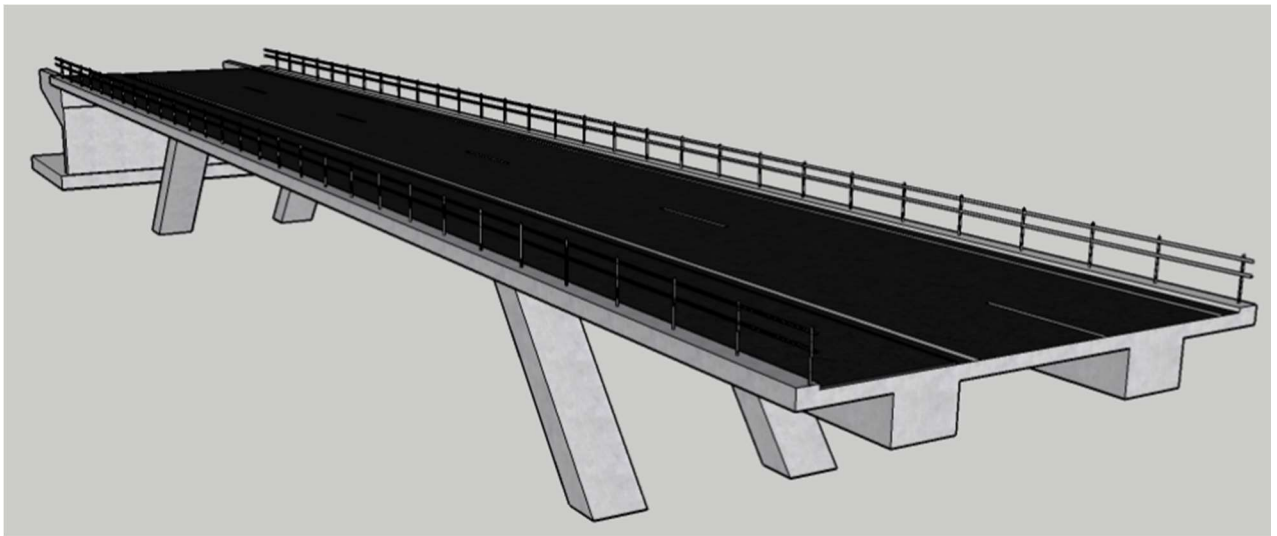


# CHALMERS



## Vägbro vid Hössnamotet

En förstudie och preliminärdimensionering av brokoncept över väg 40

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet*

*Väg och vatten*

ELWIN DAHLSTRÖM SOFIA

ERIKSEN ALEXANDRA

ERIKSSON MATTIS

HANSSON MICHAELA

JANSSON AUGUST

LINDÉN JENNY

Institutionen för bygg- och miljöteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2016





Vägbro vid Hössnamotet

- En förstudie och preliminärdimensionering av brokoncept över väg 40

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet*

*Väg och vatten*

ELWIN DAHLSTRÖM SOFIA

ERIKSEN ALEXANDRA

ERIKSSON MATTIS

HANSSON MICHAELA

JANSSON AUGUST

LINDÉN JENNY

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Rapporten syftar till att presentera ett lämpligt koncept för en vägbro vid trafikplatsen Hössnamotet, som består av en 60 m lång vägbro över nya väg 40. Detta utgör en del av utbyggnaden av sträckan Dällebo-Hester på väg 40 mellan Borås och Ulricehamn, där en motorväg mellan Göteborg och Stockholm på väg 40/E4 önskas. Trafikplatsen Hössnamotet syftar då till att ersätta den nuvarande korsningen mellan väg 1721 och väg 40 med en planskild korsning, vilket är ett krav för att uppnå motorvägsstandard.

Konceptet, som arbetas fram i en förstudie, utgörs av ett brokoncept huvudsakligen beskrivet genom typ av bro, grundläggnings- och produktionsmetod. En urvalsprocess genomförs i två steg i syfte att ge ett adekvat underlag för det framtagna brokonceptet. I steg ett elimineras de mindre lämpliga koncepten utifrån litteraturstudier, där sedan sex mer lämpliga koncept kvarstår. I steg två framtas därefter ett slutgiltigt brokoncept genom en matris där kvarvarande koncept ställs mot viktade utvalda kriterium. Processen utmynnar i ett vinnande brokoncept, i detta fall bestående av en balkrambro i betong med snedbening. Bron kommer platsgjutas och grundläggas med platta på mark vid landfästena och med påldäck vid mellanstöden.

Utifrån det slutgiltiga konceptet genomförs en preliminärberäkning av bron där Trafikverkets krav ska visas uppfyllda. Preliminärdimensioneringen omfattar beräkningar i längsled, tvärled och i stödkonstruktioner såsom pelare och landfäste. Dimensionerande lastfall i längs- respektive tvärled ger moment- och tvärkraftsdiagram, vilka i sin tur utgör grunden för beräkningarna. Resultaten redovisas i form av ett preliminärt förslag över hur bron mer ingående kommer se ut, vad gäller exempelvis tvärsnittsmått och armering i olika former. Presentationen av detta sker genom bilder, tabeller, principskisser, beräkningar, diskussion och slutsats.

Nyckelord: Betong, balkrambro, konceptuell design, brokonstruktion, broproduktion, broförvaltning, samhällsbyggnad, brodimensionering

Omslag:  
Konceptuell bild av det slutgiltiga brokonceptet.

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2016

Road bridge at Hössnamotet

- A pre-study and dimensioning of a conceptual bridge over road 40

*Bachelor Thesis*

*Building and Civil Engineering*

ELWIN DAHLSTRÖM SOFIA

ERIKSEN ALEXANDRA

ERIKSSON MATTIS

HANSSON MICHAELA

JANSSON AUGUST

LINDÉN JENNY

Department of Civil and Environmental Engineering

Calmers University of Technology

## ABSTRACT

The report aims to present a suitable concept for a road bridge by the interchange Hössnamotet, which consists of a 60 meters long road bridge over the new parts of road 40. This is part of the expansion of the route Dällarbo-Hester on road 40 between Borås and Ulricehamn, where a highway connecting Gothenburg and Stockholm is desired. The interchange Hössnamotet refers to replace the current junction of road 1721 and 40 with a flyover, which is a requirement for achieving motorway standard.

The most suitable concept is found by a pre-study, and consists of a bridge concept described by type of bridge, foundation- and production method etcetera. A selection process is carried out in two stages in order to provide an adequate basis for the designed bridge concept. Step one consists of eliminating the less suitable concepts based on literature studies, until six more suitable concepts remains. In step two the final concept is compiled by a matrix, where the remaining concepts are weighted against selected criteria. The process results in a winning bridge concept consisting of a rigid frame bridge in concrete with inclined supports. The bridge will be cast at the building site and be built upon a foundation slab.

Based on the final concept, a preliminary calculation is performed of the bridge where Trafikverkets requirements should be satisfied. The preliminary dimensioning includes calculations in longitudinal and lateral direction and support structures. Dimensioning load cases in longitudinal and lateral direction gives moment- and shear force diagrams, which forms the base of the calculations. The results are presented in the shape of a preliminary draft, which shows a more detailed model of the bridge, including for example cross section dimensions and different kinds of reinforcement. This is shown by pictures, tables, sketches, calculations, a discussion and a conclusion.

Key words: Concrete, rigid frame bridge, conceptual design, bridge construction, bridge production, bridge maintenance, civil engineering, bridge dimensioning

Cover:

Conceptual image of the final bridge concept.

Department of Civil and Environmental Engineering

Göteborg 2016





# Innehåll

SAMMANFATTNING	III
ABSTRACT	V
INNEHÅLL	VII
FÖRORD	XI
BETECKNINGAR	XII
TERMER	XIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problemformulering	1
1.4 Avgränsningar	1
1.5 Metod	2
2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH KRAV	3
2.1 Geografi	3
2.2 Topografiska och geotekniska förutsättningar	3
2.3 Beställarens krav	3
2.4 Klimat	4
2.5 Förutsättningar för produktion	4
2.6 Miljömål	4
3 KONSTRUKTIONSMATERIAL	5
3.1 Betong	5
3.1.1 Risker med betong	5
3.2 Trä	6
3.2.1 Byggnadstekniska fördelar	6
3.2.2 Risker vid användning av trä	7
3.3 Stål	7
3.3.1 Framställning av stål	7
3.3.2 Risker med stål	7
3.4 FRP	8
3.4.1 Fördelar och nackdelar med FRP	8
3.5 Brotypers verkningsätt	8
3.5.1 Balkverkan	8
3.5.2 Bågverkan	10
3.5.3 Linverkan	11

4	GRUNDLÄGGNING OCH INFÄSTNING	13
4.1	Platta på mark	13
4.2	Pålar	13
4.3	Bank	14
4.4	Landfästen	14
5	PRODUKTIONSMETODER	16
5.1	Platsgjutet	16
5.2	Prefabricering	16
5.3	Lansering	17
6	FÖRVALTNING	18
6.1	Inspektion	18
6.1.1	Översiktlig inspektion	18
6.1.2	Huvudinspektion	18
6.1.3	Allmän inspektion	19
6.1.4	Särskild inspektion	19
6.2	Underhåll	19
6.2.1	Förebyggande underhåll	19
6.2.2	Avhjälpan underhåll	19
7	EKONOMI OCH BROGESTALTNING	21
7.1	Brogestaltning	21
7.2	Ekonomi	21
8	BROKONCEPT	22
8.1	Identifiering av lämpliga koncept	22
8.2	Introduktion till valda brokoncept	22
8.2.1	Balkrambro i betong med snedbening	23
8.2.2	Kontinuerlig balkbro i förspänd betong med tre stöd	23
8.2.3	Kontinuerlig balkbro i förspänd betong med fem stöd	23
8.2.4	Samverkansbro i stål och betong med tre stöd	24
8.2.5	Fackverksbro i stål	24
8.2.6	Fackverksbro i trä	24
9	URVALSPROCESS	26
9.1	Kriterium	26
9.1.1	Estetik	26
9.1.2	Kostnad	26
9.1.3	Inspektion	26
9.1.4	Underhåll	26
9.1.5	Återvinning	26
9.1.6	Lokala material	26

9.1.7	Arbetsmiljö	26
9.1.8	Trafiksäkerhet	27
9.1.9	Byggtid	27
9.1.10	Kriteriematris	27
9.2	Jämförelse beslutsriterium	28
9.2.1	Estetik	28
9.2.2	Kostnad	28
9.2.3	Produktion	28
9.2.4	Förvaltning	29
9.2.5	Miljö	29
9.2.6	Beslutsmatris	30
10	SLUTGILTIGT KONCEPT	31
10.1	Tvårsnittsutformning	31
10.2	Räcken	31
10.3	Utformning av stöd	31
10.4	Grundläggning	32
10.5	Avvattningssystem	33
10.6	Produktion	33
10.7	Förvaltning	33
10.8	Ekonomi	33
11	PRELIMINÄR BERÄKNING	35
11.1	Preliminärt tvärsnitt	35
11.2	Säkerhetsklass	35
11.3	Exponeringsklasser	36
11.4	Täckande betongskikt och sprickbredd	37
11.5	Dimensionerande laster	37
11.5.1	Lastkombination i brott- och bruksgränstillstånd	37
11.5.2	Lastfall	38
11.5.3	Beräkning av snittkrafter	40
11.6	Slakarmering	41
11.7	Sprickbredd	41
11.8	Spännarmering	42
11.9	Nedböjning	42
11.10	Bottenplatta vid landfäste	42
11.11	Pelare	43
11.12	Vindlaster	43
12	DISKUSSION	44

12.1	Litteraturstudie	44
12.2	Framtagande av brokoncept	44
12.3	Förenklingar och antaganden	44
12.3.1	Beräkningsmodell	44
12.3.2	Armering	45
12.3.3	Nedböjning	45
12.3.4	Pelare	46
12.3.5	Bottenplatta	46
12.4	Återstående dimensionering	46
13	SLUTSATS	48
14	REFERENSER	49

## Bilageförteckning

Bilaga 1:	Teknisk beskrivning
Bilaga 2:	Förfrågningsunderlag
Bilaga A:	Tvärledsberäkningar
Bilaga B:	Längsledsberäkningar
Bilaga C:	Övriga beräkningar
Bilaga D:	Principskisser

## Förord

Rapporten är ett kandidatarbete som utförts av sex studenter på Väg- och vattenbyggnadsprogrammet på Chalmers Tekniska Högskola. Förutsättningar för arbetet är tagna från ett verkligt projekt vid utbyggnationen av väg 40, vilket gjort rapporten mer verklighetsförankrad. Arbetet har till viss del baserats på tidigare kunskaper vi samlat på oss under utbildningen, men till större del genom en litteraturstudie som genomförts under arbetets gång. Dock anser vi att den bästa kunskapen fåtts från erfarna och engagerade lärare och yrkesfolk inom branschen. Dessa vill vi tillägna ett särskilt tack till:

Sören Lindgren, projektledare vid avdelningen för Konstruktionsteknik, som varit en mycket hjälpsam föreläsare och kursansvarig.

Magnus Bäckström, brokonstruktör på COWI, som delat med sig av många goda råd utifrån sina kunskaper.

Joosef Leppänen, Universitetslektor vid avdelningen för Konstruktionsteknik, som varit ett stort stöd vid beräkningarna.

Mario Plos, Kristoffer Ekholm, Helen Broo, Björn Engström, Mohammad Al-Emrani, P-O Svahn och Jan Sandberg för givande och informativa föreläsningar.

Vi skulle även vilja tacka Euler och Bernoulli för balkteorin.

Göteborg maj 2016

Alexandra Eriksen

August Jansson

Jenny Lindén

Mattis Eriksson

Michaela Hansson

Sofia Elwin Dahlström

## Beteckningar

$\epsilon$  - Töjning, förhållandet mellan en längdändring och ursprungslängden.

$\sigma$  - Spänning

$f_{c90}$  - Tryckhållfastheten för trä vinkelrätt fiberriktningen.

$f_{c0}$  - Tryckhållfastheten för trä parallellt fiberriktningen.

$f_{t90}$  - Draghållfastheten för trä vinkelrätt fiberriktningen.

$f_{t0}$  - Draghållfastheten för trä parallellt fiberriktningen.

$f_{ck}$  - Karaktäristisk tryckhållfasthet för betong

$f_{cm}$  - Medelhållfasthet för en betongkub

$c_{min,dur}$  - Korrosionsskydd beroende på exponeringsklasser

$f_{p0.1d}$  – Dimensionerande spänning som råder i stålet då en deformation på 0,1% kvarstår efter avlastning.

$A_{ef}$  – Effektiv area i T-tvärsnitt

$I_{ef}$  – Effektivt yttröghetsmoment i T-tvärsnitt

## Termer

**Avflagnig** - När korrosionsskydd ramlar av på grund av miljöpåverkan eller slitage.

**Broana** - Del av brons överbyggnad som trafiken färdas på.

**Brott** - Ett element som brustit helt av.

**CALFEM** – Funktionsfilstillägg till programmeringsprogrammet MATLAB.

**Fingerskarvat virke** - Metod för att förlänga virkesdimensioner.

**Fria höjden** - Höjden mellan brotvärsnittets underkant och överkant av den underliggande vägens beläggning.

**Frontmur** - Stödkonstruktion som för ner last från bron till bottenplattan samt tar upp jordtryck från vägbanken.

**Gjutsår** - Bildas då betongen härdat utan att formen fyllts ut.

**Grusskift** - Förhindrar att grus kontaminerar lagret.

**Horisontalradie** - Vägkurvans radie i det horisontella planet.

**Kantbalk** - Yttersta delen av vägplattan, där räcket ofta fästs.

**Koks** – Reduktionsmedel vid järnframställning.

**Konstruktionshöjd** - Avstånd från brobanans överkant till brotvärsnittets underkant.

**Lager** - Koppling mellan stödkonstruktion och broplatta som kan tillåta rörelse i vald/valda riktning/riktningar.

**Lös** - Ett element som förlorat sin infästning, åtdragningskraft eller inspänning.

**Navföljare** - Horisontell del av räcke som löper längs mitten av räckesståndarna.

**Påldäck** - Pålar ingjutna i en betongplatta.

**Relativ fuktighet** - Mängden vattenånga i luften förhållande till mängden luften har kapacitet att bära.

**Räckesståndare** - Den vertikala stålpelaren i ett räcke.

**Sintring** - Upphettnig av pulver till så hög temperatur att pulverpartiklarna börjar reagera med varandra och växa samman.

**Slaghål** - Hål som uppträder i brons beläggning.

**Slakarmering** - Armeringen spänns inte i konstruktionen.

**Snedställning** - Ett element som förlorat sitt rätta läge eller inställning.

**Spännarmering** - Armeringen spänns innan konstruktionen belastas för att betongen ska klara större dragspänning utan att spricka.

**Stakad linje** - Linje i ritning som beskriver vägens planerade bana.

**Sättning** - Kompression av jordlager till följd av pålagd belastning. Resulterar i en sänkning av markytan.

**Toppföljare** - Horisontell del av räcke som löper längs toppen av räckesståndarna.

**Tung trafik** - Namn för tyngre trafik än bilar. Normalt avses bussar och lastbilar.

**Tvärfall** - Körväglets lutning i tvärled.

**Täckskikt** - Ytskikt av betong som skyddar armeringen mot korrosion.

**Upplagsanordningar** - Konstruktionsdel som överför last från överbyggnad till underbyggnad.

**Urspolning** - Ett element som förlorat material. Uppstår vanligtvis genom nötning eller erosion.

**Vertikalradie** - Vägkurvans radie i det vertikala planet.

**Vingmur** - Element i stödkonstruktion som förhindrar jord att glida ner mot vägen.

**Vippning** - Då en konstruktion vrider och böjer ut i sidled. Inträffar hos slanka konstruktioner.

**Vittring** - Då sammanhållningen mellan ballast och cementpasta eroderar.

**Voter** - Förtjockning av balk vid stöd.

**Vägbeläggning** - Vägens översta lager, ofta i form av asfalt som slitlager.

**Ändmur** - Element i stödkonstruktion som tar upp jordtryck.

**Ändskärm** - En betongkonstruktion som tar upp tryck ifrån intilliggande bank.

**Överbyggnad** - De delar av bron som är placerade över stöpelarnas höjd.

**Övergångskonstruktion** - En konstruktion i brobanan som tillåter vinkel- och längdrörelser.



# 1 Inledning

I denna rapport ska ett koncept för en vägbro över väg 40 vid Hössnamotet arbetas fram. Ett antal brokoncept ställs mot varandra och utifrån uppställda kriterium kommer ett slutgiltigt koncept väljas och preliminärdimensioneras.

## 1.1 Bakgrund

Sedan 1990 har det funnits planer om att väg 40 ska byggas ut till motorvägsstandard, vilket bland annat kräver att vägen har planskilda korsningar. Utbyggnaden av nya väg 40 medför att sträckan Göteborg - Stockholm via väg 40 och E4 kommer att vara helt mötesfri. Den tidigare väg 40 blir en lokalväg och döps om till väg 1704, se Figur 1.



Figur 1 Nya och gamla väg 40, (Trafikverket, 2015c).

Ett moment i utbyggnaden av nya väg 40 är att bygga trafikplatsen Hössnamotet för att ersätta den nuvarande korsningen mellan väg 1721 och väg 40 med en planskild korsning. Beställare till projektet är Trafikverket, de har planerat att höja väg 1721 och bygga en bro över väg 40 (Ulricehamn, 2015).

Uppdraget för att dimensionera bron vid Hössnamotet gavs till konsultbolaget COWI, som tillsammans med Chalmers Tekniska Högskola har utformat ett kandidatarbete vid institutionen för Bygg- och Miljöteknik.

## 1.2 Syfte

Utbyggnaden av väg 40 avser att öka trafiksäkerheten och framkomligheten samt att förbättra boendemiljön vid befintliga väg 40. Studien syftar till att ta fram och utvärdera olika brokoncept och således kunna lägga ett förslag till en bro som preliminärberäknas för att påvisa dess genomförbarhet. Konceptet ska smälta in i landskapet, vara fördelaktigt utifrån produktions- och förvaltningssynpunkt samt vara hållbart.

## 1.3 Problemformulering

Vägbron ska vara 60 m lång och ha den tekniska livslängden 80 år. Bron ska gå över väg 40 som är cirka 30 m bred och har den fria höjden 4,7 m. Körväg ska gå i båda riktningar och en gång- och cykelbana ska finnas. De tekniska kraven från Trafikverket ska uppfyllas och ett fungerande koncept ska tas fram för att sedan preliminärdimensioneras.

## 1.4 Avgränsningar

Endast preliminära beräkningar på bron och dess bärande system görs för att påvisa att bygget är genomförbart och att bärförmågan uppnås. Brokoncepten kommer endast behandlas utifrån valda kriterium. Vid beräkningar av valt koncept sker ett antal avgränsningar som diskuteras senare i rapporten.

## 1.5 Metod

Arbetet börjar med en idéfas där ett flertal brokoncept tas fram genom att broars verkningsätt studeras och utvärderas. Detta för att komma fram till det brokoncept som är mest lämpat för områdets krav och förutsättningar. Kandidatgruppen har delats in i tre expertgrupper. Den första expertgruppens specialisering är beställare/konstruktion, vilken fokuserar på att ta tillvara på samhällets intressen i form av estetiskt utformande och ekonomisk utveckling. Expertgrupp två har sitt fokus mot produktion och har ansvar för produktionsmetoder, produktionsordning. Den tredje expertgruppens specialisering är förvaltning och miljö och har ansvar för vilka inspektioner samt vilket underhåll som är nödvändigt för de olika koncepten. Tillsammans tar expertgrupperna fram bedömningskriterium som sedan används i beslutsmatriser för att kunna bedöma ett slutgiltigt val av brokoncept.

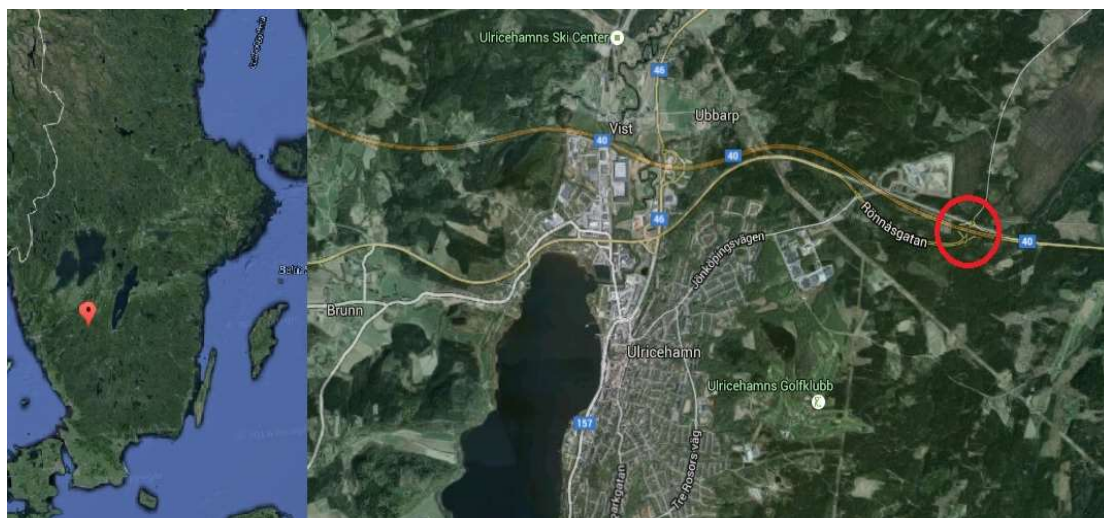
Konceptet utvecklas därefter vidare och dimensioneras preliminärt med hjälp av beräkningar i MATLAB och Mathcad. Denna dimensioneringsprocess utgår från uppställda krav i den tekniska beskrivningen. Ekvationer och gränsvärden har hämtats från Eurocode och Trafikverkets författningssamling och krav för broar. Beräkningmetod för respektive del behandlas löpande i rapporten.

## 2 Förutsättningar och krav

Beställaren Trafikverket har tagit fram en teknisk beskrivning för projektet, se Bilaga 1. I den tekniska beskrivningen finns närområdets geografiska och geotekniska förutsättningar samt de krav som projektet måste uppfylla. Vidare ska byggnationen uppfylla globala och lokala miljömål.

### 2.1 Geografi

Bron ska byggas i Ulricehamns kommun, Västra Götaland, Sverige i nordsydlig riktning. Terrängen i närområdet kan beskrivas som skogslandskap (Bilaga 1). Motorvägsleden ska byggas söder om nuvarande riksväg 40, se Figur 2 (Google Maps, 2016).



Figur 2 Karta över södra Sverige och Ulricehamn. Orange linje motsvarar planerad väg och gul linje gammal väg. Plats för byggnation är markerad i rött (Google Maps, 2016).

### 2.2 Topografiska och geotekniska förutsättningar

Från 30 m väster om bron till 30 m öster sjunker markytan 5,4 m, från nivå +303 m ö.h. till +297,6 m ö.h. Ungefär 100 m söder om den blivande bron ligger markytan på nivå +296,2 m ö.h. och ungefär 150 m norr om den på nivå +296,5 m ö.h. Jordlagerföljden består överst av 0,1 m mulljord. Därefter förekommer ett 1- 1,5 m lager av siltig sand eller sand. Dessa lager vilar på 3- 5 m blockig morän som i sin tur vilar på berg. Djupet till berg varierar över området mellan 3,5- 5,5 m och dess hållfasthet antas ligga på ungefär 2 MPa. Ett torvlager på 0,5- 0,8 m förekommer ungefär 30 m nordost om bron (Bilaga 1). Materialparametrar finns i Bilaga 1.

Den fria vattenytan har strax norr om bron uppmätts till mellan +298 och +298,9 m ö.h. och längre norrut finns ett våtmarksområde. Grundvattenytan har 100 m söder om bron mätts till nivån +296,5 m ö.h. och 150 m norr om den till +296,4 m ö.h. (Bilaga 1).

### 2.3 Beställarens krav

Bron över väg 40 vid Hössnamotet ska vara 10,5 m bred. Det ska finnas 3,25 m breda körfält i båda riktningar, en 3 m bred cykelbana samt 0,5 m breda vägrenar på vardera sida. Den stakade längden är 60 m och den fria höjden 4,7 m. Vertikalradien ska vara 1200 m och lutningen på brons ramper 3,5 %. Körfältens bombering ska vara 2,5 %, detta gäller även gång- och cykelbanan. De profilhöjder som finns beskrivna i Bilaga 2 får ej avvika från. Konstruktionshöjden är därmed begränsad till 1,474 m. Bron ska dimensioneras för en teknisk livslängd på 80 år (Bilaga 1).

## **2.4 Klimat**

Bron kommer byggas i Ulricehamns kommun som ingår i klimatzon 2. Kommunen har en maximal lufttemperatur på 34°C och en minimal på -30°C (Vägverket, VVFS 2009:19). Den årliga medelnederbörden är 800- 1000 mm och den maximala månadsnederbörden sedan 2004 är 250 mm (SMHI, 2016).

## **2.5 Förutsättningar för produktion**

Den underliggande vägen är vid produktion av bron ej i bruk vilket medför att inga större hinder för produktionen kan förutses. Enligt Bilaga 1 ska de områden som grundläggs fyllas med minst 0,5 m krossmaterial. Innan detta ska det organiska materialet schaktas bort och arbetet för bottenplattorna ska utföras i torrhet.

## **2.6 Miljömål**

Hössnamotet kommer att byggas i närhet av ett vattenskyddsområde (Ulricehamn kommun, 2013). Det är då viktigt att tänka på hur schaktarbete genomförs samt hur miljöfarliga ämnen hanteras. Det är även viktigt att hantera avfall enligt föreskrifter (Ulricehamn kommun, 2016).

Vägverket har miljökrav samt riktlinjer som gäller vid upphandlingar med dem som beställare. Miljökraven behandlas i Bilaga 1. Riktlinjerna berör hur entreprenaden ska behandla tunga och lätta fordon, arbetsmaskiner, drivmedel, kemiska produkter samt material och varor. Material och varor som byggs in i konstruktionen och/eller används i projekteringen ska inte finnas på Trafikverkets förbudslista (Trafikverket, TDOK 2012:93).

## 3 Konstruktionsmaterial

Nedan presenteras de vanligaste konstruktionsmaterialen som används vid brokonstruktion, vilka är betong, trä, stål och kompositmaterial. På grund av materialens olika verkningsätt har materialvalet en stor påverkan på konceptens bärande system.

### 3.1 Betong

I dagsläget är betong ett av de vanligaste byggnadsmaterialen på grund av sin goda beständighet, formbarhet och hållfasthet. Främst används betong i bärande konstruktioner men kan också fördelaktigt användas där påkänningarna av fukt och nötning är stora, exempelvis i husgrunder, industrigolv, vägar och broar (Burström, 2007). Huvudsakligen består betong av cement, vatten och ballast vilka alla är lättillgängliga och billiga produkter, vilket också bidrar till att det är ett av de viktigaste och mest använda byggnadsmaterialen (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013). Ur ett miljömässigt perspektiv har betong även ett antal fördelar. Exempelvis kompenseras det koldioxidutsläpp som avges vid tillverkningen av cement genom att den hårdnade betongen under hela sin livstid upptar koldioxid. Återanvändningsgraden av materialet är också 100 % på grund av dess naturliga huvudbeståndsdelar. Produkterna av återanvändningen används ofta som fyllnadsmaterial (Svensk Betong, u.å).

Att draghållfastheten är betydligt lägre än tryckhållfastheten är en typisk egenskap för betong. Hållfastheten för dragpåverkan uppgår i normala fall endast till en tiondel av tryckhållfastheten. Dragkrafterna som uppstår vid belastning orsakar sprickbildning i betongen. Därför används armering för att överföra dragkrafter i konstruktionen, vilket sker genom vidhäftning mellan armering och betong. Sprickorna som uppstår i betongen kan också helt motverkas genom att denna förspänns med hjälp av höghållfast stål. Vid produktionen införs då tryckkrafter i betongkonstruktionen. Om krafterna införs innan betongen stelnat sker en förespänning av stålet och om de införs efter sker en efterspänning av stålet. Det gemensamma namnet för dessa två är dock förspänning som tidigare nämnt, vilket då syftar till att betongen är förspänd (Al-Emrani et al, 2013).

En annan typisk egenskap för betong är att det ändrar volym med tiden, vilket är anledningen till att det kallas för ett "levande" material. Volymändringen sker på grund av de krymp- och krypningsfenomen som finns i betongen. Krympningen uppkommer oavsett om betongkonstruktionen är belastad eller ej och uppstår av den uttorkning som sker under betongens härdningsprocess, vatten lämnar porsystemet och ger då en volymminskning (Al-Emrani et al, 2013). Krypningen uppstår på grund av långtidslaster och ger tillskottsdeformationer över tid (Burström, 2007).

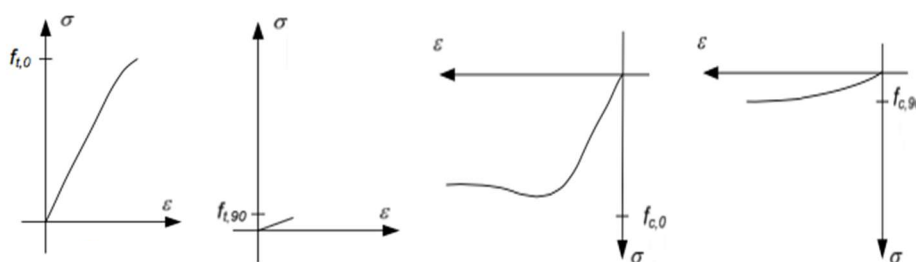
#### 3.1.1 Risker med betong

Sprickbildning i betongkonstruktioner är, som ovan nämnt, en konsekvens av betongens låga draghållfasthet, dess krympning och dess krypning. En stor del av bärförmågan hos betong upptas av dess egenvikt vilket gör att det ofta krävs mycket robusta konstruktioner. Slankheten som hos en stålkonstruktion är därför svår att uppnå. Egenvikten påverkar även grundläggningen för betongkonstruktionen. Produktionsmässigt medför betongen långa byggtider på grund av det formarbete som krävs. Genom prefabricerade system där betongelement förtillverkas på fabrik, eller användning av kvarsittande formar, kan detta förhindras (Al-Emrani et al, 2013).

Beständighetsproblem för betong är bland annat armeringskorrosion som uppstår på grund vid karbonatisering av betongen eller av att klorider tränger in. Detta medför att armeringens förmåga att bära last minskar då dess bärande tvärsnittsarea reduceras. Detta medför att betongen kan spricka längs med armeringen, då korrosionsprodukterna kräver två till fem gånger så stor volym som den ursprungliga armeringen. Utöver armeringskorrosion förekommer även problem med frost- och kemiska angrepp. Risk för frostsprängning uppstår när vattnet i betongens porer fryser till is vilket medför en volymökning av vattnet på 9 %. De kemiska angreppen kan innebära att betongen löses upp eller att ämnen som tränger in materialet reagerar med denna (Burström, 2007).

## 3.2 Trä

Trä är ett traditionellt byggnadsmaterial som använts under lång tid. Då det produceras av naturen finns det en stor variation av egenskaper även i samma träslag. Träets hållfasthet påverkas också till stor del av belastningsriktning på grund av dess anisotropa struktur, då materialet är uppbyggt av längsgående fibrer. Materialet har högst hållfasthet när det utsätts för drag parallellt med fiberriktningen, se Figur 3. Under de senaste decennierna har en stor förändring i användningssätt kunnat ske då nya limningsmetoder utvecklats. Detta har gjort att fingerskarvat virke och limträ har vidareutvecklats och trä har kunnat användas till nya typer av konstruktioner. Genom att tillverka limträ kan egenskaperna lättare optimeras och kontrolleras, vilket leder till att större spännvidder kan uppnås (Burström, 2007).



Figur 3 Hållfasthet för trä i olika belastningsriktningar (Al-Emrani et al, 2007).

### 3.2.1 Byggnadstekniska fördelar

Trä är ett material som kan vara fördelaktigt att använda i bärande konstruktioner på grund av sin låga egenvikt relativt dess hållfasthet<sup>1</sup>. Det anses även fördelaktigt ur miljösynpunkt då trä är en förnybar resurs som lagrar koldioxid ur atmosfären. Trä som konstruktionsmaterial ger ett negativt koldioxid-fotavtryck då mängden koldioxid som lagras i materialet är större än den mängd som släpps ut i samband med avverkning, transport och bearbetning (Svenskt Trä, 2013). Vid brokonstruktion kan både det primära och sekundära bärverket utgöras av trä. I brobanor kan trä användas med fördel genom att limträbalkar spänns upp med stålstag, vilket ger en förspänd brobana som på så sätt kan bära större laster. På detta sätt kan spännvidder för vägbroar på upp till 30 m åstadkommas, dock med nackdelen att en hög konstruktionshöjd fås<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Kristoffer Ekholm (Project manager, Göteborgs Stad, Trafikkontoret) Föreläsning 29 januari 2016.

<sup>2</sup> ibid.

### 3.2.2 Risker vid användning av trä

Trä kan vara svårt att hantera ur beständighetssynpunkt. Angrepp som kan leda till en bestående förlust av hållfasthet kan ske, och det är därför viktigt att träet behandlas rätt. Angreppen kan orsakas av mikroorganismer, men de kräver lämpliga temperatur- och fuktinnehållsnivåer för att nedbrytningen av träet ska kunna ske. Genom att säkerställa att träets fuktkvot inte blir för hög kan dessa angrepp stoppas och materialets livslängd kan därmed förlängas (Burström, 2007). För att skydda konstruktionen mot fukt kan den täckas in med plåt<sup>3</sup>.

## 3.3 Stål

Stål har en hög hållfasthet i både tryck och drag, vilket inte bara ger smäckra konstruktioner, utan också tillåter en enklare grundläggning på grund av sin lätta egenvikt. Materialet har även en hög prefabriceringsgrad vilket ger en kortare byggtid och därmed en lägre byggkostnad. Stålet som används inom byggnadskonstruktion kallas konstruktionsstål och dess viktigaste egenskaper är hållfasthet, seghet och svetsbarhet (Begroup, 2011). Framställningen av materialet, se processbeskrivning nedan, är mycket energikrävande och ger främst en stor mängd koldioxidutsläpp, vilket har en negativ effekt på miljön. Stål är dock också ett material med miljömässiga fördelar så som möjlighet till fullständig återvinning och dess långa livslängd (Miljömål, 2009).

### 3.3.1 Framställning av stål

Materialet består huvudsakligen av grundämnet järn och utvinns ur järnmalmer. Malmerna innehåller ofta stora mängder gråberg, vilket gör att de först behöver anrikas. Järnmalmen krossas och material med låg järnhalt sorteras bort och kvar finns ett mycket finkornigt material vid namn slig. Detta behöver då sintras, värmas upp till cirka 1250°C och sedan krossas. En masugn förses sedan med det framställda materialet och koks som sedan smälter samman och slutligen stelnar i botten av masugnen. Det stelnade materialet kallas för tackjärn. För att kunna använda det i stålprodukter behöver en färskningsprocess genomgå. Processens syfte är främst att minska kolhalten genom oxidering, därefter gjuts materialet om (Burström, 2007). Sammansättningen av de olika legeringarna som finns i stålet bestämmer hur dess viktigaste egenskaper påverkas. Exempelvis ger en förhöjd kolhalt en ökad hållfasthet, samtidigt som det påverkar segheten och svetsbarheten negativt (Begroup, 2011).

### 3.3.2 Risker med stål

Vid vanlig användningstemperatur kan elektrokemisk nedbrytning ske. Det som krävs är en fri stålyta som är i kontakt med en vätska och även tillgång till syre. Då materialet är i kontakt med luft sker korrosion om den relativa fuktigheten är högre än 60 % och därefter ökar den i takt med fuktnivån. Korrosionsrisken ökar också beroende på hur smutsig stålytan är då smuts kan bära fukt. Avgörande vid korrosion i vatten är tillgängligheten av fritt syre men också faktorer som salthalt, föroreningar och pH-värden har betydelse. För att skydda stålet mot korrosion är den vanligaste åtgärden rostskyddsmålning. Valet av detta kommer ha stor betydelse för stålkonstruktionens livslängd (Burström, 2007).

---

<sup>3</sup> Kristoffer Ekholm (Project manager, Göteborgs Stad, Trafikkontoret) Föreläsning 29 januari 2016.

## 3.4 FRP

Ett kompositmaterial som kan användas inom brokonstruktion är FRP, fiberarmerad polymer. FRP består av ett plastmaterial samt fiberarmering. Vid brokonstruktion kan både det primära och sekundära bärverket utgöras av FRP. En vanlig lösning är att körbanan utgörs av ett FRP-element och den övriga konstruktionen av något annat byggnadsmaterial (Engelsmann, Spalding och Peters, 2010).

Fiberarmeringens funktion är att uppta tryck- och dragkrafterna som uppkommer i konstruktionen (Fiberline composites, u.å.b). Armeringen kan bestå av olika material vilket påverkar det sammansatta materialets egenskaper (Fiberline composites, u.å.c). Den vanligaste armeringstypen är glasfiber, då den är billig och har förhållandevis goda hållfasthetsegenskaper (Prince engineering, u.å). Andra vanliga armeringstyper är kol- och aramidfibrer, där kolfibrer har högst draghållfasthet, medan aramidfibrer har den lägsta densiteten (Mara V, 2014).

Plastsammansättningen fungerar som bindemedel för armeringen, som skydd mot korrosion, brand och kemikalier och verkar även för att ta upp tvärkrafterna i konstruktionen (Fiberline composites, u.å.a).

### 3.4.1 Fördelar och nackdelar med FRP

Materialet kan med fördel användas i Sverige på grund av sin beständighet mot korrosion då vägarna saltas. Materialet är även fördelaktigt på grund av sin låga egenvikt, som kan uppskattas till ca 20 % av egenvikten för en likvärdig armerad betongstruktur (Mara V. 2014). Stora delar kan förtillverkas vilket leder till en minskad produktionstid (Fiberline composites, u.å.d).

Att bygga med FRP är en relativt obeprövad metod i Sverige, vilket kan medföra att oförutsedda problem kan ske. En annan nackdel är att investeringskostnaden kan bli avsevärt större (Eriksson & Johansson, 2009).

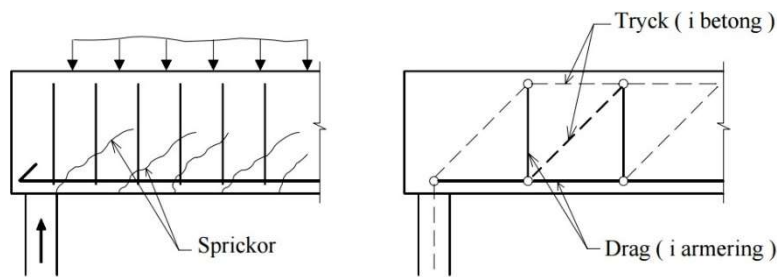
## 3.5 Brotypers verkningssätt

Broar karakteriseras efter den geometriska formen hos det bärande systemet. De olika verkningssätten som uppstår i det bärande systemet är balkverkan, bågverkan och linverkan vilka beskrivs nedan.

### 3.5.1 Balkverkan

En konstruktion vars element bärs av balkverkan, innebär att elementen utsätts för böjning. De huvudsakliga krafterna som uppstår är moment och tvärkrafter, vanligtvis uppstår även normalkrafter. Verkningssättet hos en balk kan beskrivas med hjälp utav en fackverksmodell, se Figur 4, där tryck leds ner i balken och lyfts upp igen via drag (Al-Emrani et al, 2007, s B2-B3).





Figur 4 Efter sprickbildning får den armerade betongen ett fackversliknande verkningssätt där jämvikten säkras med hjälp av armering (Al-Emrani et al, 2007).

Balkbroars primära bärverk är balkar med en höjd som är minst 5 gånger större än dess bredd. De kan vara fritt upplagda mellan stöd eller kontinuerliga över stöd. En fritt upplagd balkbro skall vara konstruerad så att det finns icke-momentöverförande leder över mellanstöden. Kontinuerliga balkbroar är konstruerade så att överbyggnaden är kontinuerlig över mellanstöd, vilket innebär att moment överförs. För kontinuerliga balkbroar är det viktigt att det inte finns någon stor risk för sättningar i stöd då de kan medföra att stora tvångskrafter uppstår i konstruktionen (Trafikverket, 2014b).

I moderna balkbroar utformas de primära bärverken vanligtvis i material som trä, betong eller stål. (Trafikverket, 2014b). Ett annat material som används är FRP, men det ovanligt. Många broar är samverkanskonstruktioner mellan de olika materialen<sup>4</sup>.

Balkbroar har olika tvärsnitt beroende på vad de har för material. Vanliga tvärsnitt hos betongbroar är längsgående primärbalkar, trågbalkar och lådbalkar. Stålbalkbroar har längsgående primärbalkar och tvärgående balkar. Samverkansbroar kan bestå av längsgående stålbalkar eller ett lådtvärsnitt av stål som gjutits ihop med en betongplatta. Träbroars tvärsnitt består vanligtvis av längsgående primärbalkar. Fackverksbalkar kan användas då det är av intresse att konstruktionsmässigt reducera överbyggnadens egentyngd och minska materialåtgången. I en fackverksbalk uppträder huvudsakligen dragande och tryckande normalkrafter, vilket kan ses som materialeffektivt (Trafikverket, 2014b).

Tvärbalkar hos en balkbro dimensioneras för att uppta horisontella krafter och vridmoment. De stabiliserar även bron mot vippning<sup>5</sup>.

Maximala spännvidder beror till stor del på materialet hos balkbron. Nedan presenteras dimensionerande maximala spännvidder för balkbroar i vägtrafik (Trafikverket, 2014b):

- Betongbalkbro slakarmerad 25 m, spännarmerad 80 m.
- Stålbalkbroar 80 m.
- Träbalkbroar 30 m.
- Fackverksbroar i stål 100 m.
- Fackverksbroar i trä 30 m.

<sup>4</sup> Sören Lindgren (Projektledare, Bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola) Föreläsning 5 februari 2016

<sup>5</sup> ibid

En plattbro definieras av att dess primära bärverk består av ett plattelement med bredden minst fem gånger större än höjden. Likt balkbroar bär plattbroar upp last genom balkverkan. Plattbroar utformas som fritt upplagda eller kontinuerliga över stöd. Moderna plattbroar konstrueras vanligtvis i armerad betong (Trafikverket, 2014b) eller trälameller ihopspända med stålstag<sup>6</sup>.

Maximala spännvidder hos plattbroar dimensionerade för vägtrafik (Trafikverket, 2014b):

- Betongplattbro slakarmerad 25 m.
- Betongplattbro spännarmerad 35 m.
- Plattbroar av ihopstagade trälameller 17 m<sup>7</sup>.

Armerade betongrambroar är Sveriges mest byggda brotyp. Det primära bärverket i en ramverksbro består av en balk som är fast inspänd i två pelare. De konstrueras som en balkrambro eller plattrambro. Rambroar utförs nästan uteslutande i betong (Vägverket, 1996).

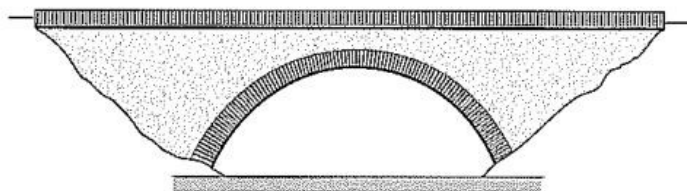
Maximala spännvidder hos betongrambroar dimensionerade för vägtrafik:

- Rambro slakarmerad 25 m.
- Rambro spännarmerad 50 m.

### 3.5.2 Bågverkan

Vid bågverkan ger bågformen och egentytningen upphov till stora tryckkrafter i bågen, vilka starkt bidrar till bärförmågan. Bågen, som belastas av tryckkrafter, för sedan ner krafterna till grunden. Goda grundläggningsförhållanden krävs då bågen ger upphov till både horisontella och vertikala krafter. Önskvärt är grundläggning direkt på berg eller på höghållfast friktionsjord (Trafikverket, 2014b).

Valvbron (se Figur 5) är en av de äldsta brotyperna, och bygger på bågverkan. Valvet utgör huvudbärverket och består av sten, armerad eller oarmerad betong. Valvbron kan konstrueras i ett eller flera spann. En valvbro konstruerad i sten kan utföras i spännvidder upp till cirka 17 m för vägtrafik. Motsvarande spännvidd för betong uppskattas till 30 m. Nybyggnad av valvbroar i sten sker sällan idag på grund av höga produktionskostnader. Valvbroar som byggs idag utförs istället främst i betong (Trafikverket, 2014b).



Figur 5 Valvbro, (Plos M, 2016).

Bågbron (se Figur 6 och 7) utformas i regel med ett huvudbärverk bestående av över- eller underliggande bågar i ett eller flera spann. Bågbron med underliggande båge har utvecklats utifrån valvbron. Primärbärverket kan bestå av trä, stål eller betong. Dessa

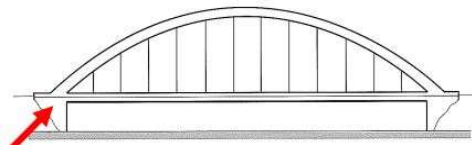
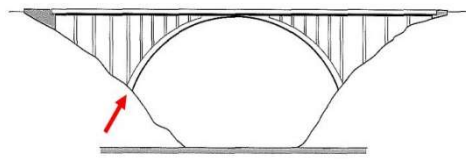
<sup>6</sup> Kristoffer Ekholm (Project manager, Göteborgs Stad, Trafikkontoret) Föreläsning 29 januari 2016

<sup>7</sup> ibid.

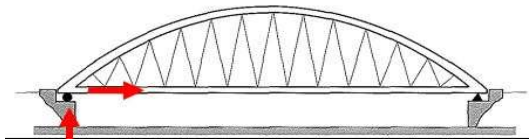
består ofta av flera parallella bågar, vilka förbinds med tvärbalkar. Brons sekundärbärverk utgörs av brobanan. Detta är oftast uppbyggt av en brobanaplatta med underliggande tvär- och längsgående balkar. Primär- och sekundärbärverket förbinds på olika sätt beroende på bågbrons utförande. Lasterna från brobanan förflyttas till bågen, i form av dragkrafter i stängerna vid överliggande båge och som tryckkrafter vid underliggande båge (Trafikverket, 2014b).

Beroende på primärbärverkets material fås olika inspänningsförhållanden i landfästena för bron. Då bågar är tillverkade av trä eller stål finns alltid leder i anslutningen mot landfästena. Om det däremot är utfört i betong kan det antingen vara fast inspänt i landfästena eller utformat med leder. I dessa fall tas både de horisontala och vertikala kraftkomponenterna upp av grunden (Trafikverket, 2014b).

En annan möjlighet är en fri uppläggning av primärbärverket direkt på ändstöden, vilket ger ett annat verknings sätt. Denna typ av bågbro kallas för langerbalksbro (se Figur 8). En huvudbalk mellan bågar ingår då i primärbärverket. Det som sker i detta fall är att de horisontella kraftkomponenterna från bågen tas upp av denna huvudbalk, istället för av grunden. Huvudbalken blir då belastad i drag. Därmed kräver inte bron lika stabila grundläggningsförhållanden som vid de normala verknings sätten för bågbro (Trafikverket, 2014b).



Figur 6 Underliggande inspänd båge, (Plos M, 2016). Figur 7 Överliggande inspänd båge, (Plos M, 2016).



Figur 8 Langerbalksbro (Plos M, 2016).

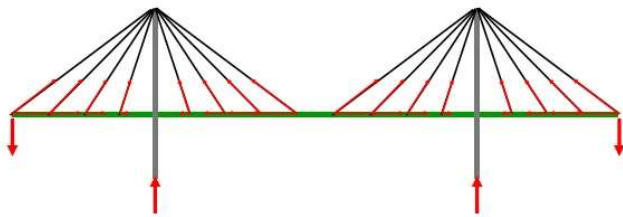
Olika spännvidder kan uppnås med olika material, där stålåbåbroar kan uppnå längst spännvidd på 550 m (Structurae, 2015) och en bågbro av limträ upp till ca 50 m (Svenskt Trä, 2015).

Båbroar görs idag i första hand av estetiska skäl, då de rent ekonomiskt utkonkurrerats av spännbetong- och stålåbåbroar (Vägverket, 1996).

### 3.5.3 Linverkan

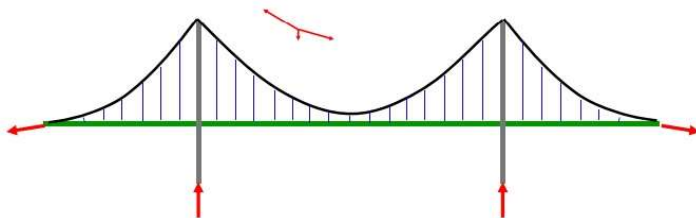
Linverkan innebär att lasten av konstruktionen bärs upp av dragkrafter. Linor kan enbart ta upp drag och formar sig efter lasten. Snedkabelbron och hängbron är de vanligaste broarna som bärs upp av linverkan (Samuelsson & Wiberg, 1990, s. 231).

Det primära bärverket i en snedkabelbro består av pyloner, kablar och brobana. Brobanan bärs upp av kablarna med dragkrafter, se Figur 9. Kablarna förankras i pylonerna som bär upp konstruktionen genom tryckkrafter (Trafikverket, 2014b).



Figur 9 Snedkabelbro (Plos M, 2016).

En hängbro består av pyloner, avstyvningsbalkar, hängare och två huvudkablar. Dessa fyra delar utgör primärbärverket i bron. Pylonerna bär huvudkablarna som löper över dess toppar. Kablarna förankras även vid bronns kanter antingen i betongfundament eller direkt i berg. Dessa förankringar kallas ankare. I huvudkablarna fästs hängare som i sin tur bär upp brobanan. Både huvudkablarna och hängarna bär enbart upp bron med hjälp av dragkrafter, se Figur 10. Huvudkablarna består av flera mindre delkablar (Trafikverket, 2014b).



Figur 10 Hängbro (Plos M, 2016).

De stora dimensionerna på hängbroar gör att en dominerande last är egentytngden. En annan viktig last att ta hänsyn till är vindlasten. Detta beror på att snedkabelbroar och hängbroar står relativt oskyddade med sin stora höjd och längd. Pylonerna är vanligtvis utformade av armerad betong och kablarna av stål. Då egentytngden är en dimensionerande last, består brobanan ofta av ett lådtvärsnitt i stål för att optimera materialåtgång (Trafikverket, 2014b).

Större spännvidder är vanligast hos snedkabelbroar och hängbroar (Trafikverket, 2014b) och det krävs en spännvidd på minst 150-200 m för att det ska vara ekonomiskt försvarbart att bygga dem (Axelsson och Elfgren, u.å).

## 4 Grundläggning och infästning

Lämplig grundläggning väljs utifrån resultatet av den geotekniska undersökningen, se Bilaga 1. Val av grundläggningsmetod och nivån på denna beror bland annat på grundförhållanden, grundvattenytans nivå, tjälsäkert djup, brotyp och arbetsutförande. (Vägverket, 1996). Alla grundläggningsmetoder medför att krafter från bronns överbyggnad förs ner till undergrunden. Nedan presenteras de vanligaste metoderna.

### 4.1 Platta på mark

Om grundläggningen sker med hjälp av en platta kan olika typer användas beroende på de geotekniska förutsättningarna. Platta på jord används då underliggande jord uppfyller kraven på bärighet. Den nivå grundläggningen sker på bestäms bland annat utefter krav på sättningar och bärförmåga. Erosion och arbetsutförande etcetera bör också beaktas. Plattans underkant ska läggas på tjälsäker nivå om grunden består av måttligt eller mycket tjälfarligt material. En platta som grundläggs på jord ska ha en lastresultant på grundläggningsnivån som ligger minst 0,3 m från plattans närmsta kant (VV2004:56, 2004).

Väljs metoden då jord med låg bärighet förekommer bör bottenplattan läggas på minst 0,3 m packad fyllning. En annan möjlighet kan i vissa fall vara att packa den befintliga jorden hårt och placera plattan direkt ovanpå, detta arbete bör ske i torr miljö. En grundvattensänkning på cirka 0,5 m utförs om grundvattnet rör det tänkta grundläggningsdjupet (VV2004:56, 2004).

Då ett mindre lager av sämre material, så som lera, organiskt material eller silt, överlagras bra grundläggningsmaterial kan ersättande av de dåliga massorna med packad grus- eller sprängstensfyllning vara fördelaktigt. Denna metod kallas då för platta på packad fyllning. Packade fyllningar kan dessutom användas för att exempelvis höja grundläggningsnivån (Vägverket, 1996).

Då berggrund finns nära marknivå kan metoden platta på berg användas. Berg schaktas då fram, och sprängs om så behövs, för att få ett plant underlag. Om ett brostöd ska konstrueras längs ett lutande berg sprängs berget med fördel i trappstegsformade plataer. Bergets bärförmåga är i regel stor vilket gör att små bottenplattor används. Vanligt är då att separata bottenplattor används till varje pelare. Bergets kvalitet kan variera genom eventuella sprickzoner och förekomst av lera. För en platta grundlagd på berg ska lastresultanten på grundläggningsnivån ligga minst 0,10 m från plattans närmsta kant (VV2004:56, 2004).

