

# CHALMERS



## Påhängda gång- och cykelbroar

Strukturella effekter på existerande broar.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

CAROLINA KVICK & CAMILO MUÑOZ LOBOS

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för konstruktionsteknik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2014  
Examensarbete 2014:116



EXAMENSARBETE 2014:116

# Påhängda gång- och cykelbroar

Strukturella effekter på existerande broar.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

CAROLINA KVICK & CAMILO MUÑOZ LOBOS

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för konstruktionsteknik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2014



Påhängda gång- och cykelbroar  
Strukturella effekter på existerande broar.  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

CAROLINA KVICK & CAMILO MUÑOZ LOBOS

© CAROLINA KVICK & CAMILO MUÑOZ LOBOS, 2014

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,  
Chalmers tekniska högskola 2014:116

Institutionen för bygg och miljöteknik  
Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Källösundsbron mellan Källön och Almön på Tjörn. Breddad med gång och  
cykelbana. By Historiker (Own work) [CC-BY-SA-3.0  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons

Chalmers reproservice  
Göteborg 2014



Påhängda gång- och cykelbroar

Strukturella effekter på existerande broar.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

CAROLINA KVICK & CAMILO MUÑOZ LOBOS

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

I dagens samhälle växer kraven alltmer på effektiv och hållbar infrastruktur. Många trafikslag ska rymmas på våra broar och framförallt i tätbefolkade områden har cykeln blivit ett transportmedel som utnyttjas av allt fler. För att möjliggöra en ökad trafikkapacitet för cyklister och gående utan att begränsa biltrafiken över en bro byggs ofta nya gång och cykelbroar intill existerande broar.

Syftet med detta projekt har varit att utreda de strukturella effekterna på befintliga broar då gång- och cykelbroar hängs på för att på så sätt öka brons trafikkapacitet. Projektet har även utrett vilka material som skulle kunna vara aktuella att använda vid en breddning av en bro i betong på detta sätt utan att förändra egentygnden.

För att kunna studera de strukturella effekterna på befintliga broar då gång- och cykelbroar hängs på har skillnaden i belastande moment före och efter en sådan breddning beräknats och jämförts. Olika lastfall har beräknats med laster på broar ur Eurokod och resultaten har sedan jämförts.

Resultatet visar att för en vägbro där trafiklasten går att placera om kan effekterna av en breddning minimeras och breddningen optimeras. För en järnvägsbro där trafiklasterna är spårbundna eller en vägbro där trafiklasterna inte kan placeras om blir effekterna av en påhängd gång- och cykelbro påtagliga och ytterligare åtgärder behövs för att möjliggöra breddningen.

Resultatet visar också en betydande skillnad i belastning i en brobanekonsol för alla lastfall efter att en gång- och cykelbro hängs på. Innan breddningen belastades brobanekonsolen med ett väldigt litet eller inget moment.

Nyckelord: Bro, breddning, gång- och cykelbro, balkbro, betongbro, Lastmodell 1, Lastmodell LM71

Attached pedestrian and bicycle bridges

Structural effects on existing bridges.

*Diploma Thesis in the Engineering Programme*

CAROLINA KVICK & CAMILO MUÑOZ LOBOS

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of structural engineering

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

In today's society demands on efficient and sustainable infrastructure grows. Many modes of transport should fit on our bridges and especially in densely populated areas the bicycle has become a means of transport used by more people. In order to allow for increased traffic capacity of bicycles and pedestrians without limiting car traffic on the bridge new pedestrian and bicycle bridges are often built adjacent to existing bridges.

The purpose of this project has been to investigate the structural effects on existing bridges when pedestrian and bicycle bridges are attached to thereby increase a bridge's traffic capacity. The project also investigated which materials could be relevant to use at a widening of a bridge in concrete, keeping the selfweight unchanged.

In order to study the structural effects on existing bridges where pedestrian and bicycle bridges are attached, the difference in bending moments before and after such a widening has been calculated and compared. Different load cases were calculated with loads on bridges from Eurocode and the results were then compared.

The results show that on a road bridge where the traffic load can be rearranged, the effects of the widening is minimized and the widening can be optimized. For a railway bridge where traffic loads are on rails or a road bridge where traffic loads can not be rearranged, the effects of an attached pedestrian and bicycle bridge is tangible and additional measures would be needed to allow for the widening.

The results also show a significant difference in the load effects in the bridge deck cantilever for all load cases after a pedestrian and bicycle bridge is hung on. Before the widening the bridge deck cantilever was subjected to very little or no bending moment.

Key words: Bridge, widening, pedestrian and bicycle bridge, girder bridge, concrete bridge, Loadmodel 1, Loadmodel LM71

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
ORDLISTA	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	2
2 LITTERATURSTUDIE	3
2.1 Varför ökar man broars tvärsektion?	3
2.2 Ökning av broars tvärsektion	3
2.2.1 Omdistribuering av körbanor	4
2.2.2 Kompletterande bro	4
2.2.3 Pågjutning	4
2.2.4 Konsolinfastning	5
2.3 Olika brotyper	5
2.3.1 Plattambro	5
2.3.2 Balkbro	7
2.4 Vad krävs för breddning	8
2.4.1 Krav från beställare vid breddning	8
2.4.2 Bärighetsutredning/systemanalys	8
2.5 Allmänt om material	9
2.5.1 Betong	9
2.5.2 Stål	9
2.5.3 Aluminium	9
2.5.4 Trä	10
2.5.5 Fiberarmerade polymerkompositer	10
2.6 Kostnader	10
2.6.1 Projektering	10
2.6.2 Material	11
2.6.3 Produktion/ Arbete	11
3 BESKRIVNING AV LASTER OCH LASTFALL	12
3.1 Laster	12
3.1.1 Lastmodell 1, laster på vägbroar	12
3.1.2 Lastmodell LM 71, laster på järnvägsbroar	13
3.1.3 Laster på gång- och cykelbroar	14
<b>CHALMERS</b> , <i>Bygg- och miljöteknik</i> , Examensarbete 2014:116	III

3.2	Nötesundsbron	14
3.2.1	Lastfall 1 och 2, lastmodell 1	15
3.2.2	Lastfall 3 – 6, lastmodell 1 med gång- och cykellast	17
3.2.3	Lastfall 7-10, lastmodell 1 med gång- och cykellast	18
3.3	Järnvägsbro vid Gullbergsmotet	18
3.3.1	Lastfall 1, lastmodell LM 71	19
3.3.2	Lastfall 2 och 3, lastmodell LM 71	19
3.4	Sammanställning av lastfall	20
4	MATERIALVAL VID BREDDNING AV BRO	21
4.1	Trä	21
4.2	Fiberförstärkt polymerkomposit	21
4.3	Aluminium	22
4.4	Stål	22
5	RESULTAT OCH ANALYS	23
5.1	Effekter på vägbro	23
5.2	Effekter på järnvägsbro	25
5.3	Analys	27
5.4	Materialval	28
6	DISKUSSION	29
7	SLUTSATS	31
8	REFERENSER	32
8.1	Litteraturförteckning	32
8.2	Figurförteckning	34

## BILAGA A

## **Förord**

Detta examensarbete på 15 högskolepoäng är utfört av två studenter vid Chalmers tekniska högskola, institutionen för bygg och miljöteknik, högskoleingenjörsprogrammet inom byggt teknik (180hp).

Författarna vill tacka broavdelningen på COWI AB för att vi har fått en plats att skriva vårt examensarbete på. Tack även till våra handledare Magnus Bäckström och Daniel Rönnebjerg från COWI AB för all hjälp vi har fått. Vi vill även tacka vår examinator Mario Plos från institutionen för bygg- och miljöteknik på Chalmers för stöd och hjälp under arbetets gång.

Göteborg juni 2014

Camilo Muñoz Lobos och Carolina Kvik

## Ordlista

Brobanekonsol	Den del av brobaneplattan som bär genom konsolverkan.
Brobaneplatta	Platta som bland annat tar upp trafiklasten och överför den till huvudbärverket.
Brodäck	Ett annat ord för brobaneplatta.
Enkelspänd	En platta som är enkelspänd bär last i "en" riktning.
Filfaktor	Faktor som anger hur stor andel av den totala lasten på en balkbro som går ned i en balk.
Fri brobredd	Den bredd av brobaneplattan där trafik kan framföras.
Strukturella effekter	Effekter på den bärande konstruktionen till följd av last.
Konstruktionshöjd	Höjden på bronns överbyggnad
Strängpressad	Teknik för att tillverka föremål med en profil som har konstant tvärsnitt.
Underbyggnad	Till underbyggnaden räknas de konstruktionsdelar som är belägna över grundläggningen men under överbyggnaden.
Överbyggnad	Till överbyggnaden räknas de konstruktionsdelar som är belägna ovanför stöden.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

En bro konstrueras för att vara beständig över en lång period, ofta hundra år. Många av de broar som idag är i bruk byggdes för flera decennier sedan. Trafikmängden och trafikslagen är i konstant förändring och att förutspå hur trafiken kommer att utvecklas över tid kan vara svårt och är någonting man behöver beakta när man projekterar en bro. Flera broar som hållfasthetsmässigt fortfarande är i god kondition kan ha blivit uttjänta på grund av ökad trafikbelastning.

I och med urbaniseringen har befolkningen alltmer koncentrerat sig till färre områden och trafikmängden kan lokalt ha ökat markant. På grund av detta kan det på vissa broar i tätbebyggda områden bli trångt. En metod att öka broars trafikkapacitet är att bredda bron, ofta i samband med en renovering och en eventuell förstärkning. I takt med en växande medvetenhet kan allt fler välja cykeln som transportmedel. Att hänga på en gång- och cykelbana på en bro kan ha flera fördelar, dels kan hela den befintliga brobanepattan göras tillgänglig för biltrafik, dels kan det, där det tidigare inte funnits tillräcklig brobredd för gång- och cykelväg, öppna upp bron och göra den tillgänglig för alternativa färdmedel.

I dagsläget så är det vanligaste sättet att ge mer plats åt gång- och cykeltrafikanter att bygga nya gång- och cykelbroar där dessa behövs. Som en del av en hållbar utveckling kan breddning av broar och påhängning av gång- och cykelbanor vara fördelaktigt.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta projekt har varit att utreda de strukturella effekterna då gång- och cykelbroar hängs på befintliga broar för att öka bronns trafikkapacitet. Detta har gjorts genom att undersöka vilka skillnader i belastande moment detta kan få på befintliga broar. Projektet har även utrett vilka material som skulle kunna vara aktuella att använda vid en breddning av en bro i betong utan att öka bronns egentyngd.

## 1.3 Metod

En litteraturstudie har gjorts över olika brotyper och deras verknings sätt, vanliga spännvidder och utförande. Brotyperna balkbro, trågbro och plattrambro har studerats mer i detalj. Tidigare exempel på påhängda gång- och cykelbanor har studerats för att se hur dessa har gjorts.

För att kunna studera strukturella effekter på befintliga broar, då en gång och cykelbro hängs på, valdes två broar ut. En vägbro över Nötesund som är en balkbro av betong och en järnvägsbro vid Gullbergsmotet som är en trågbalkbro av betong. En förenklad modell över broarnas verknings sätt togs fram. För att kunna studera de strukturella effekterna har laster på broar enligt Eurokod använts i beräkningarna och med dessa laster togs olika lastfall fram. Beräkningar gjordes sedan för moment i broarna både i tvärlängd och i längsled. Alla beräkningar är gjorda med hjälp av beräkningsprogrammet Mathcad.

Resultatet presenteras i form av skillnader i moment och momentfördelning som visar effekten av påhängda gång- och cykelbroar på befintliga broar. Förslag på fortsatt arbete och rekommendationer för detta har tagits fram.

Möjliga lättviktsmaterial för en gång- och cykelbro har studerats, stål, aluminium, trä och fiberarmerade polymerkompositmaterial, så kallade FRP- material. Genom en enkel jämviktsekvation beräknas möjligheterna att behålla egentyngden för en befintlig bro i stort sätt oförändrad då en gång- och cykelbro hängs på.

Resultatet av materialberäkningarna redovisas i form av två matriser som visar skillnaden mellan de olika materialen. Vilket material som är att föredra har diskuterats.

Möjlig utformning av en påhängbar gång- och cykelbana har diskuterats och vilka effekter den kan ha på den befintliga bron.

## 1.4 Avgränsningar

Detta projekt har fokuserat på de strukturella effekterna av att hänga på gång- och cykelbanor på befintliga broar för brotyperna balkbroar och trågbroar av betong då dessa är relativt vanliga och har liknande verkningssätt. Inga beräkningar på plattrambroar eller plattbroar har gjorts då dessa brotyper anses vara styvare i tvärled än balkbroar. Projektet har inte gått in på dimensionering av gång - och cykelbron eller infästningar till den befintliga bron. Anslutningar av gång och cykelbron till mark eller befintliga gång och cykelbanor på mark har inte heller behandlats.

Vid beräkning av broarnas belastning har endast de vertikala laster som angetts i de valda lastmodellerna i Eurokod använts. Lastmodell 1 för vägbron och lastmodell LM 71 för beräkning av järnvägsbron. Belastningen på gång- och cykelbanan har utgjorts av laster på gång- och cykelbroar enligt Eurokod. Vid beräkning av belastande moment i tvärled begränsas beräkningarna av servicefordonets längd, 3,2 meter. Detta för att få ett så rättvist resultat som möjligt utan att behöva göra en noggrannare systemanalys.

Vid beräkningar av det belastande momentet har broarna setts som fritt upplagda över stöden i både tvärled och längsled istället för fast inspända. Det resulterar i att beräkningarna inte visar de faktiska belastande momenten för de olika lastfallen men differensen mellan dem är korrekta och av intresse för detta projekt.

## 2 Litteraturstudie

I detta kapitel ges övergripande information kring vad en breddning är och varför broar breddas, olika metoder av breddning och vanliga brotyper. Kortare information kring olika krav vid breddning redovisas också samt information kring olika materialtyper och kostnader kring projektering, material och arbete.

### 2.1 Varför ökar man broars tvärsektion?

Det kan finnas många anledningar till att man väljer att öka tvärsektionen för en bro, en ökning av en bros tvärsnitt kan ge bättre tillgänglighet och ökad rörlighet för fler trafikslag. Det är dock viktigt att olika aspekter såsom bärförmåga beaktas vid en tvärsnittsökning.

Trafikmängden har ökat de senaste årtiondena (Trafikanalys, 2013) vilket kan ha gjort att många broar inte har tillräcklig kapacitet för det nuvarande trafikflödet. Framför allt äldre broar kan ha för få eller för smala körbanor (Sprinkel, 1998). Ett sätt att öka kapaciteten kan vara att bredda bron, till exempel att hänga på gång- och cykelbanor för att på så sätt ge mer utrymme till biltrafik eller andra trafikslag. Många broar byts ut innan deras avsedda livslängd uppnåtts, ofta på grund av förändringar av trafikmängden (Vägverket, 2001). Vägverket skriver själva i en förstudie att det finns ett behov av forskning och utveckling avseende breddning av befintliga broar genom att konstruktionsdelar hängs på samt att dessa lösningar är kostnadseffektiva (Vägverket, 2000).

Det kan också vara så att det inte existerar någon gång- och cykelbana trots att behovet finns, eller att den befintliga ytan som finns för gång- och cykeltrafik är otillräcklig. En breddning eller tillbyggnad av bron kan ge utrymme för gång- och cykeltrafik över bron (Sprinkel, 1998). Detta ger en större frihet med avseende på förläggning av gång- och cykelstråk, utan att påverka bronns trafikkapacitet för andra trafikslag.

Vid broar med större spännvidder, broar över vatten, broar som ligger i områden med utrymmesbrist eller där en nybyggd gång- och cykelbro helt enkelt inte får plats kan en breddning av en befintlig bro vara ekonomiskt lönsammare. Det kan även vara så att en byggnation av en ny gång- och cykelbro skulle kräva stora omläggningar av trafik under långa perioder i områden med höga trafikflöden. Detta skulle kunna undvikas om en redan existerande bro kan breddas utan alltför stora störningar som följd.

### 2.2 Ökning av broars tvärsektion

Det finns ett flertal olika sätt att öka en bros tvärsektion, beroende på brotyp och vilket material bron är gjord av. Man kan välja att bredda enbart överbyggnaden, eller både över- och underbyggnad. Bron kan breddas på ena sidan eller på bägge sidor, både symmetriskt eller asymmetriskt (Ryall, 2010). Man kan även öka tvärsnittsarean genom att förstärka bron på ovan- eller undersidan, detta görs främst för att öka bronns bärande kapacitet (Vägverket, 2000). Att hänga på eller fästa in en ny gång- och

cykelbana eller körfält anses som breddning enligt Rosell<sup>1</sup>, och alla åtgärder som innebär en förändring av brons bärande konstruktion bör innefatta en kontroll av brons bärförmåga.

### 2.2.1 Omdistribuering av körbanor

Det billigaste och enklaste sättet att förändra en brostrafikkapacitet är att se över hur brobanan utnyttjas. Om körbanan för biltrafik kan minskas till fördel för en gång- och cykelbana eller räcknet kan flyttas lite längre ut och på så sätt optimera utrymmet, kan det bli en kostnadseffektiv lösning. Är bron redan dimensionerad för biltrafik över hela farbanan krävs ingen ytterligare beräkning för att försäkra sig om att bron håller för gång- och cykeltrafik<sup>2</sup>. Det kan vara en bra metod att ta till om trafikflödena förändras, men bron är konstruerad att stå flera år till. Idag är det vanligare att situationen är omvänd, biltrafiken ökar och behovet av ett ytterligare körfält finns. Resultatet av det kan då bli att gång- och cykelbanan tas bort helt och en ny gång- och cykelbro byggs vid sidan om den befintliga bron. (Trafikverket, 2011a)

### 2.2.2 Kompletterande bro

Att bygga en ny bro bredvid en befintlig bro förutsätter att det är möjligt att grundlägga den nya bron intill den existerande. Om den nya bron ska stå tätt intill och sammanfogas med den befintliga bron ska de ha samma statiska verkningssätt. (TRVK Bro-11, 2011). Ändstöd och eventuella mittstöd bör vara av samma typ och placeras intill de existerande (Bettis, 2007). Då detta görs på en betongbro och dessa ska sammanfogas bör man beakta effekten av krympning och krypning av brobanepattan då dessa kan ge upphov till tvångskrafter i betongen både i längsled och i tvärlid, framförallt i skarven där dessa gjuts ihop (Xuefei, 2008). Tvångskrafterna kan minimeras genom att vänta en tid efter att den nya bron har härdat innan den gjuts ihop med den existerande bron (Sprinkel, 1998).

### 2.2.3 Pågjutning

På betongbroar kan en pågjutning vara aktuell om det rör sig om små öknings av bredden i förhållande till brons bredd i stort, då betong är ett tungt byggnadsmaterial. Då stöden ofta är robustare än brons överbyggnad kan mindre pågjutningar göras utan att omfattande arbeten på underbyggnaden behövs (Vägverket, 1996). En del av överbyggnadens betong bilas bort för att frilägga armeringen. Tillräckligt mycket betong tas bort för att förankring mellan gammal och ny armering ska uppnås. Om det inte finns tillräcklig förankringslängd kan mekaniska förbindare användas för att armeringsstålet ska få tillräcklig förankring (Bettis, 2007).

---

<sup>1</sup> Ebbe Rosell (Brospecialist, avdelningen för bro och tunnel, Trafikverket) 2014-02-05

<sup>2</sup> Magnus Bäckström (Brospecialist, Broteknik, COWI AB) 2014-05-13

## 2.2.4 Konsolinfästning

Vid en breddning med konsoler skulle den breddade delen av brobaneplattan bäras av dessa och konsolerna vara infästa i den existerande bron på något vis. Beroende på utformning och material uppstår ett vridande moment i tvärled i den existerande konstruktionen. Hur stort moment en konstruktion kan ta i tvärled är unikt för varje konstruktion men en större konstruktionshöjd har generellt en högre kapacitet på grund av att hävvarmen är större.

Denna typ av breddning lämpar sig bra på exempelvis lådbalkbroar då brobanekonsolen utsätts för mer last och lasten har större excentricitet efter en breddning. Konsolerna kan då föra över en del av lasterna direkt till det huvudbalkarna (Wang & Zhang, 2011).

För större broar kan egentyngheden vara dimensionerande för bärförmågan (Huang & Magnus, 2008), framför allt om bron är byggd i betong. Att byta ut en del av betongkonstruktionen mot en lättare konstruktion kan ge möjligheten att få en bredare bro med samma egentynghed. För mindre broar är trafiklasten av större betydelse för dimensioneringen men även här finns fördelar med att byta ut delar av konstruktionen mot en lättare.

## 2.3 Olika brotyper

I detta kapitel redovisas några olika brotyper och även exempel på tidigare breddningar av broar.

### 2.3.1 Plattrambro

De vanligaste brotyperna i Sverige är rambroar och då framförallt plattrambroar (Vägverket, 1996). Plattrambroen är en konstruktion av gjuten betong med antingen slak- eller spännarmering, där brobaneplattan är fast inspänd i rambenen. Plattrambroar med slakarmering görs lämpligast med spännvidd upp till 25 meter medan spännarmerade plattrambroar kan göras upp till 35 meter. Konstruktionshöjden varierar beroende på spännvidd och höjd, från 0,3 meter upp till en meter för en hög bro med 25 meters spännvidd. Plattrambrons verkningssätt kan förenklat ses som en bred balk som för över laster direkt till brons stöd och plattans tjocklek gör att den är relativt vridstyv (BaTMan, a). Rambenen, eller frontmurarna som de även kallas, är ihopgjutna med vingmurarna som håller de anslutande vägbankarna på plats. Vingarna kan utföras parallellt med brons längdriktning eller tvärriktning men normalt är vingarna snedställda ungefär 45 grader (BaTMan, a).



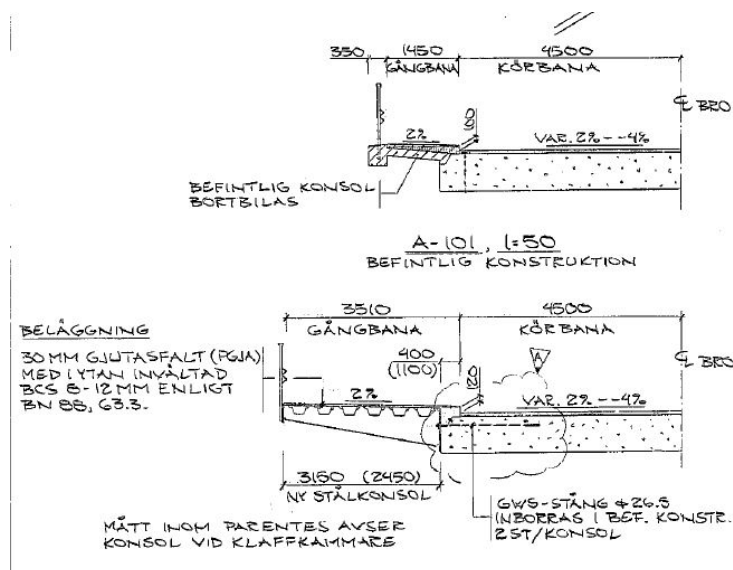
Figur 1: Foto på en plattrambro

Ett vanligt sätt att bredda t.ex. en plattrambro, är att frilägga rambenen och bila bort kantbalken. Sedan byggs en formställning för att kunna gjuta på ytterligare en bit på brobaneplattan och ny armering förankras till den gamla. Detta är bara möjligt om underbyggnad och grundläggning tillåter eller en förstärkning är möjlig.

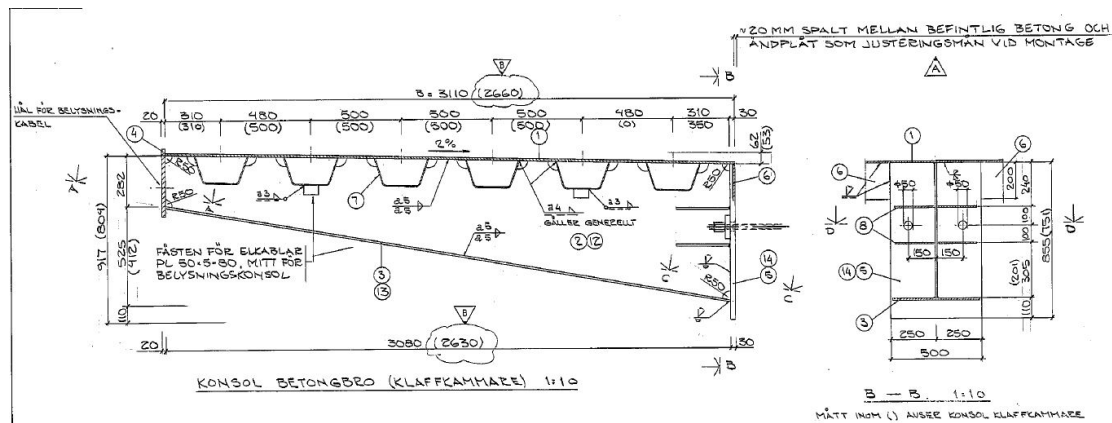
### 2.3.1.1 Plattbro

Plattbron består av en broplatta i betong som kan vara fritt upplagd på ändstöden. Plattbron kan utföras i spännvidder upp till 25 meter och vanlig konstruktionshöjd är ungefär 5 % av spännvidden. Plattbron är ett alternativ då tillåten konstruktionshöjd är låg (Vägverket, 1996). Plattbrons verkningssätt liknar plattrambrons med skillnaden att den inte är fast inspänd i ändstöden.

Exempelvis kan nämnas bron över Tappström vid Tappsund på väg 816, som är en plattbro som breddades år 1995. Målet var att bredda bronns gång- och cykelväg med 2,06m. Lösningen blev att bila bort den befintliga brobanekonsolen av betong och fästa in en ny bredare konsol av stål (Figur 2). Då plattbrons konstruktionshöjd är nästan 1 meter klarar den av de moment som tillkommer av den bredare gång- och cykelbanan. Den tjocka brobaneplattan underlättar även infästningen av den nya konsolen.



Figur 2: Exempel på breddning av plattbro med konsol



Figur 3: Infästning av konsol vid breddning av plattbro

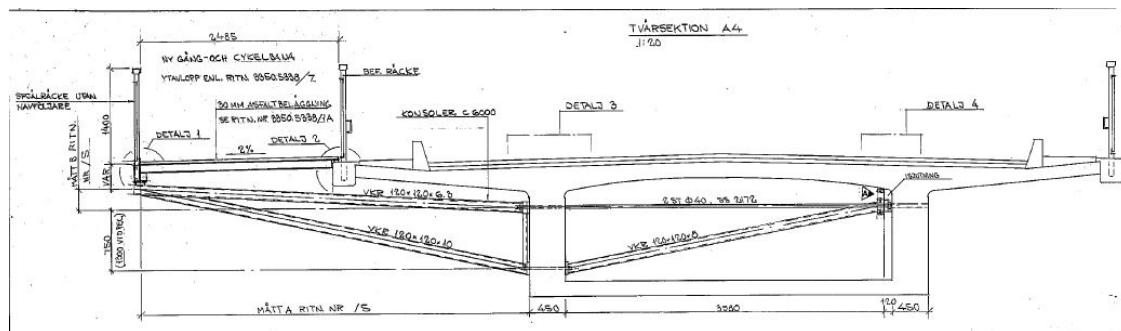
## 2.3.2 Balkbro

Balkbroarnas ursprung är en stock som lagts över ett vattendrag. (BaTMan, a) Idag byggs broarna oftast i betong eller stål med fritt upplagda alternativt kontinuerliga bärande balkar. På balkarna vilar brobanan som vanligtvis tillverkas i betong. Brobanans tjocklek varierar och kan vara kring 300 mm i brobanemitt och smalna av utåt kanterna till ungefär 170 mm. Om brostöden bedöms komma att utsättas för inbördes ojämna sättningar byggs balkbroarna i flera spann med fritt upplagda balkar. (Vägverket, 1996). Balkbroar med långa spännvidder, från 35 meter och uppåt, byggs antingen av svetsade stålbalkar eller som spännbetongbalkar. Mindre balkbroar byggs med armerad betong upp till 25 meter (BaTMan, a). Mellan 25 och 35 meter byggs hellre andra brotyper. Balkbron verkar genom att brobaneplattan för över laster till balkarna som i sin tur för dessa vidare till stöden.

### 2.3.2.1 Lådbalk

En variant av balkbro är lådbalksbron, som också byggs i antingen stål eller betong. Lådbalksbron passar till stora spännvidder. En lådbalkbro i stål fungerar bra över vatten då den kan lanseras eller lyftas på plats. Lådprofilen är lämplig i såväl stål som betong om bron utsätts för stora vridande moment (Vägverket, 1996).

Källösundsbron, bro över Källösund på väg 160, är ett exempel på en lådbalkbro som har breddats för att ge plats åt gångtrafikanter och cyklister (Figur 4). Lösningen blev en stålkonstruktion som bär upp den nya gång- och cykelbana. Gång- och cykelbanan stöds i ytterkant av stålkonsoles och är i innerkant infäst i befintlig kantbalk. Stålkonsoleterna består av en tryck- och en dragsträva infästa i lådbalkens liv. En stålbalk är inspänd diagonalt genom lådbalken och möter trycksträvan på utsidan. Gång- och cykelbanan består av 30 mm asfaltsbeläggning och 10 mm plåt på L-balkar av stål. Då brobaneplattan är tunn, men lådbalken klarar stora vridande moment, lämpar sig denna brotyp bra för breddning på detta sätt.



Figur 4: Översikt över breddning på Källösundsbron

## 2.4 Vad krävs för breddning

När en bro ska breddas finns det olika krav att följa. I detta kapitel redovisas övergripande vilka krav som råder.

En lämplig bredd på gång- och cykelbanan kan anses vara 3 meter. Då finns utrymme för gång- och cykeltrafik i två riktningar med viss anpassning för trafikanterna vid möte (Vägverket, 2004).

### 2.4.1 Krav från beställare vid breddning

Vid en ombyggnad, breddning eller annan förbättrande åtgärd av en bro ska byggnadsverkets tillstånd vara utrett enligt de krav som ställs av Trafikverket (Trafikverket, 2011b). Då mindre beställare, exempelvis kommuner, oftast utgår från Trafikverkets krav ser deras krav i stort sett likadana ut.

För att utreda ett byggnadsverks tillstånd i samband med en breddning utförs en kontroll enligt *MB802 Bärighetsutredning av byggnadsverk*. Alternativt kan en beräkningsmodell för systemanalys som med avseende på laster, geometri och deformationsegenskaper beskriver byggnadsverkets verkningssätt i sin helhet användas (Trafikverket, 2011c).

### 2.4.2 Bärighetsutredning/systemanalys

Enligt Trafikverkets krav gäller att byggnadsverkets tillstånd ska vara utrett innan några åtgärder påbörjas. Dessa krav ger två möjliga sätt att utreda en bro som är planerad att breddas då krafterna förs över till den befintliga brobanaplattan. En systemanalys med modell enligt kraven i *TRVK Bro 11 kapitel B.2.7* eller en modell som följer kraven från *MB 802 Bärighetsutredning av byggnadsverk* utgiven av Vägverket (Trafikverket, 2011c).

Enligt *TRVK Bro 11 kapitel B.2.7* räcker det inte med att göra en tvådimensionell beräkning av bron om den inte har ett tvådimensionellt verkningssätt. Trafikverket rekommenderar en global tredimensionell beräkningsmodell som beskriver en helhet av bronns verkningssätt.

Ett annat krav för att kunna bredda en bro är att bron och breddningen ska ha samma statiska verkningssätt (Trafikverket, 2011b). Att hänga på en gång- och cykelbro på en befintlig bro klassas enligt Trafikverket som en breddning. Även om den påhängda brodelen i huvudsak bär lasten i tvärlid, till exempel med konsoler, medan bronns huvudbärverk bär i bronns längsled, samverkar delarna på motsvarande sätt som

brobanepplatta och huvudbalkar i en balkbro. Man kan därför se de olika brodelarna som olika komponenter i ett och samma bärande system. De påhängda konstruktionsdelarna blir då en del av brons statiska verkningssätt efter breddning.

## 2.5 Allmänt om material

En övervägande del av broarna i Sveriges är av betong (Vägerket, 2000). Nedan redovisas egenskaper för några material som kan användas till broar och brodäck. Gång - och cykelbroar utsätts inte för samma höga belastning som vägbroar eller järnvägsbroar vilket ger andra möjligheter till val av material (Träguiden, 2014a).

### 2.5.1 Betong

Betongen har flera egenskaper som gör den väl lämpad att bygga broar med, den är beständig, formbar och har god tryckhållfasthet (Burström, 2007). Betongen används till brons alla delar och kan bestå av både prefabricerade element eller gjutas på plats.

Betongens hållfasthet beror på blandningen av dess innehåll och proportioneras för att få önskade värden, vanligtvis ligger den karakteristiska tryckhållfastheten mellan 20 och 50 MPa men höghållfast betong kan ha så hög tryckhållfasthet som 80 MPa. Även betongens E-modul varierar, vanligtvis mellan 27 och 37 GPa (Al-Emrani, 2011).

Armering används i betong för att ge tillräcklig draghållfasthet då betongens draghållfasthet är väsentligt sämre än dess tryckhållfasthet. Armeringens draghållfasthet beror på stålqualitet, men ett karakteristiskt värde på 500 MPa är vanligt. Betong har en densitet på 2400 kg/m<sup>3</sup> (Al-Emrani, 2011). I beräkningar används 2500 kg/m<sup>3</sup> för armerad betong<sup>3</sup>.

### 2.5.2 Stål

Stål framställs av järn och kan legeras med ett flertal ämnen för att få önskade egenskaper, bland annat resistans mot korrosion. Stål har bra hållfasthet både i drag och tryck, är formbart och finns i ett antal standardprofiler (Burström, 2007). Stål används främst som primärbärverk i broar som balkar eller fackverk (Vägverket, 1996). Ofta är brobanan av betong i så kallade samverkansbroar där brobanan gjuts samman med stålet för att uppnå samverkan men även brobanor i stål förekommer.

Stål förekommer i ett flertal hållfasthetsklasser med karakteristisk drag och tryckhållfasthet mellan 235 och 460 MPa, E-modulen för stål är 210 GPa och densiteten är 7800 kg/m<sup>3</sup> (Al-Emrani, 2011).

