^3)/12; % Yttryghetsmoment för en träsyll [m^4]  
  
%SPÄNNVIDDER  
b1=b/6; %Spännvidd 1 [m]  
b2=2*b/6; %Spännvidd 2 [m]  
  
%LASTER & KOMBINATIONSVÄRDEN  
Gt=Gt*1.35*0.85; %kombinationsvärde för egenvikt [N/m]  
Qserv=120e3*1.5; %kombinationsvärde för axellaster från fordon [N]  
Qf=(5e3*1*1.5); %kombinationsvärde utbredd trafiklast (folkmassa) [N/m]  
  
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]; %Topologismatris  
  
bc=[8 0;13 0;14 0;20 0]; %Upplagsvillkor  
ex=[0 b1/2;b1/2 b1;b1 b1+b2/2;b1+b2/2 b1+b2;b1+b2 b1+b2+b2/2;b1+b2+b2/2  
    b1+2*b2;  
     b1+2*b2 b1+2*b2+b1/2;b1+2*b2+b1/2 2*b1+2*b2]; %koordinatvektorer för  
elemneten  
ey=zeros(8,2); %koordinatvektorer för elemneten  
ep=[Et At It]; %Skapar en vektor med elementegenskaper  
  
LASTFALLUTDATAt=zeros(12,5); %Skapar en 12x5 matris med nollor  
vedt=0;%Fördefinierar  
medt=0;%Fördefinierar
```

## LASTFALL

```
%LOOPAR DE 12 OLIKA LASTFALLEN
```

```
for i=1:12
```

```
    k=zeros(27); %Skapar en 27x27 matris med nollor
```

```
    f=zeros(27,1); %Skapar en 27x1 vektor med nollor
```

```
    if i==1
```

```
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
```

```
        0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==2
```

```
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
```

```
        0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==3
```

```
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==4
```

```
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==5
```

```
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==6
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==7
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
```

```
        0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==8
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(14)=-Qserv; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==9
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(11)=-Qserv; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==10
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(8)=-Qserv; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==11
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(5)=-Qserv; f(1)=Fw_x;
```

```
    elseif i==12
```

```
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
```

```
        0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(2)=-Qserv; f(1)=Fw_x;
```

```
    end
```

## BERÄKNING AV MED & VED

```
for n=1:8
```

```
    [ke, fe]=beam2e(ex(n,:), ey(n,:), ep, eq(n,:)); %Tar fram styvhetsmatris och
```

```

lastvektor för varje balkelement
[K,f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe); %Assembling till global
styvhetsmatrix och global lastvektor
end

[a,r]=solveq(K,f,bc);%Beräknar förskjutningarna a[m] i noderna samt
upplagskrafterna r[N]
reaktiontvarled=[i r(8) r(14) r(20)]; %Samlar alla reaktionskrafter i en
matrix

Ed=extract(Edof,a);%Elementkrafterna beräknas, [N]

figure(i+12)
hold on
plotpar=[1,1]; %Anger linjefärg samt elementfärg till figurerna

es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq(1,:),10);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq(2,:),10);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq(3,:),10);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq(4,:),10);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep,Ed(5,:),eq(5,:),10);
es6=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep,Ed(6,:),eq(6,:),10);
es7=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep,Ed(7,:),eq(7,:),10);
es8=beam2s(ex(8,:),ey(8,:),ep,Ed(8,:),eq(8,:),10);
es=[es1 es2 es3 es4 es5 es6 es7 es8];
Vmax=0; %Fördefinierar
Vmin=0; %Fördefinierar

%TVÄRKRAFT PLOT
for n=1:8
subplot(2,1,1), title('Tvärkraft [N]'), xlabel('Längd [m]')
%SKAPAR EN LOOP SOM SKALAR BILDERNA BEROENDE PÅ LASTFALL
if 5<i && i<8 w=5;
sfac2=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(2+(w-1)*3)),2); %Anger skala på
figurerna
elseif 2<i && i<5 w=2;
sfac2=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(2+(w-1)*3)),1);
elseif i==11 w=2;
sfac2=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(2+(w-1)*3)),1.5);
elseif i==12 w=1;
sfac2=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(2+(w-1)*3)),1.5);
elseif i==9 w=3;
sfac2=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(2+(w-1)*3)),0.7);
else w=3;
sfac2=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(2+(w-1)*3)),0.5);
end

eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(2+(n-1)*3)),plotpar,sfac2); %Ritar diagram
av 2D balkelement

```

```

Vmaxs=max(es(:,(2+(n-1)*3))); Vmax=max(Vmaxs,Vmax);
Vmins=min(es(:,(2+(n-1)*3))); Vmin=min(Vmins,Vmin);
end
pltscalb2(sfac2, [10e3 3 -0.5], 1);
Mmax=0; %Fördefinerar
Mmin=0; %Fördefinerar

%MOMENT PLOT
for n=1:8
subplot(2,1,2),title('Moment [Nm]'), xlabel('Längd [m]')
plotpar=[1 1];
if 5<i && i<8 w=5;
sfac=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(3+(w-1)*3)),1);
elseif 2<i && i<5 w=2;
sfac=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(3+(w-1)*3)),1);
elseif i==11 w=2;
sfac=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(3+(w-1)*3)),1);
elseif i==12 w=1;
sfac=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(3+(w-1)*3)),0.4);
elseif i==9 w=3;
sfac=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(3+(w-1)*3)),0.7);
else w=3;
sfac=scalfact2(ex(w,:),ey(w,:),es(:,(3+(w-1)*3)),1);
end
eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(3+(n-1)*3)),plotpar,sfac);
Mmaxs=max(es(:,(3+(n-1)*3))); Mmax=max(Mmaxs,Mmax);
Mmins=min(es(:,(3+(n-1)*3))); Mmin=min(Mmins,Mmin);
end
pltscalb2(sfac, [10e3 0.5 -0.2], 1);
k=zeros(27); %Skapar en 27x27 matris med nollor
f=zeros(27,1); %Skapar en 27x1 vektor med nollor

LASTFALLUTDATAT(i,:)= [i Vmin Vmax Mmax Mmin ];%Skapar en matris med
värden för tvärkraft och moment för varje lastfall

%BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE TVÄRKRAFT
Vedsek=max(abs(LASTFALLUTDATAT(i,2)),abs(LASTFALLUTDATAT(i,3)));
Vedt=max(Vedsek,vedt); %Beräknar maximal tvärkraft [N]
end