### 4.2 Pålär

Pålning är en relativt kostsam grundläggningsmetod som används på mindre bärkraftiga jordar, i Sverige är det vid brobyggnationer vanligast med slagna betongpålär. Om jorden är blockrik används istället stålpålär. Vid pälning i vatten är stålrörspålär fyllda med armerad betong vanliga (Vägverket, 1996).

Pålär klassificeras utifrån verkningsätt genom att det antingen kan vara spetsburna eller mantelburna. De spetsburna pälarna drivs ner till ett material med en hög bärförmåga, oftast berg, där lasten sedan fördelas genom pälens spets. Vid slagning av en spetsburen påle ges även bärning från manteln på grund av friktion, denna försummas dock vid beräkning av bärförmågan (Pålkommissionen, 2007). Mantelburna pälär fördelar istället lasten genom skjuvspänningar i kontaktytan mellan pälens mantelyta och jorden. De mantelburna pälarna delas också in i två olika typer, kohesion-

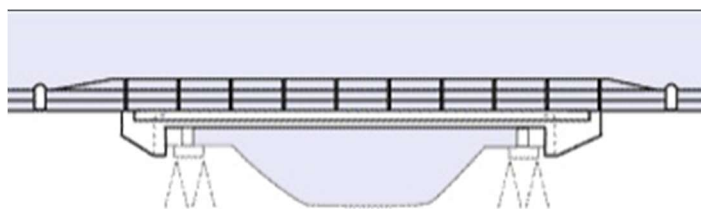
eller friktionspålar beroende på vilken jordtyp pålen drivs ner i. Bärförmågan hos de mantelburna pålarna ökar därmed i takt med ökad längd då detta ger en större mantelarea (Schunnesson, 2007).

### 4.3 Bank

Då vägbanan sammankopplas med brobanan krävs ofta en uppbyggnad i form av en vägbank. Dessa bankar måste klara vissa krav så som sättningar i förhållande till bron och inte utgöra ett för stort jordtryck mot landfästen. Fyllning mot bro skall utföras med förstärkningsmaterial och krossad sprängsten enligt Bilaga 1. Om utrymme finns anläggs en motfyllnad bakom landfästet för att skapa ett motverkande jordtryck (Vägverket, 1996).

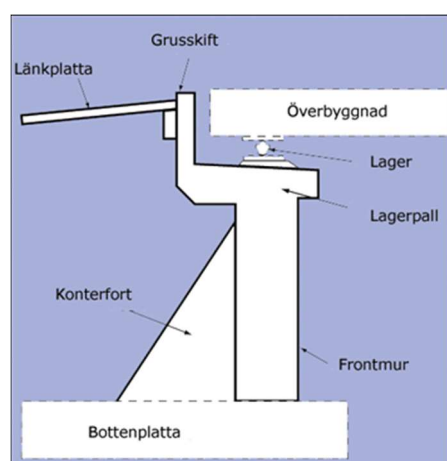
### 4.4 Landfästen

I landfästet ansluter vägbanan till brobanan och laster från bron och banken tas upp i antingen ett intilliggande stöd eller i en frontmur (Vägverket, 1996).



Figur 11 Förhöjd grundläggning, (Trafikverket, 2014c).

Beroende på vilken grundläggningsmetod som valts utformas landfästen på olika sätt. Antingen tas krafterna i en separat konstruktion som går ner innan broinfästningen (se Figur 11). Då byggs i varje broände en ändskärm som har till uppgift att ta upp vägbankens tryck, vilket medför att övergångskonstruktioner inte alltid krävs<sup>8</sup>. Ändskärmen kompletteras med en vingmur som byggs snett ut från ändskärmens kanter. Vingmuren är till för att ”fånga upp” höjdskillnader som finns vid ändstöden (Vägverket, 1996).



Figur 12 Frontmur (Vägverket, u.å).

<sup>8</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör, COWI) Handledarmöte 23 februari 2016.

Alternativt byggs en frontmur, se Figur 12, vid brofästet där muren dimensioneras för att ta både bankens och brons laster. Vingmurar fästs i frontmuren precis som i ändskärmen och grundläggs med en bottenplatta. Vid bankens slut finns ett grusskift, under denna sitter en lagerpall som via en lagerplint tar upp lasterna från bron. I det här fallet behövs övergångskonstruktioner mellan bro- och vägbana för att bland annat möjliggöra rörelser på grund av temperaturskillnader<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör, COWI) Handledarmöte 23 februari 2016.

## 5 Produktionsmetoder

Vid framtagande av lämpligt brokoncept är det viktigt att ta hänsyn till de olika alternativens väg från byggstart till färdig bro, det vill säga dess produktion. I detta begrepp ingår i vilken ordning produktionen ska ske, etablering och materialupplägg, de temporära konstruktioner som behövs och den produktionsmetod som kommer att användas. Kapitlet kommer behandla några olika produktionsmetoder som används vid broproduktion.

Det specifika projektet och dess geografiska läge har stor inverkan på vilken metod som väljs. För att produktionsmetoden ska vara lämplig framförs ofta även krav på följande tre punkter:

- Metoden ska vara säker att utföra i den rådande miljön och en bra arbetsmiljö ska kunna uppnås.
- Tidsåtgången ska kunna förutsägas, vilket kräver en välstrukturerad planering som fungerar mellan olika parter, såsom transport och byggnation. Detta leder i sin tur till minskade merkostnader.
- Metoden ska ge lägsta möjliga kostnader genom hela produktionen utan att ovanstående punkter ska bli lidande.

### 5.1 Platsgjutet

Då bron tillverkas helt eller delvis i betong finns möjligheten till platsgjutning. Förenklat utförs metoden genom att en gjutform fylls med betong efter att armering placerats inuti, se Figur 13 och 14. Konstruktionens storlek och form blir därmed lättanpasslig. Gjutformen tillverkas oftast på plats, vilket medför att metoden ställer krav på byggarbetsplatsen. Ofta krävs stora öppna ytor för att förvara material och utföra gjutning på. Tidsåtgången är en annan viktig aspekt då metoden är tidskrävande på plats. Då betongen härdar snabbt är det viktigt att transportererna kommer vid rätt tidpunkt och med rätt mängder. Transporterna blir däremot enkla, vilket är en fördel<sup>10</sup>.



Figur 13. Armering och gjutning, (P-O Svahn, 2016).



Figur 14. Ställning och form, (P-O Svahn, 2016).

### 5.2 Prefabricering

Prefabricering innebär att byggnadselement förtillverkas på fabrik och sedan transporteras till byggarbetsplatsen för montering. Produktionsmetoden ses som fördelaktig då exempelvis formarbetet försvårats på grund av omkringliggande miljö, eller om projektet kräver en kort byggtid (Vägverket, 1996). Vid byggnation av

---

<sup>10</sup> Per-Ola Svahn (Tekn Dr, Skanska) Föreläsning 12 februari 2016



prefabricerade broar utsätts befintlig trafik för minimala störningar, dock används produktionsmetoden sällan i de skandinaviska länderna (Eriksson & Johansson, 2009).

Den industriella produktionen av betongelement har många fördelar. Bland annat är miljön för tillverkningen konstant vilket gör att en hög kvalitet på betongen kan garanteras. Även ur ett arbetsmiljömässigt perspektiv är metoden fördelaktig då fler anpassningshjälpmedel finns tillgängliga i lokalerna än ute på en byggarbetsplats vid formarbete (Eriksson & Johansson, 2009).

Andra material med höga prefabriceringsgrader är stål och trä. Stålprodukterna framställs i verkstäder och genom digitalt styrda tillverkningsmaskiner erhålls en snabb process med hög precision (Al-Emrani et al, 2007). Broar enbart utförda i stål är ovanliga på grund av den höga kostnaden, men vid krav på låg egenvikt kan detta vara aktuellt. I de flesta fall är dock brobanan av betong vilken genom svetsbultar samverkar med stålet. Vid användning av prefabricerade träprodukter kan byggtiden kortas ner och den totala kostnaden sänkas (Vägverket, 1996).

### 5.3 Lansering

Olika lanseringsmetoder används för broar över till exempel vatten eller vägar där möjligheten att placera maskiner under inte finns. Horisontell lansering innebär att bron skjuts ut från landfästena, exempelvis med hjälp av grävmaskin och mobilkran för mindre broar, se videofil (Trafikverket, 2011). För längre och större broar med flera stöd sker etappvis lansering där bron skjuts fram till en pelare i taget. Ofta behövs även en lanseringsnos för att undvika att brobanans nedböjning blir för stor under lanseringen. Lanseringsnosen utgörs vanligtvis av en stålkonstruktion<sup>11</sup>, se Figur 15.

En annan effektiv lanseringsmetod är fritt frambyggd bro<sup>12</sup>, se Figur 16. Uppförandet av bron utgår då från mittstöden och byggs ut åt båda sidor i balans. Detta gör att temporära konstruktioner inte är nödvändiga. Ett optimalt spann för denna metod är mellan 60 till 150 m (VSL, 2016)



Figur 15. Lanseringsnos (Engström, 2016).



Figur 16. Fritt frambyggd, (Svahn, 2016).

---

<sup>11</sup> Björn Engström (Biträdande professor, Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) Föreläsning 4 februari.

<sup>12</sup> Per-Ola Svahn (Tekn Dr, Skanska) Föreläsning 12 februari 2016.

## 6 Förvaltning

För att säkerställa brons funktionalitet samt trafikanternas säkerhet under brons hela livslängd krävs regelbundna inspektioner (Chen & Duan, 2014, s 272). Inspektionerna ska ge underlag för det underhåll som krävs för brons fortsatta användning (Trafikverket, 2014b). Genom att beakta inspektion och underhåll vid val av brotyp, detaljer och åtkomlighet finns det stora möjligheter att sänka förvaltningskostnaden och öka kvaliteten vid inspektion. Systematiska inspektioner och regelbundet underhåll kan kostnadseffektivt förlänga livslängden för en brokonstruktion genom att undvika onödiga utbyten av brokomponenter (Chen & Duan, 2014, s 269-275).

### 6.1 Inspektion

Inspektioner som genomförs har varierande omfattning och utförs med olika periodicitet. De fyra olika inspektionstyperna är översiktlig inspektion, huvudinspektion, allmän inspektion, och särskild inspektion (Trafikverket, 2015a).

#### 6.1.1 Översiktlig inspektion

Översiktlig inspektion ska genomföras minst en gång om året för att upptäcka akuta skador (Svenskt Trä, 2003a). Inspektionen utförs också för att säkerställa att de krav som beställaren ställer på underhållsentreprenaden uppfylls (Trafikverket 2014a).

#### 6.1.2 Huvudinspektion

En huvudinspektion är en genomgående inspektion som syftar till att upptäcka och bedöma eventuella brister i konstruktionens funktion som kan leda till förhöjda förvaltningskostnader och försämrade trafiksäkerhet. I huvudinspektionen inspekteras alla element löpande med en periodicitet på sex år. Vid inspektionen undersöks samtliga konstruktionselement med handnära eller visuella inspektioner (Trafikverket, 2014a).

- Grundläggning inspekteras för vittring, korrosion, sprickor, krossning, röta, urspolning och rörelse.
- Slänt och kon inspekteras för rörelse, ökad belastning och urspolning.
- Stöd inspekteras för urlakning, vittring, korrosion, sprickor och rörelse.
- Ving- och stödmur kontrolleras för vittring, korrosion, sprickor, lösa delar och rörelser.
- Upplagsanordningar inspekteras för korrosion, sprickor, lös och snedställning.
- Huvud- och övrigt bärverk samt körbaneplattor bestående av betong inspekteras för urlakning, vittring, korrosion, gjutsår, sprickor och krossning.
- Bärverk och körbaneplattor bestående av stål inspekteras för korrosion, sprickor, lös, rörelser i förband, deformation. Lådtvärsnitt undersöks även invändigt (Trafikverket, 2015a).
- Bärverk av trä inspekteras även för fuktkvoter, spännkrafter, förband och ytbehandling (Martinssons, u.å).
- Kantbalk inspekteras för vittring, korrosion, sprickor och lös.
- Tätskikt skall inspekteras för kalkutfällningar, fuktgenomslag, läckage och avflagnings.

- Beläggningen kontrolleras för vittring, sprickor och slaghål.
- Räckens inspekteras för korrosion och deformation.
- Övergångskonstruktioner inspekteras för lös och läckage.
- Dräneringssystemet skall inspekteras för korrosion och täthet (Trafikverket, 2015a).

### 6.1.3 Allmän inspektion

Den allmänna inspektionen är en uppföljning av skador som upptäckts vid den senaste huvudinspektionen men inte åtgärdats, utöver detta dokumenteras även nya skador. Skador som inte uppdagas skulle innebära en bristande trafiksäkerhet samt ökade förvaltningskostnader. Alla konstruktionsdelar samt brons anslutande element ska inspekteras visuellt (Trafikverket 2014a).

### 6.1.4 Särskild inspektion

Särskild inspektion görs då enskilda konstruktionselement kräver en fördjupad utredning eller specialkompetens (Trafikverket, 2014a).

## 6.2 Underhåll

På grund av yttre och inre påverkan sker ett slitage av bron vilket gör att ett behov av underhåll skapas. Det sker både förebyggande och avhjälpande underhåll, se videofil (Trafikverket, 2012).

### 6.2.1 Förebyggande underhåll

Syftet med förebyggande underhåll är att ge trafikanter en säker resa och förlänga brons livslängd. Löpande underhåll som sker är bland annat tvättning för att konstruktionen inte ska påverkas av salter. Var sjätte till tionde år behöver betongbroar impregneras för att skyddas mot salter, se videofil (Trafikverket, 2012). Stålkonstruktioner skyddsmålas för att minska risken för korrosion (Trafikverket, 2015b). Trädetaljer som saknar inklädnad av plåt behöver ytbehandlas mot upptagning av vatten, snabbt fuktutbyte med omgivning, nedbrytning av träyta på grund av UV-ljus, erosion samt för att ge träet en önskad färg. Ytbehandlingen bör förnyas med några års mellanrum (Svenskt Trä, 2003b).

För att förlänga brons livslängd behövs även vid behov vissa konstruktionsdelar bytas ut samt förstärkas. Detta kan vara bärande delar men även andra element som till exempel ett tätskikt som finns under asfalten på betongbroar för att skydda betongen mot nedbrytning. Byten av konstruktionsdelar kräver ibland större och tidkrävande byggnationer. Kostnadsmässigt är förebyggande underhåll det mest effektiva (Trafikverket, 2015b).

En drift- och underhållsplan kan upprättas för att få en översikt av de återkommande kontroller av konstruktionens tillstånd som måste göras under brons livslängd (TRVR 2011:086, 2011). Följande broar kräver att en drift och underhållsplan skall upprättas: hängbroar, snedkabelbroar, bågbroar, broar med spännvidd längre än 100 m, broar längre än 500 m, öppningsbara broar samt broar som har bakåtförankrade stödkonstruktioner (TVRK 2011:085, 2011).

### 6.2.2 Avhjälpande underhåll

Behovet av avhjälpande underhåll utförs först då skadan uppträtt, vilket gör att underhållet snabbt måste planeras (Trafikverket, 2015b). Om betongens funktion är

nedsatt på grund av urlakning eller vittring ska åtgärder vidtas (TDOK 2013:0415, 2013). I betongkonstruktionen kan det täckande betongskiktet bytas ut eller kompletteras vid behov för att skydda mot karbonatisering (VV 2006:146, 2006, s. 24). Detsamma gäller om armeringens bärförmåga blivit nedsatt på grund av korrosion (TDOK 2013:0415, 2013).

## **7 Ekonomi och brogestaltning**

För att tillgodose samhällets intresse läggs vikt vid hur broar utformas, samt hur kostnadseffektiva de kan göras. Detta kommer behandlas vidare i detta kapitel.

### **7.1 Brogestaltning**

Vid utformning av broar är det viktigt att bron följer vägens linjeföring och inte blir ett avbrott i vägen varken i profillinjen eller i horisontalplanet. Stoppsikten ska tas hänsyn till vid krökning av både vertikal- och horisontalkurvor, broräcken kan komma att skymma sikten i en horisontalkurva. Om bron finns på krönet i en vertikalkurva bör den även vara i en horisontalkurva för att förbereda föraren på bronns linjeföring. Det är också viktigt att ta hänsyn till bronns läge och hur den kommer att påverka sin omgivning (Vägverket, 1996).

### **7.2 Ekonomi**

Det övergripande målet vid bebyggelse av vägar och broar är att de ska bidra till en samhällsekonomiskt hållbar utveckling. Kostnaden av bron ska vägas upp av den samhällsekonomiska nyttan som bron eller vägen tillför (Trafikverket, 2015d).

Kostnaden för broar varierar då förutsättningar skiljer sig åt. För att uppskatta priset jämförs den vanligtvis med tidigare byggda broar av samma typ. Det som oftast är avgörande för kostnaden är grundläggningen och stödkonstruktionerna eftersom brobanan sällan skiljer sig mycket i pris (Vägverket, 1996).

## 8 Brokoncept

Nedan behandlas och elimineras koncept utifrån ovanstående litteraturstudie. Därefter presenteras de sex mest lämpliga brokoncepten.

### 8.1 Identifiering av lämpliga koncept

Det finns fördelar och nackdelar med alla verkningssätt och material som presenteras i rapporten. För att avgöra vilka koncept som är mest fördelaktiga vid konstruktionen av denna bro utvärderas hur väl verkningssätten och materialen fungerar vid de aktuella förutsättningarna. De koncept som anses fördelaktiga kommer att presenteras och behandlas vidare utifrån uppställda kriterier för en mer ingående bedömning i nästa avsnitt.

- **Bågverkan** - Valvbroar väljs bort då de är materialineffektiva och inte uppfyller kravet på fri höjd under brobanan. Bågbroar är mer materialeffektiva och de kan anpassas till platsens förutsättningar genom att bågen placeras över brobanan. Bågbroar väljs oftast där det finns höga krav på brons estetik, då produktionskostnaden för en bågbro är hög. Därmed kommer bågbroar inte att behandlas vidare.
- **Balkverkan** - Balkbroar finns i många olika utföranden och anses fördelaktigt vid aktuella spännvidder. Utföranden som kommer att behandlas vidare är fackverksbro, balkbro i betong och samverkansbalkbro. Fackverksbroar kommer att undersökas vidare eftersom de är materialeffektiva och kan konstrueras i olika material, och med olika antal stöd. Balkbro i betong kommer undersökas vidare då det är en kostnadseffektiv och välbeprövad lösning. Vidare kommer även en samverkansbro i stål och betong att undersökas då metoden väl utnyttjar både stålets och betongens egenskaper.
- **Ramverkan** - En balkrambro med spännarmerad betong kan utföras i spännvidder upp till 50 m vilket medför att denna typ kan vara ett fördelaktigt alternativ. Ett utförande som kommer att behandlas vidare är en balkrambro i armerad betong med snedbening.
- **Linverkan** - Snedkabelbroar och hängbroar väljs bort då de mest används vid större spännvidder.
- **Material** - Stål, trä och betong är material som kommer att bearbetas vidare i koncepten. Kompositmaterialet FRP har valts bort då det innebär stora investeringskostnader. En annan nackdel är att det är ett relativt obeprövat material i Sverige.

### 8.2 Introduktion till valda brokoncept

Efter utvärdering av verkningssätt och material som presenterats i föregående avsnitt har följande sex koncept tagits fram:

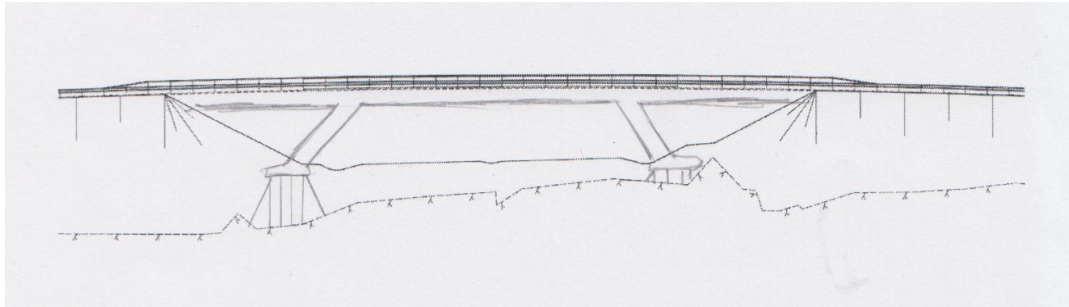
- Balkrambro i betong med snedbening
- Kontinuerlig balkbro i förspänd betong med tre stöd
- Kontinuerlig balkbro i förspänd betong med fem stöd
- Samverkansbalkbro i stål och betong med tre stöd
- Fackverksbro i stål

- Fackverksbro i trä

Dessa sex koncept presenteras utifrån materialval och konstruktion nedan.

### 8.2.1 Balkrambro i betong med snedbening

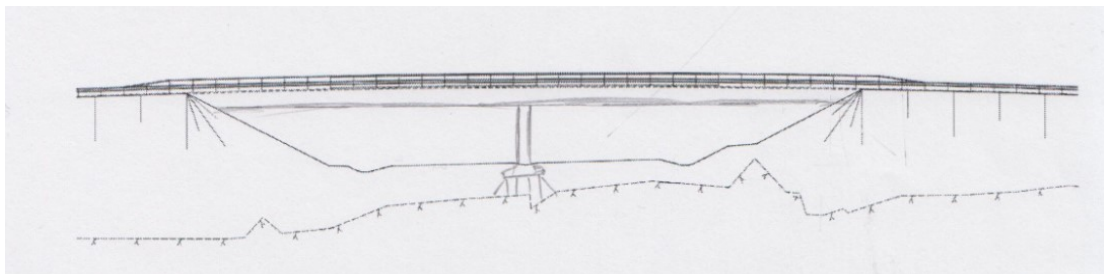
De sneda stöden som möjliggör ett kortare mittspann än om stöden hade gjorts raka, placeras på var sida om väg 40. Dessa stöd kommer vara sammangjutna med den kontinuerliga brobanan. Mittspannet kommer att göras cirka 30 m långt medan sidospannen blir cirka 15 m långa, se Figur 17.



Figur 17 Snedbenad balkrambro.

### 8.2.2 Kontinuerlig balkbro i förspänd betong med tre stöd

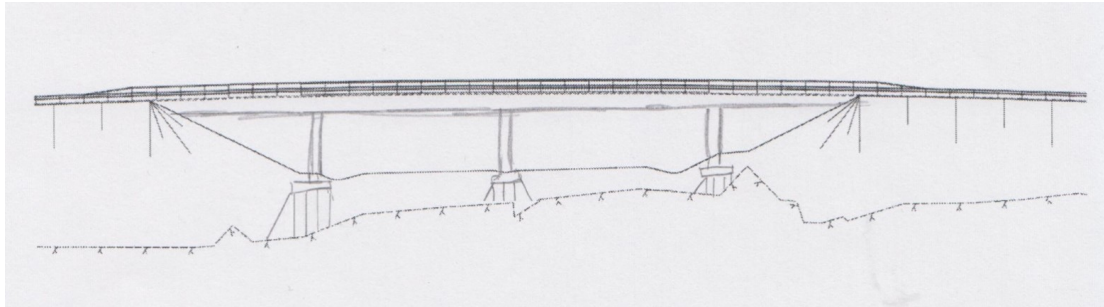
Konceptet har två landfästen och ett mittstöd som kommer vara placerat mellan de två mötande vägbanorna som passerar under bron, se Figur 18. Bron kommer att vara kontinuerlig över mittstöd för att undvika övergångskonstruktioner. En risk med en kontinuerlig bro är att det tillkommer spänningar i brobanan om mittstödet sätter sig. På platsen för bron är de geotekniska förhållandena goda och därmed bör sättningarna inte bli stora.



Figur 18 Kontinuerlig balkbro med tre stöd.

### 8.2.3 Kontinuerlig balkbro i förspänd betong med fem stöd

En variant av det tidigare konceptet är att ha fem stöd; varav två landfästen, ett på var sida om och ett mellan körfälten, se Figur 19. Att använda fler stöd kan medföra att brobanans konstruktionshöjd kan minskas eftersom spännvidden blir kortare. I övrigt är koncepten likvärdiga.



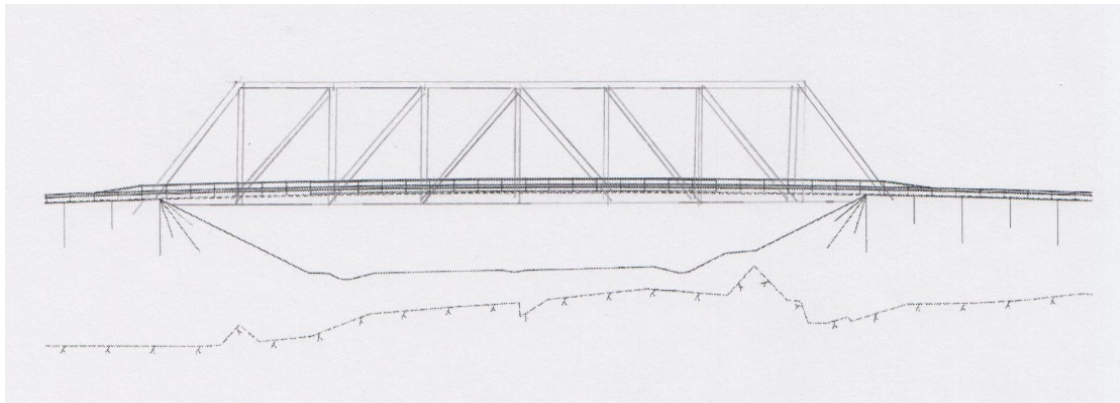
Figur 19 Kontinuerlig Balkbro med fem stöd.

## 8.2.4 Samverkansbro i stål och betong med tre stöd

I detta koncept (se Figur 18) samverkar betong och stål för att ta upp drag och tryck på ett materialeffektivt sätt genom att stålet blir draget och betongen tryckt. Balkarna utgörs av stålprofiler med I-tvårsnitt där den övre flänsen fungerar i samverkan med vägbanan i betong för att ge en effektiv konstruktion. Konstruktionen kommer att vara kontinuerlig över mittstödet vilket innebär att betongen kommer att bli dragen och stålet tryckt vid stödet. Detta medför risker vilka beaktas i beräkningsmodellen. En balk som är kontinuerlig över stöd medför även att tvärkraften blir maximal där, vilket kan omhändertas genom att stålbalckens liv görs tjockare vid stödet.<sup>13</sup>

## 8.2.5 Fackverksbro i stål

Konceptet fackverksbro i stål med spännvidden 60 m kommer vara fritt upplagd mellan stöden, se Figur 20. Fackverksbroar är fördelaktiga att bygga då en hög materialeffektivitet eftersöks vilket medför en minskad egenvikt. En fördel med fackverksbron är att vägbanan bärs upp från ovan vilket medför att kravet på den fria höjden undertill uppfylls. Farbanan kan bestå av en platsgjuten betongplatta eller prefabricerade betongelement.



Figur 20 Fackverksbro i stål.

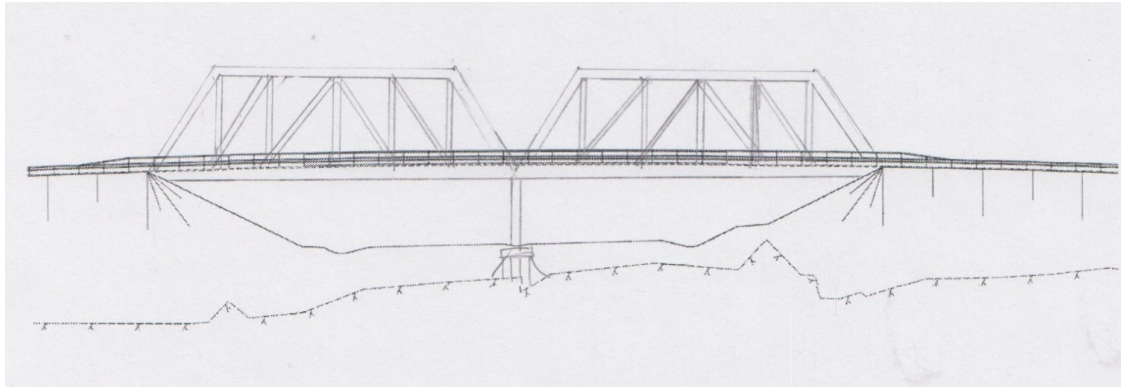
## 8.2.6 Fackverksbro i trä

Konceptet fackverksbro i trä med spännvidden 30 m utgörs av två sektioner som är fritt upplagda mellan änd- och mittstöd, se Figur 21. Fackverksbron i trä kräver en lätt farbana, förslagsvis av en ortotrop stålplatta med däcksplåt, längsgående

<sup>13</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör, COWI) Handledarmöte 23 februari 2016.



sekundärbalkar och tvärbalkar. Ett alternativ till den ortotropa farbanan är en enkelspänd farbana med tvärbalkar.



*Figur 21 Fackverksbro i trä.*

## 9 Urvalsprocess

Kapitlet behandlar urvalsprocessen tills det slutgiltiga konceptet nås. Först presenteras kriterierna och viktas mot varandra, för att sedan användas vid urvalsprocessen för brokoncept.

### 9.1 Kriterium

Nedan presenteras de kriterium som kommer ligga till grund för den slutgiltiga urvalsprocessen. Viktning av kriterium gör med hjälp av en matris.

#### 9.1.1 Estetik

Ombyggnationen av väg 40 till motorväg omfattas av vissa gestaltungskrav. Vägen skall utformas med mjuka horisontalkurvor som sammanbinds utan raksträckor. Bergskärningar, slänter, vägräcken och broar påverkas av dessa krav. Vägen kommer att innebära ett intrång i landskapet, men målet är att anpassa den nya vägen till det och på så sätt minimera påverkan (Vägverket, 2008).

Vid bedömning av olika brokoncept kommer hänsyn därmed tas till hur väl bron smälter in i landskapet, hur körupplevelsen för trafikanterna på väg 40 påverkas samt hur trygg bron upplevs av fotgängare och cyklister.

#### 9.1.2 Kostnad

För att få en översiktlig uppfattning av brokostnader för olika broar kan referensbroar användas genom att liknande broars kostnader beaktas och utifrån det uppskatta byggkostnaden för de olika koncepten. Om ingen referensbro hittas kommer koncepten att bedömas utifrån vedertagna prisuppfattningar.

#### 9.1.3 Inspektion

Det ska vara enkelt och kostnadseffektivt att inspektera bron. Konstruktionens detaljrikedom ligger i relation till mängden inspektion som krävs. Därför bedöms koncepten utifrån åtkomlighet och detaljrikedom.

#### 9.1.4 Underhåll

Underhållet av bron ska vara enkelt och kostnadseffektivt att utföra. På samma sätt som för kriteriet inspektion kommer koncepten bedömas utifrån åtkomlighet och detaljrikedom.

#### 9.1.5 Återvinning

Materialen ska vara återvinningsbara och återanvändningsbara enligt beställarens krav, se Bilaga 1. Dock varierar omfattningen av materialens användningsområde efter brons livslängd vilket kommer ligga till grund för bedömningen av koncepten.

#### 9.1.6 Lokala material

Om materialet i den bärande konstruktionen finns att tillgå lokalt bidrar det till en positiv miljöpåverkan då transportbehovet minskar. Koncepten bedöms därmed efter avstånd från producent till byggarbetsplats.

#### 9.1.7 Arbetsmiljö

Säkerheten för människor som befinner sig på arbetsplatsen ska vara så hög som möjligt. Det ska vara kontrollerade ljudnivåer och grundläggande rutiner som

exempelvis personlig skyddsutrustning ska följas. Ytterligare rutiner för olika arbetsmoment beroende på produktionsmetod ska finnas lätt tillgängligt och noggrant följas för att undvika personskador. Kriteriet arbetsmiljö kan även förbättras om byggtiden har en bra längd, är väl planerad samt om en större del av arbetet kan utföras på marken. Detta gör att stress på arbetsplatsen kan undvikas och på så sätt förebygga olyckor.

### 9.1.8 Trafiksäkerhet

Alla koncept skall medföra att både väg 40 och vägen på bron är trafiksäkra. I kriteriet trafiksäkerhet undersöks hur stor risk det är att något av stöden blir påkörda. Broar skall utformas så att trafikanterna på motorvägen har lätt att se vad som händer i trafiken längre fram på vägen.

### 9.1.9 Byggtid

Tiden att bygga bron ska vara så kort som möjligt då denna är starkt kopplad till den totala kostnaden. Det är produktionen och dess tidsåtgång som påverkar den totala kostnaden mest<sup>14</sup>. En kort byggtid medför också en lägre påverkan på den rådande trafiksituationen. Detta är dock inget som i detta fall behöver beaktas då projektet inte kommer ha någon inverkan på befintlig trafik. Byggtiden påverkas främst av vilken produktionsmetod som används och projektets omfattning. Användning av stora mängder tillfälliga konstruktioner förlänger tiden, medan montering av färdiga segment förkortar den. Något annat som också påverkar är hur vanlig och beprövad metoden är.

### 9.1.10 Kriteriematris

För att kunna jämföra de uppställda kriterierna görs en viktning med hjälp av en kriteriematris (se Tabell 1). De rangordnas och en procentsats tas fram så att dessa får en rättvis inverkan i beslutsmatrisen. Kriteriematrisen visar på viktning av utvärderingskriterium, där kriterierna jämförs radvis. + innebär att kriteriet på raden är, enligt bedömning, viktigare än det i kolumnen och tvärtom med -. 0 sätts då ett kriterium inte kan jämföras med sig själv.

Tabell 1 Kriteriematris.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	summa	rank	procent
1. Estetik	0	-	-	-	-	-	-	-	+	1	6	3%
2. Kostnad	+	0	-	-	+	+	-	-	+	4	5	11%
3. Inspektion	+	+	0	+	-	+	-	-	+	5	4	14%
4. Underhåll	+	+	-	0	-	+	-	-	+	4	5	11%
5. Återvinning	+	+	+	+	0	+	-	-	+	6	3	16%
6. Lokala material	+	-	-	-	-	0	-	-	-	1	6	3%
7. Arbetsmiljö	+	+	+	+	+	+	0	-	+	7	2	19%
8. Trafiksäkerhet	+	+	+	+	+	+	+	0	+	8	1	22%
9. Byggtid	-	-	-	-	-	+	-	-	0	1	6	3%
										37		

<sup>14</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör, COWI) Handledarmöte 23 februari 2016

## 9.2 Jämförelse beslutsriterium

I följande kapitel jämförs de återstående koncepten utifrån uppställda kriterier. Jämförelserna ligger till grund för poängsättningen i beslutsmatrisen som senare presenteras.

### 9.2.1 Estetik

Brostödens utformning samt hur slank konstruktionen är avgör hur trafikanter uppfattar vägen. De koncept som har färre eller mer eleganta stöd kommer värderas högre. Gruppens åsikter angående konceptens utformning och estetik kommer också påverka värderingen. De broar som anses ha slank konstruktion är samverkansbron samt balkbroarna i betong. Konstruktioner med hög konstruktionshöjd, såsom fackverksbroarna, kommer att värderas lägre då de inte smälter in i landskapet.

### 9.2.2 Kostnad

Rambroar är som ovan nämnt den vanligaste brotypen i Sverige och även den ekonomiskt mest fördelaktiga (Vägverket 1996). Snedbeningen medför dock att både dimensioneringskostnaderna och produktionskostnaderna blir större<sup>15</sup>. Därmed anses denna lösning något dyr.

Vägbroar med fackverk i stål byggs inte längre i Sverige på grund av de höga produktionskostnaderna. Fackverksbroar i trä byggs vanligtvis bara som GC-broar eftersom de anses dyra (Trafikverket, 2014b).

En platsgjuten bro i förspänd betong är en billig konstruktion. En liknande bro byggdes år 2003 vid Hogstorp för 4 Mkr (Hjelm & Karlsson, 2014). Denna bro har 2 korta spann på 2,1 m och två längre på 29 m, vilket gör den väldigt lik förutsättningarna vid Hössnamotet. Koncepten i förspänd betong kommer därmed att anses mycket fördelaktiga ur kostnadsmässig synpunkt.

Samverkansbron i betong och stål anses relativt billig eftersom en liknande bro byggdes över Gårdaån år 2012 med bredden 10 m och längden 79 m, uppdelat i tre spann där det längsta är 30 m (Hjelm & Karlsson, 2014). Förhållandena vid Hössnamotet ser annorlunda ut eftersom grundläggningen är enklare samt att bron är kortare. Därmed uppskattas kostnaden för en samverkansbro till  $\frac{3}{4}$  av kostnaden för bron över Gårdaån (8,3 Mkr) vilket blir 6,2 Mkr.

### 9.2.3 Produktion

Då området under den kommande bron är obebyggt är det mest ekonomiskt lönsamt att bygga temporära formar för balkbroarna och platsgjuta dessa i betong<sup>16</sup>. Den produktionsmässiga skillnaden mellan koncepten med vertikala stöd och snedbeningen är främst att kopplingen mellan överbyggnaden och mittstöden för vertikala stöd ska vara av rullager. För konceptet med snedbening kommer rullager endast finnas vid landfästena och stöden gjuts ihop med överbyggnaden till en solid kropp. Därmed kommer övergångar mellan de stöden och överbyggnaden byggas bort med hjälp av snedbeningen. Utifrån ovanstående förutsättningar kommer de platsgjutna

---

<sup>15</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör, COWI) Handledarmöte 23 februari 2016.

<sup>16</sup> ibid.

betongbroarna anses mindre fördelaktiga ur byggtid- och arbetsmiljösynpunkt. De koncept med färre stöd kommer värderas högre än de med fler.

I samverkansbalkbron kommer I-balkarna av stål skarvas ihop till önskad längd på marken, innan de med hjälp av en kran lyfts upp på landfästena och mittstöden. Kopplingen mellan överbyggnaden och stöden kommer här utgöras av allsidiga och ensidigt rörliga lager. Gjutformen kan med fördel monteras fast på I-balkarna innan lyftet. Då konstruktionen satts på plats, gjuts betongen i formen. Samverkan mellan betongfarbanan och stålbalkarna i detta koncept fås genom svetsbultar. Eftersom arbetet till stor del kan utföras under väl kontrollerade förhållanden kommer samverkansbron att anses fördelaktig med avseende på byggtid och arbetsmiljö.

Fackverksbroarna i trä och stål kommer att prefabriceras på fabrik under kontrollerade förhållanden. Bron transporteras segmentvis till byggarbetsplatsen för ihopsvetsning alternativt bultning. Med hjälp av en kran lyfts sedan bron på plats och monteras ihop med dess tvärbalkar för att uppnå stabilitet. För fackverksbron i stål kommer farbanan att platsgutas i betong. I konceptet fackverksbro av trä är det bättre att använda sig av en brobana i stål på grund av den platsgjutna betongens höga egenvikt<sup>17</sup>. Därmed kommer fackverksbroarna anses fördelaktiga.

#### 9.2.4 Förvaltning

Balkbroarna av betong har olika antal stöd och upplagskonstruktioner, vilka kräver inspektioner samt underhåll. Åtkomligheten anses bra och detaljrikedomen låg. Balkrambron skiljer sig från de andra betongbroarna då brobanan och pelare ska vara sammangjutna, vilket betyder att inga lager förekommer vid stöden. Balkrambron bedöms därför vara enklast att inspektera och underhålla.

Samverkansbron med tre stöd kommer att utgöras av primärbalkar och tvärbalkar i stålprofiler med I-tvårsnitt, vilket gör åtkomligheten mer besvärlig. Då stålbalken kommer bestå av mindre sektioner som svetsas och bultas ihop tillkommer detaljer.

Vid inspektion och underhåll av en fackverksbro är det mycket detaljer som måste undersökas, dessa kan leda till höga förvaltningskostnader. Då den bärande konstruktionen ligger ovanför brobanan kan en stor del av förvaltningsarbetet utföras utan störningar i trafiken på väg 40. En skillnad mellan fackverksbroarna är att det förekommer detaljer och ett mittstöd hos den i trä som kräver förvaltningsåtgärder. De behöver även genomgå olika materialspecifika inspektioner och underhåll.

#### 9.2.5 Miljö

Balkrambron, balkbroarna med tre och fem stöd samt brobanan i samverkansbron består av betong som är helt återanvändningsbart. Dock används det nästan enbart som krossmaterial. Betong bedöms vara en lokalt tillverkad produkt då det finns leverantörer av färskbetong i Göteborg, Västra Götaland cirka 10 mil från byggplatsen.

Fackverksbron i stål utmärker sig då hela det primära bärande systemet består av stål, vilket leder till att en stor mängd stål kommer att behöva produceras för att bygga bron. Stål betraktas inte som lokalt tillgängligt då det inte finns något stålverk som producerar konstruktionsstål i Västra Götaland. Som nämnts tidigare är stål ett material med stor miljöpåverkan vid produktion, dock är materialåtervinningsgraden hög.

---

<sup>17</sup> Magnus Bäckström (Brokonstruktör, COWI) Handledarmöte 23 februari 2016.

Fackverksbron i trä innehåller stål vars miljöpåverkan beskrivs ovan. Som nämnts ovan är trä miljövänligt då det är en förnyelsebar resurs och som är fullt återvinningsbar. Trä bedöms vara lokalt tillgängligt då det finns producenter av limträ i Västra Götaland.

## 9.2.6 Beslutsmatris

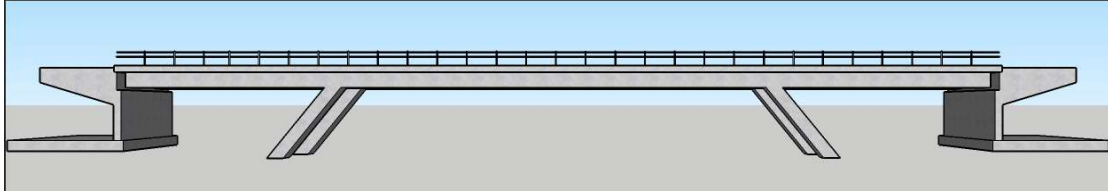
Då det mest lämpliga konceptet tas fram ställs en beslutsmatris (se Tabell 2) upp där brokoncepten poängsätts utifrån hur väl de uppfyller uppställda kriterium. Poängskalan går från 1 till 5, där 5 innebär att kriteriet är väl uppfyllt. Betyget multipliceras med en faktor som framtagits i kriteriematrisen, för att sedan summeras. Det koncept med högst poäng blir det slutgiltiga koncept som behandlas vidare. Beslutsmatrisen visar poängsättning av kvarvarande koncept, där konceptet med högst poäng blir det slutgiltiga. Högst poäng fick Balkrambro med sneda stöd.

Tabell 2 Beslutsmatris.

	Faktor	Balkrambro med sneda stöd		Balkbro med tre stöd		Balkbro med fem stöd		Samverkansbro		Fackverksbro stål		Fackverksbro trä	
		Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning
Estetik	3%	4	0,12	3	0,09	2	0,06	3	0,09	3	0,09	4	0,12
Kostnad	11%	3	0,33	5	0,55	5	0,55	4	0,44	1	0,11	1	0,11
Inspektion	14%	5	0,7	4	0,56	4	0,56	3	0,42	2	0,28	1	0,14
Underhåll	11%	5	0,55	4	0,44	4	0,44	3	0,33	2	0,22	1	0,11
Återvinning	16%	3	0,48	3	0,48	3	0,48	4	0,64	5	0,8	5	0,8
Lokala material	3%	5	0,15	5	0,15	5	0,15	3	0,09	2	0,06	4	0,12
Arbetsmiljö	19%	4	0,76	4	0,76	4	0,76	5	0,95	5	0,95	5	0,95
Trafiksäkerhet	22%	4	0,88	3	0,66	2	0,44	3	0,66	5	1,1	3	0,66
Byggtid	3%	3	0,09	3	0,09	2	0,06	5	0,15	4	0,12	4	0,12
Summering poäng			Σ 4,06		Σ 3,78		Σ 3,5		Σ 3,77		Σ 3,73		Σ 3,13

## 10 Slutgiltigt koncept

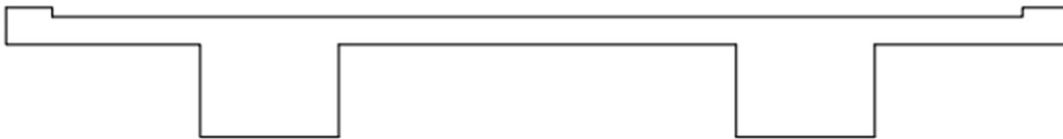
Förstudien resulterade i en spännarmerad balkrambro med snedbening, se Figur 22. I följande kapitel presenteras konceptet utifrån de slutliga resultaten från gjorda beräkningar, bestående av bland annat tvärsnittsutformning, pelare och bottenplatta. Dessutom framförs förslag på produktionsgång, förvaltning och ett uppskattat anbudspris för brons överbyggnad. Även redogörelser av detaljer såsom avvattningssystem, räcken och utformning av stöd kommer föreligga.



Figur 22 Balkrambro med snedbening och landfästen.

### 10.1 Tvärsnittsutformning

Broplattan sammangjuts med längsgående balkar för att utnyttja broplattan som fläns, se Figur 23. Broplattan kommer ha en tjocklek på 0,3 m och de längsgående balkarna en höjd på 1 m och en bredd på 1,5 m. Dessa tillsammans med en beläggning på 0,1 m ges därmed en total konstruktionshöjd på 1,4 m, vilket ger ett utrymme för en nedböjning på 74 mm utifrån krav på fri höjd.



Figur 23 Principskiss på brons tvärsnitt.

### 10.2 Räcken

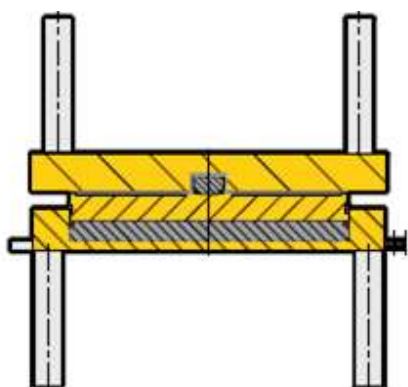
Räcket ska bestå av räckesståndare med topp- och navföljare av rörprofil. Räckesståndarna skruvas fast i kantbalken. Broräcket samt detaljer ska utformas enligt Bilaga 1.

### 10.3 Utformning av stöd

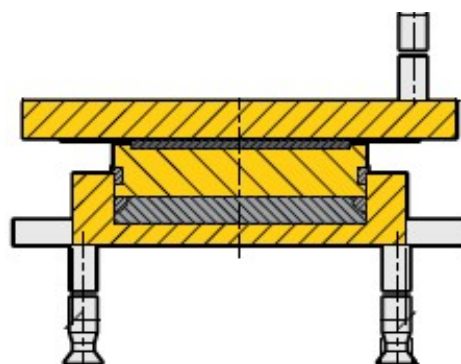
Brobanan kommer delas upp i tre spann. Mittspannet bärs primärt upp av två snedbenta balkramar i betong som gjuts ihop i brobanan. För att skapa styvhet i bron är snedbeningarna fast inspända i de längsgående balkarna och i pådäcket, se Bilaga D1. Detta åstadkoms genom att gjuta ihop platta, pelare och långbalk. Pelarnas tvärsnitt är 0,8 m högt och 1,5 m brett, detta för att få en slät konstruktion som följer långbalkarnas dimensioner. De är 6,305 m långa och har en vinkel från marken på  $50,62^\circ$ . Vid bro- och pelaranslutningar kommer tvärbalkar att gjutas för att skapa styvhet mot vrid- och vindlast.

De två yttre spannen bärs delvis av balkramarna och delvis av en frontmur i varje ände av bron. Krafterna överförs från överbyggnad till underbyggnad genom lager som placeras på lastpallarna på landfästet. Enligt Bilaga 1 ska bron utföras med CE-märkta topflager. Lager hanterar horisontella krafter och rörelser längs med och tvärs bron,

såsom broms-, accelerations-, vind-, och temperaturlaster. Varje landfäste förses med två lager vardera, varav det ena kommer vara ett allsidigt rörligt lager (se Figur 25) som inte upptar horisontalkrafter, och det andra av typen ensidigt rörligt lager (se Figur 24) som därmed tar upp horisontalkrafter i en riktning. Vid snedbeningarna kommer tvångskrafter uppstå, då övergången där kan ses som näst intill fast inspänd. Detta kan efterliknas vid fasta lager. På grund av temperaturlaster kan rörelser på 9,6 mm i längsled och 3,1 mm i tvärlid uppstå enligt Bilaga C1. En uppskattning av vindlasten har beräknats i Bilaga C2. Dessa laster, tillsammans med förväntade broms- och accelerationslaster, anses kunna hanteras av ovan beskrivna lager.



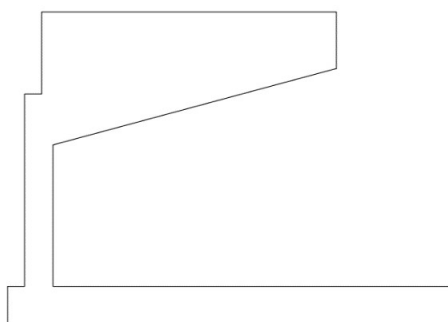
Figur 24 Ensidigt rörligt lager (Internordisk spännarmering AB, u.å).



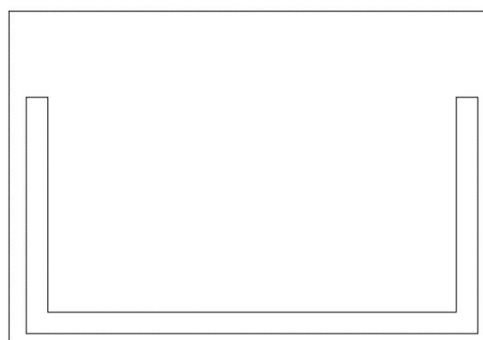
Figur 25 Allsidigt rörligt lager (Internordisk spännarmering AB, u.å).

## 10.4 Grundläggning

För grundläggningen av frontmurarna gjuts en platta med de preliminära måtten 6,83 x 11,26 m för att främst ta upp vertikala krafter. Landfästen utformas enligt Figur 26 och 27. Grundläggningen av de sneda balkramarna kommer ske med hjälp av spetsburna pålar, vilka kommer ta upp både horisontella och vertikala krafter. Pålarna gjuts samman med plattan och bildar ett påldäck, se Figur 28.

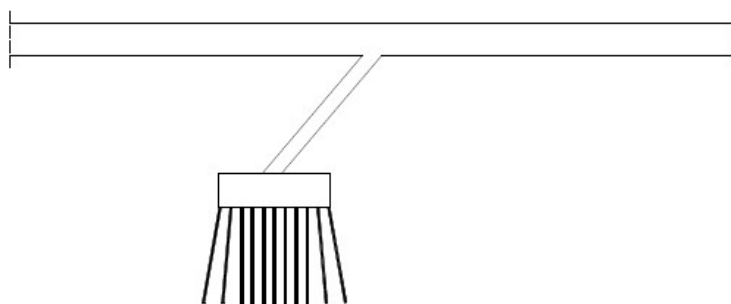


Figur 26 Landfäste och bottenplatta från sidan.



Figur 27 Landfäste och bottenplatta ovanifrån.





Figur 28 Principskiss över påldäck.

## 10.5 Avvattningssystem

Vägens längslutning samt bombering kommer leda dagvatten av bron samt till ytavloppen. Enligt Bilaga 1 ska bron ha två ytavlopp. Dessa ska leda bort dagvattnet från brobanan och vidare till befintliga diken för att inte påverka marken under bron och vägen.

## 10.6 Produktion

Produktionsarbetet börjar med markarbete, vilket innebär att schaktning sker till den nivå där ändstödens bottenplattor ska gjutas. Detta sker enligt grundläggningsmetoden platta på mark. Därefter sker gjutningen av ändstöden och vingmurarna som vidare fylls med sprängsten. Pelarna grundläggs genom att spetsburna pålar slås ner till berg. Därefter gjuts pålarnas överkant ihop och bildar ett påldäck som verkar för att ta upp de horisontella och vertikala krafterna från pelarna.

Vidare fortsätter produktionsarbetet med den platsbyggda gjutformen, vilket kräver stora mängder tillfälliga konstruktioner. Formbygget påbörjas med brobanan då denna del av formen kräver längst byggtid. Detta arbete fortgår samtidigt som stöden successivt börjar gjutas. Genom armeringsinläggning gjuts stöd och påldäck samman och bildar en, näst intill, fast inspänning. En kontinuerlig koppling mellan brobanan och stöden åstadkoms vid stödets övre ände. Beslutet har tagits för att bygga bort och erhålla så få övergångskonstruktioner som möjligt. Brobanans form armeras sedan med erforderlig mängd armering och foderrör till spännarmeringen, för att slutligen gjutas ihop med stöden. Då överbyggnaden delvis härdat efterspänns armeringen genom att spännarmering matas in i foderrören och spänns till önskad kraft.

Efter färdigställd överbyggnad påbörjas beläggningsarbetet och även efterarbetet, med exempelvis montering av räcken. Arbetsområdet ska, i så stor utsträckning som möjligt, lämnas i sitt ursprungsläge.

## 10.7 Förvaltning

Det slutgiltiga konceptet är som tidigare nämnts fördelaktigt utifrån förvaltningssynpunkt. Detta gäller materialval såväl som utformning. Konstruktionen är sammangjuten vilket skapar få detaljer som kräver inspektion och underhåll. Konstruktionselementen kommer inspekteras utifrån de punkter som tidigare nämnts.

## 10.8 Ekonomi

För att göra en uppskattning av investeringskostnaden för bron har en överslagsberäkning av överbyggnadens materialkostnader gjorts. Materialkostnaderna är inklusive arbete och redovisas i Tabell 3 nedan (Hjelm, M., Karlsson, N., 2014). Beräkningarna redovisas i Bilaga C4. Beräkningen är överlagsmässig och inkluderar

inte tvärkraftsarmering, pelare, grundläggning och landfästen. Beräkningen inkluderar inte heller de konstruktionsdelar som inte behandlats i rapporten. Enligt överslagsberäkningen uppgår överbyggnadens kostnad till 5,6 miljoner kronor.

*Tabell 3 Investeringskostnader.*

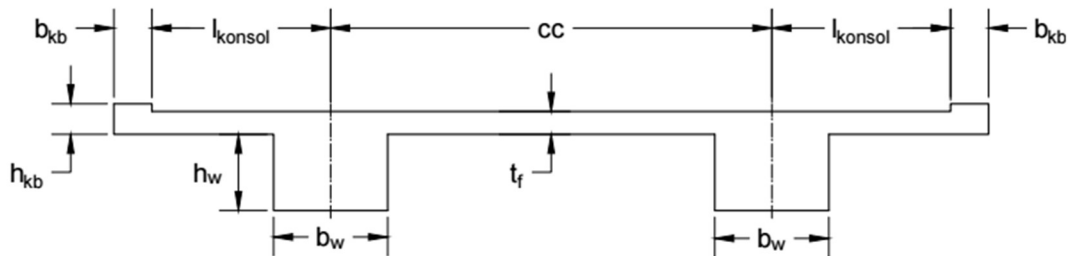
Investeringskostnader	Enhetspris	
Betong	1800	kr/m <sup>3</sup>
Formarbete	550	kr/m <sup>2</sup>
Slakarmering	13200	kr/ton
Spännarmering	380	kr/m
Tätskikt och beläggning	1610	kr/m <sup>2</sup>

# 11 Preliminär beräkning

Kapitlet behandlar och beskriver en preliminär dimensionering av bron med hänsyn till moment och tvärkraft. Utifrån framtagna värden på dessa har beräkningar för överbyggnad, liv och bottenplatta genomförts i brott- och bruksgränstillstånd.