### 2.5.3 Aluminium

Aluminium kan framförallt användas som brodäck. Dessa däck förtillverkas genom att individuellt strängpressade profiler svetsas eller på annat sätt sammanfogas till större däck som sedan kan monteras på underliggande bärande delar, exempelvis balkar av

---

<sup>3</sup> Daniel Rönnebjerg (Brokonstruktör, Broteknik, COWI AB) 2014-03-03

stål (Chavel, 2012). Till aluminiumets fördelar hör bland annat att det är lätt, med en densitet på ungefär en tredjedel av stålets,  $2700 \text{ kg/m}^3$ , samt att det är beständigt mot korrosion (Burström, 2007). Aluminiumets hållfasthet varierar beroende på kvalitet och tillverkningsmetod men kan ha en sträckgräns som ligger mellan 50 och 500 MPa med en E-modul på 70 GPa (Lindunger & Stark, 2004).

## 2.5.4 Trä

Trä är ett naturligt material, således bestäms dess egenskaper av naturliga processer som kan vara svåra att råda över, hållfasthetsklassat trä sorteras ut och märks upp. Trä finns som både konstruktionsvirke och limträ i olika klasser (Burström, 2007). Broar av trä är lätta och används framförallt som gång- och cykelbroar men även vägbroar kan byggas med trä (Träguiden, 2014a).

Densitet, hållfasthet och E-modul för trä varierar beroende på hållfasthetsklass för både konstruktionsvirke och limträ. För konstruktionsvirke är densiteten  $350 - 480 \text{ kg/m}^3$ , hållfasthet i böjning  $14 - 35 \text{ MPa}$  och E-modul  $7 - 14 \text{ GPa}$ . Motsvarande för limträ är densitet  $350 - 450 \text{ kg/m}^3$ , hållfasthet i böjning  $24 - 36 \text{ MPa}$  och E-modul  $11,6 - 14 \text{ GPa}$  (Al-Emrani, 2011).

## 2.5.5 Fiberarmerade polymerkomposit

Fiberarmerade polymerkompositmaterial, eller FRP, består av långa kedjor av glasfiber, kolfiber eller aramid som är de vanligaste, och en polymer, till exempel polyester, epoxi eller vinylester. Materialet binds samman i en process där fibrerna bäddas in i polymeren under värme, blandningen strängpressas sedan till önskad form (Keller, 2003).

FRP-material är lätt, densiteten varierar beroende på vilken fiber, polymer och tillverkningsmetod som används men en densitet på ca  $2000 \text{ kg/m}^3$  är ett genomsnitt. Hållfastheten varierar även den beroende på tillverkningsteknik och fiber. Fibern kan läggas i olika riktningar för att ge det slutgiltiga materialet önskade egenskaper, i fibrernas längdriktning är draghållfastheten  $2000 - 4000 \text{ MPa}$ . E-modulen kan uppgå till mellan  $200 - 400 \text{ GPa}$  (Keller, 2003).

## 2.6 Kostnader

Det är många faktorer som påverkar kostnaderna för en gång- och cykelbro. Faktorer som till exempel grundläggning och omgivning bestämmer val av konstruktion, material, prefabricerad eller platsbyggd.

### 2.6.1 Projektering

På grund av att det krävs en bärighetsutredning eller systemanalys, enligt kapitel 2.4.1, vid breddning av bro, blir kostnaderna för projektering normalt större än vid nybyggnad av bro. Risken finns att bärighetsutredningen visar att en breddning för en specifik bro blir kostsam och det leder till valet att bygga en ny bro utan att utreda andra alternativ. På träguidens hemsida står det att "Vid projekteringen ska man sträva efter att göra en väl genomtänkt lösning, där huvudmålet är att bygga en bra bro till

låg totalkostnad." (Träguiden, 2014b). En högre projekteringskostnad kan möjligen accepteras då resterande kostnader minskas, för att få en lägre totalkostnad än om en ny gång- och cykelbro byggs.

Ska bron byggas över till exempel ett vattendrag kan en utredning och miljöödom bli aktuell, speciellt om ny grundläggning och underbyggnad behövs. Jämförs kostnaderna och tiden det tar med kostnaderna och tiden för en bärighetsutredning blir alternativet att hänga på en gång- och cykelbro mer attraktivt. Ett exempel på en bro där detta blev aktuellt är tidigare nämnda Källösundsbron.

## 2.6.2 Material

När en ny bro byggs krävs material för till exempel grundläggning, vilket inte behöver bli aktuellt vid påhängning av gång- och cykelbana på en befintlig bro. Genom att utnyttja den befintliga bronns kapacitet kan materialförbrukningen minska och det i sin tur leder till lägre totalkostnader. Kostnaden har stor tyngd när val av material sker<sup>4</sup>, stålpriset varierar kraftigt medan priset på betong och trä är stabilare över tid. Det är möjligt att materialet som används då en gång- och cykelbro hängs på en befintlig bro är kostsammare per kvadratmeter, men det krävs mindre mängd än då en ny gång- och cykelbro byggs.

## 2.6.3 Produktion/ Arbete

Enligt Bäckström<sup>5</sup> blir etableringskostnader för att bygga en ny gång- och cykelbro och att hänga på en gång- och cykelbana på en befintlig bro initialt lika hög, men kan arbetstimmar reduceras då en gång- och cykelbana hängs på en befintlig bro kan pengar sparas. För att minska kostnaderna är det önskvärt att prefabricerade profiler levereras till arbetsplatsen, då finns möjligheten att minska antalet arbetstimmar ytterligare.

Grundläggning kan vara kostsamt. Kräver grundläggningen till exempel pålar tar det tid och utrustning. Det kan också vara ont om plats och kostsamt att bygga på grund av det. Står det då en befintlig bro där en gång- och cykelbro eventuellt kan hängas på kan det spara både tid och pengar med avseende på grundläggning.

---

<sup>4</sup> Daniel Rönneberg (Brokonstruktör, Brotteknik, COWI AB) 2014-04-29

<sup>5</sup> Magnus Bäckström (Brospecialist, Brotteknik, COWI AB) 2014-02-18

### 3 Beskrivning av laster och lastfall

Två broar har valts ut för att kunna studera effekterna av påhängda gång- och cykelbanor. Som vägbro har Nötesundsbron valts, och som tågbro har järnvägsbro över E6:an vid Gullbergsmotet valts ut. Dessa har belastats med laster från Eurokod i ett antal olika lastfall, först utan någon breddning och senare med en breddning där en 3 meter bred gång- och cykelbana förläggs ytterst på ena sidan av den befintliga bron.

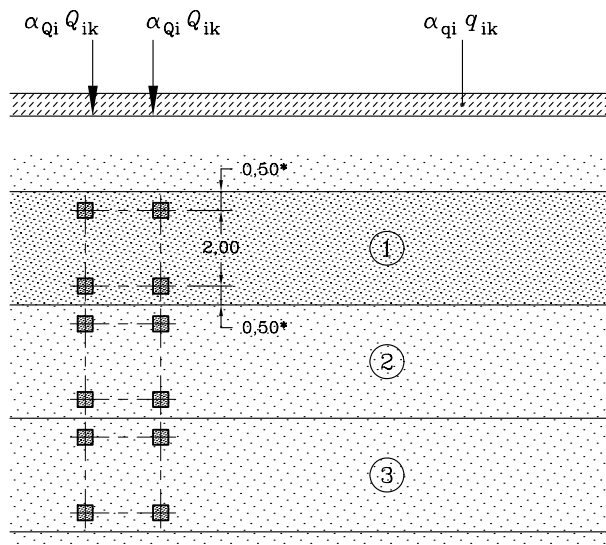
#### 3.1 Laster

De laster som verkar på broarna hämtas från *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar* ur respektive kapitel för vägbroar, tågbroar och gång- och cykelbroar. I de globala beräkningarna har endast lasterna som beskrivs i detta kapitel tagits med i beräkningarna, antagande har gjorts att egentyngheden kan förbli relativt oförändrad då material tas från den befintliga bron och ersätts med ett bredare och lättare material, därför har egentyngheden inte tagits i beaktande. Lasterna har placerats på bron med och utan en breddning och effekter på bron har beräknats i tvärled och i längsled. Beräkningarna utgår från servicfordonets längd på 3,2 meter. Alla laster inom den längden har ansetts relevanta att ta hänsyn till för att göra en rättvis jämförelse.

##### 3.1.1 Lastmodell 1, laster på vägbroar

För vägbroar anses lastmodell 1 täcka in de flesta effekterna av trafik med last- och personbilar (SS-EN 1991-2:2003, a). Denna modell används vid beräkningar av globala och lokala effekter.

Lasten består av ett antal lastfält med en bredd av tre meter. Varje lastfält belastas med en utbredd last och ett boggiesystem bestående av två axlar.



Figur 5: Lastmodell 1, lastfält med boggiesystem och utbredda laster

Lasternas karakteristiska värden beskrivs i *figur 6* och dessa multipliceras med en anpassningsfaktor  $\alpha$  som visas i *figur 7*, till exempel ska punktlaster i lastfält 1 anpassas med en faktor 0,9 och är då 270 kN.

Läge	Boggisystem	Utbredd last
	Axellast $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (eller $q_{rk}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Lastfält nummer 1	300	9
Lastfält nummer 2	200	2,5
Lastfält nummer 3	100	2,5
Övriga lastfält	0	2,5
Återstående yta ( $q_{rk}$ )	0	2,5

Figur 6: Lasternas karakteristiska värden i lastmodell 1

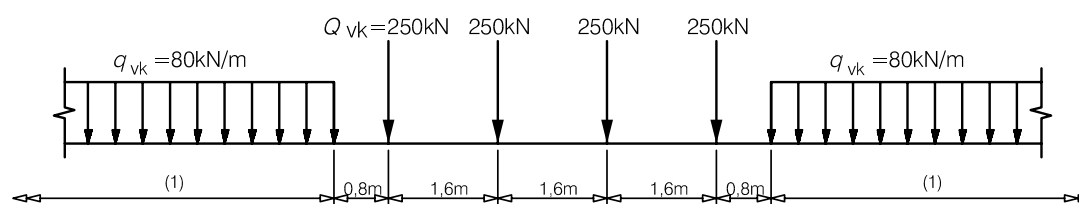
$\alpha_{Q1}$	0,9
$\alpha_{Q2}$	0,9
$\alpha_{Q3}$	0
$\alpha_{q1}$	0,7
$\alpha_{qi}$	1,0 för $i > 1$
$\alpha_{qr}$	1,0

Figur 7: Anpassningsfaktorerna  $\alpha$  för de olika lasterna i lastmodell 1

Då punktlaster i lastfält 3 ska anpassas med en faktor 0 resulterar det i att lastfält 3 endast belastas med en utbredd last på 2,5 kN/m<sup>2</sup>. Övriga lastfält och återstående ytor belastas även dessa med utbredd last på 2,5 kN/m<sup>2</sup>, se *figur 6*. Därför har dessa slagits ihop till ett gemensamt lastfält som upptar den resterande yta som inte upptas av lastfält 1 eller 2.

### 3.1.2 Lastmodell LM 71, laster på järnvägsbroar

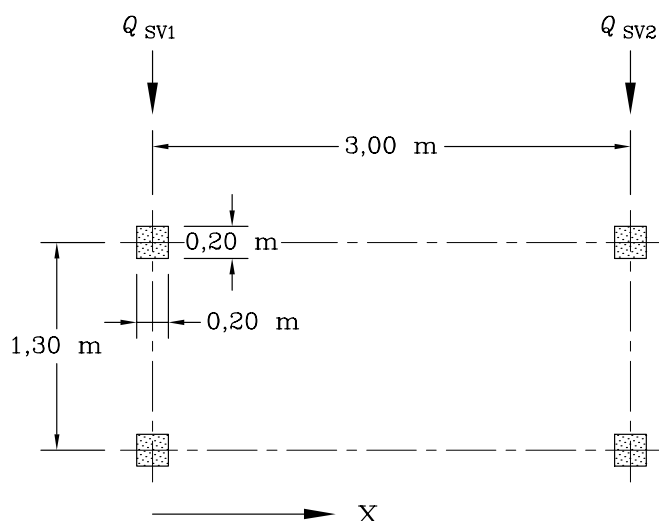
Lastmodell LM 71 representerar den statiska effekten av vertikal belastning från normal järnvägstrafik (SS-EN 1991-2:2003, b). Lasterna ska multipliceras med en faktor  $\alpha$  som varierar beroende på om det är lätt eller tung trafik som trafikerar spåret. Enligt *TRVK bro 11, kap 3.2.1.4* ska  $\alpha$  sättas till 1,33 för de sträckor som inte trafikeras av tung massgodstrafik (Trafikverket 2011d).



Figur 8: Fördelning och karakteristiska värden på lastmodell LM 71

### 3.1.3 Laster på gång- och cykelbroar

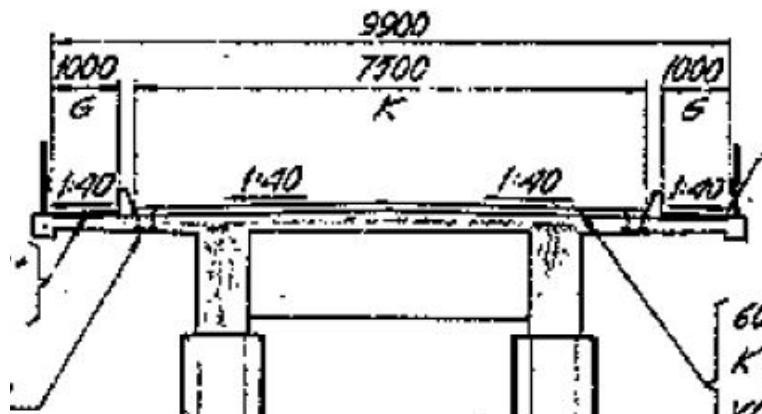
Den påhängda gång- och cykelbanan belastas enligt *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar* med en utbredd last på gång- och cykelbanan på  $5 \text{ kN/m}^2$  och ett servicefordon med två axlar om 80 och 40 kN med axelavståndet 3 meter och hjulavståndet 1,3 meter, se *figur 9*. Den utbredda lasten och lasten från servicefordonet verkar inte samtidigt på bron och värdena som anges är karakteristiska värden (SS-EN 1991-2:2003, c).



Figur 9: Dimensioner på last från servicefordon

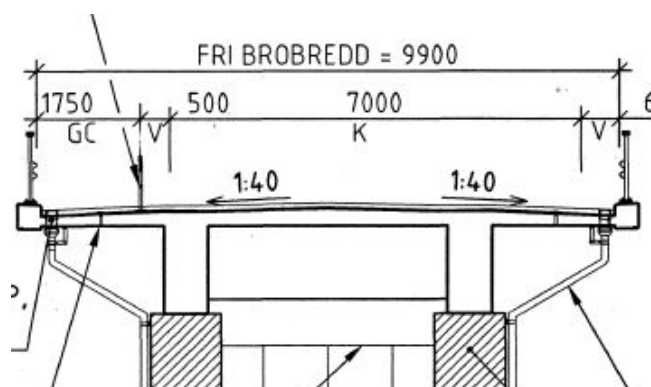
### 3.2 Nötesundsbron

För att göra beräkningar på en befintlig vägbro har Nötesundsbron valts. Nötesundsbron ligger på Orust i Västra Götalands län och består av två kontinuerliga balkbroar i slakarmerad betong som förenas av en lådbalkbro av spännarmerad betong. Beräkningarna är gjorda på de två balkbroarna eftersom antagandet är gjort att om balkbron klarar belastningen så gör även lådbalksbron det då denna konstruktion ofta är styvare.



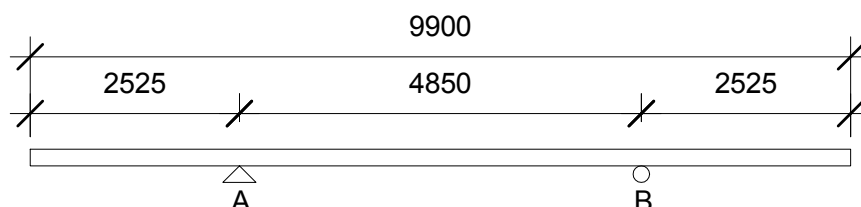
Figur 10: Tvärsektion av Nötesundsbron som den såg ut i originalutförande.

Bron byggdes 1966 med gångbana á 1 meter på vardera sidan om den tvåfiliga körbanan, se *figur 10*. Senare har brons körbanor placerats om för att få en samlad gång- och cykelbana på ena sidan av körbanan med bredden 1,75 meter, se *figur 11*. Den fria brobredden var 9,9 meter både innan och efter omplaceringen av körbanorna. Balkbron spänner 20 meter mellan stöden.



Figur 11: Tvärsektion av Nötesundsbron efter omfördelningen av körbanorna.

För att förenkla beräkningarna har bron i tvärsektion setts som en fritt upplagd balk på två stöd där balken motsvarar brobanepattan och stöden motsvarar balkarna. Momentet i brobanepattan beräknades för alla lastfallen. Då beräkningar med breddning har gjorts har den fria brobredden ökats med 1,25 meter och gång- och cykellast har lagts på de yttersta 3 meterna. Även fyra lastfall då den fria brobredden har ökats med 3 meter har beräknats.

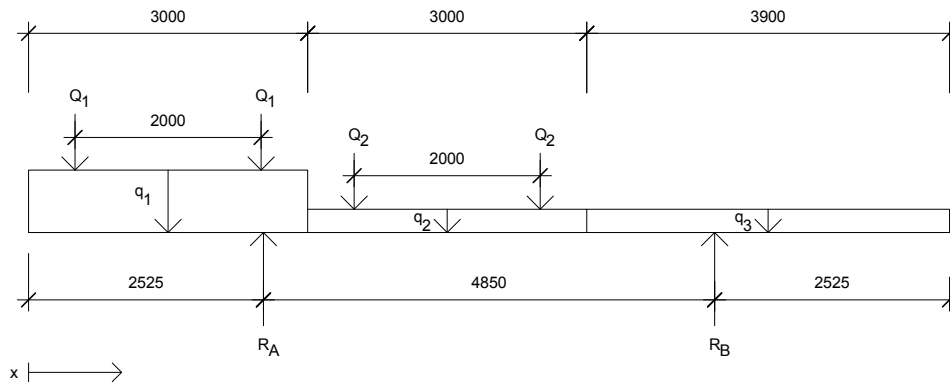


Figur 12: Förenklad modell av Nötesundsbrons tvärsektion

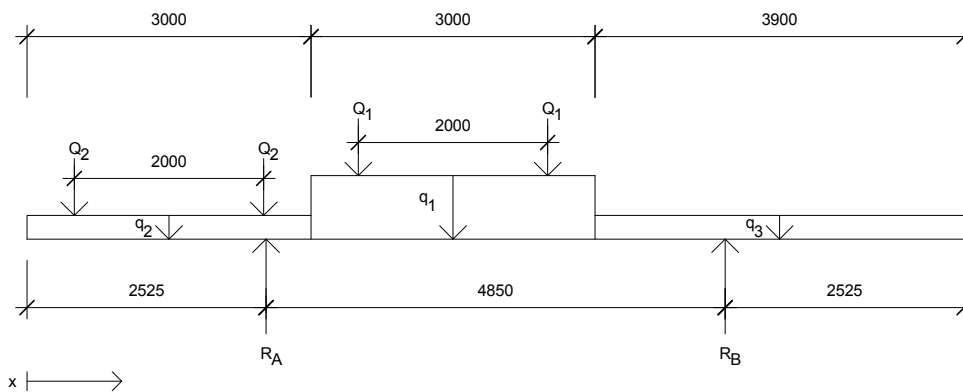
En momentjämvikt kring balk B har gjorts för varje lastfall för att ta reda på stödreaktionen i balk A, med denna tas sedan en filfaktor fram som anger hur stor del av den totala belastningen som går ned i balk A. Därefter beräkades momentet i tvärlängd för varje lastfall. För att beräkna momentet i längsled har lasterna multipliceras med filfaktorn och utgör belastningen på balk A. Balken har i längsled setts som fritt upplagd då det är skillnaderna i belastning som är intressanta och detta ger enklare beräkningar. Beräkningarna återfinns i bilaga A.

### 3.2.1 Lastfall 1 och 2, lastmodell 1

Beräkningar har gjorts i två lastfall utan breddning. Ett där det tyngsta lastfältet ligger ytterst och ett där det tyngsta lastfältet ligger placerat så att det ligger mer centrerat i bron men fortfarande närmare balk A.



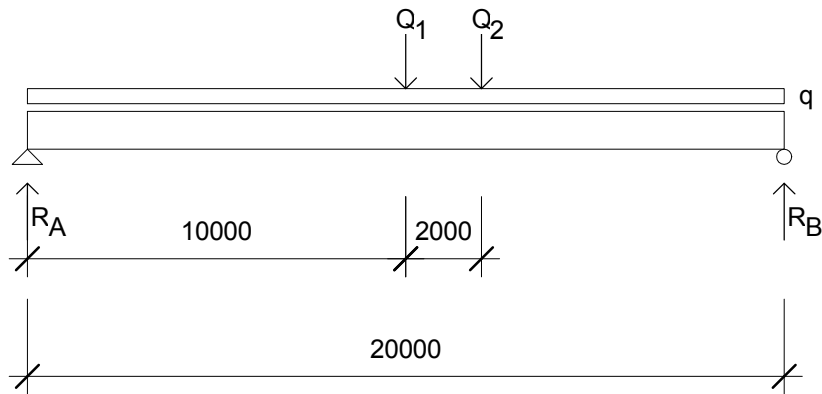
Figur 13: Lastfall 1, utan breddning, tyngsta lastfältet placerat ytterst på bron.



Figur 14: Lastfall 2, utan breddning med det tyngsta lastfältet placerat mer centriskt

Det antas att de moment som räknas fram i dessa två lastfall är bron dimensionerad att klara av både i tvärled och i längsled. Även den totala lasten och den andel som går ned i balk A antas bron vara dimensionerad att klara. I dessa lastfall har det antagits att fordonstrafik kan framföras på hela den fria brobredden. Detta på grund av att inget hinder, mer än ett litet stängsel, mellan gång- och cykelbanan och biltrafiken finns för att hindra bilarna att köra över på gång- och cykelbanan vid en eventuell olycka. Antagandet är även grundat på att en omplacering av körbanorna har varit möjlig. Då bron är symmetrisk skulle gång- och cykelbanan lika gärna kunnat placeras på andra sidan av bron.

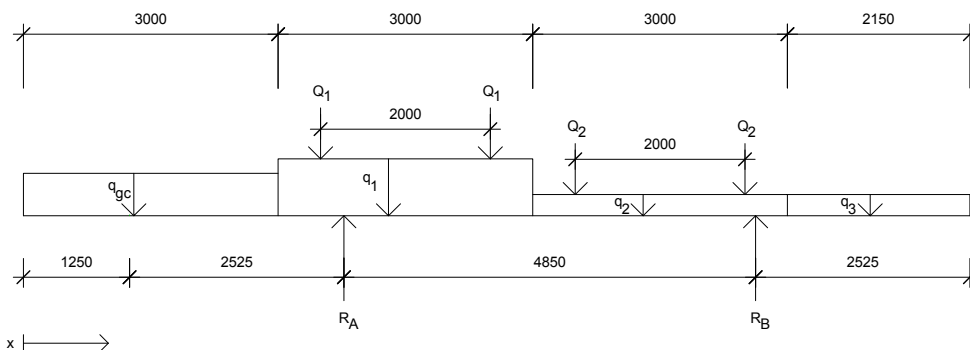
Sedan har beräkningarna i längsled gjorts med hjälp av filfaktorn där lasterna har lagts ihop till en total utbredd last respektive punktlaster. Punktlasterna består av de summerade axellasterna i dessa lastfall.



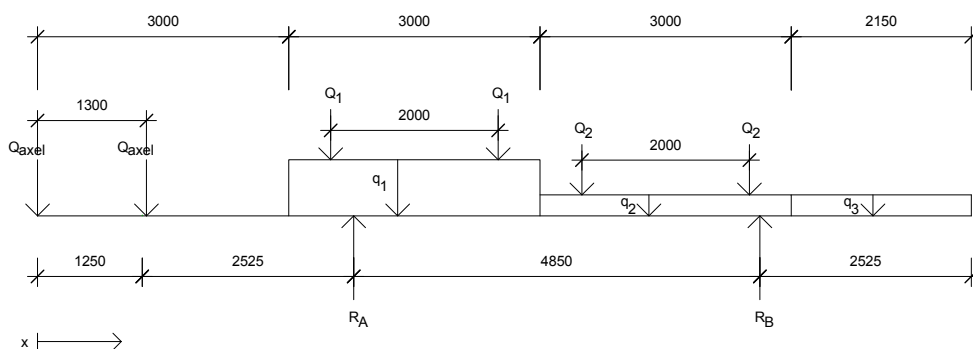
Figur 15: Lastfall 1 och 2 i längsled där lasterna har summerats och multiplicerats med filfaktorn.

### 3.2.2 Lastfall 3 – 6, lastmodell 1 med gång- och cykellast

För att gång- och cykelbanan ska bli 3 meter bred har bron breddats med 1,25 m alltså ca 12,5 %. Det betyder att lastfall 3-6 är varianter av lastfall 1 och 2 med hänsyn till utbredd last alternativt servicefordon på gång- och cykelbanan. Alltså i lastfall 3 och 4 är största belastningen från trafiklasten placerad närmst gång- och cykelbanan, men i lastfall 5 och 6 är den största belastningen från trafiklasten placerad mer centriskt på brobanepattan (se sammanställning i kapitel 3.4). Dessa lastfall förutsätter att en tydlig och kraftig avskiljning mellan gång- och cykeltrafiken och biltrafiken görs så att bilarna inte kan köra över på gång- och cykelbanan vid en eventuell olycka. Beräkningar är gjorda i tvärsnitt och i längsled som i de två tidigare lastfallen för att på så sätt kunna se effekterna av att hänga på en gång- och cykelbro på en befintlig bro.



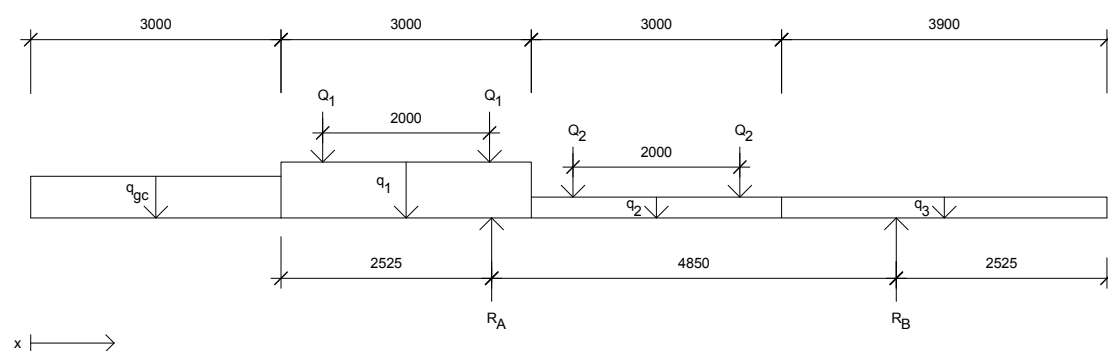
Figur 16: Exempel, Lastfall 3 med breddning och gång- och cykellast ytterst på bron.



Figur 17: Exempel, lastfall 4 med breddning och last från servicefordon.

### 3.2.3 Lastfall 7-10, lastmodell 1 med gång- och cykellast

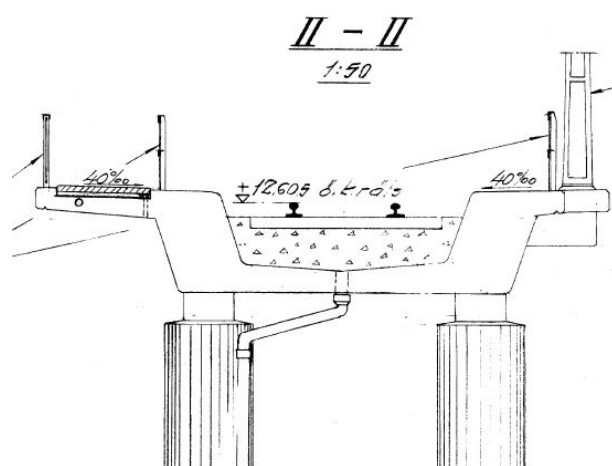
Eftersom det redan finns en smalare gång- och cykelbana på Nötesundsbron behöver inte bron förses med en helt ny, 3 meter bred, gång- och cykelbana, se lastfall 3-6. För andra broar kan det dock bli nödvändigt att bredda bron med en ny gång- och cykelbro. Därför har beräkningar gjorts på ytterligare fyra lastfall. I lastfall 7-10 antas hela den befintliga fria brobredden belastas med biltrafik och en breddning av bron på 3 meter, alltså ca 30 %, är gjord. Beräkningarna har därefter gjorts på samma sätt som för tidigare lastfall. Det betyder att i lastfallen 7 och 8 är den största trafiklasten placerad närmst gång- och cykelbanan, men i lastfall 9 och 10 är den största belastningen från trafiklasten placerad mer centriskt på brobanepattan (se sammanställning i kapitel 3.4).



Figur 18: Exempel, lastfall 7 med en breddning utan flytt av trafiklast.

### 3.3 Järnvägsbro vid Gullbergsmotet

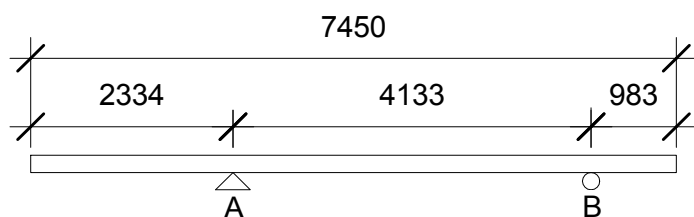
Den valda järnvägsbron är en bro över E6:an vid Gullbergsmotet som har namnet, *Bro över allmän väg 1,0 km NO Göteborgs Centralstn*. Järnvägsbron är byggd 1966 och är en balkbro i betong med en gång- och cykelbana som är 1,5m bred. Bron spänner 24,5 meter mellan stöden.



Figur 19: Tvärsnitt av Bro över allmän väg 1,0 km NO Göteborgs Centralstn

Även här har en förenklad bild av bron använts för att göra beräkningarna i tvärlinje, en fritt upplagd balk på två stöd (Figur 20). Beräkningarna har följt samma tillvägagångssätt som i fallet med Nötesundsbron med skillnaden att lasten från tågtrafik inte kan flyttas. Detta har gett tre olika lastfall att beräkna. Beräkningarna utgår även här från servicfordonets längd, 3,2 meter, det betyder att tre axellaster å

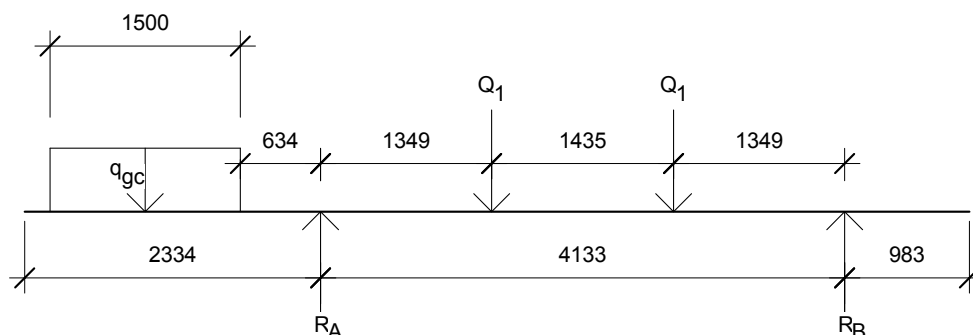
250 kN utgör belastningen från tåget i tvärled. Axellasten har delats på två lika stora punktlaster som ligger på var sin räl (*Figur 21*).



*Figur 20: Förenklad modell av Bro över allmän väg 1,0 km NO Göteborgs Centralstn*

### 3.3.1 Lastfall 1, lastmodell LM 71

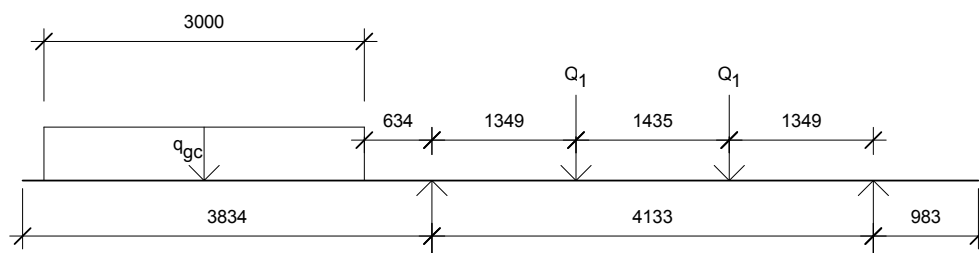
På gång- och cykelbanan har antagits att ett servicefordon med bredden 1,3 meter mellan hjulen inte får plats. Så endast en beräkning med utbredd last på gång- och cykelbana har gjorts.



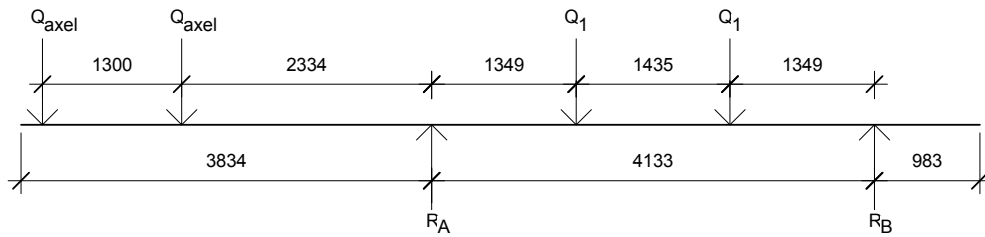
*Figur 21: Lastfall 1 på järnvägsbron utan breddning med 1,5 meters gång – och cykelbana.*

### 3.3.2 Lastfall 2 och 3, lastmodell LM 71

I dessa två lastfall har en breddning gjorts för att möjliggöra en 3 meter bred gång- och cykelbana. Bron har breddats med 1,5 meter vilket motsvarar en breddökning på ungefär 9 %. Beräkningar har sedan gjorts för att se vilka effekter detta får på den befintliga bron då den påhängda gång- och cykelbron belastas med utbredd gång- och cykellast i ett fall och ett servicefordon i det andra.



*Figur 22: Lastfall 2, Lastmodell LM 71 med utbredd gång - och cykellast*



Figur 23: Lastfall 3, Lastmodell LM 71 med servicefordon.