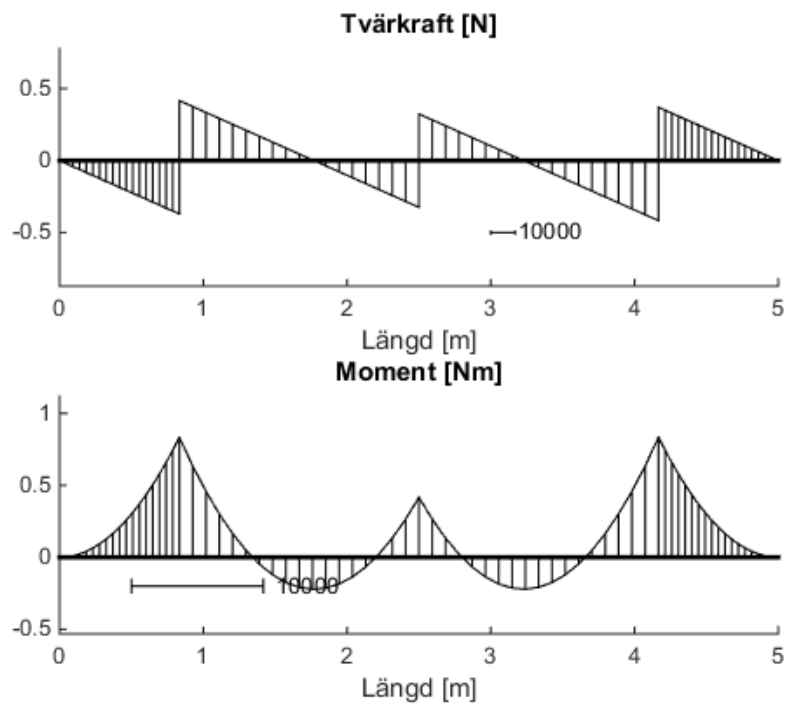
%BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE MOMENT
Meds=max(abs(Mmax),abs(Mmin)); %Tar fram maxvärdet från vektorerna Mmax
och Mmin
Medt=max(Meds, Medt); %Beräknar maximalt moment [Nm]
fprintf('Dimensionerande tvärkraft:ved = %2.2f [N] \n', Vedt)
fprintf('Dimensionerande moment: Med = %2.2f [Nm] \n', Medt)
end

```

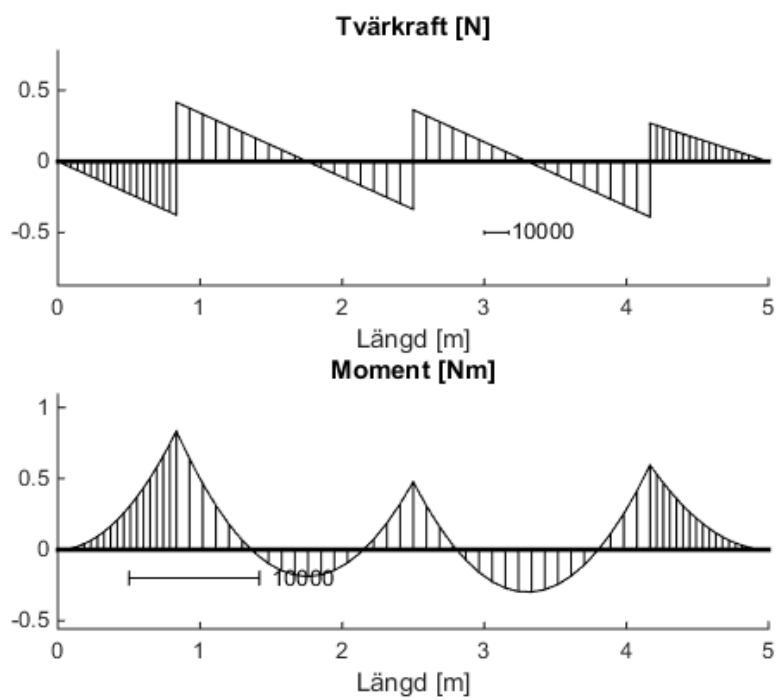
*Published with MATLAB® R2014b*



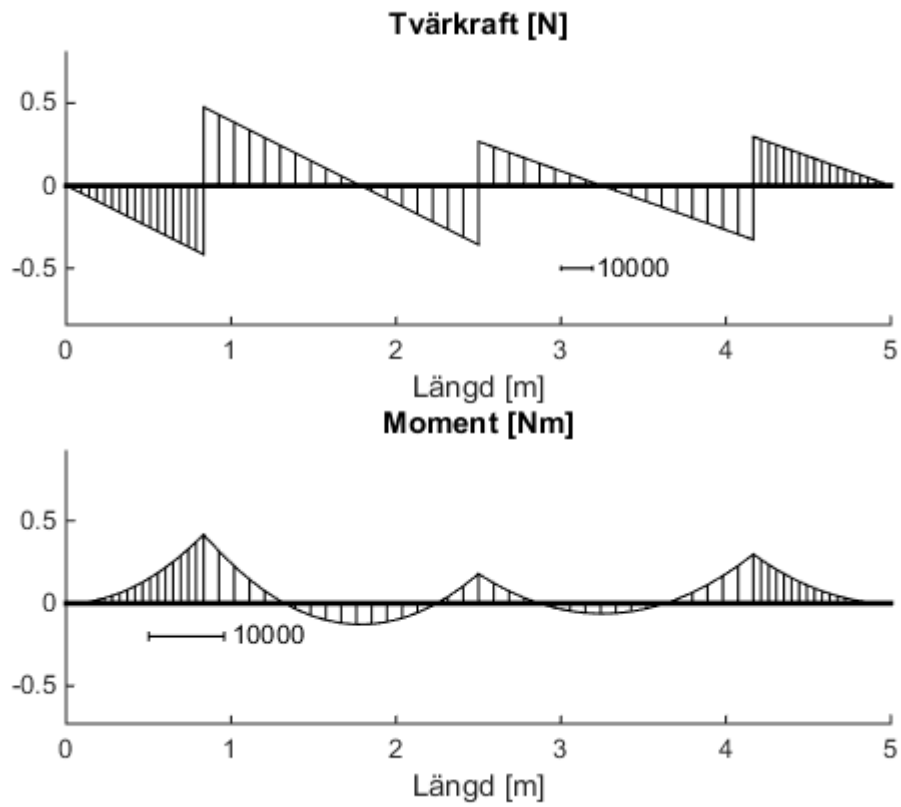
### Lastfall 1



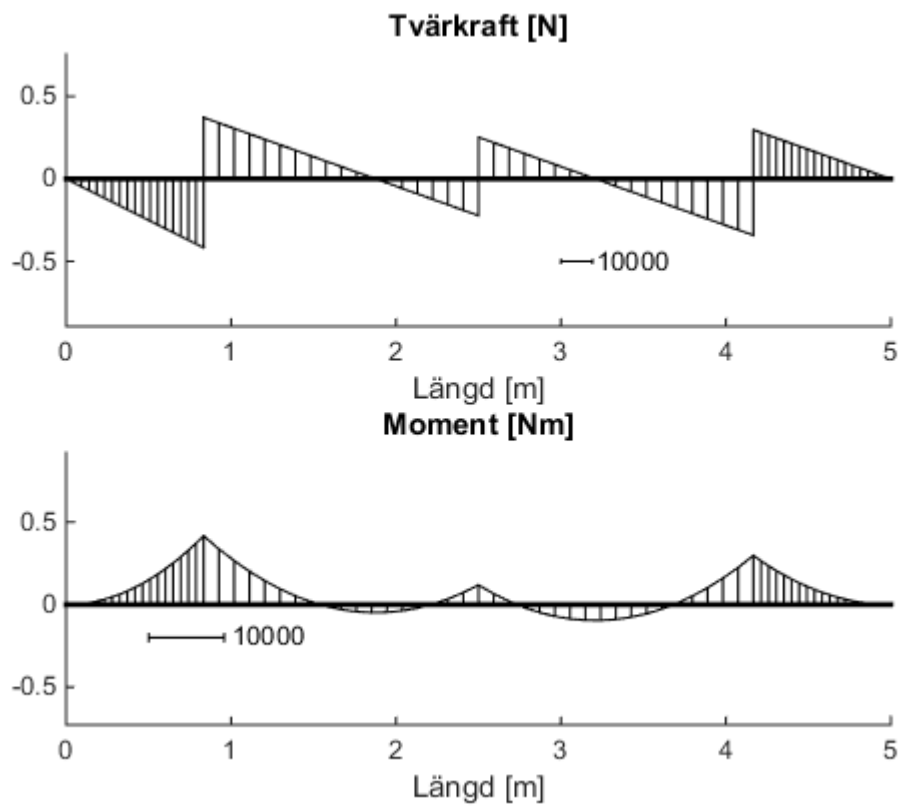
### Lastfall 2



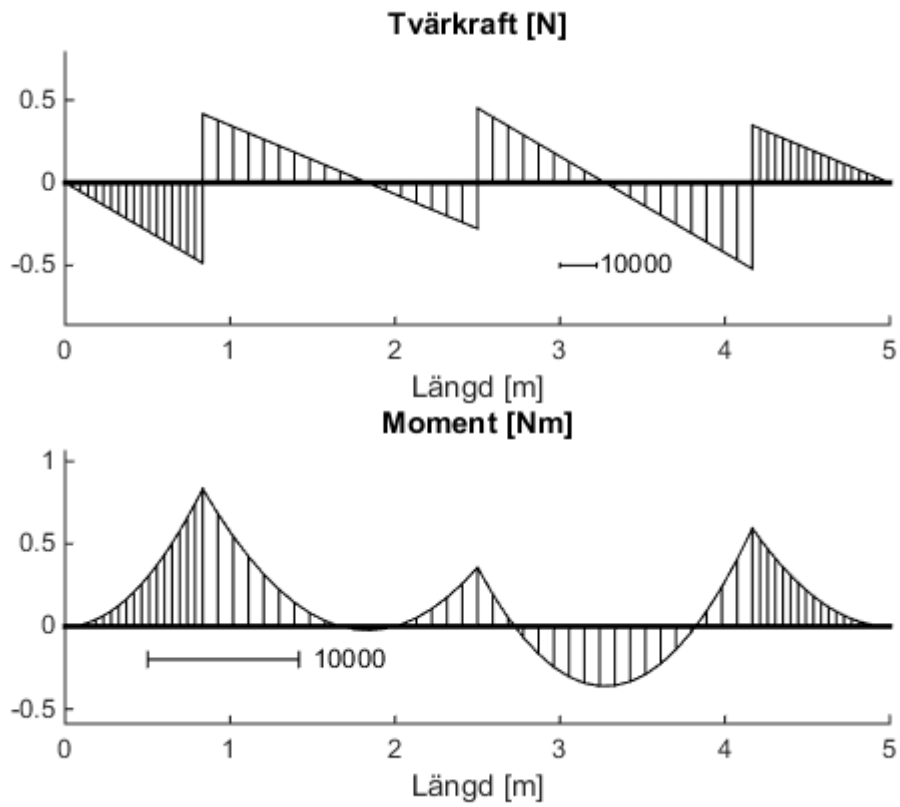
### Lastfall 3



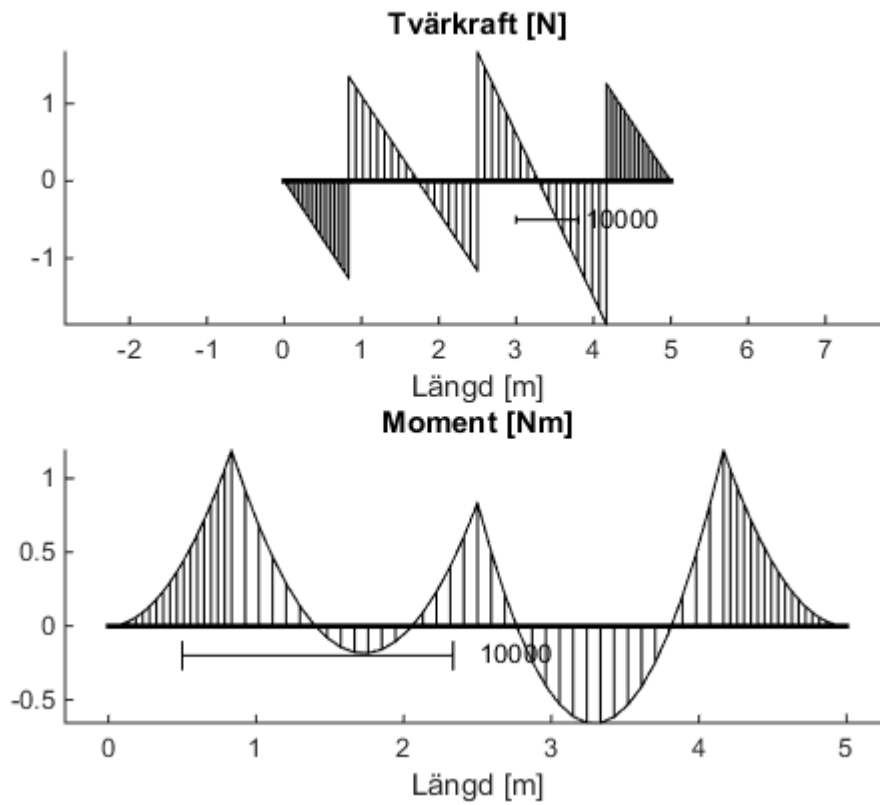
### Lastfall 4



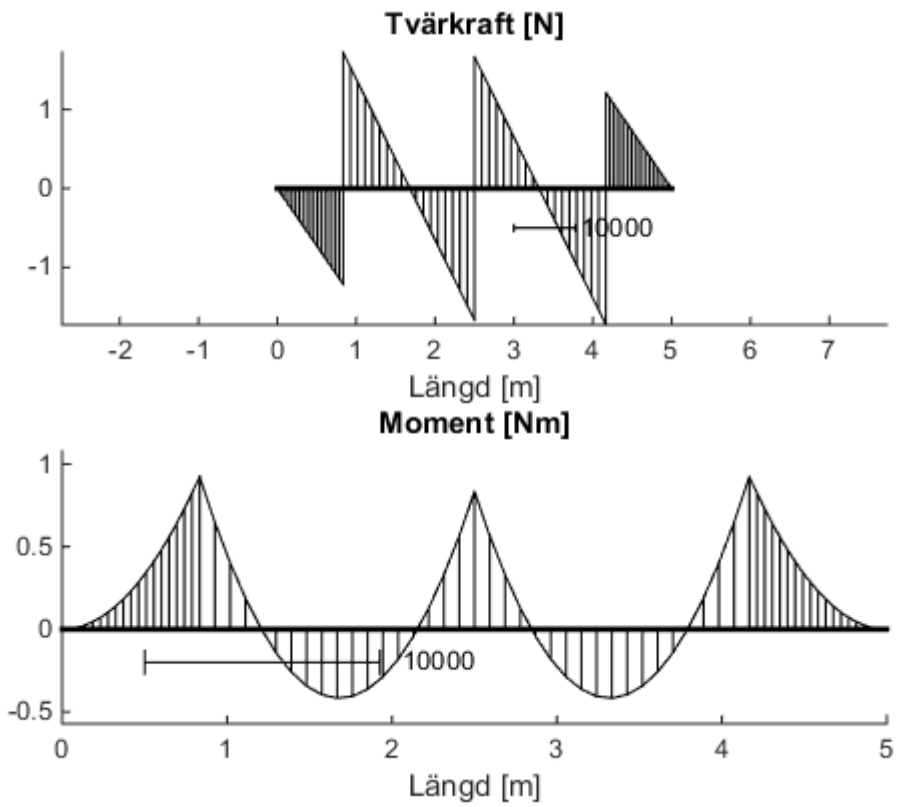
### Lastfall 5



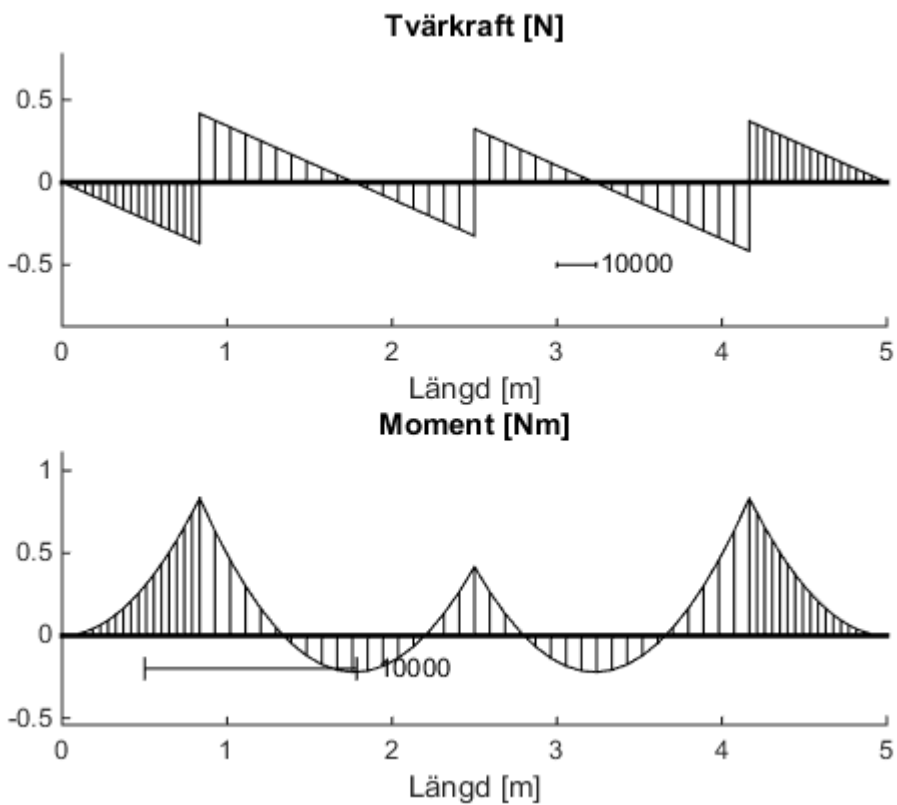
### Lastfall 6



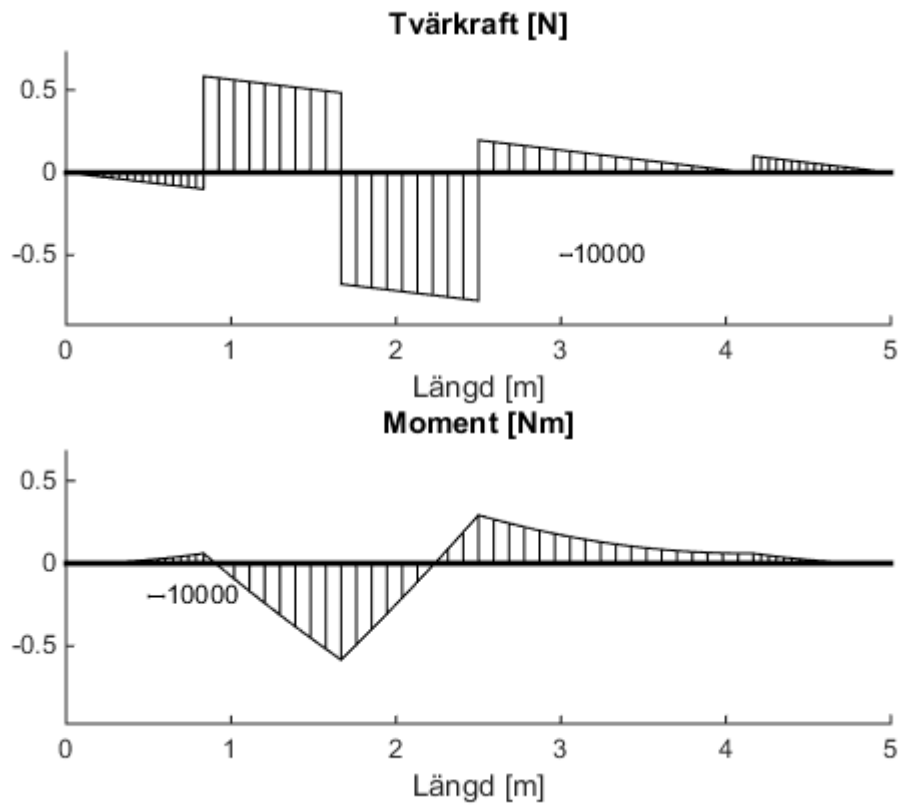
### Lastfall 7



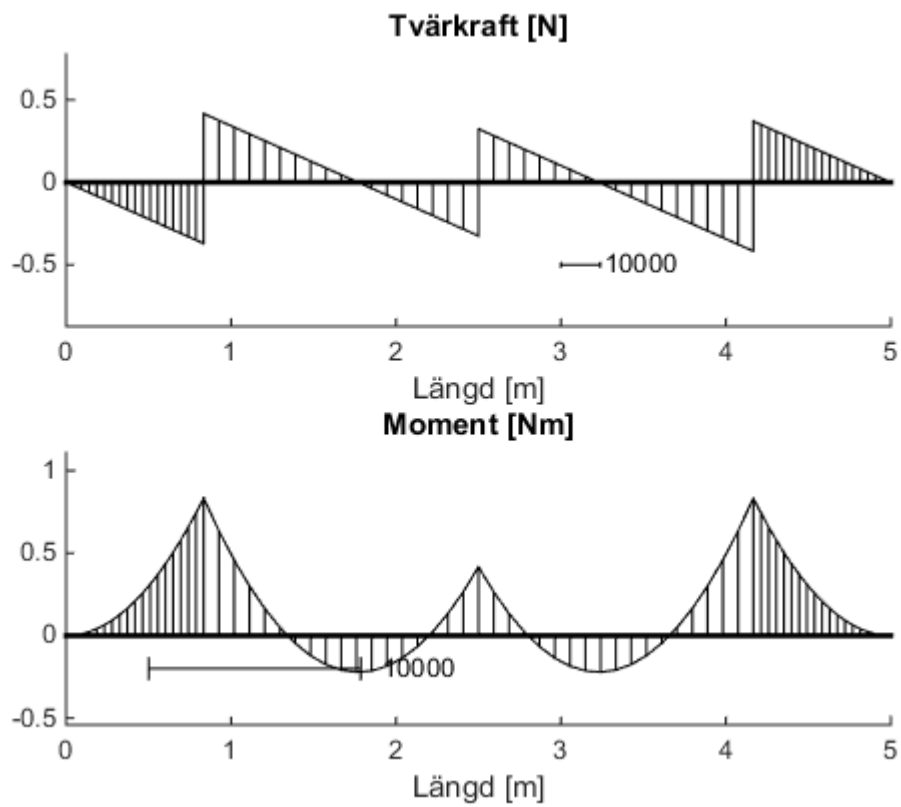