## 11.1 Preliminärt tvärsnitt

Tjockleken på liven i T-tvärsnitten itererades fram. En bedömning av det framtagna värdets rimlighet gjordes utifrån likartade broar som tidigare konstruerats. Tvärsnittets höjd, fördelat på livens höjd och broplattans tjocklek itererades fram tills lämpliga mått uppnåts. Kantbalkens bredd angavs i Bilaga 1 och dess höjd antogs. Konsolernas längd sattes till 40 procent (Vägverket, 1996) av centrum- centrumavståndet mellan de längsgående balkarna. Se Figur 29 och Tabell 4 för tvärsnittets mått.



Figur 29 Brons tvärsnitt.

Tabell 4 Tvärsnittets preliminära mått.

Benämning	Mått [mm]
$b_{kb}$	500
$h_{kb}$	400
$l_{konsol}$	2350
$h_w$	1000
$b_w$	1500
$t_f$	300
cc	5800

## 11.2 Säkerhetsklass

Byggnader som vid brott kan orsaka allvarliga personskador ska klassificeras med säkerhetsklass 3. Säkerhetsklassen ska även användas om många personer vistas på, vid eller intill byggnaden eller om ett brott skulle leda till omedelbar kollaps vid brott. Utifrån dessa förutsättningar tilldelas bron säkerhetsklass 3 (TRVFS 2011:12).

Dimensioneringen av bron genomförs med hjälp av partialkoefficientmetoden, där säkerheten beaktas med en så kallad partialkoefficient. Partialkoefficienten  $\gamma_d$  som används vid dimensionering i brottgränstillstånd, sätts med hänsyn till säkerhetsklass 3 till 1,0.

## 11.3 Exponeringsklasser

Hur aggressiv en betongkonstruktions omgivning är klassificeras genom olika exponeringsklasser. Klassificeringen sker utifrån den miljö där byggnaden finns och kan se olika ut för olika byggnadsdelar (Svensk Betong, u.å). Denna bro delas upp i överbyggnad, kantbalk, landfäste och pelare och dessa kommer vidare klassificeras med en eller flera exponeringsklasser. Intressanta exponeringsklasser utifrån den tekniska beskrivningen avser:

- **XC:** Korrosion föranledd av karbonatisering
- **XD:** Korrosion orsakad av andra klorider än de från havsvatten
- **XF:** Angrepp av frysning/tining

Ur dessa huvudgrupper av exponeringsklasser anses nedanstående klasser vara relevanta enligt de förutsättningar som finns för bron.

- **XC2:** Våt, sällan torr. Betongytor utsatta för långvarig kontakt med vatten. Många grundkonstruktioner.
- **XC4:** Cykliskt våt och torr. Betongytor i kontakt med vatten, inte tillhörande exponeringsklass XC2
- **XD1:** Måttlig fuktighet. Betongytor utsatta för luftburna klorider.
- **XD3:** Cykliskt våt och torr. Brodelar utsatta för stänk innehållande klorider, exempelvis beläggningar, bjälklag i parkeringsanläggningar.
- **XF4:** Nära vattenmättad, med avsningsmedel eller havsvatten. Väg- och brofarbanor utsatta för avsningsmedel. Betongytor utsatta för direkt stänk innehållande avsningsmedel och frysning.

Då stora delar av bron betongytor kommer vara i direkt kontakt med tösalt måste hänsyn till bron vägsmiljö tas. Området för bron vägsmiljö medför att exponeringsklasserna XD3 och XD4 väljs för överbyggnaden (TRVFS 2011:12). Då landfästena hamnar utanför bron vägsmiljö ska exponeringsklasserna XD1 och XF4 väljas för dessa byggnadsdelar. Mer översiktligt tilldelas alltså de olika byggnadsdelarna följande exponeringsklasser:

Överbyggnad	-	XD3, XF4
Kantbalk	-	XD3, XF4
Landfäste	-	XD1, XF4
Pelare	-	XD3, XF4

Tillåtna gränsvärden för aktuella exponerings- samt betongklasser redovisas i Tabell 5.

Tabell 5 Betongklass.

Exp.klass	XD1	XD3	XF2	XF4
Btgklass	C30/37	C35/45	C25/30	-
max vct	0,45	0,45	0,45	0,45
f <sub>ck</sub> [Mpa]	30	35	25	-
f <sub>cm</sub> [Mpa]	38	43	33	-

För att förenkla produktionen kommer hela konstruktionen att tilldelas exponeringsklasserna XD3 och XF4, vilket ger samma betongklass, C35/45, i alla delar. Utifrån betongklasserna framtofs  $f_{ck}$  och  $f_{cm}$  (Al-Emrani et al, 2013).

## 11.4 Täckande betongskikt och sprickbredd

Utifrån Tabell 4.3N i SS EN 1992-1-1 fås bärverksklasserna för respektive byggnadsdel fram, som sedan tillsammans med exponeringsklasserna ger minsta täckande betongskikt utifrån  $c_{\text{mindur}}$  (SS EN 1992-1-1 Tabell 4.4N och 4.5N). Tillåten sprickbredd fås även den genom exponeringsklass och är också beroende av om kvasipermanent eller frekvent lastkombination gäller (SS EN 1992-1-1 Tabell 7.1N). Tillåtna gränsvärden som fått fram och presenteras i Tabell 6 nedan.

Tabell 6 Tillåtna gränsvärden för brons konstruktionsdelar.

Byggnadsdel	Överbyggnad	Kantbalk	Landfäste	Pelare
Spännarmering	Ja	Nej	Nej	Nej
Bärverksklass	S4	S4	S5	S5
$c_{\text{mindur}}$ [mm]	55	45	50	50
Sprickbredd	0,15	0,15	0,15	0,15

## 11.5 Dimensionerande laster

För att beräkna dimensionerande moment och tvärkrafter för bron behöver lasterna som bron skall dimensioneras för först tas fram. Detta genomförs enligt Trafikverkets författningssamling TRVFS 2011:12 och enligt SS-EN 1991-2:2003.

Arbetet börjar med att körbanan delas in i tre lastfält och lastfältens bredd bestäms till 3 m. Återstående ytans bredd blir 1,5 m. Gång- och cykelbanan behandlas på samma sätt som körfälten då en framtida ökning av trafiken skall kunna tillgodoseas. Lastfälten numreras så att lastfält ett har den mest ogynnsamma effekten och lastfält två den näst mest ogynnsamma och så vidare. Därefter placeras laster ut i de positioner som ger de maximala fält- och stödmomentet samt den maximala tvärkraften. Lasterna bestäms enligt lastmodell 1 som består av en utbredd last och ett boggisystem per lastfält. Lasternas karakteristiska värden fås enligt Tabell 4.2 SS-EN 1991.

Filfaktorer beräknas för att bestämma hur stor del av all last en av långbalkarna utsätts för i de två lastfallen. Beräkningen redovisas i Bilaga B1 och filfaktorerna är beräknade enligt exempel från föreläsning<sup>18</sup>. Filfaktorerna multipliceras sedan med de variabla lasterna.

### 11.5.1 Lastkombination i brott- och bruksgränstillstånd

Lasterna kombineras i brottgränstillstånd enligt ekvation 6.10a och 6.10b i SS-EN 1990 där den ekvation som ger de största krafterna används. I bruksgränstillstånd kombineras lasterna enligt ekvation 6.14a-6.16b i SS-EN 1990. Lastkombinationerna har beräknats i funktionsfiler i programmeringsprogrammet MATLAB, se Bilaga A4 och Bilaga B3. Nedan redovisas de karakteristiska lasterna i bruksgränstillstånd för tvärläng och längsled samt filfaktorer som använts vid beräkningar i längsled, se Tabell 7 och 8.

---

<sup>18</sup> Sören Lindgren (Projektledare, Bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola) Föreläsning 16 februari 2016

Tabell 7 Karaktäristiska laster i tvärled.

Last	Storlek
$g$	7,50 kN/m
$g_{kb}$	10,0 kN/m
$G_r$	0,50 kN
$q_1$	2,52 kN/m
$q_2$	1,00 kN/m
$Q_1$	135 kN
$Q_2$	67,5 kN

Tabell 8 Karaktäristiska laster i längsled.

Last	Storlek lastfall 1	Filfaktor	Storlek lastfall 2	Filfaktor
$g$	94,45 kN/m	-	94,45 kN/m	-
$G_{pelare}$	30,00 kN/m	-	30,00 kN/m	-
$q$	10,07 kN/m	3,99	9,60 kN/m	3,81
$Q$	827,28 kN	1,53	881,28 kN	1,63

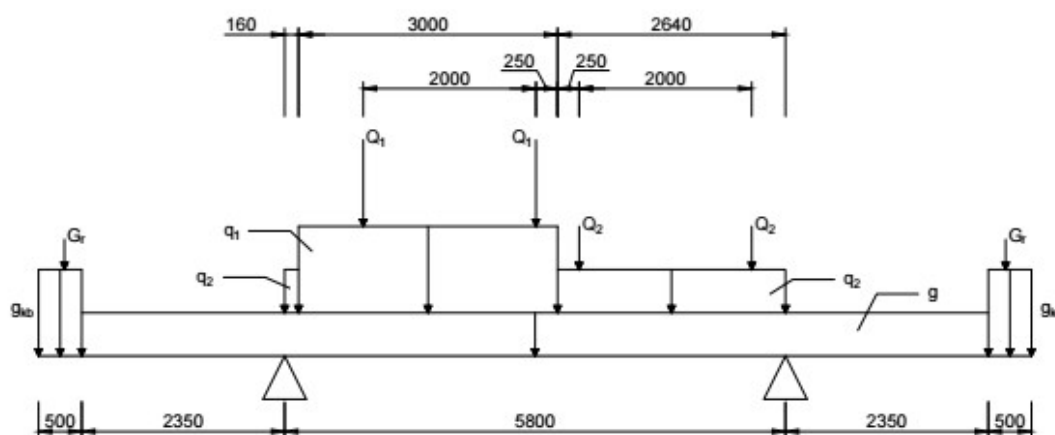
## 11.5.2 Lastfall

Lastfallen i längsled och tvärled har tagits fram för att kunna genomföra beräkningar i två kritiska snitt; över mittstöd och i mittfält.

### 11.5.2.1 Tvärled

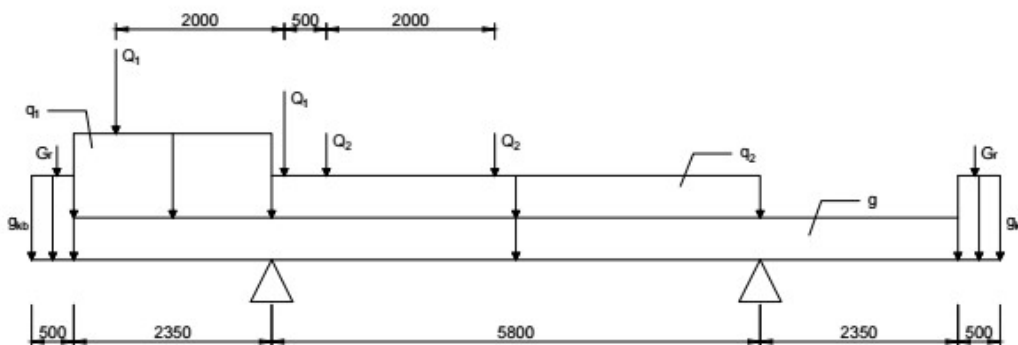
I tvärled genomförs beräkningar på en meterstrimla av plattan. Den modelleras som en fritt upplagd balk över två stöd med konsoler på vardera sida om stöden. Stöden utgörs av de längsgående balkliven. Eftersökta moment och tvärkrafter fås genom två lastfall.

Lastfall 1a med laster enligt Figur 30 ger det maximala fältmomentet. Punktlasternas positioner har tagits fram i MATLAB för att ge största möjliga moment enligt Bilaga A1.



Figur 30 Lastfall 1a.

Lastfall 2a med laster enligt Figur 31 ger det maximala stödmomentet och den maximala tvärkraften. De största lasterna placeras så långt ut på konsolen som möjligt medan de mindre lasterna placeras nära stödet i mittfacket.

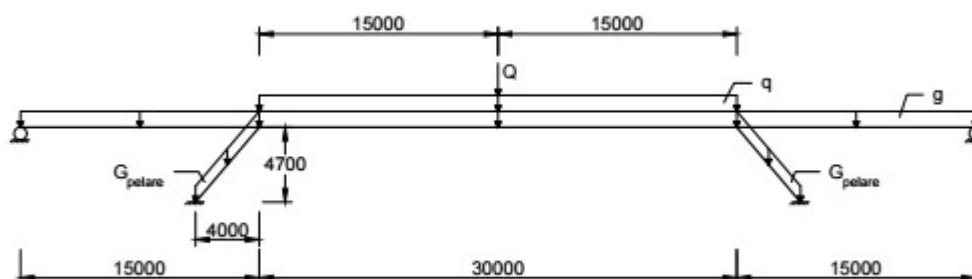


Figur 31 Lastfall 2a.

### 11.5.2.2 Längsled

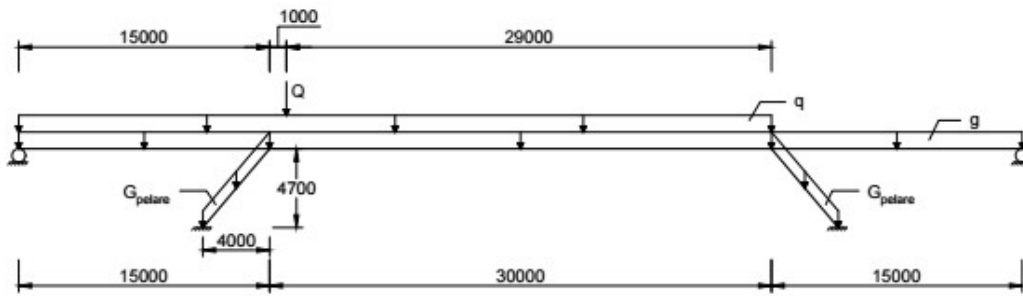
I längsled görs beräkningar på en av balkarna som bär upp broplattan samt två av pelarna. Eftersom spännvidden i de tre facken är större än 10 m kan punktlaster från boggisystemet läggas ihop till en punktlast i längsled. Eftersökta moment och tvärkrafter fås genom två lastfall.

Lastfall 1b med laster enligt Figur 32 ger det maximala fält- och stödmomentet. Punktlasten placeras i mitten av mittfacket.



Figur 32 Lastfall 1b.

Lastfall 2b med laster enligt Figur 33 ger den maximala tvärkraften. De utbredda lasterna placeras på konsolen och i mittfacket medan punktlasten placeras nära stödet i mittfacket.



Figur 33 Lastfall 2b.

### 11.5.3 Beräkning av snittkrafter

De eftersökta snittkrafterna beräknas med hjälp av CALFEM-funktioner i MATLAB, se Bilaga A2 och B2. För att verifiera och redovisa beräkningsmetoden har handberäkningar gjorts på ett av lastfallen i tvärled, se Bilaga A5. Beräkningsmodellen som används i MATLAB utgörs i längsled av 62 element där de första 60 elementen utgör brobanan. Elementen är en meter långa och har sex frihetsgrader vardera. De sista två elementen utgörs av pelarna som är definierade från broplattan till påldäck. I beräkningsmodellen anses kopplingen mellan pelare och broplatta vara helt styv. Upplagsvillkor som använts är att pelarna är fast inspända i marken samt att bron är fritt upplagd på landfästena. Beräkningsmodellen i tvärled är utformad på liknande sätt med 1150 element som är en cm långa. Plattan är fritt upplagd på stöden och har tre låsta frihetsgrader.

De dimensionerande snittkrafterna redovisas för de två lastfallen i längs- och tvärled i Tabell 9 och 10 nedan. Snittkraftsdiagram för alla lastfall redovisas i Bilaga A3 och B4.

Tabell 9 Dimensionerande snittkrafter i tvärled för lastfall 1 och 2.

Lastkombination	Stödmoment	Fältmoment	Tvärkraft
Lastfall 1			
Brottgränstillstånd	34,9843 kNm	462,9032 kNm	299,8501 kN
Bruksgränstillstånd – karaktäristisk kombination	298,0436 kNm	365,3018 kNm	305,7246 kN
Bruksgränstillstånd – frekvent kombination	34,9844 kNm	198,9449 kNm	164,2347 kN
Bruksgränstillstånd – kvasipermanent kombination	41,3353 kNm	0,000 kNm	28,530 kN
Lastfall 2			
Brottgränstillstånd	342,2126 kNm	53,7449 kNm	389,9460 kN
Bruksgränstillstånd – karaktäristisk kombination	298,0436 kNm	365,3018 kNm	305,7246 kN
Bruksgränstillstånd – frekvent kombination	228,6478 kNm	0,000 kNm	160,4417 kN



Tabell 10 Dimensionerande snittkrafter i längsled för lastfall 1 och 2.

Lastkombination	Stödmoment	Fältmoment	Tvärkraft
Lastfall 1			
Brottgränstillstånd	11,738 MNm	10,007 MNm	2,8923 MN
Bruksgränstillstånd – karaktäristisk kombination	10,038 MNm	8,0383 MNm	2,4030 MN
Bruksgränstillstånd – frekvent kombination	8,6897 MNm	6,7033 MNm	2,0497 MN
Bruksgränstillstånd – kvasipermanent kombination	6,6379 MNm	4,1019 MNm	1,4243 MN
Lastfall 2			
Brottgränstillstånd	8,3226 MNm	4,8766 MNm	2,8923 MN
Bruksgränstillstånd – karaktäristisk kombination	7,6851 MNm	4,6136 MNm	2,4030 MN
Bruksgränstillstånd – frekvent kombination	6,8892 MNm	4,1606 MNm	2,0497 MN

## 11.6 Slakarmering

För tvärledsberäkningar av körbanep Plattans huvudarmeringsinnehåll i brottgränstillstånd används Mathcad (se Bilaga A6). Enbart de mest kritiska snitten kontrolleras, ett snitt för maximalt fältmoment och ett snitt för maximalt stödmoment. Anmärkningsvärt är att plattan i fältsnittet inte klarar kravet för segt verkningssätt. Det finns ingen tvärkraftsarmering i plattan eftersom den bedömts som överflödig<sup>19</sup>. Slakarmeringen i tvärled är av typ B500B med diametern 16 mm, se Bilaga D2. Verkningsgraden för momentkapaciteten uppgår till 0,89 i fältsnitt och 0,66 i stödsnitt.

I längsled läggs minimiarmering in då spännarmeringen uppfyller kravet på momentkapacitet. Minimiarmering (se Bilaga B7) är av typ B500B och har diametern 8 mm. Längsledsberäkningar av tvärkraftsarmering beräknas i brottgränstillstånd för de mest kritiska snitten vilket redovisas i Bilaga B6. Armeringen är av armeringstyp B500B, med diametern 16 mm. Armeringsinläggningen i fält- och stödsnitt redovisas i Bilaga D3.

## 11.7 Sprickbredd

För sprickkontroll i tvärled kontrolleras tvärsnittet med korttidslaster, frekvent lastkombination. Dimensionerande moment enligt Bilaga A2 kontrolleras mot det kritiska sprickmomentet  $M_{cr}$ . Tvärsnittsstadium beräknas till stadium 2, böjsprucket tvärsnitt, och för de kritiska snitten kontrolleras maximala spänningar i betong och drag- och tryckarmering för brukslaster. Vidare beräknas sprickavstånd och sprickbredd som sedan kontrolleras mot uppsatta gränsvärden från exponeringsklasser. I stödsnitt blir sprickbredden 0,032 mm och det maximala tillåtna värdet är 0,15 mm, se Tabell 6. I fältsnitt kontrolleras inte sprickbredden eftersom plattan i kvasipermanent lastkombination har en tryckt underkant, se Bilaga A6.

<sup>19</sup> Joosef Leppänen (Universitetslektor, Konstruktionsteknik, Bygg- och Miljöteknik Chalmers Tekniska Högskola) Möte 12 april.

## 11.8 Spännarmering

Spännarmeringen dimensioneras i Mathcad (se Bilaga B5) utefter de två mest kritiska snitten, mittstöd och mittfält. De dimensionerande momenten reduceras approximativt med hänsyn till spännkraften, för att vidare skapa ett tillåtet intervall för initiell spännkraft. Detta intervall, som innefattar tillåten spännkraft över både mittstöd och mittfält, begränsas av:

- Erforderlig spännkraft med hänsyn till sprickbegränsning vid karaktäristisk last
- Begränsning av spännkraft vid uppspänning med hänsyn till sprickbegränsning
- Begränsning av spännkraft vid uppspänning med hänsyn till tryckspänningsbegränsning<sup>20</sup>

Den totala erforderliga spännkraften har beräknades till 21,42 MN. Spännarmeringen är av typ XM-30 med 9 trådar i varje foderrör. Tr addediametern uppgår till 13 mm och foderrörens diameter till 75 mm. Foderrörens positioner i fält- och stödsnitt redovisas tillsammans med övrig armering i Bilaga D3.

Momentkapaciteten beräknas approximativt genom att det antas att spänningen som råder i stålet är lika med  $f_{p0.1d}$ . Den egentliga påkänningen är högre än detta, vilket gör att beräkningen är på säkra sidan. Utnyttjandegraden fås sedan till ungefär 65 %, vilket anses tillräckligt för att ta hänsyn till osäkerheterna i beräkningen. En exakt beräkning av momentkapaciteten är då överflödig vid en preliminär beräkning.

## 11.9 Nedböjning

En förenklad beräkningsmodell i längsled för nedböjning av mittfack har upprättats i MATLAB. Nedböjningen har beräknats med hjälp av CALFEM, se Bilaga B8. Nedböjningsberäkningen har utförts i bruksgränstillstånd, frekvent lastkombination. Lasterna har placerats i de mest ogynnsamma lägena. Syftet med beräkningen är huvudsakligen att kontrollera att balken klarar av uppställda krav på fri höjd och maximal tillåten nedböjning och inte själva värdet på nedböjningen i sig. Därmed har förenklingar gjorts som tillsammans anses konservativa. Maximal nedböjning har beräknats till 3,26 cm, medan maximalt tillåten nedböjning är ungefär 7,4 cm.

## 11.10 Bottenplatta vid landfäste

En beräkning utfördes för att kontrollera att valda mått på bottenplattorna under landfästena uppfyller hållfasthetskraven. Först beräknades vertikala krafter såsom överlast, tyngden av fyllnadsmaterial och ingående konstruktionsdelar genom att uppskatta dess dimensioner, se Bilaga C2. Vidare fås tyngdpunkter för varje ingående del fram, som sedan ger en total tyngdpunkt med hjälp av ett totalt tryck  $R_{tot}$ . Utifrån detta fås ett mått på bottenplattan fram, som tillsammans med det totala trycket ger ett grundtryck  $p_{grund}$ . Detta grundtryck kontrolleras mot ett dimensionerande

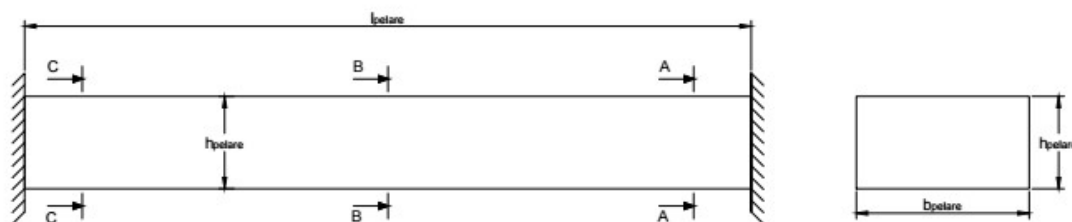
---

<sup>20</sup> Björn Engström (Biträdande professor, Konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) Föreläsning 4 februari.

grundtrycksvärde för plattor i morän (BFS 2015:6 EKS 10, 2015) och det visar sig understiga detta<sup>21</sup>. Beräkningen har utförts i Mathcad, se Bilaga C2.

## 11.11 Pelare

Pelarna modelleras som fast inspända balkar enligt Figur 34. Med hjälp av MATLAB (se Bilaga B2) identifieras det värsta lastfallet med lastkombinationen för brottgränstillstånd. De kritiska snitten ligger i pelarens överkant, mitt och underkant och dimensioneras i brottgränstillstånd. Drag- och tryckarmeringen i pelaren beräknas med metoden förenklat tryckblock, se Bilaga C3. Pelaren kontrolleras för knäckning och kapaciteten har bedömts tillräcklig.



Figur 34 Beräkningsmodell för pelarna. Beräkningar har gjorts för snitt A, B och C.

Tvåkraftsarmeringen dimensioneras utifrån den maximala tvärkraften, vilken är praktiskt taget konstant över hela pelaren. Därmed placeras samma armeringsmängd utefter hela pelaren. Centrumavståndet uppgår maximalt till 80 mm. Dragarmeringen är av typ B500B med diametern 20 mm (se Bilaga D4) och tvåkraftsarmeringen utgörs av byglar med samma armeringstyp och diametern 16 mm.

## 11.12 Vindlaster

Vindlaster har preliminärt beräknats utifrån Sören Lindgrens exempel<sup>22</sup>, se Bilaga C2. Vindlasten beror av en faktor  $c_f$ , karakteristiskt hastighetstryck och en referensarea och uppgår till 777 kN.

<sup>21</sup> Sören Lindgren (Projektledare, Bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola) Föreläsning 11 februari 2016

<sup>22</sup> ibid.

## 12 Diskussion

Kapitlet behandlar först en studie avseende litteraturen som använts i rapporten, för att därefter diskutera framtagandet av koncept. Vid dimensioneringsprocessen har ett flertal förenklingar och antaganden gjorts och vidare i kapitlet behandlas dess påverkan på det slutgiltiga konceptet. Rapporten syftar inte till att vara en fullgod dimensionering, utan endast en preliminär sådan. Därmed återstår ett flertal beräkningar, vilka också kommer diskuteras i kapitlet.

### 12.1 Litteraturstudie

Litteraturstudiens upplägg syftar till att ge läsaren, oavsett kunskapsnivå denne besitter, en god beskrivning av broar i allmänhet och vilka faktorer som senare bidrog till valt brokoncept.

Litteraturen anses i stort sett mycket trovärdig, men har en mängd olika källor som skulle kunna diskuteras närmare. För beskrivningen av brotyper har i första hand källor såsom Trafikverket använts, vilket bidrar till en hög trovärdighet då källan är en statlig myndighet som utgör en opartisk aktör i ämnet. Mycket av texten bygger även på föreläsningar och möten med handledare som ses som trovärdiga, under förutsättning att kommunikationen har uppfattats på rätt sätt mellan talare och lyssnare. Möjligtvis kan vissa antaganden gjorts utifrån hur författaren själv uppfattat och förstått olika begrepp och metoder. Antagandena bedöms trovärdiga, men skulle möjligtvis kunna ifrågasättas utifrån andra perspektiv.

### 12.2 Framtagande av brokoncept

Processen för framtagande av koncept utgår i allmänhet mycket från egna åsikter och bedömningar, vilket kan ifrågasätta dess relevans då författarna till rapporten besitter begränsad kunskap i ämnet. Processen startar med att kriterier väljs ut, vilket gjorts utefter egna bedömningar kring vilka som är viktiga efter förhållandevis få rådfråganden till handledare. Sättet att sedan vikta utvalda kriterier har enbart gjorts genom att bestämma vilket kriterium som anses viktigare än ett annat, vilket i sin tur ger ett procentuellt värde för dess betydelse vid val av koncept. Metoden ses som bättre än exempelvis betygsättning av varje kriterium för sig, då det är lättare att bedöma om ett kriterium är viktigare än ett annat. Viktningen bedöms vara partisk, då denna till stor del är vinklad utifrån gruppens åsikter.

Därefter sker en urvalsprocess utifrån sex stycken kvarvarande brokoncept. Betygsättning av hur bra varje brokoncept är på en skala 1 till 5 för varje kriterium sker. Precis som i första delen av framtagandet är betygsättningen till stor del påverkat av gruppens tycke.

### 12.3 Förenklingar och antaganden

Nedan presenteras och diskuteras förenklingar, antaganden och tankegångar som legat till grund för beräkningarna i rapporten. Diskussionens fokus kommer ligga på vilken påverkan dessa val gjort på det slutgiltiga konceptet.

#### 12.3.1 Beräkningsmodell

Vid beräkningen av de dimensionerande snittkrafterna i tvärled har vissa förenklingar gjorts. Plattan har modellerats som en 1 m bred balk som är fritt upplagd på två stöd.

Då punktlasterna från boggisystemen angriper bron sprids deras last på en yta som blir större än 1 m<sup>2</sup>. I beräkningarna har endast en meterstrimla av plattan behandlats, vilket gör att beräkningsmodellen dimensioneras för att ta upp hela axellasten på 1 m. Beräkningsmodellen är också förenklad på så sätt att stöden som balken är fritt upplagd på endast utgörs av punkter, vilket gör att spännvidden mellan stöden blir hela centrumavståndet. I verkligheten är spännvidden lägre eftersom stöden utgörs av de längsgående balkliven vilka är 1,5 m breda. Den minskade spännvidden medför att snittkrafterna blir mindre än de som använts vid dimensioneringen. Den fria uppläggningsen gör också att stödmomentet blir mindre än om plattan hade varit fast inspänd i balkliven. Dessa förenklingar medför att plattan överdimensioneras.

I längsled anses kopplingen mellan pelare och överbyggnad vara helt styv. Pelarna ses även som fast inspända i marken. Detta är en förenkling av verkligheten då inspänningarna och kopplingen aldrig kan bli helt styva. Detta medför att inspänningsmomenten som används vid beräkningarna är större än de verkliga, vilket gör att antagandet anses konservativt.

### 12.3.2 Armering

Spännarmeringen dimensioneras utefter de två mest kritiska snitten, mittstöd och mittfält. Vid fullständig dimensionering fordras även beräkningar för resternande delar av balken. Spännarmeringens fästpunkt har antagits ligga i tvärsnittets tyngdpunkt, vilket skapar nollmoment vid ändarna och gör att beräkningar i dessa snitt ej krävs då det inte finns risk för att betongen spricker vid uppspanning.

Friktionsförluster har inte tagits med i beräkningarna. Dessa har tagits i beaktande genom att placera vald spännkraft i övre delen av intervallet. Därmed finns en marginal för friktionsförlusterna.

Vid preliminär beräkning för val av förspänningskraft försummas slakarmeringen. Detta på grund av att beräkningar görs i stadium 1, osprucket tvärsnitt.

Tvärkraftsarmering har beräknats för de tre värsta snitten i bron för att säkerställa brons bärförmåga. Tvärkraftsarmeringens centrumavstånd bör göras större i de mindre belastade delarna av bron för att optimera brons armeringsmängd.

Eftersom armeringen bara beräknats i de två mest kritiska snitten hade vidare beräkningar krävts för en fullgod dimensionering av bron. Ytterligare beräkningar som krävs är dragkraftsbehov och avkortning av dragarmeringen för att optimera bron kostnads- och miljömässigt.

I fältsnittet uppfyller bron inte kravet på segt verknings sätt vilket resulterar i att ett sprött brott sker. Att ett segt verknings sätt inte uppnås över stöd kan eventuellt bero på att det är ont om plats för armeringen över stöd och att det inte går att ha dragarmeringen i två lager.

Sprickbredden i fält är inte relevant då tvärsnittet vid den kvasipermanenta lastkombinationen har en tryckt underkant, vilket enligt beräkningsmodellen ger en negativ sprickbredd.

### 12.3.3 Nedböjning

En förenklad beräkning med avseende på spännarmeringen har gjorts för framtagning av nedböjning i längsled. Inverkan av spännarmeringen har tagits hänsyn till genom att beräkningen genomförts med ett osprucket tvärsnitt.

Långtidseffekter såsom krympning och krypning har inte beaktats, vilka hade inneburit en större nedböjning. Därmed krävs ytterligare marginal till maximal nedböjning.

Beräkningen har även förenklats till att använda mittfältets tvärsnittskonstanter ( $A_{ef}$  och  $I_{ef}$ ) över hela längden, då skillnaderna ansågs försumbara.

MATLAB-modellen hanterar även spännkraft, detta som en dragande normalkraft i balken. Ovanstående mått är dock då spännkraften satts till 0, vilket ger värsta fallet.

### **12.3.4 Pelare**

Kontroller för knäckning har enbart gjorts i pelarens mittnytt och veka riktning vilket gör att kontroller för fler kritiska snitt borde undersökas närmre. Vidare beräkningar för dragkraftsbehov och avkortning av dragarmeringen borde göras för att optimera armeringsmängden. Mest problematiskt i denna beräkning är att ta hänsyn till den tryckande normalkraften som kommer verka gynnsamt. Även sprickbredd i pelaren bör vidare kontrolleras.

Vid kontrollen för knäckning kunde andra ordningens effekter bortses från eftersom slankheten var låg. Det betyder att pelaren kan dimensioneras slankare vilket kommer leda till att mindre material används.

### **12.3.5 Bottenplatta**

Endast en överslagsberäkning av bottenplattan har utförts, vilket innebär att bottenplattan inte är optimerad. En marginal finns mellan det grundtryck som uppstår på grund av bron och det dimensionerande grundtrycksvärdet för plattor i morän. Plattans dimensioner hade därmed kunnat minskas och den hade fortfarande kunnat bära upp bron. Landfästets dimensioner i beräkningen är endast uppskattade. En dimensionering av dessa ger antagligen lite annorlunda mått, vilket även hade påverkat bottenplattan.

## **12.4 Återstående dimensionering**

En preliminärdimensionering har genomförts, vilket innebär att ett flertal moment återstår för att dimensioneringen ska anses fullständig. En diskussion kring dessa förs nedan.

Rapporten behandlar inte nedböjning i tvärled, vilket är en viktig del i en fullständig dimensionering. Det återstår även att beräkna nedböjning i längsgående ytterfack eftersom balken i ändstöd kan rotera fritt.

Accelerations- och bromslaster har inte beräknats. Vindlastens storlek har räknats approximativt, men ej medtagits i vidare beräkningar. Vindlasten tas upp av tvärbalkar, vilka i sin tur inte beräknas i rapporten. Dessa tvärbalkar stabiliserar bron då de motverkar vippning och vridning. Balkarna antas tillräckligt stora för att uppnå den kapacitet som krävs.

Beräkningar av landfästen och vingmur, som bland annat upptar broms- och accelerationskrafter, behandlas inte heller i rapporten. Då bron ständigt kommer vara trafikerad, anses krafterna viktiga att ta i beaktande vid en fullständig dimensionering.

För landfästena i de båda broändarna har beräkningar på grundläggning gjorts vilket även borde göras för stöden i mitten av bron. Istället för en platta föreslås ett pådäck som kan uppta horisontella krafter mer effektivt.

Deformationer på grund av temperaturförändringar bidrar till töjningar i betongen och tvångskrafter kommer uppstå vid de fasta inspänningarna vid snedbeningarna. Dessa tvångskrafter behöver tas om hand vid dimensioneringen.

De preliminära beräkningarna har utförts på en helt horisontell bro, trots att den i verkligheten har en krökningsradie. Vid dimensioneringen har därför en marginal på fri höjd eftersträvat för att ta hänsyn till detta.

Vid brons uppförande måste gjutformar och ställningar kunna bära brons egenvikt innan härdning skett. För fullständiga beräkningar måste kontroller för detta göras.

Extrema påverkningar såsom explosioner, påkörningar och stötar samt t.ex. konstruktionsfel, tillverkningsfel och byggfel får inte leda till orimligt stora skador vars konsekvenser inte står i proportion till orsaken. Därmed ska dimensionering ske så att risken för fortskridande ras är liten. Detta har inte behandlats i rapporten. Detsamma gäller brandrisk.

Vidare saknar rapporten beräkningar på materialutmattning. Risken för detta anses stor då bron påverkas av konstant upprepande laster. Detta kan leda till sprickor som i sin tur kan medföra utmattningsbrott i materialet.

## 13 Slutsats

Utifrån de förutsättningar som gavs och uppställda kriterium resulterade litteraturstudien i en snedbenig betongbalkbro med spännarmering.

Bron kommer medföra ökad trafiksäkerhet och framkomlighet i området, samtidigt som den anses smälta in i landskapet och utgöra en fin passage. Det slutgiltiga konceptet är även fördelaktigt ur produktions- och förvaltningssynpunkt tack vare den sammangjutna konstruktionen.

Beräkningarna har påvisat att konceptet är hållbart, samt att bron inte inskränker på den fria höjden. En optimering av konstruktionen har inte genomförts och beräkningar återstår för att en fullständig dimensionering ska uppnås, men uppställda avseenden i rapportens syfte anses väl uppfyllda. Därmed har rapporten resulterat i genomförbart koncept utifrån uppställda krav.



## 14 Referenser

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M och Johansson, P. (2013). *Bärande Konstruktioner – Del 1*. Göteborg, Chalmers Tekniska Högskola.
- Axelsson, K. Elfgrén, L. (u.å) Bro, J, Gruvö (red), *Nationalencyklopedin*. Hämtad 25-02-2016, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bro>
- Begroup. (2011). *Byggstålshandboken*. Hämtad från <http://www.begroup.com/>
- BFS 2015:6 EKS 10, *Boverkets författningssamling*, Karlskrona: Boverket. Hämtad 10-05-2016. Från <https://rinfo.boverket.se/EKS/PDF/BFS2015-6-EKS-10.pdf>
- Burström, P-G, (2007). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur AB
- Chen, W-F och Duan, L. (2014). *Bridge Engineering Handbook: Construction and Maintenance (2. ed)*. Boca Raton, CRC Press.
- Engelsmann, S., Spalding, V och Peters S. (2010). *Plastics: In architecture and construction*. Schweiz, Birkhäuser.
- Engström, Björn (2016). *Lanseringsnos vid horisontell lansering* [Bild]. Opublicerad
- Eriksson, D & Johansson, H. (2009). *Prefabricerade betongbroar, ett lönsamt koncept?: En fallstudie av NCC Montagebro* (examensarbete, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för byggvetenskaper). Hämtad från [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)
- Fiberline Composites. (u.å.a): *Matrix*. Hämtad 12-02-2016, från <http://www.fiberline.com/matrix>
- Fiberline Composites. (u.å.b): *Composites*. Hämtad 12-02-2016, från <http://fiberline.com/composites>
- Fiberline Composites. (u.å.c): *Why use composite?*. Hämtad 12-02-2016, från <http://fiberline.com/why-use-composite>
- Fiberline Composites. (u.å.d): *Reinforcement*. Hämtad 12-02-2016, från <http://fiberline.com/reinforcement>
- Hjelm, M., Karlsson, N. (2014). *En jämförande studie om kostnadseffektiviteten hos fiberarmerade kompositbroar* (examensarbete, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik). Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/202369/202369.pdf>
- Internordisk spännarmering AB (u.å.a): *Ensidigt rörligt lager* [Bild] Hämtad 12-05-2016, från <http://www.skanska.se/>
- Internordisk spännarmering AB (u.å.b): *Allsidigt rörligt lager* [Bild] Hämtad 12-05-2016, från <http://www.skanska.se/>
- Mara, V. (2014), Fibre reinforced polymer bridge decks: Sustainability and a novel panel-level connection. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, (Licentiatavhandling)

inom institutionen för Bygg- och miljöteknik). Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/publication/193310-fibre-reinforced-polymer-bridge-decks-sustainability-and-a-novel-panel-level-connection>

Martinssons. (u.å). *Underhållstjänster*. Hämtad 27-02-2016, från <http://www.martinsons.se/broar/underhallstjanster>

Miljömål, (2009). *Stålindustrin*. Hämtad 29-02-2016, från <http://www.miljomal.se/sv/Naringslivets-miljoarbete/Naringslivet-och-miljon/Miljofragor-och-miljomal-i-olika-branscher/Stalindustrin/>

Prince Engineering. (u.å): *Fiber Reinforced Polymers Characteristics and Behaviors*. Hämtad 12-02-2016, från <http://www.build-on-prince.com/fiber-reinforced-polymers.html#sthash.FzNMda1v.dpbs>

Pålkommisionen, (2007). *Pålgrundläggning: Grundinformation för projektörer*. Hämtad 23-02-2016 från <http://www.palkommissionen.org/>

Samuelsson, A., Wiberg, N-R. (1990). *Byggnadsmekanik-Bärverk*. Lund: Studentlitteratur.

Schunnesson, C. (2007). *Samverkansgrundläggning i relation till spetsburna pålar*. (doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för byggnadsmekanik). Hämtad från <http://www.geoteknik.lth.se/fileadmin/byggnadsmekanik/publications/tvsm5000/web5148.pdf>

SMHI (2016). *Nederbörd*. Hämtad 26-02-2016, från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord>

Structurae (2015) *Chaotianmen Bridge*. Hämtad 11-02-2016, från <http://structurae.net/structures/chaotianmen-bridge>

Svahn, Per-Ola (2016). *Armering och gjutning* [Bild]. Opublicerad

Svahn, Per-Ola (2016). *Fritt frambyggd* [Bild]. Opublicerad

Svahn, Per-Ola (2016). *Ställning och form* [Bild]. Opublicerad

Svensk Betong. (u.å). *Miljö och klimat*. Hämtad 28-02-2016, från <http://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/miljo>

Svenskt Trä. (2003a). *Inspektion och underhåll*. Hämtad 17-02-2016 från <http://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/inspektion-och-underhall/>

Svenskt Trä. (2003b). *Ytbehandling*. Hämtad 27-02-2016, från <http://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/trabroar/trabroar/ytbehandling/?previousState=1>

Svenskt Trä. (2013). *Att välja trä: En faktaskrift om trä*. Hämtad från <http://www.svensktra.se/>

Svenskt Trä. (2015). *Planera ett träbygge*. Hämtad 11-02-2016, från <http://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/bagbroar/>

TDOK 2012:93. *Generella miljökrav vid entreprenadupphandling*. Borlänge: Trafikverket. Hämtad från [http://www.trafikverket.se/contentassets/db4e52cfc1274e8c9baf71647515e120/generella\\_miljokrav\\_entreprenadupphandling\\_.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/db4e52cfc1274e8c9baf71647515e120/generella_miljokrav_entreprenadupphandling_.pdf)

TDOK 2013:0415. *Brounderhåll: Krav*. Borlänge: Trafikverket. Hämtad 19-02-2016 från <http://trvdokument.trafikverket.se/>

Trafikverket (2014a). *Krav på inspektion av byggnadsverk*. Hämtad 20-02-2016, från <https://batmanhandbok.trafikverket.se/globalassets/dokument/krav-insp-byggnadsverk-inkl-beslut.pdf>

Trafikverket (2014b). *Kodförteckning och beskrivning av brotyper*. Hämtad 20-02-2016, från <https://batmanhandbok.trafikverket.se/globalassets/dokument/kodfoerteckning-och-beskrivning-av-brotyper.pdf>

Trafikverket (2014c). *Förhöjd grundläggning* [Elektronisk bild]. Hämtad från: <https://batmanhandbok.trafikverket.se/globalassets/dokument/kodfoerteckning-och-beskrivning-av-brotyper.pdf>

Trafikverket (2015a). *Genomförande – Inspektion*. Hämtad 21-02-2016, från <https://batmanhandbok.trafikverket.se/forvaltning/forvaltningsaktiviteter/inspektion/genomforande/huvudinspektion/>

Trafikverket. (2015b). *Skötsel av broar*. Hämtad 20-02-2016, från <http://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-broar/>

Trafikverket, (2015c). *Nya och gamla väg 40* [Elektronisk bild]. Hämtad från: <http://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/projekt-i-vastra-gotalands-lan/Vag-40-mellan-Dallebo-och-Hester/>

Trafikverket [Trafikverket]. (2012, 2 april). *Drift och underhåll av broar och tunnlar* [Videofil]. Hämtad från <https://www.youtube.com/watch?v=XmGSLWD65nc>

Trafikverket [Trafikverket]. (2011, 3 maj). *Lansering över Bönälven* [Videofil]. Hämtad från <https://www.youtube.com/watch?v=VojzlmXNCIk>

TRVFS 2011:12. *Trafikverkets författningssamling*. Borlänge: Trafikverket. Hämtad 17-02-2016 från <http://www.trafikverket.se/tjanster/publikationer-och-styrandedokument/forfattningssamlingar/>

TRVK 2011:085. *TRVK Bro 11*. Borlänge: Trafikverket. Hämtad 17-02-2016 från [http://www.trafikverket.se/contentassets/718ad11ffa584dbbbe455595ed929006/2011\\_085\\_trvk\\_bro\\_11.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/718ad11ffa584dbbbe455595ed929006/2011_085_trvk_bro_11.pdf)

TRVR 2011:086. *TRVR Bro 11*. Borlänge: Trafikverket. Hämtad 09-05-2016, från <http://online4.ineko.se/trafikverket/Product/Detail/42967>

Ulricehamns Kommun. (2013). *Ulricehamns vattenskyddsområde*. Hämtad 01-03-2016, från <https://www.ulricehamn.se/innehall/2015/01/Ulricehamn-fr%C3%A5n-2013-05-01.pdf>

Ulricehamn Kommun. (2015). *Riksväg – motorväg hela vägen till Göteborg*. Hämtad 01-03-2016, från <https://www.ulricehamn.se/omkommunen/samhalle-och-befolkning/infrastruktur/riksvag-40-blir-motorvag/>

Ulricehamn kommun. (2016). *Vattenskyddsområden*. Hämtad 09-02-2016, från <https://www.ulricehamn.se/boendeochmiljo/kommunens-miljoarbete/vattenskyddsomraden-i-ulricehamns-kommun/>

VSL. (2016). *Free cantilever method*. Hämtad 25-02-2016, från <http://en.vsl.cz/free-cantilever-method/>

VV 2004:56. *Bro 2004: Allmän teknisk beskrivning*. Borlänge: Vägverket. Hämtad 25-02-2016 från <http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/tekniska-dokument/bro-och-tunnel/allmanna-tekniska-beskrivningar/atb---bro-2004/>

VV 2006:146 *Brounderhåll 2006: Allmän teknisk beskrivning för underhåll av broar*. Borlänge: Vägverket. Hämtad 18-02-2016 från [http://www.britab.se/wp-content/uploads/2013/09/brounderhall-2006-vv-publ\\_-146.pdf](http://www.britab.se/wp-content/uploads/2013/09/brounderhall-2006-vv-publ_-146.pdf)

VVFS 2009:19. *Vägverkets författningssamling*. Borlänge: Vägverket. Hämtad 17-02-2016, från <http://webapp.trafikverket.se/TRVFS/pdf/2009nr019.pdf>

Vägverket. (1996). *Broprojektering – En handbok*. Borlänge: Vägverkets tryckeri.

Vägverket, (2008). *Väg 40 Utbyggnad av motorväg: delen Dällebo – Hester*. Hämtad 14-02-2016 från [http://www.trafikverket.se/contentassets/9923aed1d1c14b9c8784fc1ee8242e78/projektinformation\\_vag\\_40\\_dallebo\\_hester.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/9923aed1d1c14b9c8784fc1ee8242e78/projektinformation_vag_40_dallebo_hester.pdf)

Vägverket, (u.å) *Frontmur* [Elektronisk bild]. Hämtad från: [https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF\\_BrotyperFastaBroar.htm](https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF_BrotyperFastaBroar.htm)

## Bilaga 1 - Teknisk beskrivning



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

**TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK**

avseende

**15-1762-1**

**BRO ÖVER ALLMÄN VÄG I HÖSSNAMOTET, Ö ULRICEHAMN, KM 17/240**

**OBJEKTNR 85 43 60 30**

**CHAOSNR 3K110002**

Handlingen upprättad 2012-09-15

Handlingen reviderad:2013-05-03

## Innehåll

<b>OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA</b>	<b>Objektdata</b>	<b>5</b>
	Dokumentdata	5
<b>REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING</b>		<b>6</b>
	Dokumentutformning	6
	Avsnitt	6
	Rubriker enligt Dispositionen	6
	Typer av konstruktioner	6
	Kravhierarkier	7
	Förteckning över okodade underrubriker	7
<b>B. TRAFIK</b>		<b>8</b>
	B1. Vägtrafik	8
<b>C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER</b>		<b>9</b>
	C1. Befintlig mark och miljö	9
	C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden	9
	C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden	9
	C1. Befintlig mark och miljö/ Bergtekniska förhållanden	10
	C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden	10
<b>D. VÄGANLÄGGNING</b>		<b>11</b>
	DB. Vägkonstruktion	13
	DB2. Underbyggnad/ Vägbro	13
	DC. Vägbro	14
	DC1. Bärverk i vägbro	14
	DC12. Balk/ Kantbalk	14
	DC13c. Upplagsanordningar	14
	DC13cb. Lager	14
	DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning	15
	DC2. Grundläggning av vägbro/ fyllning	15
	DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta	16
	DC3. Komplettering i vägbro	16
	DC31. Beläggning	16
	DC33. Beläggning/ Slitlager	16
	DC31. Beläggning/ Bindlager	17
	DC31. Beläggning/ Kantstöd	17
	DC33. Tätskikt, skyddslager	17
	DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Länkplattor	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Konsol för belysningsstolpe	18
	DC4. Slänt eller kon	18
	DC41. Slänt	18
	DC42. Kon	18
	DE. Avvattningssystem	18
	DE1. Dagvattensystem	18

DE2. Dränvattensystem	19
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	19
<b>DF. Trafikskyddsanordning</b>	<b>19</b>
DF2. Räcke	19
DF21. Sidoräcke	19
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	19
<b>DK. Elsystem och telesystem</b>	<b>20</b>
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör i betongkonstruktion	20
<b>X. DOKUMENTATION</b>	<b>21</b>
<b>X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering</b>	<b>21</b>
<b>XB. Projekteringshandling</b>	<b>21</b>
XB. Projekteringshandling/ Design basis	21
<b>XC. Arbetshandling</b>	<b>21</b>
XC. Arbetshandling/ Vägbro	21
<b>XD. Relationshandling</b>	<b>22</b>
XD. Relationshandling/ Vägbro	23





## **OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA**Objektdata

Vägnummer: Väg 40

Vägnamn: Väg 40 Borås - Ulricehamn

Objektnamn: Delen Dällebo – Hester, Etapp 3

Objektnummer: 85 43 60 30

Kommun: Ulricehamns Kommun

Län: Västra Götaland

## **Dokumentdata**

Titel: Teknisk Beskrivning Byggnadsverk  
15-1762-1 Bro över allmän väg

Dokumentslag: 3K110003, Bygghandling

Utgivningsdatum: 2012-09-15

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Gunnar Jellbin

Konsulter: COWI AB

Carl Kiviloo Broprojektör

Lennart Johansson Geotekniker

## REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING

---

### Dokumentutformning

#### Avsnitt

För denna OTB gäller att den innehåller rubriker under avsnitten:

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

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

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

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

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

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

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

#### Rubriker enligt Dispositionen

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

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

#### Typer av konstruktioner

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

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

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

## Kravhierarkier

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

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

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

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

## Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

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

Under "Funktion" hanteras följande:

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

Under "Teknisk lösning" hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under "Kontroll" hanteras följande:

- Provnings (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

## **B. TRAFIK**

---

### **B1. Vägtrafik**

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

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

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

---

### **Omfattning**

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

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

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

### **Funktion**

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

### **Kontroll**

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

## **C1. Befintlig mark och miljö**

Se plan och tvärsnitt på ritning nummer 3 47 G 1101, 3 47 G 1201, 3 47 G 1301 och 3 47 G 1302.

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

#### **Omfattning**

Terrängen består uteslutande av skogslandskap. Norr om bron förekommer ett våtmarksområde. Markytan sjunker mot öster från ca +303 (ca 30 m väster om blivande bron) till ca +297,6 (ca 30 m öster om blivande bron).

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

#### **Omfattning**

Djupet till berg varierar mellan 3,5 och 5,5 m. Överst består jordlagren av ett tunt mulljordslager (ca 0,1 m) som vilar på ungefär 1-1,5 m siltig sand eller sand. Därunder förekommer ca 3-5 m av morän på berg. Moränen bedöms vara mycket blockigt. Ca 30 m nordost om bron förekommer ett ca 0,5-0,8 m tjockt torvlager. Förekomst av torv är då inte möjligt i läget för brostöd.

#### **Teknisk lösning**

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

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

### **Omfattning**

Området är jordtäckt och berg i dagen har ej påträffats. Djup till berg är  $\geq 2$  m.

Berg i dagen har påträffats vid c:a km 16/050 och vid c:a km 16/400. Två kärnborrhål är borrhåls längs sträckan. KBH 9 (väg) är ansatt i c:a km 16/080, c:a 20 m vänster om vägmitt. Det är borrhåls mot N30°Ö och lutat 60° från horisontalplanet. KBH 10 (väg) är ansatt i km c:a 16/860, c:a 20 m höger om vägmitt. Kärnborrhålet är utfört vertikalt.

Berget utgörs av en gråröd-röd granit. Enligt kärnkarteringen består berget av en röd glimmerfattig medelkornig något gnejsig granit, ställvis grovkristallin, med inslag av amfibolit och pegmatit. Foliationen lutar enligt kärnkarteringen svagt till medelbrant mot väst till sydväst, d.v.s. ut mot vägen på dess vänstra sida. SGU anger en foliation stupande mot sydsydväst, brant vid c:a km 15/900, avtagande till flack vid c:a km 16/800.

Sprickor är enligt ytkarteringen branta-vertikala och går i nordöst-sydväst, d.v.s. tvärs planerad väglinje. Enligt kärnkarteringen följer sprickorna oftast foliationen, d.v.s. lutar svagt till medelbrant ut mot planerad väg på dess vänstra sida. Det förekommer även branta sprickor. Uppkrossade partier förekommer.

Den dimensionerande hållfastheten i planerad bergschakt bedöms ligga på 2 MPa.

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

### **Omfattning**

Grundvattenyta ligger vid nivå ca +296,4 (d.v.s. ca 0,5 m under befintligt markytan) ca 150 m norr om blivande bron och vid nivå ca +296,5 (d.v.s. ca 0,3 m ovan befintlig markytan) ca 100 m söder om blivande bron. Norr om bron ligger ett våtmarksområde och strax norr om bron har en fri vattenyta i några skruvprovtagningshål (B108, B113, B118, B117) observerats vid nivå ca +298 - +298,9.

## D. VÄGANLÄGGNING

---

### **Omfattning**

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1762-1 Bro över allmän väg i Hössnamotet, Ö Ulricehamn.