### 3.4 Sammanställning av lastfall

Nötesundsbron	Järnvägsbro vid Gullbergsmotet
Lastfall 1 	
Lastfall 2 	
Lastfall 3 	
Lastfall 4 	
Lastfall 5 	
Lastfall 6 	
Lastfall 7 	
Lastfall 8 	
Lastfall 9 	
Lastfall 10 	

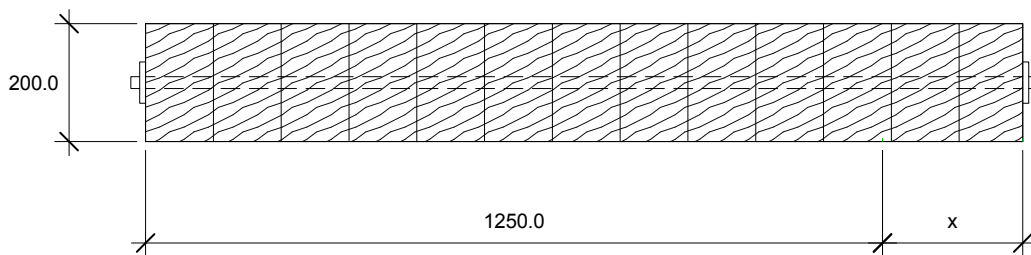
## 4 Materialval vid breddning av bro

I detta kapitel utvärderas och jämförs de olika materialen, trä, fiberförstärkt polymerkomposit, aluminium och stål, med betong för att se om antagandet att egentygden kan bli i stort sett oförändrad vid en breddning är rimlig. Enkla beräkningar har gjorts på hur mycket av den befintliga konstruktionen som skulle behöva ersättas med den lättare för att behålla samma egentygnd. Beräkningarna återfinns i bilaga A, kapitel 5. För att jämföra kostnaderna har dessa räknats om till kronor per kg.

### 4.1 Trä

Trä är initialt ett lätt material, kvalitet L40c som valts här väger  $400 \text{ kg/m}^3$ , men för att klara av lasterna blir konstruktionerna massiva. Om plattan ska utformas i trä är en vanlig konstruktion en platta av limträbalkar som tvärsänns med ett stag i mitten (Träguiden, 2014b). Konstruktioner i trä kan dimensioneras efter behov men det antas att plattan kan vara 200 mm tjock för att kunna göra beräkningar på egentygden. Kostnaden för limträ kan uppskattas till  $10 \text{ kr/kg}^6$ .

[mm]



Figur 24: Exempel på en förspänd brobanplatta av limträ

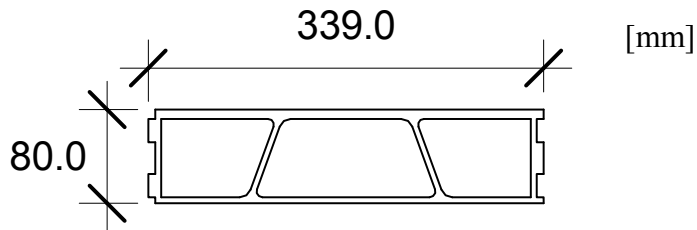
### 4.2 Fiberförstärkt polymerkomposit

Fiberförstärkt polymerkomposit är ett relativt nytt material som inte används i någon större utsträckning i broar i Sverige än men finns att tillgå som ett flertal profiler som både brodäck och bärande delar, exempelvis balkar, från ett flertal tillverkare. Dessa kan utformas och tillverkas efter behov men finns även som lagervaror.

Det finns ett flertal leverantörer internationellt som levererar profiler och färdiga system till brobanor. Dessa skiljer sig åt egenskapsmässigt beroende på vad tillverkaren har valt att använda för fiber och polymer. En tillverkare är *Fiberline Composites A/S* i Danmark. De har ett flertal däcksystem både för gång- och cykelbroar och vägbroar, bland annat *FBD 300 bridge deck*, ett brodäck avsett för fordonstrafik. Profilerna monteras ihop på plats eller levereras som hopmonterade däck. Kostnad för dessa brodäck är ca  $3000 \text{ kr/m}^2$ , då FBD 300 väger  $42,12 \text{ kg/m}^2$  blir priset ca  $71 \text{ kr/kg}^7$ .

<sup>6</sup> Jonas Gustavsson (Projektledare, Infrastruktur, COWI AB) 2014-03-21

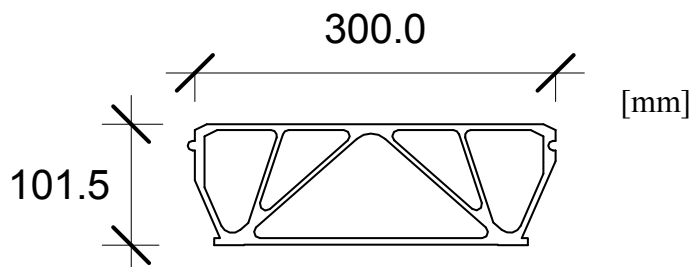
<sup>7</sup> Christian Scholze (Technical solution manager, Fiberline Composites A/S) 2014-02-19



Figur 25 En profil av FBD 300

### 4.3 Aluminium

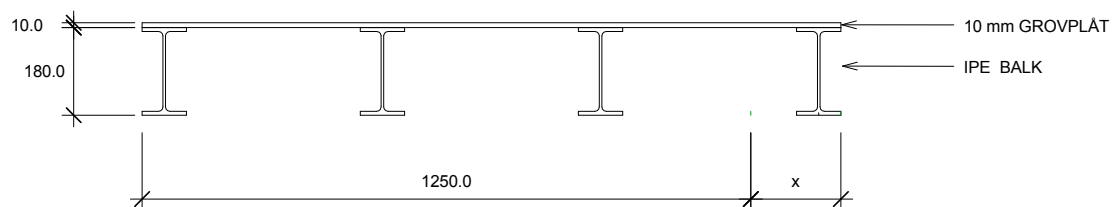
Brofarbanor i aluminium är inte vanliga, de har använts i viss utsträckning vid reparation av äldre broar där en lättare överbyggnad har önskats. Materialet har en hög initial kostnad och materialet är relativt oprövat som konstruktionsmaterial för broar och väljs därför ofta bort (Chavel, 2012). Prefabricerade profiler för brofarbana i aluminium tillverkas av bland annat *SAPA*. Profilerna väger  $60 \text{ kg/m}^2$  och kostnaden är ca  $3000 \text{ kr/m}^2$ , detta medför en kostnad på  $50 \text{ kr/kg}$ <sup>8</sup>



Figur 26: En profil av System 100.

### 4.4 Stål

Brobanor av stål förekommer i begränsad omfattning i Sverige. Oftast används stålet som balkar eller lådbalkar i samverkanskonstruktioner med en brobaneplatta i betong (SBI.se, 2014). En brobaneplatta i stål kan utföras som en enkelspänd platta med en plåt upplagd på tvärribbor som bär i en riktning (BaTMan, b). En platta av 10 mm grovplåt på IPE 180 balkar med centrumavstånd 0,6 meter har använts vid beräkningarna. Detta ger en vikt på  $65,6 \text{ kg/m}^2$ . Kostnaden för stål varierar men i skrivande stund är det  $35 \text{ kr/kg}$ <sup>9</sup>. [mm]



Figur 27: Exempel på utförande av brobaneplatta i stål.

<sup>8</sup> Mikael Lindqvist (Product manager, SAPA Building Systems AB) 2014-03-21

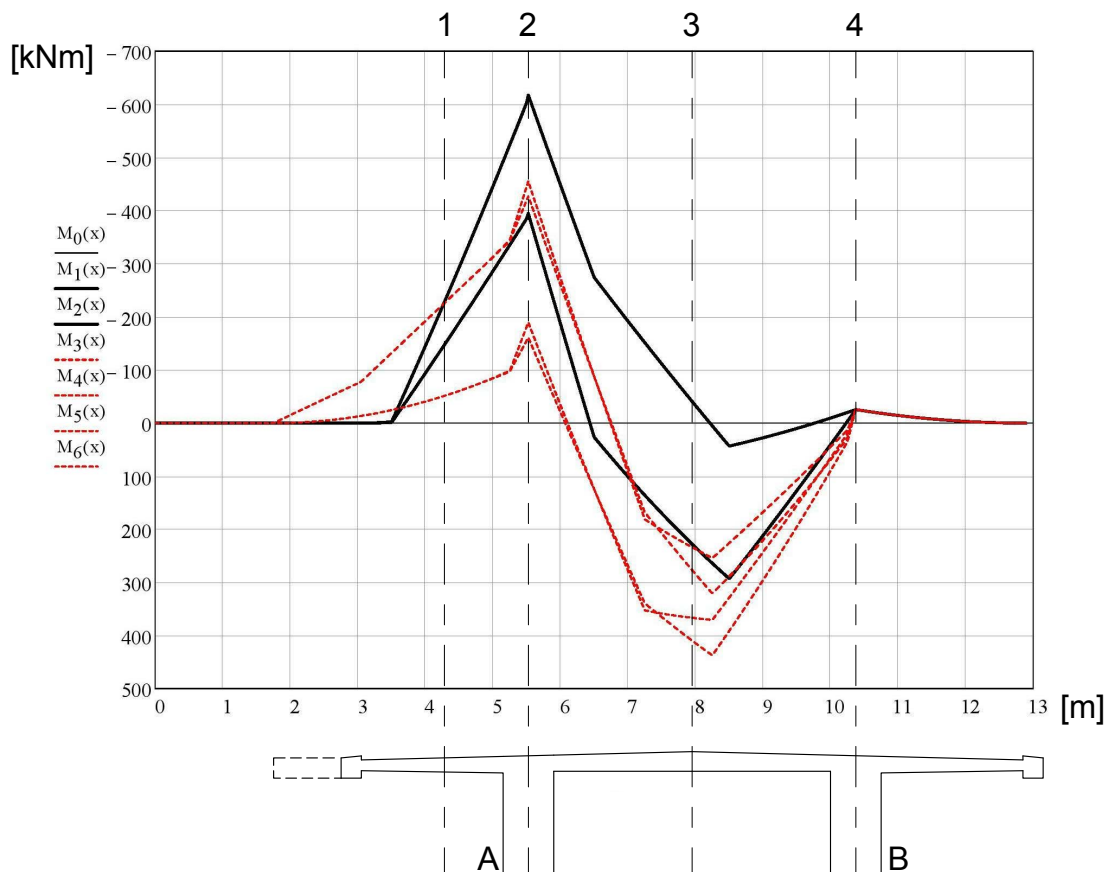
<sup>9</sup> Jonas Gustavsson (Projektledare, Infrastruktur, COWI AB) 2014-03-21

## 5 Resultat och Analys

I detta kapitel redogörs och analyseras resultatet från de beräkningar som har gjorts för att bedöma de strukturella effekterna av påhängda gång- och cykelbroar på befintliga broar. Momentdiagrammen visar belastningen i broarna för de olika lastfallen. De heldragna svarta linjerna representerar momentet i lastfallen före och de streckade röda linjerna visar momentet efter att en breddning har gjorts.

### 5.1 Effekter på vägbro

Beräkningarna visar att momentet i brobanepattan ökar på vissa ställen och minskar i andra. Över plattans stöd, som är huvudbalkarna i bron, minskar belastningen för lastfall 3 - 6, de lastfallen där en breddning på 1,25 meter gjorts. I *figur 28* kan man se att i stömlinje 2 och 4 ligger de streckade momentkurvorna, det vill säga efter en breddning, under eller väldigt nära de heldragna linjerna som representerar momentet innan en breddning. I stömlinje 2 minskar det största momentet med 26,3 % i lastfall 3 till 6 och i stömlinje 4 är det nära oförändrat. Detta kan innebära att en förstärkning inte är nödvändig i plattans tvärled över huvudbalkarna.

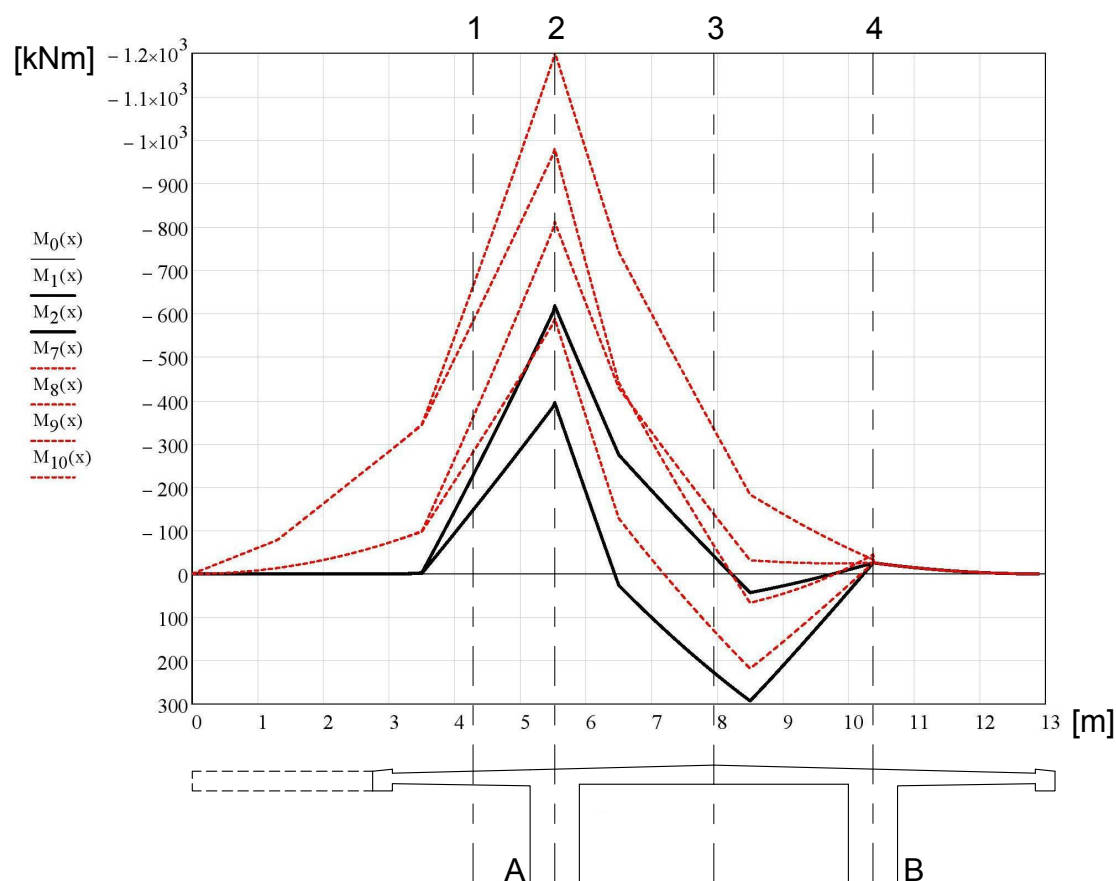


*Figur 28: Vägbro i tvärled. Momentdiagram över lastfallen 1-6 med breddning 1,25 meter.*

I brobanepattan mellan stöden, kring stömlinje 3 och i brobanekonsolen, kring stömlinje 1, ökar momentet vid en breddning, se *figur 28*. Momentet ökar också i brobanekonsolen när denna belastas med ett servicefordon. Det största fältmomentet ökar som mest med 49,3 % och momentet i den befintliga bron konsolände som

tidigare var 0 kNm/m har efter breddningen ökat med 75 kNm/m. Då en gång- och cykelbro ska hängas på en befintlig bro kan det alltså komma att krävas förstärkning av den befintliga brobanplattan i fält i underkant och i brobanekonsolen i överkant.

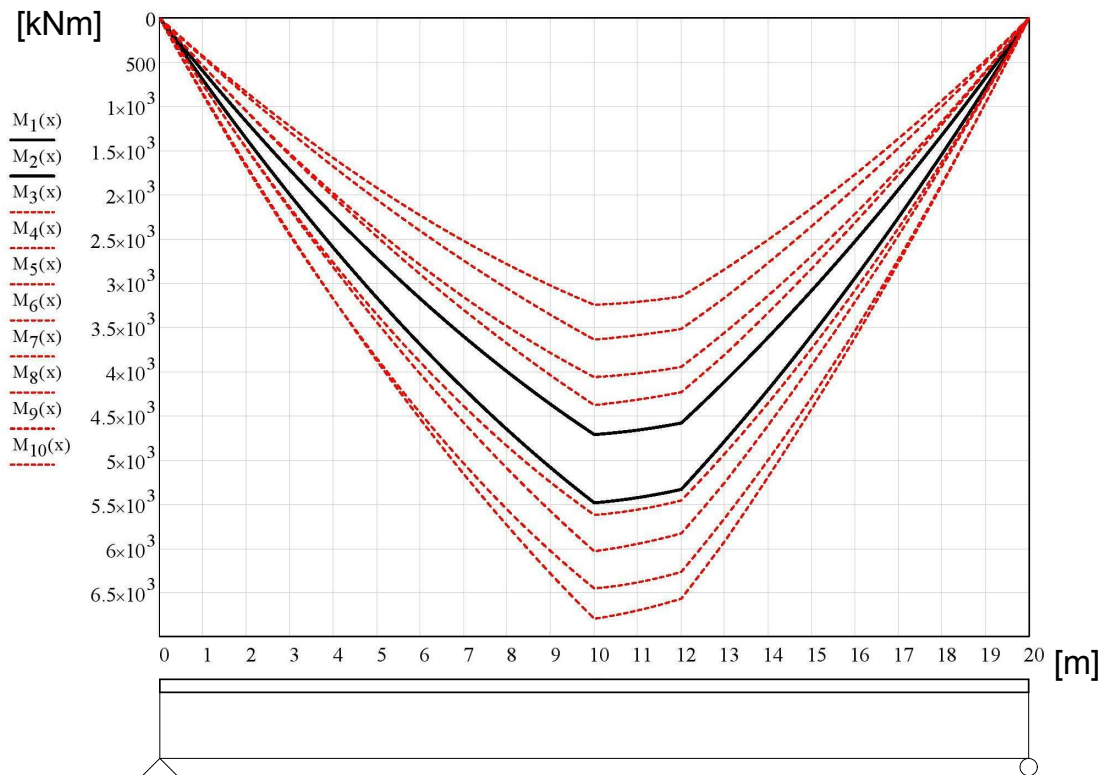
I lastfall 7 till 10, de lastfall då bron är breddad med 3 meter, visar beräkningarna att momentet ökar över stöd A i stömlinje 2 med som mest 94,7 % medan det fortfarande är relativt oförändrat i stöd B vid stömlinje 4, se *figur 29*. I brobanplattans mitt har momentet förändrats och ger en dragen överkant i stället för som innan både dragen och tryckt överkant. I den befintliga bron konsolände har momentet ökat med 282 kNm/m från tidigare 0 kNm/m. Även här är det servicefordonet som ger den största belastningen.



*Figur 29: Vägbro i tvärled. Momentdiagram över lastfallen 1, 2, 7-10.*

I bron längsled, har belastningen påverkats dels av att den totala lasten har ändrats men även av att andelen last som går ned i en av huvudbalkarna har förändrats då de totala lasternas tyngdpunkt har förskjutits mot brobanemitt. Det största momentet i huvudbalkens mitt var innan breddningen gjordes 5,486 MNm och i lastfall 3 till 6 minskade momentet med mellan 20 - 40 %. Detta på grund av att lasterna fördelats jämnare över stöden. Filfaktor ändrades från 0,937 till 0,706 då en jämförelse görs mellan de lastfall som ger högst filfaktor innan och efter breddningen av bron med 1,25 meter.

I lastfall 7 till 10 ökade däremot momentet med som mest 23,9 % mot det största momentet innan breddning. Filfaktorn ökade till som mest 1,063, vilket skulle innebära att huvudbalk A bär mer hela den påförda trafiklasten. Momentkurvorna i längsled visas i *figur 30*.



Figur 30: Vägbro i längsled. Momentdiagram över lastfallen 1-10

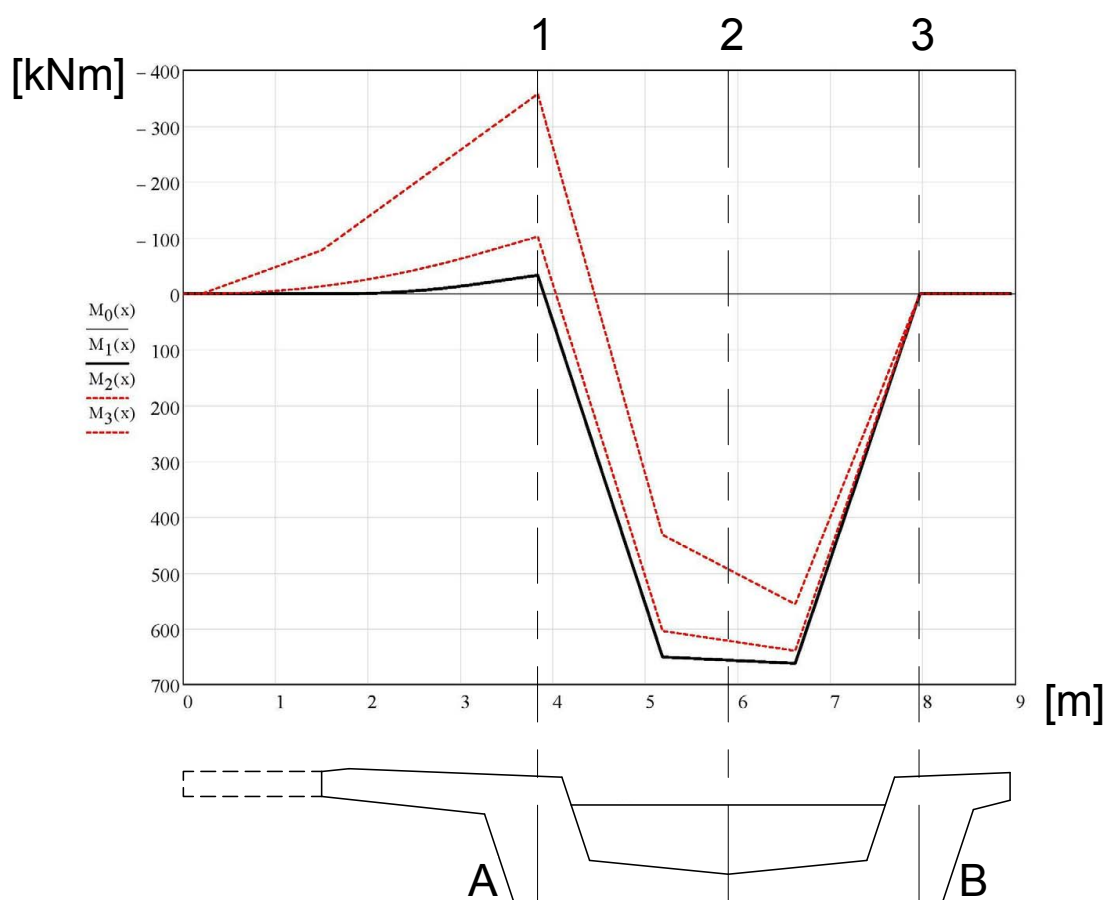
Förändringen av det belastande momentet i både tvärled och längsled på vägbron beror till stor del på hur stor breddning som görs, men också på hur lasten fördelas över bronns bredd. Tack vare att trafiklasten går att flytta kan man sänka belastningen i längsled över balk A i lastfall 3 till 6 trots att den totala lasten ökar. Med en optimering av breddningen och placeringen av vägtrafik och gång- och cykeltrafik borde man ofta kunna bredda på ett sådant sätt att momentet över stöd och i fält förändras minimalt. Däremot ökar momentet i brobanekonsolen för alla studerade lastfall och denna del av bron kan behöva förstärkas, då den innan en breddning utsätts för litet eller inget moment.

Servicefordonet som kan belasta gång- och cykelbanan är relativt tungt och möjligheten att köra längst ut resulterar i en lång hävarm som ökar den totala belastningen på balk A. I beräkningarna har servicefordonet haft störst påverkan på momentet, både i tvärled och längsled.

## 5.2 Effekter på järnvägsbro

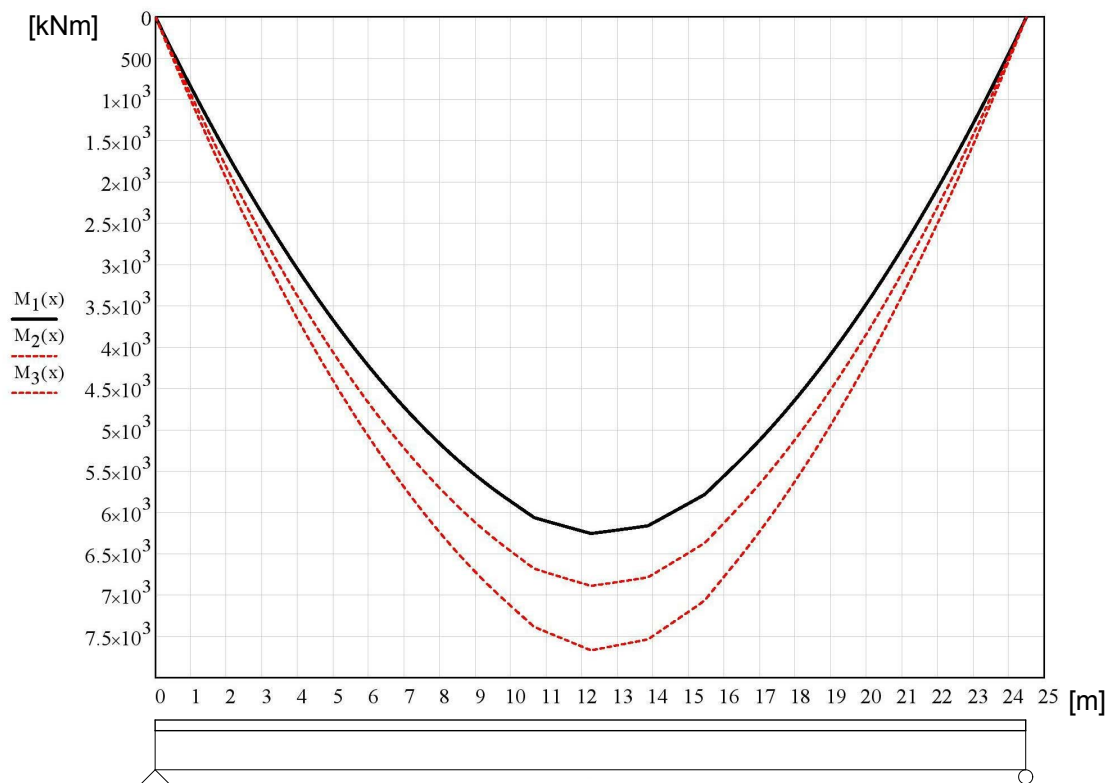
Även om tåg är tunga och järnvägsbroar är dimensionerade för dess tyngd, är de inte nödvändigtvis dimensionerade för det vridande moment som uppkommer då en gång- och cykelbro hängs på. I diagrammet, figur 31, kan avläsas att det vid en breddning av gång- och cykelbanan på Gullbergsbron inte skiljer mycket mellan lastfall 1 och lastfall 2, momentet ökar från 33,216 kNm till 102,432 kNm, vilket motsvarar en ökning med 308 %, över balk A och minskar med 3,4 % i fält. Filfaktorn ökar något från 0,52 till 0,547. För lastfallet med servicefordonet på gång- och cykelbanan, lastfall 3, ökar momentet med 1078 % över balk A, till 358,08 kNm, och minskar med 16 % i fält. I detta fall ökar filfaktorn till 0,613.

För järnvägsbron, precis som för vägbron, innebär detta att momentet ökar mycket över konsolen. Denna kommer därför troligen att behöva förstärkas med avseende på stödmomentet över huvudbalken i tvärled. Även här är det servicefordonet som utgör den största belastningen.



Figur 31: Järnvägsbro i tvärled. Momentdiagram över lastfallen 1-3

I längsled har belastningen ökat för den mest belastade huvudbalken på grund av att belastningen från gång- och cykelbron enbart bärs av den balken. Det är svårt att undvika denna ökning i belastning då den spårbundna lasten är just bunden med avseende på placering i tvärled och därför kan en förstärkning i längsled bli aktuell. I lastfall 3 ökar momentet i huvudbalkens mitt med 22,6 % gentemot lastfall 1.



Figur 32: Järnvägsbro i längsled. Momentdiagram över lastfallen 1-3

### 5.3 Analys

Då trafiklasterna kan förskjutas i tvärled, som i fallet med vägbron, kan det vara möjligt att med en måttlig breddning placera lasterna på sådant sätt att det belastande momentet inte ökar för mycket över stöd eller i fält. Detta medför att en väl genomtänkt breddning ger en ökad trafikkapacitet utan alltför stora negativa effekter i form av ökad belastning i tvärled i stora delar av bronns tvärsnitt. Behöver farbanan förstärkas är det i underkant mellan huvudbalkarna och i den konsol som breddas, vilket bör kunna göras utan att störa trafiken på bron alltför mycket. Även i längsled kan belastningen bibehållas oförändrad.

Då lasten är bunden till sin plats som i fallet med järnvägsbron kommer belastningen att förskjutas vid en breddning. Den balk som är närmast breddningen kommer att utsättas för en ökad belastning. I detta fall kan det komma att behövas en mer noggrann analys av bärförmåga och bron kan eventuellt behöva förstärkas.

Servicefordonet utgör för båda de utvalde broarna den största belastningen och ger de största momenten i tvärled. Änden på brobanekonsolen som inte är dimensionerad för att bära någon större last utsätts efter en breddning för laster och i alla studerade fall ökade momentet i konsolen. Denna del av bron kommer att behöva analyseras och eventuellt förstärkas, framförallt då ett servicefordon ska kunna framföras på gång- och cykelbanan.

## 5.4 Materialval

Beräkningarna visar att det är möjligt att byta ut en del av betongen i den befintliga konstruktionen mot ett lättare material vid en breddning. För att behålla samma egentyngd vid en breddning på 1,25 meter behöver mellan 0,11 och 0,24 meter av den befintliga konstruktionen bytas ut och ersättas med det lättare materialet för de studerade fallen. Detta motsvarar för vägbron en del som är mindre än kantbalken vilken är en del som är vanlig att byta ut vid reparationer. Vid en breddning på 3 meter behöver en motsvarande bredd av mellan 0,27 och 0,57 meter bytas ut.

Då kostnaden ofta är viktig vid val av byggnadsmaterial har en jämförelse mellan kostnaderna för de olika materialen gjorts där  $x$  anger den bredd av den befintliga brobanekonsolen som behöver bytas ut mot det lättare materialet för att bronns egentyngd ska vara oförändrad. I tabell 1 och 2 anges hur mycket den lättare konstruktionen väger per längdmeter och kostnaden per längdmeter. Trä är det material som har lägst kostnad men även det material där det behöver ersättas mest av den befintliga konstruktionen.

	x	kg/m	kr/kg	kr/m
Trä	0,238 m	119,04	10	1 090
FRP	0,113 m	57,41	71	4 076
Aluminium	0,167 m	85,02	50	4 251
Stål	0,185 m	94,14	35	3 294,9

Tabell 1: breddning med 1,25 meter

	x	kg/m	kr/kg	kr/m
Trä	0,571 m	285,68	10	2 856,8
FRP	0,27 m	137,73	71	9 778,8
Aluminium	0,4 m	204	50	10 200
Stål	0,443 m	225,86	35	7 905,1

Tabell 2: breddning med 3 meter

## 6 Diskussion

Detta projekt har gått ut på att studera de strukturella effekterna på en befintlig bro då en gång- och cykelbro hängs på. Resultatet visar att vid en mindre breddning och då trafiklasterna går att placera om blir effekterna måttliga. Däremot vid en större breddning eller där trafiklasterna inte går att placera om, som till exempel på järnvägsbroar där lasterna är spårbundna, blir effekterna större och åtgärder så som förstärkning kan bli nödvändiga. Studien ger en enklare analys över hur befintliga broar påverkas av att hänga på en gång- och cykelbro.

De broar som har valts ut att studera som fallstudier är smala vilket medför att effekterna av de excentriskt påförda lasterna blir relativt stora. På en bredare bro skulle samma excentriska last ge en mindre effekt på konstruktionen i stort men liknande effekt på konstruktionen lokalt vid brobanekonsolen. Hos en balkbro blir brobanekonsolen vid en breddning utsatt för en belastning som den inte är dimensionerad för. En noggrann kontroll av brobanekonsolen kan komma att behövas för att avgöra behovet av eventuell förstärkning. I litteraturen har det ofta varit brons bärande kapacitet i tvärled som nämns som ett område där kontroll och åtgärd behövs. Förekommande åtgärder för förstärkning av balkbroar har omfattat konsoler i stor omfattning men även spännarmerade betongplattor där spännarmeringen ligger i tvärled. Även kombinationer av spännarmering och konsoler förekommer.

Då en plattbro eller plattrambro har en hög konstruktionshöjd jämfört med brobanepattan hos en balkbro och då plattan hos en plattbro verkar som en bred balk, skulle denna typ av konstruktion kunna vara enklare att bredda med en gång- och cykelbana. Framförallt då lasterna kan fördelas om och breddningen är mindre, då breddningen kan fästas in direkt i plattan. Även här skulle en kontroll av brons tvärled behöva göras för att utreda om eventuell förstärkning behövs.

En projektering av en påhängd gång- och cykelbana på en befintlig bro innefattar även att den befintliga brons bärande kapacitet måste utredas. Detta medför att projekteringskostnaderna för en sådan åtgärd är högre än för projektering av en ny bro. Då kostnaden är av stor vikt i anbudsskedet blir alternativet att hänga på en gång- och cykelbro mindre attraktiv trots att totalkostnaden för en sådan lösning skulle kunna vara lägre.

I Sverige är den typ av breddning som har studerats i detta projekt mindre vanlig. Ebbe Rosell som är brospecialist på Trafikverket menar att breddningar av broar visst görs, men då för att få mer yta för vägtrafik. De krav och rekommendationer som finns för brobyggnad idag gör ingen skillnad på vilket trafikslag breddningen är ämnad för, vilket innebär att de kontroller som ska göras kan tyckas vara onödigt omfattande för att hänga på gång- och cykellast. Det är dock viktigt att komma ihåg att broar utsätts för stora påfrestningar och det är många situationer som måste tas i beaktande för att säkerställa en bros bärförmåga oavsett vilken åtgärd man ämnar göra.