### Lastfall 8



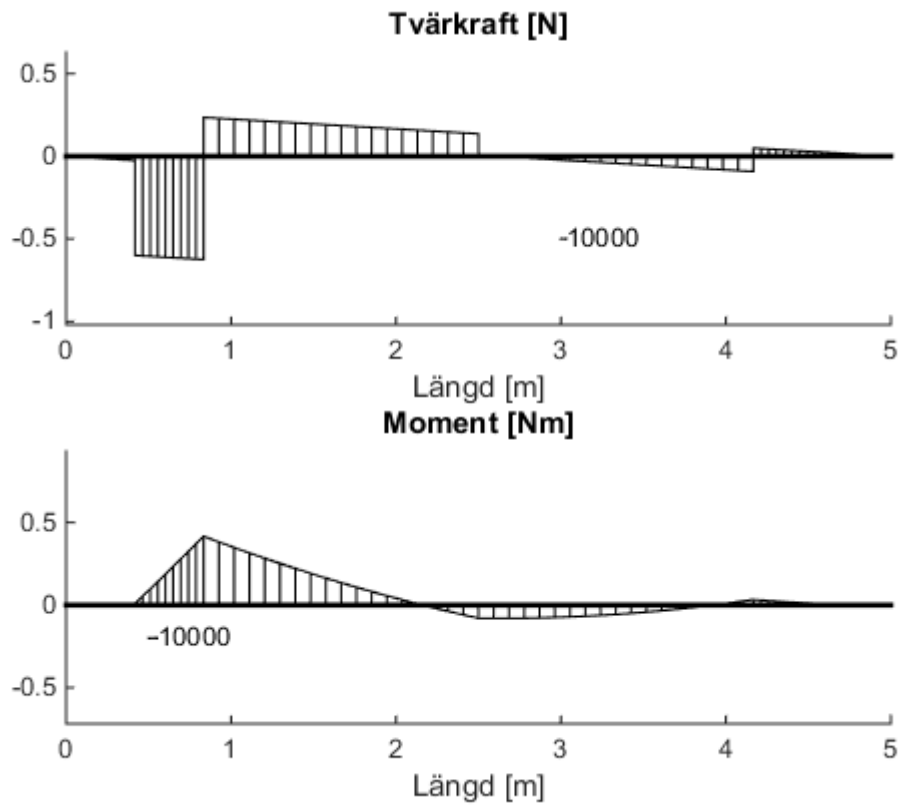
### Lastfall 9



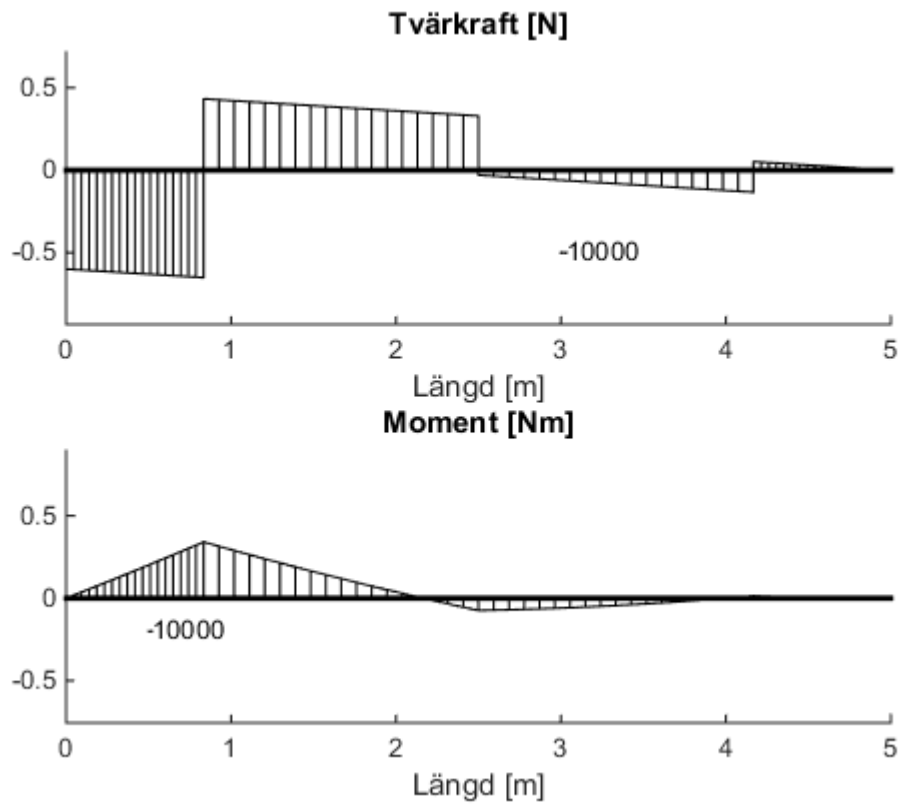
### Lastfall 10



### Lastfall 11



### Lastfall 12



Tabell IX. Dimensionerande tvärkraft och moment för respektive lastfall i tvärled. De fetstilta värdena är de dimensionerande värdena som uppkom av Lastfall 12, vilka används vid kontroll av kapaciteten. För varje lastfall erhöles dimensionerande värden ur det spann vars längd är 0,833 meter.

Tvärled: Brottgränstillstånd	$V_{ED}$ [kN]	$M_{ED}$ [kNm]
Lastfall 1	24,53	9,08
Lastfall 2	24,14	9,08
Lastfall 3	24,92	9,08
Lastfall 4	21,80	9,08
Lastfall 5	23,35	9,08
Lastfall 6	22,96	6,48
Lastfall 7	22,18	6,48
Lastfall 8	17,49	6,48
Lastfall 9	120,48	62,56
Lastfall 10	17,49	6,48
Lastfall 11	195,56	81,48
Lastfall 12	195,56	156,48

### Kontroll av moment- och tvärkraftskapacitet