### **Kontroll**

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

### **Funktion**

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

Vid dimensionering ska VVFS 2003:140 "Vägverkets föreskrifter om tekniska egenskapskrav vid byggande på vägar och gator (vägregler)" och VVFS 2010:18 "Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator" följas i kombination med VVFS 2011:12 "Vägverkets föreskrifter om tillämpning av europeiska beräkningsstandarder".

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

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

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

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

Entreprenadarbeten ska bedrivas så att fornminnen inte skadas.

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

### **Kontroll. Funktion**

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



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

### **Teknisk lösning**

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

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

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

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

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

Material ska vara:

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

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska ske i byggskedet enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram

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

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

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

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

### **Teknisk lösning. Märkning**

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

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

Märkning ska placeras synlig.

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

Märkkulörer ska vara enligt SS 03 14 11.

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

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

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

Kontroll ska ske genom besiktning.

## **DB. Vägkonstruktion**

### **DB2. Underbyggnad/ Vägbro**

#### **Teknisk lösning**

Fyllning mot bro skall utföras enligt AMA CEB.52 med förstärkningslagermaterial enligt DCB.211 och krossad sprängsten enligt CEB.521, samt enligt TK Geo, tabell 7.3-1. Fyllning mot bro ska utföras upp till terrassnivå för anslutande väg, och upp till underkant för släntkappor.

Fyllning skall ske med försiktighet så att betongkonstruktioner inte skadas.

Aktuell vägöverbyggnad framgår av normalsektionsritning.

#### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska ske genom besiktning och provning.

## **DC. Vägbro**

### **Funktion**

Funktionskrav utöver VV publikation 2009:27 TK Bro framgår av geometriska krav för fria utrymmen enligt förslagsritning 3 47 K 2001.

Formgivning villkor framgår av förslagsritning.

Bron ska ha en dimensionerad teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

### **Kontroll. Funktion**

Grundläggningsarbetena skall kontrolleras i Geoteknisk kategori GK2.

### **Teknisk lösning**

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

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

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

## **DC1. Bärverk i vägbro**

### **Teknisk lösning**

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

Minsta differens mellan basmått skall vara 10 mm.

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

## **DC12. Balk/ Kantbalk**

### **Teknisk lösning**

Kantbalkens bredd ska vara 500 mm. Vid kantbalksände fasas kantbalk 100 mm i plan på 200 mm längd på sida som vetter mot överliggande väg enligt förslagsritning 3 47 K 2002.

Kantbalken utformas som förhöjd och med rundning i underkant enligt förslagsritning 3 47 K 2002.

## **DC13c. Upplagsanordningar**

### **DC13cb. Lager**

#### **Teknisk lösning**

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

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

### **Funktion**

Krav på vibrationer mm framgår av Handling 13.2 Riskanalys Mark- och Bergschaktningsarbete.

### **Kontroll. Funktion**

Kontroll ska ske genom mätning.

### **Teknisk lösning**

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

Bergschakt ska utföras enligt AMA Anläggning 07 kap CBC.5121 och kap CBC tabell CBC/2 bergschaktningstolerans 2.

Endast elektroniska sprängkapslar får användas.

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor ska ske i torrhet.

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska utföras genom besiktning.

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

### **Teknisk lösning**

Grundläggning av bron ska ske på  $\geq 0,5$  m packad fyllning av krossmaterial på friktionsmaterial (siltig sand).

Allt eventuellt organiskt material ska schaktas bort innan fyllning av krossmaterial.

Parametrar tagna ur TK Geo (VV publikation 2009:46):

Material	Egenskap	Karaktäristiskt värde
Packad fyllning (krossmaterial)	Tunghet (Tabell 5.2-1) Friktionsvinkel (Tabell 5.2-4) E-modul (Tabell 5.2-3)	$\gamma_k = 18,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 21,0 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 45^\circ$ $E_k = 50 \text{ MPa}$
Friktionsmaterial (siltig sand)	Tunghet (Tabell 5.2-1) Friktionsvinkel (Tabell 5.2-4) E-modul (Tabell 5.2-3)	$\gamma_k = 18,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 20,0 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 32^\circ$ $E_k = 20 \text{ MPa}$

## DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta

### Teknisk lösning

Gjutningsarbete för bottenplattor ska förutsättas ske i torrhet.

Bottenplattas överyta ska ges en lutning av minst 2 % mot fri kant.

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

## DC3. Komplettering i vägbro

### Teknisk lösning

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

Klotterskydd av typ ”offerskydd” ska anbringas på synliga betongytor på ändstöd och vingar. Klotterskyddet ska vara utprovat tillsammans med valt ytbehandlingspreparat.

## DC31. Beläggning

## DC33. Beläggning/ Slitlager

### Teknisk lösning

Bron ska förses med permanent slitlager om 40 mm enligt normalsektion 3 15 T 0404.

Bron ska försees med beläggning för GC-väg med 120 mm AGF och 40 mm slitlager enligt normalsektion 3 15 T 0401.

### **DC31. Beläggning/ Bindlager**

#### **Teknisk lösning**

Kombinerat skydds- och bindlager utförs med 50 mm PGJA.

### **DC31. Beläggning/ Kantstöd**

#### **Teknisk lösning**

Kantstöd limmas på PGJA.

### **DC33. Tätskikt, skyddslager**

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

#### **Teknisk lösning**

Bron försees med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

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

#### **Teknisk lösning**

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

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

#### **Teknisk lösning**

Bron ska försees med länkplattor.

Länkplattor utförs enligt förslagsritning. Länkplattornas tjocklek ska vara minst 370 mm.

Översida upplagsklack utförs i samma lutning som länkplatta. Undersida upplagsklack utförs i lutning 2:1.

Länkplatta försees inte med tätskikt och skall ha ett täckande betongskikt av minst 50 mm och försees över skarv med isoleringsmatta som dras ut minst 300 mm åt ömse håll om skarven.

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

#### **Teknisk lösning**

Bron ska försees med avvägningsdubbar enligt TK Bro.

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

#### **Teknisk lösning**

Mellanstöd ska försees med loddubbar enligt TK Bro.

## **DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Konsol för belysningsstolpe**

### **Teknisk lösning**

Bron ska förses med konsoler för belysningsstolpe i princip enligt bilaga 2, vägverkets ritning 589:2S-b, och med placering enligt förslagsritning 3 47 K 2001.

Montage av ingjutningsgods för belysningsstolpe, enligt TB Väg/MF Väg DEF.33, ingår i broarbetet.

## **DC4. Slänt eller kon**

### **Omfattning**

Fyllning för slänt och kon ingår i broarbetet, men inte ytskikt enligt nedan.

## **DC41. Slänt**

### **Teknisk lösning**

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 100 mm mineraljord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Slänter i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:2.

## **DC42. Kon**

### **Teknisk lösning**

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 100 mm mineraljord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Koner i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:2.

## **DE. Avvattningssystem**

### **DE1. Dagvattensystem**

#### **Funktion**

Dagvattensystemet ska kunna leda bort och ta hand om vatten från vägyta och brobana. Vattnen från vägkropp, sidoområde och omgivande yta samt dräneringsvatten ska avledas så att stabilitet och säkerhet mot skred eller uppflytning inte försämras samt att sättningar och negativ påverkan på miljön inte uppstår.

Dagvattensystemet ska kunna leda bort vatten till befintliga diken eller naturlig recipient. Vid behov leds vattnet via en i systemet anordnad överströmningsyta eller damm.

#### **Kontroll. Funktion**

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

#### **Teknisk lösning**

Bron förses med 2 ytavlopp. Ytavloppet placeras enligt förslagsritning 3 47 K 2001.

Ytavlopp och övriga detaljer skall utföras av syrafast rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

## **DE2. Dränvattensystem**

### **Omfattning**

Dränvattensystem avleder dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

### **Funktion**

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

### **Kontroll. Funktion**

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

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

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

### **Teknisk lösning**

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

## **DF. Trafikskyddsanordning**

### **DF2. Räcke**

#### **DF21. Sidoräcke**

##### **Omfattning**

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

#### **DF21. Sidoräcke/ Broräcke**

##### **Omfattning**

Räcke på bro ska omfatta räcke fram till och med skarv vid broände inklusive leverans av broräckesavslut enligt förslagsritning.

##### **Teknisk lösning**



Broräcken ska utföras enligt förslagsritning och TK Bro.

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

Räcke ska utföras i kapacitetsklass H2, skaderiskklass A alternativt B och med arbetsbredd W3.

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

På broar med kantbalk ska räckesständer skruvas fast.

Broräcken och anslutande vägräcken ska utföras med samma typ av navföljare och tillhöra samma CE-märkta räckesfamilj. Med räckesfamilj avses samma fabrikat och modellserie.

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

Fotplåtar ska inte undergutas.

Skruvarna förses med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

Montage av broräcket ingår i broarbetet och montage av broräckesavslutningar ingår i vägarbetet.

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

Tillhandahållna broräcken kommer att vara Varmförzinkning Z rörprofil B4-1 respektive B4-4.

Ingjutningsgods för montage av tillhandahållet broräcke ingår i broarbetet.

### **Kontroll. Teknisk lösning**

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

## **DK. Elsystem och telesystem**

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

#### **Teknisk lösning**

Överbyggnaden förses med ett långsgående SRN PVC  $\phi 50$  med placering enligt förslagsritning 3 47 K 2001 och 3 47 K 2002. Rör ska vara försett med galvaniserad dragtråd.

## **X. DOKUMENTATION**

---

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

Se handling 11.1 TB Väg, YC.

### **XB. Projekteringshandling**

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

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

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

### **XC. Arbetshandling**

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

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

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

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

Arbetshandlingar ska levereras digitalt.

#### **XC. Arbetshandling/ Vägbro**

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

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

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

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

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

Kopior av märkta handlingar fördelas av entreprenören enligt följande:

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

## **XD. Relationshandling**

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

Alla relationshandlingar som produceras i projektet ska levereras till beställarens projekthanteringssystem och i dess struktur. Relationshandlingar ska vara daterade, granskade och godkända av ansvarig person hos entreprenören. Relationshandlingar ingår i entreprenaden och ska godkännas av beställaren. Krav på leveranstid för relationshandlingar anges i Entreprenadkontraktet § 7.2.

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

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

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

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

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

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

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

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

Skalenliga ritningar ska förses med grafisk skala.

Handling ska vara i format enligt A-serien.

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

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

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

Material som kan orsaka skada vid oriktig behandling ska dokumenteras.

Relationshandlingar i original är beställarens egendom.

Relationshandlingar i original ska vara arkivbeständiga.

Planritningar ska vara försedda med koordinatbestämt rutnät.

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

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

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

Relationshandlingar ska bestå av:

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

På original exemplet av sammanställningsritningen ska redovisas

- använd typ av tillsatsmedel i betong
- förteckning över av beställaren godtagna handlingar
- lagerinställningar
- sammansättning av injekteringsbruk med uppgift om cementfabrikat, tillsatsmedel, dosering samt vCt<sub>ekv</sub>

- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvagningsdubbar
- vid grundläggning på berg, höjder för bottenplattas underkant.

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

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

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

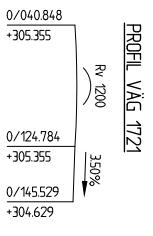
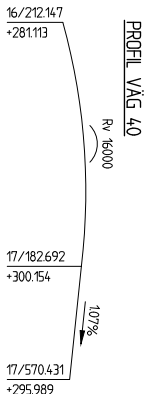
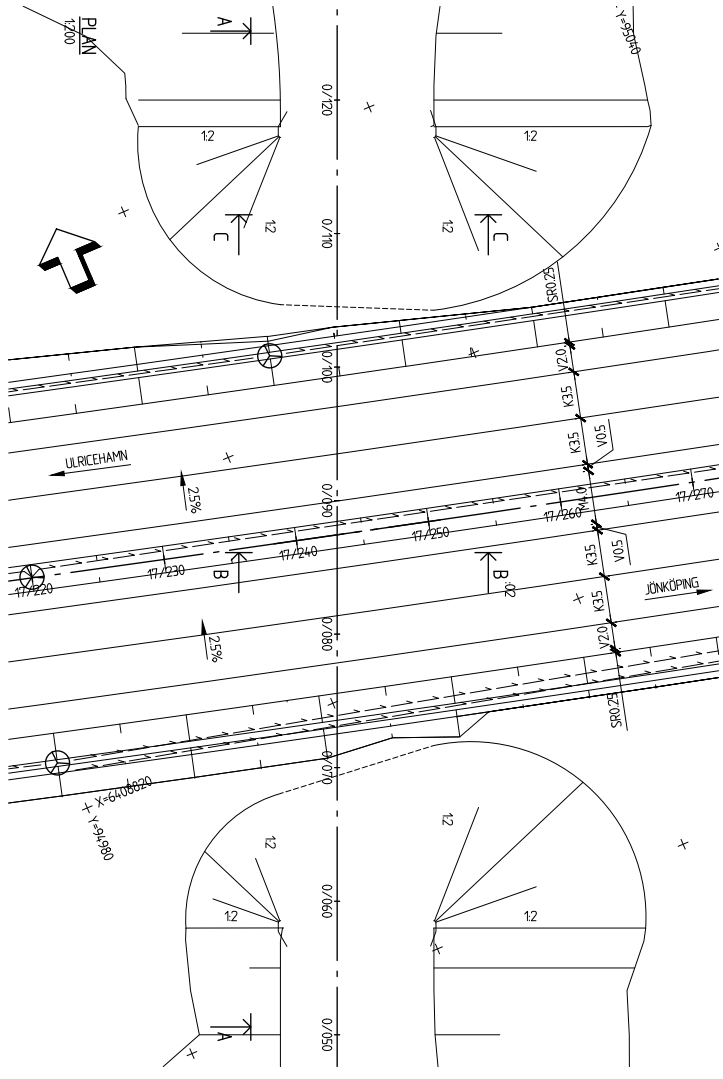
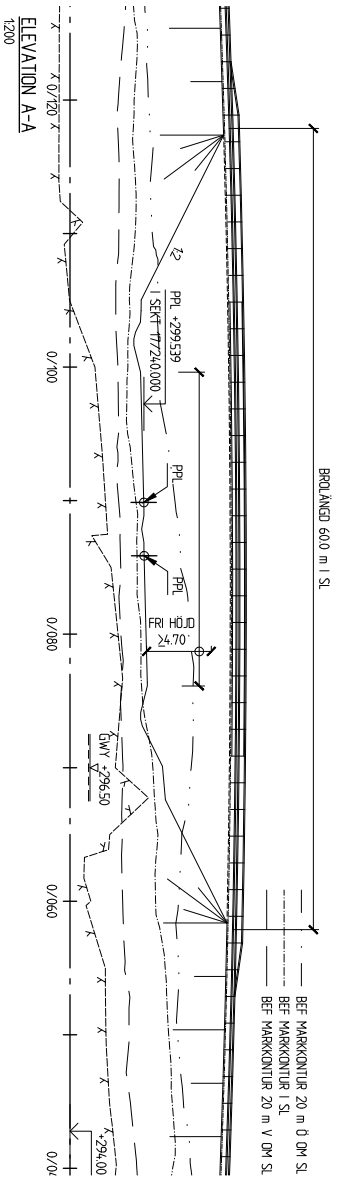
Eventuella smärre avsteg från godtagen ritning ska vara införda på originalritningarna.

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

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

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

## Bilaga 2 - Förfrågningsunderlag

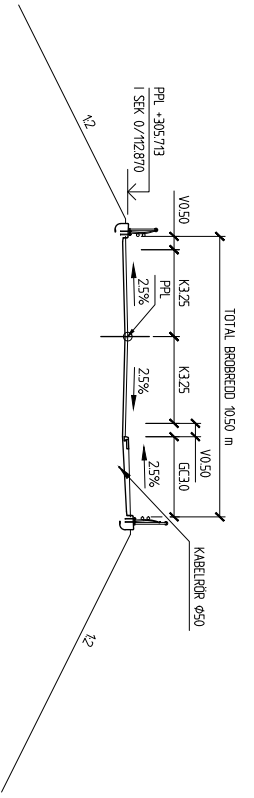
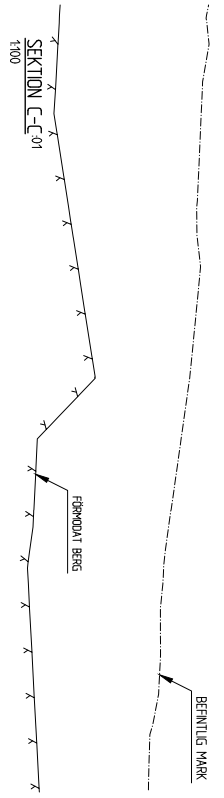
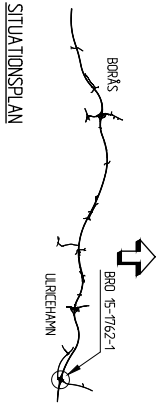


PLANDATA VÄG 40

PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM
1	16/132.82	6409272348	93990111	R=3700
2	17/9217.67	6408111778	95619337	

PLANDATA VÄG 1721

PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM
1	0/000.000	6408151037	949702959	
2	0/169.122	6408066623	95037280	RL



- ALLMÄNNA ANVISNINGAR**
- HÖJDSYSTEM RH 70
  - KÖRPLANSYSTEM RI 90.5 gpn V 0-1
  - HÖJDEX: ENLIGT KARTPÅRM
  - RAJYGNORPUNKTER: ENLIGT KARTPÅRM
  - NORRRE: EBERSKRITER
  - ÖSTRE: BERKÄLVANDE
  - BRÖN SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT KRAVET I BRÖ 2009:66, 2009:271 OCH I K. 600 I BRÖL 2009:66. SAMT TEKNISK BESKRIVNING ÖTORGSSYSTEM 3K100003 UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATUM 2012-09-15.
- FÖRKLARINGAR**
- FL/RL: AVSER FAST RESPEKTIVE RÖRLIGT LAGER
  - ↑: AVSER KONSOID FÖR BETYNSNINGSSTUPE
- HÄVSNINGAR**
- LENNINGAR ENLIGT RINGNS 30005712
  - YTISKART ENLIGT RINGNS 30015912
  - BELTSNING ENLIGT RINGNS 30766372
- TECKENFÖRKLARINGAR**
- NY DRÄNERINGSLEDNING
  - DAGVATTENRÖNN

BYGGHANDLING	BYGGHANDLING	BYGGHANDLING	BYGGHANDLING
BYGGHANDLING	BYGGHANDLING	BYGGHANDLING	BYGGHANDLING

**TRAFIKVERKET**

**cowi**

CONSULT

BRÖ ÖVER ALLMÄN VÄG I HÖSNÄVOTET O ULRICEHAMN

PLAN, ELEVATION

15-1762-1

85436030 347K2001

## Bilaga A – Beräkningar i tvärled

A1 – Lastpositionering	2
A2 – Snittkraftsberäkningar	5
A3 – Snittkraftsdiagram	11
A4 – Funktionsfiler	15
A5 – Redovisning av snittkraftsberäkningar	17
A6 – Armeringsberäkningar	29



# Bilaga A1 – Beräkning av lasternas värsta positioner

```
%% Beräkning av lasternas värsta läge.
% Detta program beräknar längden på lastfält tre som kan ligga mellan 0
% och 0.55 m.

clear all
close all
clc

%% Tvärsnittsdata

E = 30*10^9;           % GPa
A = 1*.3;             % 1 meter bred, 0.3 hög
I = 1*0.3^3/12;

%% Laster

%Lastkoefficienter

alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;

alfaqa1 = 0.7;
alfaqa2 = 1.0;

% Laster

Q1 = 300*1000*alfaQ1; % N
Q2 = 200*1000*alfaQ2; % N

q1 = 9*1000*alfaqa1; % N/m
q2 = 2.5*1000*alfaqa2; % N/m

g = A*25000;         % N/m

eq=[0 g             % Lastvektor
    0 g+q2
    0 g+q1
    0 g+q1
    0 g+q1
    0 g+q2
    0 g+q2
    0 g+q2
    0 g];

ep = [E A I];       % Elementegenskaper

Mminref = 0;        % Startvärde för momentet

L1 = 2.35;          % Startvärde f
N = 0.55;

ex1 = [0 L1]; ey = [0 0]; % Elementpositioner
```

```

for i = 0.01:0.01:N-0.01           % Elementens längd ändras i loopen
ex2 = [L1 L1+i];
ex3 = [ex2(2) L1+i+0.75];
ex4 = [ex3(2) L1+i+0.75+2];
ex5 = [ex4(2) L1+i+0.75+2+0.25];
ex6 = [ex5(2) L1+i+0.75+2+0.25+0.25];
ex7 = [ex6(2) L1+i+0.75+2+0.25+0.25+2];
ex8 = [ex7(2) 8.15];
ex9 = [ex8(2) 10.5];

ex = [ex1                               % Gör ex till en vektor
      ex2
      ex3
      ex4
      ex5
      ex6
      ex7
      ex8
      ex9];

Edof = [1  1 2 3 4 5 6;           % Frihetsgrader
        2  4 5 6 7 8 9;
        3  7 8 9 10 11 12;
        4  10 11 12 13 14 15;
        5  13 14 15 16 17 18;
        6  16 17 18 19 20 21;
        7  19 20 21 22 23 24;
        8  22 23 24 25 26 27;
        9  25 26 27 28 29 30];

bc = [4 0; 5 0; 26 0];           % Randvillkor

% Etablera kraftpositioner och styvhetsmatriser

K = zeros(30); f = zeros(30,1);
f(11)=Q1; f(14)=Q1; f(20)=Q2; f(23)=Q2;

for j = 1:1:9
    [Ke, fe]=beam2e(ex(j,:),ey,ep,eq(j,:));
    [K, f]=assem(Edof(j,:),K,Ke,f,fe);
end

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

ed = extract(Edof,a);           % Tar fram dislokationer

es1=beam2s(ex1,ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),21); % Beräknar snittkrafter med
es2=beam2s(ex2,ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),21); % beam2s
es3=beam2s(ex3,ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),21);
es4=beam2s(ex4,ey,ep,ed(4,:),eq(4,:),21);
es5=beam2s(ex5,ey,ep,ed(5,:),eq(5,:),21);
es6=beam2s(ex6,ey,ep,ed(6,:),eq(6,:),21);
es7=beam2s(ex7,ey,ep,ed(7,:),eq(7,:),21);
es8=beam2s(ex8,ey,ep,ed(8,:),eq(8,:),21);
es9=beam2s(ex9,ey,ep,ed(9,:),eq(9,:),21);

m =zeros(9,1);

```

```

m(1)=min(es1(:,3));      % Tar fram det minsta momentet i varje element
m(2)=min(es2(:,3));
m(3)=min(es3(:,3));
m(4)=min(es4(:,3));
m(5)=min(es5(:,3));
m(6)=min(es6(:,3));
m(7)=min(es7(:,3));
m(8)=min(es8(:,3));
m(9)=min(es9(:,3));

Mmin=min(m);            % Tar fram det minsta momentet

    if Mmin <= Mminref % Jämför om Mmin är mindre än för förra loopen

        Mminref=Mmin

        i
    end
end

```

## Bilaga A2 – snittkraftsberäkningar i tvärled

```
% Beräkningar i tvärled
% Programmet utför snittkraftsberäkningar i tvärled för en balk på två
% stöd.
clear all
close all
clc

%% Dimensioner

% Platta
tf= 0.3;           % Plattans tjocklek [m]
A = 1*tf;         % Plattans area, 1 meter bred [m^2]
I = 1*tf^3/12;    % [m^4]
Aasfalt=1*0.1;    % Beläggningen är 0.1 meter hög [m^2]

% Kantbalk
Akantbalk=0.4*1;  % [m^2]
Ikantbalk=1*0.4^3/12; % [m^4]

%% Materialparametrar
E = 30*10^9;      % [GPa]
% Tunghet
yracke=0.5;      % [kN/m]
yasfalt=23;      % [kN/m^3]
ybetong=25;      % [kN/m^3]

%% Laster

% Permanenta laster
g = -A*ybetong-Aasfalt*yasfalt; % [kN/m]
Gracke=-0.5*1; % Fungerar som punktlaster på 1 meter
Gkantbalk=-Akantbalk*ybetong*1; % platta[kN/m]

% Variabla laster
alfaQ1 = 0.9; % Lastkoefficienter
alfaQ2 = 0.9;
alfaql = 0.7;
alfaql2 = 1.0;

Q1 = -300*0.5*alfaQ1; % [kN]
Q2 = -200*0.5*alfaQ2; % [kN]

ql = -9*alfaql; % [kN/m]
ql2 = -2.5*alfaql2; % [kN/m]

%% Definierar elementegenskaper

i=1150; % i är antal element, ett element är 1 cm

ep=zeros(i,3);

for j=1:50 % Kantbalkens egenskaper
    ep(j,:)= [E Akantbalk Ikantbalk];
end
```

```

end
for j=51:i-50                % Plattans egenskaper
    ep(j,:)= [E A I];
end

for j=i-49:i                % Kantbalkens egenskaper
    ep(j,:)= [E Akantbalk Ikantbalk];
end

% Lastkombinationer, input bestämmer vilken kombination som används

p=0;    % Spännkraftens inverkan försummas vid dessa beräkningar

lastkomb=input('lastkomb \n 1 - Brottgränstillstånd \n 2 - Karaktäristisk
\n 3 - Frekvent \n 4 - Kvasi \n');

if lastkomb == 1            % Brottsgräns

    [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = brott_komb_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2);
end

if lastkomb == 2            % Bruksgräns karakteristisk lastkombination
    [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = bruk_komb_karak_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 );
end

if lastkomb == 3            % Bruksgräns frekvent lastkombination
    [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = bruk_komb_frekv_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 );
end

if lastkomb == 4            % Bruksgräns kvasipermanent lastkombination
    [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = bruk_komb_kvasi_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 );
end

%% Elementpositioner

ex=zeros(i,2);            % Balkelementens x-koordinater
for j=1:i                % varje element har längden 0.01 meter
    ex(j,:)= [j*0.01-0.01 j*0.01];
end

ey=[0 0];    % Elementens y-koordinater

%% Element och frihetsgrader

% Topologi - Edof-matrisen skapas

Edof=zeros(i,7);

for j = 1:i
    Edof(j,1) = j;        % första raden i edof är elementnummret
end
l=3;
for j =1:i
    l=l-3;
    for k= 2:7

```

```

        l=l+1;
        Edof(j,k)=1;
    end
end

% Randvillkor - balken har 3 låsta frihetsgrader

bc = [285*3+1 0;285*3+2 0;865*3+2 0];

%% Lastfall 1 - All last i mitten ger maximalt fältmoment
% Etablera kraftpositioner och styvhetsmatriser

% Lastvektorn definieras
eq=zeros(i,2);
for j=1:50          % Kantbalkens utbredda last
    eq(j,:)= [0 Gkantbalk];
end
for j=51:285       % Utbredd last på konsolen
    eq(j,:)= [0 g];
end
for j=286:302      % Utbredd last i mittfack - återstående lastyta
    eq(j,:)= [0 go+q2];
end
for j=303:603      % Utbredd last i mittfack - lastfält 1
    eq(j,:)= [0 go+q1];
end
for j=604:865      % Utbredd last i mittfack - lastfält 2
    eq(j,:)= [0 go+q2];
end
for j=866:1100     % Utbredd last på konsolen
    eq(j,:)= [0 g];
end
for j=1101:1150    % Kantbalkens utbredda last
    eq(j,:)= [0 Gkantbalk];
end

% Etablerar styvhetsmatris och lastvektor för lastfallet
K = zeros(i*3+3); f = zeros(i*3+3,1);

% Punktlasterna placeras
f(30*3+2)=Gracke;   f(376*3+2)=Q1;   f(576*3+2)=Q1;   f(626*3+2)=Q2;
f(826*3+2)=Q2;     f(1120*3+2)= Gracke;

    for j = 1:1:i
        [Ke, fe]=beam2e(ex(j,:),ey,ep(j,:),eq(j,:));
        [K, f]=assem(Edof(j,:),K,Ke,f,fe);
    end

%% Lösning av systemet sker med solveq
n=2;
[a, r] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(Edof,a);

% Beam2s används för att beräkna snittkrafter i elementen längs med balken
% och pelarna. Resultaten sparas i matrisen es.
es1=zeros(i*n,3);

```

```

for j=1:i
    es1((j-1)*n+1:n*j,:)=beam2s(ex(j,:),ey,ep(j,:),ed(j,:),eq(j,:),n);
end

% Ritar upp momentdiagram med eldia2.
figure(1)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey,es1(:,3),50);
axis([-1.5 13 -10 10]);
title('Moment lastfall 1')

for k=1:i
    eldia2(ex(k,:),ey,es1((k-1)*n+1:n*k,3),plotpar,sfac);
end

figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey,es1(:,2),50);
axis([-1.5 13 -10 10]);
title('Tvärkraft lastfall 1')

for k=1:i
    eldia2(ex(k,:),ey,es1((k-1)*n+1:n*k,2),plotpar,sfac);
end

%% Lastfall 2 - last på halva bron, punktlast vid stöd
% ger maximal tvärkraft

% Etablera kraftpositioner och styvhetsmatriser

% Lastvektorn definieras
eq=zeros(i,2);
for j=1:50 % Kantbalkens utbredda last
    eq(j,:)=[0 Gkantbalk];
end
for j=51:285 % Utbredd last på konsolen - lastfält 1
    eq(j,:)=[0 go+q1];
end
for j=286:351 % Utbredd last i mittfack - lastfält 1
    eq(j,:)=[0 go+q1];
end
for j=352:865 % Utbredd last i mittfack - lastfält 2
    eq(j,:)=[0 go+q2];
end
for j=866:1100 % Utbredd last på konsolen
    eq(j,:)=[0 g];
end
for j=1101:1150 % Kantbalkens utbredda last
    eq(j,:)=[0 Gkantbalk];
end

% Etablerar styvhetsmatris och lastvektor för lastfallet
K = zeros(i*3+3); f = zeros(i*3+3,1);

% Punktlasterna placeras
f(30*3+2)=Gracke; f(100*3+2)=Q1; f(300*3+2)=Q1; f(350*3+2)=Q2;

```

```

f(550*3+2)=Q2;      f(1120*3+2)= Gracke;

for j = 1:1:i
    [Ke, fe]=beam2e(ex(j,:),ey,ep(j,:),eq(j,:));
    [K, f]=assem(Edof(j,:),K,Ke,f,fe);
end

% Lösning av systemet sker med solveq
[a, r] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(Edof,a);

% Beam2s används för att beräkna snittkrafter i elementen längs med balken
% och pelarna. Resultaten sparas i matrisen es.
es2=zeros(i*n,3);

for j=1:i
    es2((j-1)*n+1:n*j,:)=beam2s(ex(j,:),ey,ep(j,:),ed(j,:),eq(j,:),n);
end

% Ritar upp moment- och tvärkraftsdiagram med eldia2.
figure(3)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey,es2(:,3),50);
axis([-1.5 13 -10 10]);
title('Moment lastfall 2')

for k=1:i
    eldia2(ex(k,:),ey,es2((k-1)*n+1:n*k,3),plotpar,sfac);
end

figure(4)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey,es2(:,2),50);
axis([-1.5 13 -10 10]);
title('Tvärkraft lastfall 2')

for k=1:i
    eldia2(ex(k,:),ey,es2((k-1)*n+1:n*k,2),plotpar,sfac);
end

%% Skriver ut värden

% Momenten i balken
Maxs1=min(es1(:,3))
Maxf1=max(es1(:,3))
Maxs2=min(es2(:,3))
Maxf2=max(es2(:,3))

% Tvärkraften i balken
MaxV1=max(es1(:,2))
MinV1=min(es1(:,2))

Ra=MaxV1+abs(MinV1)
MaxV2=max(es2(:,2))
MinV2=min(es2(:,2))

```



```

% Normalkraften i balken
MaxN1=min(es1(1:i*n-2*n,1))
MaxN2=min(es2(1:i*n-2*n,1))

%% Plottning av momentdiagram

figure (5) % Öppnar ny figur

x=linspace(0,11.5,i*n);

y1=es1(:,3); % Definerar y-funktion som momenten för lastfall 1
plot(x,-y1,'r') % Ritar upp momentdiagramet för lastfall 1
hold on

y2=es2(:,3); % Ritar upp momentdiagrammet för lastfall 2 i
plot(x,-y2,'b') % samma figur

l=linspace(0,11.5);
y3=linspace(0,0);
plot(l,y3,'k','Linewidth',2) % Ritar upp bron

legend('Lastfall 1','Lastfall 2')
title('Momentdiagram - tvärled')
xlabel('Brons längd (m)')
ylabel('Moment (kNm)')

%% Plottning av tvärkraftsdiagram

figure (6)

x=linspace(0,11.5,i*n);

y1=es1(:,2); % Definerar y-funktion som momenten för lastfall 1
plot(x,-y1,'r') % Ritar upp tvärkraftsdiagramet för lastfall 1
hold on

y2=es2(:,2); % Ritar upp tvärkraftsdiagrammet för lastfall 2 i
plot(x,-y2,'b') % samma figur

l=linspace(0,11.5);
y3=linspace(0,0);
plot(l,y3,'k','Linewidth',2) % Ritar upp bron

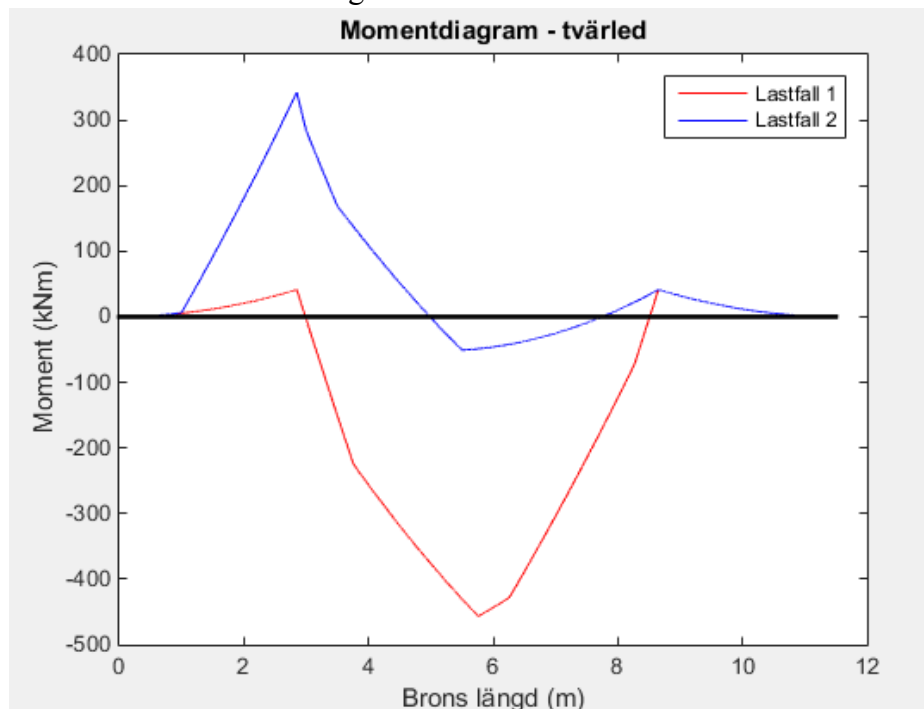
legend('Lastfall 1','Lastfall 2')
title('Tvärfkraftsdiagram - tvärled')
xlabel('Brons längd (m)')
ylabel('Tvärfkraft (kN)')

```

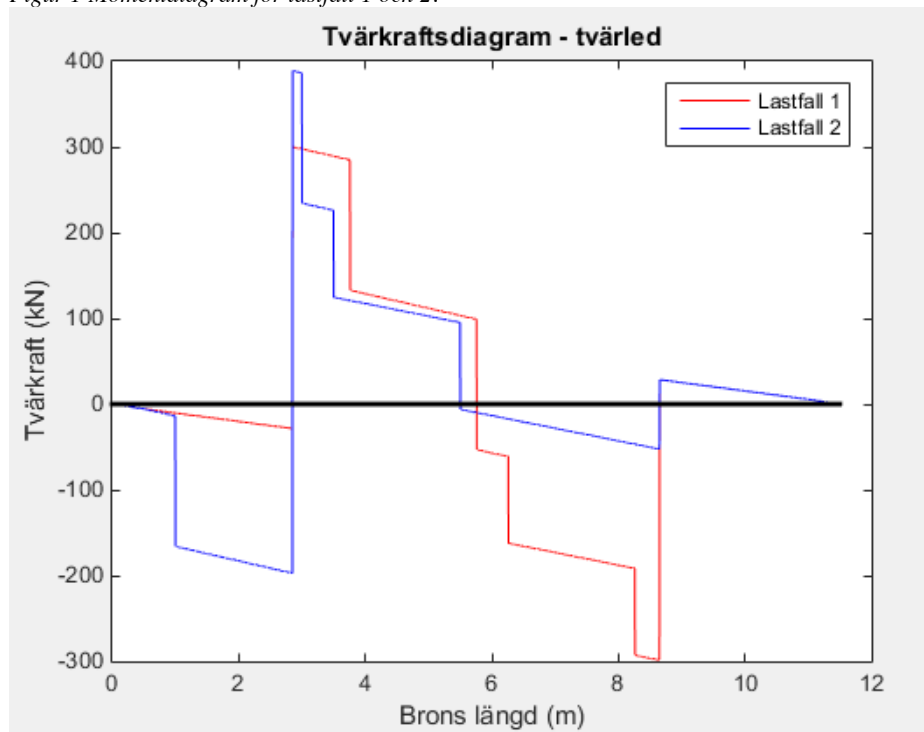
# Bilaga A3 – redovisning av sittkraftsdiagram i tvärled

Nedan redovisas snittkraftsdiagrammen, framtagna i Matlab, för lastfallen och lastkombinationerna

Lastkombination 1 – Brottgränstillstånd

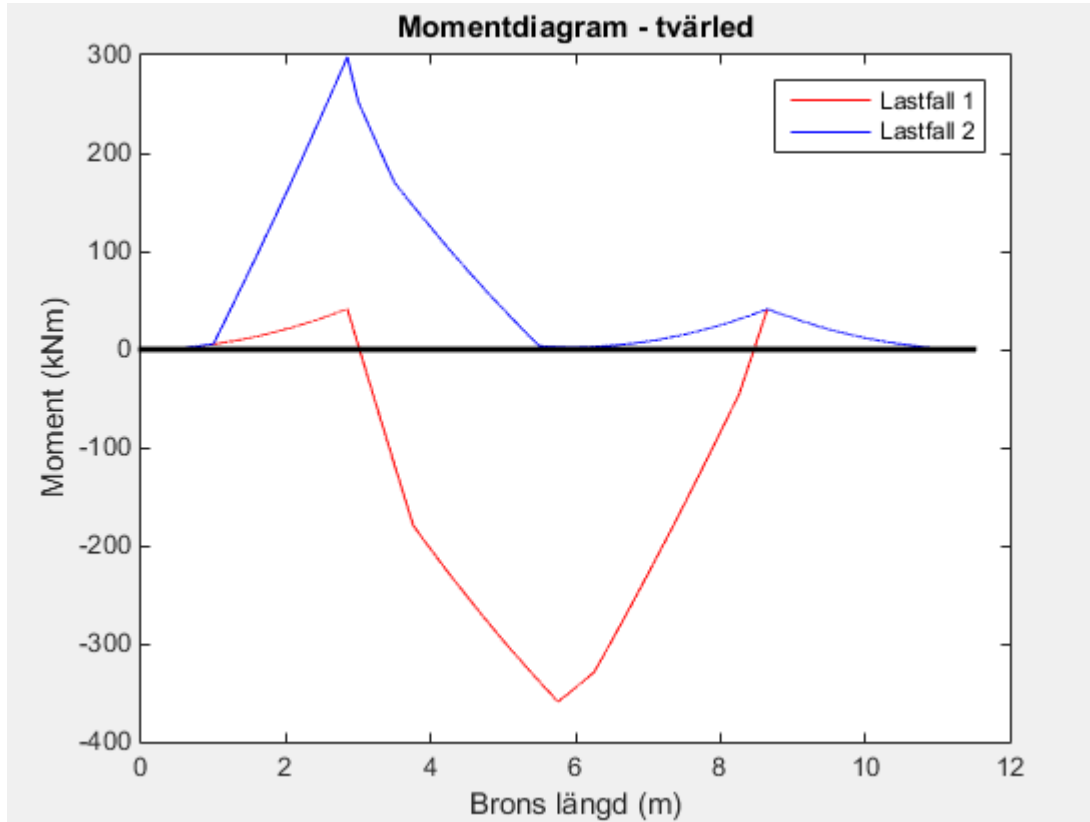


Figur 1 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.

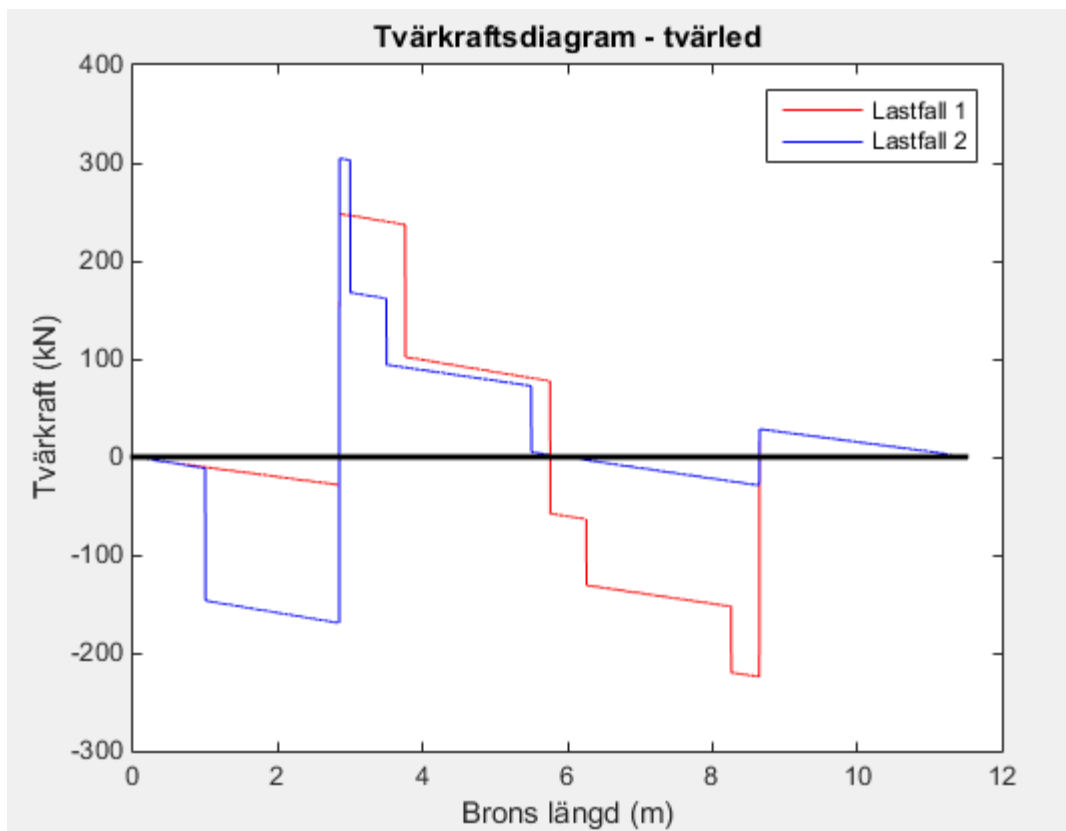


Figur 2 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.

Lastkombination 2 – Bruksgränstillstånd, karaktäristisk kombination

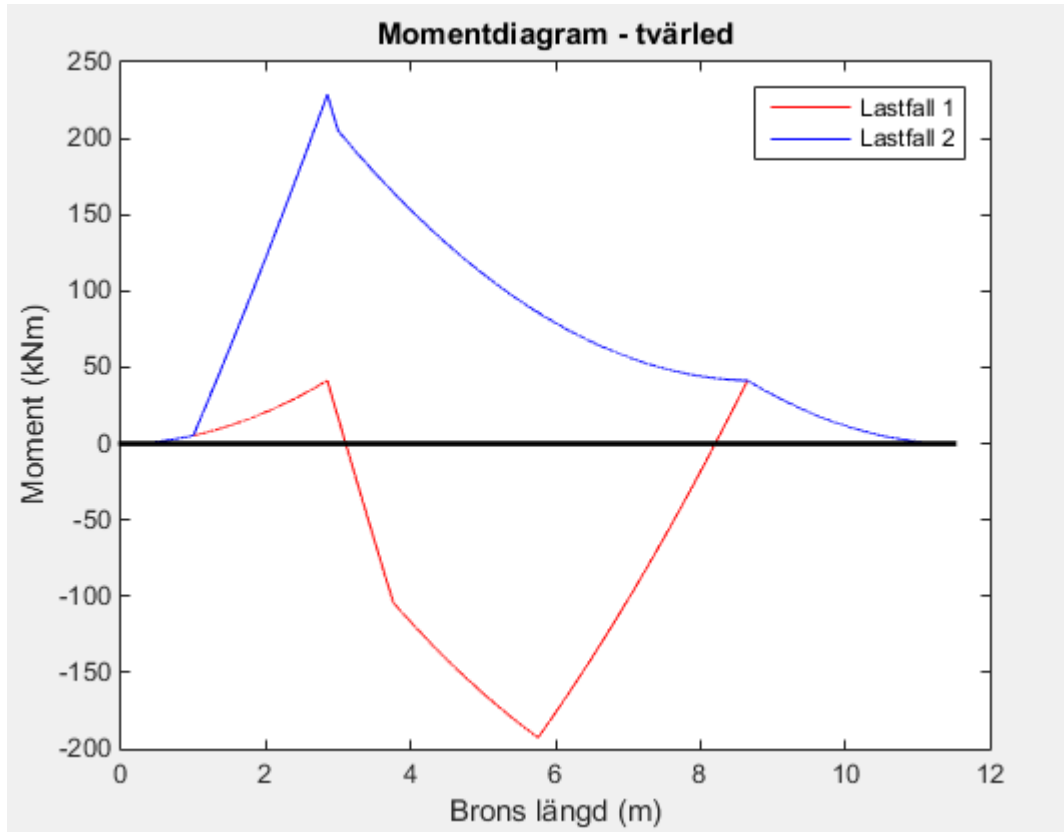


Figur 3 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.

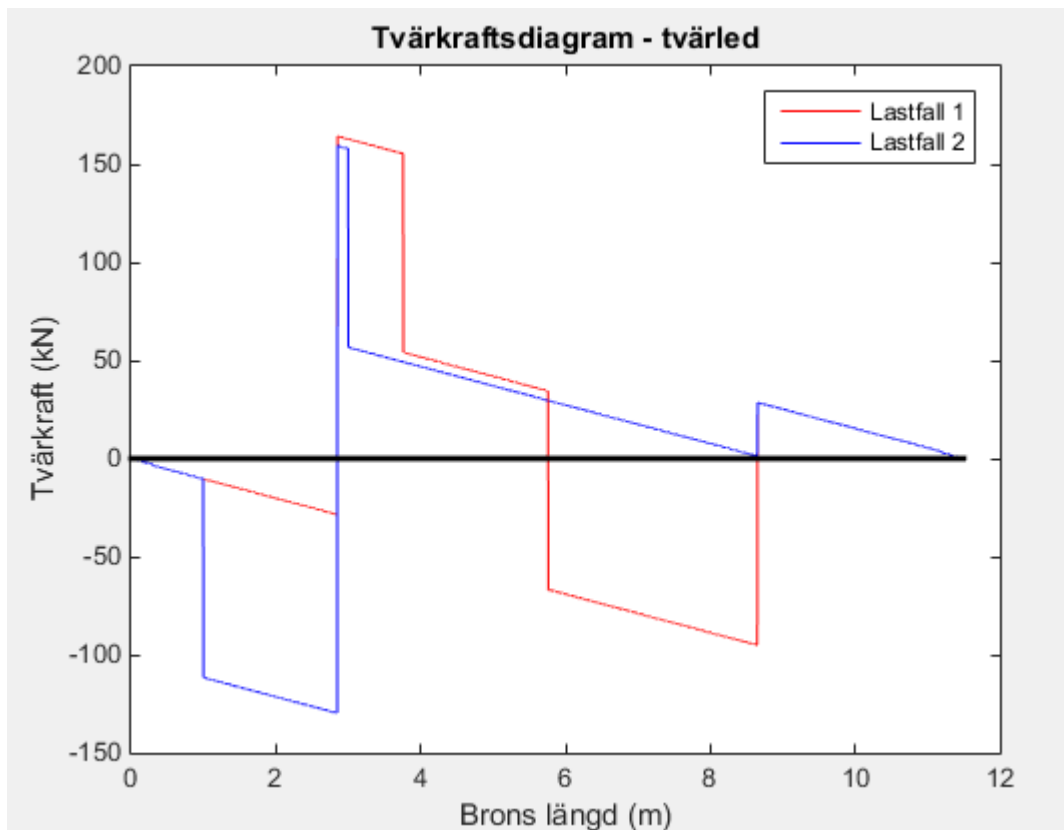


Figur 4 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.

Lastkombination 3 – Bruksgränstillstånd, frekvent kombination

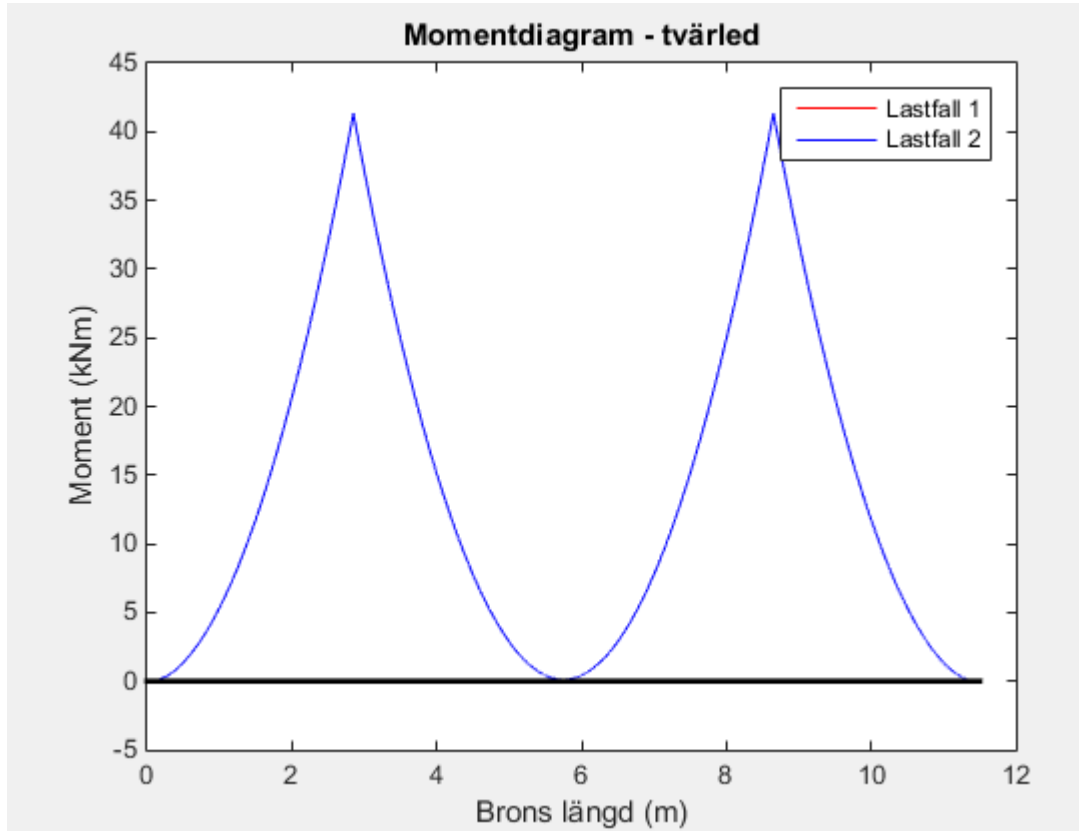


Figur 5 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.

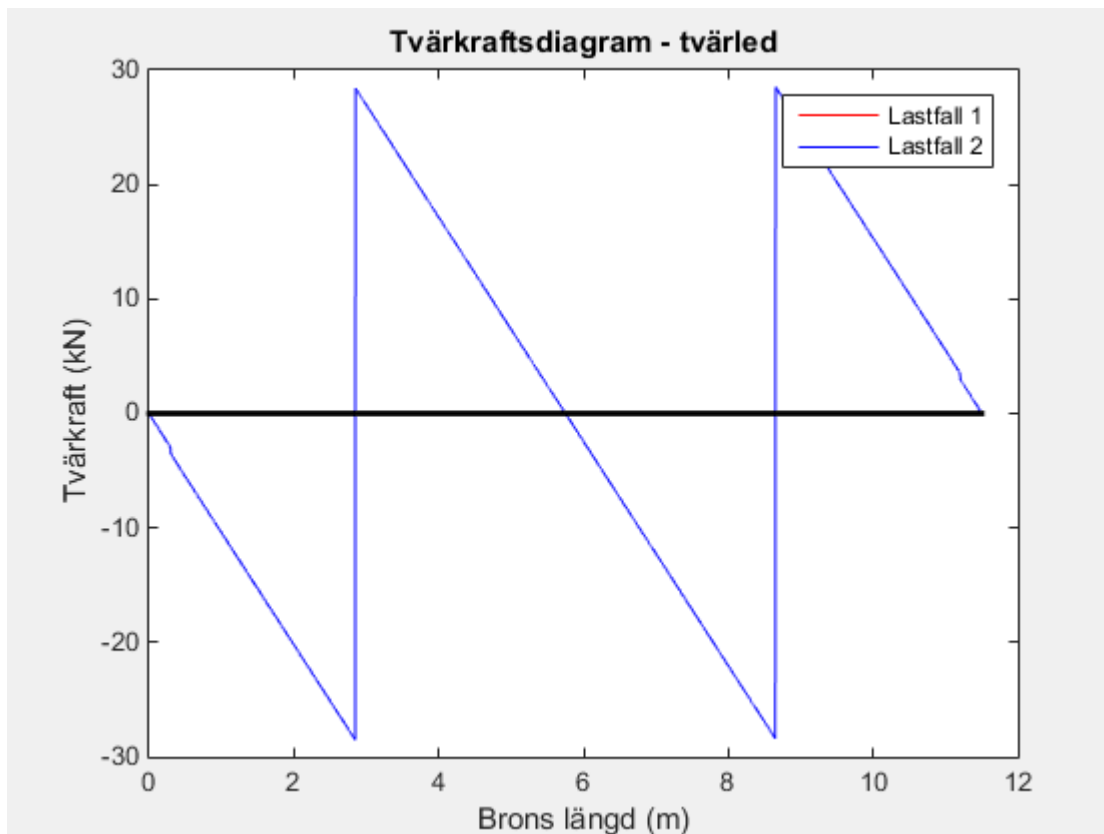


Figur 6 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.

Lastkombination 4 – Bruksgränstillstånd, kvasipermanent kombination



Figur 7 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.



Figur 8 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.