För att en betongbros egentyngd ska behållas oförändrad vid en breddning kan de studerade lätta konstruktionsmaterialen trä, stål, aluminium eller fiberarmerad polymerkomposit användas. Resultaten visar att den del av den befintliga brons betongkonstruktion som behöver ersättas med ett lättare material är inte orimligt stor. I den undersökta litteraturen omnämns utbyte av brobanepplattor i betong mot ett lättare material som en åtgärd främst vid reparation och underhåll av broar då underbyggnadens bärkraft har minskat på grund av slitage, men vid en sådan åtgärd

kan en eventuell breddning tas i beaktande och på så sätt kan brons livslängd förlängas och brons trafikkapacitet aktualiseras till rådande trafikförhållanden.

Av de lätta materialen som studerats är trä det material där mest befintlig betong skulle behöva ersättas men även det material som har klart lägst kostnad. Trä kan dock vara besvärligt att ansluta mot betong då det kan uppstå fuktvandringar från betongen in i träet. Lämplig anslutning till befintlig bro skulle kunna utföras i stål. Fiberförstärkt polymerkomposit i det utförande som studerades här var det lättaste materialet och skulle kunna vara aktuellt om det rör sig om en större breddning.

Det är flera dimensioneringssituationer som är aktuella för att dimensionera en bro. Laster att ta hänsyn till omfattar fler än de som har använts i detta projekt. Främst trafiklasten är ofta mer komplex än till exempel bara lastmodell 1 som används vid beräkningarna av vägbron i detta projekt. Men då detta projekt har fokuserat på att se vad som händer i en befintlig bro när trafiklasten på bron ändras och en gång- och cykellast tillkommer så kan dessa beräkningar och resultat ändå anses vara relevanta för att kunna se effekterna som en breddning kan tänkas ha på en befintlig bro.

Utifrån den studerade litteraturen var resultaten delvis förväntade. Att en större påförd last skulle innebära en ökad belastning i tvärled var väntat. Likaså att en omplacering av trafiklasten skulle resultera i att den ökade belastningen av brons tvärled motverkades trots att den totala lasten ökade. Denna oförändrade belastning i tvärled förutsätter att trafiklasten är möjlig att placera om och det är något som får studeras vid varje enskilt fall av breddning.

Vidare arbete i detta ämne skulle kunna innefatta en noggrannare analys av en breddning av detta slag med finita elementmetoden eller liknade. Även studier av de kostnader som en påhängd gång- och cykelbro medför hade varit intressant att studera för att kunna jämföra med de kostnader som en ny gång- och cykelbro medför.

## 7 Slutsats

Detta projekt har utrett de strukturella effekterna på en befintlig bro då en gång- och cykelbro hängs på. Två fallstudier har gjorts där momentet i broarnas tvärled och längsled har beräknats i ett antal lastfall med laster på broar ur Eurokod.

Den främsta slutsatsen är att effekterna av att hänga på en gång- och cykelbro på en befintlig bro inte behöver bli alltför stora. Detta gäller på broar där trafiklasterna kan fördelas om i tvärled och breddökningen motsvarar 10-15 % av den ursprungliga bredden. Omfördelningen av lasterna gör att momentet i en bro kan behållas nära oförändrad i stora delar av bron i tvärled och i hela bron längsled trots att den totala lasten ökar. Därmed blir behovet av förstärkningar av den befintliga bron begränsat. Det är även möjligt att byta ut en del av en befintlig betongbros konstruktion mot ett lättare material vid breddning utan att förändra egentyngden.

I en fallstudie av en balkbro för vägtrafik som breddades med 1,25 meter, en breddökning på drygt 10 procent, och där trafiklasterna fördelats om visar resultaten att belastningen inte ökar avsevärt i bron tvärsnitt, över huvudbalken närmast breddningen kan belastningen till och med minska. Då bron däremot breddas med 3 meter, motsvarande en breddökning på 30 procent och där trafiklasterna inte fördelats om, visar resultaten att belastningen ökar avsevärt i bron tvärsnitt och över huvudbalken närmast breddningen. Här skulle en omfattande förstärkning behöva göras både i tvärled och i längsled för att klara av en sådan breddning.

En fallstudie av en balkbro för järnvägstrafik visar att en breddning som motsvarar ungefär 9 procent av bron bredd och där lasterna inte kan fördelas om ökar belastningen något och förskjuts i bron tvärsnitt till att belasta den huvudbalk som ligger närmast breddningen mer. Detta leder till en ökad belastning av bron både i tvärled och i längsled.

Studien visar att vid en breddning av en balkbro behöver brobanekonsolen analyseras noggrant och eventuellt förstärkas då belastningen på denna del av bron ökade i samtliga studerade lastfall. Då brobanekonsolen inte är dimensionerad för att bära last längst ut behöver den last som placeras där tas upp på något alternativt sätt. En möjlig lösning är att fästa in konsoler i huvudbalken som kan föra över en del av lasten direkt till denna.

## 8 Referenser

### 8.1 Litteraturförteckning

Al-Emrani, M. et al. (2011) *Bärande konstruktioner del 1*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Rapport 2011:11)

Bettis, A. (2007) Bridge widening issues. *Texas department of transportation FTP server*.

[http://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdotinfo/des/presentations/desbrgconf07/bettis%20design\\_issues\\_for\\_widening\\_and\\_phased\\_const.pdf](http://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdotinfo/des/presentations/desbrgconf07/bettis%20design_issues_for_widening_and_phased_const.pdf) (2014-01-27)

Burström, P.G. (2007) *Byggnadsmaterial – uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Andra upplagan. Lund: Studentlitteratur.

BaTMan. (a) Definitioner och begrepp – brotyper, fasta broar. *Definitioner och begrepp – brotyper, fasta broar*.  
[https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF\\_BrotyperFastaBroar.htm](https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF_BrotyperFastaBroar.htm) (2014-02-19)

BaTMan. (b) Definitioner och begrepp – Konstruktionsdelar bro, körbanaplatta/brobanaplatta. *Körbanaplatta*.  
<https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/15Korbanaplatta.htm> (2014-03-03)

Chavel, B. (2012) *Steel bridge design handbook: Bridge deck design*. Washington D.C: Federal Highway Administration. (Report No. FHWA-IF-12-052 – vol. 17)

Huang, C. Magnus A. R. (2008) An international perspective: widening existing bridges with orthotropic steel deck panels. *Structural Engineering International*. vol. 18, nr. 4, ss. 381 – 389.

Keller, T. (2003) *Use of fibre reinforced polymers in bridge construction*. Zurich: International Association for Bridge and Structural Engineering.

Lindunger, U. Stark, E. (2004) *Stål och aluminium – En jämförelse av materialegenskaper, LCI och återvinning*. Stockholm: Jernkontoret. (Rapport nr. D 812)

Modena, C. et al. (2012) Assessment and retrofitting of existing bridges. I *Bridge maintenance, safety, management, resilience and sustainability*; 8-12 juli, 2012, Stresa. S 78-97.

Ryall, M. (2009) *Bridge management*. Andra upplagan. Oxford, UK: Elsevier

Sprinkel, M. M. et al. (1998) *Guide for widening highway bridges*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute (ACI Report: 345.2R-98)

SS-EN 1991-2:2003. (a) *Eurokod 1: Laster på bärverk - del 2: Trafiklast på broar*. kap 4.3.2, Stockholm: SIS Förlag AB.

SS-EN 1991-2:2003. (b) *Eurokod 1: Laster på bärverk - del 2: Trafiklast på broar*. kap 6.3.2, Stockholm: SIS Förlag AB.

SS-EN 1991-2:2003. (c) *Eurokod 1: Laster på bärverk - del 2: Trafiklast på broar*. Tabell 5.1, Stockholm: SIS Förlag AB.

Trafikanalys. (2013) Transportarbete 1950- 2012. *Transportarbete* <http://www.trafa.se/sv/Statistik/Transportarbete/> (2014-02-04)

Trafikverket. (2011a) *Komplettering av förstudie, Ekerövägen, väg 261, Tappström-Nockeby, smal fyrfältsväg med busskörfält*. Sundbyberg: Trafikverket. (Objektnummer: 106617)

Trafikverket. (2011b) *TRVK Bro-11 Trafikverkets tekniska krav Bro*, kap. M.2.1. Borlänge: Trafikverket. (Publ.nr. 2011:085)

Trafikverket. (2011c) *TRVK Bro-11 Trafikverkets tekniska krav Bro*, kap.B.2.7.1. Borlänge: Trafikverket. (Publ.nr. 2011:085)

Trafikverket. (2011d) *TRVK Bro-11 Trafikverkets tekniska krav Bro*. Borlänge: Trafikverket. (Publ.nr. 2011:085)

Trafikverket. (2011e) *TRVR Bro-11 Trafikverkets tekniska råd Bro*. Borlänge: Trafikverket. (Publ.nr. 2011:086)

Trafikverket (2014) *Så sköter vi broar och tunnlar. Så sköter vi broar och tunnlar*. <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/> (2014-05-02)

Träguiden. (2014a) *Träguiden / Att välja trä / Träbroar*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/PageTwoColumn.aspx?id=6984> (2014-02-18)

Träguiden. (2014b) *Träguiden / Anvisningar och produktion / Konstruktionsexempel*. <http://www.traguiden.com/TGtemplates/PageTwoColumn.aspx?id=7027> (2014-04-29)

Vägverket, avdelningen för bro och tunnel. (1996) *Broprojektering – en handbok*. Borlänge: Vägverket (Publ nr. 1996:63)

Vägverket, avdelningen för bro och tunnel. (2000) *Förstudie till FoU-ramprojekt - Förbättring av befintliga broar*. Borlänge: Vägverket

Vägverket, enheten för statlig väghållning. (2001) *Broar och tunnlar inför 2000-talet*. Borlänge: Vägverket (publ. nr. 2001:18)

Vägverket. (2004) *Vägar och gators utformning*. Borlänge: Vägverket. (Publ.nr:2004:80)

Wang Q. Zhang Z. (2011) Orthotropic steel cantilever widening method of concrete box girders. *Structural Engineering International*, vol. 21, nr. 2, s. 228-232.

Xufei, S. et al. (2008) Analysis of structural behaviour in widened concrete box girder bridges, *Structural Engineering International*, vol. 18, nr. 4, ss. 351-355

Åstedt, B. Balkbroar. *Balkbroar*. [http://www.sbi.se/omraden/o\\_dokument.asp?mId=1&kId=4&subKId=121&mgrp=0&dId=89](http://www.sbi.se/omraden/o_dokument.asp?mId=1&kId=4&subKId=121&mgrp=0&dId=89) (2014-03-03)

## 8.2 Figurförteckning

Alla bilder i rapporten är använda med tillstånd från utgivare. Övriga bilder som ej redovisas i figurförteckningen är gjorda av författarna.

Figur 1: *Borneholm, Järnvägsbro över Väg 955 km 288+821*. [Foto] BaTMan, J5667, Trafikverket-UHnby

Figur 2: *Breddning av västra gångbanan, sammanställning*. [Ritning] BaTMan, Bro över Tappström vid Tappsund på väg 816, 2-231-1, Trafikverket-UHnby

Figur 3: *Breddning av västra gångbanan, gångbanekonsol*. [Ritning] BaTMan, Bro över Tappström vid Tappsund på väg 816, 2-231-1, Trafikverket-UHnby

Figur 4: *Ny gång och cykelbana, tvärsektion, raklinje*. [Ritning] BaTMan, 0497 Bro över Källösund på väg 160. Göteborg och Bohuslän, 4, Trafikverket-UHnby

Figur 5: *Figur 4.2a – Tillämpning av lastmodell 1* [Figur] Swedish standards institute, SS-EN 1991-2, kap 4.3.2, Stockholm: SIS Förlag AB

Figur 6: *Tabell 4.2 – Lastmodell 1: karakteristiska värden* [Tabell] Swedish standards institute, SS-EN 1991-2, kap 4.3.2, Stockholm: SIS Förlag AB

Figur 7: *Tabell 7.1 Anpassningsfaktorer  $\alpha$*  [Tabell] Trafikverkets författningssamling, TRVFS 2011:12, kap 6, 4 §, Borlänge: Trafikverket

Figur 8: *Figur 6.1 – Lastmodell LM 71 och karakteristiska värden på vertikala laster* [Figur] Swedish standards institute, SS-EN 1991-2, kap 6.3.2, Stockholm: SIS Förlag AB

Figur 9: *Figur 5.2 – Olyckslast* [Figur] Swedish standards institute, SS-EN 1991-2, kap 5.6.3, Stockholm: SIS Förlag AB

Figur 10: *Sammanställning*. [Ritning] BaTMan, Bro över Nötesund vid Vindön (Nötesundsbron), 14-584-1, Trafikverket-UHnby

Figur 11: *Brounderhåll 2006. sammanställning*. [Ritning] BaTMan, Bro över Nötesund vid Vindön (Nötesundsbron), 14-584-1, Trafikverket-UHnby

Figur 19: *Sammanställning* [Ritning] BaTMan, Bro över allmän väg 1,0 km NO Göteborg Centralstn, km 455+867, 3500-5061-1, Trafikverket-UHnby



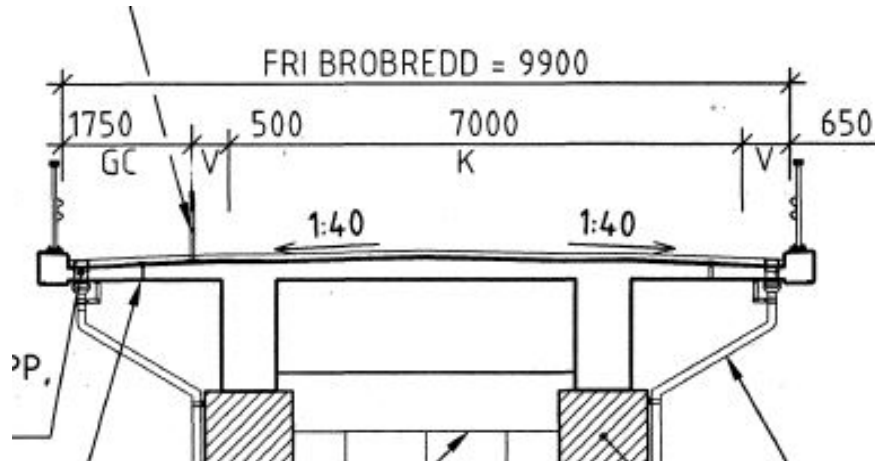
# BILAGA A



## Innehållsförteckning

Kap. 1:	Beräkning av vägbro, beräkningar i tvärled	A4
	Sammanställning av vägbro, tvärled	A26
Kap. 2:	Beräkning av vägbro, beräkningar i längsled	A28
	Sammanställning av vägbro, längsled	A52
Kap. 3:	Beräkning av järnvägsbro, beräkningar i tvärled	A54
	Sammanställning av järnvägsbro, tvärled	A62
Kap.4:	Beräkning av järnvägsbro, beräkningar i längsled	A63
	Sammanställning av järnvägsbro, längsled	A68
Kap. 5:	Beräkning av materialutbyte	A69

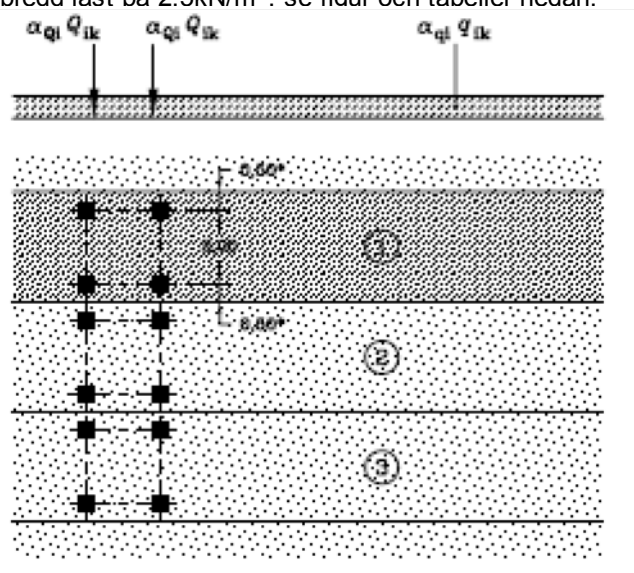
# 1. Beräkning av vägbro, beräkningar i tvärläng belastad med bredare gång- och cykelbana



Bron ligger vid Orust, i Västra Götalands län och sträcker sig över Nötesund. Bron har en mindre gång- och cykelbana på 1,75m som ska breddas till 3m.

I beräkningarna nedan tas ingen hänsyn till egentygnd på grund av antagandet att den är relativt oförändrad i alla lastfall. Breddningen sker genom att en liten del av betongen bilas bort och ersätts med mer av ett lättare material, därav antagandet att egentygnden förblir relativt oförändrad.

Tvärsnittet är belastat enligt lastmodell 1 (SS-EN 1991-2:2003, kap 4.3.2). En 3m utbredd last på  $6,3\text{kN/m}^2$  med tillhörande axellaster på 270kN i lastfält 1, följt av en 3m utbredd last på  $2,5\text{kN/m}^2$  med tillhörande axellaster på 180kN i lastfält 2 och slutligen resterande ytor som belastas med en utbredd last på  $2,5\text{kN/m}^2$ . se figur och tabeller nedan.



Läge	Boggisystem	Utbredd last
	Axellast $Q_a$ (kN)	$q_a$ (eller $q_n$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Lastfält nummer 1	300	9
Lastfält nummer 2	200	2,5
Lastfält nummer 3	100	2,5
Övriga lastfält	0	2,5
Återstående yta ( $q_n$ )	0	2,5

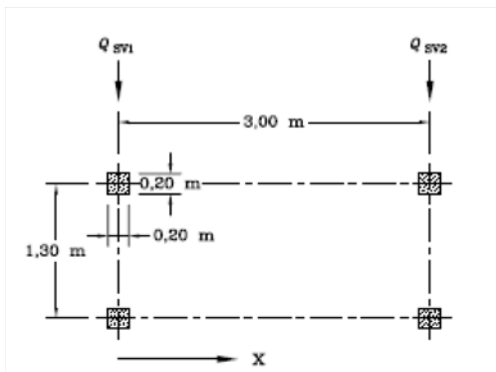
Tabell 7.1 Anpassningsfaktorer  $\alpha$

$\alpha_{Q1}$	0,9
$\alpha_{Q2}$	0,9
$\alpha_{Q3}$	0
$\alpha_{q1}$	0,7
$\alpha_{qi}$	1,0 för $i > 1$
$\alpha_{qr}$	1,0

(VVFS 2006:61)

Karakteristiska laster på bron från lastmodell 1, de karakteristiska värdena ska anpassas med en faktor  $\alpha$ .

Gång- och cykelbanan är belastad med en utbredd last på 5 kN/m<sup>2</sup> och axellast från servicefordon, 80kN respektive 40kN, som fördelas på två däck. Den utbredda lasten och lasten från servicefordone uppstår inte samtidigt enligt SS-EN-1991-2 tabell 5.1.



#### Axellaster enl Eurokod:

$$Q_{sv1} := 80\text{kN}$$

$$Q_{sv2} := 40\text{kN}$$

Figur över servicefordonet och lasternas placering.

Beräkningarna visar belastning i den mest belastade balken A och fördelningen av lasten mellan balkarna. Momentet är definierat som positivt då det är drag i underkant. Beräkningarna utgår från servicefordonets längd, 3,2 meter. Alla punktlaster inom den längden tas med i beräkningarna.

#### Laster:

Utbredd last körfält 1:

$$q_1 := 6.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.2\text{m} = 20.16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last körfält 2:

$$q_2 := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.2\text{m} = 8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last körfält 3 samt övrig yta:

$$q_3 := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.2\text{m} = 8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last på gång - och cykelbana:

$$q_{gc} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.2\text{m} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Punktlast körfält 1:

$$Q_1 := 270\text{kN}$$

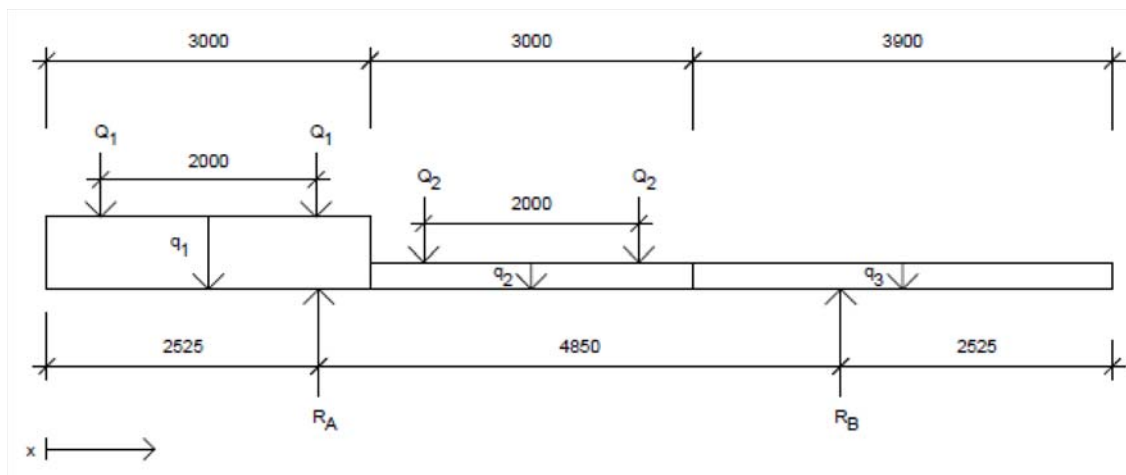
Punktlast körfält 2:

$$Q_2 := 180\text{kN}$$

Axellast från servicefordon

$$Q_{axel} := \frac{Q_{sv1} + Q_{sv2}}{2} = 60 \cdot \text{kN}$$

## 1.1 Lastfall 1, befintlig bro oförändrad



Beräkningen i lastfall 1 och 2 är gjord med hänsyn till att körfälten på bron tidigare har varit placerade på ett annat sätt och därför antas att bron är dimensionerad för biltrafik även på den befintliga gång- och cykelbanan.

I Lastfall 1 är det tyngsta lastfältet placerat i ytterkant bro.

längd från kant till stöd:

$$l_1 := 2.525\text{m}$$

längd mellan stöd:

$$l_2 := 4.85\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd från stöd B till  $q_2$ :

$$l_{B\_q_2} := l_1 + l_2 - 2 \cdot l_{kf} = 1.375\text{ m}$$

Moment kring B ger:

$$q := q_3 \cdot \frac{(l_{B\_q_2})^2}{2} + q_2 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + 1.5 \cdot l_{kf} \right) - q_3 \cdot \frac{(l_1)^2}{2}$$

$$Q := Q_2 \cdot (l_{B\_q_2} + 0.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B\_q_2} + 2.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_q_2} + 3.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_q_2} + 5.5\text{m})$$

Given

$$R_A := 0 \text{ kN} \quad (\text{Vi gissar ett värde för att mathcad ska kunna räkna ut } R_A)$$

$$R_A \cdot l_2 = q + Q$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 951.315 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot1}} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + (q_1 + q_2) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot 3.9 \text{ m} = 1.016 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot1}} - R_A = 64.365 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Filfaktor i stöd A: } ff_{A1} := \frac{R_A}{P_{\text{tot1}}} = 0.937$$

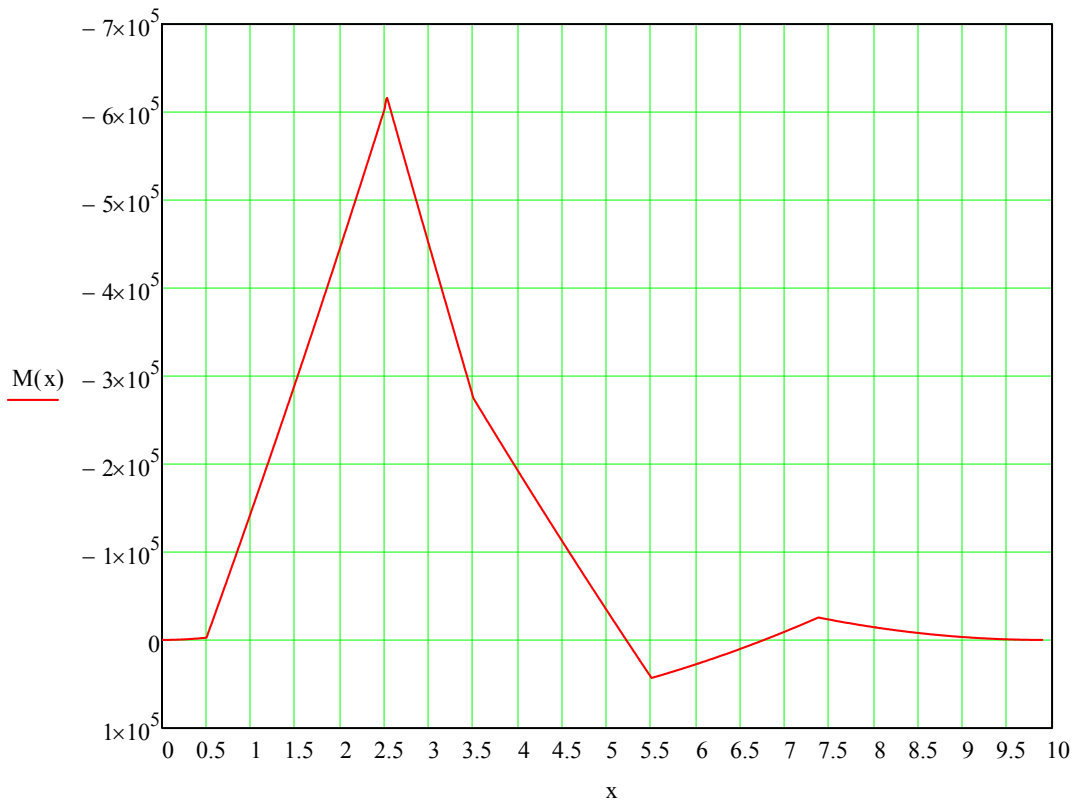
### Moment i tvärlid:

Maximalt negativt moment i tvärlid vid stöd A:

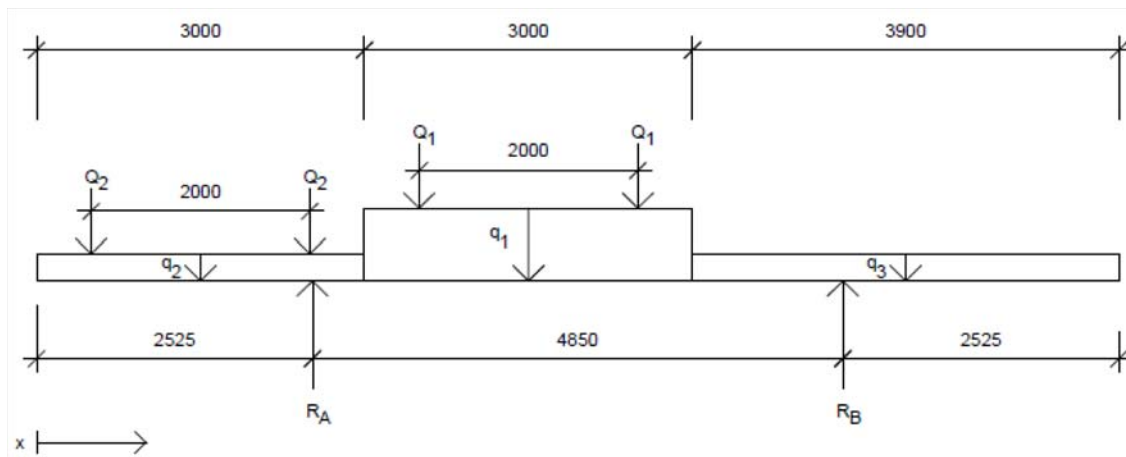
$$M_{1\text{stöd}} := M(2.525 \text{ m}) = -617.766 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlid vid last Q2 5,5 meter:

$$M_{1\text{fält}} := M(5.5 \text{ m}) = 43.244 \cdot \text{kNm}$$



## 1.2 Lastfall 2, befintliga bron oförändrad



I lastfall 2 är det tyngsta lastfältet placerat mer centriskt i brospannet men fortfarande närmare balk A.

längd från kant till stöd:  $l_1 := 2.525\text{m}$

längd mellan stöd:  $l_2 := 4.85\text{m}$

Längd på körfält:  $l_{kf} := 3\text{m}$

Längd från stöd B till  $q_2$ :  $l_{B-q_2} := l_1 + l_2 - 2 \cdot l_{kf} = 1.375\text{ m}$

Moment kring B ger:

$$q := q_3 \cdot \frac{(l_{B-q_2})^2}{2} + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B-q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_2 \cdot l_{kf} \cdot (l_{B-q_2} + 1.5 \cdot l_{kf}) - q_3 \cdot \frac{(l_1)^2}{2}$$

$$Q := Q_1 \cdot (l_{B-q_2} + 0.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B-q_2} + 2.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B-q_2} + 3.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B-q_2} + 5.5\text{m})$$

Given

$$R_A \cdot l_2 = q + Q$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 817.41 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}2} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + (q_1 + q_2) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot 3.9\text{m} = 1.016 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}2} - R_A = 198.27 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Filfaktor i stöd A: } ff_{A2} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}2}} = 0.805$$

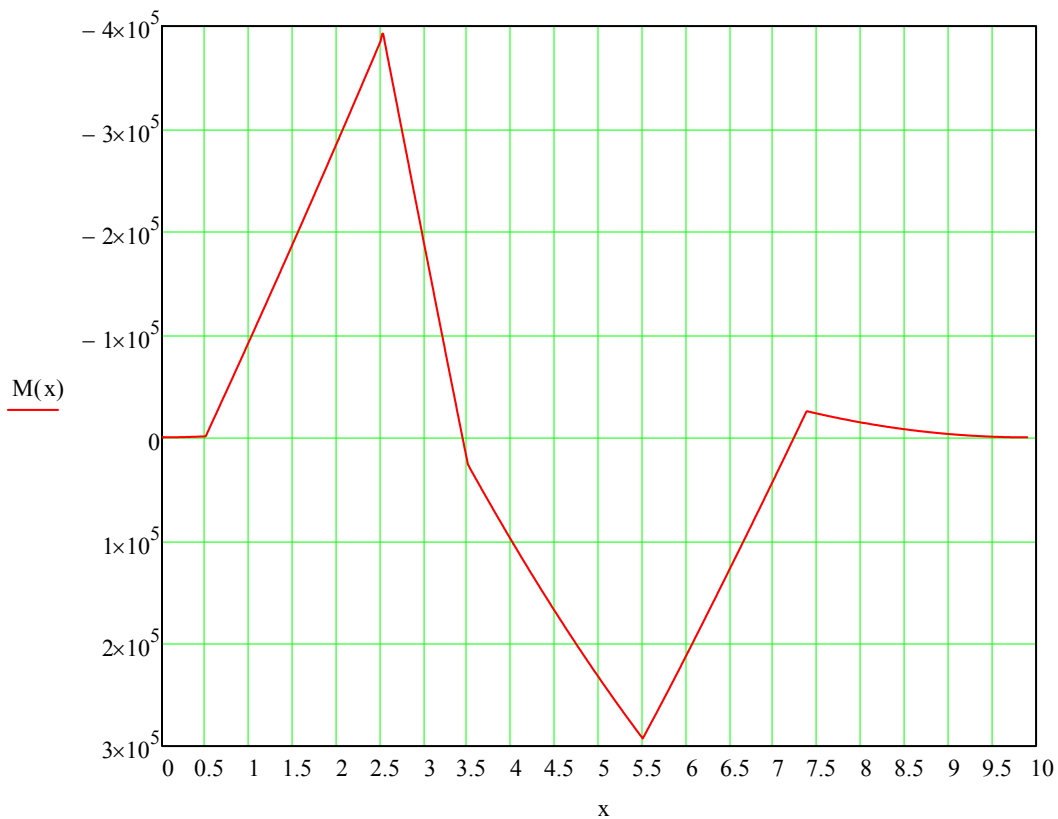
### Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

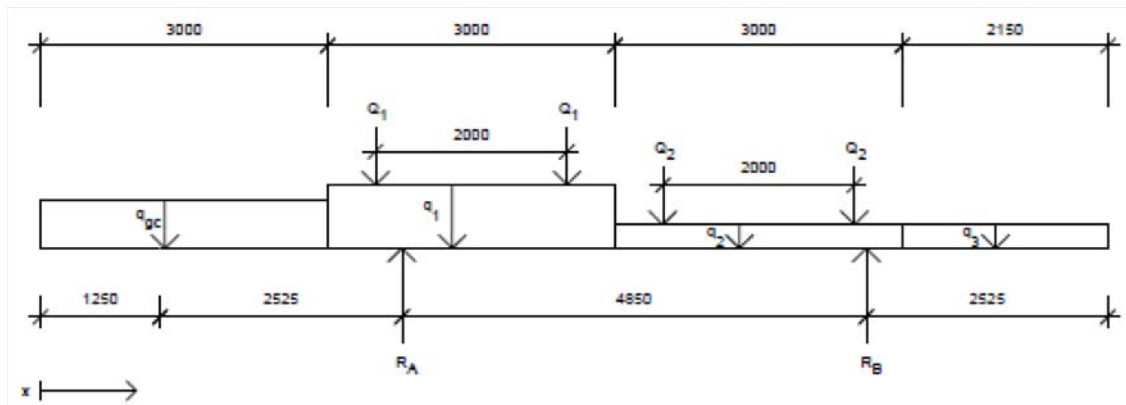
$$M_{2\text{stöd}} := M(2.525\text{m}) = -394.502 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid punktlast 5,5 meter:

$$M_{2\text{fält}} := M(5.5\text{m}) = 292.796 \cdot \text{kNm}$$



### 1.3 Lastfall 3, breddad gc-bana belastad med utbredd last



I lastfall 3 är bron breddad med 1,25 meter och utbredd gång - och cykellast är placerad på de yttersta 3 meterna. Det tyngsta körfältet ligger intill gång - och cykelbanan.