```
%-----
% FUNKTION 7: Tvärled brottgränstillstånd Mrd & Vrd
%-----
% Kandidatarbete Grupp 3
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .
% Grupp 3
% Skapad: 2017-03-28
% Senast modifierad: 2017-05-02
%-----
function[Mrd,Vrd]=TVARLED_Mrd_Vrd(Medt,Vedt,t_t,b)
```

### MOMENTKAPACITET

```
gamma=1.25; %Partialkoefficient
fmk=32*10^6; %Karakteristisk hållfasthet,böjning parallellt fibrerna [Pa]
kmod=0.65; %Omräkningsfaktor som beaktar tid och fukt

%Antar t_t>0.6 m
kh=1; %Omräkningsfaktor som beaktar storlek

%Stagad mot vippning
kcrit=1; %Omräkningsfaktor som beaktar vippning
```

```

fmd=kmod*kh*kcrit*(fmk/gamma);% Dimensionerande hållfasthet, böjning
parallellt fibrerna[Pa]

kh1=kh;

if t_t<0.6
    kh1=min((600/t_t)^0.1, 1.1);%Omräkningsfaktor som beaktar storlek
    fmd=kmod*kh1*kcrit*(fmk/gamma);
    w=(b*t_t^2)/6; %Böjmotstånd [m^3]
    Mrd=w*fmd; %Momentkapacitet [Nm]
else
    fmd=kmod*kh*kcrit*(fmk/gamma);
    w=(b*t_t^2)/6;
    Mrd=w*fmd;
end
if Medt < Mrd
    fprintf('Momentkapaciteten: Mrd = %2.2f [Nm] \n ',Mrd)
    fprintf('Verkningsgrad Moment: %2.2f\n',Medt/Mrd)
else
    disp('Momentkapaciteten är EJ OK!')
end
end

```

## TVÄRKRAFTSKAPACITET

```

fvk=3.8*10^6; %Karakteristisk hållfasthet, skjuvning [Pa]
fvd=kmod*kh*kcrit*(fvk/gamma);%Dimenisonerande hållfasthet, skjuvning [N]

kcr=0.67; %Omräkningsfaktor som tar hänsyn till att material kan vara sprucket
bef=kcr*b; %Effektiv bredd [m]

I=(bef*t_t^3)/12; %Yttröghetsmoment [m^4]
S=(bef*t_t^2)/8; %Statiskt ytmoment [m^3]
vrd=(fvd*I*b)/S; %Tvärkraftskapacitet [N]

t_t1 = t_t; %[m]
while vedt>vrd % Så länge ved är större än vrd ska tjockleken ökas tills kravet
uppfylls
    t_t1 = t_t1 + 0.005; %Ny tjocklek på träsyllarna [m]
    I=(bef*t_t1^3)/12;
    S=(bef*t_t1^2)/8;
    vrd=(fvd*I*b)/S;
end
if vedt <= vrd
    fprintf('\nTvärkraftskapacitet: vrd = %2.2f [N] \n ',vrd)
    fprintf('Verkningsgrad Tvärkraft: %2.2f\n',vedt/vrd)
else
    disp('Tvärkraftskapaciteten är EJ OK!')
end
end
end

```

*Published with MATLAB® R2014b*



## B6.3. Bruksgränstillstånd

### Nedböjning

```
%-----  
% FUNKTION 8: Tvärled Nedböjning  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-05-02  
%-----  
function [Nedboj_konso1_max,  
Nedboj_mitt_max,Nedboj_max_perlastfall_t]=TVARLED_Nedbojning(Gt,t_t,b)
```

### INDATA

```
%TVÄRSNITTSEGENSKAPER  
Et=9000e6; %Elasticitetsmodul [Pa]  
At=t_t*b; %Area för träsyll [m^2]  
It=(b*t_t^3)/12; % Yttryghetsmoment för en träsyll [m^4]  
  
%SPÄNNVIDDER  
b1=b/6; %Spännvidd 1 [m]  
b2=2*b/6; %Spännvidd 2 [m]  
  
%LASTER OCH KOMBINATIONSVÄRDEN  
Qserv=120e3*0.75; %Kombinationsvärde för axellaster från fordon [N]  
Qf=(5e3*1*0.4); %Kombinationsvärde utbredd trafiklast (folkmassa) [N/m]  
  
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]; %Topologismatris  
bc=[8 0;13 0;14 0;20 0]; %Upplagsvillkor  
ex=[0 b1/2;b1/2 b1;b1 b1+b2/2;b1+b2/2 b1+b2;b1+b2 b1+b2+b2/2;b1+b2+b2/2  
b1+2*b2; b1+2*b2 b1+2*b2+b1/2;b1+2*b2+b1/2 2*b1+2*b2]; %Koordinatvektorer  
för elementen  
ey=zeros(8,2); %Koordinatvektorer för elementen  
ep=[Et At It]; %Skapar en vektor med elementegenskaper  
  
Nedboj_konso1_max=0; %Fördefinierar  
Nedboj_mitt_max=0; %Fördefinierar  
  
LASTFALLUTDATA=zeros(12,6); %Skapar en 12x6 matris med nollor  
Ved=0; %Fördefinierar  
Med=0; %Fördefinierar  
maxnedbojning=0; %Fördefinierar  
Nedboj_max_perlastfall_t=zeros(12,3);
```

## LASTFALL

```
%LOOPAR DE 12 OLIKA LASTFALLEN
```

```
for i=1:12
```

```
    k=zeros(27);
    f=zeros(27,1);
    if i==1
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
            0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf)];
    elseif i==2
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
            0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)];
    elseif i==3
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)];
    elseif i==4
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)];
    elseif i==5
        eq=[0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)];
    elseif i==6
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)];
    elseif i==7
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf);
            0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt+Qf); 0 -(Gt); 0 -(Gt)];
    elseif i==8
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(14)=-Qserv;
    elseif i==9
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(11)=-Qserv;
    elseif i ==10
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(8)=-Qserv;
    elseif i==11
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(5)=-Qserv;
    elseif i==12
        eq=[0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt);
            0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt); 0 -(Gt)]; f(2)=-Qserv;
    end
```

## BERÄKNING

```
for n=1:8
    [ke, fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:)); %Tar fram styvhetsmatris och
lastvektor för varje balkelement
```

```

[K,f]=assem(Edof(n,:),K,ke,f,fe); %Assembling till global
styvhetsmatrix och global lastvektor
end
[a,r]=solveq(K,f,bc);%Beräknar förskjutningarna a[m] i noderna samt
upplagskrafterna r[N]
Ed=extract(Edof,a);%Elementkrafterna beräknas, [N]

[es1,edi1,ec1]=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq(1,:),100);
[es2,edi2,ec2]=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq(2,:),100);
[es3,edi3,ec3]=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq(3,:),100);
[es4,edi4,ec4]=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq(4,:),100);
[es5,edi5,ec5]=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep,Ed(5,:),eq(5,:),100);
[es6,edi6,ec6]=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep,Ed(6,:),eq(6,:),100);
[es7,edi7,ec7]=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep,Ed(7,:),eq(7,:),100);
[es8,edi8,ec8]=beam2s(ex(8,:),ey(8,:),ep,Ed(8,:),eq(8,:),100);
edikortspann=[edi1; edi2; edi7; edi8];
edilangtspann=[edi3; edi4; edi5; edi6];
Nedboj_konsol_max=max(max(abs(edikortspann(:,2))), Nedboj_konsol_max);
%Beräknar maximal nedböjning över konsolerna [m]
Nedboj_mitt_max=max(max(abs(edilangtspann(:,2))), Nedboj_mitt_max);
%Beräknar maximal nedböjning över mittbalken [m]

Nedboj_max_perlastfall_t(i,:)= [i max(abs(edikortspann(:,2)))
max(abs(edilangtspann(:,2)))];
if Nedboj_konsol_max>(b1/400) disp('Nedböjning "element 1 2 7 8" EJ OK')
end
if Nedboj_mitt_max>(b2/400) disp('Nedböjning element 3 4 5 6 EJ OK')
end
figure(i+24)
hold on

%NEDBÖJNING PLOT
plotpar=[1,1]; %Anger linjefärg samt elementfärg till figurerna
title('Nedböjning'), xlabel('Längd [m]')
sfac1=scalfact2(ex(3,:),ey(3,:),Ed(3,:),0.7); %Anger skala på figurerna
pltscalb2(sfac1, [1e-4 1 -1], 1)
for n=1:8
eldraw2(ex(n,:),ey(n,:),[1 1 0]);
eldisp2(ex(n,:),ey(n,:),Ed(n,:),[2 1 1], sfac1);
end

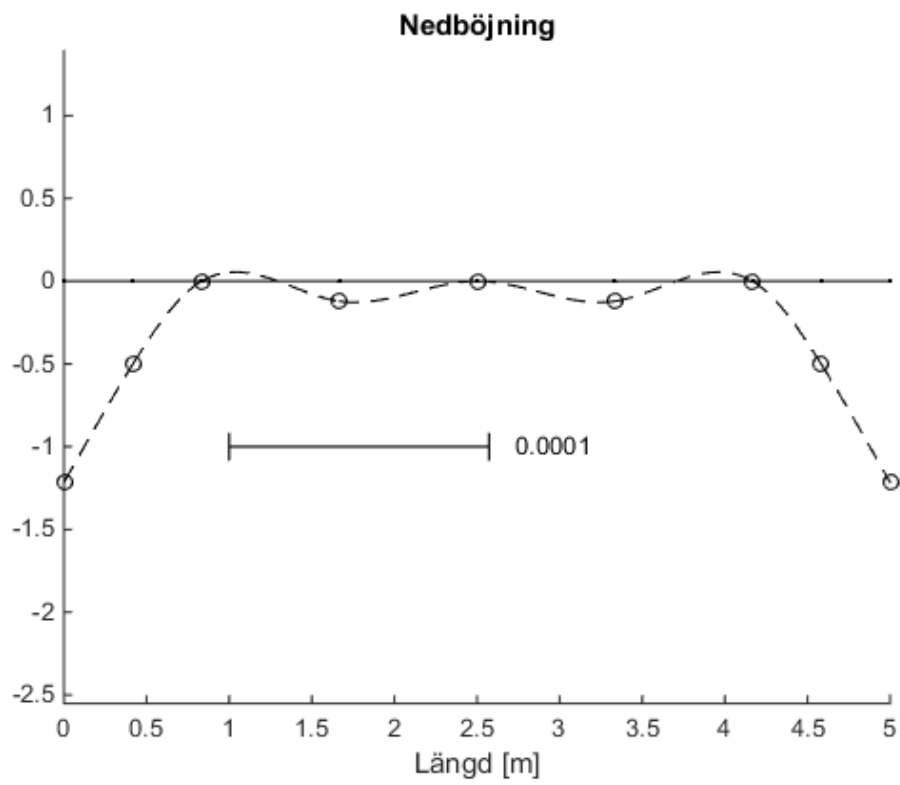
end
fprintf('Nedböjning max mitt: %2.5f [m] \n', Nedboj_mitt_max)
fprintf('Tillgodo gräns mitt: %2.5f [m] \n', b2/400-Nedboj_mitt_max)
fprintf('Nedböjning max konsol: %2.5f [m] \n', Nedboj_konsol_max)
fprintf('Tillgodo gräns konsol: %2.5f [m] \n', b1/400-Nedboj_konsol_max)