## Bilaga A4 – Funktionsfiler I tvärled

```
function [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = brott_komb_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 )
% Lastberäkning för brottsgränstillstånd
% Med hjälp av ekvationerna 6.10a och 6.10b i Eurocode 1990 ska de
% dimensionerande krafterna tas fram.

% De utbredda lasterna görs om

Q3=q1*3;
Q4=q2*3;

% Partialkoefficienter

gammaG=1.35;
gammaQ=1.5;
gammaP=1.3;

xiaxellast=0.75;
xiUDL=0.4;

red=0.89;

% Ekv 6.10a
Ea=gammaG*g+gammaP*p+gammaQ*xiaxellast*Q1+gammaQ*xiaxellast*Q2;
Ea=Ea+gammaQ*xiUDL*Q3+gammaQ*xiUDL*Q4;

% Ekv 6.10b
Eb=red*gammaG*g+gammaP*p+gammaQ*Q1+gammaQ*xiaxellast*Q2;
Eb=Eb+gammaQ*xiUDL*q1+gammaQ*xiUDL*q2;

if Ea>Eb % Väljer ekv 6.10a om den är större

    go=gammaG*g;
    p=gammaP*p;
    q1=gammaQ*xiUDL*q1;
    q2=gammaQ*xiUDL*q2;
    Q1=gammaQ*xiaxellast*Q1;
    Q2=gammaQ*xiaxellast*Q2;

end

if Eb>Ea % Väljer ekv 6.10b om den är större

    go=gammaG*g*red;
    p=gammaP*p;
    q1=gammaQ*xiUDL*q1;
    q2=gammaQ*xiUDL*q2;
    Q1=gammaQ*Q1;
    Q2=gammaQ*xiaxellast*Q2;

end

end
```

```

function [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = bruk_komb_karak_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 )
% Lastberäkning för bruksgränstillstånd karaktäristisk kombination
%     Med hjälp av ekvationerna 6.14a och 6.14b i Eurocode 1990 ska de
%     dimensionerande krafterna tas fram.

xiaxellast=0.75;           % Partialkoefficient för axellast
xiUDL=0.4;                % Partialkoefficient för utbredd last

go=g;                     % Ogynnsam egyptyngd har samma värde som g
p=p;
q1=xiUDL*q1;              % Utbredda laster reduceras
q2=xiUDL*q2;
Q1=Q1;
Q2=xiaxellast*Q2;        % Den mindre axellasten reduceras

end

function [ g,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = bruk_komb_frekv_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 )
% Lastberäkning för bruksgränstillstånd - frekvent
%     Med hjälp av ekvationerna 6.15a och 6.15b i Eurocode 1990 ska de
%     dimensionerande krafterna tas fram.

xiaxellast=0.75;         % Partialkoefficient för axellast
xiUDL=0.4;              % Partialkoefficient för utbredd last
xi2=0;

g=g;                     % Lastkombinering enligt ekv 6.15
p=p;
q1=xi2*q1;
q2=xi2*q2;
Q1=xiaxellast*Q1;
Q2=xi2*Q2;

end

function [ go,p,q1,q2,Q1,Q2 ] = bruk_komb_kvasi_tvarled( g,p,q1,q2,Q1,Q2 )
% Lastberäkning för bruksgränstillstånd kvasipermanent
%     Med hjälp av ekvationerna 6.16a och 6.16b i Eurocode 1990 ska de
%     dimensionerande krafterna tas fram.

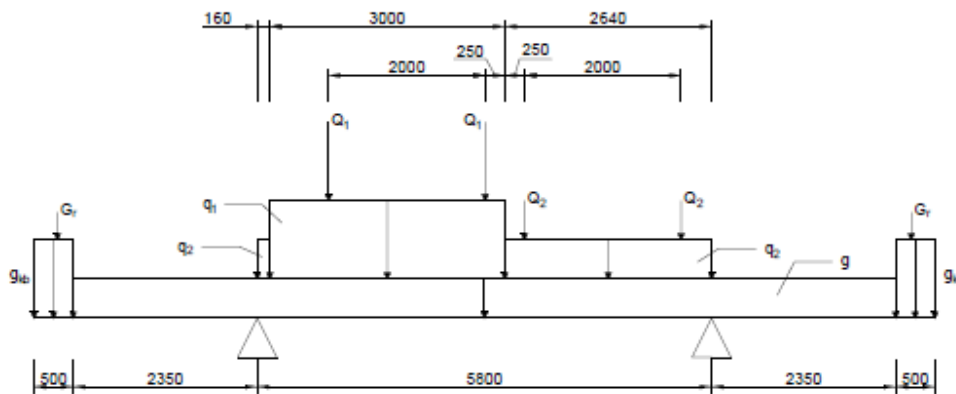
xiaxellast=0.75;        % Partialkoefficienter
xiUDL=0.4;
xi2=0;

go=g;                     % Egentyngden är oförändrad
p=p;
q1=xi2*q1;                % De variabla lasterna sätts till 0
q2=xi2*q2;
Q1=xi2*Q1;
Q2=xi2*Q2;
end

```

## Bilaga A5 - Redovisning av snittkraftsberäkningar

För att visa hur dimensionerande snittkrafter tas fram har handberäkningar gjorts på lastfall 1 tvärl. Nedan visas lastfallet samt beräkningsgången.



### Laster

$$g := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{kb} := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_r := 0.5 \text{ kN}$$

$$Q_1 := 0.5 \cdot 270 \text{ kN} \quad P_1 := Q_1$$

$$Q_2 := 0.5 \cdot 135 \text{ kN} \quad P_2 := Q_2$$

$$q_1 := 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_2 := 1.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



## Längder

$$L_{kb} := 0.5\text{m}$$

$$L_k := 2.35\text{m}$$

$$L_m := 5.8\text{m}$$

## Jämviktsekvationer ger stödkrafter

$$R_{Av} := g \cdot L_k + G_r + g_{kb} \cdot L_{kb} = 23.125 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bh} := R_{Av}$$

$$M_A := - \left[ g \cdot \frac{L_k^2}{2} + G_r \cdot (L_k + 0.2\text{m}) + g_{kb} \cdot L_{kb} \cdot \left( \frac{L_{kb}}{2} + L_k \right) \right] = -34.984 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_B := M_A$$

Medurs jämvikt kring B ger att följande uttryck = 0

$$\begin{aligned} R_{Ah} \cdot L_m - g \cdot \frac{L_m^2}{2} - q_2 \cdot \frac{(2.64)^2}{2} - q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (L_m - 0.08\text{m}) \dots \\ + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot 4.14\text{m} - P_1 \cdot 4.89\text{m} - P_1 \cdot 2.89\text{m} - P_2 \cdot 2.39\text{m} - P_2 \cdot 0.39\text{m} \dots \\ + M_A - M_B \end{aligned}$$

$$R_{Ah} := \frac{\left[ g \cdot \frac{L_m^2}{2} + q_2 \cdot \frac{(2.64\text{m})^2}{2} + q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (L_m - 0.08\text{m}) \dots \right.}{L_m} = 241.345 \cdot \text{kN}$$

Total stödreaktion i stöd A

$$R_A := R_{Av} + R_{Ah} = 264.47 \cdot \text{kN}$$

Moturs jämvikt kring A ger att följade uttryck = 0

$$R_{Bv} \cdot L_m - g \cdot \frac{L_m^2}{2} - q_2 \cdot \frac{(0.16m)^2}{2} - q_2 \cdot 2.64m \cdot \left( L_m - \frac{2.64}{2} m \right) \dots$$

$$+ -q_1 \cdot 3m \cdot 1.66m - P_1 \cdot 0.91m - P_1 \cdot 2.91m - P_2 \cdot 3.41m - P_2 \cdot 5.41m - M_A + M_B$$

Löser ut  $R_{Bv}$

$$R_{Bv} := \frac{\left[ g \cdot \frac{L_m^2}{2} + q_2 \cdot \frac{(0.16m)^2}{2} + q_2 \cdot 2.64m \cdot \left( L_m - \frac{2.64}{2} m \right) \dots \right.}{L_m}$$

$$\left. + q_1 \cdot 3m \cdot 1.66m + P_1 \cdot 0.91m + P_1 \cdot 2.91m \dots \right. + P_2 \cdot 3.41m + P_2 \cdot 5.41m + M_A - M_B$$

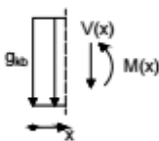
$$R_{Bv} = 2.175 \times 10^5 \text{ N}$$

Total stödreaktion i stöd B

$$R_B := R_{Bv} + R_{Bh} = 240.64 \cdot \text{kN}$$

## Snittkrafter

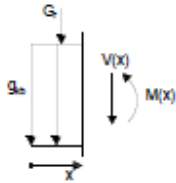
Snitt 1  $0m \leq x \leq 0.3m$



$$V(x) := g_{kb} \cdot x$$

$$M(x) := -g_{kb} \cdot \frac{x^2}{2}$$

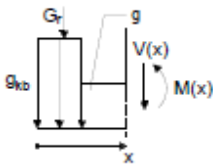
Snitt 2  $0.3\text{m} \leq x \leq 0.5\text{m}$



$$V(x) := g_{kb} \cdot x + G_I$$

$$M(x) := - \left[ g_{kb} \cdot \frac{x^2}{2} + G_I \cdot (x - 0.3\text{m}) \right]$$

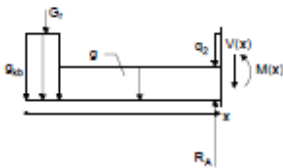
Snitt 3  $0.5\text{m} \leq x \leq 2.85\text{m}$



$$V(x) := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_I + g \cdot (x - 0.5\text{m})$$

$$M(x) := - \left[ g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_I \cdot (x - 0.3\text{m}) + g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} \right]$$

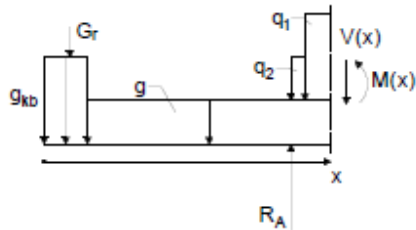
Snitt 4  $2.85\text{m} \leq x \leq 3.01\text{m}$



$$V(x) := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_I + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot (x - 2.85\text{m})$$

$$M(x) := - \left[ g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_I \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \right. \\ \left. + g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) + q_2 \cdot \frac{(x - 2.85\text{m})^2}{2} \right]$$

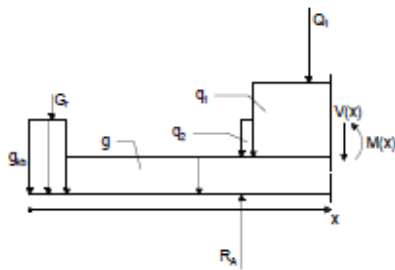
Snitt 5  $3.01\text{m} \leq x \leq 3.76\text{m}$



$$V(x) := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_I + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} + q_1 \cdot (x - 3.01\text{m})$$

$$M(x) := \left[ \begin{aligned} &g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_I \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ &+ g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ &+ q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot \frac{(x - 3.01\text{m})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

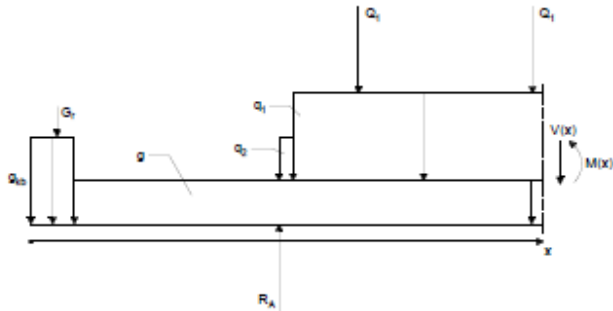
Snitt 6  $3.76\text{m} \leq x \leq 5.76\text{m}$



$$V(x) := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_I + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} \dots \\ + q_1 \cdot (x - 3.01\text{m}) + P1$$

$$M(x) := \left[ \begin{aligned} &g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_I \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ &+ g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ &+ q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot \frac{(x - 3.01\text{m})^2}{2} + P1 \cdot (x - 3.76\text{m}) \end{aligned} \right]$$

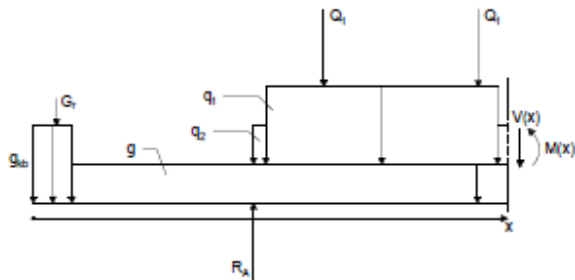
Snitt 7  $5.76\text{m} \leq x \leq 6.01\text{m}$



$$\underline{V(x)} := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_I + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} \dots \\ + q_1 \cdot (x - 3.01\text{m}) + P1 + P1$$

$$\underline{M(x)} := \left[ \begin{array}{l} g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_I \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ + g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ + q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot \frac{(x - 3.01\text{m})^2}{2} \dots \\ + P1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \end{array} \right]$$

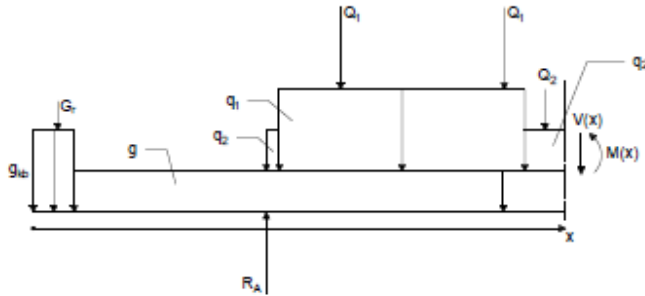
Snitt 8  $6.01\text{m} \leq x \leq 6.26\text{m}$



$$\underline{V(x)} := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_r + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} \dots \\ + q_1 \cdot 3\text{m} + P_1 + P_1 + q_2 \cdot (x - 6.01\text{m})$$

$$\underline{M(x)} := \left[ \begin{aligned} &g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_r \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ &+ g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ &+ q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot (x - 4.51\text{m}) \dots \\ &+ P_1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P_1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \dots \\ &+ q_2 \cdot \frac{(x - 6.01\text{m})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

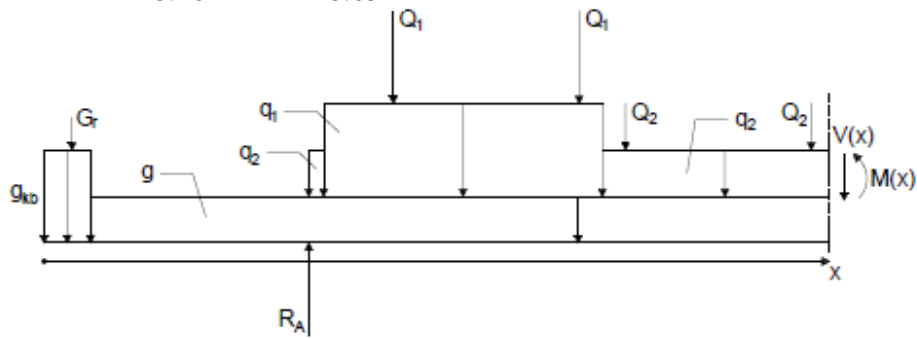
Snitt 9  $6.26\text{m} \leq x \leq 8.26\text{m}$



$$\begin{aligned}
 \underline{V(x)} &:= g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_r + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} \dots \\
 &+ q_1 \cdot 3\text{m} + P_1 + P_1 + q_2 \cdot (x - 6.01\text{m}) \dots \\
 &+ P_2
 \end{aligned}$$

$$\underline{M(x)} := \left[ \begin{aligned}
 &g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_r \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\
 &+ g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\
 &+ q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot (x - 4.51\text{m}) \dots \\
 &+ P_1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P_1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \dots \\
 &+ q_2 \cdot \frac{(x - 6.01\text{m})^2}{2} + P_2 \cdot (x - 6.26\text{m})
 \end{aligned} \right]$$

Snitt 10  $8.26\text{m} \leq x \leq 8.65\text{m}$

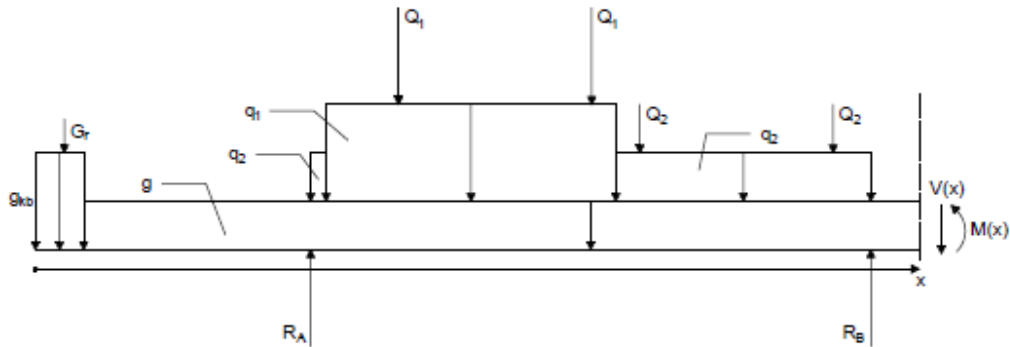


$$\begin{aligned} \underline{V(x)} := & g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_r + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} \dots \\ & + q_1 \cdot 3\text{m} + P_1 + P_1 + q_2 \cdot (x - 6.01\text{m}) + P_2 + P_2 \end{aligned}$$

$$\underline{M(x)} := \left[ \begin{aligned} & g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_r \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ & + g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ & + q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot (x - 4.51\text{m}) \dots \\ & + P_1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P_1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \dots \\ & + q_2 \cdot \frac{(x - 6.01\text{m})^2}{2} + P_2 \cdot (x - 6.26\text{m}) + P_2 \cdot (x - 8.26\text{m}) \end{aligned} \right]$$



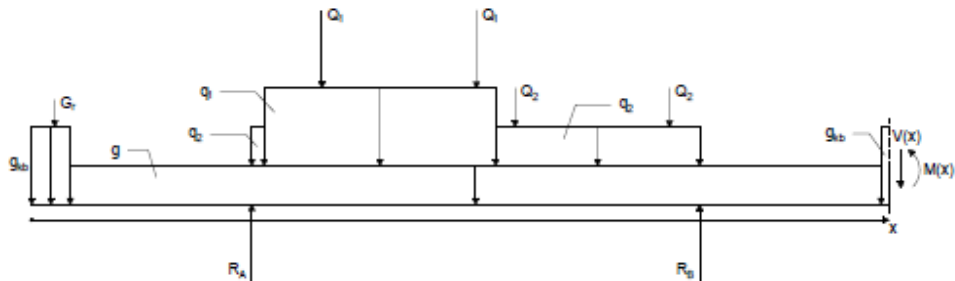
Snitt 11  $8.65\text{m} \leq x \leq 11\text{m}$



$$V(x) := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_r + g \cdot (x - 0.5\text{m}) - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} \dots \\ + q_1 \cdot 3\text{m} + P_1 + P_1 + q_2 \cdot 2.64\text{m} + P_2 + P_2 - R_B$$

$$M(x) := \left[ \begin{array}{l} g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_r \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ + g \cdot \frac{(x - 0.5\text{m})^2}{2} - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ + q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot (x - 4.51\text{m}) \dots \\ + P_1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P_1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \dots \\ + q_2 \cdot 2.64\text{m} \cdot (x - 7.33\text{m}) + P_2 \cdot (x - 6.26\text{m}) \dots \\ + P_2 \cdot (x - 8.26\text{m}) - R_B \cdot (x - 8.65\text{m}) \end{array} \right]$$

Snitt 12  $11\text{m} \leq x \leq 11.2\text{m}$

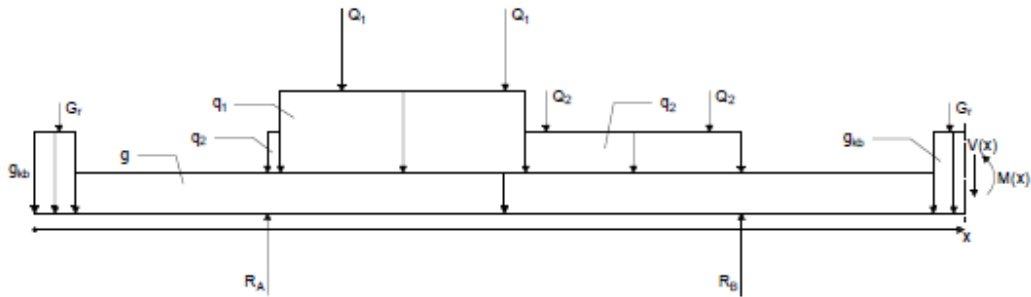


$$V(x) := g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_r + g \cdot 10.5\text{m} - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} + q_1 \cdot 3\text{m} \dots \\ + P_1 + P_1 + q_2 \cdot 2.64\text{m} + P_2 + P_2 - R_B + g_{kb} \cdot (x - 11\text{m})$$

$$M(x) := \left[ \begin{aligned} &g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_r \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ &+ g \cdot 10.5\text{m} \cdot (x - 5.75\text{m}) - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ &+ q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot (x - 4.51\text{m}) \dots \\ &+ P_1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P_1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \dots \\ &+ q_2 \cdot 2.64\text{m} \cdot (x - 7.33\text{m}) + P_2 \cdot (x - 6.26\text{m}) \dots \\ &+ P_2 \cdot (x - 8.26\text{m}) - R_B \cdot (x - 8.65\text{m}) + g_{kb} \cdot \frac{(x - 11\text{m})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

Snitt 13

$$11.2\text{m} \leq x \leq 11.5\text{m}$$



$$\begin{aligned} V(x) := & g_{kb} \cdot 0.5\text{m} + G_r + g \cdot 10.5\text{m} - R_A + q_2 \cdot 0.16\text{m} + q_1 \cdot 3\text{m} \dots \\ & + P_1 + P_1 + q_2 \cdot 2.64\text{m} + P_2 + P_2 - R_B + g_{kb} \cdot (x - 11\text{m}) + G_r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(x) := & \left[ \begin{aligned} & g_{kb} \cdot 0.5\text{m} \cdot (x - 0.25\text{m}) + G_r \cdot (x - 0.3\text{m}) \dots \\ & + g \cdot 10.5\text{m} \cdot (x - 5.75\text{m}) - R_A \cdot (x - 2.85\text{m}) \dots \\ & + q_2 \cdot 0.16\text{m} \cdot (x - 2.93\text{m}) + q_1 \cdot 3\text{m} \cdot (x - 4.51\text{m}) \dots \\ & + P_1 \cdot (x - 3.76\text{m}) + P_1 \cdot (x - 5.76\text{m}) \dots \\ & + q_2 \cdot 2.64\text{m} \cdot (x - 7.33\text{m}) + P_2 \cdot (x - 6.26\text{m}) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - 8.26\text{m}) - R_B \cdot (x - 8.65\text{m}) \dots \\ & + g_{kb} \cdot \frac{(x - 11\text{m})^2}{2} + G_r \cdot (x - 11.2\text{m}) \end{aligned} \right] \end{aligned}$$

# Bilaga A6 - Armeringsberäkningar

## Material

Betong C35/45

$$f_{ck} := 35\text{MPa}$$

$$E_{cm} := 34\text{GPa}$$

$$f_{cm} := 43\text{MPa}$$

$$f_{ctm} := 3.2\text{MPa}$$

$$\epsilon_{cc} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{cc} := 1$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2.333 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Armering B500B

$$E_s := 200\text{GPa}$$

$$f_{yk} := 500\text{MPa}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

$$\Phi_{\text{tvärled}} := 20\text{mm}$$

## Tvärsnitt

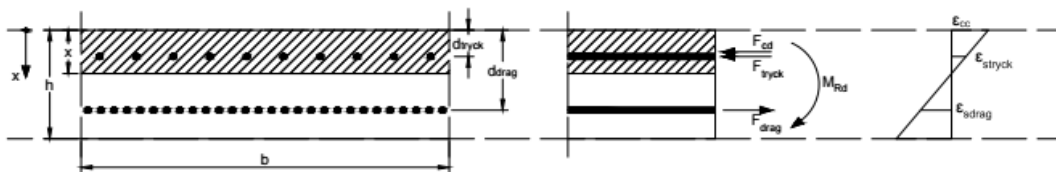
$$h := 0.3\text{m}$$

$$b_w := 1\text{m}$$

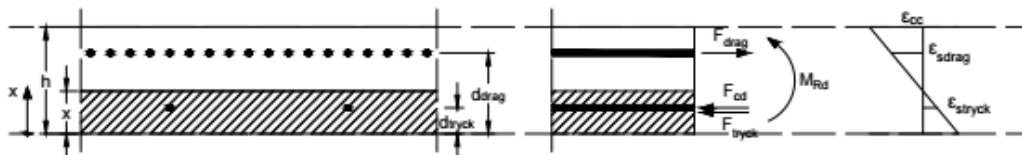
$$I_y := \frac{b_w \cdot h^3}{12} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$A_c := b_w \cdot h = 0.3 \text{ m}^2$$

## Fält



## Stöd



## Dimensionerande Moment Lastfall 1

$$R_{\text{stöd.brott}} := 580.5379 \text{ kN} \quad \text{Brottgräns}$$

$$M_{\text{Ed.fält.max}} := 449.856 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed.stöd.max}} := 333.639 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Stödbredd

$$b_{\text{stöd}} := 1.5 \text{ m}$$

$$M_{\text{Ed.red.stöd.max}} := M_{\text{Ed.stöd.max}} - R_{\text{stöd.brott}} \cdot \frac{b_{\text{stöd}}}{8} = 224.788 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

## Minsta täckande betongskikt

$$\Delta c_{\text{dev}} := 10 \text{ mm} \quad \text{Nationell parameter för tolerans som anger en möjlig och tillåten måttavvikelse (BK 1 sB120)}$$

$$c_{\text{mindur.öb}} := 55 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min.öb}} := \max(c_{\text{mindur.öb}}, 10 \text{ mm}) = 55 \cdot \text{mm}$$

$$c_{\text{nom.öb}} := c_{\text{min.öb}} + \Delta c_{\text{dev}} = 65 \cdot \text{mm}$$

## Minsta fria avstånd

$$k_1 := 1$$

$$k_2 := 5 \text{ mm}$$

$$d_g := 20 \text{ mm}$$

$$m_{\text{fa}} := \max(k_1 \cdot \Phi_{\text{tvärled}}, d_g + k_2, 20 \text{ mm}) = 0.025 \text{ m}$$

## Uppskattning av erforderlig armeringsmängd

(Bärande Konstruktioner Del 1 kap B4.3.2)

I fält

$$d_{\text{fält.drag}} := h - c_{\text{nom.öb}} - \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} = 0.225 \text{ m}$$

$$z_{\text{fält}} := 0.9 \cdot d_{\text{fält.drag}} = 0.203 \text{ m}$$

$$A_{\text{s.fält}} := \frac{M_{\text{Ed.fält.max}}}{f_{\text{yd}} \cdot z_{\text{fält}}} = 5.109 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

I Stöd

$$d_{\text{stöd.drag}} := h - c_{\text{nom.öb}} - \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} = 0.225 \text{ m}$$

$$z_{\text{stöd}} := 0.9 \cdot d_{\text{stöd.drag}} = 0.203 \text{ m}$$

$$A_{\text{s.stöd}} := \frac{M_{\text{Ed.red.stöd.max}}}{f_{\text{yd}} \cdot z_{\text{stöd}}} = 2.553 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

## Antal Stänger

Maximalt antal stänger per meter och rad

$$n_{\text{rad.max}} := \text{floor} \left( \frac{m}{m_{\text{fa}} + \Phi_{\text{tvärled}}} \right) = 22$$

## I fält

$$n_{\text{fält.drag}} := \frac{A_{\text{s.fält}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2} = 16.264$$

## Inläggning av dragarmering

$$n_{\text{extra.drag.fält}} := -4$$

$$n_{\text{fält.drag.hel}} := n_{\text{rad.max}} + n_{\text{extra.drag.fält}} = 18$$

$$d_{\text{fält.drag}} := h - \frac{\left[ n_{\text{rad.max}} \cdot \left( c_{\text{nom.öb}} + \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right) \dots \right.}{n_{\text{rad.max}} + n_{\text{extra.drag.fält}}} \left. + n_{\text{extra.drag.fält}} \cdot \left( c_{\text{nom.öb}} + \frac{3}{2} \Phi_{\text{tvärled}} + m_{\text{fa}} \right) \right] = 0.235 \text{ m}$$

## I stöd

$$n_{\text{stöd.drag}} := \frac{A_{\text{s.stöd}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2} = 8.127$$

## Inläggning av armering i tryck

$$n_{\text{extra.drag.stöd}} := 4$$

$$n_{\text{stöd.drag.hel}} := \text{ceil}(n_{\text{stöd.drag}}) + n_{\text{extra.drag.stöd}} = 13$$

$$d_{\text{stöd.drag}} := h - \left( c_{\text{nom.öb}} + \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right) = 0.225 \text{ m}$$

## Ny armeringsmängd

I fält

$$A_{s,\text{fält.drag}} := n_{\text{fält.drag.hel}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2 = 5.655 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

I stöd

$$A_{s,\text{stöd.drag}} := n_{\text{stöd.drag.hel}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2 = 4.084 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

## Minsta och största armering (Bärande konstruktioner del 1 kap B4.3.2)

$$A_{s,\text{min.fält}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_w \cdot d_{\text{fält.drag}} = 3.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min.stöd}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_w \cdot d_{\text{stöd.drag}} = 3.744 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} := 0.04 \cdot b_w \cdot h = 0.012 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min.fält}} < A_{s,\text{fält.drag}} < A_{s,\text{max}} = 1$$

$$A_{s,\text{min.stöd}} < A_{s,\text{stöd.drag}} < A_{s,\text{max}} = 1$$



Dubbelarmerat tvärsnitt beaktas där minimiarmering används i tryck

Armering i tryck

I fält

$$n_{\text{fält.tryck}} := \frac{A_{\text{s.min.fält}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2} = 1.245$$

$$n_{\text{extra.tryck.fält}} := 4$$

$$n_{\text{fält.tryck.hel}} := \text{ceil}(n_{\text{fält.tryck}}) + n_{\text{extra.tryck.fält}} = 6$$

$$A_{\text{s.fält.tryck}} := n_{\text{fält.tryck.hel}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2 = 1.885 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_{\text{fält.tryck}} := c_{\text{nom.öb}} + \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} = 0.075 \text{ m}$$

I Stöd

$$n_{\text{stöd.tryck}} := \frac{A_{\text{s.min.stöd}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2} = 1.192$$

$$n_{\text{extra.tryck.stöd}} := 0$$

$$n_{\text{stöd.tryck.hel}} := \text{ceil}(n_{\text{stöd.tryck}}) + n_{\text{extra.tryck.stöd}} = 2$$

$$A_{\text{s.stöd.tryck}} := n_{\text{stöd.tryck.hel}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} \right)^2 = 6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_{\text{stöd.tryck}} := c_{\text{nom.öb}} + \frac{\Phi_{\text{tvärled}}}{2} = 0.075 \text{ m}$$

## Dubbelarmerat rektangulärt tvärsnitt

(Bärande konstruktioner del 1 kap B5.5)

$$\alpha := 0.810$$

$$\beta := 0.416$$

I fält

Beräkna tryckzonen (x)

Antag att stålet flyter

$$x_{\text{fält}} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s,\text{fält,drag}} - f_{yd} \cdot A_{s,\text{fält,tryck}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w} \right) = 0.087 \text{ m} \quad d_{\text{fält,tryck}} = 0.075 \text{ m}$$

Kontrollera att stålet flyter

$$\epsilon_s := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s,\text{fält,tryck}} := \left( \frac{x_{\text{fält}} - d_{\text{fält,tryck}}}{x_{\text{fält}}} \right) \cdot \epsilon_{cc} = 4.732 \times 10^{-4} \quad \text{Tryckarmering flyter ej}$$

$$\epsilon_{s,\text{fält,drag}} := \left( \frac{d_{\text{fält,drag}} - x_{\text{fält}}}{x_{\text{fält}}} \right) \epsilon_{cc} = 5.984 \times 10^{-3}$$

Spänning i tryckarmering

$$\sigma_{s,\text{fält,tryck}} := E_s \cdot \epsilon_{s,\text{fält,tryck}} = 94.634 \text{ MPa}$$

Nytt x, antag att en iteration räcker

$$x_{\text{fält},2} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s,\text{fält,drag}} - \sigma_{s,\text{fält,tryck}} \cdot A_{s,\text{fält,tryck}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w} \right) = 0.121 \text{ m}$$

Ny kontroll av flytning

$$\epsilon_{s,\text{fält.tryck.1}} := \left( \frac{x_{\text{fält.2}} - d_{\text{fält.tryck}}}{x_{\text{fält.2}}} \right) \cdot \epsilon_{cc} = 1.324 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s,\text{fält.drag.1}} := \left( \frac{d_{\text{fält.drag}} - x_{\text{fält.2}}}{x_{\text{fält.2}}} \right) \epsilon_{cc} = 3.317 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{s,\text{fält.tryck.1}} := E_s \cdot \epsilon_{s,\text{fält.tryck.1}} = 264.852 \cdot \text{MPa}$$

Beräkna dimensionerande moment

$$M_{Rd,\text{fält}} := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{\text{fält.2}} \cdot (d_{\text{fält.drag}} - \beta \cdot x_{\text{fält.2}}) \dots = 501.292 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \\ + \sigma_{s,\text{fält.tryck.1}} \cdot A_{s,\text{fält.tryck}} \cdot (d_{\text{fält.drag}} - d_{\text{fält.tryck}})$$

Verkningsgrad

$$\frac{M_{Ed,\text{fält.max}}}{M_{Rd,\text{fält}}} = 0.897$$

Kontroll av segt verkningsätt

$$x_{\text{fält.2}} < 0.45 \cdot d_{\text{fält.drag}} = 0$$

$$x_{\text{fält.2}} = 0.121 \text{ m}$$

$$0.45 d_{\text{fält.drag}} = 0.106 \text{ m}$$

## Dubbelarmerat rektangulärt tvärsnitt

(Bärande konstruktioner del 1 kap B5.5)

### I Stödet

Beräkna tryckzonen ( $x$ )

Antag att stålet flyter

$$x_{\text{stöd}} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s,\text{stöd.drag}} - f_{yd} \cdot A_{s,\text{stöd.tryck}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w} \right) = 0.079 \text{ m}$$
$$d_{\text{stöd.tryck}} = 0.075 \text{ m}$$

Kontrollera att stålet flyter

$$\epsilon_s = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s,\text{stöd.tryck}} := \left( \frac{x_{\text{stöd}} - d_{\text{stöd.tryck}}}{x_{\text{stöd}}} \right) \cdot \epsilon_{cc} = 1.98 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{s,\text{stöd.drag}} := \left( \frac{d_{\text{stöd.drag}} - x_{\text{stöd}}}{x_{\text{stöd}}} \right) \epsilon_{cc} = 6.406 \times 10^{-3}$$

Spänning i tryckarmering

$$\sigma_{s,\text{stöd.tryck}} := E_s \cdot \epsilon_{s,\text{stöd.tryck}} = 39.601 \cdot \text{MPa}$$

Nytt  $x$ , antag att en iteration räcker

$$x_{\text{stöd.2}} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s,\text{stöd.drag}} - \sigma_{s,\text{stöd.tryck}} \cdot A_{s,\text{stöd.tryck}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w} \right) = 0.093 \text{ m}$$

## Ny kontroll av flytning

$$\varepsilon_{s.\text{stöd.tryck.1}} := \left( \frac{x_{\text{stöd.2}} - d_{\text{stöd.tryck}}}{x_{\text{stöd.2}}} \right) \cdot \varepsilon_{cc} = 6.663 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{s.\text{stöd.drag.1}} := \left( \frac{d_{\text{stöd.drag}} - x_{\text{stöd.2}}}{x_{\text{stöd.2}}} \right) \varepsilon_{cc} = 5.001 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{s.\text{stöd.tryck.1}} := E_s \cdot \varepsilon_{s.\text{stöd.tryck.1}} = 133.259 \cdot \text{MPa}$$

## Beräkna dimensionerande moment

$$M_{\text{Rd.stöd}} := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{\text{stöd.2}} \cdot (d_{\text{stöd.drag}} - \beta \cdot x_{\text{stöd.2}}) \dots \\ + \sigma_{s.\text{stöd.tryck.1}} \cdot A_{s.\text{stöd.tryck}} \cdot (d_{\text{stöd.drag}} - d_{\text{stöd.tryck}})$$

$$M_{\text{Rd.stöd}} = 339.02 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

## Verkningsgrad

$$\frac{M_{\text{Ed.red.stöd.max}}}{M_{\text{Rd.stöd}}} = 0.663$$

## Kontroll av segt verknings sätt Bärande 1 B149

$$x_{\text{stöd.2}} < 0.45 \cdot d_{\text{stöd.drag}} = 1$$

## Beräkning av sprickbredd i fält och stöd tvärled

Kvasipermanent lastkombination enligt 6.16b används för långtidseffekter i brukgränstillstånd

Frekventa laster

Kvasilaster (se Diagram)

$$R_{\text{stöd.bruk}} := 246.0000\text{kN}$$

$$R_{\text{stöd.kvasi}} := 57.0600\text{kN}$$

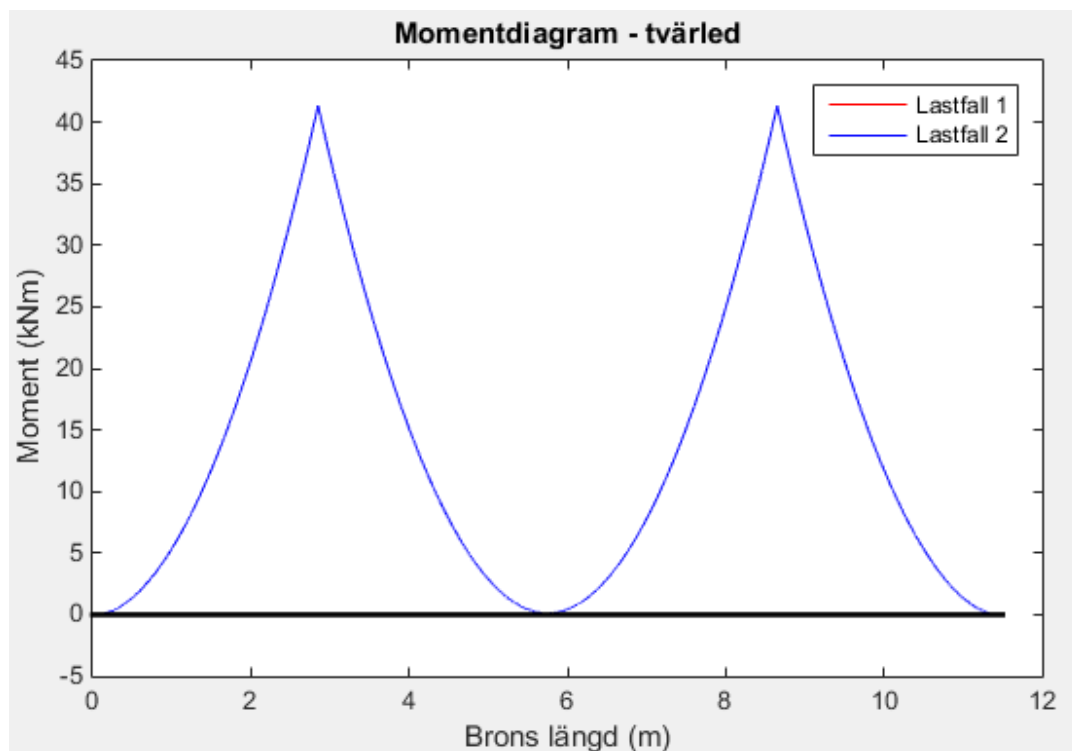
$$M_{\text{Ed.fält.bruk}} := 189.2735\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed.fält.kvasi}} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed.stöd.bruk}} := 222.2969\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed.stöd.kvasi}} := 41.3353\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed.red.stöd.kvasi}} := M_{\text{Ed.stöd.kvasi}} - \frac{R_{\text{stöd.kvasi}} \cdot b_{\text{stöd}}}{8} = 30.637 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$



## Sprickkontroll

(Bärande konstruktioner del 1 sB42)

$$k := 1.6 - \frac{h}{1\text{m}} = 1.3$$

$$k > 1 = 1$$

$$f_{\text{ct.fl}} := k \cdot f_{\text{ctm}} = 4.16 \cdot \text{MPa}$$

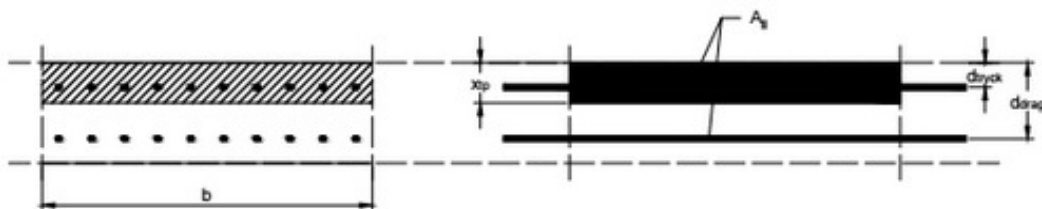
$$M_{\text{cr}} := f_{\text{ct.fl}} \cdot \frac{b_w \cdot h^2}{6} = 62.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

## Kontroll stadium II

$$M_{\text{Ed.fält.bruk}} > M_{\text{cr}} = 1$$

$$M_{\text{Ed.stöd.bruk}} > M_{\text{cr}} = 1$$

## Ekvivalentt betongvärsnitt



## Krympning

(Bärande del 1 sid.B49)

$$\epsilon_{\text{cdi}} := 0.335 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_{\text{RH}} := 0.756$$

$$h_0 := 2 \cdot \frac{A_c}{2m} = 0.3 \text{ m}$$

$$k_h := 0.75$$

$$\epsilon_{\text{cd}} := k_h \cdot \beta_{\text{RH}} \cdot \epsilon_{\text{cdi}} = 1.899 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{\text{ca}} := 0.0625 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{\text{cs}} := \epsilon_{\text{cd}} + \epsilon_{\text{ca}} = 2.524 \times 10^{-4}$$

Miljö = Utomhusmiljö

## Krypning

(Bärande del 1 sid. B53)

$$\varphi_{\text{RH}} := 1 + \frac{1 - \frac{\text{RH}}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_0}{\text{m}}}} = 3.988$$

$$\beta_{\text{fcm}} := 2.56$$

$$\beta_{\text{t0}} := 0.48$$

$\beta_{\text{t0}}$  är ålder vid pålastning, antag att plattan hinner stelna i 28 dagar

$$\varphi := \varphi_{\text{RH}} \cdot \beta_{\text{fcm}} \cdot \beta_{\text{t0}} = 4.9$$

$$\alpha_{\text{ef}} := \frac{E_s \cdot (1 + \varphi)}{E_{\text{cm}}} = 34.706$$



## Betongens sprickbredd

(Bärande Konstruktioner del 2 kap B9.5)

### I fält

#### Krympkrafter i fält

$$F_{cs.fält.drag} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s.fält.drag} = 285.509 \cdot \text{kN}$$

$$F_{cs.fält.tryck} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s.fält.tryck} = 95.17 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av tryckzon, rektangulärt tvärsnitt, inga normalkrafter  $x=x_{tp}$

$$x_{tpfält} := \text{root} \left[ b_w \cdot \frac{x^2}{2} + (\alpha_{ef} - 1) A_{s.fält.tryck} \cdot (x - d_{fält.tryck}) \dots, x \right] = 0.152 \text{ m}$$
$$\left[ + \alpha_{ef} \cdot A_{s.fält.drag} \cdot (d_{fält.drag} - x) \right]$$

#### Beräkning av tvärsnittkonstanter

$$A_{IIef.fält} := b_w \cdot x_{tpfält} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s.fält.tryck} + \alpha_{ef} \cdot A_{s.fält.drag} = 0.411 \text{ m}^2$$

$$I_{IIef.fält} := b_w \cdot \frac{x_{tpfält}^3}{3} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s.fält.tryck} \cdot (x_{tpfält} - d_{fält.tryck})^2 \dots$$
$$+ \alpha_{ef} \cdot A_{s.fält.drag} \cdot (d_{fält.drag} - x_{tpfält})^2$$

$$I_{IIef.fält} = 2.899 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

#### Beräkning av excentrisiteter

$$e_{fält.drag} := d_{fält.drag} - x_{tpfält} = 0.083 \text{ m}$$

$$e_{fält.tryck} := d_{fält.tryck} - x_{tpfält} = -0.077 \text{ m}$$

## Bäräkning av maximala påkänningar i betong, Naviers formel

$$\sigma_{c.fält.max} := \frac{M_{Ed.fält.kvasi} \cdot x_{tpfält}}{I_{Ief.fält}} = 0 \cdot \text{MPa}$$

$$0.45f_{ck} = 15.75 \cdot \text{MPa}$$

$$|\sigma_{c.fält.max}| < 0.45f_{ck} = 1$$

## Beräkning av maximala påkänningar i stål

$$\begin{aligned} \sigma_{s.fält.drag} := & \frac{-F_{cs.fält.drag}}{A_{s.fält.drag}} \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.fält.drag} + F_{cs.fält.tryck}}{A_{Ief.fält}} \right) \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.fält.drag} \cdot e_{fält.drag} \dots}{+ F_{cs.fält.tryck} \cdot e_{fält.tryck} \dots} \right) \cdot \frac{(d_{fält.drag} - x_{tpfält})}{I_{Ief.fält}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{s.fält.drag} = -1.896 \cdot \text{MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s.fält.tryck1} := & \frac{-F_{cs.fält.tryck}}{A_{s.fält.tryck}} \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.fält.drag} + F_{cs.fält.tryck}}{A_{Ief.fält}} \right) \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.fält.drag} \cdot e_{fält.drag} \dots}{+ F_{cs.fält.tryck} \cdot e_{fält.tryck} \dots} \right) \cdot \frac{(d_{fält.tryck} - x_{tpfält})}{I_{Ief.fält}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{s.fält.tryck1} = -33.522 \cdot \text{MPa}$$

## Kontroll av spännningar

$$0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{s.\text{fält.drag}} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

$$|\sigma_{s.\text{fält.tryck1}}| < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

## I stöd

### Krympkrafter i stöd

$$F_{cs.\text{stöd.drag}} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s.\text{stöd.drag}} = 206.201 \cdot \text{kN}$$

$$F_{cs.\text{stöd.tryck}} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s.\text{stöd.tryck}} = 31.723 \cdot \text{kN}$$

### Beräkning av tryckzon, rektangulärt tvärsnitt, inga normalkrafter $x=x_{tp}$

$$x_{tp\text{stöd}} := \text{root} \left[ b_w \cdot \frac{x^2}{2} + (\alpha_{ef} - 1) A_{s.\text{stöd.tryck}} \cdot (x - d_{\text{stöd.tryck}}) \dots, x \right] = 0.143 \text{ m}$$
$$\left[ + -\alpha_{ef} \cdot A_{s.\text{stöd.drag}} \cdot (d_{\text{stöd.drag}} - x) \right]$$

### Beräkning av tvärsnittskonstanter

$$A_{\text{Ief.stöd}} := b_w \cdot x_{tp\text{stöd}} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s.\text{stöd.tryck}} + \alpha_{ef} \cdot A_{s.\text{stöd.drag}} = 0.306 \text{ m}^2$$

$$I_{\text{Ief.stöd}} := b_w \cdot \frac{x_{tp\text{stöd}}^3}{3} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{s.\text{stöd.tryck}} \cdot (x_{tp\text{stöd}} - d_{\text{stöd.tryck}})^2 \dots$$
$$+ \alpha_{ef} \cdot A_{s.\text{stöd.drag}} \cdot (d_{\text{stöd.drag}} - x_{tp\text{stöd}})^2$$

$$I_{\text{Ief.stöd}} = 2.026 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

## Beräkning av excentrisitet

$$e_{\text{stöd.drag}} := d_{\text{stöd.drag}} - x_{\text{tpstöd}} = 0.082 \text{ m}$$

$$e_{\text{stöd.tryck}} := d_{\text{stöd.tryck}} - x_{\text{tpstöd}} = -0.068 \text{ m}$$

## Bärkning av maximala påkänningar i betong, Naviers formel

$$\sigma_{\text{c.stöd.max}} := \frac{M_{\text{Ed.red.stöd.kvasi}} \cdot x_{\text{tpstöd}}}{I_{\text{Ief.stöd}}} = -2.161 \cdot \text{MPa}$$

$$0.45f_{\text{ck}} = 15.75 \cdot \text{MPa}$$

$$|\sigma_{\text{c.stöd.max}}| < 0.45f_{\text{ck}} = 1$$

## Beräkning av maximala påkänningar i stål

$$\begin{aligned} \sigma_{s.\text{stöd.drag}} := & \frac{-F_{cs.\text{stöd.drag}}}{A_{s.\text{stöd.drag}}} \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.\text{stöd.drag}} + F_{cs.\text{stöd.tryck}}}{A_{IIef.\text{stöd}}} \right) \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.\text{stöd.drag}} \cdot e_{\text{stöd.drag}} \dots}{+ F_{cs.\text{stöd.tryck}} \cdot e_{\text{stöd.tryck}} \dots} \right) \cdot \frac{(d_{\text{stöd.drag}} - x_{tp\text{stöd}})}{I_{IIef.\text{stöd}}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{s.\text{stöd.drag}} = 40.431 \cdot \text{MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s.\text{stöd.tryck1}} := & \frac{-F_{cs.\text{stöd.tryck}}}{A_{s.\text{stöd.tryck}}} \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.\text{stöd.drag}} + F_{cs.\text{stöd.tryck}}}{A_{IIef.\text{stöd}}} \right) \dots \\ & + \alpha_{ef} \cdot \left( \frac{F_{cs.\text{stöd.drag}} \cdot e_{\text{stöd.drag}} \dots}{+ F_{cs.\text{stöd.tryck}} \cdot e_{\text{stöd.tryck}} \dots} \right) \cdot \frac{(d_{\text{stöd.tryck}} - x_{tp\text{stöd}})}{I_{IIef.\text{stöd}}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{s.\text{stöd.tryck1}} = -76.294 \cdot \text{MPa}$$

## Kontroll av spännigar

$$0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{s.\text{fält.drag}} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

$$|\sigma_{s.\text{fält.tryck1}}| < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

## Sprickavstånd

(Bärande konstruktioner del 2 kap B9.4)

### I fält

$$k_1 := 0.8$$

$$k_2 := 0.5$$

$$k_3 := 3.4$$

$$k_4 := 0.425$$

$$h_{c.ef.fält} := \min \left[ \frac{h}{2}, 2.5(h - d_{fält.drag}), \frac{(h - x_{tpfält})}{3} \right] = 0.049 \text{ m}$$

$$A_{ef.fält} := b_w \cdot h_{c.ef.fält} = 0.049 \text{ m}^2$$

$$\rho_{p.ef.fält} := \frac{A_{s.fält.drag}}{A_{ef.fält}}$$

$$S_{r.max.fält} := k_3 \cdot c_{nom.öb} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\Phi_{tvärled}}{\rho_{p.ef.fält}} = 0.251 \text{ m}$$

### I stöd

$$h_{c.ef.stöd} := \min \left[ \frac{h}{2}, 2.5(h - d_{stöd.drag}), \frac{(h - x_{tpstöd})}{3} \right] = 0.052 \text{ m}$$

$$A_{ef.stöd} := b_w \cdot h_{c.ef.stöd} = 0.052 \text{ m}^2$$

$$\rho_{p.ef.stöd} := \frac{A_{s.stöd.drag}}{A_{ef.stöd}} = 0.078$$

$$S_{r.max.stöd} := k_3 \cdot c_{nom.öb} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\Phi_{tvärled}}{\rho_{p.ef.stöd}} = 0.265 \text{ m}$$

## Sprickbredd

(Bärande konstruktioner 2 sid. B297)

### I fält

$$k_t := 0.4$$

$$w_{ktill} := 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\alpha := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.882$$

$$\Delta \varepsilon_{m.fält} := \frac{\sigma_{s.fält.drag} - (1 + \alpha \cdot \rho_{p.ef.fält}) \cdot \left( k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p.ef.fält}} \right)}{E_s} = -1.031 \times 10^{-4}$$

Eftersom underkanten är tryckt kommer det inte bli någon sprickbredd

$$\Delta \varepsilon_{m.fält} > 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s.fält.drag}}{E_s} = 0$$

$$w_{k.fält} := S_{r.max.fält} \cdot \Delta \varepsilon_{m.fält} = -0.026 \cdot \text{mm}$$

$$w_{k.fält} < w_{ktill} = 1$$

## I stöd

$$\Delta\varepsilon_{m.\min.\text{stöd}} := 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s.\text{stöd.drag}}}{E_s} = 1.213 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\varepsilon_{m.\text{stöd}} := \frac{\sigma_{s.\text{stöd.drag}} - (1 + \alpha \cdot \rho_{p.\text{ef.stöd}}) \cdot \left( k_t \frac{f_{\text{ctm}}}{\rho_{p.\text{ef.stöd}}} \right)}{E_s} = 8.243 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\varepsilon_{m.\text{stöd}} > \Delta\varepsilon_{m.\min.\text{stöd}} = 0$$

$$w_{k.\text{stöd}} := S_{r.\max.\text{stöd}} \cdot \Delta\varepsilon_{m.\min.\text{stöd}} = 0.032 \cdot \text{mm}$$

$$w_{k.\text{stöd}} < w_{k\text{till}} = 1$$



## Bilaga B – Beräkningar i längsled

B1 – Beräkning av filfaktorer	51
B2 – Snittkraftsberäkningar	54
B3 – Funktionsfiler	60
B4 – Snittkraftsdiagram	62
B5 – Beräkningar för spännbetong	66
B6 – Beräkning av tvärkraftsarmering	84
B7 – Beräkning av minimiarmering	93
B8 – Nedböjningsberäkningar	97

## Bilaga B1 - Beräkning av filfaktorer

$$c := 5.8\text{m} \quad \text{Centrumavstånd}$$

$$g := 12.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egentyngd}$$

### Lastfall 1 - all last i mittfacket

$$L1 := 0.16\text{m} \quad \text{Lastfält 3 - återstående lastyta}$$

$$L2 := 3\text{m} \quad \text{Lastfält 1}$$

$$L3 := 5.8\text{m} - L1 - L2 = 2.64\text{m} \quad \text{Lastfält 2}$$

### Punktlaster

$$x2 := L1 + \frac{L2}{2} = 1.66\text{m}$$

Avstånd från kant till centrum av första axellasten, förenkling att axellasten ligger mitt i lastfältet.

$$i_{A2} := 1.4 - \frac{x2}{c} = 1.114$$

Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.  
Ur broaster pdf

$$i_{B2} := -0.4 + \frac{x2}{c} = -0.114$$

Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.

$$x3 := L1 + L2 + \frac{L3}{2}$$

Avstånd från kant till centrum av andra axellasten

$$i_{A3} := 1.4 - \frac{x3}{c} = 0.628$$

Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.  
Ur broaster pdf

$$i_{B3} := -0.4 + \frac{x3}{c} = 0.372$$

Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.