längd mellan stöd:

$$l_1 := 4.85\text{m}$$

resterande längd från stöd B:

$$l_2 := 2.525\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd på utbredda lasten  $q_3$ :

$$l_{q_3} := 2.15\text{m}$$

Längd från stöd B till utbredd last  $q_3$ :

$$l_{B\_q_3} := l_2 - l_{q_3} = 0.375\text{m}$$

Längd på  $q_2$  mellan stöd B och  $q_1$ :

$$l_{q_2} := l_{kf} - l_{B\_q_3} = 2.625\text{m}$$

Längd från stöd B till första punktlast  $Q_2$ :

$$l_{B\_Q_2} := 0.5\text{m} - l_{B\_q_3} = 0.125\text{m}$$

Moment kring B ger:

$$q_{tot1} := q_2 \cdot \frac{(l_{q_2})^2}{2} + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_{gc} \cdot l_{kf} \cdot (l_{q_2} + 1.5 \cdot l_{kf})$$

$$q_{tot2} := q_2 \cdot \frac{(l_{B\_q_3})^2}{2} + q_3 \cdot l_{q_3} \cdot \left( l_{B\_q_3} + \frac{l_{q_3}}{2} \right)$$

$$q_{tot} := q_{tot1} - q_{tot2}$$

$$Q := Q_2 \cdot l_{B\_Q_2} + Q_2 \cdot (l_{B\_Q_2} + 2\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_Q_2} + 3\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_Q_2} + 5\text{m})$$

Given

$$R_A \cdot l_1 = q_{\text{tot}} + Q$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 665.163 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}3} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + (q_1 + q_2 + q_{\text{gc}}) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot l_{q_3} = 1.05 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}3} - R_A = 384.517 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Filfaktor i stöd A: } ff_{A3} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}3}} = 0.634$$

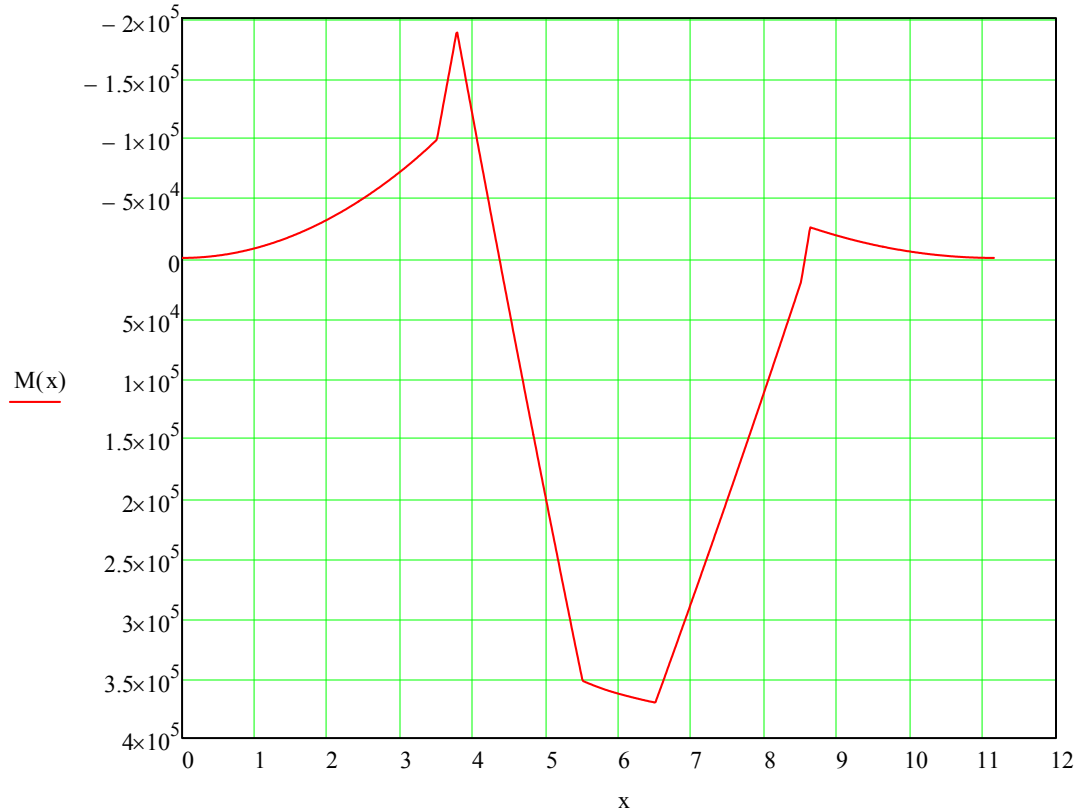
Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

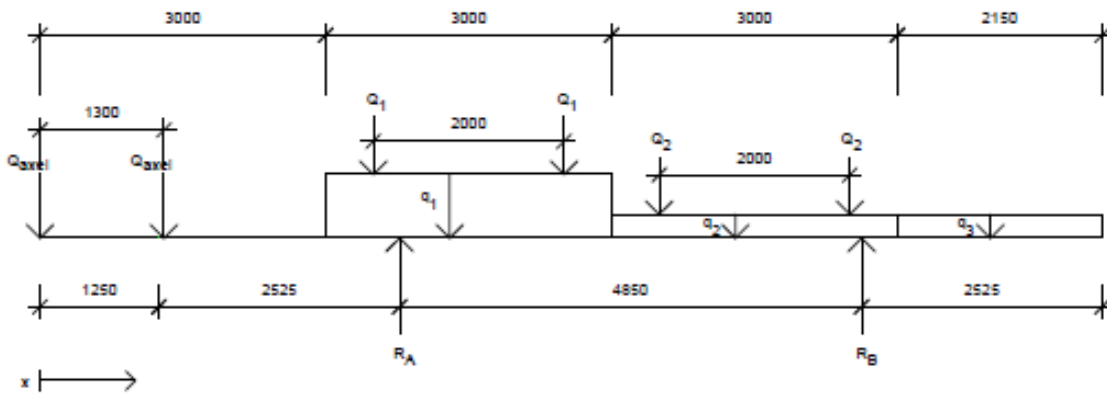
$$M_{3\text{stöd}} := M(3.775\text{m}) = -189.504 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid punktlast 6,5 meter:

$$M_{3\text{fält}} := M(6.5\text{m}) = 370.609 \cdot \text{kNm}$$



## 1.4 Lastfall 4, breddad gc-bana belastad med servicefordon



Lastfall 4 är som lastfall 3 men med serviefordonets tyngsta axel placerat längst ut på gång- och cykelbanan.

längd mellan stöd:

$$l_1 := 4.85\text{m}$$

resterande längd från stöd B:

$$l_2 := 2.525\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd på utbredda lasten  $q_3$ :

$$l_{q_3} := 2.15\text{m}$$

Längd från stöd B till utbredd last  $q_3$ :

$$l_{B\_q_3} := l_2 - l_{q_3} = 0.375\text{m}$$

Längd på  $q_2$  mellan stöd B och  $q_1$ :

$$l_{q_2} := l_{kf} - l_{B\_q_3} = 2.625\text{m}$$

Längd från stöd B till första punktlast  $Q_2$ :

$$l_{B\_Q_2} := 0.5\text{m} - l_{B\_q_3} = 0.125\text{m}$$

Längd från stöd A till  $Q_{axel}$  placerad på kanten:

$$l_{Q_{axel}} := 3.775\text{m}$$

Moment kring B ger:

$$Q_{tot} := q_2 \cdot \frac{(l_{q_2})^2}{2} + q_1 \cdot l_{kf} \cdot (l_{q_2} + 1.5\text{m}) - \left[ q_2 \cdot \frac{(l_{B\_q_3})^2}{2} + q_3 \cdot l_{q_3} \cdot \left( l_{B\_q_3} + \frac{l_{q_3}}{2} \right) \right]$$

$$Q_{tot1} := Q_2 \cdot l_{B\_Q_2} + Q_2 \cdot (l_{B\_Q_2} + 2\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_Q_2} + 3\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_Q_2} + 5\text{m})$$

$$Q_{tot2} := Q_{axel} \cdot (l_{Q_{axel}} + l_1) + Q_{axel} \cdot (l_{Q_{axel}} + l_1 - 1.3\text{m})$$

$$Q_{tot} := Q_{tot1} + Q_{tot2}$$

Given

$$R_A \cdot l_1 = q_{\text{tot}} + Q_{\text{tot}}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 791.967 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot4}} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + Q_{\text{axel}} + Q_{\text{axel}} + (q_1 + q_2) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot l_{q_3} = 1.122 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot4}} - R_A = 329.713 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Filfaktor i stöd A: } ff_{A4} := \frac{R_A}{P_{\text{tot4}}} = 0.706$$

### Moment i tvärled:

Maximalt negativt moment i tvärled vid stöd A:

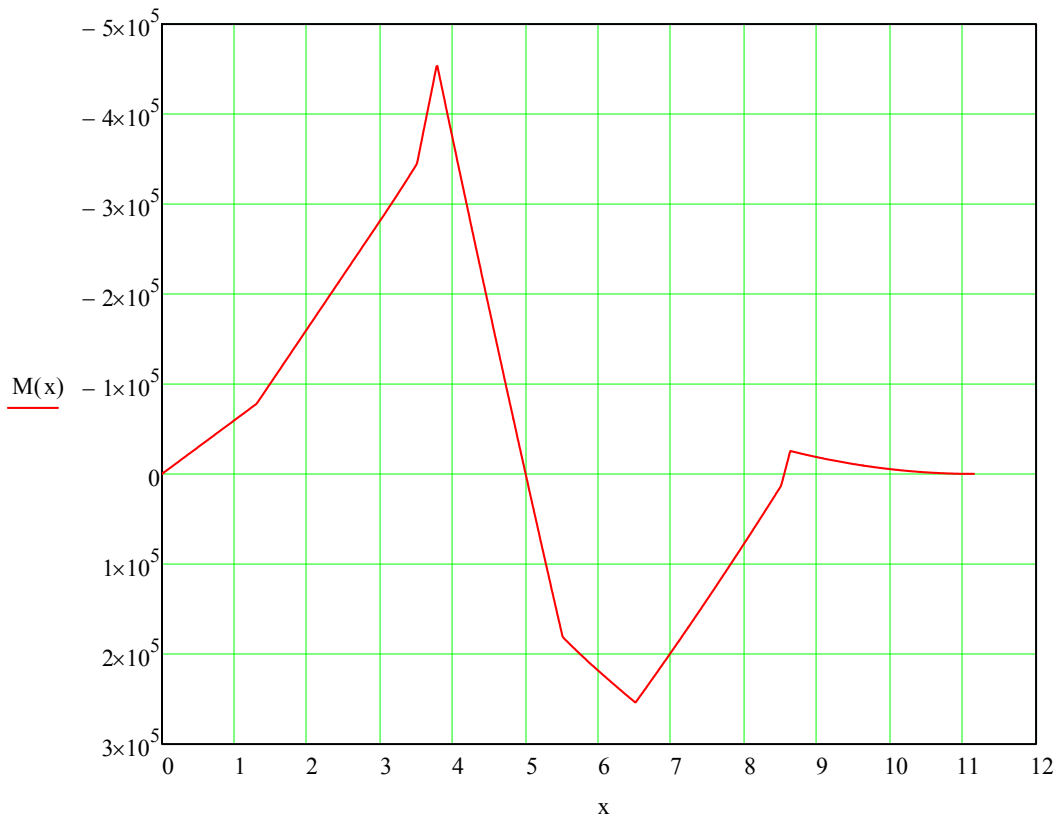
$$M_{4\text{stöd}} := M(3.775\text{m}) = -455.304 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärled vid punktlast 6,5 meter:

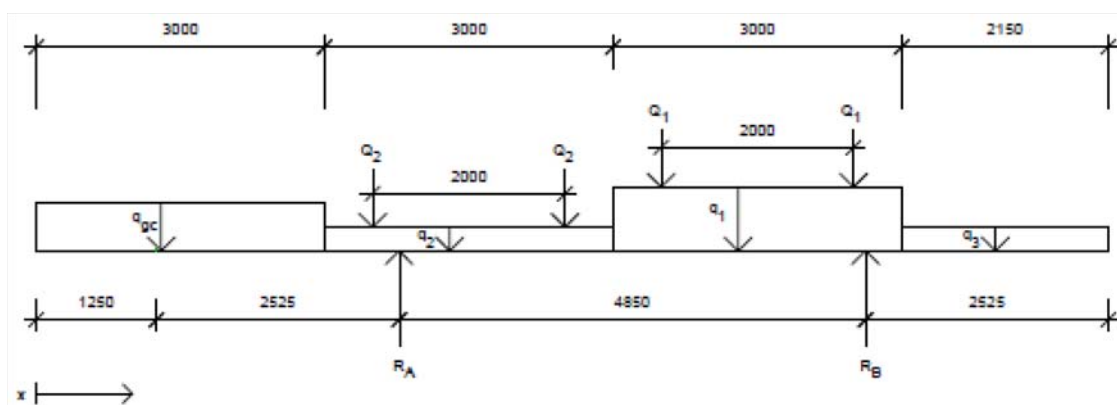
$$M_{4\text{fält}} := M(6.5\text{m}) = 254.15 \cdot \text{kNm}$$

Momentet efter 1,25 meter där momentet tidigare var noll:

$$M_{4\text{konsol}} := M(1.25\text{m}) = -75 \cdot \text{kNm}$$



## 1.5 Lastfall 5, breddad gc-bana belastad med utbredd last



Lastfall 5 är utbredd last på gång - och cykelbanan med det tyngsta lastfältet placerat mer centriskt än i lastfall 3.

konsolens längd:	$l_{\text{konsol}} := 3.775 \text{ m}$
längd mellan stöd:	$l_1 := 4.85 \text{ m}$
resterande längd från stöd B:	$l_2 := 2.525 \text{ m}$
Längd på körfält:	$l_{\text{kf}} := 3 \text{ m}$
Längd på utbredda lasten $q_3$ :	$l_{q_3} := 2.15 \text{ m}$
Längd från stöd B till utbredd last $q_3$ :	$l_{B_{q_3}} := l_2 - l_{q_3} = 0.375 \text{ m}$
Längd på $q_1$ mellan stöd B och $q_2$ :	$l_{q_1} := l_{\text{kf}} - l_{B_{q_3}} = 2.625 \text{ m}$
Längd från stöd B till första punklast $Q_2$ :	$l_{B_{Q_2}} := 0.5 \text{ m} - l_{B_{q_3}} = 0.125 \text{ m}$

Moment kring B ger:

$$q_{\text{tot1}} := q_1 \cdot \frac{(l_{q_1})^2}{2} + q_2 \cdot l_{\text{kf}} \cdot (l_{q_1} + 1.5 \text{ m}) + q_{\text{gc}} \cdot l_{\text{kf}} \cdot (l_{q_1} + 4.5 \text{ m})$$

$$q_{\text{tot2}} := q_1 \cdot \frac{(l_{B_{q_3}})^2}{2} + q_3 \cdot l_{q_3} \cdot \left( l_{B_{q_3}} + \frac{l_{q_3}}{2} \right)$$

$$q_{\text{tot}} := q_{\text{tot1}} - q_{\text{tot2}}$$

$$Q := Q_1 \cdot l_{B_{Q_2}} + Q_1 \cdot (l_{B_{Q_2}} + 2 \text{ m}) + Q_2 \cdot (l_{B_{Q_2}} + 3 \text{ m}) + Q_2 \cdot (l_{B_{Q_2}} + 5 \text{ m})$$

Given

$$R_A \cdot l_1 = q_{\text{tot}} + Q$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 531.258 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot5}} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + (q_1 + q_2 + q_{\text{gc}}) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot l_{q_3} = 1.05 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot5}} - R_A = 518.422 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor i stöd A: 
$$ff_{A5} := \frac{R_A}{P_{\text{tot5}}} = 0.506$$

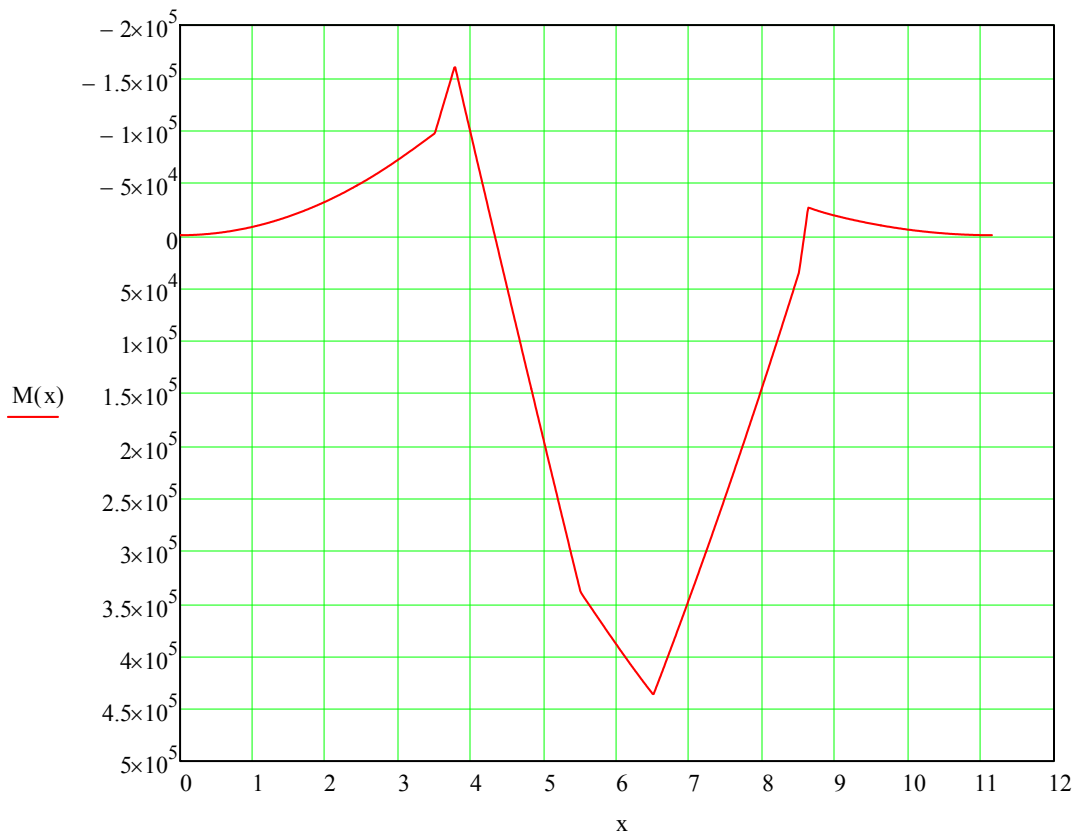
### Moment i tvärled:

Maximalt negativt moment i tvärled vid stöd A:

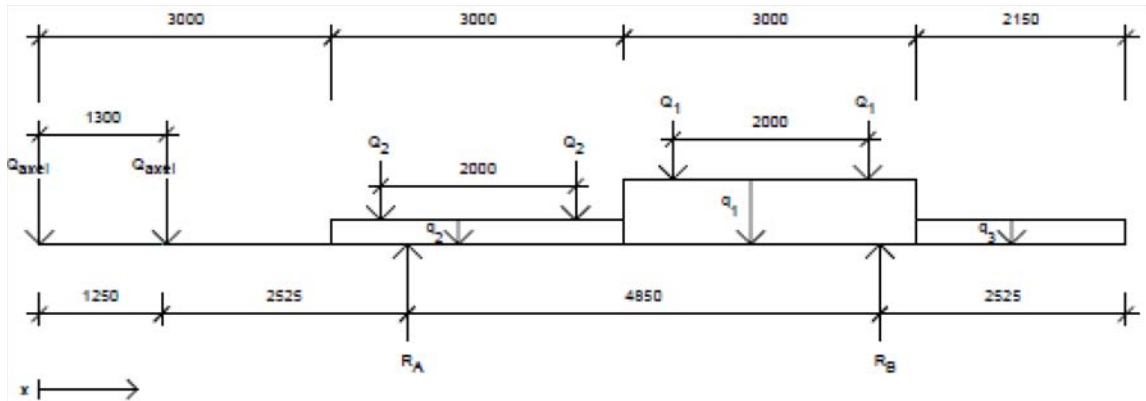
$$M_{5\text{stöd}} := M(3.775\text{m}) = -161.102 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärled vid punktlast 6,5 meter:

$$M_{5\text{fält}} := M(6.5\text{m}) = 437.157 \cdot \text{kNm}$$



## 1.6 Lastfall 6, breddad gc-bana belastad med servicefordon



Lastfall 6 är som lastfall 5 men med servicefordonets tyngsta axel placerad längst ut på gång- och cykelbanan.

konsolens längd:	$l_{\text{konsol}} := 3.775 \text{ m}$
längd mellan stöd:	$l_1 := 4.85 \text{ m}$
resterande längd från stöd B:	$l_2 := 2.525 \text{ m}$
Längd på körfält:	$l_{\text{kf}} := 3 \text{ m}$
Längd på utbredda lasten $q_3$ :	$l_{q_3} := 2.15 \text{ m}$
Längd från stöd B till utbredd last $q_3$ :	$l_{B_{q_3}} := l_2 - l_{q_3} = 0.375 \text{ m}$
Längd på $q_1$ mellan stöd B och $q_2$ :	$l_{q_1} := l_{\text{kf}} - l_{B_{q_3}} = 2.625 \text{ m}$
Längd från stöd B till första punktlast $Q_2$ :	$l_{B_{Q_2}} := 0.5 \text{ m} - l_{B_{q_3}} = 0.125 \text{ m}$

Moment kring B ger:

$$Q_{\text{tot}} := q_1 \cdot \frac{(l_{q_1})^2}{2} + q_2 \cdot l_{\text{kf}} \cdot (l_{q_1} + 1.5 \text{ m}) - \left[ q_1 \cdot \frac{(l_{B_{q_3}})^2}{2} + q_3 \cdot l_{q_3} \cdot \left( l_{B_{q_3}} + \frac{l_{q_3}}{2} \right) \right]$$

$$Q_{\text{tot1}} := Q_1 \cdot l_{B_{Q_2}} + Q_1 \cdot (l_{B_{Q_2}} + 2 \text{ m}) + Q_2 \cdot (l_{B_{Q_2}} + 3 \text{ m}) + Q_2 \cdot (l_{B_{Q_2}} + 5 \text{ m})$$

$$Q_{\text{tot2}} := Q_{\text{axel}} \cdot (l_{\text{konsol}} + l_1) + Q_{\text{axel}} \cdot (l_{\text{konsol}} + l_1 - 1.3 \text{ m})$$

$$Q_{\text{tot}} := Q_{\text{tot1}} + Q_{\text{tot2}}$$

Given

$$R_A \cdot l_1 = q_{\text{tot}} + Q_{\text{tot}}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 658.062 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot6}} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + Q_{\text{axel}} \cdot 2 + (q_1 + q_2) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot l_{q_3} = 1.122 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot6}} - R_A = 463.618 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor i stöd A: 
$$ff_{A6} := \frac{R_A}{P_{\text{tot6}}} = 0.587$$

### Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

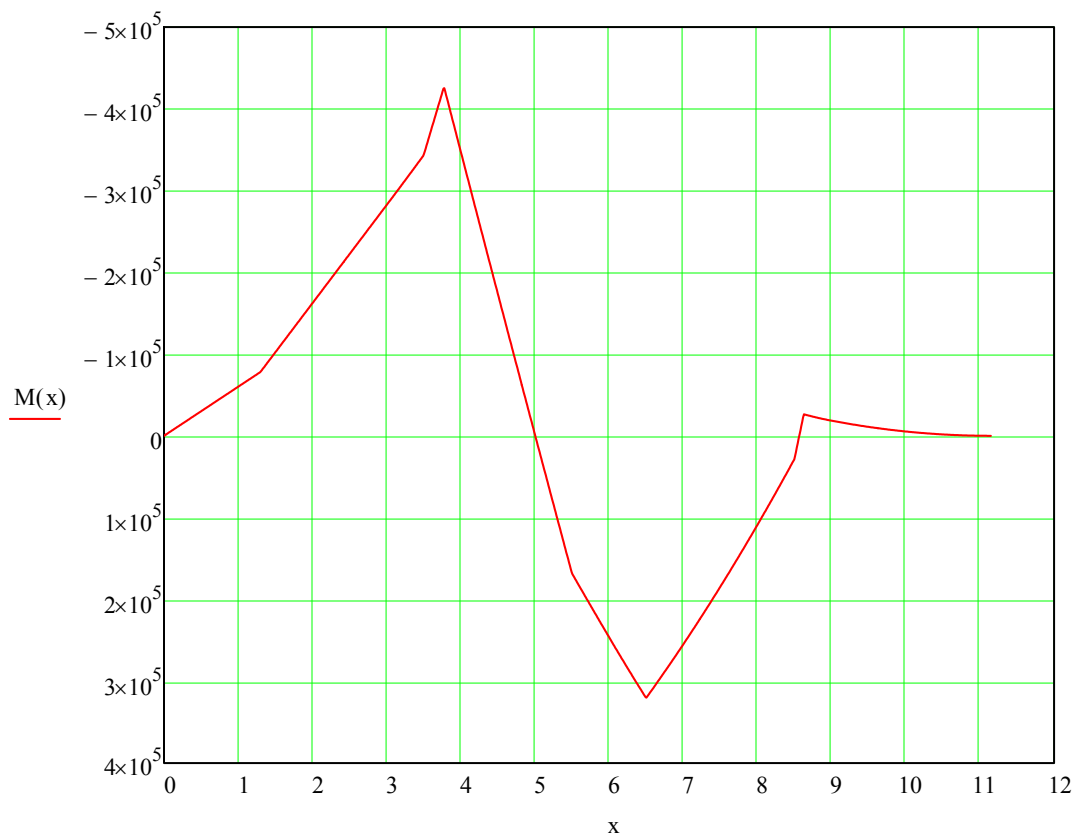
$$M_{6\text{stöd}} := M(3.775\text{m}) = -426.902 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid punktlast 6,5 meter:

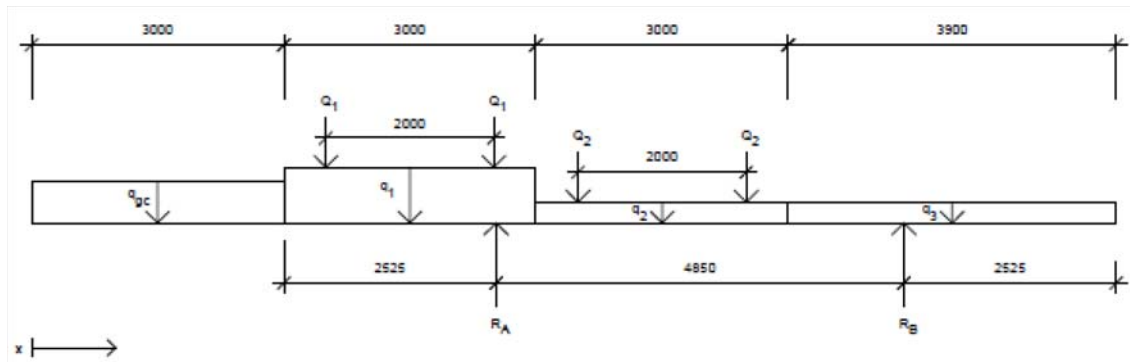
$$M_{6\text{fält}} := M(6.5\text{m}) = 320.699 \cdot \text{kNm}$$

Momentet efter 1,25 meter där momentet tidigare var noll:

$$M_{6\text{konsol}} := M(1.25\text{m}) = -75 \cdot \text{kNm}$$



## 1.7 Lastfall 7, bro breddad 3 m, gc-bana belastad med utbredd last



I lastfall 7 är bron breddad med hela gång - och cykelbanans bredd, 3 meter. Det tyngsta lastfältet är sedan placerat närmast gång - och cykelbanan.

längd från kant till stöd:

$$l_1 := 2.525\text{m}$$

längd mellan stöd:

$$l_2 := 4.85\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd från stöd B till  $q_2$ :

$$l_{B\_q_2} := l_1 + l_2 - 2 \cdot l_{kf} = 1.375\text{ m}$$

Moment kring B ger:

$$q_{tot1} := q_3 \cdot \frac{(l_{B\_q_2})^2}{2} + q_2 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + 1.5 \cdot l_{kf} \right) + q_{gc} \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + 2.5 \cdot l_{kf} \right)$$

$$q_{tot2} := q_3 \cdot \frac{(l_1)^2}{2}$$

$$q := q_{tot1} - q_{tot2}$$

$$Q := Q_2 \cdot (l_{B\_q_2} + 0.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B\_q_2} + 2.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_q_2} + 3.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_q_2} + 5.5\text{m})$$

Given

$$R_A := 0 \text{ kN} \quad (\text{Vi gissar ett värde för att mathcad ska kunna räkna ut } R_A)$$

$$R_A \cdot l_2 = q + Q$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 1.039 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}7} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + (q_1 + q_2 + q_{gc}) \cdot l_{kf} + q_3 \cdot 3.9 \text{ m} = 1.064 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}7} - R_A = 24.529 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Filfaktor i stöd A:} \quad ff_{A7} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}7}} = 0.977$$

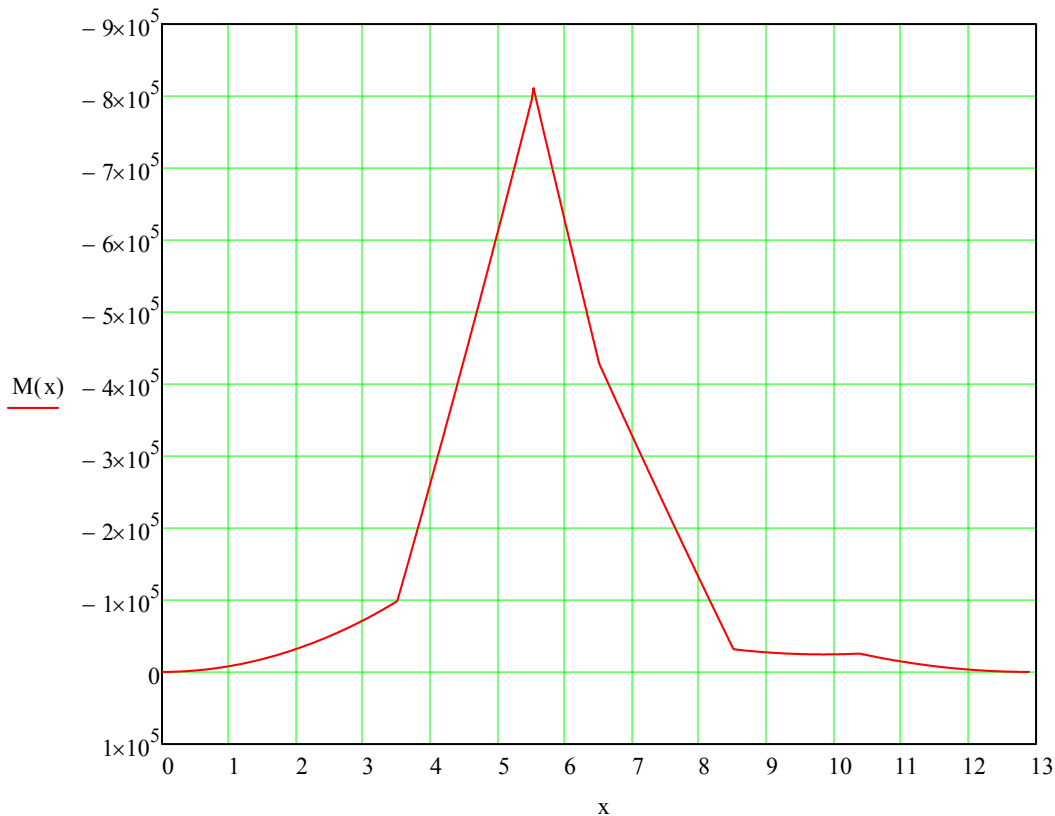
### Moment i tvärled:

Maximalt negativt moment i tvärled vid stöd A:

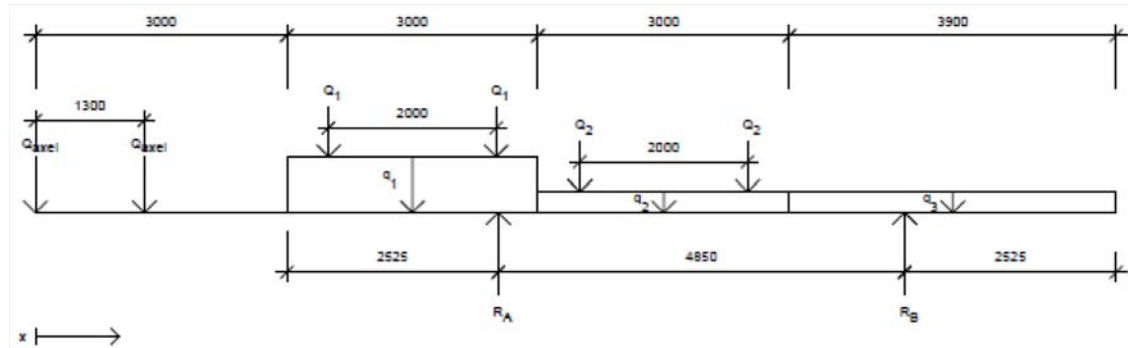
$$M_{7\text{stöd}} := M(5.525 \text{ m}) = -810.966 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärled vid punktlast 6,5 meter:

$$M_{7\text{fält}} := M(8.5 \text{ m}) = -31.447 \cdot \text{kNm}$$



## 1.8 Lastfall 8, bro breddad 3 m, gc-bana belastad med servicefordon



Lastfall 8 är som lastfall 7 men med servicefordonets tyngsta axel placerat längst ut på gång- och cykelbanan.

längd från kant till stöd:

$$l_1 := 2.525\text{m}$$

längd mellan stöd:

$$l_2 := 4.85\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd från stöd B till  $q_2$ :

$$l_{B-q_2} := l_1 + l_2 - 2 \cdot l_{kf} = 1.375\text{ m}$$

Längd på  $q_3$ :

$$l_{q_3} := 3.9\text{m}$$

Moment kring B ger:

$$Q_{tot} := q_3 \cdot \frac{(l_{B-q_2})^2}{2} + q_2 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B-q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B-q_2} + 1.5 \cdot l_{kf} \right) - q_3 \cdot \frac{l_1^2}{2}$$

$$Q_{tot1} := Q_2 \cdot (l_{B-q_2} + 0.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B-q_2} + 2.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B-q_2} + 3.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B-q_2} + 5.5\text{m})$$

$$Q_{tot2} := Q_{axel} \cdot (l_2 + l_1 + l_{kf}) + Q_{axel} \cdot (l_2 + l_1 + l_{kf} - 1.3\text{m})$$

$$Q_{tot} := Q_{tot1} + Q_{tot2}$$

Given

$$R_A \cdot l_2 = q_{\text{tot}} + Q_{\text{tot}}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 1.192 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot8}} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + Q_{\text{axel}} \cdot 2 + (q_1 + q_2) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot l_{q_3} = 1.136 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot8}} - R_A = -56.254 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor i stöd A: 
$$ff_{A8} := \frac{R_A}{P_{\text{tot4}}} = 1.063$$