end

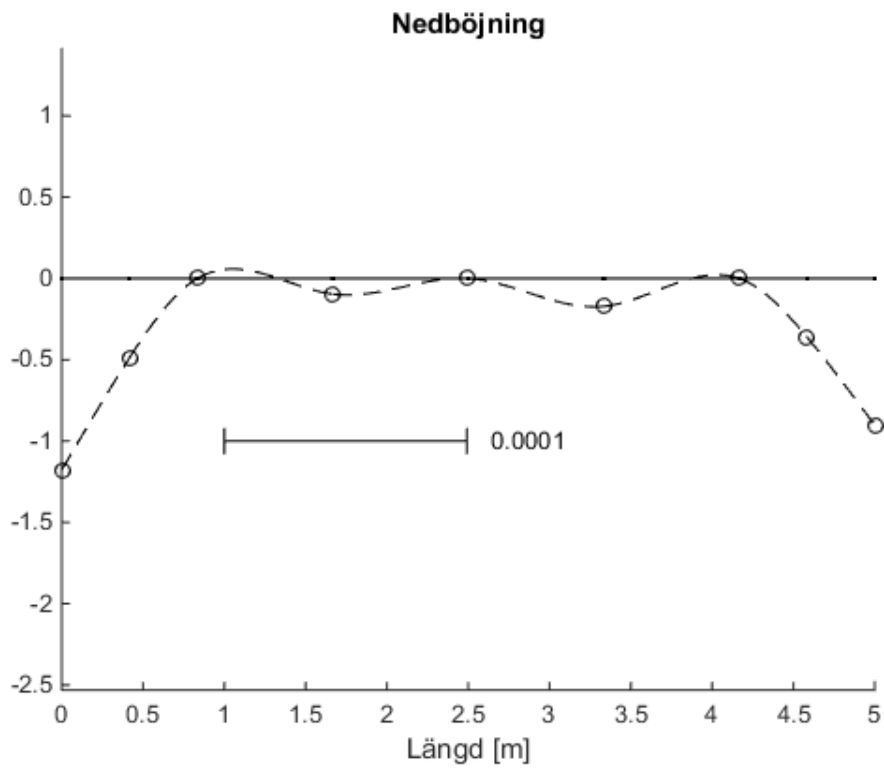
```

*[Published with MATLAB® R2014b](#)*

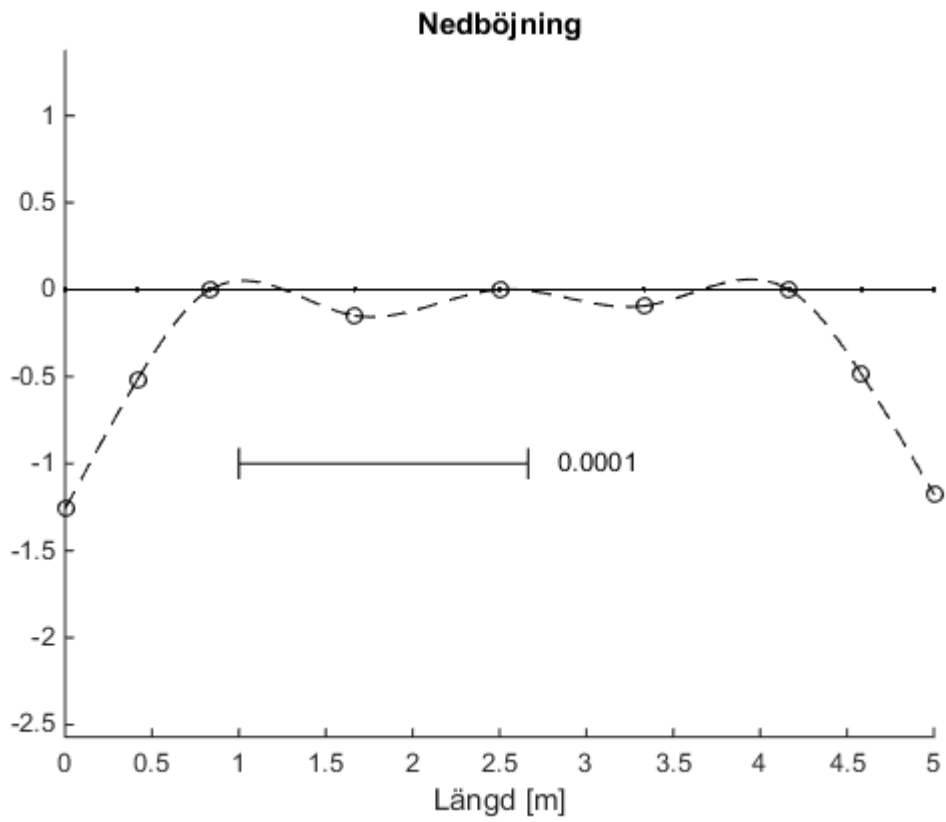
### Lastfall 1



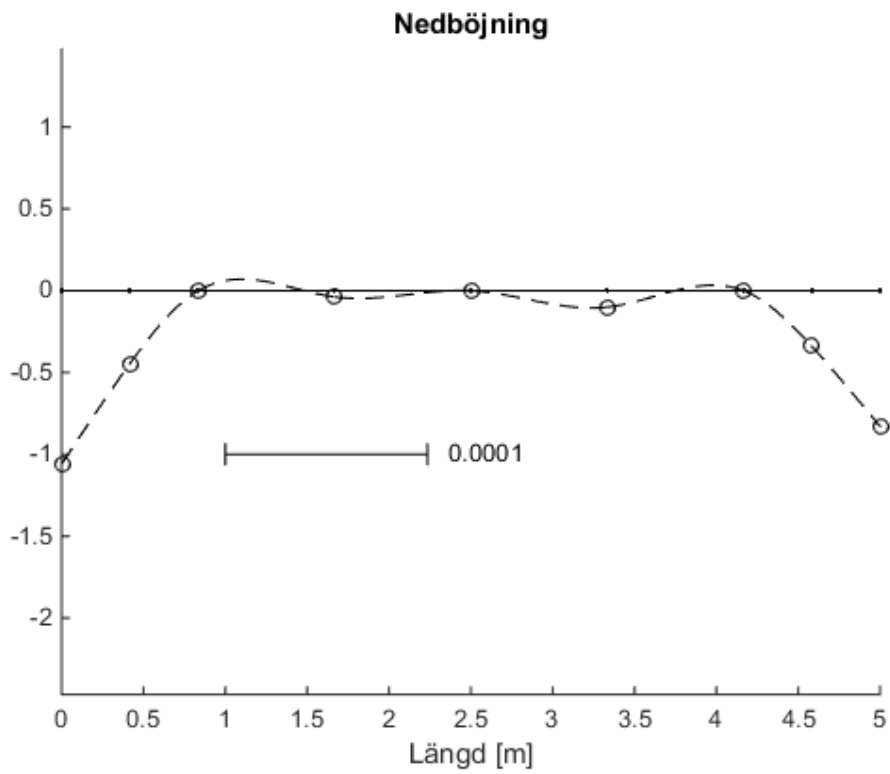
### Lastfall 2



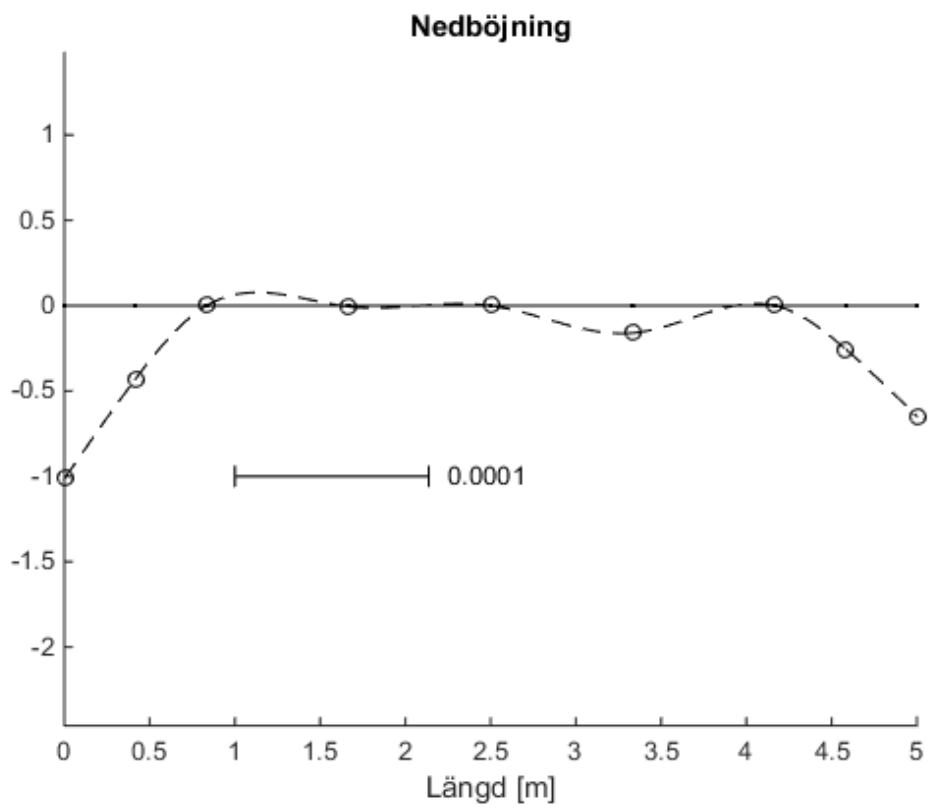
### Lastfall 3



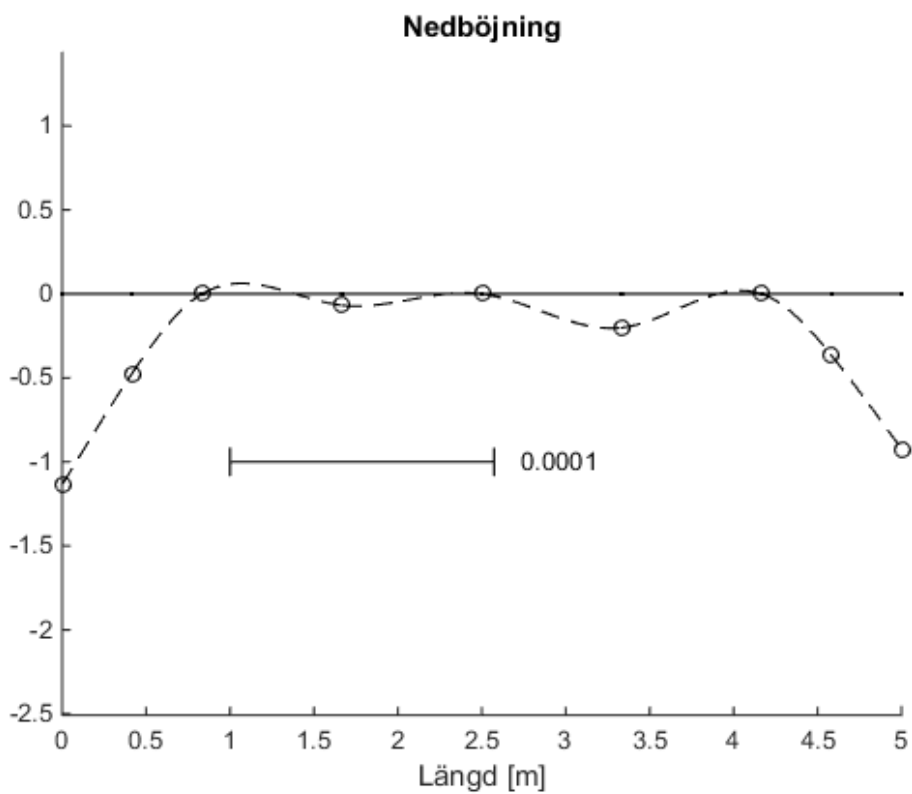
### Lastfall 4



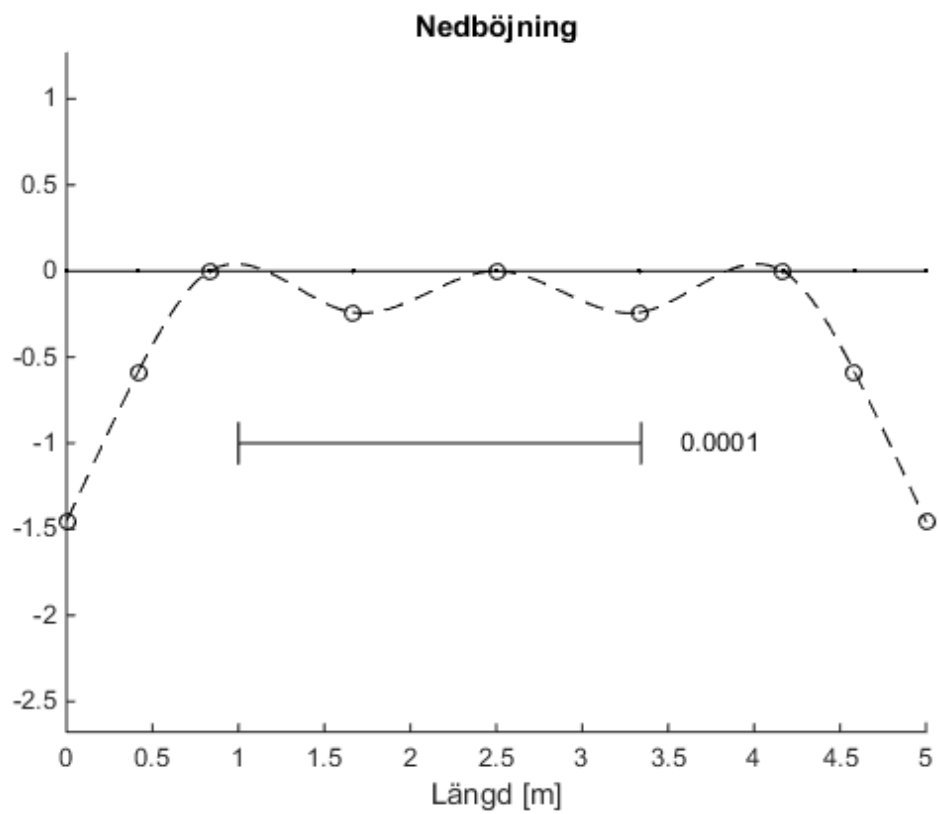
### Lastfall 5



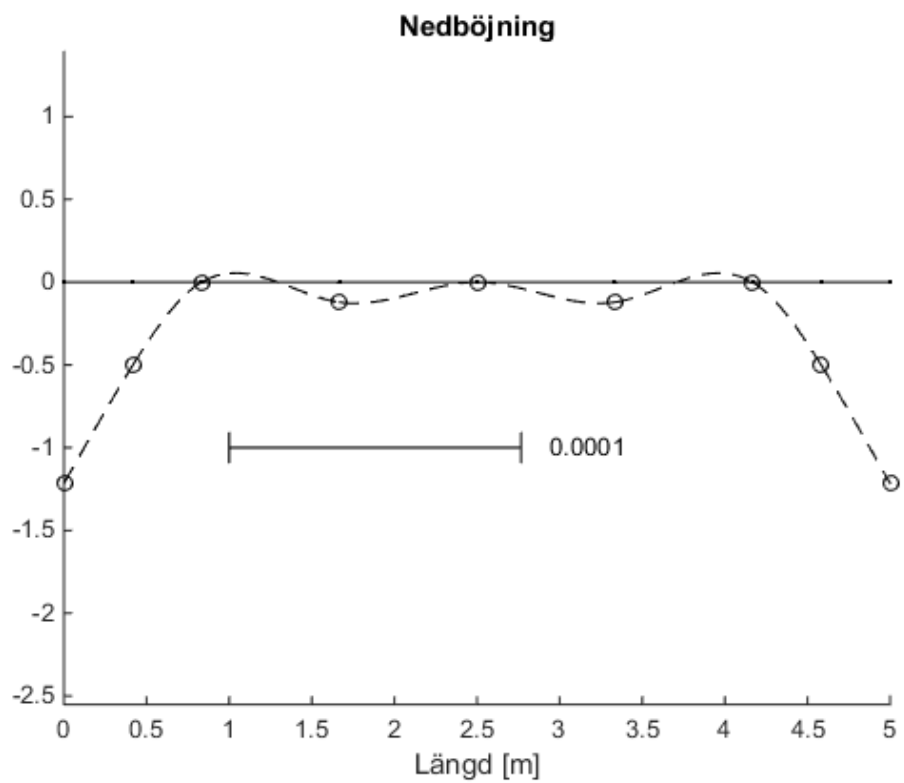
### Lastfall 6



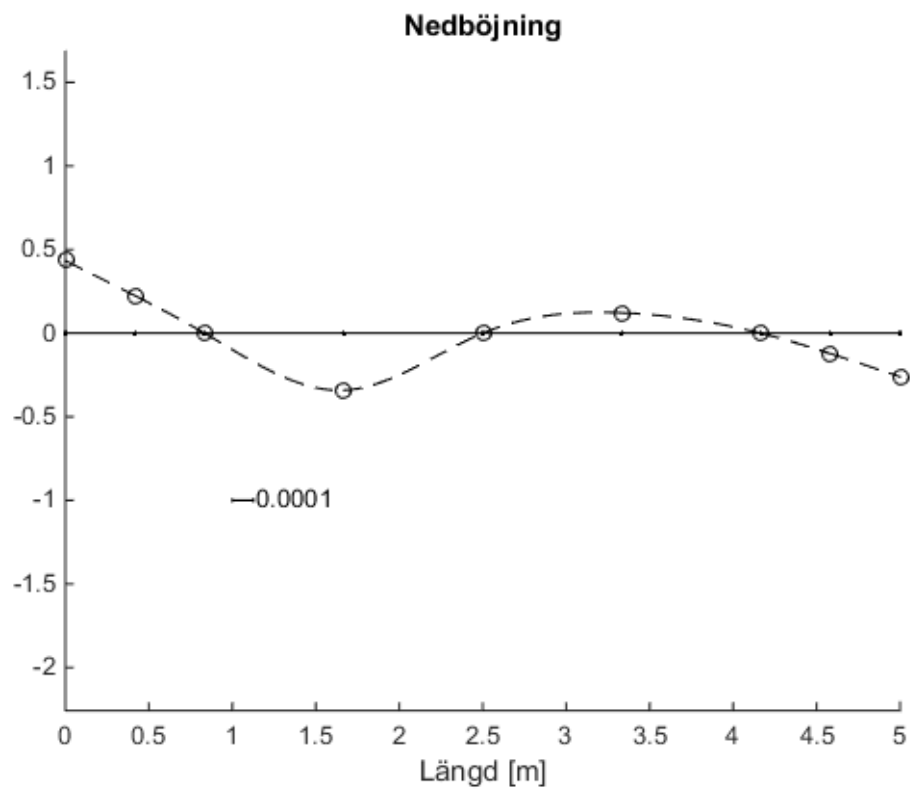
### Lastfall 7



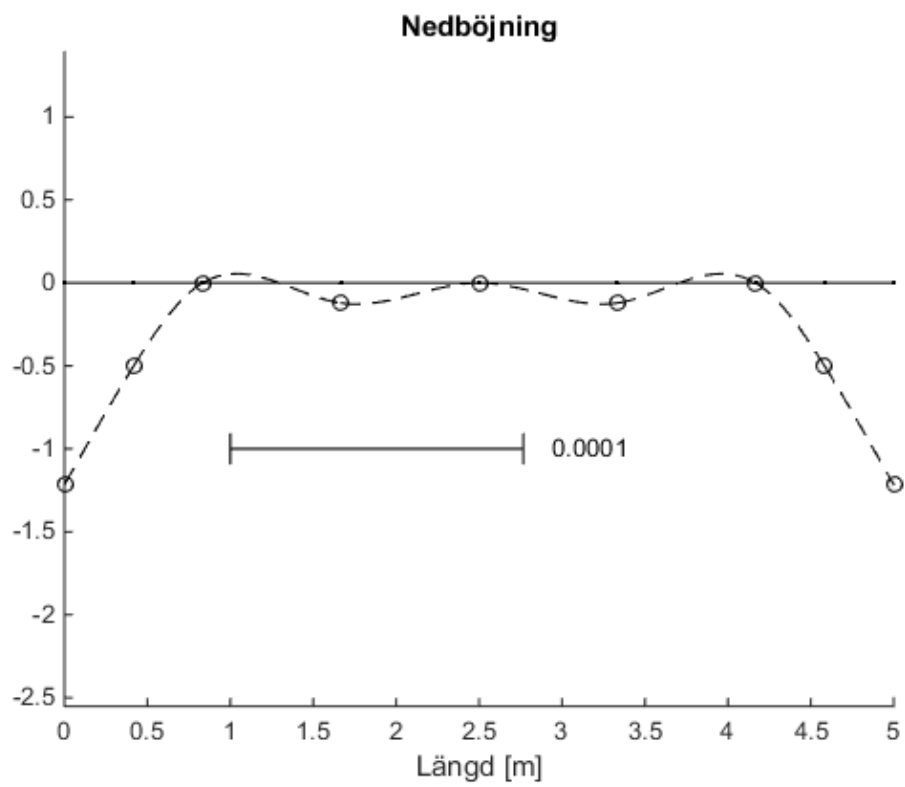
### Lastfall 8



### Lastfall 9

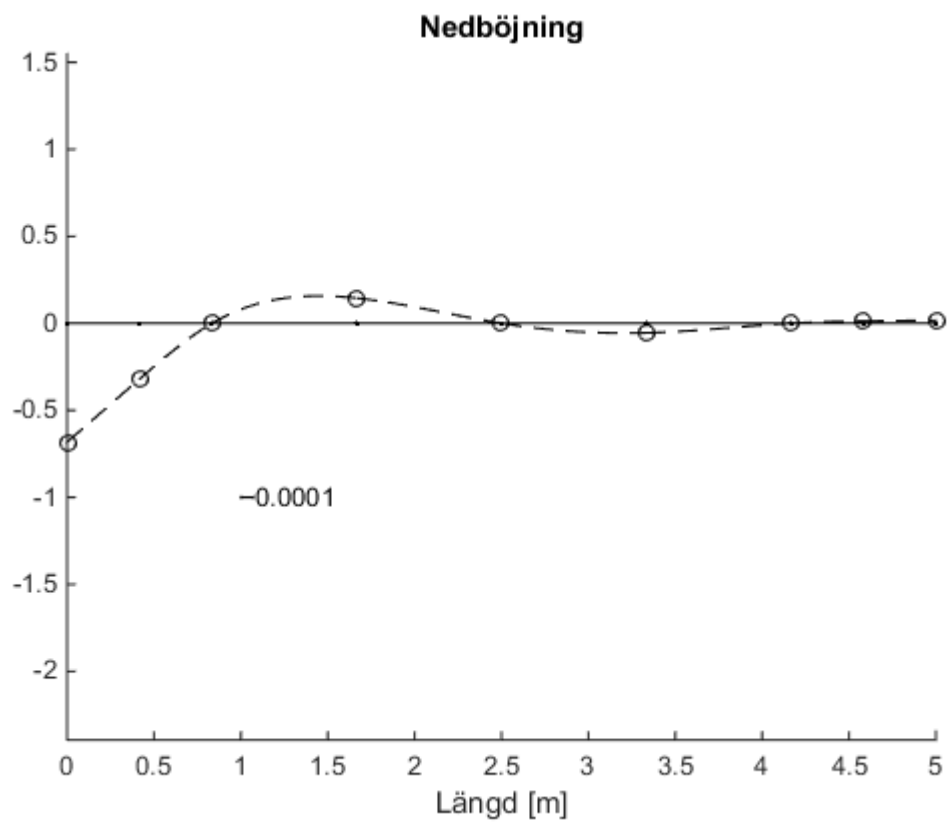