$$f_{P1A} := i_{A2} + \frac{2}{3} \cdot i_{A3} = 1.532$$

Filfaktor punktlaster stöd A, Lastfall 1

$$f_{P1B} := i_{B2} + \frac{2}{3} \cdot i_{B3} = 0.134$$

Filfaktor punktlaster stöd B, Lastfall 1

## Utbredd trafiklast

$$x_1 := \frac{L_1}{2} = 0.08 \text{ m} \quad \frac{x_1}{c} = 0.014$$

$$i_{A1} := 1.4 - \frac{x_1}{c} = 1.386 \quad \begin{array}{l} \text{Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.} \\ \text{Ur broaster pdf} \end{array}$$

$$i_{B1} := -0.4 + \frac{x_1}{c} = -0.386 \quad \text{Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.}$$

$$f_{Q1A} := i_{A2} \cdot L_2 + i_{A1} \cdot \frac{L_1}{2.88} + \frac{L_3}{2.88} \cdot i_{A3} = 3.994 \text{ m} \quad \begin{array}{l} \text{Filfaktor utbredda laster} \\ \text{stöd A, Lastfall 1} \end{array}$$

$$f_{Q1B} := i_{B1} \cdot L_2 + i_{B1} \cdot \frac{L_1}{2.88} + \frac{L_3}{2.88} \cdot i_{B3} = -0.839 \text{ m} \quad \begin{array}{l} \text{Filfaktor utbredda laster} \\ \text{stöd B, Lastfall 1} \end{array}$$

## Lastfall 2 - Last på konsolen och i mittfacket

$$L_1 := 2.35 \text{ m}$$

$$L_2 := 5.8 \text{ m}$$

## Punktlaster

$$x_1 := 1.50 \text{ m} \quad \begin{array}{l} \text{Centrum av första axellasten kan placeras som närmst} \\ \text{1.5 meter från kanten} \end{array}$$

$$i_{A1} := 1.4 - \frac{x_1}{c} = 1.141 \quad \begin{array}{l} \text{Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.} \\ \text{Ur broaster pdf} \end{array}$$

$$i_{B1} := -0.4 + \frac{x_1}{c} = -0.141 \quad \text{Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.}$$

$$x_2 := L_1 + 1.5 \text{ m} \quad \begin{array}{l} \text{Centrum av andra axellasten kan placeras som} \\ \text{närmst 1.5 meter från stödet} \end{array}$$

$$i_{A2} := 1.4 - \frac{x_2}{c} = 0.736 \quad \begin{array}{l} \text{Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.} \\ \text{Ur broaster pdf} \end{array}$$

$$i_{B2} := -0.4 + \frac{x_2}{c} = 0.264 \quad \text{Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.}$$

$$f_{P2A} := i_{A1} + \frac{2}{3} \cdot i_{A2} = 1.632 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd A, Lastfall 2}$$

$$f_{P2B} := i_{B1} + \frac{2}{3} \cdot i_{B2} = 0.034 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd B, Lastfall 2}$$

## Utbredd trafiklast

$$x_{1w} := \frac{L1}{2}$$

Centrum av första axellasten kan placeras som närmst 1.5 meter från kanten

$$i_{A1w} := 1.4 - \frac{x1}{c} = 1.197$$

Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.  
Ur broaster pdf

$$i_{B1w} := -0.4 + \frac{x1}{c} = -0.197$$

Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.

$$x_{2w} := L1 + \frac{L2}{2}$$

Centrum av andra axellasten kan placeras som närmst 1.5 meter från stödet

$$i_{A2w} := 1.4 - \frac{x2}{c} = 0.495$$

Ekvation för stöd A för fall med 2 stöd.  
Ur broaster pdf

$$i_{B2w} := -0.4 + \frac{x2}{c} = 0.505$$

Ekvation för stöd B för fall med 2 stöd.

$$f_{Q2A} := i_{A1} \cdot L1 + i_{A2} \cdot \frac{L2}{2.88} = 3.81 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd A, Lastfall 2}$$

$$f_{Q2B} := i_{B1} \cdot L1 + i_{B2} \cdot \frac{L2}{2.88} = 0.553 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd B, Lastfall 2}$$

## Bilaga B2 – Snittkraftsberäkningar i längsled

```
%% Beräkningar i längsled  
% Programmet utför snittkraftsberäkningar i längsled för en balk på två  
% ändstöd samt ihopkopplad med två sneda pelare.
```

```
clear all  
close all  
clc
```

```
%% Dimensioner
```

```
%Platta  
W=10.5; % [m]  
tf=0.3; % [m]  
tbelaggnings=0.1;
```

```
% Balk  
bw=1.5; % [m]  
hbalk=1.3-tf;  
Abalk=bw*hbalk;  
Ibalk = bw*hbalk^3/12; % [m^4]
```

```
% Kantbalk  
Akantbalk=(tf+0.1)*0.5; % [m^2]  
Ikantbalk=0.5*(tf+0.1)^3/12;
```

```
% Pelare  
bpelare = bw; % [m]  
tpelare = 0.8; % [m]  
Ipelare = bpelare*tpelare^3/12; % [m^4]  
Apelare = bpelare*tpelare; % [m^2]
```

```
%% Materialparametrar  
E = 30*10^9; % Elasticitetsmodul [Pa]  
% Tunghet  
yracke=0.5; % [kN/m]  
yasfalt=23; % [kN/m^3]  
ybetong=25; % [kN/m^3]
```

```
%% Laster
```

```
% Permanenta laster, per meter, balk  
Gracke=0.5*1; % [kN/m]  
Gkantbalk=Akantbalk*ybetong*1; % [kN/m]  
Gbalk=Abalk*ybetong*1; % [kN/m]
```

```
gplatta=tf*ybetong+tbelaggnings*yasfalt; % [kN/m^2]  
g=- (Gracke+Gkantbalk+Gbalk+gplatta*W/2); % [kN/m]
```

```
% Pelarnas egentyngd  
G = -(bpelare*tpelare*ybetong); % [kN/m]
```

```
% Variabla laster  
Q1=-600*0.9; % [kN]  
q1=-9*0.7; % [kN/m]
```

```

%% Definierar elementegenskaper

i=62; % i är antal element

ep=zeros(i,3);

for j=1:i-2 % Samma egenskaper gäller för alla element
    ep(j,:)= [E Abalk Ibalk]; % förutom för pelarna.
end

for j=i-1:i
    ep(j,:)= [E Apelare Ipelare];
end

% Lastkombinationer, input bestämmer vilken kombination som används
p=0; % Spännkraftens inverkan försummas vid dessa beräkningar
l=30;

lastkomb=input('lastkomb \n 1 - Brottgränstillstånd \n 2 - Karaktäristisk
\n 3 - Frekvent \n 4 - Kvasi \n')

if lastkomb == 1 % Brottsgräns
    [ go,p,q1,Q1 ] = brott_komb_langsled( g,p,q1,Q1,l);
end

if lastkomb == 2 % Bruksgräns karakteristisk lastkombination
    [ go,p,q1,Q1 ] = bruk_komb_karak_langsled( g,p,q1,Q1);
end

if lastkomb == 3 % Bruksgräns frekvent lastkombination
    [ go,p,q1,Q1 ] = bruk_komb_frekv_langsled( g,p,q1,Q1 );
end

if lastkomb == 4 % Bruksgräns kvasipermanent lastkombination
    [ go,p,q1,Q1 ] = bruk_komb_kvasi_langsled( g,p,q1,Q1);
end

%% Element och frihetsgrader

% Topologi - Edof-matrisen skapas

Edof=zeros(i,7); % i är antal element

for j = 1:i
    Edof(j,1) = j; % första raden i edof är elementnummret
end
l=3;
for j =1:i
    l=l-3;
    for k= 2:7
        l=l+1;
        Edof(j,k)=1;
    end
end

% Pelarna

```

```

Edof(i-1,:)= [i-1 15*3+1 15*3+2 15*3+3 i*3-2 i*3-1 i*3];
Edof(i,:)= [i 45*3+1 45*3+2 45*3+3 i*3+1 i*3+2 i*3+3];

Ex=zeros(i,2); % Balkelementens x-koordinater
for j=1:i % varje element har längden 1 meter
Ex(j,:)= [j-1 j];
end

Ex(i-1,:)= [15 11]; % Pelarelementens x-koordinater
Ex(i,:)= [45 49];

Ey=zeros(i,2); % Elementens y-koordinater
Ey(i-1,:)= [0 -4.7];
Ey(i,:)= [0 -4.7];

% Definierar randvillkor så att balken är fritt upplagd på ändupplag samt
% pelarna är fast inspända

bc=[2 0;182 0;184 0;185 0;186 0;187 0;188 0;189 0];

%% Lastfall 1 - all last i mittfack ger max fältmoment

fp1a=1.532; % Filfaktor för punktlast lastfall 1
fq1a=3.994; % Filfaktor för utbredd last lastfall 1

q=q1*fq1a; % Lasterna multipliceras med filfaktorerna
Q=Q1*fp1a;

% Lastvektorn definieras
eq=zeros(i,2);
for j=1:15 % Ytterfackets utbredda last
eq(j,:)= [0 g];
end
for j=16:45 % Mittfackets utbredda last
eq(j,:)= [0 g+q];
end
for j=46:60 % Ytterfackets utbredda last
eq(j,:)= [0 g];
end
for j=61:62 % Pelarnas utbredda last
eq(j,:)= [0 G];
end

% Etablerar styvhetsmatris och lastvektor för lastfallet
K= zeros(i*3+3); f = zeros(i*3+3,1);
f(30*3+2)=Q; % Punktlasten placeras efter 30 meter, mitt i mittspannet

for j = 1:1:i
[Ke, fe]=beam2e(Ex(j,:),Ey(j,:),ep(j,:),eq(j,:));
[K, f]=assem(Edof(j,:),K,Ke,f,fe);
end

% Lösning av systemet sker med solveq
[a, r1] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(Edof,a);

```

```

n=10;
es1=zeros(i*n,3);

% Beam2s används för att beräkna snittkrafter i elementen längs med balken
% och pelarna. Resultaten sparas i matrisen es.

for j=1:i

    es1((j-1)*n+1:n*j,:)=beam2s(Ex(j,:),Ey(j,:),ep(j,:),ed(j,:),eq(j,:),n);

end

% Ritar upp momentdiagram med eldia2.
figure(1)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es1(:,3),5);
axis([-5 65 -10 10]);
title('Moment lastfall 1')
for k=1:i
    eldia2(Ex(k,:),Ey(k,:),es1((k-1)*n+1:n*k,3),plotpar,sfac);
end

% Ritar upp tvärkraftsdiagram
figure(2)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es1(:,2),5);
title('Tvärkraft lastfall 1')
for k=1:i
    eldia2(Ex(k,:),Ey(k,:),es1((k-1)*n+1:n*k,2),plotpar,sfac);
end

%% Lastfall 2 - laster över halva bron, punktlast nära stöd
% ger max tvärkraft

fp2a=1.632;      % Filfaktor för punktlast lastfall 2
fq2a=3.81;      % Filfaktor för utbredd last lastfall 2

q=q1*fq2a;      % Lasterna multipliceras med filfaktorerna
Q=Q1*fp2a;

% Lastvektorn definieras
eq=zeros(i,2);
for j=1:15      % Ytterfackets utbredda last
    eq(j,:)= [0 g+q];
end
for j=16:45    % Mittfackets utbredda last
    eq(j,:)= [0 g+q];
end
for j=46:60    % Ytterfackets utbredda last
    eq(j,:)= [0 g];
end
for j=61:62    % Pelarnas utbredda last
    eq(j,:)= [0 G];
end

% Styvhetsmatris och kraftvektor etableras
K= zeros(i*3+3); f = zeros(i*3+3,1);

f(17*3-1)=Q;

```



```

    for j = 1:1:i
        [Ke, fe]=beam2e(Ex(j,:),Ey(j,:),ep(j,:),eq(j,:));
        [K, f]=assem(Edof(j,:),K,Ke,f,fe);
    end

% Lösning av systemet med hjälp av solveq
[a, r2] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(Edof,a);
es2=zeros(i*n,3);

% Beam2s används för att beräkna snittkrafter i elementen längs med balken
% och pelarna. Resultaten sparas i matrisen es.
for j=1:i
    es2((j-1)*n+1:n*j,:)=beam2s(Ex(j,:),Ey(j,:),ep(j,:),ed(j,:),eq(j,:),n);
end

% Ritar upp momentdiagram
figure(3)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es2(:,3),5);
title('Moment lastfall 2')

for k=1:i
    eldia2(Ex(k,:),Ey(k,:),es2((k-1)*n+1:n*k,3),plotpar,sfac);
end

% Ritar upp tvärkraftsdiagram
figure(4)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es2(:,2),5);
title('Tvärkraft lastfall 2')

for k=1:i
    eldia2(Ex(k,:),Ey(k,:),es2((k-1)*n+1:n*k,2),plotpar,sfac);
end

%% Skriver ut relevanta värden

% Momenten i balken
Maxs1=min(es1(:,3))
Maxf1=max(es1(:,3))
Maxs2=min(es2(:,3))
Maxf2=max(es2(:,3))

% Tvärkraften i balken
MaxV1=max(es1(:,2))
MinV1=min(es1(:,2))
MaxV2=max(es2(:,2))
MinV2=min(es2(:,2))

% Normalkraften i balken
MaxN1=min(es1(1:i*n-2*n,1))
MaxN2=min(es2(1:i*n-2*n,1))

% Pelare
MaxNP1=es1((i*n-2*n+1):i*n,1) % Normalkraften i pelarna för lastfall 1
MaxNP2=es2((i*n-2*n+1):i*n,1) % Normalkraften i pelarna för lastfall 2

MaxVP1=(es1((i*n-2*n+1:i*n),2)) % Tvärkraft i pelarna för lastfall 1

```

```

MaxVP2=(es2((i*n-2*n+1:i*n),2)) % Tvärkraft i pelarna för lastfall 2

MaxMP1=(es1((i*n-2*n+1:i*n),3)) % Momentfördelning i pelarna för lastfall 1
MaxMP2=(es2((i*n-2*n+1:i*n),3)) % Momentfördelning i pelarna för lastfall 2

%% Plottning av momentdiagram

figure (5)

x=linspace(0,60,i*n-2*n);

y1=es1(1:i*n-2*n,3); % Definerar y-funktion som momenten för lastfall 1
plot(x,-y1,'r') % Ritar upp momentdiagramet för lastfall 1
hold on

y2=es2(1:i*n-2*n,3); % Ritar upp momentdiagrammet för lastfall 2 i
plot(x,-y2,'b') % samma figur

l=linspace(0,60);
y3=linspace(0,0);
plot(l,y3,'k','Linewidth',2) % Ritar upp bron

legend('Lastfall 1','Lastfall 2')
title('Momentdiagram - längsled')
xlabel('Bronns längd (m)')
ylabel('Moment (kNm)')

%% Plottning av tvärkraftsdiagram

figure (6)

x=linspace(0,60,i*n-2*n);

y1=es1(1:i*n-2*n,2); % Definerar y-funktion som momenten för lastfall 1
plot(x,-y1,'r') % Ritar upp tvärkraftsdiagramet för lastfall 1
hold on

y2=es2(1:i*n-2*n,2); % Ritar upp tvärkraftsdiagrammet för lastfall 2 i
plot(x,-y2,'b') % samma figur

l=linspace(0,60);
y3=linspace(0,0);
plot(l,y3,'k','Linewidth',2) % Ritar upp bron

legend('Lastfall 1','Lastfall 2')
title('Tvärkraftsdiagram - längsled')
xlabel('Bronns längd (m)')
ylabel('Tvärkraft (kN)')

```

## Bilaga B3 – Funktionsfiler i längsled

```
function [ go,p,q1,Q1 ] = brott_komb_langsled( g,p,q1,Q1,l)
% Lastberäkning för brottsgränstillstånd
% Med hjälp av ekvationerna 6.10a och 6.10b i Eurocode 1990 ska de
% dimensionerande krafterna tas fram. Indata är: g=egentygnd
% p=spännkraften, q1=utbredd last, Q1=Axellasten, l=facklängden.

% De utbredda lasterna görs om

G=g*l;
Q2=q1*l;

% Partialkoefficienter

gammaG=1.35;
gammaQ=1.5;
gammaP=1.3;

xiaxellast=0.75;
xiUDL=0.4;

red=0.89;

% Ekv 6.10a
Ea=gammaG*G+gammaP*p+gammaQ*xiUDL*q1+gammaQ*xiUDL*Q1+gammaQ*xiUDL*Q2;
% Ekv 6.10b
Eb=red*gammaG*G+gammaP*p+gammaQ*Q1+gammaQ*xiUDL*Q2;

if Ea>Eb % Väljer ekv 6.10a om den är större

    g=gammaG*g;
    p=gammaP*p;
    q1=gammaQ*xiUDL*q1;
    Q1=gammaQ*xiUDL*Q1;

end

if Eb>Ea % Väljer ekv 6.10b om den är större

    go=gammaG*g*red;
    p=gammaP*p;
    q1=gammaQ*xiUDL*q1;
    Q1=gammaQ*Q1;

end

end
```

```

function [ g,p,q1,Q1 ] = bruk_komb_karak_langsled( g,p,q1,Q1)
% Lastberäkning för bruksgränstillstånd karaktäristisk
%     Med hjälp av ekvationerna 6.14a och 6.14b i Eurocode 1990 ska de
%     dimensionerande krafterna tas fram.

xiaxellast=0.75;    % Partialkoefficient för axellast
xiUDL=0.4;         % Partialkoefficient för utbredd last

g=g;               % Egentyngden förblir oförändrad
p=p;
q1=xiUDL*q1;      % Utbredd trafiklast reduceras
Q1=Q1;

end

function [ go,p,q1,Q1 ] = bruk_komb_frekv_langsled( g,p,q1,Q1 )
% Lastberäkning för bruksgränstillstånd - frekvent
%     Med hjälp av ekvationerna 6.15a och 6.15b i Eurocode 1990 ska de
%     dimensionerande krafterna tas fram.

xiaxellast=0.75;    % Partialkoefficient för axellast
xiUDL=0.4;         % Partialkoefficient för utbredd last
xi2=0;

go=g;              % Lastkombinering enligt ekv 6.15
p=p;
q1=xi2*q1;
Q1=xiaxellast*Q1;

end

function [ go,p,q1,Q1 ] = bruk_komb_kvasi_langsled( g,p,q1,Q1 )
% Lastberäkning för bruksgränstillstånd kvasipermanent
%     Med hjälp av ekvationerna 6.16a och 6.16b i Eurocode 1990 ska de
%     dimensionerande krafterna tas fram.

xiaxellast=0.75;    % Partialkoefficienter
xiUDL=0.4;
xi2=0;

go=g;              % Egentyngden är oförändrad
p=p;

q1=xi2*q1;        % De variabla lasterna sätts till 0
Q1=xi2*Q1;

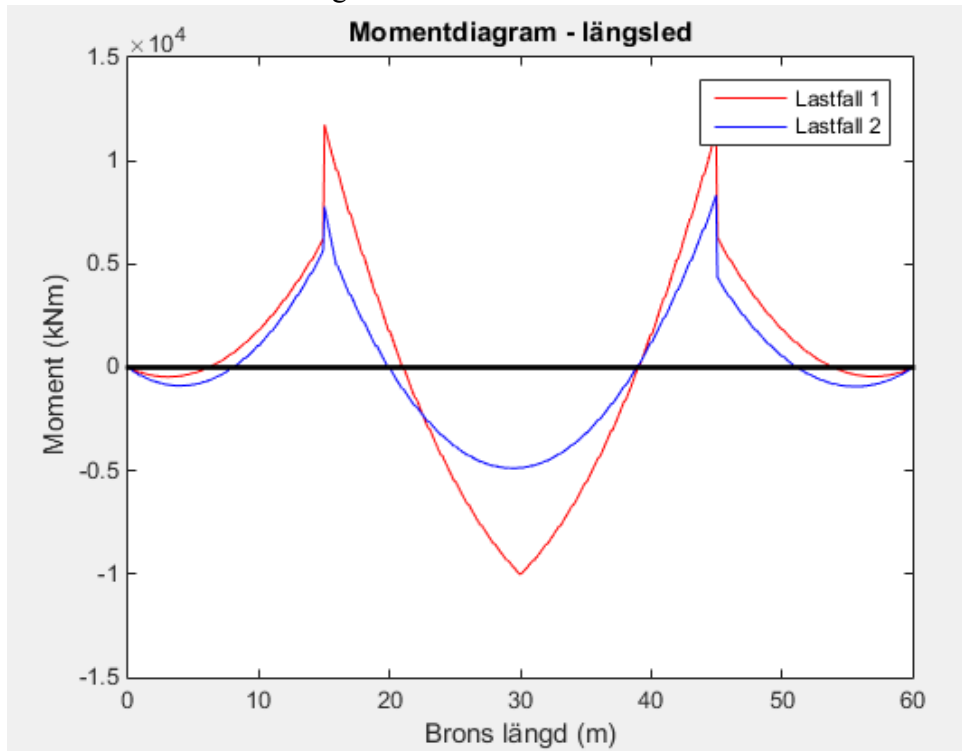
end

```

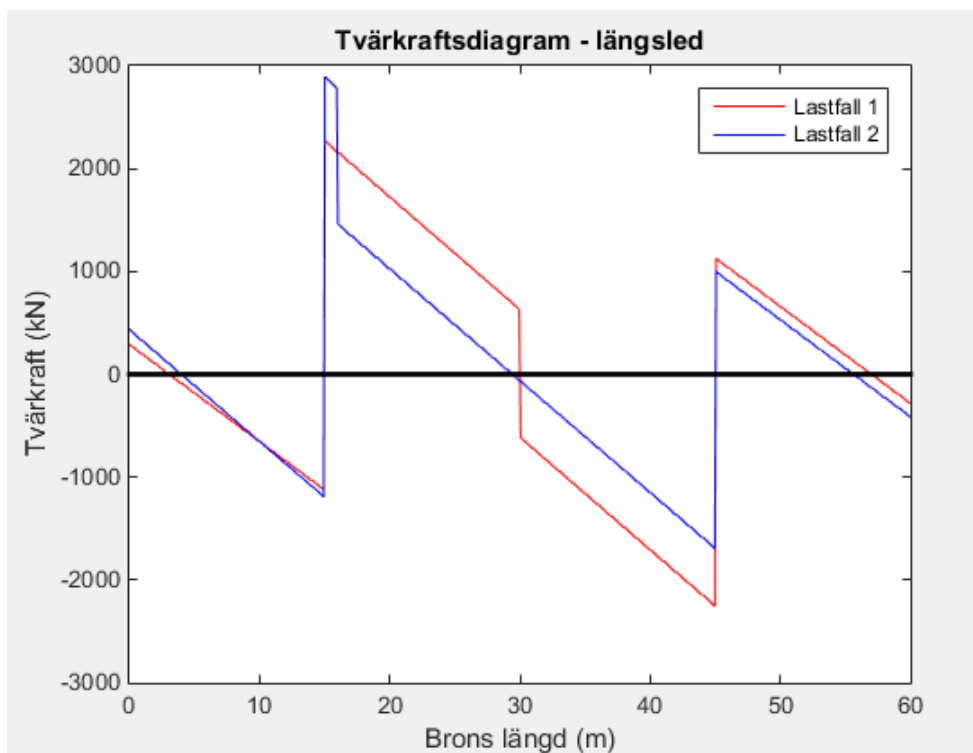
# Bilaga B4 – redovisning av sittkraftsdiagram i längsled

Nedan redovisas snittkraftsdiagrammen, framtagna i MATLAB, för lastfallen och lastkombinationerna

Lastkombination 1 – Brottgränstillstånd

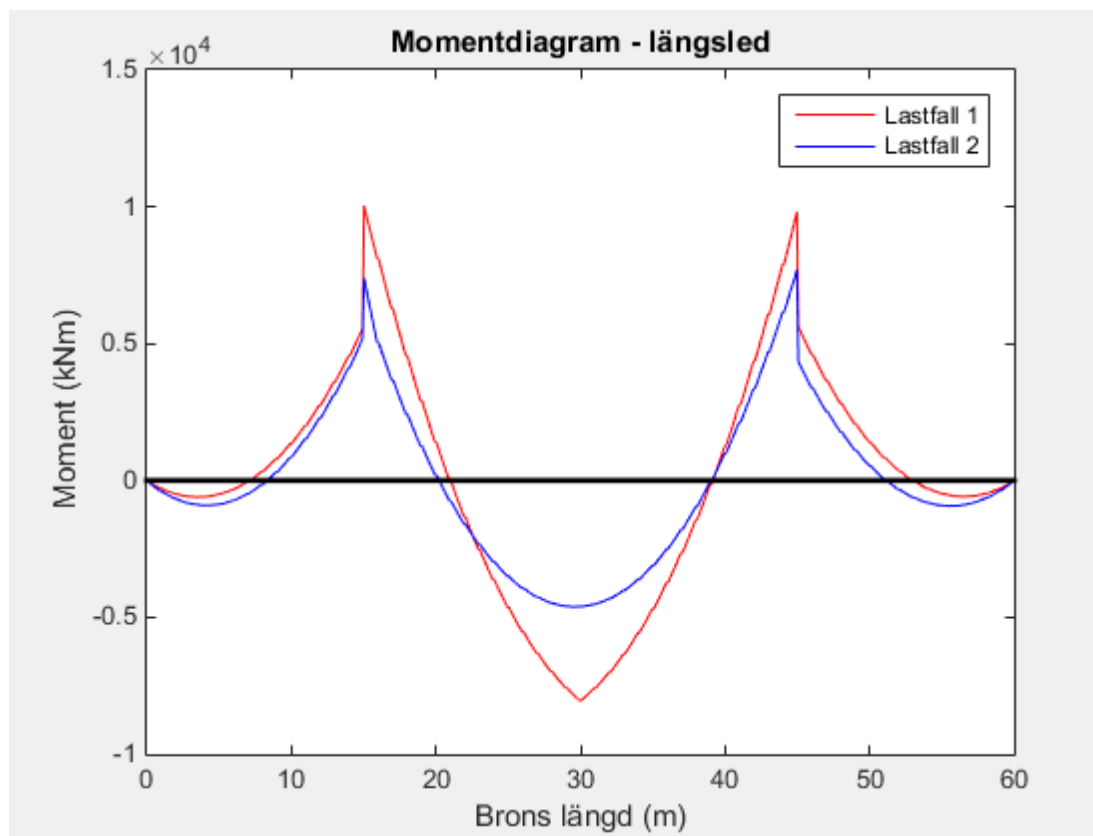


Figur 1 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.

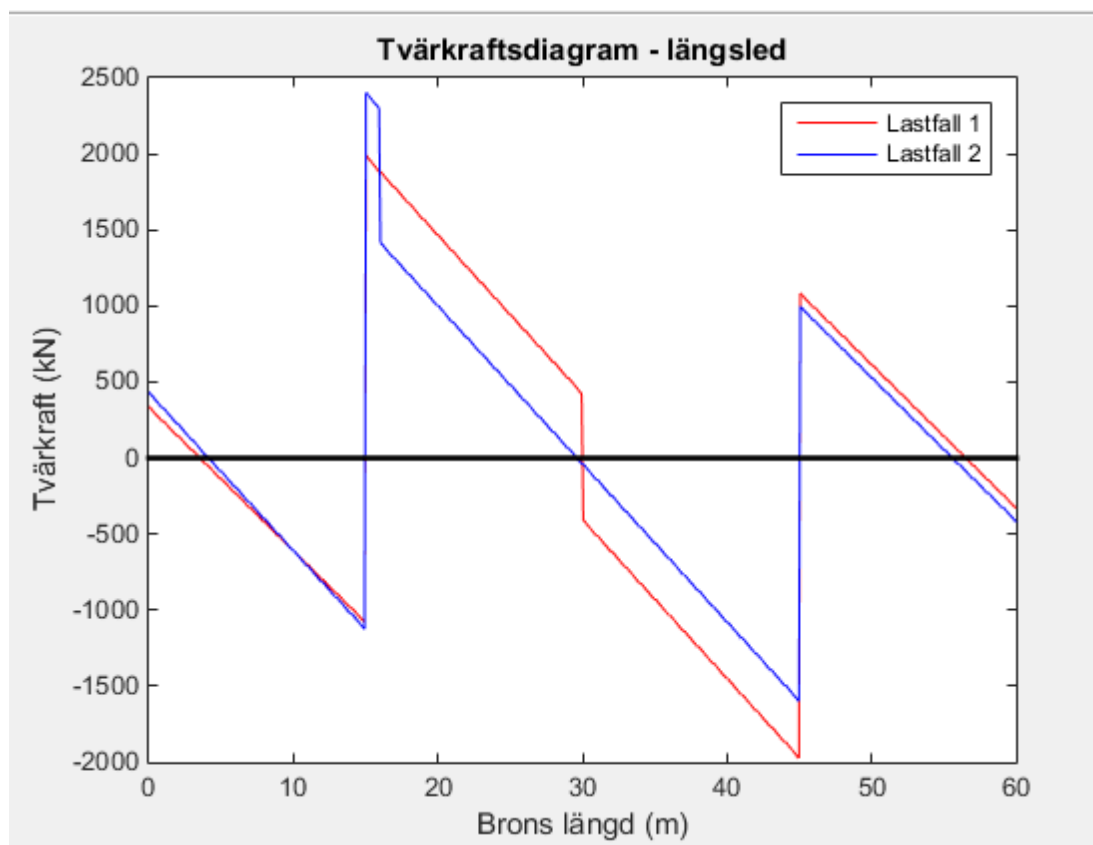


Figur 2 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2 .

Lastkombination 2 – Bruksgränstillstånd, karaktäristisk kombination

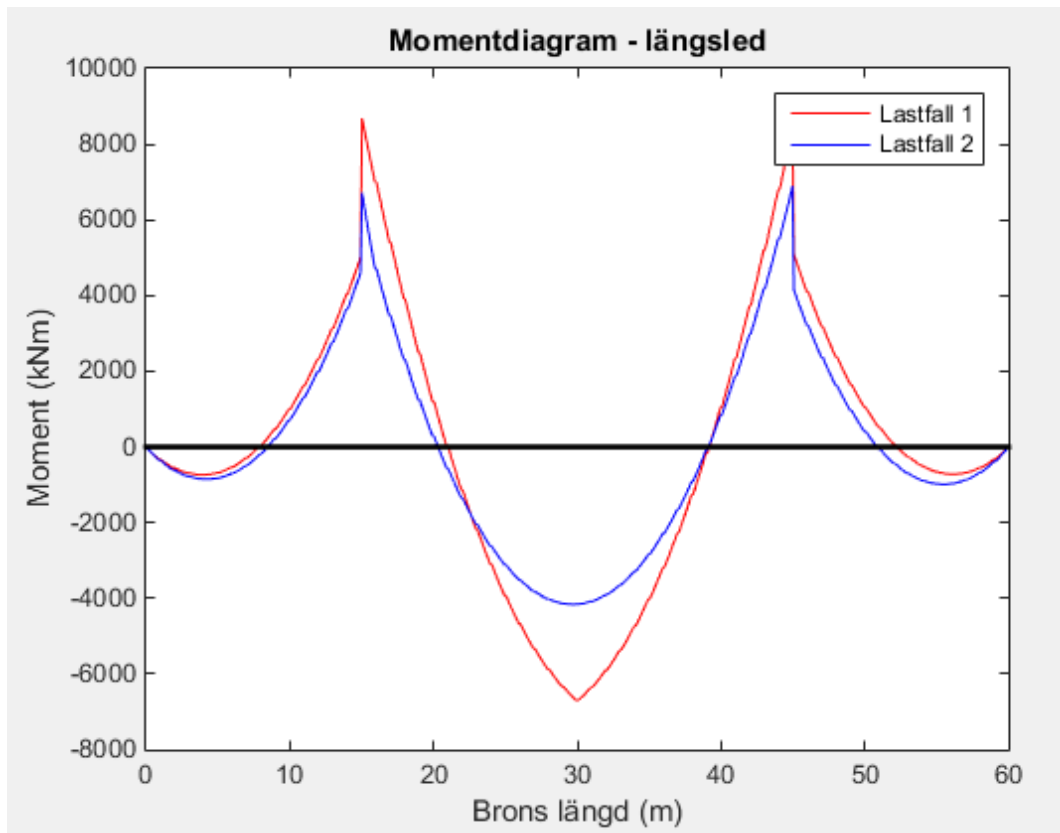


Figur 3 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.

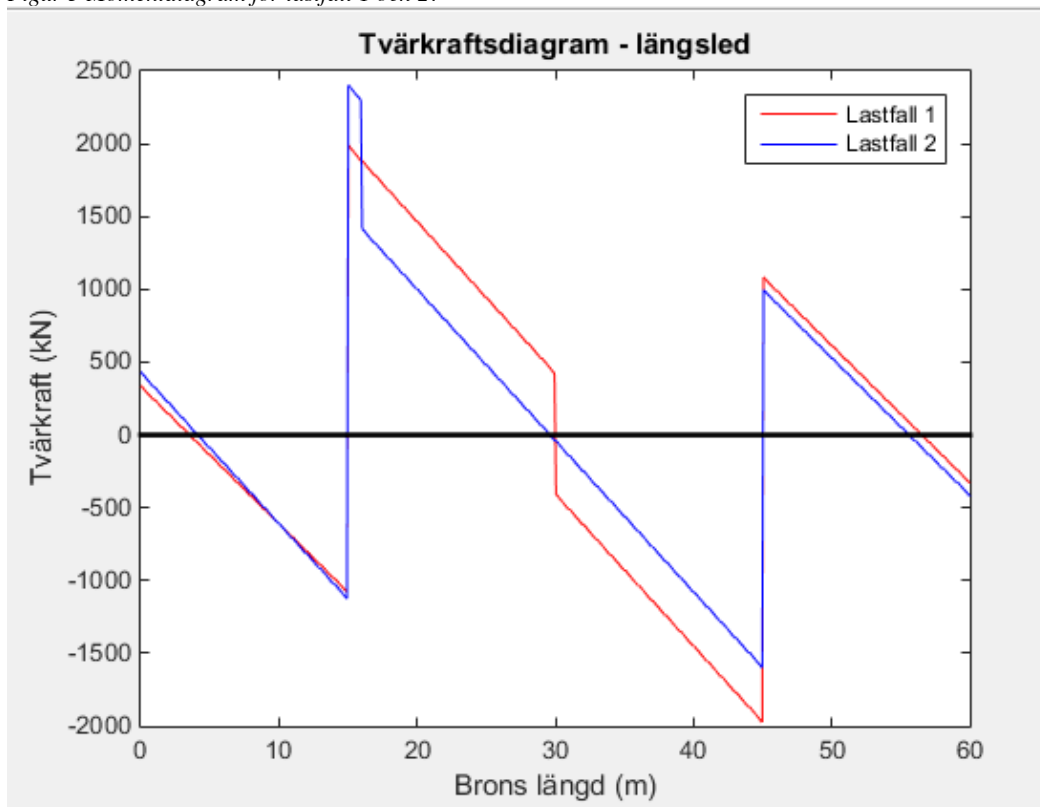


Figur 4 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.

Lastkombination 3 – Bruksgränstillstånd, frekvent kombination

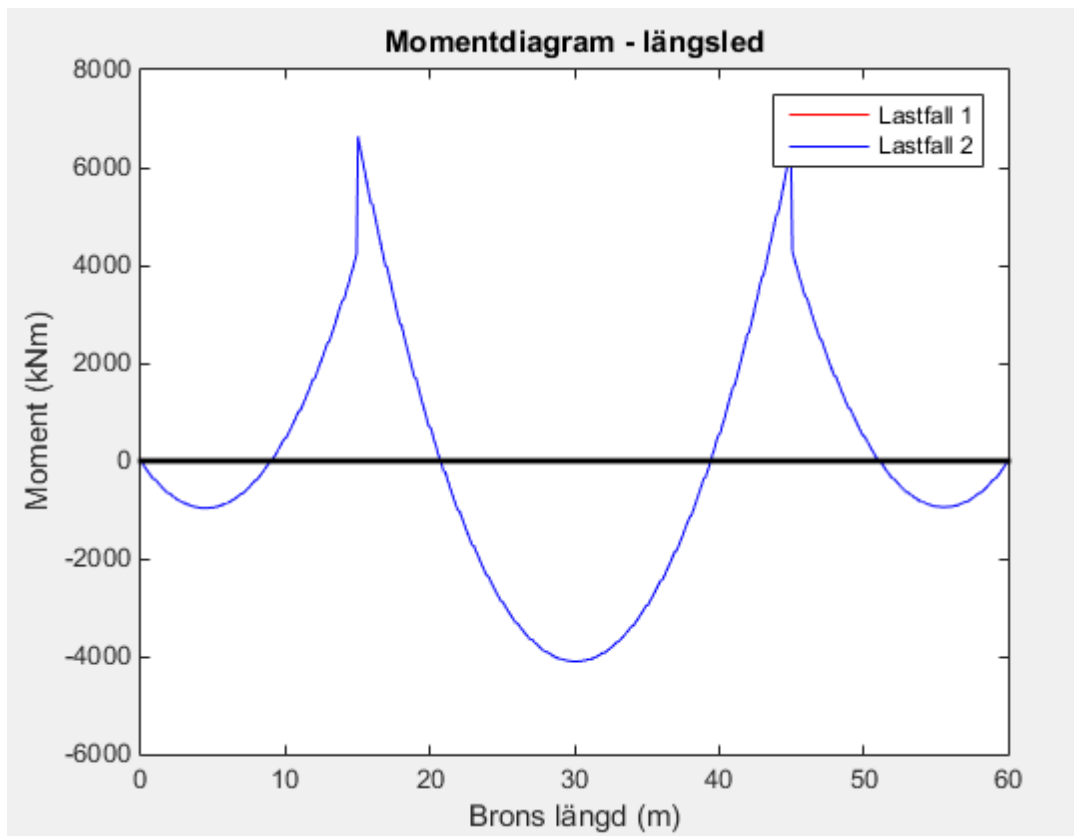


Figur 5 Momentdiagram för lastfall 1 och 2.

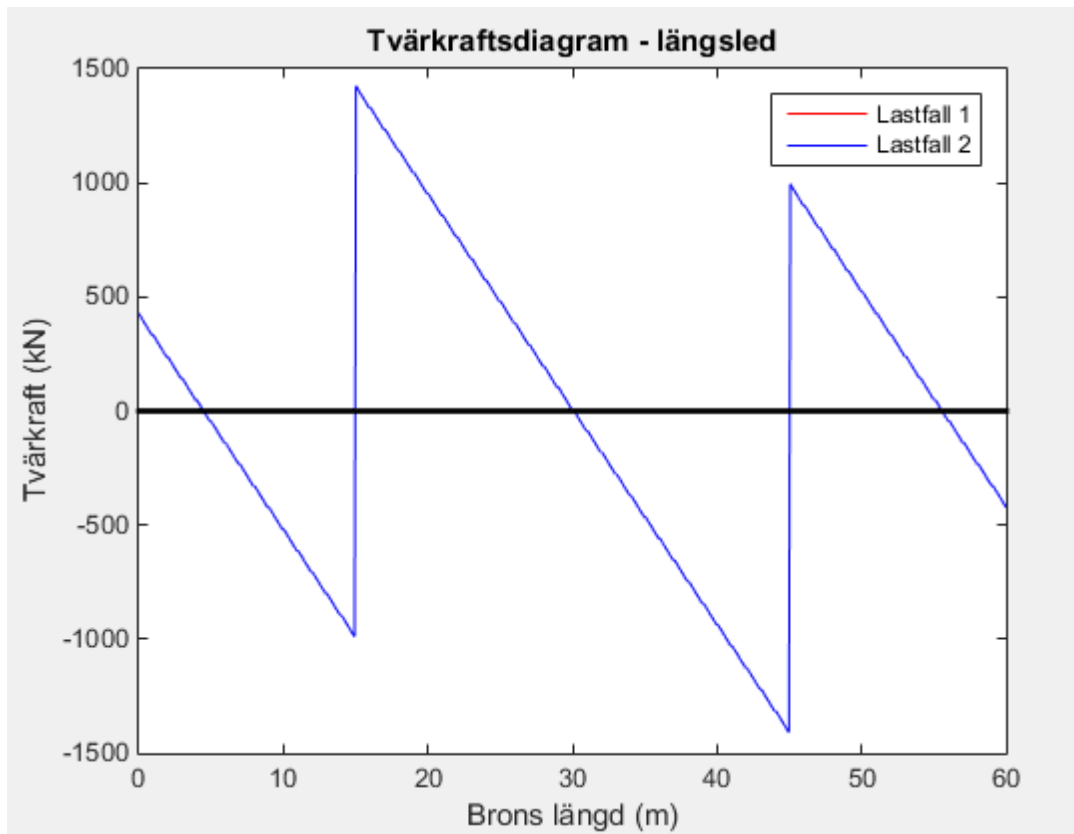


Figur 6 Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.

Lastkombination 4 – Bruksgränstillstånd, kvasipermanent kombination



Figur 7. Momentdiagram för lastfall 1 och 2.



Figur 8. Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2.



## Bilaga B5 - Längsgående spännarmering.

Beräkningarna har i stora drag genomförts m.h.a. Björn Engströms presentation  
Preliminär dimensionering av förspända broar 4 februari 2016 (opublicerad).

### Indata

#### Spännvidder

$$l_1 := 15\text{m}$$

$$l_2 := 30\text{m}$$

#### Tvärsnittsdata

$$cc := 5.8\text{m}$$

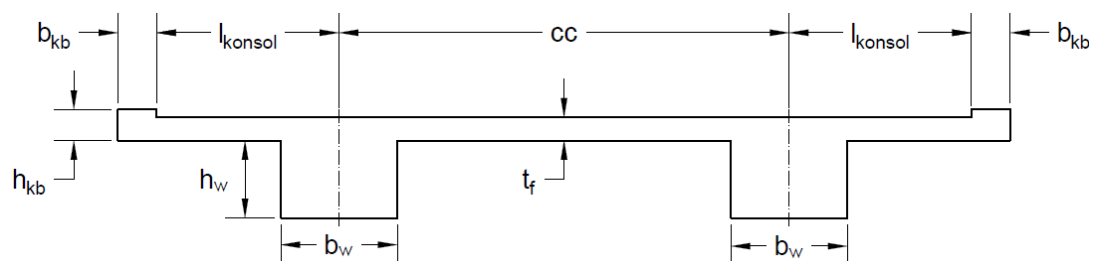
$$l_{\text{konsol}} := 2.35\text{m}$$

$$b_w := 1.5\text{m}$$

$$h_w := 1\text{m}$$

$$t_f := 0.3\text{m}$$

$$h := h_w + t_f = 1.3\text{m}$$



## Material

### Betong

Betongklass: C35/45

$$f_{ck} := 35\text{MPa} \quad f_{ctk0.05} := 2.2\text{MPa}$$

Vid uppspanning antas hållfastheten vara C25/35, detta då betongens hållfastheten vid uppspanning reduceras till ungefär 70% av den hållfasthet som ges efter 28 dygn. Detta ger:

$$f_{cki} := 25\text{MPa} \quad f_{ctk0.05i} := 1.8\text{MPa}$$

### Spännstål

I dokumentet Post tensioning systems, civil engineering construction, cclint.com väljs Anchorage XM - 30.

Spänntråd:  $\Phi_p := 13\text{mm}$

$$n_{\text{trådperrör}} := 9$$

$$f_{puk} := 1860\text{MPa} \quad \text{Grade 1860}$$

$$f_{p0.1k} := 1707\text{MPa}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

## Medverkande flänsbredd (se 5.3.2.1 i SS-EN 1992-1-1)

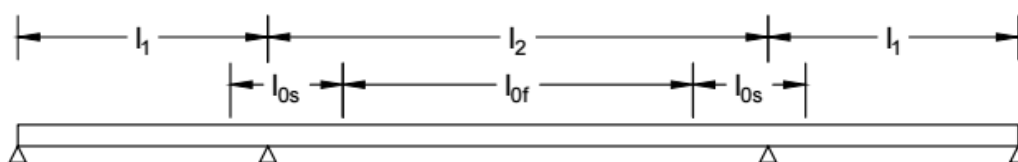
$$b_1 := \frac{(cc - b_w)}{2} = 2.15 \text{ m}$$

$$b_2 := l_{\text{konsol}} - \frac{b_w}{2} = 1.6 \text{ m}$$

$$b := b_1 + b_2 + b_w = 5.25 \text{ m}$$

$$l_{0f} := 0.7 \cdot l_2 = 21 \text{ m}$$

$$l_{0s} := 0.15 \cdot (l_1 + l_2) = 6.75 \text{ m}$$



## Medverkande fläns i fält

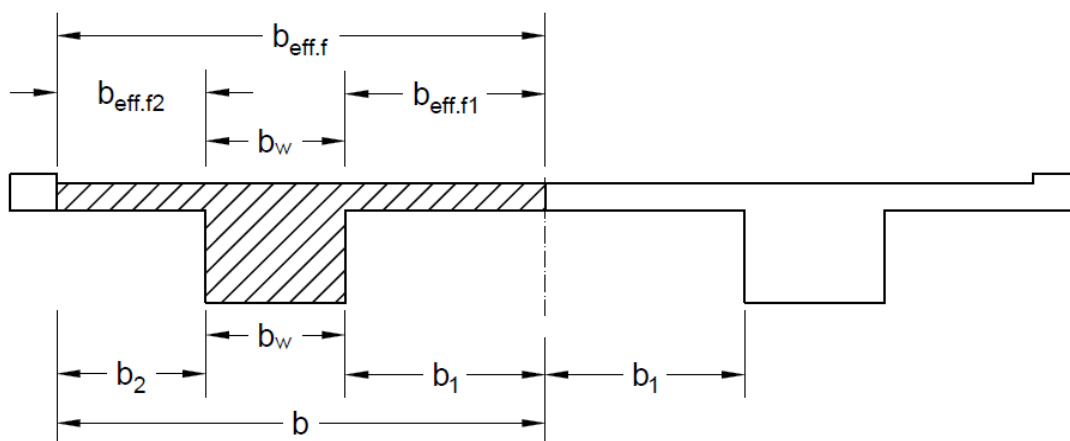
$$b_{\text{eff.f1}} := 0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_{0f} = 2.53 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.f1}} := \min(b_{\text{eff.f1}}, 0.2 \cdot l_{0f}, b_1) = 2.15 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.f2}} := 0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_{0f} = 2.42 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.f2}} := \min(b_{\text{eff.f2}}, 0.2 \cdot l_{0f}, b_2) = 1.6 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.f}} := b_{\text{eff.f1}} + b_{\text{eff.f2}} + b_w = 5.25 \text{ m}$$



### Medverkande fläns över stöd

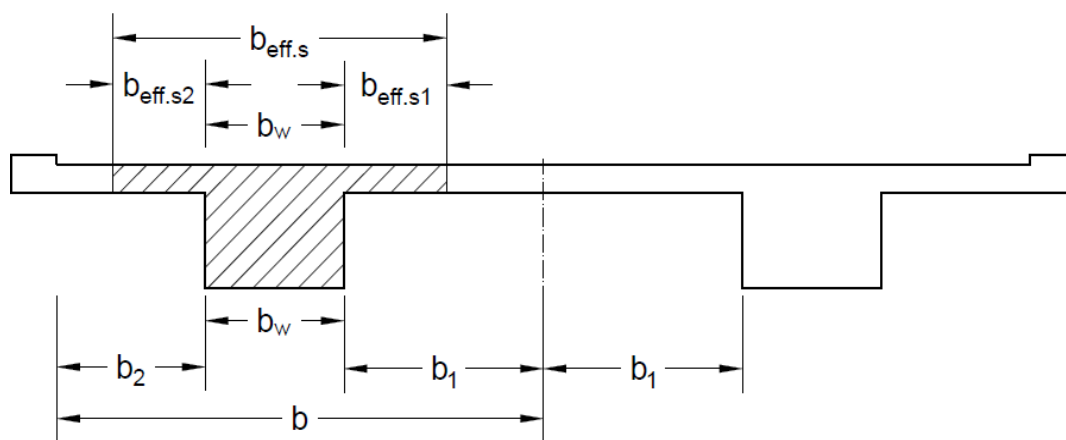
$$b_{\text{eff.s1}} := 0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_{0s} = 1.105 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.s1}} := \min(b_{\text{eff.s1}}, 0.2 \cdot l_{0s}, b_1) = 1.105 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.s2}} := 0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_{0s} = 0.995 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.s2}} := \min(b_{\text{eff.s2}}, 0.2 \cdot l_{0s}, b_2) = 0.995 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff.s}} := b_{\text{eff.s1}} + b_{\text{eff.s2}} + b_w = 3.6 \text{ m}$$



## Tvärsnittskonstanter i fält

Effektiv area

$$A_{cf} := b_w \cdot h_w + b_{eff.f} \cdot t_f = 3.075 \text{ m}^2$$

Tyngdpunktsläge från tryckt kant

$$x_{cf} := \frac{\left[ b_w \cdot h_w \cdot \left( t_f + \frac{h_w}{2} \right) + b_{eff.f} \cdot t_f \cdot \frac{t_f}{2} \right]}{A_{cf}} = 0.467 \text{ m}$$

Yttröghetsmoment

$$I_{cf} := \frac{(b_w \cdot h_w^3)}{12} + b_w \cdot h_w \cdot \left( t_f + \frac{h_w}{2} - x_{cf} \right)^2 + \frac{(b_{eff.f} \cdot t_f^3)}{12} \dots = 0.461 \text{ m}^4$$
$$+ b_{eff.f} \cdot t_f \cdot \left( x_{cf} - \frac{t_f}{2} \right)^2$$

## Tvärsnittskonstanter över stöd

Effektiv area

$$A_{cs} := b_w \cdot h_w + b_{eff.s} \cdot t_f = 2.58 \text{ m}^2$$

Tyngdpunktsläge från tryckt kant

$$x_{cs} := \frac{\left[ b_w \cdot h_w \cdot \left( \frac{h_w}{2} \right) + b_{eff.s} \cdot t_f \cdot \left( \frac{t_f}{2} + h_w \right) \right]}{A_{cs}} = 0.772 \text{ m}$$

Yttröghetsmoment

$$I_{cs} := \frac{(b_w \cdot h_w^3)}{12} + b_w \cdot h_w \cdot \left( x_{cs} - \frac{h_w}{2} \right)^2 + \frac{(b_{eff.s} \cdot t_f^3)}{12} \dots = 0.398 \text{ m}^4$$
$$+ b_{eff.s} \cdot t_f \cdot \left( h - \frac{t_f}{2} - x_{cs} \right)^2$$

## Moment

Egentyngd

$$M_{sg} := 6.4273 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

Karakteristiska laster i bruksgränstillstånd

$$M_{sbrukfрек} := 8.6897 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sbrukkar} := 10.038 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sbruk} := \max(M_{sbrukfрек}, M_{sbrukkar}) = 10.038 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerande last i brottgränstillstånd

$$M_{sbrott} := 11.738 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

## Tvångsmoment

Tvångsmomentet kan antas vara cirka hälften av stödmomentet för maximal last i bruksstadiet, utan hänsyn till spännkraft.

$$\Delta M := 0.5 \cdot M_{sbruk} = 5.019 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

## Laster

Punktlast

$$P_{bruk} := 0.88128 \text{ MN}$$

$$P_{brott} := 1.3219 \text{ MN}$$

Utbredd

$$q_{bruk} := 9.6012 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{brott} := 14.4018 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{\text{sv}} := 94.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

## Moment reducerade med tvångsmoment

### Karakteristisk last

$$M_{\text{sbrukspänn}} := M_{\text{sbruk}} - \Delta M = 5.019 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{fbbrukspänn}} := \frac{\left[ (g + q_{\text{bruk}}) \cdot l_2^2 \right]}{8} \dots = 13.296 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$
$$+ \left[ \frac{(P_{\text{bruk}} \cdot l_2)}{4} \right] - M_{\text{sbrukspänn}}$$

### Egentyngd

$$M_{\text{sgspänn}} := M_{\text{sg}} - \Delta M = 1.408 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{fgspänn}} := \frac{(g \cdot l_2^2)}{8} - M_{\text{sgspänn}} = 9.217 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

### Brottgränstillstånd

$$M_{\text{sbrottspänn}} := M_{\text{sbrott}} - \Delta M = 6.719 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{fbbrottspänn}} := \frac{\left[ (g + q_{\text{brott}}) \cdot l_2^2 \right]}{8} \dots = 15.441 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$
$$+ \frac{(P_{\text{brott}} \cdot l_2)}{4} - M_{\text{sbrottspänn}}$$

## Möjlig placering av spännkablar:

Täckande betongskikt ska ha en minsta tjocklek,  $c_{\min}$  med hänsyn till:

- vidhaftning
- korrosionsskydd
- brandmotstånd (se EN 1992-1-2)

Minsta täckande betongskikt för byglar (EK2 avsnitt 4.4.1.2):

Bygeldiameter:  $\phi_v := 16\text{mm}$

$c_{\min b} := \phi_v$  Separata stänger. Bärande konstruktioner (B4-25)

$\Delta c_{\text{dev}} := 10\text{mm}$  Nationell parameter för tolerans som anger en möjlig och tillåten måttavvikelse (BK1 sB120)

Dragarmering:  $\phi_{\text{drag}} := 8\text{mm}$

Dragarmering tvärlädd:  $\phi_{\text{dragtvär}} := 16\text{mm}$

## Överbyggnad

$c_{\text{mindur.öb}} := 55\text{mm}$

$c_{\text{min.öb}} := \max(c_{\text{minb}}, c_{\text{mindur.öb}}, 10\text{mm}) = 55 \cdot \text{mm}$

$c_{\text{nom.öb}} := c_{\text{min.öb}} + \Delta c_{\text{dev}} = 65 \cdot \text{mm}$

$c_{v.öb} := c_{\text{nom.öb}} = 65 \cdot \text{mm}$

## Foderrör

Minsta täckande betongskikt för foderrör (EK2 avsnitt 4.4.1.2)

Foderrörets diameter

$\phi_{\text{duct}} := 75\text{mm}$

$c_{\text{min.fr}} := \max(\phi_{\text{duct}}, c_{\text{mindur.öb}}, 10\text{mm}) = 75 \cdot \text{mm}$

$c_{\text{nom.fr}} := c_{\text{min.fr}} + \Delta c_{\text{dev}} = 85 \cdot \text{mm}$

Minsta avstånd mellan kant och centrum foderrör:

$s_{e.\text{min}} := c_{\text{nom.fr}} + \frac{\phi_{\text{duct}}}{2} = 122.5 \cdot \text{mm}$



Ballastens största storlek:

$$d_g := 20\text{mm}$$

Minsta fria avstånd mellan rör i samma lager:

$$c_{\text{fri1}} := \max(d_g + 5\text{mm}, \phi_{\text{duct}}, 50\text{mm}) = 75 \cdot \text{mm}$$

Minsta centrumavstånd mellan rör i samma lager:

$$s_{\text{h1.min}} := c_{\text{fri1}} + \phi_{\text{duct}} = 150 \cdot \text{mm}$$

Minsta fria avstånd mellan lager:

$$c_{\text{fri2}} := \max(d_g, \phi_{\text{duct}}, 40\text{mm}) = 75 \cdot \text{mm}$$

Minsta centrumavstånd mellan lager:

$$s_{\text{h2}} := c_{\text{fri2}} + \phi_{\text{duct}} = 150 \cdot \text{mm}$$

Antal rör som ryms i ett lager:

$$n := \frac{b_w - 2 \cdot (c_{\text{nom.öb}} + \phi_v + \phi_{\text{drag}} + d_g) - \phi_{\text{duct}}}{s_{\text{h2}}} + 1 = 9.047$$

$$\underline{\underline{n}} := \text{floor}(n) = 9$$

Avstånd mellan kant och centrum foderrör, horisontalled:

$$s_{\text{eh}} := c_{\text{nom.öb}} + \phi_v + \phi_{\text{drag}} + d_g + \frac{\phi_{\text{duct}}}{2} = 146.5 \cdot \text{mm}$$

Avstånd mellan kant och centrum foderrör, vertikalled:

$$s_{\text{ev}} := c_{\text{nom.öb}} + \phi_v + \phi_{\text{drag}} + d_g + \frac{\phi_{\text{duct}}}{2} = 146.5 \cdot \text{mm}$$

## Preliminärt val av förspänningskraft

Vid preliminär beräkning försummas slakarmeringen, detta på grund av att beräkningar görs i stadium 1 och ett osprucket tvärsnitt antas.