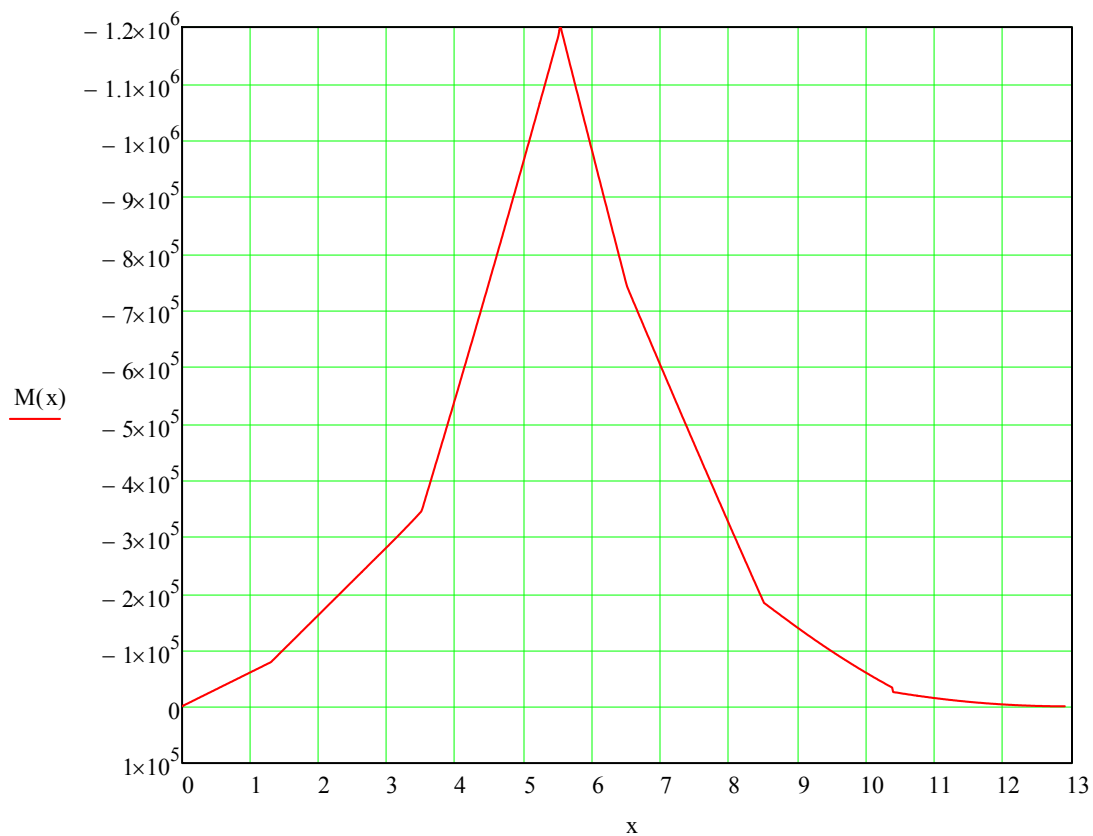
### Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

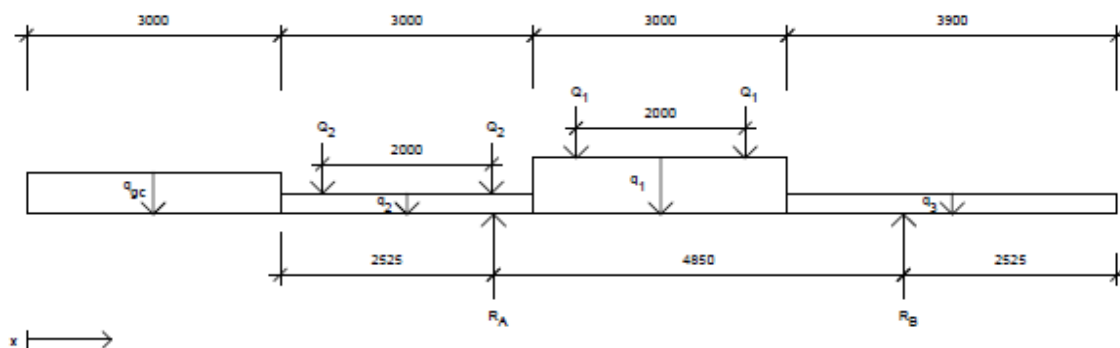
$$M_{8\text{stöd}} := M(5.525\text{m}) = -1.203 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid punktlast 6,5 meter:  $M_{8\text{fält}} := M(8.5\text{m}) = -182.916 \cdot \text{kNm}$

Momentet efter 3 meter där momentet tidigare var noll:  $M_{8\text{konsol}} := M(3\text{m}) = -282 \cdot \text{kNm}$



## 1.9 Lastfall 9, bro breddad 3 m, gc-bana belastad med utbredd last



I lastfall 9 är bron breddad med hela gång- och cykelbanans bredd, 3 meter. Det tyngsta lastfältet är sedan placerat mer centriskt.

längd från kant till stöd:

$$l_1 := 2.525\text{m}$$

längd mellan stöd:

$$l_2 := 4.85\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd från stöd B till  $q_2$ :

$$l_{B\_q_2} := l_1 + l_2 - 2 \cdot l_{kf} = 1.375\text{m}$$

Moment kring B ger:

$$q_{tot1} := q_3 \cdot \frac{(l_{B\_q_2})^2}{2} + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_2 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + 1.5 \cdot l_{kf} \right) + q_{gc} \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B\_q_2} + 2.5 \cdot l_{kf} \right)$$

$$q_{tot2} := q_3 \cdot \frac{(l_1)^2}{2}$$

$$q := q_{tot1} - q_{tot2}$$

$$Q := Q_1 \cdot (l_{B\_q_2} + 0.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B\_q_2} + 2.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B\_q_2} + 3.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B\_q_2} + 5.5\text{m})$$

Given

$$R_A := 0 \text{ kN} \quad (\text{Vi gissar ett värde för att mathcad ska kunna räkna ut } R_A)$$

$$R_A \cdot l_2 = q + Q$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 905.245 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}9} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + (q_1 + q_2 + q_{gc}) \cdot l_{kf} + q_3 \cdot 3.9 \text{ m} = 1.064 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}9} - R_A = 158.435 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Filfaktor i stöd A:} \quad ff_{A9} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}7}} = 0.851$$

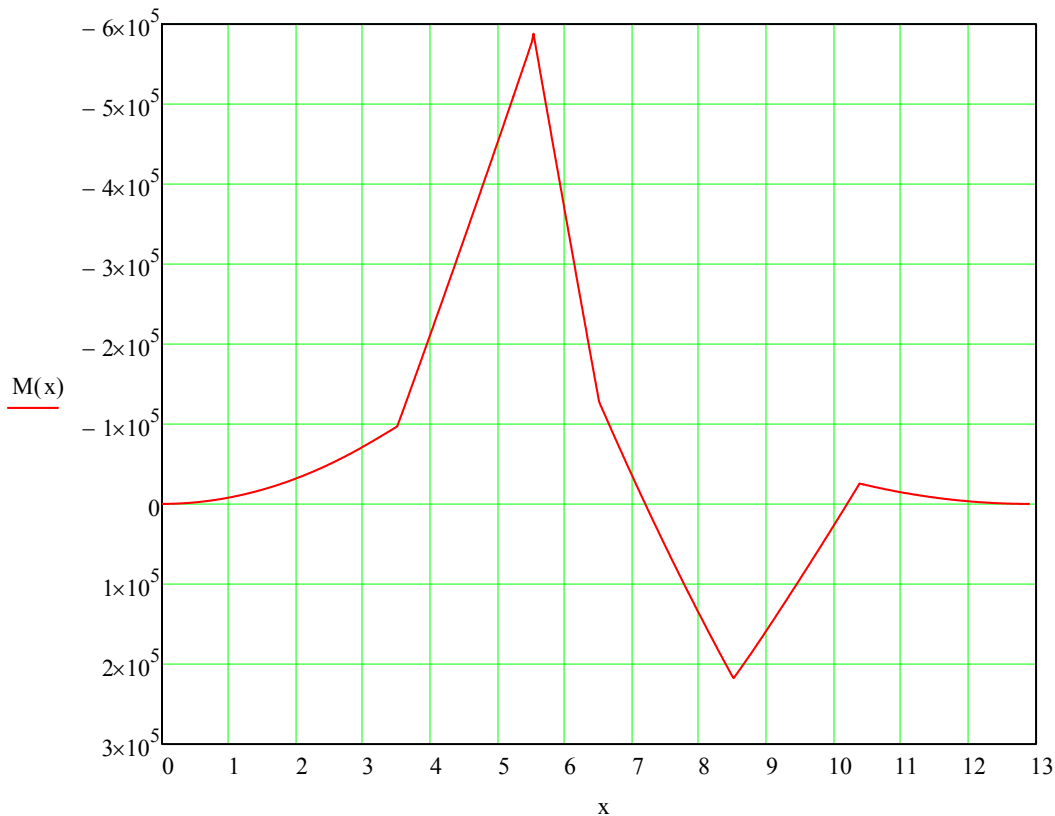
### Moment i tvärled:

Maximalt negativt moment i tvärled vid stöd A:

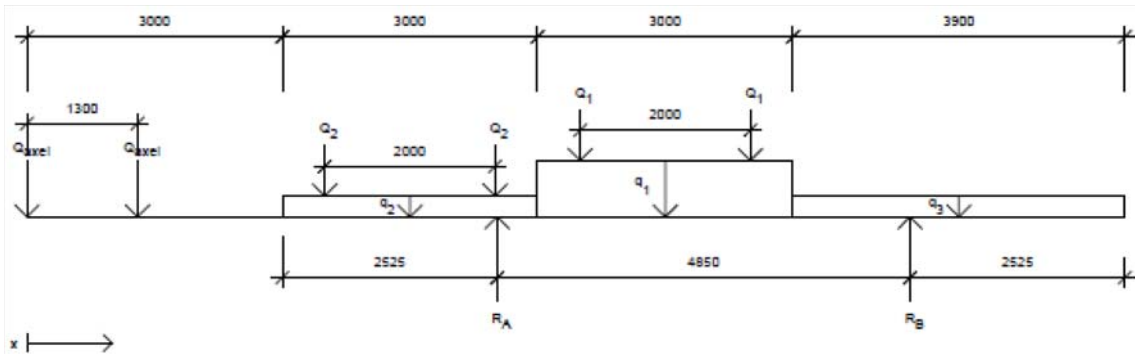
$$M_{9\text{stöd}} := M(5.525 \text{ m}) = -587.703 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärled vid punktlast 6,5 meter:

$$M_{9\text{fält}} := M(8.5 \text{ m}) = 218.105 \cdot \text{kNm}$$



## 1.10 Lastfall 10, bro breddad 3 m, gc-bana belastad med servicefordon



Lastfall 10 är som lastfall 9 men med servicefordonets tyngsta axel placerat längst ut på gång- och cykelbanan.

längd från kant till stöd:

$$l_1 := 2.525\text{m}$$

längd mellan stöd:

$$l_2 := 4.85\text{m}$$

Längd på körfält:

$$l_{kf} := 3\text{m}$$

Längd från stöd B till  $q_2$ :

$$l_{B-q_2} := l_1 + l_2 - 2 \cdot l_{kf} = 1.375\text{m}$$

Längd på  $q_3$ :

$$l_{q_3} := 3.9\text{m}$$

Moment kring B ger:

$$Q_{tot} := q_3 \cdot \frac{(l_{B-q_2})^2}{2} + q_1 \cdot l_{kf} \cdot \left( l_{B-q_2} + \frac{l_{kf}}{2} \right) + q_2 \cdot l_{kf} \cdot (l_{B-q_2} + 1.5 \cdot l_{kf}) - q_3 \cdot \frac{l_1^2}{2}$$

$$Q_{tot1} := Q_1 \cdot (l_{B-q_2} + 0.5\text{m}) + Q_1 \cdot (l_{B-q_2} + 2.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B-q_2} + 3.5\text{m}) + Q_2 \cdot (l_{B-q_2} + 5.5\text{m})$$

$$Q_{tot2} := Q_{axel} \cdot (l_2 + l_1 + l_{kf}) + Q_{axel} \cdot (l_2 + l_1 + l_{kf} - 1.3\text{m})$$

$$Q_{tot} := Q_{tot1} + Q_{tot2}$$

Given

$$R_A \cdot l_2 = q_{\text{tot}} + Q_{\text{tot}}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 1.058 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}10} := Q_1 \cdot 2 + Q_2 \cdot 2 + Q_{\text{axel}} \cdot 2 + (q_1 + q_2) \cdot l_{\text{kf}} + q_3 \cdot l_{q_3} = 1.136 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}10} - R_A = 77.651 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor i stöd A: 
$$ff_{A10} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}4}} = 0.943$$

### Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

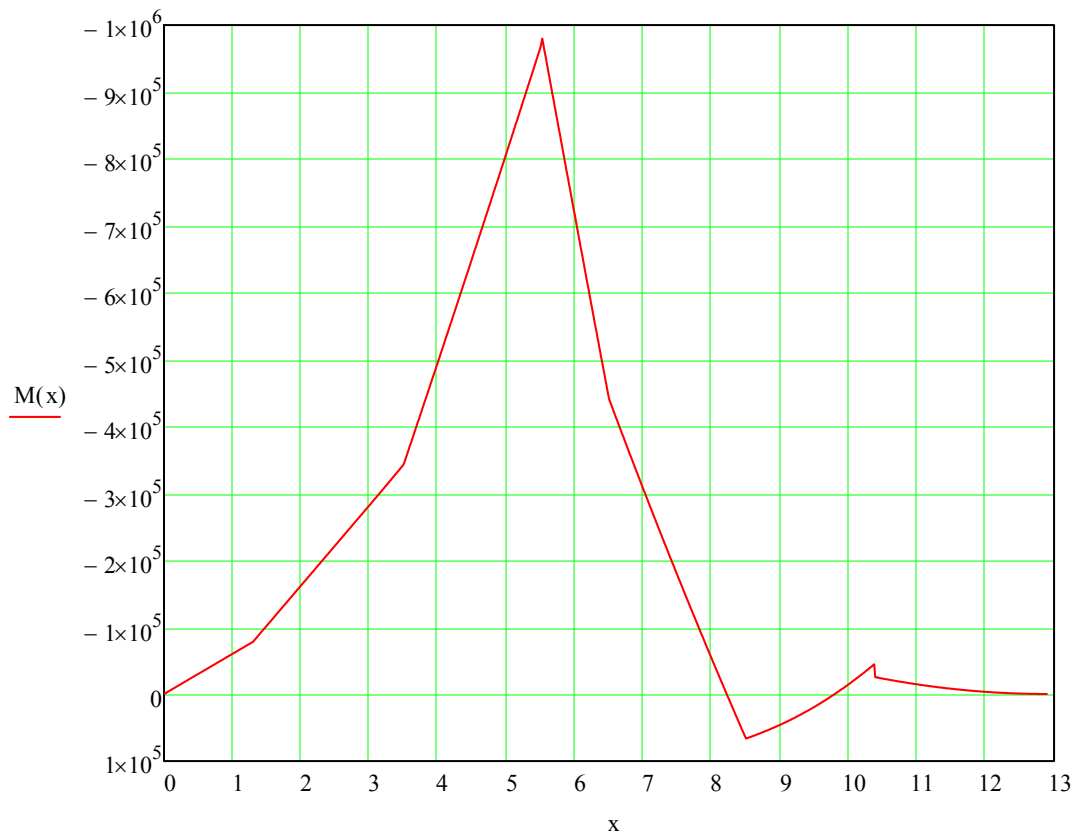
$$M_{10\text{stöd}} := M(5.525\text{m}) = -979.503 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid punktlast 8,5 meter:

$$M_{10\text{fält}} := M(8.5\text{m}) = 66.636 \cdot \text{kNm}$$

Momentet efter 3 meter där momentet tidigare var noll:

$$M_{10\text{konsol}} := M(3\text{m}) = -282 \cdot \text{kNm}$$



## 1.11 Sammanställning, beräkningar i tvärled

### Lastfall 1:

3 st. körfält med utbredd last och i 2 körfält även punktlaster i form av axellaster enligt LM1, det tyngsta lastfältet placerat längst ut på sidan bron i tvärled. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A1} = 0.937$

Stödmoment:  $M_{1stöd} = -617.766 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{1fält} = 43.244 \cdot \text{kNm}$

### Lastfall 2:

3 st. körfält med utbredd last, och 2 körfält även punktlaster i form av axellaster enligt LM1, det tyngsta lastfältet placerat så centralt som möjligt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A2} = 0.805$

Stödmoment:  $M_{2stöd} = -394.502 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{2fält} = 292.796 \cdot \text{kNm}$

### Lastfall 3:

Bron breddad med 1,25 meter, last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbana. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A3} = 0.634$

Stödmoment:  $M_{3stöd} = -189.504 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{3fält} = 370.609 \cdot \text{kNm}$

### Lastfall 4:

Bron breddad med 1,25 meter, last från servicefordon förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbana. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A4} = 0.706$

Stödmoment:  $M_{4stöd} = -455.304 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{4fält} = 254.15 \cdot \text{kNm}$

### Lastfall 5:

Bron breddad med 1,25 meter, last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A5} = 0.506$

Stödmoment:  $M_{5stöd} = -161.102 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{5fält} = 437.157 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 6:

Bron breddad med 1,25 meter, last från servicefordon förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM 1.

Filfaktor:  $ff_{A6} = 0.587$

Stödmoment:  $M_{6stöd} = -426.902 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{6fält} = 320.699 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 7:

Bron breddad med 3 meter, utbredd last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbanan. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A7} = 0.977$

Stödmoment:  $M_{7stöd} = -810.966 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{7fält} = -31.447 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 8:

Bron breddad med 3 meter, last från servicefordonets tyngsta axel förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbanan. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A8} = 1.063$

Stödmoment:  $M_{8stöd} = -1.203 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{8fält} = -182.916 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 9:

Bron breddad med 3 meter, utbredd last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A9} = 0.851$

Stödmoment:  $M_{9stöd} = -587.703 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{9fält} = 218.105 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 10:

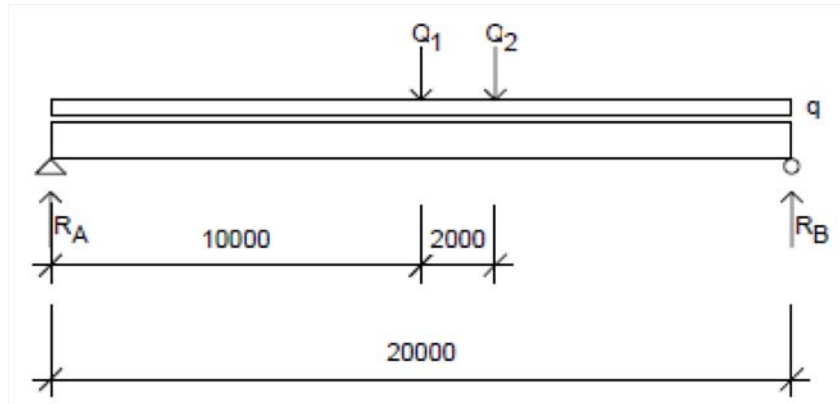
Bron breddad med 3 meter, last från servicefordonets tyngsta axel förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A10} = 0.943$

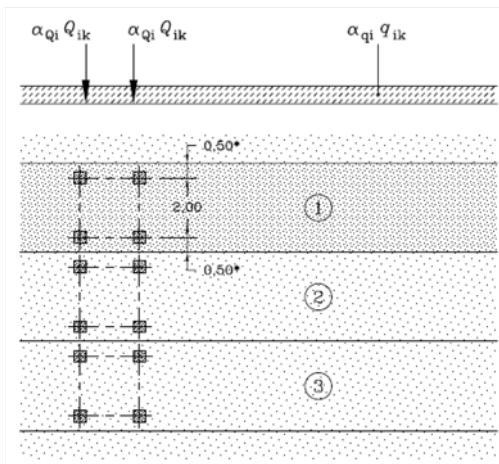
Stödmoment:  $M_{10stöd} = -979.503 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{10fält} = 66.636 \cdot \text{kNm}$

## 2 Beräkning av vägbro, beräkningar i längsled belastad med bredare gång- och cykelbana



Balkarna på bron beräknas i längsled med den totala lasten och filfaktor för varje fall. Den totala lasten i fall 1 & 2 är oförändrad, det är LM1 med utbredd last och punktlaster men filfaktorena blir annorlunda då lasten fördelas på olika sätt i balkarna.



### Axellasterna i LM 1:

$$Q_{1k} := 270 \text{ kN}$$

$$Q_{2k} := 180 \text{ kN}$$

### Utbredda laster:

$$q_{1k} := 6.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{2k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{3k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### Dimensioner:

Bredd på körfält:

Körfält 1:  $b_1 := 3 \text{ m}$

Körfält 2:  $b_2 := 3 \text{ m}$

Körfält 3:  $b_3 := 3.9 \text{ m}$

balkens spännvidd:  $l := 20 \text{ m}$

## Filfaktorer från föregående kapitel:

Lastfall 1:  $ff_{A1} = 0.937$

Lastfall 2:  $ff_{A2} = 0.805$

Lastfall 3:  $ff_{A3} = 0.634$

Lastfall 4:  $ff_{A4} = 0.706$

Lastfall 5:  $ff_{A5} = 0.506$

Lastfall 6:  $ff_{A6} = 0.587$

Lastfall 7:  $ff_{A7} = 0.977$

Lastfall 8:  $ff_{A8} = 1.063$

Lastfall 9:  $ff_{A9} = 0.851$

Lastfall 10:  $ff_{A10} = 0.943$

## 2.1 Lastfall 1

**Total utbredd last i längsled:**

$$q_{\text{tot}} := q_{1k} \cdot b_1 + q_{2k} \cdot b_2 + q_{3k} \cdot b_3 = 36.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Punktlaster i längsled:**

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer  $Q_1$  och  $Q_2$  att bestå av en av vardera axellast i fil.

$$\text{Total punktlast: } Q_{1t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{2t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

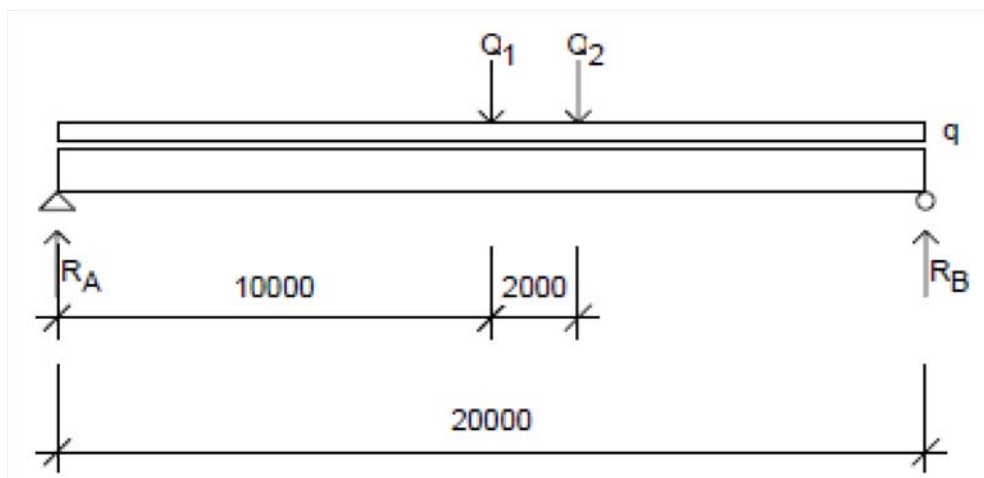
**Laster med hänsyn till Filfaktor:**

Då balken endast tar upp en andel av lasten på bron multiplicerar vi lasterna med filfaktorn för att beräkna momentet i bron.

$$\text{Utbredd last: } q_d := ff_{A1} \cdot q_{\text{tot}} = 33.859 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Punktlaster: } Q_1 := ff_{A1} \cdot Q_{1t} = 421.483 \cdot \text{kN}$$

$$Q_2 := ff_{A1} \cdot Q_{2t} = 421.483 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring stöd B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN} \quad (\text{Vi gissar ett värde för att mathcad ska kunna beräkna } R_A)$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

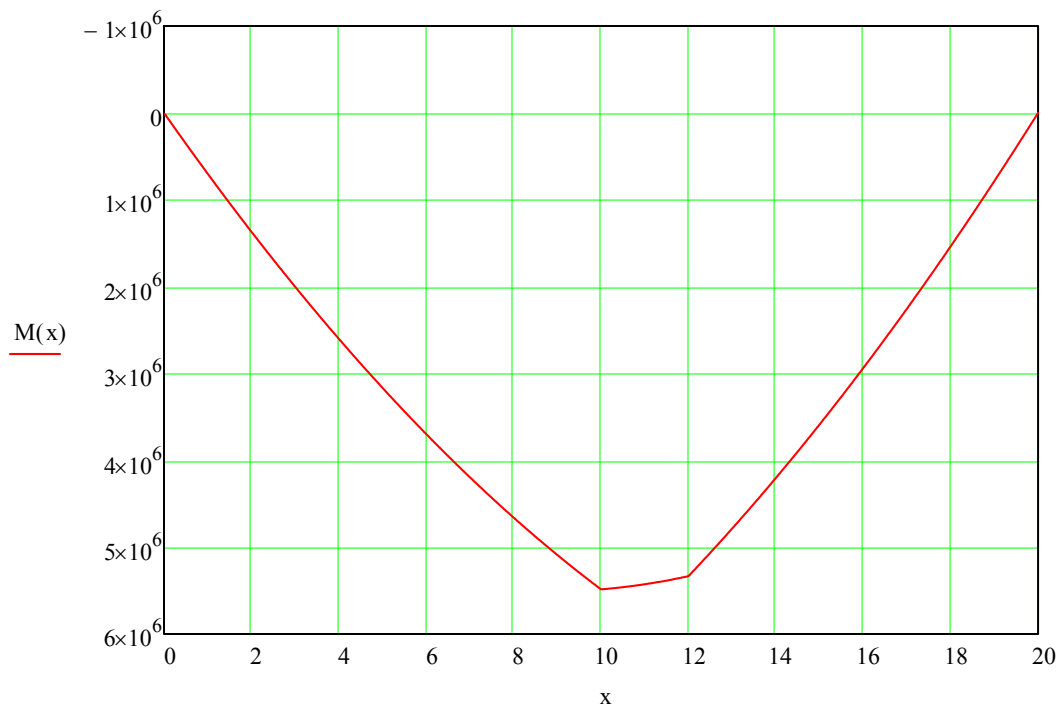
$$R_A = 717.926 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot1}} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 = 1.52 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot1}} - R_A = 802.223 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

$$\text{Maxmoment lastfall 1: } M_1 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 5.486 \cdot \text{MNm}$$



## 2.2 Lastfall 2

**Total utbredd last i längsled:**

$$q_{\text{tot}} := q_{1k} \cdot b_1 + q_{2k} \cdot b_2 + q_{3k} \cdot b_3 = 36.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Punktlaster i längsled:**

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer  $Q_1$  och  $Q_2$  att bestå av en av vardera axellast i fil.

Total punktlast:  $Q_{1t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$

$$Q_{2t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

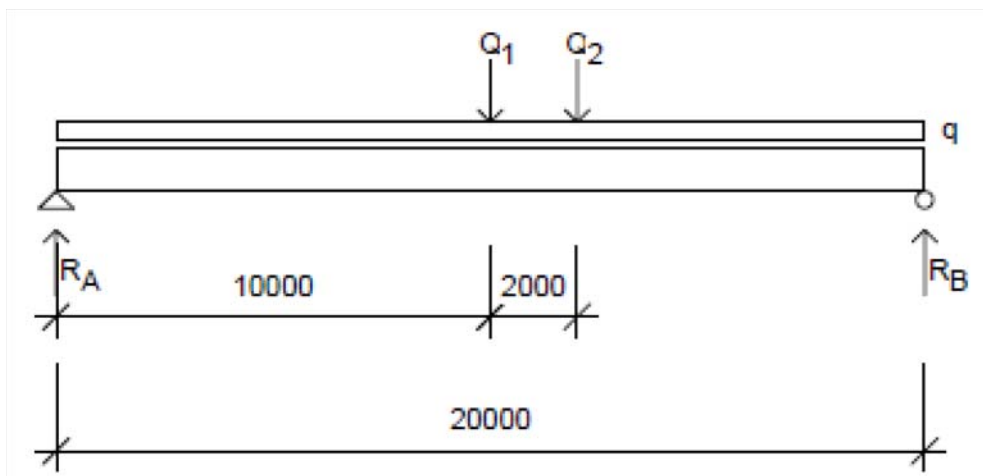
**Laster med hänsyn till Filfaktor:**

Då balken endast tar upp en andel av lasten på bron multiplicerar vi lasterna med filfaktorn för att beräkna momentet i bron.

**Utbredd last:**  $q_d := ff_{A2} \cdot q_{\text{tot}} = 29.093 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Punktlaster:**  $Q_1 := ff_{A2} \cdot Q_{1t} = 362.156 \cdot \text{kN}$

$$Q_2 := ff_{A2} \cdot Q_{2t} = 362.156 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10\text{kN} \quad (\text{Vi gissar ett värde för att mathcad ska kunna beräkna } R_A)$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8\text{m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

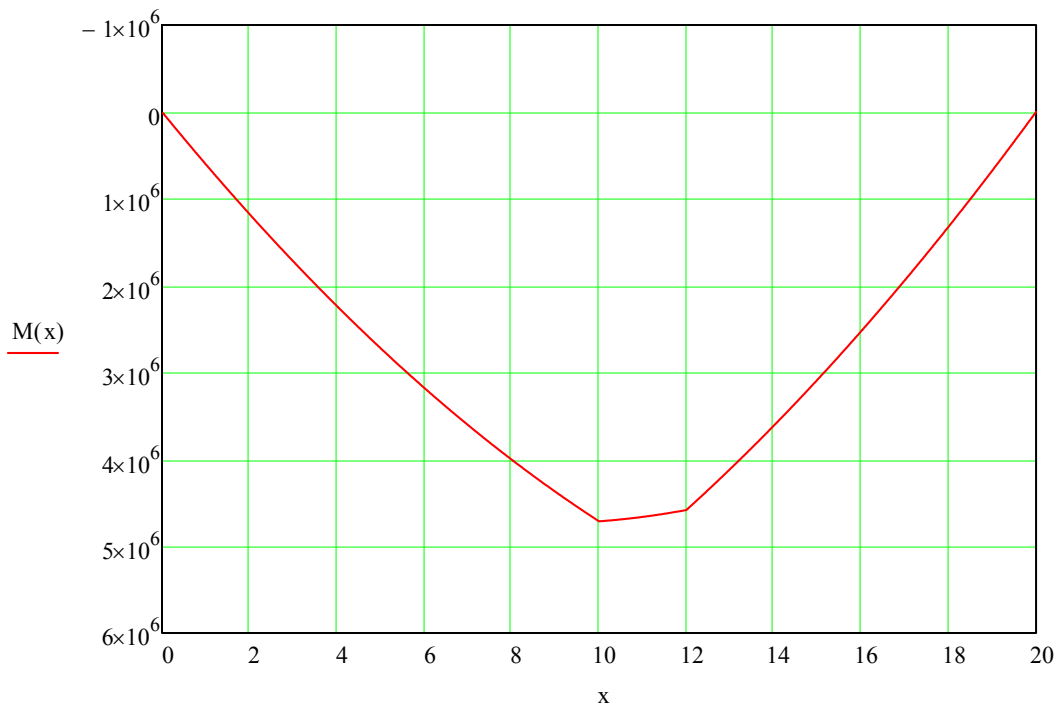
$$R_A = 616.872 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}2} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 = 1.306 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}2} - R_A = 689.304 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 2:  $M_2 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 4.714 \cdot \text{MNm}$

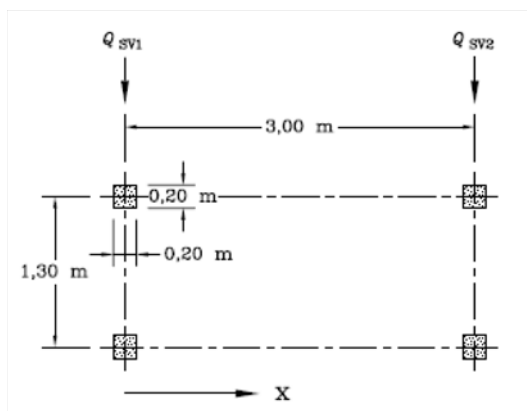




## LASTFALL 3-6:

I följande lastfall har bron breddats med 1,25 meter för att ge utrymme åt en tre meter bred gång- och cykelbana. Detta medför att körfälten har flyttats och att ytan med last  $q_3$  nu är 2.15 meter bred. De laster som tillkommer i dessa två fall är ett servicefordon med två axellaster  $Q_{sv1}$  på 80 kN och  $Q_{sv2}$  på 40 kN. och en utbredd lasten från GC trafik,  $5 \text{ kN/m}^2$ , dessa två verkar inte samtidigt.

### Service fordonet:



### Axellaster enl Eurokod:

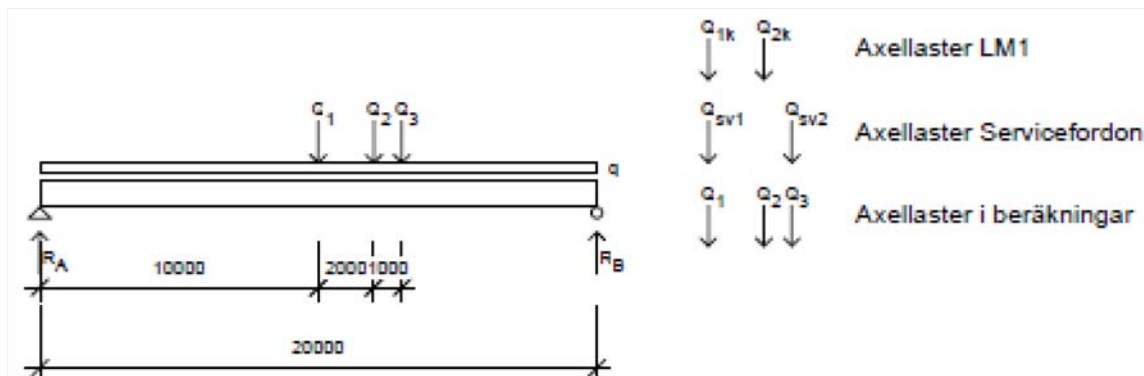
$$Q_{sv1} := 80 \text{ kN}$$

$$Q_{sv2} := 40 \text{ kN}$$

### Utbredd last på gc bana:

$$q_{gc} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

I de fall där servicefordonet verkar kommer den tyngsta axeln att sammanfalla med de axellaster som verkar på körbanorna i LM 1.