### Lastfall 10

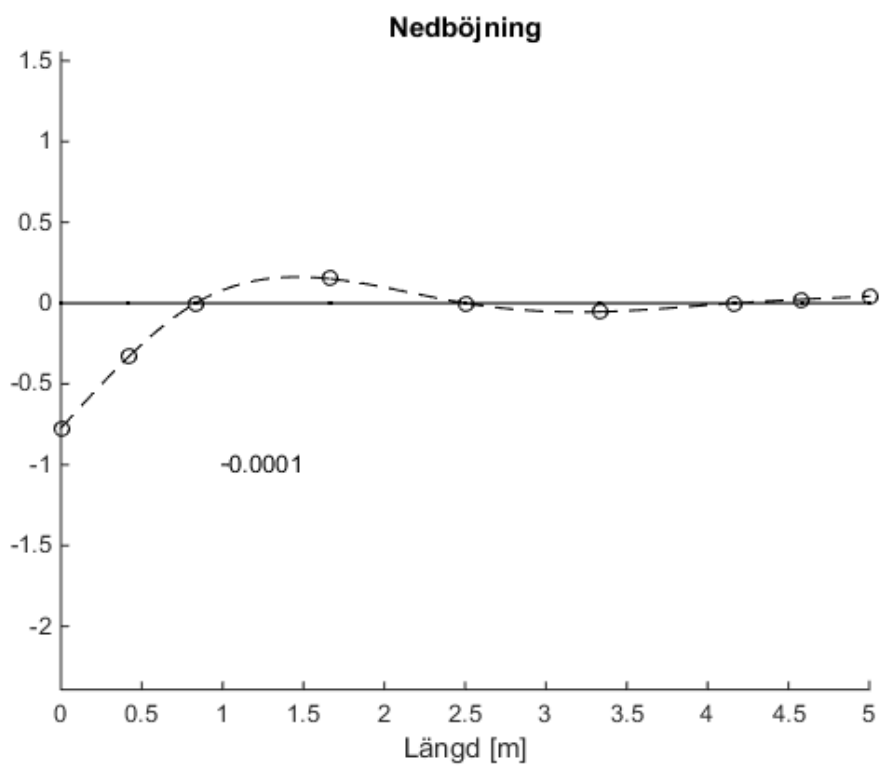




### Lastfall 11



### Lastfall 12



Tabell X. Dimensionerande nedböjning för respektive lastfall i tvärled. Den dimensionerande nedböjningen beräknades till 2,08 millimeter och sker i det spann vars längd är 0,833 meter.

<i>Tvärled: Bruksgränstillstånd</i>	<i>Nedböjning [mm]</i>
<i>Lastfall 1</i>	0,077
<i>Lastfall 2</i>	0,079
<i>Lastfall 3</i>	0,076
<i>Lastfall 4</i>	0,086
<i>Lastfall 5</i>	0,089
<i>Lastfall 6</i>	0,072
<i>Lastfall 7</i>	0,062
<i>Lastfall 8</i>	0,069
<i>Lastfall 9</i>	0,34
<i>Lastfall 10</i>	0,069
<i>Lastfall 11</i>	0,94
<i>Lastfall 12</i>	<b>2,08</b>

## B7. Dynamisk analys