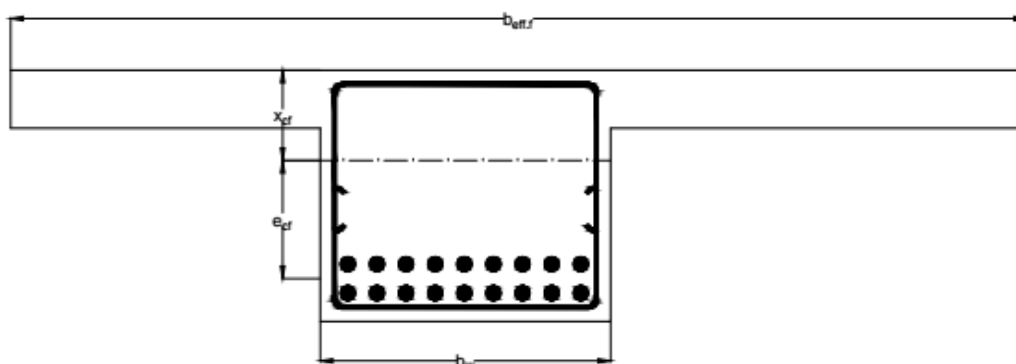
Effektiv höjd (samma i fältsnitt som i stödsnitt)

$$d_p := h - s_{ev} - \frac{s_{h2}}{2} = 1.079 \text{ m} \quad \text{Antar två lager}$$

Spännkraftens excentricitet

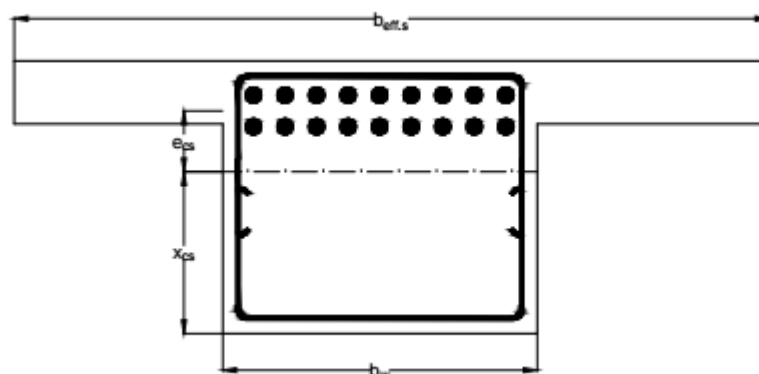
Fält

$$e_{cf} := d_p - x_{cf} = 0.611 \cdot \text{m}$$



Stöd

$$e_{cs} := d_p - x_{cs} - \phi_{\text{dragtvär}} = 0.29 \text{ m}$$



## Beräkning av tillåtet intervall för initieell spännkraft $P_i$

$$\eta := 0.9$$

Hänsyn till långtidsdeformationer, EK2 5.10.9

$$P_{ik} = r_{inf} \cdot P_i$$

Används då förspänningen har en gynnsam inverkan

$$P_{ik} = r_{sup} \cdot P_i$$

Används då förspänningen har en ogynnsam inverkan

$$r_{inf} := 0.9$$

$$r_{sup} := 1.1$$

Erforderlig spännkraft mht sprickbegränsning vid karakteristisk last:

$$\sigma_{ct} = \frac{(-\eta \cdot P_{ik})}{A_c} + \frac{(-\eta \cdot P_{ik} \cdot e_c + M)}{I_c} \cdot (h - x_c)$$

$$\sigma_{ct} \leq \sigma_{ct,max} = f_{ctk0.05i}$$

Spänningsvillkor i mittfält (kontroll underkant):

$$r_{inf} \cdot P_{ifbruk} \geq \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\left[ M_{fbrukspänn} - \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf})} \cdot f_{ctk0.05} \right]}{e_{cf} + \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf})} \cdot A_{cf}}$$

$$P_{ifbruk} := \frac{1}{\eta \cdot 0.9} \cdot \frac{\left[ M_{fbrukspänn} - \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf})} \cdot f_{ctk0.05} \right]}{e_{cf} + \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf})} \cdot A_{cf}} = 18.837 \cdot \text{MN}$$

Spänningsvillkor i stödsnitt (kontroll överkant):

P.s.s som ovan fås:

$$r_{\text{inf}} \cdot P_{\text{isbruk}} \geq \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\left( M_{\text{sbrukspänn}} - \frac{I_{\text{cs}}}{h - x_{\text{cs}}} \cdot f_{\text{ctk}0.05} \right)}{e_{\text{cs}} + \frac{I_{\text{cs}}}{(h - x_{\text{cs}}) \cdot A_{\text{cs}}}}$$

$$P_{\text{isbruk}} := \frac{1}{\eta \cdot 0.9} \cdot \frac{\left[ M_{\text{sbrukspänn}} - \frac{I_{\text{cs}}}{(h - x_{\text{cs}})} \cdot f_{\text{ctk}0.05} \right]}{e_{\text{cs}} + \frac{I_{\text{cs}}}{(h - x_{\text{cs}}) \cdot A_{\text{cs}}}} = 7.114 \cdot \text{MN}$$

Begränsning av spännkraft vid uppspanning mht sprickbegränsning:

$$\sigma_{\text{ct}} = \frac{-P_{\text{ik}}}{A_{\text{c}}} + \frac{(-P_{\text{ik}} \cdot e_{\text{c}} + M)}{I_{\text{c}}} \cdot (-x_{\text{c}})$$

$$\sigma_{\text{ct}} \leq \sigma_{\text{ct,max}} = f_{\text{ctk}0.05\text{i}}$$

Spänningsvillkor i mittfält (kontroll överkant):

$$1.1 \cdot P_{\text{ifg}} \leq \frac{1}{\eta} \cdot \frac{M_{\text{fgspänn}} + \left( \frac{I_{\text{cf}}}{x_{\text{cf}}} \cdot f_{\text{ctk}0.05\text{i}} \right)}{e_{\text{cf}} - \left( \frac{I_{\text{cf}}}{x_{\text{cf}} \cdot A_{\text{cf}}} \right)}$$

$$P_{\text{ifg}} := \frac{1}{\eta \cdot 1.1} \cdot \frac{M_{\text{fgspänn}} + \left( \frac{I_{\text{cf}}}{x_{\text{cf}}} \cdot f_{\text{ctk}0.05\text{i}} \right)}{e_{\text{cf}} - \left( \frac{I_{\text{cf}}}{x_{\text{cf}} \cdot A_{\text{cf}}} \right)} = 38.277 \cdot \text{MN}$$

Spänningsvillkor i stödsnitt (kontroll underkant):

P.s.s som ovan fås:

$$1.1 \cdot P_{isg} \leq \frac{1}{\eta} \cdot \frac{M_{sgspänn} + \left( \frac{I_{cs}}{x_{cs}} \cdot f_{ctk0.05i} \right)}{e_{cs} - \left( \frac{I_{cs}}{x_{cs} \cdot A_{cs}} \right)}$$

$$P_{isg} := \frac{1}{\eta \cdot 1.1} \cdot \frac{M_{sgspänn} + \left( \frac{I_{cs}}{x_{cs}} \cdot f_{ctk0.05i} \right)}{e_{cs} - \left( \frac{I_{cs}}{x_{cs} \cdot A_{cs}} \right)} = 26.11 \cdot \text{MN}$$

Begräsning av spännkraft vid uppspanning mht tryckspänningsbegräsning:

$$\sigma_{cc} = \frac{-P_{ik}}{A_{cf}} + \frac{(-P_{ik} \cdot e_{cf} + M_{fgspänn})}{I_{cf}} \cdot (h \cdot -x_{cf})$$

$$\sigma_{cc} \geq -|\sigma_{cci,max}| = -0.6 \cdot f_{cki}$$

$$0.6 \cdot f_{cki} = 15 \cdot \text{MPa}$$

Spänningsvillkor i mittfält (underkant):

$$1.1 \cdot P_{ift} \leq \frac{1}{\eta} \cdot \frac{M_{fgspänn} + \left[ \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf})} \cdot (0.6 \cdot f_{cki}) \right]}{e_{cf} + \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf}) \cdot A_{cf}}}$$

$$P_{ift} := \frac{1}{\eta \cdot 1.1} \cdot \frac{M_{fgspänn} + \left[ \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf})} \cdot (0.6 \cdot f_{cki}) \right]}{e_{cf} + \frac{I_{cf}}{(h - x_{cf}) \cdot A_{cf}}} = 22.365 \cdot \text{MN}$$

Spänningsvillkor i stödsnitt (överkant):

$$1.1 \cdot P_{\text{ist}} \leq \frac{1}{\eta} \cdot \frac{M_{\text{sgspänn}} + \left[ \frac{I_{\text{cs}}}{(h - x_{\text{cs}})} \cdot (0.6 \cdot f_{\text{cki}}) \right]}{e_{\text{cs}} + \frac{I_{\text{cs}}}{(h - x_{\text{cs}}) \cdot A_{\text{cs}}}}$$

$$P_{\text{ist}} := \frac{1}{\eta \cdot 1.1} \cdot \frac{M_{\text{sgspänn}} + \left[ \frac{I_{\text{cs}}}{h - x_{\text{cs}}} \cdot (0.6 \cdot f_{\text{cki}}) \right]}{e_{\text{cs}} + \frac{I_{\text{cs}}}{(h - x_{\text{cs}}) \cdot A_{\text{cs}}}} = 22.056 \cdot \text{MN}$$

## Intervall

Intervall för möjlig spännkraft i fält

$$P_{\text{ifbruk}} \leq P_{\text{ifält}} \leq \min(P_{\text{ift}}, P_{\text{ifg}})$$

$$P_{\text{ifbruk}} = 18.837 \cdot \text{MN}$$

$$P_{\text{ifmax}} := \min(P_{\text{ift}}, P_{\text{ifg}}) = 22.365 \cdot \text{MN}$$

Intervall för möjlig spännkraft i stöd

$$P_{\text{isbruk}} \leq P_{\text{istöd}} \leq \min(P_{\text{ist}}, P_{\text{isg}})$$

$$P_{\text{isbruk}} = 7.114 \cdot \text{MN}$$

$$P_{\text{ismax}} := \min(P_{\text{ist}}, P_{\text{isg}}) = 22.056 \cdot \text{MN}$$

Intervall för spännkraft

$$P_{\text{ifbruk}} \leq P \leq P_{\text{ismax}}$$

$$P_{\text{ifbruk}} = 18.837 \cdot \text{MN}$$

$$P_{\text{ismax}} = 22.056 \cdot \text{MN}$$

## Beräkning av antal rör

Dimensionerande nedre gräns för tryckkraft över hela bron:

$$P_{\min} := \max(P_{\text{isbruk}}, P_{\text{ifbruk}}) = 18.837 \cdot \text{MN}$$

Dimensionerande övre gräns för tryckkraft över hela bron:

$$P_{\max} := \min(P_{\text{ismax}}, P_{\text{ifmax}}) = 22.056 \cdot \text{MN}$$

Högsta stålspänning vajer

$$\sigma_{\text{pi.max}} := \min(0.8 \cdot f_{\text{puk}}, 0.9 \cdot f_{\text{p0.1k}}) = 1.488 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Erforderlig tvärsnittsarea spännstål

$$A_{\text{stål}} := \frac{P_{\min}}{\sigma_{\text{pi.max}}} = 0.013 \text{ m}^2$$

Area vajer

$$A_{\text{tråd}} := 102 \text{ mm}^2 \quad \text{prEN10138 - 3:2006}$$

Erforderligt antal trådar

$$n_{\text{tråd}} := \frac{A_{\text{stål}}}{A_{\text{tråd}}} = 124.108$$

Erforderligt antal rör,

$$n_{\text{rör}} := \frac{n_{\text{tråd}}}{n_{\text{trådperrör}}} = 13.79$$

Erforderligt antal rör, avrundat uppåt

$$n_{\text{rör}} := \text{ceil}(n_{\text{rör}}) = 14$$



## Val av antal och kontroll spänning i spännkablar

Antal rör i ett lager

$$n := 9$$

Erfoderligt antal lager:

$$n_{\text{lager}} := \frac{n_{\text{rör}}}{n} = 1.556$$

$$n_{\text{lager}} := \text{ceil}(n_{\text{lager}}) = 2$$

Totalt antal rör

$$n_{\text{tot}} := n_{\text{lager}} \cdot n = 18$$

Centrumavstånd mellan rör i samma lager:

$$s_{h1} := \frac{(b_w - 2 \cdot s_{eh})}{n - 1} = 150.875 \cdot \text{mm}$$

Väljer stålspänning vid uppspänning, ska vara mindre än  $\sigma_{pi.max}$

$$\sigma_{\text{tråd}} := 1300 \text{MPa}$$

Total tvärsnittsarea av spännarmeringen

$$A_{\text{totspänn}} := n_{\text{tot}} \cdot n_{\text{trådperrör}} \cdot A_{\text{tråd}} = 0.017 \text{m}^2$$

Total spännkraft

$$P_{\text{spänn}} := \sigma_{\text{tråd}} \cdot A_{\text{totspänn}} = 21.481 \cdot \text{MN}$$

Kontroll av spännkraft

$$P_{\text{spänn}} := \left( \begin{array}{l} \text{"OK!" if } P_{\text{ifbruk}} \leq P_{\text{spänn}} \leq P_{\text{ismax}} \\ \text{"Inte OK!" otherwise} \end{array} \right)$$

$$P_{\text{spänn}} = \text{"OK!"}$$

## Preliminär momentkapacitet

Fält

$$z_f := d_p - \frac{t_f}{2} = 0.929 \text{ m} \quad \text{Uppskattad hävarm i fält}$$

$$M_{Rdf} := z_f \cdot \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} \cdot A_{\text{totspänn}} = 22.774 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Stöd

$$z_s := 0.9d_p = 0.971 \text{ m} \quad \text{Uppskattad hävarm i stöd}$$

$$M_{Rds} := z_s \cdot \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} \cdot A_{\text{totspänn}} = 23.807 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

## Kontroll av preliminär momentkapacitet

Fält

$$M_{Rd} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } M_{Rdf} \geq M_{\text{fbrottspänn}} \\ \text{"Inte OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{Rd} = \text{"OK!"}$$

$$\text{Utnyttjandegrad} := \frac{M_{\text{fbrottspänn}}}{M_{Rdf}} = 0.678$$

Stöd

$$M_{Rd} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } M_{Rds} \geq M_{\text{sbrottspänn}} \\ \text{"Inte OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{Rd} = \text{"OK!"}$$

$$\text{Utnyttjandegrad} := \frac{M_{\text{fbrottspänn}}}{M_{Rds}} = 0.649$$

## Bilaga B6 - Tvärkraftsarmering i längsled

### Material

Betong C35/45

$$f_{ck} := 35\text{MPa}$$

$$f_{cm} := 43\text{MPa}$$

$$f_{ctm} := 3.2\text{MPa}$$

$$\epsilon_{cc} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{cc} := 1$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2.333 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$E_{cm} := 34\text{GPa}$$

Armering B500B

$$E_s := 200\text{GPa}$$

$$f_{yk} := 500\text{MPa}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

$$\Phi := 20\text{mm}$$

### Minsta täckande betongskikt

$$\Delta c_{dev} := 10\text{mm}$$

Nationell parameter för tolerans som anger en möjlig och tillåten måttavvikelse (BK1 sB120)

$$\Phi_{pelare.bygel} := 12\text{mm}$$

$$c_{minb} := \Phi_{pelare.bygel} = 0.012\text{m}$$

$$c_{mindur.öd} := 55\text{mm}$$

$$c_{min.öd} := \max(c_{minb}, c_{mindur.öd}, 10\text{mm}) = 55 \cdot \text{mm}$$

$$c_{nom.öd} := c_{min.öd} + \Delta c_{dev} = 65 \cdot \text{mm}$$

### Laster

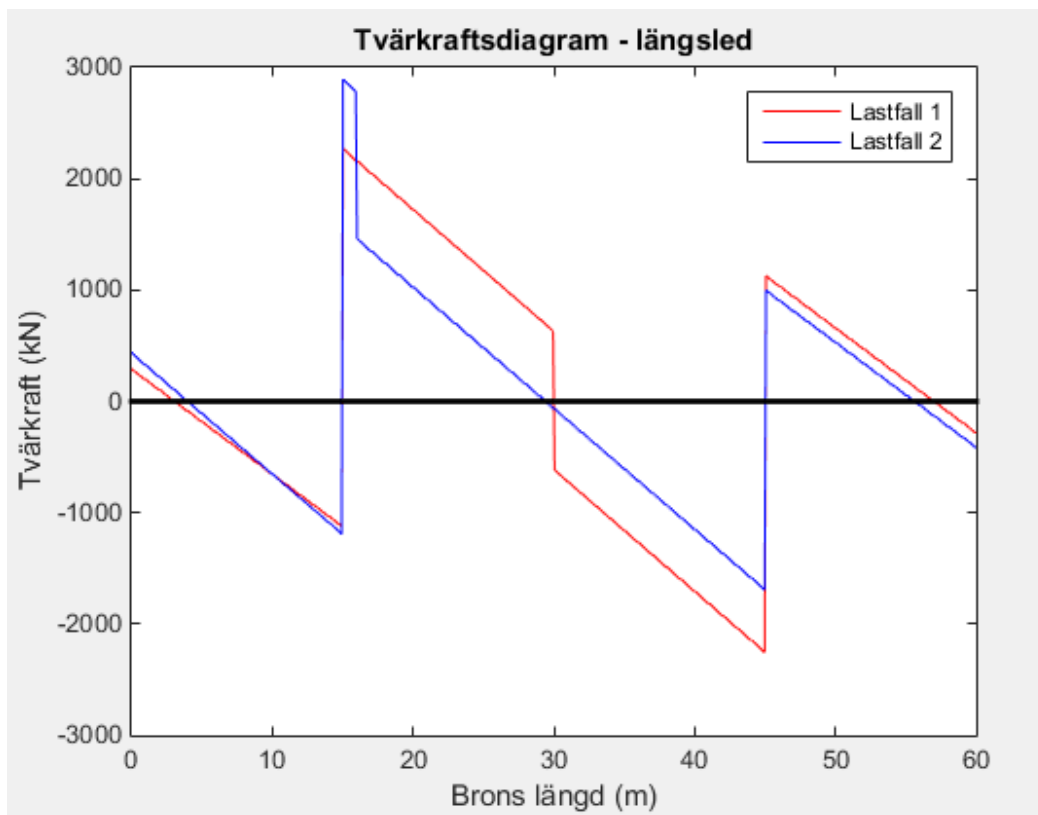
Brottgränstillstånd

Normalkraft från spännarmeringen

$$V_{Ed.fältstöd} := 2811.8\text{kN}$$

$$N_{Ed.spänn} := 21.481\text{MN}$$

$$V_{Ed.ändstöd} := 1154\text{kN}$$



## Tvärsnittsdata

Rektangulärt tvärsnitt

$$b_w := 1.5\text{m}$$

$$h_{\text{pelare}} := 0.8\text{m}$$

$$h := 1.3\text{m}$$

$$b_{\text{eff.fältstöd}} := 3.6\text{m}$$

$$l_{\text{s.fältstöd}} := h_{\text{pelare}} \cdot \sqrt{2} = 1.131\text{m}$$

$$A_{\text{tvärsnitt}} := b_w \cdot (h - 0.3\text{m}) + 0.3\text{m} \cdot b_{\text{eff.fältstöd}} = 2.58\text{m}^2$$

$$l_{\text{s.ändstöd}} := 0.3\text{m} \quad \Phi_{\text{tvär}} := 16\text{mm}$$

$$A_{\text{sw}} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Phi_{\text{tvär}}^2}{4} = 4.021 \times 10^{-4}\text{m}^2$$

$$d := h - c_{\text{nom.öd}} = 1.235\text{m}$$

## Tvärkraft med 45 grader trycksträva

Längd från fältstöd till trycksträvans start (Kritiskt snitt)

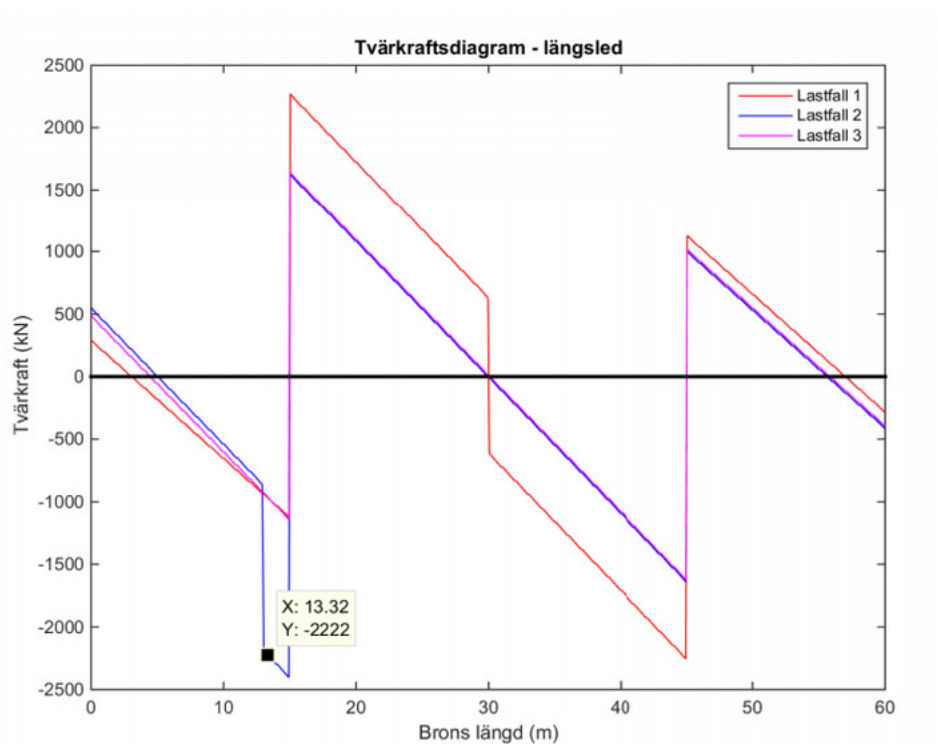
$$\frac{l_{s.fältstöd}}{2} + 0.9 \cdot d = 1.677 \text{ m}$$

Tvärkrafter höger och vänster om fältstöd

$$V_{Ed.45.fältH} := 2.685 \text{ MN}$$

$$V_{Ed.45.fältV} := 2.222 \text{ MN}$$

Bild på hur tvärkrafterna togs ut

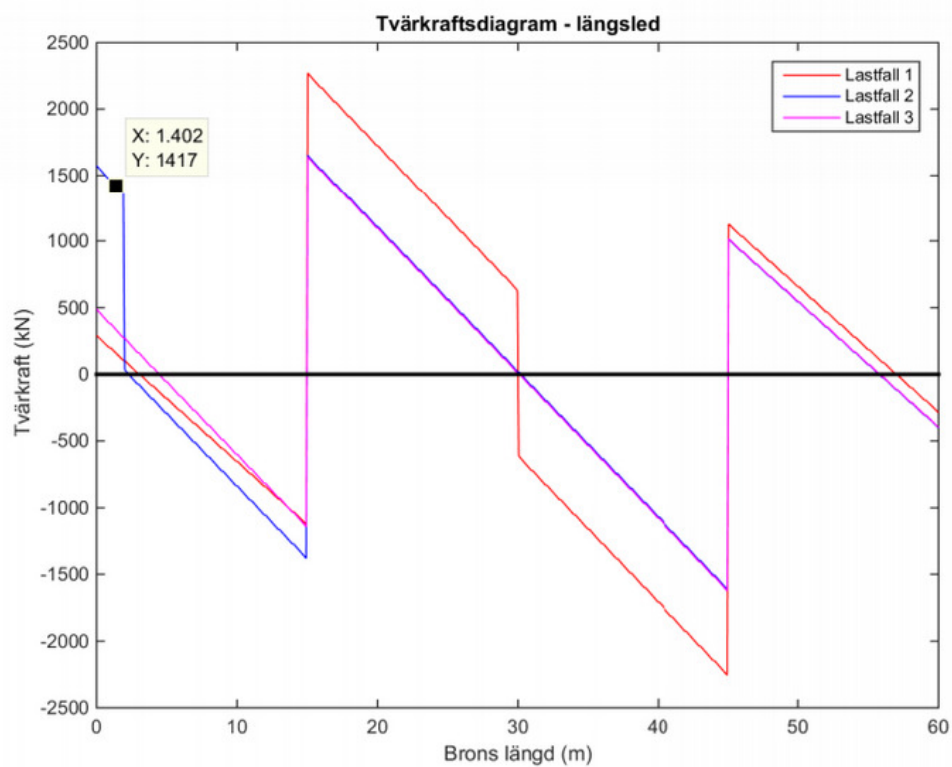


Längd från ändstöd till trycksträvans start (Kritiskt snitt)

$$l_{s,\text{ändstöd}} + 0.9 \cdot d = 1.412 \text{ m}$$

Tvärkrafter vänster om ändstöd

$$V_{\text{Ed},45.\text{änd.H}} := 1.417 \text{ MN}$$



## Tvärkraftskapacitet utan armering

### Kontroll Livtryckbrott

(Bärande konstruktioner del 1 kap B6.3.2 )

$$v := 0.6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{MPa}} \right) = 0.516$$

$$V_{Rd,max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 1.115 \times 10^7 \text{ N}$$

$$V_{Ed,fältstöd} < V_{Rd,max} = 1$$

Ingen risk för livtryckbrott

$$V_{Ed,ändstöd} < V_{Rd,max} = 1$$

### Kontroll skjuvglidbrott

(Bärande konstruktioner sid. B192)

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{mm}}{d}} = 1.402 \quad k < 2$$

$$k_1 := \frac{0.15}{\rho_1}$$

$$\rho_1 := \frac{A_{sw}}{b_w \cdot d} = 2.171 \times 10^{-4} \quad \rho_1 < 0.02 = 1$$

$$\sigma_{cp} := \frac{N_{Ed,spänn}}{A_{tvärsnitt}} = 8.326 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{cp} < 0.2 \cdot f_{cd} = 0$$

$$\sigma_{cp1} := 0.2 \cdot f_{cd} = 4.667 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$V_{Rd.c} := \left[ C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp1} \right] \cdot b_w \cdot \frac{d \cdot N}{m^2} = 1.297 \cdot MN$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0.344$$

$$V_{Rd.c.min} := (v_{min}) \cdot \left( b_w \cdot \frac{d \cdot N}{m^2} \right) = 6.371 \times 10^{-7} \cdot MN$$

$$V_{Ed.45.fältH} < V_{Rd.c} = 0 \quad \text{Risk för skjuvglidbrott, Tvärarmering krävs}$$

$$V_{Ed.45.fältV} < V_{Rd.c} = 0$$

$$V_{Ed.45.änd.H} < V_{Rd.c} = 0$$



## Beräkning av tvärkraftsarmering

### Tvärkraft med 30 graders trycksträv

$$\theta := 30\text{deg}$$

$$\alpha := 90\text{deg}$$

### Längder till kritiska snitt

$$\frac{l_{s,\text{fältstöd}}}{2} + 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta) = 2.491 \text{ m}$$

$$l_{s,\text{ändstöd}} + 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta) = 2.225 \text{ m}$$

### Tvärkrafter i de kritiska snitten

$$V_{\text{Ed},30,\text{fältH}} := 2.558 \text{ MN}$$

$$V_{\text{Ed},30,\text{fältV}} := 2.080 \text{ MN}$$

$$V_{\text{Ed},30,\text{ändH}} := 1.216 \text{ MN}$$

### Kontroll livtryckbrott

$$0.25 \cdot f_{\text{cd}} < \sigma_{\text{cp}} < 0.5 \cdot f_{\text{cd}} = 1 \quad \text{Enligt B196 Bärande del 1}$$

$$\alpha_{\text{cw}} := 1.25$$

$$z_{\text{lång}} := 0.9 \cdot d = 1.112 \text{ m}$$

$$V_{\text{Rd,max}} := \alpha_{\text{cw}} \cdot b_w \cdot z_{\text{lång}} \cdot v \cdot f_{\text{cd}} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 10.865 \cdot \text{MN}$$

$$V_{\text{Ed},30,\text{fältH}} < V_{\text{Rd,max}} = 1$$

$$V_{\text{Ed},30,\text{fältV}} < V_{\text{Rd,max}} = 1$$

$$V_{\text{Ed},30,\text{ändH}} < V_{\text{Rd,max}} = 1$$

## Kontroll skjuvglidbrott

Fältstöd höger och vänster

$$s_{\text{fältstödH}} := \frac{z_{\text{lång}} \cdot \cot(\theta) \cdot f_{yd} \cdot A_{sw}}{V_{\text{Ed.30.fältH}}} = 0.132 \text{ m}$$

$$s_{\text{fältstödV}} := \frac{z_{\text{lång}} \cdot \cot(\theta) \cdot f_{yd} \cdot A_{sw}}{V_{\text{Ed.30.fältV}}} = 0.162 \text{ m}$$

Ändstöd höger

$$s_{\text{ändstödH}} := \frac{z_{\text{lång}} \cdot \cot(\theta) \cdot f_{yd} \cdot A_{sw}}{V_{\text{Ed.30.ändH}}} = 0.277 \text{ m}$$

## Kontroll av minsta mängd tvärkraftsarmering

$$\rho_{w,\text{min}} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}}{\frac{f_{yk}}{\text{MPa}}}$$

$$\rho_{wH} := \frac{A_{sw}}{s_{\text{fältstödH}} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 2.037 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{w,\text{min}} < \rho_{wH} = 1$$

$$\rho_{wV} := \frac{A_{sw}}{s_{\text{fältstödV}} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 1.657 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{w,\text{min}} < \rho_{wV} = 1$$

$$\rho_{w,\text{ändH}} := \frac{A_{sw}}{s_{\text{ändstödH}} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 9.685 \times 10^{-4}$$

$$\rho_{w,\text{min}} < \rho_{w,\text{ändH}} = 1$$

## Kontroll av maximalt bygelavstånd

$$s_{l,max.långbalk} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha)) = 0.926 \text{ m}$$

$$s_{max.långbalk} := \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.283 \text{ m}$$

$$s_{fältstödH} < s_{max.långbalk} < s_{l,max.långbalk} = \text{slavstånd} \\ \text{ok!}$$

$$s_{fältstödV} < s_{max.långbalk} < s_{l,max.långbalk} = 1$$

$$s_{ändstödH} < s_{max.långbalk} < s_{l,max.långbalk} = 1$$

## Avrundade färdiga s-mått

$$s_{fältstödH.klar} := 160 \text{ mm}$$

$$s_{fältstödV.klar} := 190 \text{ mm}$$

$$s_{ändstödH.klar} := 275 \text{ mm}$$

Minimiarmeringen i långbalken blir

$$s_{max} := 0.28 \text{ m}$$

## Bilaga B7 - Minimiarmering

Minimiarmering beräknas enligt SS-EN 1992-1-1:2005

$$f_{ctm} := 3.2\text{MPa}$$

$$f_{yk} := 500\text{MPa}$$

$$\Phi_i := 8\text{mm}$$

$$A_{\Phi i} := \frac{\Phi_i^2}{4} \cdot \pi = 5.027 \times 10^{-5} \cdot \text{m}^2$$

### Minsta fria avstånd

Minsta fria avstånd beräknas för armeringsstängerna i längsled beräknas enligt ekv B4-27

$$k_1 := 1.0 \quad \text{Nationell parameter, rekommenderat värde}$$

$$k_2 := 5\text{mm} \quad \text{Nationell parameter, rekommenderat värde}$$

$$d_g := 20\text{mm} \quad \text{Största stenstorlek}$$

$$mfa := \max(k_1 \cdot \Phi_i, d_g + k_2, 20\text{mm}) = 25 \cdot \text{mm}$$

### Balkliv

$$b_w := 1.5\text{m} \quad \text{Balklivets bredd}$$

$$h_w := 1.0\text{m} \quad \text{Livets höjd}$$

$$t_f := 0.3\text{m} \quad \text{Flänsens tjocklek}$$

d uppskattas till

$$d_w := h_w + t_f - 0.070\text{m} = 1.23 \text{ m}$$

$$A_{s,\text{min.w}} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d_w = 3.07 \times 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \quad \text{ekv B4-21}$$

$$n_{\text{tot.w}} := \text{ceil}\left(\frac{A_{s,\text{min.w}}}{A_{\Phi i}}\right) = 62 \quad \text{Antal stänger som erfordras för att uppfylla minimikravet}$$

$$A_{s,\text{tot.w}} := n_{\text{tot.w}} \cdot A_{\Phi i} = 3.116 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{Total armeringsarea}$$

## Kontroller

Kontroll minimikrav

$$A_{s,\text{tot.w}} > 0.0013 \cdot b_w \cdot d_w = 1 \quad \text{ekv B4-21}$$

Kontroll maxkrav

$$A_{c_w} := b_w \cdot h_w$$

$$A_{s,\text{max}} := 0.04 \cdot A_{c_w} = 0.06 \text{ m}^2 \quad \text{ekv B4-22}$$

$$A_{s,\text{max}} > A_{s,\text{tot.w}} = 1$$

## Broplatta

$$b_{\text{eff.s}} := 5.25 \text{ m} \quad \text{Medelbredd hos dragzon}$$

$$t_f := 0.3 \text{ m} \quad \text{Flänshöjd}$$

d uppskattas till

$$d_f := t_f - 0.070 \text{ m} = 0.23 \text{ m}$$

$$A_{s,\text{min.f}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{eff.s}} \cdot d_f = 2.009 \times 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \quad \text{ekv B4-21}$$

$$n_{\text{tot.f}} := \text{ceil} \left( \frac{A_{s,\text{min.f}}}{A_{\Phi_i}} \right) = 40 \quad \text{Antal stänger som erfordras för att uppfylla minimikravet}$$

$$A_{s,\text{tot.f}} := n_{\text{tot.f}} \cdot A_{\Phi_i} = 2.011 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{Total armeringsarea}$$

## Kontroller

### Kontroll minimikrav

$$A_{s.tot.f} > 0.0013 \cdot b_{eff.s} \cdot d_f = 1 \quad \text{ekv B4-21}$$

### Kontroll maxkrav

$$A_{cf} := \tau_f \cdot b_{eff.s} \quad \text{Betongens bruttoarea}$$

$$A_{s.max} := 0.04 \cdot A_{cf} = 0.063 \text{ m}^2 \quad \text{ekv B4-22}$$

$$A_{s.max} > A_{s.tot.w} = 1$$

## Kantbalk

$$b_{kb} := 0.5 \text{ m}$$

$$h_{kb} := 0.4 \text{ m}$$

d uppskattas till

$$d_{kb} := h_{kb} - 0.070 \text{ m} = 0.33 \text{ m}$$

$$A_{s.min.kb} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{kb} \cdot d_{kb} = 2.746 \times 10^{-4} \cdot \text{m}^2 \quad \text{ekv B4-21}$$

$$n_{tot.kb} := \text{ceil} \left( \frac{A_{s.min.kb}}{A_{\Phi i}} \right) = 6$$

Antal stänger som  
erfordras för att uppfylla  
minimikravet

$$A_{s.tot.kb} := n_{tot.kb} \cdot A_{\Phi i} = 3.016 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Total  
armeringsarea

# Kontroller

Kontroll minimikrav

$$A_{s.tot.kb} > 0.0013 \cdot b_{kb} \cdot d_{kb} = 1 \quad \text{ekv B4-21}$$

Kontroll maxkrav

$$A_{kb} := h_{kb} \cdot b_{kb} \quad \text{Betongens bruttoarea}$$

$$A_{s.max} := 0.04 \cdot A_{kb} = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{ekv B4-22}$$

$$A_{s.max} > A_{s.tot.kb} = 1$$

## Bilaga B8 – Beräkning nedböjning i längsled

%Överslagsberäkning av nedböjning i längsled  
%Bruksgränstillstånd frekvent lastkombination

```
clear all
close all
clc
```

%% Dimenmsioner

%Platta

```
W=10.5; % [m]
tf=0.3; % [m]
tbelaggnig=0.1; % [m]
```

% Balk

```
bw=1.5; % [m]
hbalk=1.3-tf; % [m]
Abalk=bw*hbalk; % [m^2]
Ibalk = bw*hbalk^3/12; % [m^4]
```

% Kantbalk

```
Akantbalk=(tf+0.1)*0.5; % [m^2]
Ikantbalk=0.5*(tf+0.1)^3/12; % [m^4]
```

% Pelare

```
bpelare = bw; % [m]
tpelare = 0.8; % [m]
Ipelare = bpelare*tpelare^3/12; % [m^4]
Apelare = bpelare*tpelare; % [m^2]
```

%% Materialparametrar

```
E = 30*10^6; % Elasticitetsmodul [kPa]
% Tunghet
yracke=0.5; % [kN/m]
yasfalt=23; % [kN/m^3]
ybetong=25; % [kN/m^3]
```

%% Laster

% Permanenta laster, per meter, balk

```
Gracke=0.5*1; % [kN/m]
Gkantbalk=Akantbalk*ybetong*1; % [kN/m]
Gbalk=Abalk*ybetong*1; % [kN/m]
```

```
gplatta=tf*ybetong+tbelaggnig*yasfalt; % [kN/m^2]
g=- (Gracke+Gkantbalk+Gbalk+gplatta*W/2); % [kN/m]
```

% Pelarnas egentyngd

```
G = -(bpelare*tpelare*ybetong); % [kN/m]
```

% Variabla laster



```

Q1=-600*0.9; % [kN]
q1=-9*0.7; % [kN/m]

%% Definierar elementegenskaper
Acf=3.075; % [m^2]
Icf=0.453; % [m^4]

i=62; % i är antal element

ep=zeros(i,3);

for j=1:i-2 % Samma egenskaper gäller för alla element
    ep(j,:)= [E Acf Icf]; % förutom för pelarna.
end

for j=i-1:i
    ep(j,:)= [E Apelare Ipelare];
end

%% Lastberäkning för bruksgränstillstånd, frekvent lastkombination
% Med hjälp av ekvation 6.15b Eurocode 1990 ska de
% dimensionerande krafterna tas fram.

p=21.986e3; % Spännkraft [kN]
L=30; % Mittspännets längd [m]

% reduktionsfaktorer
xi1=0.75;
xi2=0;

% Laster
go=g;
p=p;
q1=xi2*q1;
Q1=xi1*Q1;

%% Element och frihetsgrader

% Topologi - Edof-matrisen skapas

Edof=zeros(i,7); % i är antal element

for j = 1:i
    Edof(j,1) = j; % första raden i edof är elementnummret
end
l=3;
for j =1:i
    l=l-3;
    for k= 2:7
        l=l+1;
        Edof(j,k)=1;
    end
end

```

```

end

% Pelarna
Edof(i-1,:)=[i-1 15*3+1 15*3+2 15*3+3 i*3-2 i*3-1 i*3];
Edof(i,:)=[i 45*3+1 45*3+2 45*3+3 i*3+1 i*3+2 i*3+3];

Ex=zeros(i,2); % Balkelementens x-koordinater
for j=1:i % varje element har längden 1 meter
Ex(j,:)=[j-1 j];
end

Ex(i-1,:)=[15 11]; % Pelarelementens x-koordinater
Ex(i,:)=[45 49];

Ey=zeros(i,2); % Elementens y-koordinater
Ey(i-1,:)=[0 -4.7];
Ey(i,:)=[0 -4.7];

% Definierar randvillkor så att balken är fritt upplagd på ändupplag samt
% pelarna är fast inspända

bc=[2 0;182 0;184 0;185 0;186 0;187 0;188 0;189 0];

%% Lastfall 1 - all last i mittfack ger max fältmoment

fp1a=1.359; % Filfaktor för punktlast lastfall 1
fq1a=3.607; % Filfaktor för utbredd last lastfall 1

q=q1*fq1a; % Lasterna multipliceras med filfaktorerna
Q=Q1*fp1a;

% Lastvektorn definieras
eq=zeros(i,2);
for j=1:15 % Ytterfackets utbredda last
eq(j,:)=[0 g];
end
for j=16:45 % Mittfackets utbredda last
eq(j,:)=[0 g+q];
end
for j=46:60 % Ytterfackets utbredda last
eq(j,:)=[0 g];
end
for j=61:62 % Pelarnas utbredda last
eq(j,:)=[0 G];
end

% Etablerar styvhetsmatris och lastvektor för lastfallet
K= zeros(i*3+3); f = zeros(i*3+3,1);
f(30*3+2)=Q; % Punktlasten placeras efter 30 meter, mitt i mittspannet
f(1)=-p; %Spännkraften drar i ändarna
f(181)=p;
for j = 1:1:i

```

```

[Ke, fe]=beam2e(Ex(j,:),Ey(j,:),ep(j,:),eq(j,:));
[K, f]=assem(Edof(j,:),K,Ke,f,fe);

end

% Lösning av systemet sker med solveq
[a, r1] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(Edof,a);

% Maximal nedböjning fält
wmax=min(ed(:,2));
fprintf('Maximal nedböjning fält: %1.3f m\n',abs(wmax))

% Maximalt tillåten nedböjning fält
wmaxtill=(L/400);
fprintf('Maximalt tillåten nedböjning: %1.3f m\n',wmaxtill)

```

## Bilaga C – Övriga beräkningar

C1 – Övergångskonstruktion	102
C2 – Beräkning av bottenplatta och vindlast	103
C3 – Beräkning av pelare	111
C4 – Uppskattning av materialkostnader	133

# Bilaga C1 - Övergångskonstruktion

Materialparametrar tas fram i Tabell C.1 i SS-EN 1991-1-5

$$\alpha_c := 10 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Delta^\circ\text{C}} \quad \Delta T := 64 \Delta^\circ\text{C} \quad \text{Temperaturskillnad enligt kapitel 2.4}$$

## Längdutvidgning i längsled

### Ytterfack

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

$$\Delta L_y := \alpha_c \cdot L_y \cdot \Delta T = 9.6 \cdot \text{mm}$$

### Mittfack

$$L_m := 30\text{m}$$

$$\Delta L_m := \alpha_c \cdot L_m \cdot \Delta T = 19.2 \cdot \text{mm} \quad \text{Utvidningen i mittfacket förhindras av pelarnas fasta inspänning och ger upphov till tvångskrafter i balken.}$$

## Längdutvidgning i tvärled

$$L_t := 5.8\text{m}$$

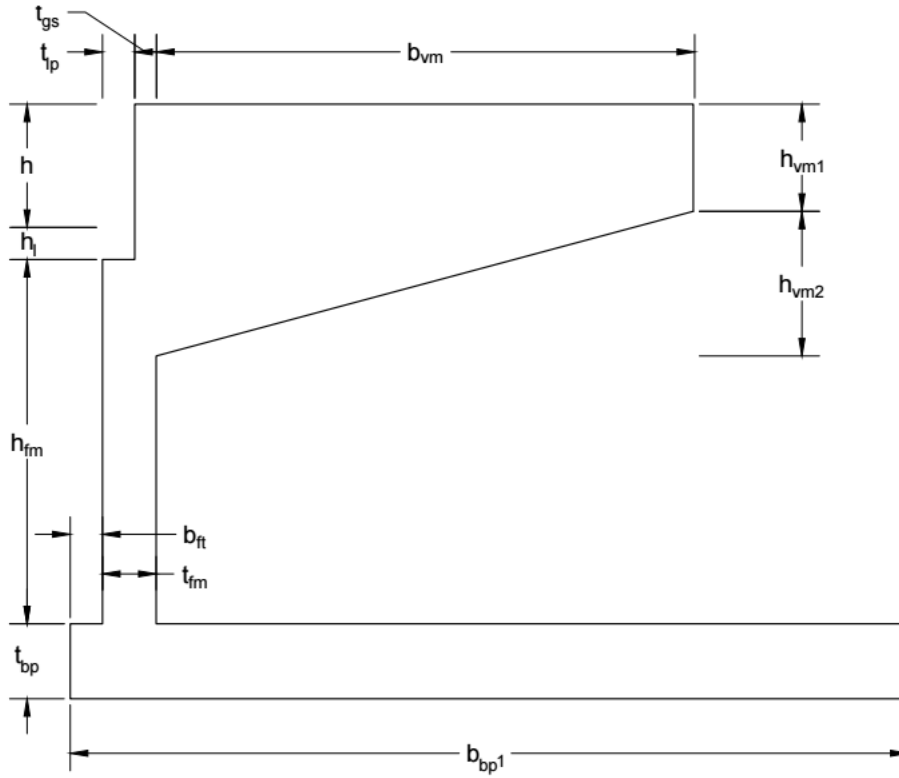
$$\Delta L_t := \alpha_c \cdot L_t \cdot \Delta T = 9.6 \cdot \text{mm}$$

## Bilaga C2 - Bottenplatta vid landfäste

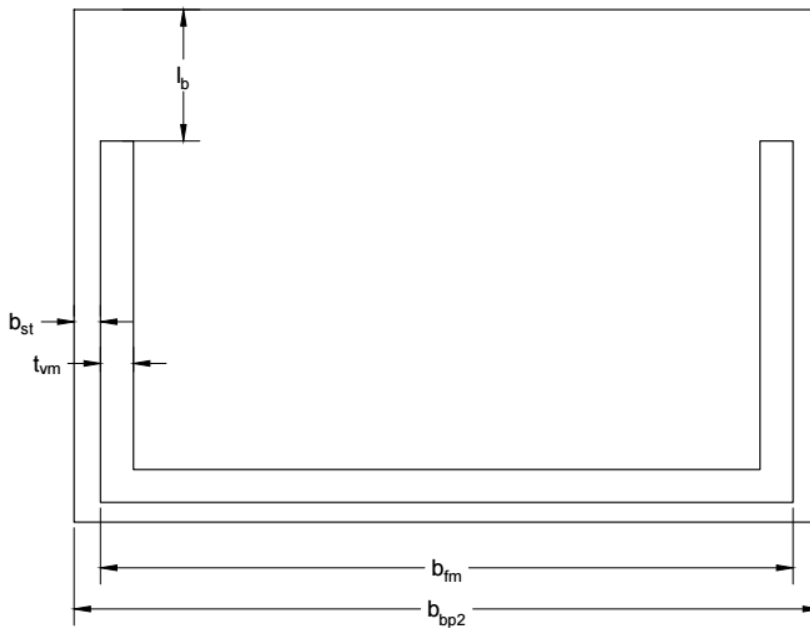
### Mått

$b_{vb} := 10.5\text{m}$	bredd vägbana
$R_A := 587.1\text{kN}$	
$R_B := 307.4\text{kN}$	
$b_{vm} := 5\text{m}$	bredd vingmur
$h_{vm1} := 1\text{m}$	höjd vingmur del 1
$h_{vm2} := 1.5\text{m}$	höjd vingmur del
$t_{vm} := 0.4\text{m}$	tjocklek vingmur
$b_{st} := 0.4\text{m}$	bredd sidotass
$b_{ft} := 0.3\text{m}$	bredd framtass
$t_{fm} := 0.5\text{m}$	tjockled frontmur
$b_{bp1} := 7.8\text{m}$	bredd bottenplatta del 1
$l_b := b_{bp1} - b_{ft} - t_{fm} - b_{vm} = 2\text{m}$	längd från vingmur till bakkant platta
$b_{bp2} := b_{vb} + 2b_{st} = 11.3\text{m}$	bredd bottenplatta del 2
$t_{bp} := 0.7\text{m}$	tjocklek bottenplatta
$h_{fm} := 3.4\text{m}$	höjd frontmur
$b_{fm} := b_{vb} = 10.5\text{m}$	bredd frontmur
$h := 1.3\text{m}$	höjd
$h_l := 0.2\text{m}$	höjd lager
$t_{lp} := 0.3\text{m}$	tjockled lagerpall
$t_{gs} := t_{fm} - t_{lp} = 0.2\text{m}$	tjocklek grusskift

### Landläste från sidan



### Landfäste ovanifrån



## Tyngdpunktsberäkning av landfäste

$$\gamma_{btg} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{tunghet betong}$$

$$g_{vm1} := h_{vm1} \cdot b_{vm} \cdot t_{vm} \cdot 2 \cdot \gamma_{btg} = 100 \cdot \text{kN}$$

$$g_{vm2} := h_{vm2} \cdot \left( \frac{b_{vm}}{2} \right) \cdot t_{vm} \cdot 2 \cdot \gamma_{btg} = 75 \cdot \text{kN}$$

$$g_{gs} := b_{fm} \cdot (h + h_l) \cdot t_{gs} \cdot \gamma_{btg} = 78.75 \cdot \text{kN}$$

$$g_{fm} := t_{fm} \cdot h_{fm} \cdot b_{fm} \cdot \gamma_{btg} = 446.25 \cdot \text{kN}$$

$$g_{bp} := t_{bp} \cdot b_{bp1} \cdot b_{bp2} \cdot \gamma_{btg} = 1.542 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Sigma g := g_{vm1} + g_{vm2} + g_{gs} + g_{fm} + g_{bp} = 2.242 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$x_{tpvm1} := l_b + \left( \frac{b_{vm}}{2} \right) = 4.5 \text{ m}$$

$$x_{tpvm2} := l_b + \left( 2 \frac{b_{vm}}{3} \right) = 5.333 \text{ m}$$

$$x_{tpgs} := l_b + b_{vm} + \left( \frac{t_{gs}}{2} \right) = 7.1 \text{ m}$$

$$x_{tpfm} := l_b + b_{vm} + \left( \frac{t_{fm}}{2} \right) = 7.25 \text{ m}$$

$$x_{tpbp} := \frac{b_{bp1}}{2} = 3.9 \text{ m}$$

$$\Sigma g x_{tp} := g_{vm1} \cdot x_{tpvm1} + g_{vm2} \cdot x_{tpvm2} + g_{gs} \cdot x_{tpgs} \dots = 1.066 \times 10^4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \\ + g_{fm} \cdot x_{tpfm} + g_{bp} \cdot x_{tpbp}$$

Tyngdpunkt från bottenplattans bakkant:

$$x_{tp} := \frac{\Sigma g x_{tp}}{\Sigma g} = 4.754 \text{ m}$$



## Vertikala laster på landfästet

De vertikala lasterna består av fyllnadsmaterial och överlast.