Ny bredd på körbana 3:  $b_3 := 2.35 \text{ m}$

Bredd på GC bana:  $b_{gc} := 3 \text{ m}$

## 2.3 lastfall 3:

### Utbredda laster:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{\text{gc}} \cdot b_{\text{gc}} + q_{1\text{k}} \cdot b_1 + q_{2\text{k}} \cdot b_2 + q_{3\text{k}} \cdot b_3 = 47.275 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Punktlaster i längsled:

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer  $Q_1$  och  $Q_2$  att bestå av en av vardera axellast i fil.

$$Q_{1\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{2\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

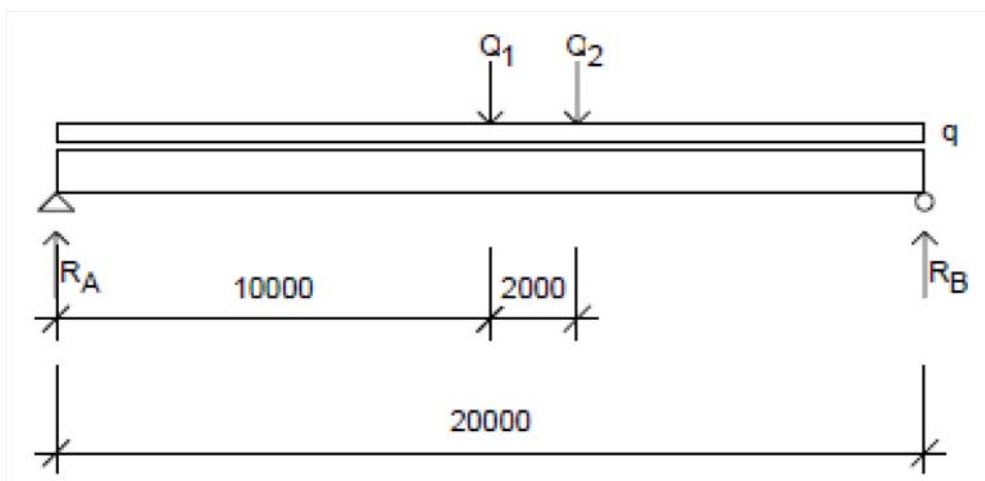
### Laster med hänsyn till Filfaktor:

Då balken i bron endast tar upp en andel av lasten på bron multiplicerar vi lasterna med filfaktorn för att beräkna moment i bron.

**Utbredd last:**  $q_d := ff_{A3} \cdot q_{\text{tot}} = 29.957 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Punktlaster:**  $Q_1 := ff_{A3} \cdot Q_{1\text{t}} = 285.157 \cdot \text{kN}$

$$Q_2 := ff_{A3} \cdot Q_{2\text{t}} = 285.157 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

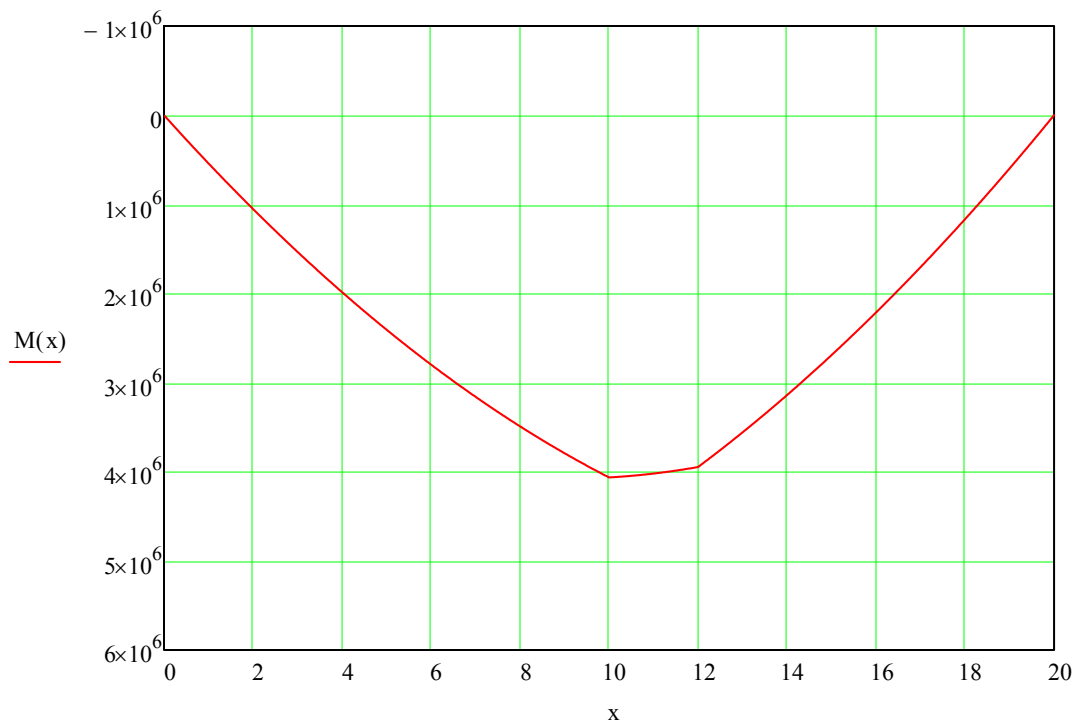
$$R_A = 556.214 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}3} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 = 1.169 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}3} - R_A = 613.245 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 3:  $M_3 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 4.064 \cdot \text{MNm}$



## 2.4 Lastfall 4:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{1k} \cdot b_1 + q_{2k} \cdot b_2 + q_{3k} \cdot b_3 = 32.275 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer punktlasten  $Q_1$  att bestå av en av vardera axel från LM1 och den tyngsta axeln från servicefordonet,  $Q_2$  består av de båda axlarna från LM 1 och  $Q_3$  är servicefordonets lättare axel.

**Totala punktlaster:**  $Q_{1t} := Q_{1k} + Q_{2k} + Q_{sv1} = 530 \cdot \text{kN}$

$$Q_{2t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{3t} := Q_{sv2} = 40 \cdot \text{kN}$$

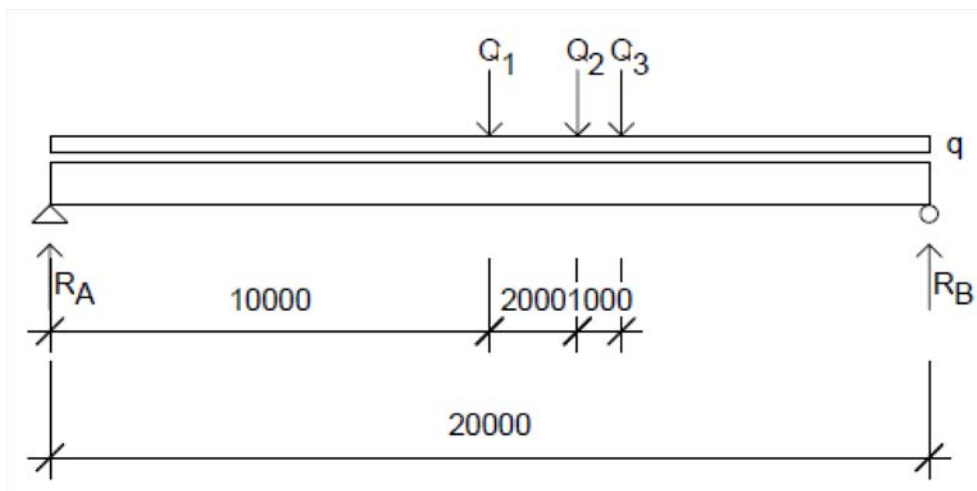
Laster med hänsyn till Filfaktor:

**Utbredd last:**  $q_d := ff_{A4} \cdot q_{\text{tot}} = 22.788 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Punktlaster:**  $Q_1 := ff_{A4} \cdot Q_{1t} = 374.209 \cdot \text{kN}$

$$Q_2 := ff_{A4} \cdot Q_{2t} = 317.724 \cdot \text{kN}$$

$$Q_3 := ff_{A4} \cdot Q_{3t} = 28.242 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m} + Q_3 \cdot 7 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

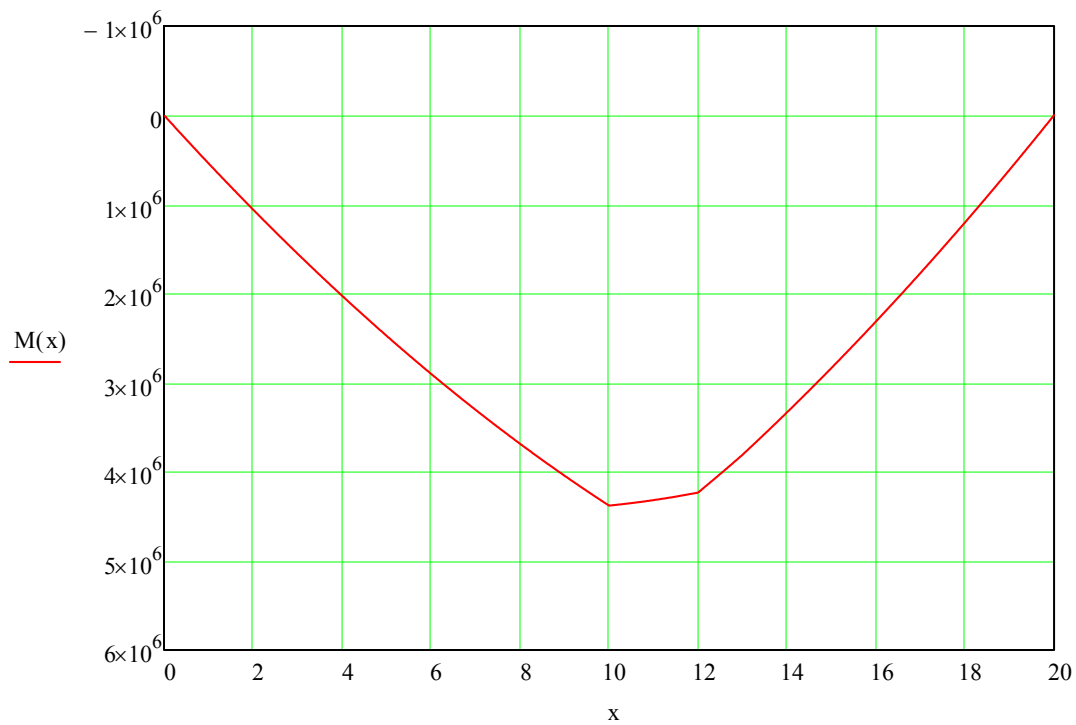
$$R_A = 551.958 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot4}} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.176 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot4}} - R_A = 623.976 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 4:  $M_4 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 4.38 \cdot \text{MNm}$



## 2.5 Lastfall 5:

### Utbredda laster:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{\text{gc}} \cdot b_{\text{gc}} + q_{1\text{k}} \cdot b_1 + q_{2\text{k}} \cdot b_2 + q_{3\text{k}} \cdot b_3 = 47.275 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Punktlaster i längsled:

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer  $Q_1$  och  $Q_2$  att bestå av en av vardera axellast i fil.

$$\text{Total punktlast: } Q_{1\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{2\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

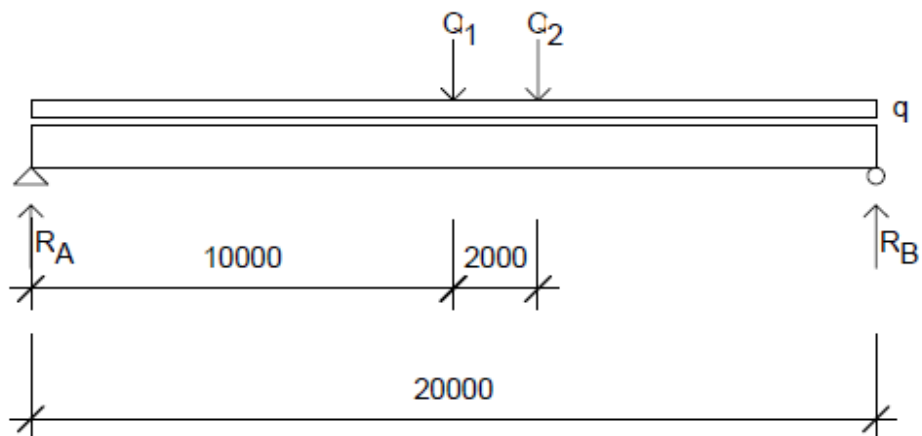
### Laster med hänsyn till Filfaktor:

Då balken i bron endast tar upp en andel av lasten på bron multiplicerar vi lasterna med filfaktorn för att beräkna moment i bron.

$$\text{Utbredd last: } q_d := ff_{A5} \cdot q_{\text{tot}} = 23.927 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Punktlaster: } Q_1 := ff_{A5} \cdot Q_{1\text{t}} = 227.751 \cdot \text{kN}$$

$$Q_2 := ff_{A5} \cdot Q_{2\text{t}} = 227.751 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

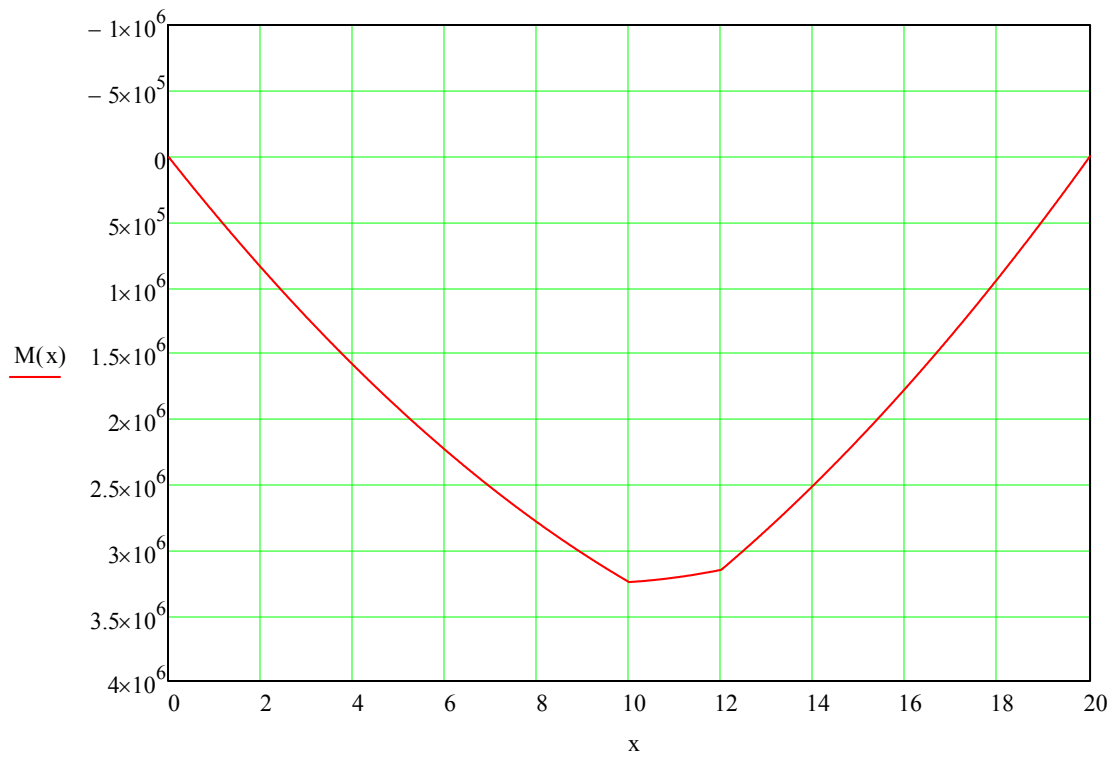
$$R_A = 444.242 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot5}} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 = 934.033 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot5}} - R_A = 489.792 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 5:  $M_5 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 3.246 \cdot \text{MNm}$



## 2.6 Lastfall 6:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{1k} \cdot b_1 + q_{2k} \cdot b_2 + q_{3k} \cdot b_3 = 32.275 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer punktlasten  $Q_1$  att bestå av en av vardera axel från LM1 och den tyngsta axeln från servicefordonet,  $Q_2$  består av de båda axlarna från LM 1 och  $Q_3$  är servicefordonets lättare axel.

**Totala punktlaster:**  $Q_{1t} := Q_{1k} + Q_{2k} + Q_{sv1} = 530 \cdot \text{kN}$

$$Q_{2t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{3t} := 40 \text{kN}$$

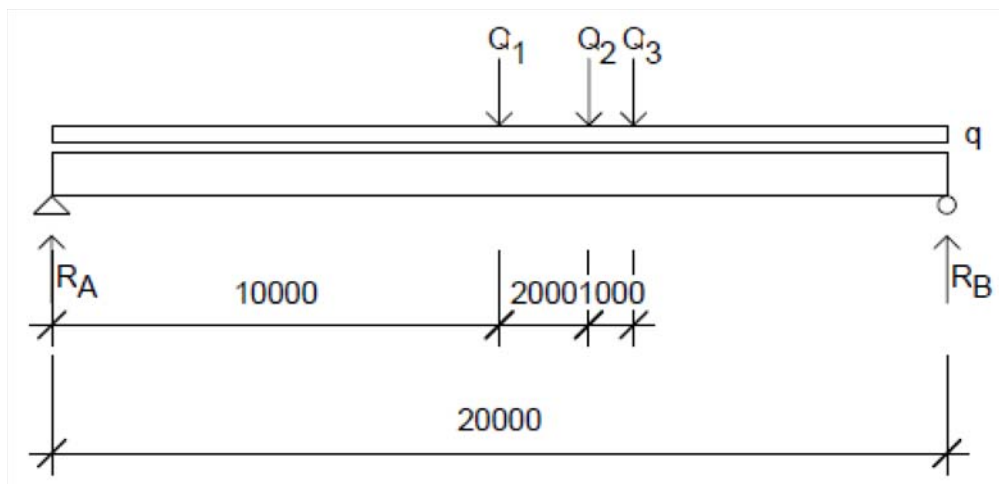
Laster med hänsyn till Filfaktor:

**Utbredd last:**  $q_d := ff_{A6} \cdot q_{\text{tot}} = 18.935 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Punktlaster:**  $Q_1 := ff_{A6} \cdot Q_{1t} = 310.938 \cdot \text{kN}$

$$Q_2 := ff_{A6} \cdot Q_{2t} = 264.004 \cdot \text{kN}$$

$$Q_3 := ff_{A6} \cdot Q_{3t} = 23.467 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m} + Q_3 \cdot 7 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

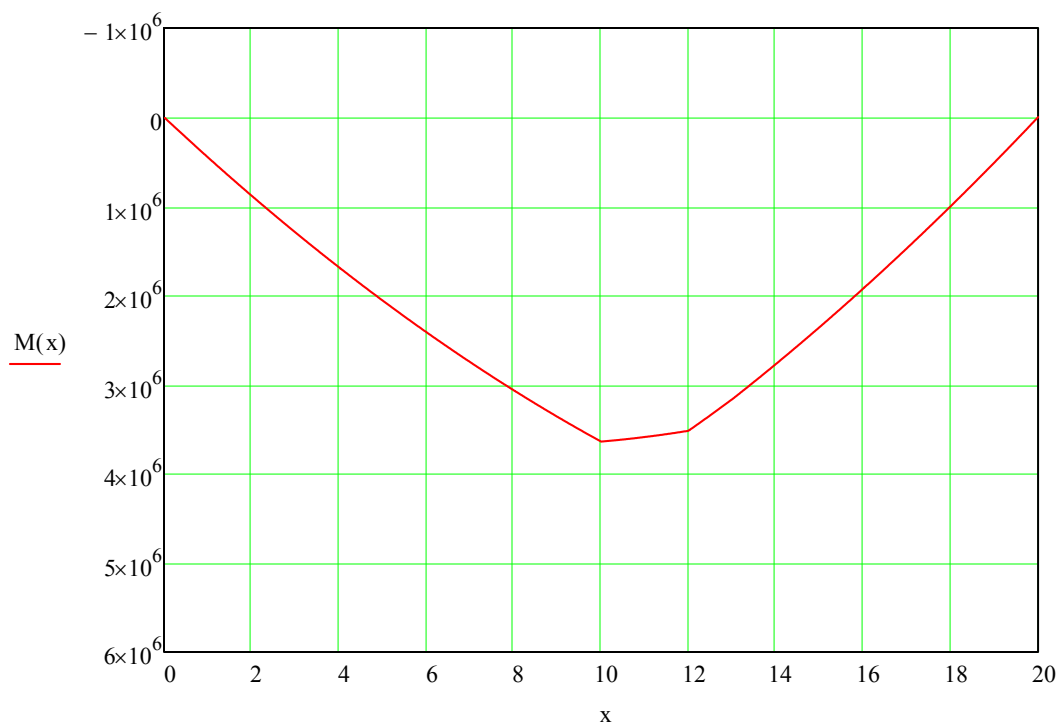
$$R_A = 458.633 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot6}} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 + Q_3 = 977.108 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot6}} - R_A = 518.474 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 6:  $M_6 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 3.64 \cdot \text{MNm}$



## Lastfall 7 och 8

I dessa två lastfall har breddningen gjorts utan att den existerande bronns bredd ändras, alltså den totala breddningen blir 3 meter där gång- och cykelbana förläggs. körfältsbredden i körfält 3 är då igen 3,9 meter.

$$b_3 := 3.9\text{m}$$

### 2.7 Lastfall 7:

#### Utbredda laster:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{\text{gc}} \cdot b_{\text{gc}} + q_{1\text{k}} \cdot b_1 + q_{2\text{k}} \cdot b_2 + q_{3\text{k}} \cdot b_3 = 51.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### Punktlaster i längsled:

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer  $Q_1$  och  $Q_2$  att bestå av en av vardera axellast i fil.

$$\text{Total punktlast: } Q_{1\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{2\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

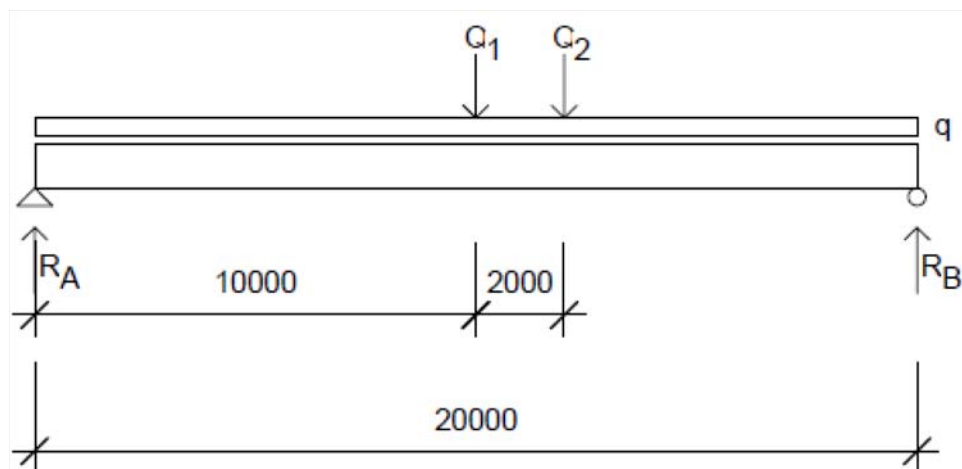
#### Laster med hänsyn till Filfaktor:

Då balken i bron endast tar upp en andel av lasten på bron multiplicerar vi lasterna med filfaktorn för att beräkna moment i bron.

$$\text{Utbredd last: } q_d := ff_{A7} \cdot q_{\text{tot}} = 49.97 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Punktlaster: } Q_1 := ff_{A7} \cdot Q_{1\text{t}} = 439.623 \cdot \text{kN}$$

$$Q_2 := ff_{A7} \cdot Q_{2\text{t}} = 439.623 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

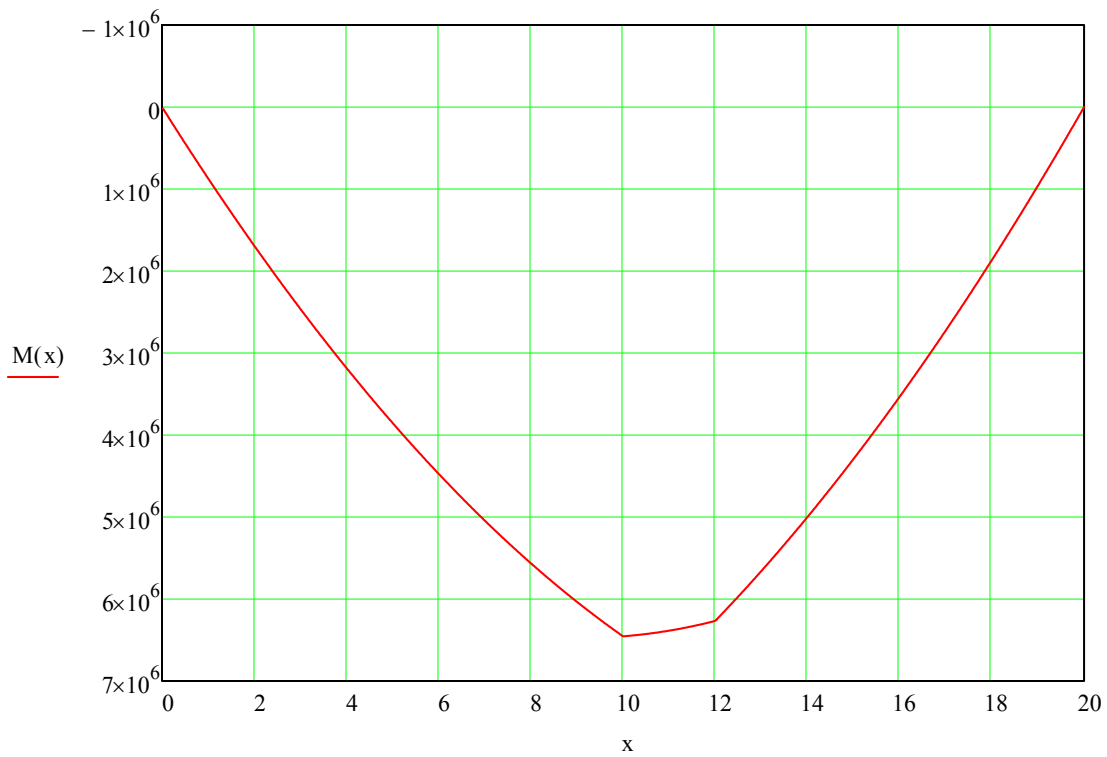
$$R_A = 895.365 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}7} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 = 1.879 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}7} - R_A = 983.289 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 7:  $M_7 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 6.455 \cdot \text{MNm}$



## 2.8 Lastfall 8:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{1k} \cdot b_1 + q_{2k} \cdot b_2 + q_{3k} \cdot b_3 = 36.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer punktlasten  $Q_1$  att bestå av en av vardera axel från LM1 och den tyngsta axeln från servicefordonet,  $Q_2$  består av de båda axlarna från LM 1 och  $Q_3$  är servicefordonets lättare axel.

**Totala punktlaster:**  $Q_{1t} := Q_{1k} + Q_{2k} + Q_{sv1} = 530 \cdot \text{kN}$

$$Q_{2t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{3t} := 40 \text{kN}$$

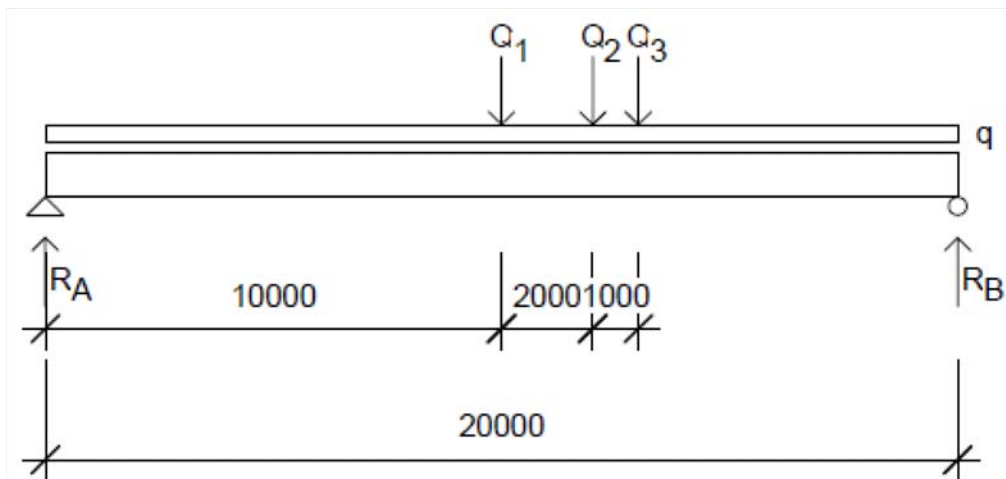
**Laster med hänsyn till Filfaktor:**

**Utbredd last:**  $q_d := ff_{A8} \cdot q_{\text{tot}} = 38.414 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Punktlaster:**  $Q_1 := ff_{A8} \cdot Q_{1t} = 563.195 \cdot \text{kN}$

$$Q_2 := ff_{A8} \cdot Q_{2t} = 478.185 \cdot \text{kN}$$

$$Q_3 := ff_{A8} \cdot Q_{3t} = 42.505 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m} + Q_3 \cdot 7 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

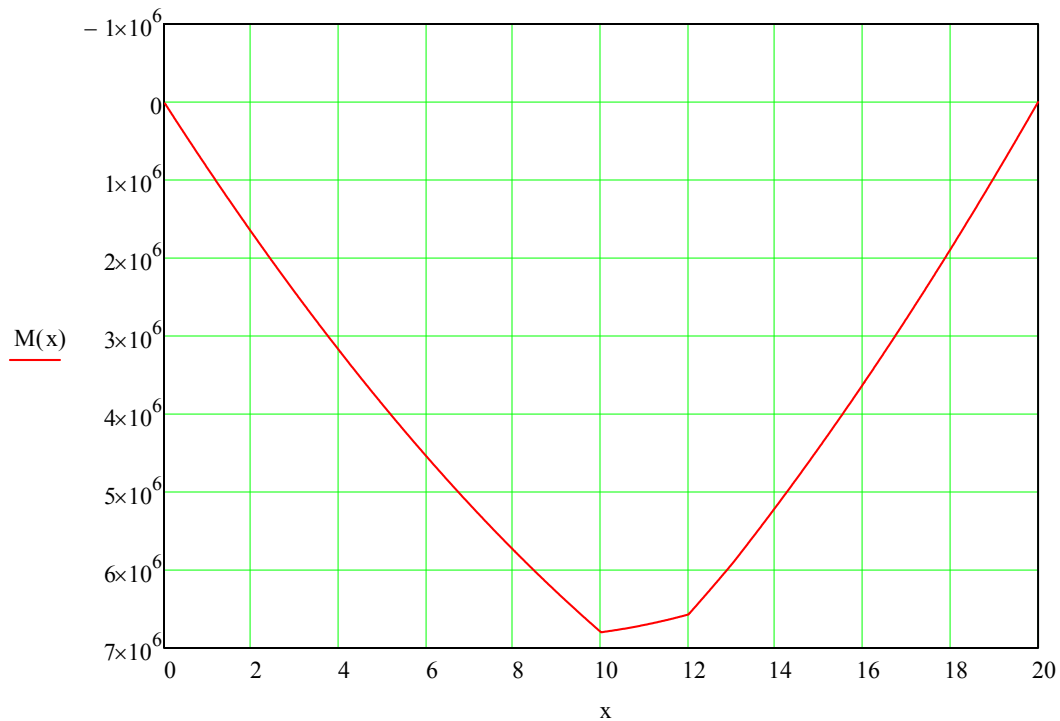
$$R_A = 871.89 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}8} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.852 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}8} - R_A = 980.279 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 8:  $M_8 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 6.798 \cdot \text{MNm}$



## 2.9 Lastfall 9:

### Utbredda laster:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{\text{gc}} \cdot b_{\text{gc}} + q_{1\text{k}} \cdot b_1 + q_{2\text{k}} \cdot b_2 + q_{3\text{k}} \cdot b_3 = 51.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Punktlaster i längsled:

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer  $Q_1$  och  $Q_2$  att bestå av en av vardera axellast i fil.

$$\text{Total punktlast: } Q_{1\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{2\text{t}} := Q_{1\text{k}} + Q_{2\text{k}} = 450 \cdot \text{kN}$$

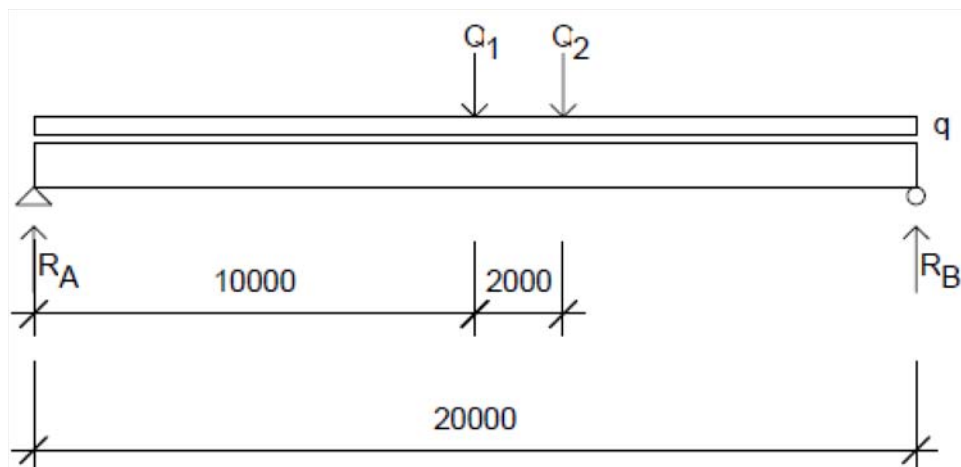
### Laster med hänsyn till Filfaktor:

Då balken i bron endast tar upp en andel av lasten på bron multiplicerar vi lasterna med filfaktorn för att beräkna moment i bron.

$$\text{Utbredd last: } q_d := ff_{A9} \cdot q_{\text{tot}} = 43.531 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Punktlaster: } Q_1 := ff_{A9} \cdot Q_{1\text{t}} = 382.973 \cdot \text{kN}$$

$$Q_2 := ff_{A9} \cdot Q_{2\text{t}} = 382.973 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

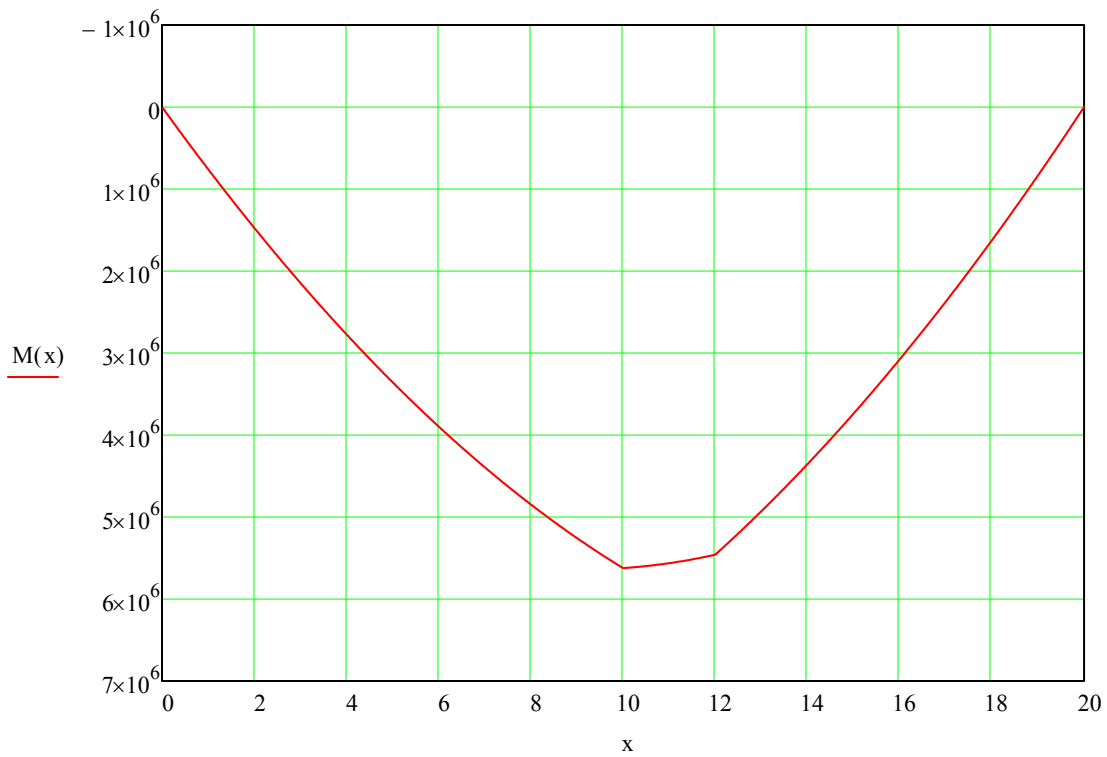
$$R_A = 779.988 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}9} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 = 1.637 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}9} - R_A = 856.582 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 9:  $M_9 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 5.623 \cdot \text{MNm}$



## 2.10 Lastfall 10:

Total utbredd last:

$$q_{\text{tot}} := q_{1k} \cdot b_1 + q_{2k} \cdot b_2 + q_{3k} \cdot b_3 = 36.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Då vi tittar på lasterna i bredd kommer punktlasten  $Q_1$  att bestå av en av vardera axel från LM1 och den tyngsta axeln från servicefordonet,  $Q_2$  består av de båda axlarna från LM 1 och  $Q_3$  är servicefordonets lättare axel.