```
%-----  
%FUNKTION 8; Dynamisk analys  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% grupp 3  
% Skapad: 2017-03-28  
% Senast modifierad: 2017-03-28  
%-----  
function [gf]=dynamisk_analys(tw,hw,bf,tf,a,t_t)
```

### INDATA

```
%ALLMÄNNA MÅTT  
L1=31.8; %Spännvidd 1 [m]  
L2=41.2; %Spännvidd 2 [m]  
b=5; %Brobanans bredd [m]  
tt=t_t; %Tjockleken på träsyllarna [m]  
  
%TVÄRSNITTSEGENSKAPER  
m=30*10^3*0.10197; %Massa per längdenenhet [kg/m]  
E=210*10^9; %Elasticitetsmodul [Pa]  
gf=0.3; %dämpningsfaktor  
Ifarbanax=b*tt^3/12; %Yttröghetsmoment hos farban i x-led [m^4]  
Ifarbanay=tt*b^3/12; %Yttröghetsmoment hos farban i y-led [m^4]  
%STEINERS SATS  
Ibalkx=3*(tw*hw^3/12+2*(bf*tf^3/12+bf*tf*((hw+tf)/2)^2)+4*(a*a^3/36+a^2/2*(h  
w-a/3)^2)); %Yttröghetsmoment hos balkarna i x-led [m]  
%steiners sats  
Ibalky=3*(hw*tw^3/12+2*(tf*bf^3/12)+4*(a*a^3/36+a^2/2*(a/3)^2));  
%Yttröghetsmoment hos balkarna i y-led [m]  
  
Ix=Ibalkx+Ifarbanax; %Yttröghetsmoment i x-led [m^4]  
Iz=Ibalky+Ifarbanay; %Yttröghetsmoment i y-led [m^4]
```

### VERTIKAL DYNAMISK RESPONS

```
fx1=pi/(2*L1^2)*sqrt(E*Ix/m); %Egenfrekvens för spännvidd 1 i x-led [Hz]  
fx2=pi/(2*L2^2)*sqrt(E*Ix/m); %Egenfrekvens för spännvidd 2 i x-led [Hz]  
  
disp('VERTIKAL DYNAMISK RESPONS L=31.8') %kontroll av dynamisk respons för  
spännvidd 1 i x-led  
disp(' ')  
  
if fx1 <= 5 %kontroll av egenfrekvens
```

```

disp('egenfrekvensen < 5 Hz ==> EJ OK! , komfortkriterier måste
verifieras!')
disp('Om en person går över bron')

if fx1 <= 2.5           %Beräkning av brons vertikal acceleration för
en gående person
    Avert1=200/(m*L1*gf);
elseif fx1 >= 2.5 && fx1 <= 5
    Avert1=100/(m*L1*gf);
end

if Avert1 <= 0.7       %Kontroll av brons vertikalacceleration för
en gående person
    disp(' Avert1 < 0.7 ==> OK! ' )
elseif Avert1 >= 0.7
    disp(' Avert1 > 0.7 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD? ')
end

disp('Om en löpare springer över bron')

if fx1 >= 2.5 && fx1 <= 3.5   %Beräkning av brons vertikal
accelartion för en löpare
    Avert2=600/(m*L1*gf);
else
    Avert2=0;
end
if Avert2 <= 0.7           %Kontroll av vertikal accelerationen
för en löpare
    disp('Avert2 < 0.7 ==> OK!')
elseif Avert2 >=0.7
    disp('Avert2 > 0.7 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD?')
end

disp('om fler personen går över bron samtidigt')
n=[13;0.6*5*L1];
Avertn=0.23*Avert1*n*1;    %Beräkning av Vertikal
acceleration för en grupp fotgängare

if Avertn(1) <= 0.7       %Kontroll av vertikal
acceleration från en sammanhållen grupp
    disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp < 0.7 ==> OK!')
elseif Avertn(1) >= 0.7
    disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp > 0.7 ==> EJ OK!
- ÅTGÄRD')
end

if Avertn(2) <= 0.7       %Kontroll av vertikal
acceleration av en konternuerlig ström av personer
    disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer <
0.7 ==> OK!')

```

```

elseif Avertn(2) >= 0.7
    disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer >
0.7 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD?')
end
else
    disp('egenfrekvensen >5 Hz = OK!')
end

disp(' ')

disp('VERTIKAL DYNAMISK RESPONS L=41.2') %kontroll av dynamisk respons för
spännvidd 2 i x-led

disp(' ')

if fx2 <= 5 %kontroll av egenfrekvensen
    disp('egenfrekvensen < 5 Hz ==> ej ok , komfortkriterier måste
verifieras!')
    disp('Om en person går över bron')

    if fx2 <= 2.5 %Beräkning av vertika lacceleration
    för en gående person
        Avert11=200/(m*L2*gf);
    elseif fx2 >= 2.5 && fx2 <= 5
        Avert11=100/(m*L2*gf);
    end
    if Avert11 <= 0.7 %kontroll av vertikal acceleration
    för en gående person
        disp(' Avert11 < 0.7 ==> OK! ' )
    elseif Avert11 >= 0.7
        disp(' Avert11 > 0.7 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD ')
    end

    disp('Om en löpare springer över bron')

    if fx2 >= 2.5 && fx2 <= 3.5 %Beräkning av vertikal acceleration
    för en löpare
        Avert22=600/(m*L2*gf);
    else
        Avert22=0;
    end
    if Avert22 <= 0.7 %kontroll av vertikal acceleration
    för en löpare
        disp('Avert22 < 0.7 ==> OK!')
    elseif Avert22 >=0.7
        disp('Avert22 > 0.7 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD')
    end
    disp('om fler personen går över bron samtidigt')
    n2=[13;0.6*5*L2];
    Avertn2=0.23*Avert11*n2*0.73; %Beräkning av vertikal acceleration

```

```

för en grupp fotgängare

    if Avertn2(1) <= 0.7                %Kontroll av vertikal acceleration
för en sammanhållen grupp
        disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp < 0.7 m/s^2 ==>
OK!')
    elseif Avertn2(1) >= 0.7
        disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp > 0.7 m/s^2 ==>
EJ OK! - ÅTGÄRD')
    end

    if Avertn2(2) <= 0.7                %Kontroll av vertikal acceleration
för en konternerlig ström av personer
        disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer <
0.7 m/s^2 ==> OK!')
    elseif Avertn2(2) >= 0.7
        disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer >
0.7 m/s^2 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD?')
    end
else
    disp('Egenfrekvensen > 5 Hz ==> OK!')
end

```

## HORISONTELL DYNAMISK RESPONS

```

fz1=pi/(2*L1^2)*sqrt(E*Iz/m); %Egenfrekvens för spännvidd 1 i y-led [Hz]
fz2=pi/(2*L2^2)*sqrt(E*Iz/m); %Egenfrekvens för spännvidd 2 i y-led [Hz]

disp(' ')
disp('HORISONTELL DYNAMISK RESPONS L=31.8') %Kontroll av dynamisk respons
för spännvidd 1 i y-led
disp(' ')

if fz1 <= 2.5                            %Kontroll av egenfrekvens
    disp('Egenfrekvensen < 2.5 ==> EJ OK! komfortkriterier måste
verifieras')
    disp('Om en person passerar över bron')
    if fz1 >= 0.5 && fz1 <= 2.5            %Beräkning av horisontell
acceleration för en gående person
        Ahor1=50/(m*L1);
    else
        Ahor1=0;
    end

    if Ahor1 <= 0.2                        %Kontroll av Horisontell
acceleration för en gående person
        disp(' Ahor1 < 0.2 m/s^2 ==> OK! ')
    elseif Ahor1 >= 0.2
        disp(' Ahor1 > 0.2 m/s^2 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD?')
    end
end

```

```

disp('Om flera personer över bron')
nz1=[13;0.6*5*L1];
Ahorn=0.18*nz1*0.5;           %Beräkning av horisontell
acceleration för en grupp
if Ahorn(1) <= 0.2           %Kontroll av horisontell
acceleration för sammanhållen grupp
    disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp < 0.2 m/s^2 ==>
OK!')
elseif Ahorn(1) >= 0.2
    disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp > 0.7 m/s^2 ==> EJ
OK! - ÅTGÄRD?')
end
if Ahorn(2) <= 0.2           %Kontroll av horisontell
acceleration för en konternuerlig ström av personer
    disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer < 0.2
m/s^2 ==> OK!')
elseif Ahorn(2) >= 0.2
    disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer < 0.2
m/s^2 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD')
end

elseif fz1 >= 2.5
    disp('Egenfrekvensen >2.5 Hz ==> OK!')