Landfästet fylls med fyllnadsmaterial i form av grus.

$$\gamma_g := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Enligt teknisk beskrivning kommer landfästets position vara ovanför grundvattenytan, vilket gör att tunghet för grus utan inverkan av vatten används.}$$

$$g_{gr} := b_{fm} \cdot (b_{bp1} - b_{ft} - t_{fm}) \cdot (h + h_1 + h_{fm}) \cdot \gamma_g = 7.203 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$q_{eq1} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{överlastens tunghet per kvm på bredden 6m (VVFS 2006:61)}$$

$$q_{eq2} := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{överlastens tunghet per kvm på bredden som överstiger 6m (VVFS 2006:61)}$$

$$g_{öl} := [6\text{m} \cdot q_{eq1} + (b_{fm} - 6\text{m}) \cdot q_{eq2}] \cdot (b_{bp1} - b_{ft} - t_{lp}) = 1.188 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

## Horisontella laster på landfästet

De horisontella lasterna består av fyllnadsmaterial, överlast, vindlast och broms-och accelerationskrafter

$$k_0 := 0.36 \quad \text{vilotryckskoefficient}$$

$$q_{gr} := \frac{[k_0 \cdot (h + h_1 + h_{fm} + t_{bp}) \cdot \gamma_g \cdot b_{fm} \cdot (b_{bp1} - b_{ft} - t_{lp})]}{2} = 1.524 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$q_{öl} := \frac{[6\text{m} \cdot q_{eq1} + (b_{fm} - 6\text{m}) \cdot q_{eq2}]}{b_{fm}} \cdot k_0 \cdot b_{fm} \cdot (b_{bp1} - b_{ft} - t_{lp}) = 427.68 \cdot \text{kN}$$

## Beräkning av grundtryck

Vertikala laster och trafiklast räknas som huvudlast

Total egenvikt

$$R_{\text{tot}} := 1.2\Sigma g + 1.2 \cdot g_{\text{gr}} + 1.5 \cdot 0.75 g_{\text{öl}} + R_{\text{A}} + R_{\text{B}} = 1.357 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

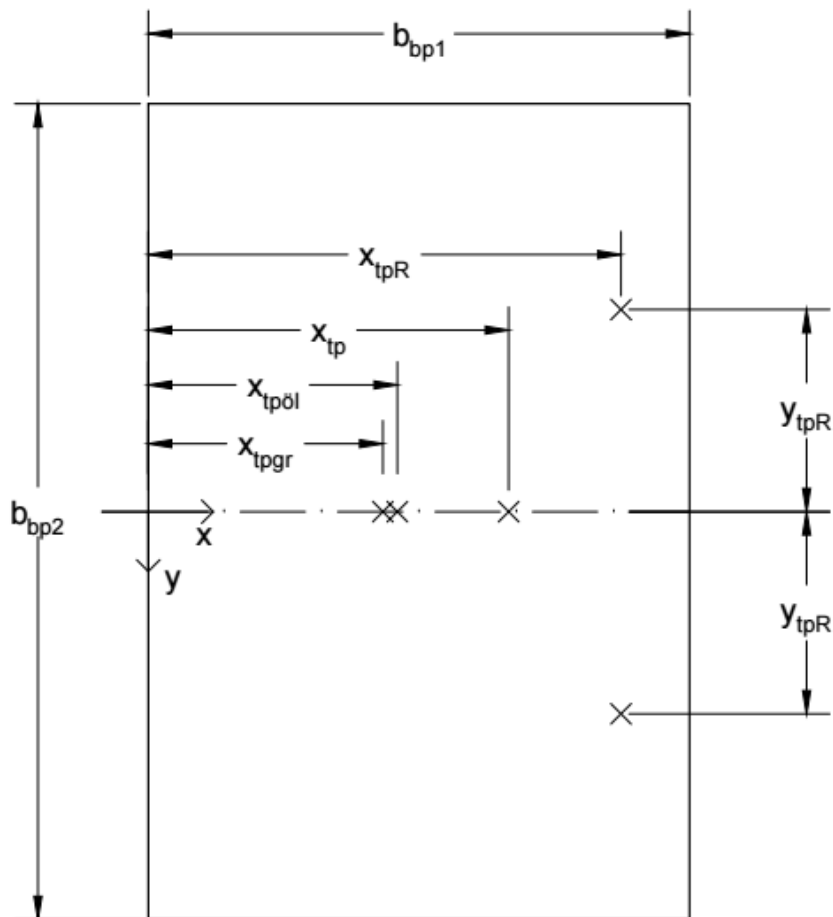
Tyngdpunkter i x-led för grus, överlast och reaktionskrafter

$$x_{\text{tpgr}} := \frac{(b_{\text{bp1}} - b_{\text{ft}} - t_{\text{fm}})}{2} = 3.5 \text{ m}$$

$$x_{\text{tpöl}} := \frac{(b_{\text{bp1}} - b_{\text{ft}} - t_{\text{lp}})}{2} = 3.6 \text{ m}$$

$$x_{\text{tpR}} := l_{\text{b}} + b_{\text{vm}} + t_{\text{gs}} + \left( \frac{t_{\text{lp}}}{2} \right) = 7.35 \text{ m} \quad (\text{Lager mitt på lagerplattan})$$

# Lokala tyngdpunkter



Totala tyngdpunktens läge:

**Koordinat i x-led:**

$$x := \frac{[1.2 \Sigma g \cdot x_{tp} + 1.2 \cdot g_{gr} \cdot x_{tpgr} + 1.5 \cdot 0.75 g_{öl} \cdot x_{tpöl} + (R_A + R_B) \cdot x_{tpR}]}{R_{tot}}$$

$$x = 4.012 \text{ m}$$

$$y_{tpR} := 2.8 \text{ m}$$

**Koordinat i y-led:**

$$y := \frac{(R_A \cdot y_{tpR} - R_B \cdot y_{tpR})}{R_{tot}} = 0.058 \text{ m}$$

**Grundtryck**

$$p_x := (b_{bp1} - x) \cdot 2 = 7.575 \text{ m}$$

$$p_y := 2 \cdot \left( \frac{b_{bp2}}{2} - y \right) = 11.185 \text{ m}$$

$$p_{grund} := \frac{R_{tot}}{p_x \cdot p_y} = 160.113 \cdot \text{kPa} \text{ Grundtryck som uppstår}$$

$f_d := 200 \text{ kPa}$  Dimensionerande grundtrycksvärde för plattor i morän (EKS10)

$$\text{Pålning} := \begin{cases} \text{"krävs"} & \text{if } p_{grund} \geq f_d \\ \text{"krävs ej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Pålning = "krävs ej"

## Vindlast

BROLASTER-kandidatarbete2016-SL.pdf s. 44 och  
Broex4-grundläggning2016.pdf

$$h_{bil} := 1\text{ m}$$

$$d_{tot} := h + h_{fm} + h_l + t_{bp} + h_{bil} = 6.6\text{ m}$$

$$\frac{b_{fm}}{d_{tot}} = 1.591 \quad c_f := 2.56 - 0.311 \cdot \left( \frac{b_{fm}}{d_{tot}} \right) = 2.065$$

$$L_b := 60\text{ m} \quad \text{Brolängd}$$

$$A_{ref} := L_b \cdot d_{tot} = 396\text{ m}^2 \quad \text{Referensarea}$$

$$q_p := 0.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Karakteristiskt hastighetstryck. Antar terrängtyp 1, referensvind 25 m/s}$$

$$q_v := c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 776.939 \cdot \text{kN}$$

## Bilaga C3 - Beräkning av pelare

### Material

Betong C35/45

$$f_{ck} := 35\text{MPa} \quad E_{cm} := 34\text{GPa}$$

$$f_{cm} := 43\text{MPa}$$

$$f_{ctm} := 3.2\text{MPa}$$

$$\varepsilon_{cc} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{cc} := 1$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2.333 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Armering B500B

$$E_s := 200\text{GPa}$$

$$f_{yk} := 500\text{MPa}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

$$\Phi := 20\text{mm}$$

### Tvärsnittsdata

Rektangulärt tvärsnitt

$$h_{pelare} := 0.8\text{m}$$

$$b_{pelare} := 1.5\text{m}$$

$$A_{pelare} := b_{pelare} \cdot h_{pelare} = 1.2 \text{ m}^2$$

$$I_{c,pelare} := \frac{b_{pelare} \cdot h_{pelare}^3}{12} = 0.064 \text{ m}^4$$

Böjning i vek riktning

$$l_{pelare} := \sqrt{4.874^2 \text{ m}^2 + 4^2 \cdot \text{m}^2} = 6.305 \text{ m}$$

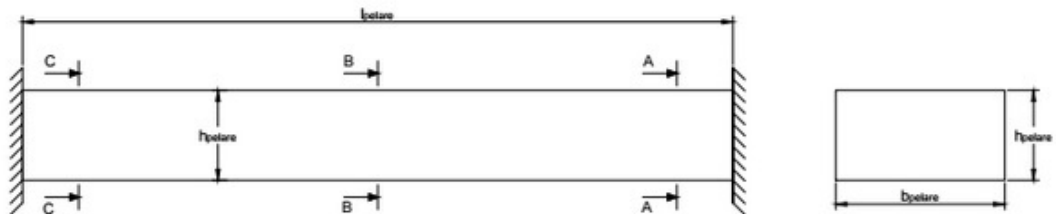
$$l_{o,pelare} := \frac{1}{2} \cdot l_{pelare} = 3.153 \text{ m}$$

Bärande konstruktioner 2 K19  
alt b353

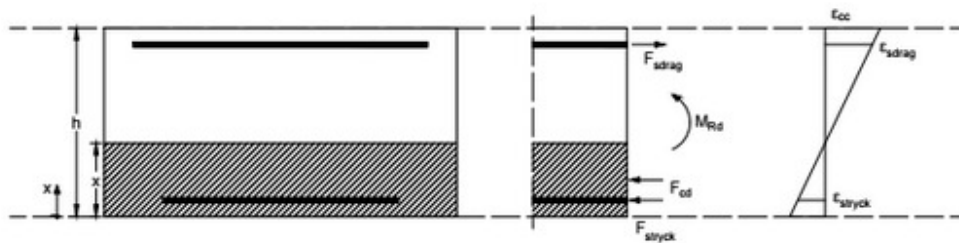
$$\Phi_{pelare} := 20\text{mm}$$

# Tvärsnitt och beräkningsmodeller

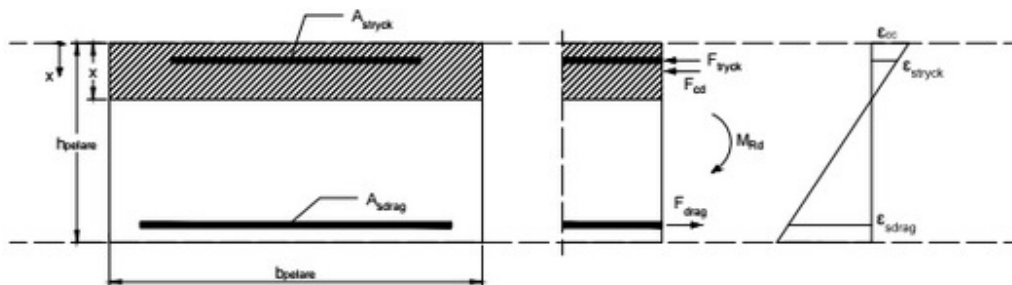
## Beräkningsmodell pelare



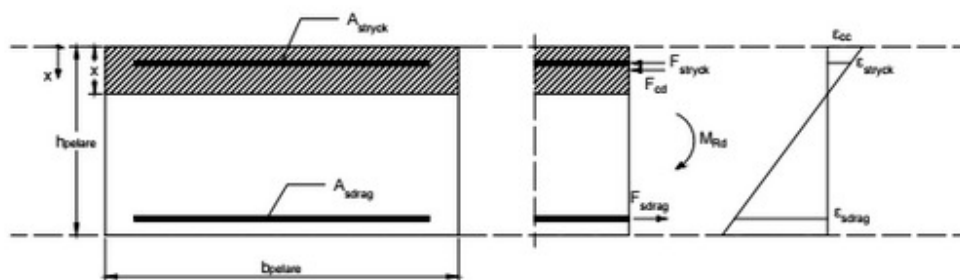
## Pelarens överkant



## Pelarens underkant



## Pelarens mittsnitt



## Minsta täckande betongskikt

$\Delta c_{\text{dev}} := 10\text{mm}$  Nationell parameter för tolerans som anger en möjlig och tillåten måttavvikelse (BK1 sB120)

$\Phi_{\text{pelare.bygel}} := 12\text{mm}$   $c_{\text{minb}} := \Phi_{\text{pelare.bygel}} = 0.012\text{ m}$

$c_{\text{mindur.pelare}} := 50\text{mm}$

$c_{\text{min.pelare}} := \max(c_{\text{minb}}, c_{\text{mindur.pelare}}, 10\text{mm}) = 50\text{ mm}$

$c_{\text{nom.pelare}} := c_{\text{min.pelare}} + \Delta c_{\text{dev}} = 60\text{ mm}$

## Minsta fria avstånd

$k_1 := 1$

$k_2 := 5\text{mm}$

$d_g := 20\text{mm}$

$\text{mfa} := \max(k_1 \cdot \Phi, d_g + k_2, 20\text{mm}) = 0.025\text{ m}$

## Laster

### Brottgränstillstånd dimensionerande lastfall 1

$M_{\text{Ed.pelare.ök}} := 5.5075\text{MN}\cdot\text{m}$  Dragen ovansida

$M_{\text{Ed.pelare.mitt}} := 1.5644\cdot\text{MN}\cdot\text{m}$  Dragen ovansida

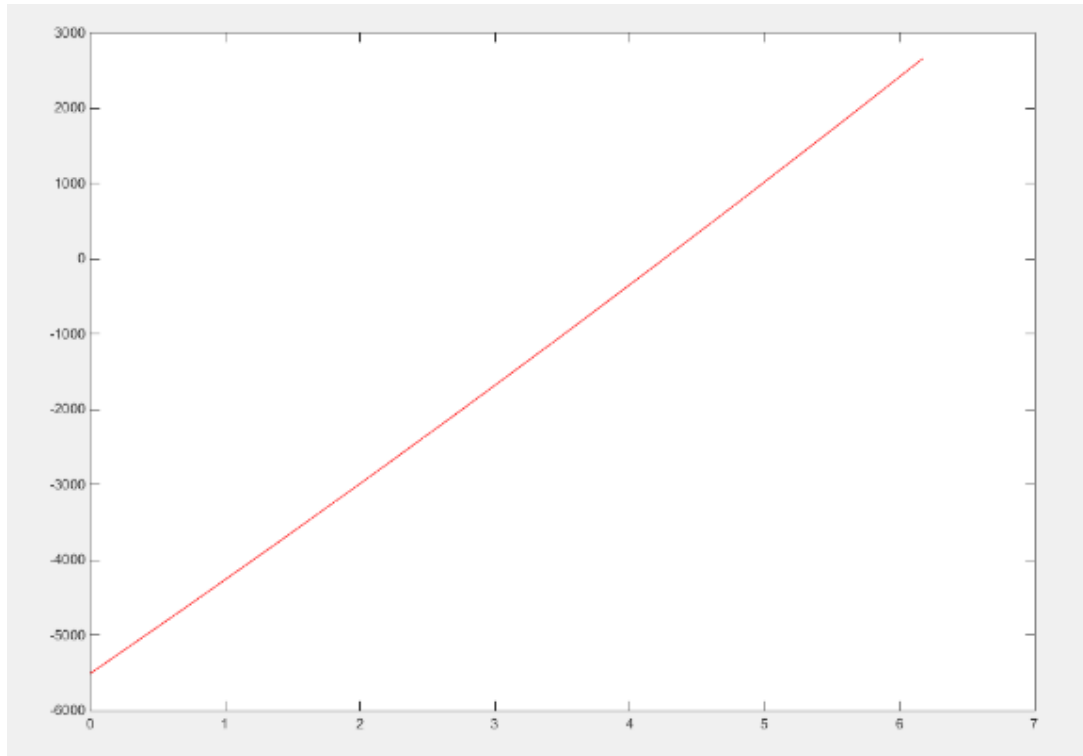
$M_{\text{Ed.pelare.uk}} := 2.6609\text{MN}\cdot\text{m}$  Tryckt ovansida

$V_{\text{Ed.pelare}} := 1.4161\text{MN}$  Tvärkraft i underkant, ungefär konstat över hela pelaren.

$N_{\text{Ed.pelare}} := 5.56018\text{MN}$



## Momentdiagram



## Pelardimensionering

(Bärande konstruktioner del 2, kap B11.4.4)

### Kontroll av knäckning

$$e_0 := \frac{h_{\text{pelare}}}{30} = 0.027 \text{ m} \quad \text{Excentricitet i utböjningsriktning}$$

$$\gamma_{cE} := 1.2$$

$$E_{cd} := \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = 2.833 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

Antagande om snedställning (Bärande konstruktioner del 2 sid. B350)

$$\theta_0 := 0.005$$

$$\alpha_h := \frac{2}{\sqrt{\frac{l_{\text{pelare}}}{m}}} = 0.796 \quad \frac{2}{3} < \alpha_h < 1 = 1$$

$$m_{\text{antal}} := 2 \quad \text{Antal stabiliserande konstruktionsdelar. Långbalk och tvärbalk}$$

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m_{\text{antal}}}\right)} = 0.866$$

$$\theta_i := \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 3.449 \times 10^{-3}$$

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{l_{0,\text{pelare}}}{2} = 5.437 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Första ordningens moment (Bärande konstruktioner del 2 kap B11.2.5)

$$M_{0,\text{Ed.pelare.mitt}} := M_{\text{Ed.pelare.mitt}} + N_{\text{Ed.pelare}} \cdot (e_i + e_0) = 1.743 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

## Beräkning av slanket

(Bärande konstruktioner del 2 kap B11.3.2)

$$i := \sqrt{\frac{I_{c,\text{pelare}}}{A_{\text{pelare}}}} = 0.231 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_{o,\text{pelare}}}{i} = 13.651$$

$$\varphi_{\text{ef}} := 4.9 \quad \text{Ur tvärledsberäkningar}$$

$$n := \frac{N_{\text{Ed,pelare}}}{f_{\text{cd}} \cdot A_{\text{pelare}}} = 0.199$$

$$\overset{\text{ww}}{A} := \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{\text{ef}}} = 0.505$$

$$A_{s,\text{pelare.mitt}} := 12 \cdot \frac{\Phi_{\text{pelare}}^2}{4}$$

$$\omega := \frac{f_{\text{yd}} \cdot A_{s,\text{pelare.mitt}}}{f_{\text{cd}} \cdot A_{\text{pelare}}} = 0.019$$

$$B := \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = 1.018$$

$$r_m := \frac{M_{\text{Ed,pelare.uk}}}{M_{\text{Ed,pelare.ök}}} = 0.483$$

$$\overset{\text{ww}}{C} := 1.7 - r_m$$

$$\lambda_{\text{lim}} := \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 28.092$$

$$\lambda < \lambda_{\text{lim}} = 1$$

Medför ingen andra ordningens moment

## Beräkning av momentkapacitet pelarens i överkant

### Uppskattning av erforderlig armeringsmängd

(Bärande Konstruktioner del 1 kap B4.3.2)

Högst upp på pelaren

$$d_{\text{överkant.pelare.drag}} := h_{\text{pelare}} - c_{\text{nom.pelare}} - \Phi_{\text{pelare}} = 0.72 \text{ m}$$

$$z_{\text{överkant.pelare}} := 0.9 \cdot d_{\text{överkant.pelare.drag}} = 0.648 \text{ m}$$

$$A_{s.\text{pelare.överkant}} := \frac{M_{\text{Ed.pelare.ök}}}{f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d_{\text{överkant.pelare.drag}}} = 0.02 \text{ m}^2$$

$$n_{\text{överkant.drag}} := \frac{A_{s.\text{pelare.överkant}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2} = 62.224 \quad \text{Antal stänger i pelarens överkant}$$

Avrunda uppåt till närmsta heltal

$$n_{\text{extra.överkant.drag}} := -33 \quad \text{Ta bort överflödig armering}$$

Totalt antal dragarmering i pelarens överkant

$$n_{\text{överkant.pelare.drag}} := \text{ceil}(n_{\text{överkant.drag}}) + n_{\text{extra.överkant.drag}} = 30$$

Ny armeringsarea

$$A_{s.\text{överkant.pelare.drag}} := n_{\text{överkant.pelare.drag}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2 = 9.425 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

## Minsta och största armering (Bärande konstruktioner del 1 kap B4.3.2)

$$A_{s,\text{min.pelare}} < A_{s,\text{pelare.överkant}} < A_{s,\text{max.pelare}}$$

$$A_{s,\text{min.överkant.pelare}} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot d_{\text{överkant.pelare.drag}} = 1.797 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} := 0.04 \cdot b_{\text{pelare}} \cdot h_{\text{pelare}} = 0.048 \text{ m}^2$$

Dubbelarmerat tvärsnitt beaktas där minimiarmering används i tryck

Tryckarmering i överkant

$$n_{\text{överkant.tryck}} := \frac{A_{s,\text{min.överkant.pelare}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2} = 5.72$$

$$n_{\text{extra.överkant.tryck}} := 0$$

Totalt antal tryckarmeringsstänger i pelarens överkant

$$n_{\text{överkant.pelare.tryck}} := \text{ceil}(n_{\text{överkant.tryck}}) + n_{\text{extra.överkant.tryck}} = 6$$

$$d_{\text{överkant.pelare.tryck}} := c_{\text{nom.pelare}} + \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} = 0.07 \text{ m}$$

Armeringsarea hos tryckarmering

$$A_{s,\text{överkant.pelare.tryck}} := n_{\text{överkant.pelare.tryck}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2 = 1.885 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

## Dubbelarmerat rektangulärt tvärsnitt

(Bärande konstruktioner del 1 kap B5.5)

$$\alpha := 0.810$$

$$\beta := 0.416$$

Beräkna tryckzonen ( $x$ )

Antag att stålet flyter

$$x_{\text{överkant.pelare}} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s,\text{överkant.pelare.drag}} - f_{yd} \cdot A_{s,\text{överkant.pelare.tryck}} \cdots + N_{Ed,\text{pelare}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{pelare}}} \right)$$

$$x_{\text{överkant.pelare}} = 0.312 \text{ m}$$

Kontrollera att stålet flyter

$$\epsilon_s := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s,\text{överkant.tryck}} := \left( \frac{x_{\text{överkant.pelare}} - d_{\text{överkant.pelare.tryck}}}{x_{\text{överkant.pelare}}} \right) \cdot \epsilon_{cc} = 2.714 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s,\text{överkant.drag}} := \frac{d_{\text{överkant.pelare.drag}} - x_{\text{överkant.pelare}}}{x_{\text{överkant.pelare}}} \cdot \epsilon_{cc} = 4.583 \times 10^{-3}$$

## Beräkna dimensionerande moment

Momentjämvikt runt dragarm

$$\begin{aligned} M_{d,\text{överkant.pelare}} := & \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot x_{\text{överkant.pelare}} \cdot \left( -\beta \cdot x_{\text{överkant.pelare}} \cdots \right) \cdots \\ & + f_{yd} \cdot A_{s,\text{överkant.pelare.drag}} \cdot \left( -d_{\text{överkant.pelare.tryck}} \cdots \right) \cdots \\ & + N_{Ed,\text{pelare}} \cdot \left( d_{\text{överkant.pelare.drag}} - \frac{h_{\text{pelare}}}{2} \right) \end{aligned}$$

$$M_{d,\text{överkant.pelare}} = 9.66 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Utnyttjandegrad

$$\frac{M_{Ed,\text{pelare.ök}}}{M_{d,\text{överkant.pelare}}} = 0.57$$

Kontroll av segt verknings sätt

$$x_{\text{överkant.pelare}} < 0.45 \cdot d_{\text{överkant.pelare.drag}} = 1$$

## Momentkapacitet i pelarens underkant

### Uppskattning av erforderlig armeringsmängd

(Bärande Konstruktioner Del 1 kap B4.3.2)

$$d_{\text{underkant.pelare.drag}} := h_{\text{pelare}} - c_{\text{nom.pelare}} - \Phi_{\text{pelare}} = 0.72 \text{ m}$$

$$z_{\text{underkant.pelare.drag}} := 0.9 \cdot d_{\text{underkant.pelare.drag}} = 0.648 \text{ m}$$

$$A_{\text{s.underkant.pelare}} := \frac{M_{\text{Ed.pelare.uk}}}{f_{\text{yd}} \cdot 0.9 \cdot d_{\text{underkant.pelare.drag}}} = 9.445 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_{\text{underkant.pelare}} := \frac{A_{\text{s.underkant.pelare}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2} = 30.063$$

Avrunda uppåt till närmsta heltal

$$n_{\text{extra.underkant.drag}} := -19$$

Totalt antal dragarmeringsstänger i pelarens underkant

$$n_{\text{underkant.pelare.drag}} := \text{ceil}(n_{\text{underkant.pelare}}) + n_{\text{extra.underkant.drag}} = 12$$

Ny armeringsarea hos dragarmering

$$A_{\text{s.underkant.pelare.drag}} := n_{\text{underkant.pelare.drag}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2 = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$



## Kontroll för Minsta och största armering

(Bärande konstruktioner del 1 kap B4.3.2)

$$A_{s,\text{min.pelare}} < A_{s,\text{pelare}} < A_{s,\text{max.pelare}}$$

$$A_{s,\text{min.underkant.pelare}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot d_{\text{underkant.pelare.drag}}$$

$$A_{s,\text{min.underkant.pelare}} = 1.797 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0.048 \text{ m}^2$$

Dubbelarmerat tvärsnitt beaktas där minimiarmering används i underkant

$$n_{\text{underkant.pelare.tryck}} := \frac{A_{s,\text{min.underkant.pelare}}}{\pi \cdot \left(\frac{\Phi}{2}\right)^2} = 5.72$$

$$n_{\text{extra.underkant.pelare.tryck}} := 0$$

Totalt antal tryckarmeringsstänger i pelarens underkant

$$n_{u,\text{pelare}} := \text{ceil}(n_{\text{underkant.pelare.tryck}}) + n_{\text{extra.underkant.pelare.tryck}} = 6$$

Ny armeringsarea

$$A_{s,\text{underkant.pelare.tryck}} := n_{\text{underkant.pelare.tryck}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2}\right)^2$$

$$A_{s,\text{underkant.pelare.tryck}} = 1.797 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_{\text{underkant.pelare.tryck}} := c_{\text{nom.pelare}} + \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} = 0.07 \text{ m}$$

## Dubbelarmerat rektangulärt tvärsnitt

(Bärande konstruktioner del 1 kap B5.5)

### Beräkna tryckzonen (x)

Antag att stålet flyter

$$x_{\text{underkant.pelare}} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s.\text{underkant.pelare.drag}} - f_{yd} \cdot A_{s.\text{underkant.pelare.tryck}} \cdots + N_{Ed.\text{pelare}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{pelare}}} \right)$$

$$x_{\text{underkant.pelare}} = 0.226 \text{ m}$$

Kontrollera att stålet flyter

$$\varepsilon_s = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s.\text{underkant.tryck}} := \left( \frac{x_{\text{underkant.pelare}} - d_{\text{underkant.pelare.tryck}}}{x_{\text{underkant.pelare}}} \right) \cdot \varepsilon_{cc}$$

$$\varepsilon_{s.\text{underkant.tryck}} = 2.418 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s.\text{underkant.drag}} := \left( \frac{d_{\text{underkant.pelare.drag}} - x_{\text{underkant.pelare}}}{x_{\text{underkant.pelare}}} \right) \cdot \varepsilon_{cc}$$

$$\varepsilon_{s.\text{underkant.drag}} = 7.632 \times 10^{-3}$$

## Beräkna dimensionerande moment

Momentjämvikt runt dragarmering

$$M_{d,\text{underkant}} := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot x_{\text{underkant.pelare}} \cdot \left( \begin{array}{l} -\beta \cdot x_{\text{underkant.pelare}} \cdots \\ + d_{\text{underkant.pelare.drag}} \end{array} \right) \cdots$$
$$+ f_{yd} \cdot A_{s,\text{underkant.pelare.drag}} \cdot \left( \begin{array}{l} -d_{\text{underkant.pelare.tryck}} \cdots \\ + d_{\text{underkant.pelare.drag}} \end{array} \right) \cdots$$
$$+ -N_{Ed,\text{pelare}} \cdot \left( d_{\text{underkant.pelare.drag}} - \frac{h_{\text{pelare}}}{2} \right)$$

## Utnyttjandegrad

$$\frac{M_{Ed,\text{pelare.uk}}}{M_{d,\text{underkant}}} = 0.806$$

## Kontroll av segt verknings sätt

$$x_{\text{underkant.pelare}} < 0.45 \cdot d_{\text{underkant.pelare.drag}} = 1$$

## Momentkapacitet pelarens i mitt

### Uppskattning av erforderlig armeringsmängd

(Bärande Konstruktioner Del 1 kap B4.3.2)

$$d_{\text{mitt.pelare.drag}} := h_{\text{pelare}} - c_{\text{nom.pelare}} - \Phi_{\text{pelare}} = 0.72 \text{ m}$$

$$z_{\text{mitt}} := 0.9 \cdot d_{\text{mitt.pelare.drag}} = 0.648 \text{ m}$$

$$A_{\text{s.mitt.pelare}} := \frac{M_{\text{Ed.pelare.mitt}}}{f_{\text{yd}} \cdot 0.9 \cdot d_{\text{mitt.pelare.drag}}} = 5.553 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_{\text{mitt.pelare}} := \frac{A_{\text{s.mitt.pelare}}}{\pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2} = 17.675$$

Ta bort överflödiga stänger

$$n_{\text{extra.mitt.pelare.drag}} := -11$$

Totalt antal dragstänger i pelarens mitt

$$n_{\text{mitt.pelare.drag}} := \text{ceil}(n_{\text{mitt.pelare}}) + n_{\text{extra.mitt.pelare.drag}} = 7$$

Ny armeringsarea hos dragarmering

$$A_{\text{s.mitt.pelare.drag}} := n_{\text{mitt.pelare.drag}} \cdot \pi \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} \right)^2 = 2.199 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

## Minsta och största armering

(Bärande konstruktioner del 1 kap B4.3.2)

$$A_{s,\text{min.pelare}} < A_{s,\text{pelare}} < A_{s,\text{max.pelare}}$$

$$A_{s,\text{min.mitt.pelare}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot d_{\text{mitt.pelare.drag}} = 1.797 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0.048 \text{ m}^2$$

Dubbelarmerat tvärsnitt beaktas där minimiarmering används i underkant

$$n_{\text{mitt.pelare.tryck}} := \frac{A_{s,\text{min.mitt.pelare}}}{\pi \cdot \left(\frac{\Phi}{2}\right)^2} = 5.72$$

$$n_{\text{extra.mitt.pelare.tryck}} := 0$$

Totalt antal tryckarmeringsstänger i pelarens mitt

$$n_{\text{mitt.pelare.tryck.hel}} := \text{ceil}(n_{\text{u.pelare}}) + n_{\text{extra.mitt.pelare.tryck}} = 6$$

$$A_{s,\text{mitt.pelare.tryck}} := n_{\text{mitt.pelare.tryck.hel}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2}\right)^2 = 1.885 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_{\text{mitt.pelare.tryck}} := c_{\text{nom.pelare}} + \frac{\Phi_{\text{pelare}}}{2} = 0.07 \text{ m}$$

## Dubbelarmerat rektangulärt tvärsnitt

(Bärande konstruktioner del 1 kap B5.5)

### Beräkna tryckzonen (x)

Antag att stålet flyter

$$x_{\text{mitt.pelare}} := \left( \frac{f_{yd} \cdot A_{s,\text{mitt.pelare.drag}} - f_{yd} \cdot A_{s,\text{mitt.pelare.tryck}} + N_{\text{Ed.pelare}}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{pelare}}} \right)$$

$$x_{\text{mitt.pelare}} = 0.201 \text{ m}$$

Kontrollera att stålet flyter

$$\varepsilon_s = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s,\text{mitt.tryck}} := \left( \frac{x_{\text{mitt.pelare}} - d_{\text{mitt.pelare.tryck}}}{x_{\text{mitt.pelare}}} \right) \cdot \varepsilon_{cc} = 2.281 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s,\text{mitt.drag}} := \left( \frac{d_{\text{mitt.pelare.drag}} - x_{\text{mitt.pelare}}}{x_{\text{mitt.pelare}}} \right) \cdot \varepsilon_{cc} = 9.041 \times 10^{-3}$$

## Beräkna dimensionerande moment

### Momentjämvikt runt dragarm

$$M_{d,mitt} := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{pelare} \cdot x_{mitt,pelare} \cdot \left( d_{mitt,pelare,drag} - \beta \cdot x_{mitt,pelare} \right) \dots \\ + f_{yd} \cdot A_{s,mitt,pelare,drag} \cdot \left( d_{mitt,pelare,drag} - d_{mitt,pelare,tryck} \right) \dots \\ + -N_{Ed,pelare} \cdot \left( d_{mitt,pelare,drag} - \frac{h_{pelare}}{2} \right)$$

$$M_{d,mitt} = 2.468 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### Utnyttjandegrad

$$\frac{M_{Ed,pelare,mitt}}{M_{d,mitt}} = 0.634$$

### Kontroll av segt verkningssätt

$$x_{mitt,pelare} < 0.45 \cdot d_{mitt,pelare,drag} = 1$$

## Tvärkraftsarmering pelare enligt beräkningsgång

(Bärande konstruktioner del 1 kap B6.1.4)

$$\Phi_{\text{pelare.tvär}} := 12\text{mm}$$

$$A_{\text{sw}} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Phi_{\text{pelare.tvär}}^2}{4} = 2.262 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d := h_{\text{pelare}} - c_{\text{nom.pelare}}$$

## Tvärkraftskapacitet utan armering

Kontroll Livtryckbrott

$$v := 0.6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{\text{ck}}}{250\text{MPa}} \right) = 0.516$$

$$V_{\text{Rd,max}} := 0.5 \cdot v \cdot f_{\text{cd}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot d = 6.682 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_{\text{Ed,pelare}} < V_{\text{Rd,max}} = 1$$

Ingen risk för livtryckbrott



## Kontroll skjuvglidbrott

(Bärande Konstruktioner sid. B192)

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200\text{mm}}{d}} = 1.52 \quad k < 2 = 1$$

$$k_{1,tvär} := \frac{0.15}{\rho_1}$$

$$\rho_1 := \frac{A_{sw}}{b_{pelare} \cdot d} = 2.038 \times 10^{-4} \quad \rho_1 < 0.02 = 1$$

$$\sigma_{cp} := \frac{N_{Ed,pelare}}{A_{pelare}} = 4.633 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{cp} < 0.2 \cdot f_{cd}$$

$$V_{Rd,c} := \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + k_{1,tvär} \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_{pelare} \cdot \frac{d \cdot N}{m^2} = 0.771 \cdot \text{MN}$$

$$v_{\min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0.388$$

$$V_{Rd,c,\min} := (v_{\min} + k_{1,tvär} \cdot \sigma_{cp}) \cdot \left( b_{pelare} \cdot \frac{d \cdot N}{m^2} \right) = 0.771 \cdot \text{MN}$$

$$V_{Ed,pelare} < V_{Rd,c} = 0$$

Risk för sjuvglidbrott, tvärkraftsarmering krävs

## Beräkning av tvärkraftsarmering hos pelare

Val av spricklutning

$$\theta := 30\text{deg}$$

$$\alpha_{\text{pelare}} := 90\text{deg}$$

Kontroll livtryckbrott

$$0 < \sigma_{\text{cp}} < 0.2 \cdot f_{\text{cd}} = 1$$

$$\alpha_{\text{cw}} := 1 + \frac{\sigma_{\text{cp}}}{f_{\text{cd}}} = 1.199$$

$$z_{\text{pelare}} := 0.9 \cdot d = 0.666 \text{ m}$$

$$V_{\text{Rd,max,pelare}} := \alpha_{\text{cw}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot z_{\text{pelare}} \cdot v \cdot f_{\text{cd}} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 6.243 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{Ed,pelare}} < V_{\text{Rd,max}} = 1 \quad \text{Ingen risk för livtryckbrott}$$

## Kontroll av minsta mängd tvärkraftsarmering

$$s_{\text{pelare}} := \frac{z_{\text{pelare}} \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{yd}} \cdot A_{\text{sw}}}{V_{\text{Ed.pelare}}} = 0.08 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{w.min}} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{\frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}}}}{\frac{f_{\text{yk}}}{\text{MPa}}} = 9.466 \times 10^{-4}$$

$$\rho_{\text{w}} := \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{pelare}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot \sin(\alpha_{\text{pelare}})} = 1.882 \times 10^{-3}$$

$$s_{\text{l.max.pelare}} := 0.75 \cdot d_{\text{underkant.pelare.drag}} \cdot (1 + \cot(\alpha_{\text{pelare}})) = 0.54 \text{ m}$$

$$s_{\text{max.pelare}} := \frac{A_{\text{sw}}}{\rho_{\text{w.min}} \cdot b_{\text{pelare}} \cdot \sin(\alpha_{\text{pelare}})} = 0.159 \text{ m}$$

$$s_{\text{pelare}} < s_{\text{max.pelare}} < s_{\text{l.max.pelare}} = 1 \quad \text{s avstånd ok!}$$

## Bilaga C4 - Beräkning av materialkostnader

$$kr := 1$$

### Materialkostnader

$$k_{btg} := (1800 + 550) \frac{kr}{m^3}$$

$$k_{slak} := 13.200 \frac{kr}{kg}$$

$$k_{spänn} := 380 \frac{kr}{m}$$

$$k_{tät} := 1610 \frac{kr}{m^2}$$

### Slakarmering

$$\Phi_{tvärled} := 16mm \quad \text{Armering i tvärled}$$

$$n_{ök} := 18 \quad \text{Antal stänger i över- och underkant}$$

$$n_{uk} := 28$$

$$V_{slak.tvärled} := (n_{ök} + n_{uk}) \cdot \frac{\Phi_{tvärled}^2}{4} \cdot \pi \cdot 10.5 \cdot 60m = 5.827 m^3$$

$$\Phi_{längsled} := 8mm \quad \text{Armering i längsled}$$

$$n_{liv} := 62 \quad \text{Antal stänger i liv, fläns och kantbalk}$$

$$n_{fläns} := 40$$

$$n_{kb} := 2 \cdot 6$$

$$V_{slak.längsled} := (n_{liv} + n_{fläns} + n_{kb}) \cdot \frac{\Phi_{längsled}^2}{4} \cdot \pi \cdot 60m = 0.344 m^3$$

$$V_{slak.tot} := V_{slak.tvärled} + V_{slak.längsled} = 6.171 m^3$$

### Kostnad för slakarmering

$$\rho_{slak} := 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$k_{slak.tot} := V_{slak.tot} \cdot \rho_{slak} \cdot k_{slak} = 639397 \cdot kr$$

## Ytbeläggning/tätskikt

$$A_{\text{tät}} := 10.5\text{m} \cdot 60\text{m} = 630\text{m}^2$$

## Kostnad för ytbeläggning

$$k_{\text{tät.tot}} := A_{\text{tät}} \cdot k_{\text{tät}} = 1014300 \cdot \text{kr}$$

## Spännarmering

$$n_{\text{tråd}} := 9$$

$$n_{\text{rör}} := 16$$

$$\Phi_{\text{rör}} := 75\text{mm}$$

$$V_{\text{spänn}} := n_{\text{rör}} \cdot \frac{\Phi_{\text{rör}}^2}{4} \cdot \pi \cdot 60\text{m} = 4.241\text{m}^3$$

## Kostnad för spännarmering

$$k_{\text{spänn.tot}} := (n_{\text{tråd}} \cdot n_{\text{rör}}) \cdot 60\text{m} \cdot k_{\text{spänn}} = 3283200 \cdot \text{kr}$$

## Betong

$$V_{\text{platta}} := 0.3\text{m} \cdot 10.5\text{m} \cdot 60\text{m}$$

$$V_{\text{balk}} := 1.2\text{m} \cdot 1.5\text{m} \cdot 60\text{m}$$

$$V_{\text{kantbalk}} := 0.4\text{m} \cdot 0.5\text{m} \cdot 60\text{m}$$

$$V_{\text{btg}} := V_{\text{platta}} + V_{\text{balk}} + V_{\text{kantbalk}} - V_{\text{spänn}} - V_{\text{slak.tot}}$$

## Kostnad för betongen

$$k_{\text{btg.tot}} := V_{\text{btg}} \cdot k_{\text{btg}} = 701682 \cdot \text{kr}$$

## Total materialkostnad för brobaneplattan

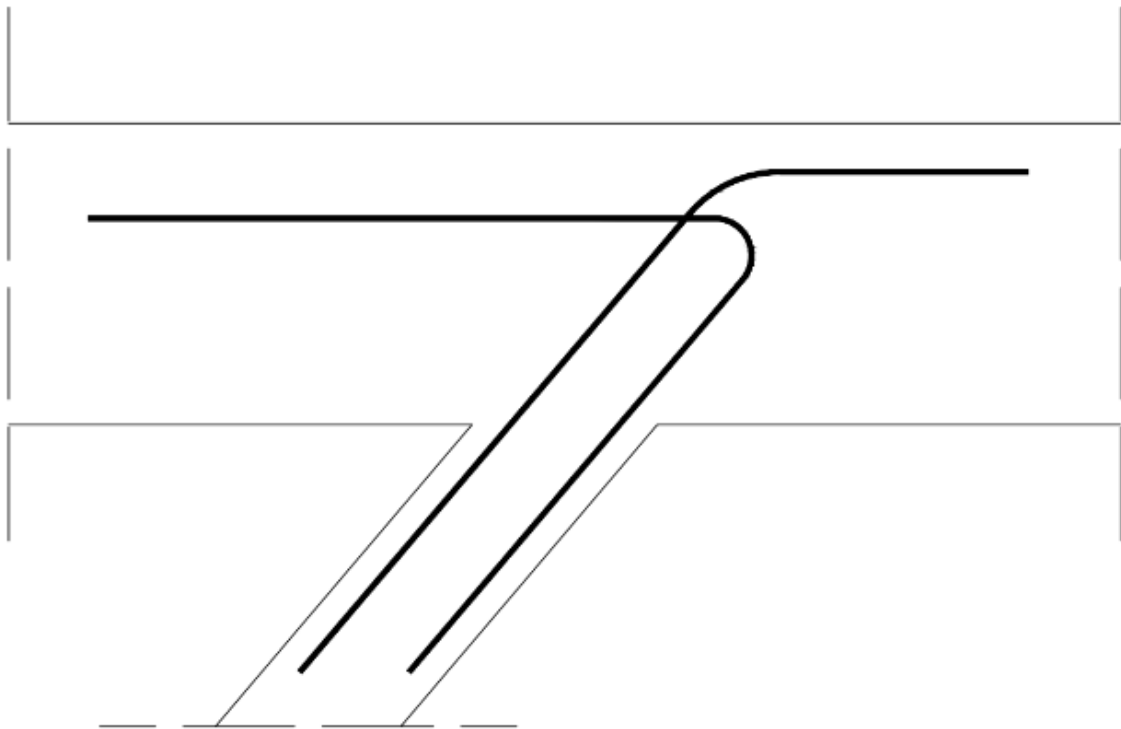
$$k_{\text{tot}} := k_{\text{slak.tot}} + k_{\text{tät.tot}} + k_{\text{spänn.tot}} + k_{\text{btg.tot}} = 5.639 \times 10^6 \cdot \text{kr}$$

## Bilaga D – Principskisser

D1 – Koppling mellan pelare och platta	136
D2 – Armeringsinläggning tvärled	137
D3 – Armeringsinläggning längsled	138
D4 – Armeringsinläggning i pelare	139

## Bilaga D1 – Koppling mellan pelare och platta

Principbilder över pelarens armering i inspänningarna av både brobalk och platta

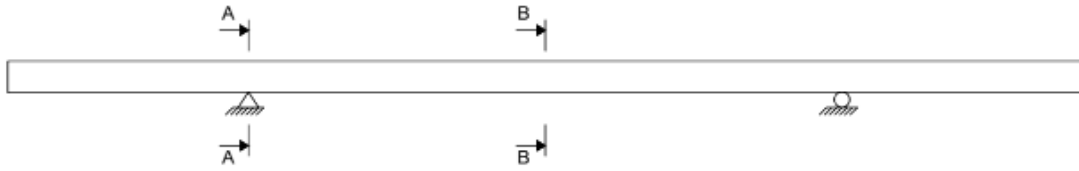


*Figur 1 Principskiss för pelarens inspänning i brobalk och platta*

## Bilaga D2 – Armeringsinläggning tvärled

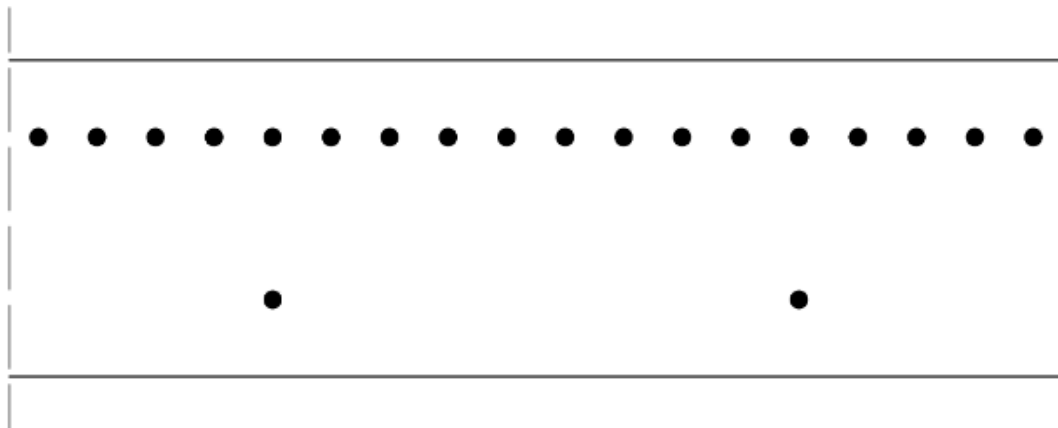
Principbilder över de två mest kritiska snitt i brons tvärled.

Snitt A ligger i stöd och snitt B i fält.



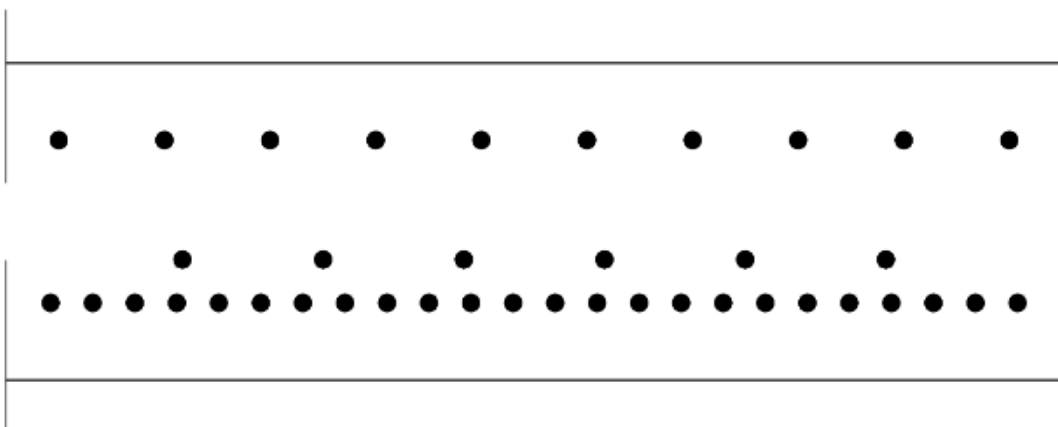
Figur 1 Placering av snitt

Armeringsinläggning i snitt A.



Figur 2 Armering i stödsnitt

Armeringsinläggning i snitt B



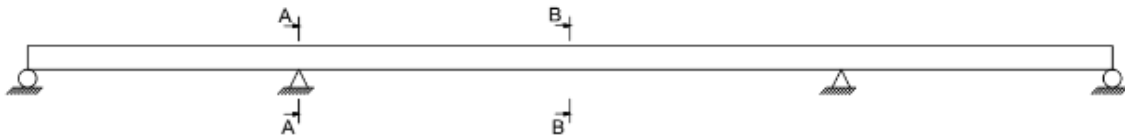
Figur 3 Armering i fältsnitt



# Bilaga D3 – Armeringsinläggning längsled

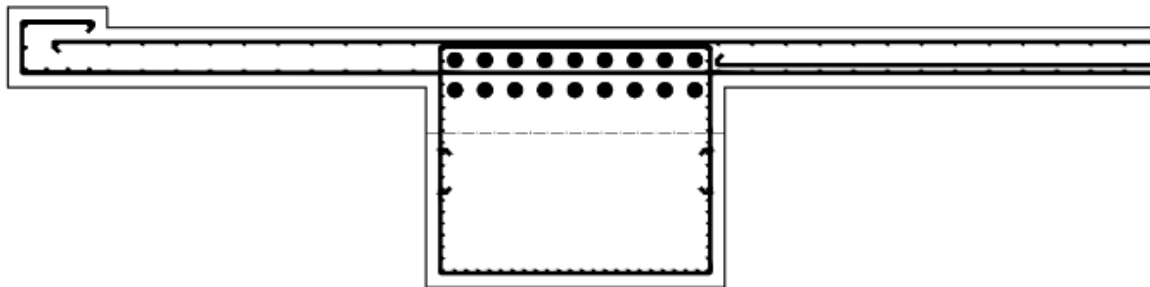
Principbilder över de två mest kritiska snitt i brons längsled.

Snitt A ligger i stöd och snitt B i fält.



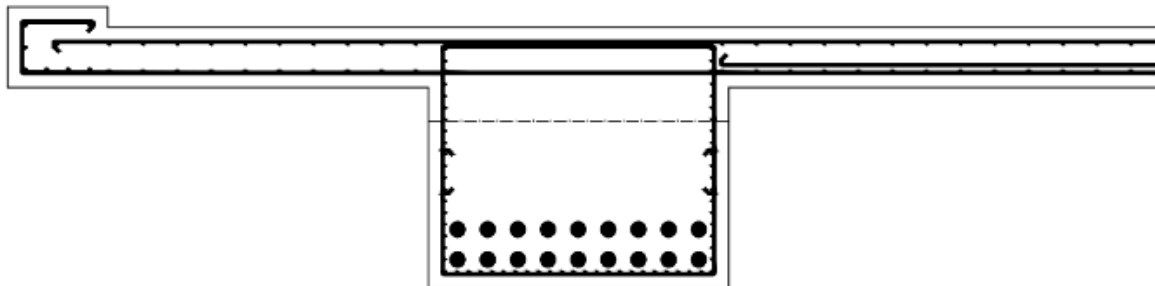
Figur 1 Placering av snitt.

Armeringsinläggning i snitt A



Figur 2 Armering i stödsnitt

Armeringsinläggning i snitt B

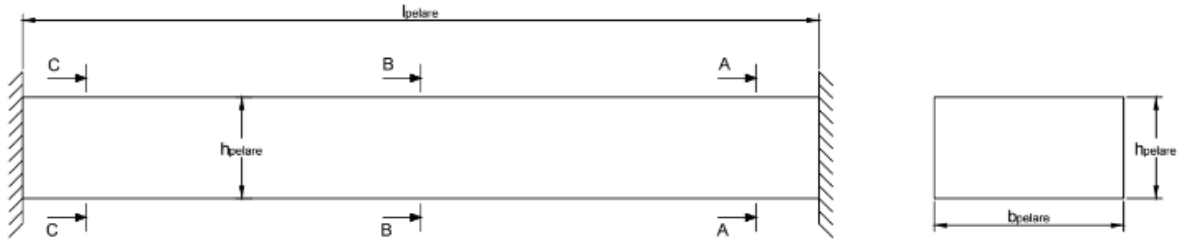


Figur 3 Armering i fältsnitt

## Bilaga D4 – Armeringsinläggning pelare

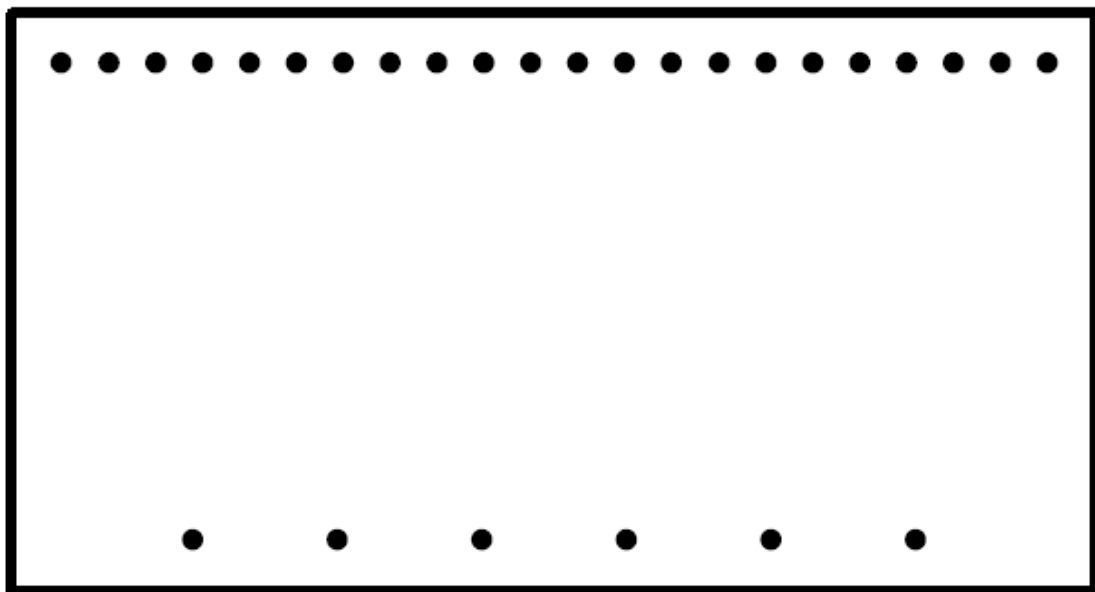
Principbilder över de tre mest kritiska snitt i pelaren.

Snitt A ligger i pelarens överkant, snitt B ligger i mitten och C i pelarens underkant.



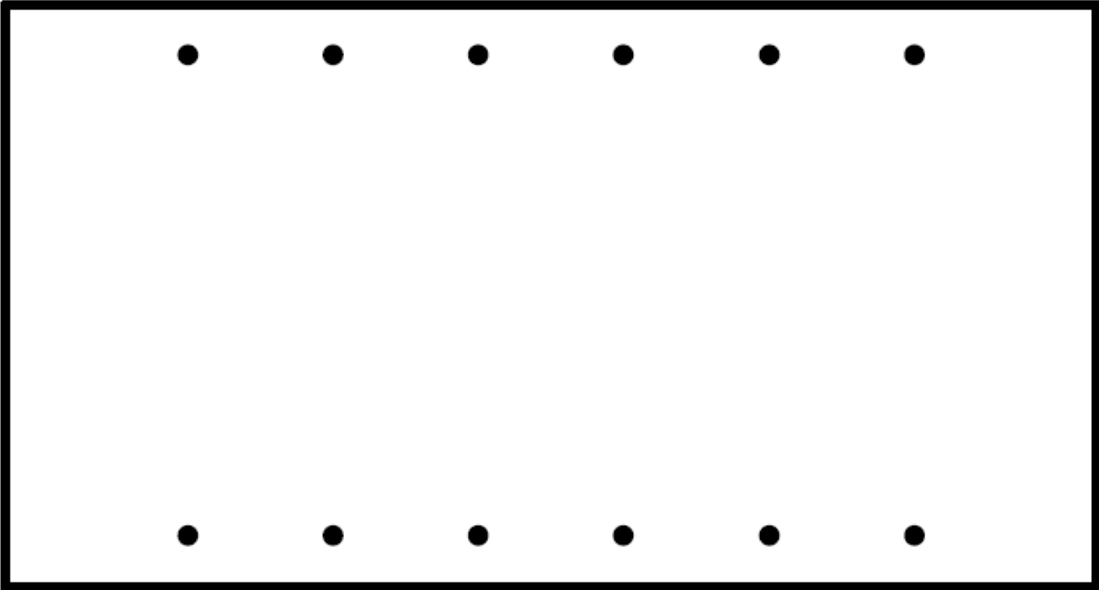
Figur 1 Placering av snitt

Armeringsinläggning snitt A



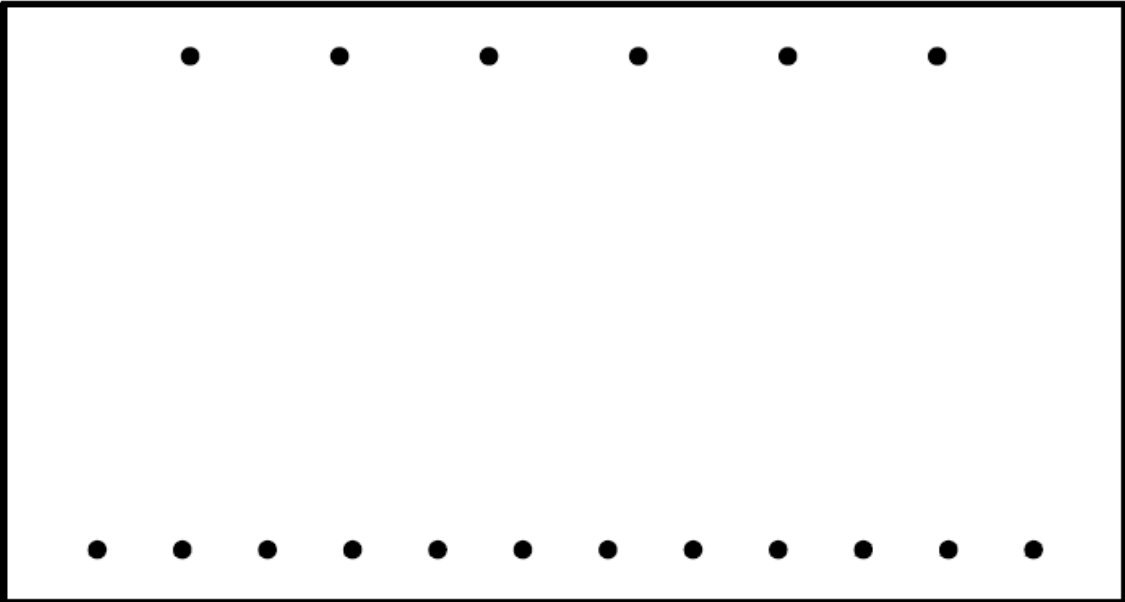
Figur 2 Armering i pelarens överkant

Armeringsinläggning i snitt B



Figur 3 Armering i pelarens mittsnitt

Armeringsinläggning i snitt C



Figur 4 Armeringen i pelarens underkant