end

disp(' ')
disp('HORISONTELL DYNAMISK RESPONS L=41.2') %Kontroll av dynamisk repsons
för spännvidd 2 i y-led
disp(' ')

if fz2 <= 2.5               %Kontroll av egenfrekvens
    disp('egenfrekvensen < 2.5 HZ ==> EJ OK! komfortkriterier måste
verifieras')
    disp('Om en person passerar över bron')
    if fz2 >= 0.5 && fz2 <= 2.5           %Beräkning av horisontell
acceleration för en gående person
        Ahor2=50/(m*L2);
    else
        Ahor2=0;
    end

    if Ahor2 <= 0.2           %Kontroll av horisontell
acceleration för en gående person
        disp(' Ahor2 < 0.2 m/s^2 ==> OK! ')
    elseif Ahor2 >= 0.2
        disp(' Ahor2 > 0.2 m/s^2 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD')
    end
end

```

```

disp('Om flera personer över bron')
nz2=[13;0.6*5*L2]; %Beräkning av horisontell
acceleration för en grupp
Ahorn2=0.18*nz2*0.5;
if Ahorn2(1) <= 0.2 %Kontroll av horisontell
acceleration för en sammanhållen grupp
disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp < 0.2 m/s^2 ==>
OK!')
elseif Ahorn2(1) >= 0.2
disp(' Accelerationen för en sammanhållen grupp > 0.7 m/s^2 ==> EJ
OK! - ÅTGÄRD')
end
if Ahorn2(2) <= 0.2 %Kontroll av horisontell
acceleration för en konternuerlig ström av personer
disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer < 0.2
m/s^2 ==> OK!')
elseif Ahorn2(2) >= 0.2
disp(' Accelerationen för en konternuerlig ström av personer > 0.2
m/s^2 ==> EJ OK! - ÅTGÄRD')
end

elseif fz2 >= 2.5
disp('Egenfrekvensen > 2.5 Hz ==> OK!')

end

end

```

*Published with MATLAB® R2014b*



## B8. Dimensionering av underbyggnad

```
%-----  
% Skivstöd  
%-----  
% Kandidatarbete Grupp 3  
% Uppgifter: Hägernäs GC-bro .  
% Grupp 3  
% Skapad: 2017-05-04  
% Senast modifierad: 2017-05-10  
%-----
```

### INDATA

```
%Betongens egenskaper  
Ecm=33*109; %karaktäristisk elasticitetsmodul för betongklass 30/37,  
[Pa]  
gammac=1.2; %partialkoefficient för betong  
Ecd=Ecm/gammac; %dimensionerande elasticitetsmodul för betongklass 30/37,  
[Pa]  
  
%Armeringens egenskaper  
phi=0.012; %armeringsstängernas diameter, [m]  
fyk=500*106; %karaktäristiska hållfastheten för armering B500B, [Pa]  
gamma=1.15; %partialkoefficient för armeringsstål  
fyd=fyk/gamma; %dimensionerande hållfastheten för armering B500B, [Pa]  
  
%Laster  
Pdim=1500*103; %dimensionerande påkörningslast vinkelrät mot  
spåret, [N]  
Ned=3*(1150.40*103); %total stödreaktionskraft från alla tre I-balkar,  
mellanliggande stöd (stöd B), [N]  
  
%Dimensioner  
L=6.1; %längd (höjd) på skivstödet, [m]  
l=0.7*L; %knäcklängd (Eulers tredje knäckfall), [m]  
  
b=5; %skivstödet bredd, [m]  
t1=1.5; %förslag 1 till skivstödet tjocklek, [m]  
t2=1.0; %förslag 2 till skivstödet tjocklek, [m]  
t3=0.8; %förslag 3 till skivstödet tjocklek, [m]  
  
t=[t1 t2 t3];  
  
%Tröghetsmoment  
Iy=(b*t.^3)/12; %tröghetsmoment i y-led (veka riktningen), [m4]  
Ix=(t.*b^3)/12; %tröghetsmoment i x-led (styva riktningen), [m4]
```

## KNÄCKNING

```
%knäcklast enligt Eulers tredje knäckfall
Ncry =(2*(pi^2)*Ecd*Iy)/(l^2);      %[N]
Ncrx =(2*(pi^2)*Ecd*Ix)/(l^2);      %[N]

%kontroll av knäckning i y-led för samtliga tjocklekar, t

if Ned < Ncry(1,:)
    disp('OK, skivstödet knäcker ej i y-led, alla t funkar')
elseif Ned > Ncry(1,:)
    disp('EJ OK, skivstödet knäcker i y-led, inga t funkar')
elseif Ned < Ncry(1)
    disp('y-led: t1 funkar')
    if Ned < Ncry(2) && Ned < Ncry(3)
        disp('y-led: t2 och t3 funkar också')
    elseif Ned < Ncry(2) && Ned > Ncry(3)
        disp('y-led: t2 funkar med, men inte t3')
    elseif Ned > Ncry(2) && Ned < Ncry(3)
        disp('y-led: t2 funkar inte, men t3 funkar')
    end
elseif Ned > Ncry(1) && Ned < Ncry(2)
    disp('y-led: t1 funkar inte, t2 funkar')
    if Ned < Ncry(3)
        disp('y-led: t3 funkar också')
    else
        disp('y-led: t3 funkar inte')
    end
elseif Ned > Ncry(1) && Ned > Ncry(2) && Ned < Ncry(3)
    disp('y-led: t3 funkar')
end

%kontroll av knäckning i x-led för samtliga tjocklekar, t

if Ned < Ncrx(1,:)
    disp('OK, skivstödet knäcker ej i x-led, alla t funkar')
elseif Ned > Ncrx(1,:)
    disp('EJ OK, skivstödet knäcker i x-led, inga t funkar')
elseif Ned < Ncrx(1)
    disp('x-led: t1 funkar')
    if Ned < Ncrx(2) && Ned < Ncrx(3)
        disp('x-led: t2 och t3 funkar också')
    elseif Ned < Ncrx(2) && Ned > Ncrx(3)
        disp('x-led: t2 funkar med, men inte t3')
    elseif Ned > Ncrx(2) && Ned < Ncrx(3)
        disp('x-led: t2 funkar inte, men t3 funkar')
    end
elseif Ned > Ncrx(1) && Ned < Ncrx(2)
    disp('x-led: t1 funkar inte, t2 funkar')
```

```

if Ned < Ncrx(3)
    disp('x-led: t3 funkar också')
else
    disp('x-led: t3 funkar inte')
end
elseif Ned > Ncrx(1) && Ned > Ncrx(2) && Ned < Ncrx(3)
    disp('x-led: t3 funkar')
end

```

## FÖRSTA ORDNINGENS MOMENT

```

%Moed = M(z) + Ned*(e(z) + ei(z)) [Nm] (ekv B11-9)
%M(z) = första ordningens moment på grund av transversallast, [Nm]
%M(z) = ((Pdim*x1*x2^2)/(2*L^2))*(2+(x1/L)) enligt elementarfall för
%ensidig fast inspänning
x1=L-1.8; %avstånd från överkant till påkörningslast, [m]
x2=1.8; %avstånd från nederkant till påkörningslast, [m]
Mz=(Pdim*x1*x2^2)/(2*L^2)*(2+x1/L);

%Hänsyn till imperfektioner
%Excentricitet på grund av formfel hos konstruktionsdel, ei(z)
%ei(z)=Oi*(1/2) (ekv B11-6)

%Icke avsedd initiallutning, Oi
%Oi=Oo*ah*am (ekv B11-3)

Oo=0.005; %grundvärde, rekommenderat värde

%ah=reduktionsfaktor för längd eller höjd
%ah=2/sqrt(L) där: 2/3 < ah < 1 (ekv B11-4)
if 2/sqrt(L)>2/3 && 2/sqrt(L)<1
    ah=2/sqrt(L);
elseif 2/sqrt(L)<2/3
    ah=2/3;
elseif 2/sqrt(L)>1
    ah=1;
end

%am=reduktionsfaktor för antalet samverkande konstruktionsdelar
m=1; %antalet konstruktionsdelar som samverkar i
%stabilitetshänseende
am=sqrt(0.5*(1+1/m)); %(ekv B11-5)

Oi=Oo*ah*am;
ei=Oi*1/2;

%Avsiktlig excentricitet, e(z)
ez=0; %centriskt belastad pelare

```

```
%Insättning i (ekv B11-9) ger första ordningens moment, Moed
Moed=Mz+Ned*(ez+ei);
```

## ANDRA ORDNINGENS MOMENT

```
%Med2=(1 + beta/(Nb/Ned - 1))*Moed [Nm] (ekv B11-16)
%(1 + beta/(Nb/Ned - 1)) = 2.0 (approximativt värde för att vara på den
%säkra sidan)

Med2=2*Moed;
```

## MOMENTKAPACITET

```
%Mrd = 0.9*d*fyd*As [Nm] (ekv B4-15)

%Mrd = Med2 sätter momentkapaciteten=lasteffekten för att kunna lösa ut
%antalet armeringsstänger, n

%As = (n*pi*phi^2)/4 [m^2]
d1=t1-0.05; %d-mått utgående ifrån att det täckande betongskiktet är 0.05
m, [m]

%Lös ut erforderat antal armeringsstänger, n1, [st]
n1=Med2*4/(0.9*d1*fyd*pi*phi^2);

%S-avstånd (avstånd mellan stängerna) för n1 antal stänger, [m]
s1=b/n1;

%Testar tjockleken, t2=1.0 m
d2=t2-0.05;

%Lös ut erforderat antal armeringsstänger, n2
n2=Med2*4/(0.9*d2*fyd*pi*phi^2);

%S-avstånd (avstånd mellan stängerna) för n2 antal stänger
s2=b/n2;

%Testar tjockleken, t3=0.8 m
d3=t3-0.05;

%Lös ut erforderat antal armeringsstänger, n3
n3=Med2*4/(0.9*d3*fyd*pi*phi^2);

%S-avstånd (avstånd mellan stängerna) för n1 antal stänger
s3=b/n3;

fprintf('erforderat antal armeringsstänger, n1 = %2.2f [st] \n', n1)
fprintf('S-avstånd, s1 = %2.2f [m] \n', s1)
```

```

fprintf('erfordrat antal armeringsstänger, n2 = %2.2f [st] \n', n2)
fprintf('s-avstånd, s2 = %2.2f [m] \n', s2)

fprintf('erfordrat antal armeringsstänger, n3 = %2.2f [st] \n', n3)
fprintf('s-avstånd, s3 = %2.2f [m] \n', s3)

disp('väljer t3=0.8 m => n3~48 st')
n=48;

%Det slutliga, gällande s-avståndet, s
s=b/n;

fprintf('Det slutliga, gällande s-avståndet, s = %2.2f [m] \n', s)

```

OK, skivstödet knäcker ej i y-led, alla t funkar  
 OK, skivstödet knäcker ej i x-led, alla t funkar

```

erfordrat antal armeringsstänger, n1 = 24.60 [st]
s-avstånd, s1 = 0.20 [m]
erfordrat antal armeringsstänger, n2 = 37.55 [st]
s-avstånd, s2 = 0.13 [m]
erfordrat antal armeringsstänger, n3 = 47.57 [st]
s-avstånd, s3 = 0.11 [m]
väljer t3=0.8 m => n3~48 st
Det slutliga, gällande s-avståndet, s = 0.10 [m]

```

[Published with MATLAB® R2015b](#)