**Totala punktlaster:**  $Q_{1t} := Q_{1k} + Q_{2k} + Q_{sv1} = 530 \cdot \text{kN}$

$$Q_{2t} := Q_{1k} + Q_{2k} = 450 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{3t} := 40 \text{kN}$$

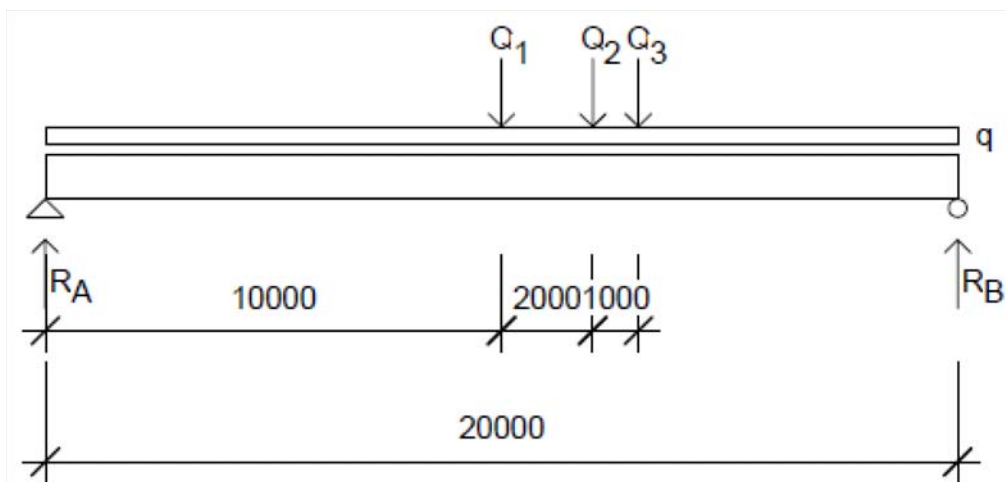
**Laster med hänsyn till Filfaktor:**

**Utbredd last:**  $q_d := ff_{A10} \cdot q_{\text{tot}} = 34.099 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Punktlaster:**  $Q_1 := ff_{A10} \cdot Q_{1t} = 499.924 \cdot \text{kN}$

$$Q_2 := ff_{A10} \cdot Q_{2t} = 424.464 \cdot \text{kN}$$

$$Q_3 := ff_{A10} \cdot Q_{3t} = 37.73 \cdot \text{kN}$$



### Moment kring B:

Given

$$R_A := 10 \text{ kN}$$

$$R_A \cdot l = \frac{q_d \cdot l^2}{2} + Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot 8 \text{ m} + Q_3 \cdot 7 \text{ m}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

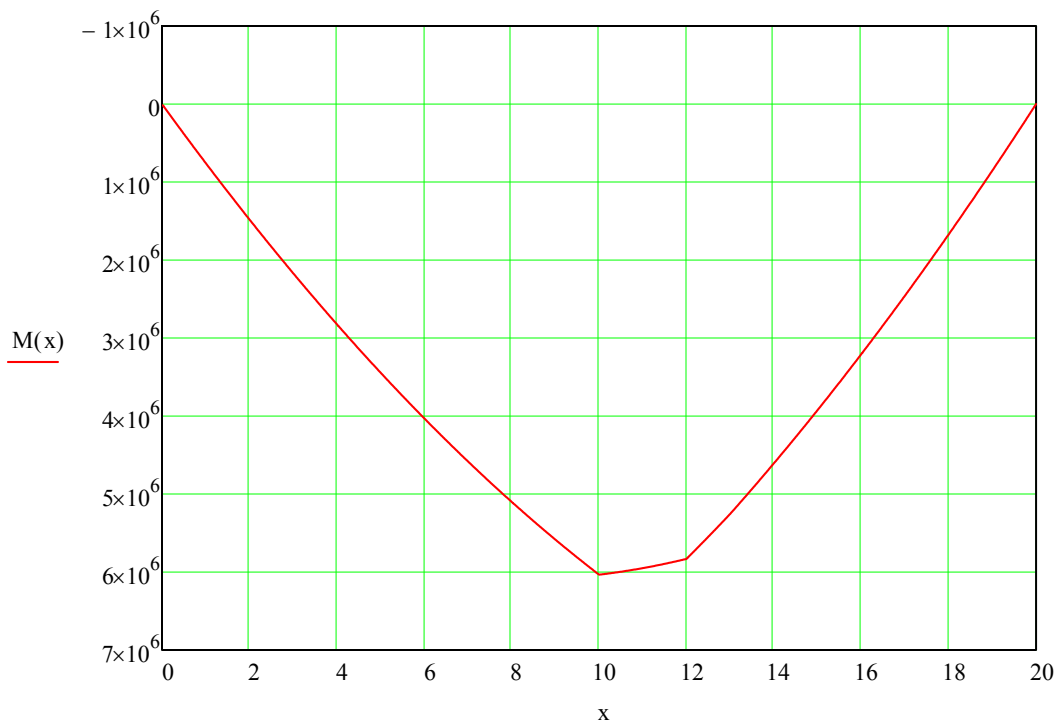
$$R_A = 773.94 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}10} := q_d \cdot l + Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.644 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}10} - R_A = 870.152 \cdot \text{kN}$$

Momentet i längsled:

Maxmoment lastfall 10:  $M_{10} := M\left(\frac{l}{2}\right) = 6.034 \cdot \text{MNm}$



## **2.11 Sammanställning, beräkningar i längsled**

### Lastfall 1:

3 st. körfält med utbredd last och i 2 körfält även punktlaster i form av axellaster enligt LM1, det tyngsta lastfältet placerat längst ut på sidan bron i tvärlängd. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A1} = 0.937$

Maximalt moment:  $M_1 = 5.486 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot1}} = 1.52 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### Lastfall 2:

3 st. körfält med utbredd last, och 2 körfält även punktlaster i form av axellaster enligt LM1, det tyngsta lastfältet placerat så centralt som möjligt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A2} = 0.805$

Maximalt moment:  $M_2 = 4.714 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot2}} = 1.306 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### Lastfall 3:

Bron breddad med 1,25 meter, last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbana. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A3} = 0.634$

Maximalt moment:  $M_3 = 4.064 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot3}} = 1.169 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### Lastfall 4:

Bron breddad med 1,25 meter, last från servicefordon förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbana. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A4} = 0.706$

Maximalt moment:  $M_4 = 4.38 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot4}} = 1.176 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### Lastfall 5:

Bron breddad med 1,25 meter, last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat mer centralt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A5} = 0.506$

Maximalt moment:  $M_5 = 3.246 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot5}} = 934.033 \cdot \text{kN}$

#### Lastfall 6:

Bron breddad med 1,25 meter, last från servicefordon förlagd på brons ytterkant, därefter 2 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM 1.

Filfaktor:  $ff_{A6} = 0.587$

Maximalt moment:  $M_6 = 3.64 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot}6} = 977.108 \cdot \text{kN}$

#### Lastfall 7:

Bron breddad med 3 meter, utbredd last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbanan. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A7} = 0.977$

Maximalt moment:  $M_7 = 6.455 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot}7} = 1.879 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

#### Lastfall 8:

Bron breddad med 3 meter, last från servicefordonets tyngsta axel förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat intill gång - och cykelbanan. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A8} = 1.063$

Maximalt moment:  $M_8 = 6.798 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot}8} = 1.852 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

#### Lastfall 9:

Bron breddad med 3 meter, utbredd last från gång - och cykelbana förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A9} = 0.851$

Maximalt moment:  $M_9 = 5.623 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot}9} = 1.637 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

#### Lastfall 10:

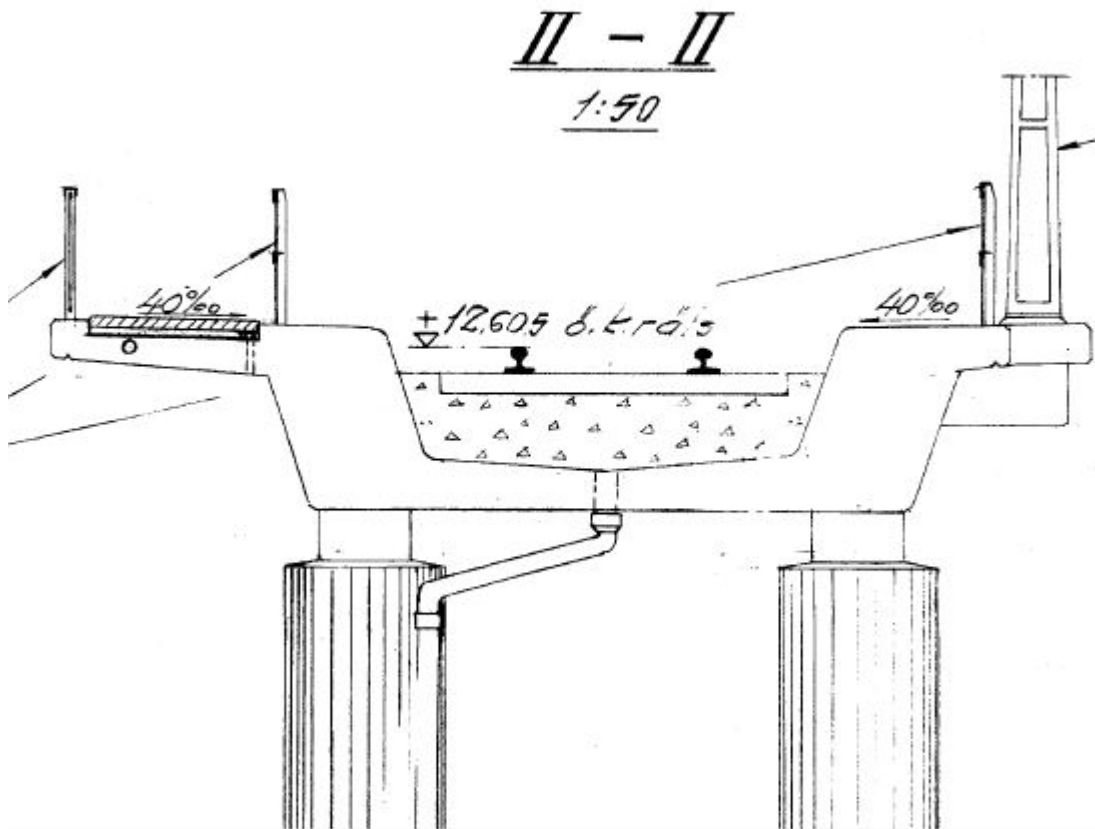
Bron breddad med 3 meter, last från servicefordonets tyngsta axel förlagd på brons ytterkant, därefter 3 körfält med utbredda laster och punktlaster enligt LM 1, det tyngsta körfältet placerat mer centriskt. Övrig yta belastad enligt LM1.

Filfaktor:  $ff_{A10} = 0.943$

Maximalt moment:  $M_{10} = 6.034 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot}10} = 1.644 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### 3. Beräkning av järnvägsbro, belastad med bredare gång- och cykelbana i tvärled.



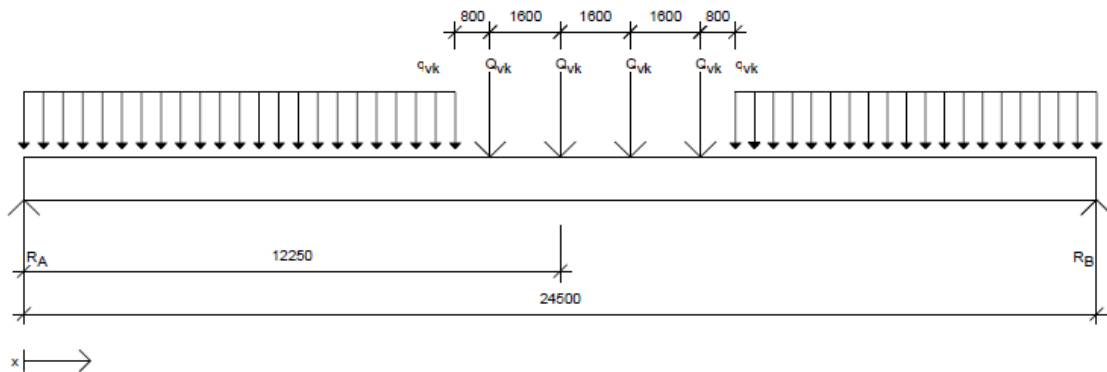
Järnvägsbron är belägen vid gullbergmotet och sträcker sig över E6:an. Bron har en mindre gång- och cykelbana på 1,5m som ska breddas till 3m.

I beräkningarna nedan tas ingen hänsyn till egentynghet på grund av antagandet att den är relativt oförändrad i alla lastfall. Breddningen sker genom att en liten del av betongen bantas bort och ersätts med mer av ett lättare material, därav antagandet att egentyngheten förblir relativt oförändrad.

Tvårsnittet belastas av axellaster på 250kN som fördelas över rälsen. Axellasterna multipliceras även med en lastkoefficient  $\alpha=1.33$  enligt TRVK Bro 11 B.3.2.1.4

Gång- och cykelbanan är belastad med en utbredd last på  $5\text{kN/m}^2$  och axellast från servicefordon, 80kN respektive 40kN, som fördelas på två däck. Den utbredda lasten och lasten från servicefordonet uppstår inte samtidigt enligt SS-EN-1991-2 tabell 5.1.

Beräkningarna visar belastning i den mest belastade balken A och fördelningen av lasten mellan balkarna. Beräkningarna i tvärled utgår från servicefordonets längd, 3,2 meter. Alla punktlaster inom den längden tas med i beräkningarna.



Bron i längsled beräknas med Lastmodell LM 71 och med de filfaktorer som räknats fram nedan för att se hur balk A belastas i längsled. samtliga laster från spårbunden trafik anpassas med faktor  $\alpha=1,33$

Järnvägslastkoefficient:  $\alpha := 1.33$

#### Laster:

Axellast från spårbunden trafik:  $Q_{vk} := 250 \text{ kN}$

$$Q_{vd} := \alpha \cdot Q_{vk} = 332.5 \cdot \text{kN}$$

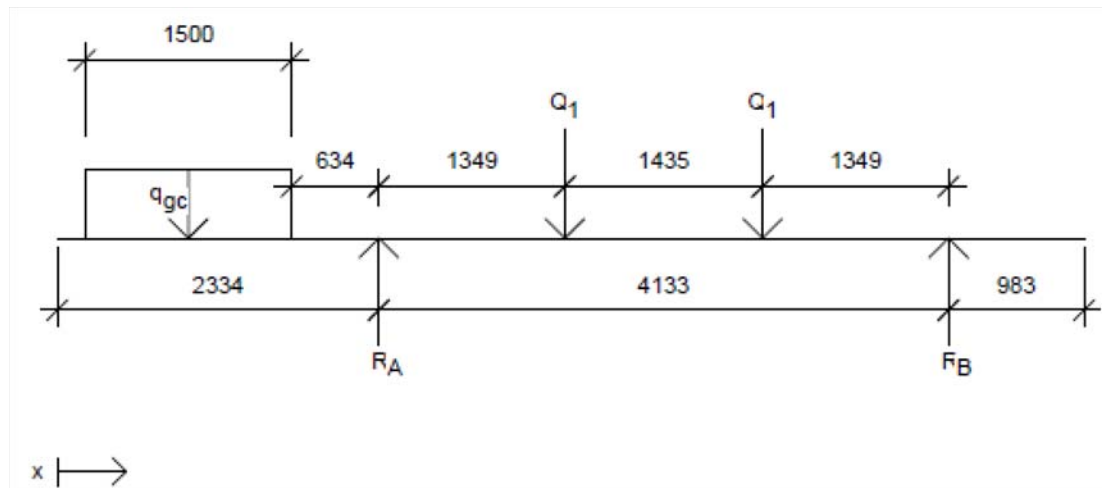
På 3,2 meter rymms tre  $Q_{vk}$ , det ger:

Punktlast järnvägsspår:  $Q_1 := \frac{Q_{vd} \cdot 3}{2} = 498.75 \cdot \text{kN}$

Punktlast axeltryck:  $Q_{axel} := \frac{Q_{sv1} + Q_{sv2}}{2} = 60 \cdot \text{kN}$

Utbredd last gc-bana:  $q_{gc} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.2 \text{ m} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

### 3.1 Lastfall 1, befintlig bro oförändrad



Beräkningen visar belastningen på järnvägsbron som den ser ut idag. Antagandet, att ett servicfordon ej får plats på gång- och cykelbanan som den ser ut idag, har gjorts, därför är beräkningar bara gjorda med utbredd last på gång- och cykelbanan.

Längd mellan balk och mitten av spåret:  $l_1 := 2.0665\text{m}$

Längd från balk A till mitt gc-bana:  $l_2 := 1.384\text{m}$

Längd mellan punktlasterna  $Q_1$ :  $l_3 := 1.435\text{m}$

Läng från balk till  $Q_1$ :  $l_4 := 1.349\text{m}$

Bredd gc-bana:  $b_{gc} := 1.5\text{m}$

Moment kring B ger:

Given

$$R_A \cdot l_1 \cdot 2 = Q_1 \cdot l_4 + Q_1 \cdot (l_4 + l_3) + q_{gc} \cdot b_{gc} \cdot (l_1 \cdot 2 + l_2)$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 530.787 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}} := Q_1 \cdot 2 + q_{gc} \cdot b_{gc} = 1.022 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}} - R_A = 490.713 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor lastfall 1: 
$$ff_{A1} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}}} = 0.52$$

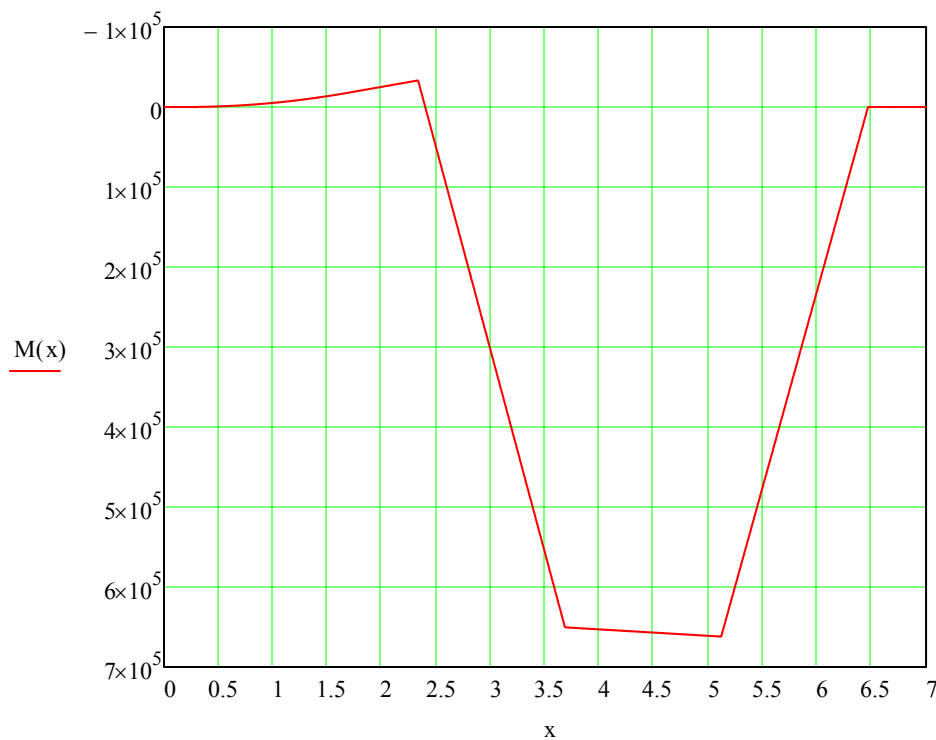
Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

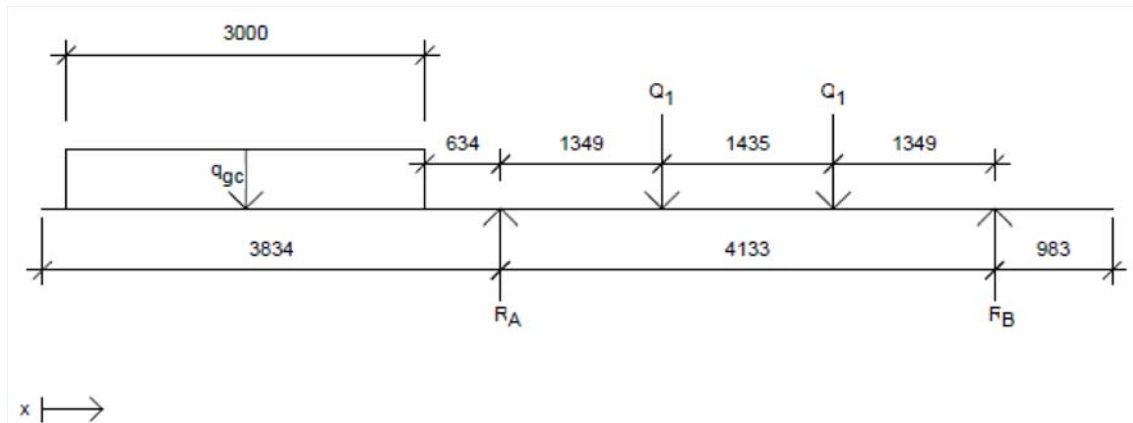
$$M_{1\text{stöd}} := M(2.334\text{m}) = -33.216 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid last Q1 3,5 meter:

$$M_{1\text{fält}} := M(5.118\text{m}) = 661.972 \cdot \text{kNm}$$



### 3.2 Lastfall 2, bron breddad, breddning belastad med gång - och cykellast.



Beräkning 2 visar belastningen på jämvägsbron vid en breddning av gång- och cykelbanan, med 1,5 meter till totalt 3 meter, med hänsyn till utbredd last.

Ny bredd gc-bana:

$$b_{gc} := 3\text{m}$$

Ny längd från balk A till mitt gc-bana:

$$l_2 := 2.134\text{m}$$

Moment kring B ger:

Given

$$R_A \cdot l_1 \cdot 2 = Q_1 \cdot l_4 + Q_1 \cdot (l_4 + l_3) + q_{gc} \cdot b_{gc} \cdot (l_1 \cdot 2 + l_2)$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 571.534 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}2} := Q_1 \cdot 2 + q_{gc} \cdot b_{gc} = 1.046 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{\text{tot}2} - R_A = 473.966 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor lastfall 2: 
$$ff_{A2} := \frac{R_A}{P_{\text{tot}2}} = 0.547$$

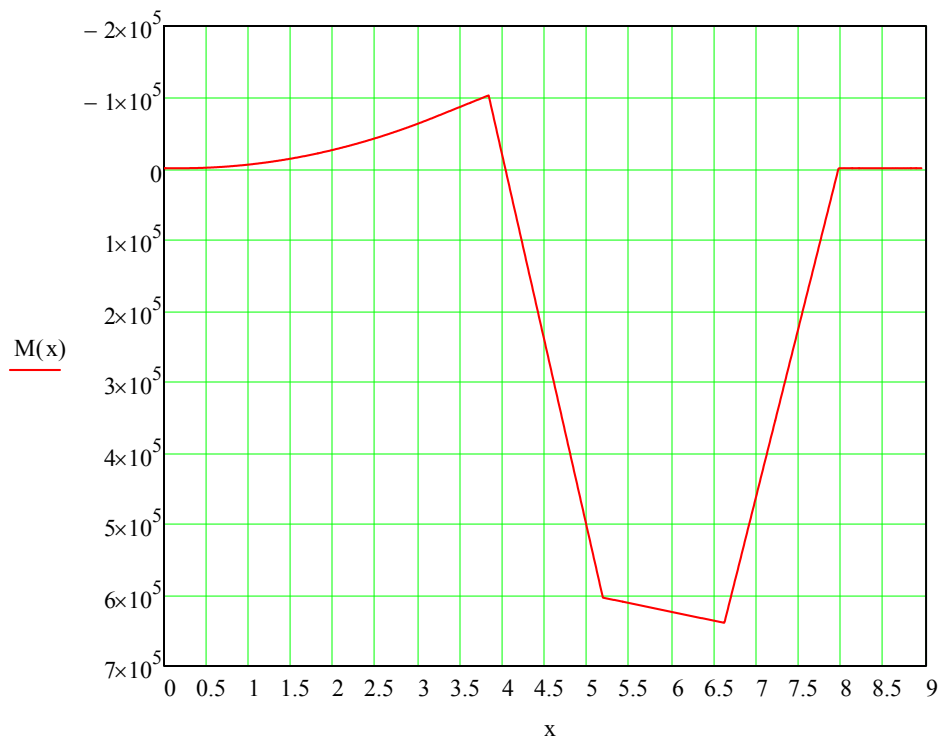
Moment i tvärlädd:

Maximalt negativt moment i tvärlädd vid stöd A:

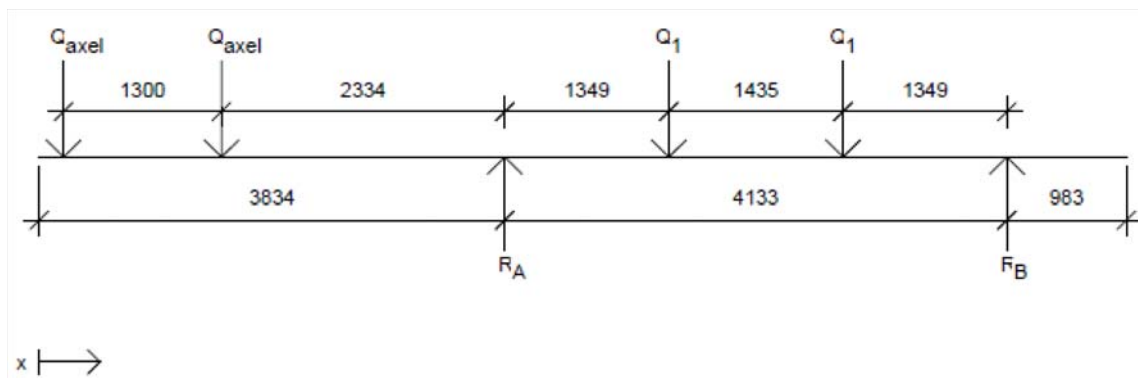
$$M_{2\text{stöd}} := M(3.834\text{m}) = -102.432 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärlädd vid last Q1 3,5 meter:

$$M_{2\text{fält}} := M(6.618\text{m}) = 639.38 \cdot \text{kNm}$$



### 3.3. Lastfall 3, breddad bro, breddning belastad med servicefordon



Beräkning 3 visar belastningen på järnvägsbron vid en breddning av gång- och cykelbanan med 1,5 meter till totalt 3 meter, med hänsyn till servicefordonet.

Längd från balk A till första  $Q_{axel}$ :  $l_2 := 2.334\text{m}$

Längd mellan  $Q_{axel}$ :  $l_{axel} := 1.3\text{m}$

Längd mellan  $Q_{axel}$  och  $Q_1$ :  $l_5 := 3.683\text{m}$

Moment kring B ger:

Given

$$R_A \cdot l_1 \cdot 2 = Q_1 \cdot l_4 + Q_1 \cdot (l_4 + l_3) + Q_{axel} \cdot (l_4 + l_3 + l_5) + Q_{axel} \cdot (l_4 + l_3 + l_5 + l_{axel})$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 705.389 \cdot \text{kN}$$

$$P_{tot3} := Q_1 \cdot 2 + Q_{axel} \cdot 2 = 1.117 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := P_{tot3} - R_A = 412.111 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor lastfall 3: 
$$ff_{A3} := \frac{R_A}{P_{tot3}} = 0.631$$

Moment i tvärled:

Maximalt negativt moment i tvärled vid stöd A:

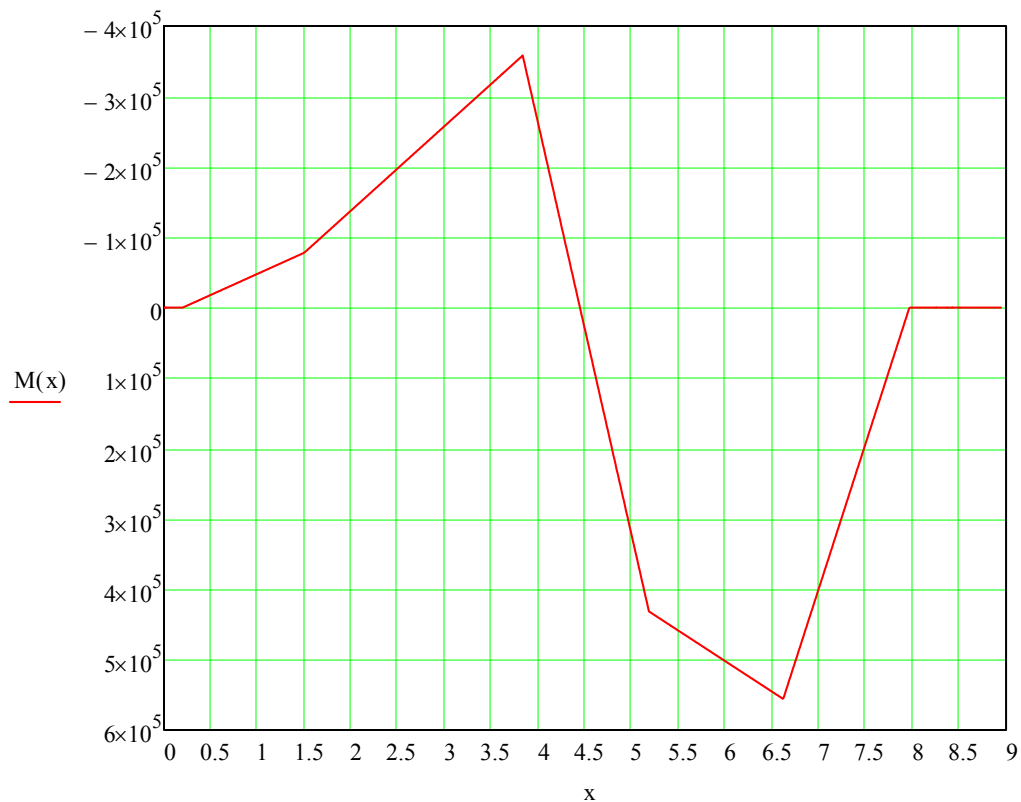
$$M_{3stöd} := M(3.834\text{m}) = -358.08 \cdot \text{kNm}$$

Maximalt positivt moment i tvärled vid last Q1 meter:

$$M_{3fält} := M(6.618\text{m}) = 555.937 \cdot \text{kNm}$$

Momentet efter 1,5 meter där momentet tidigare var noll:

$$M_{3konsol} := M(1.5\text{m}) = -78 \cdot \text{kNm}$$



### **3.4 Sammanställning, beräkningar i tvärlid**

#### Lastfall 1:

Spårbunden last enligt LM71, 1,5m gång- och cykelbana belastad med utbredd last.

Filfaktor:  $ff_{A1} = 0.52$

Stödmoment:  $M_{1stöd} = -33.216 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{1fält} = 661.972 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 2:

Spårbunden last enligt LM71. Bron breddad med 1,5m gång- och cykelbana. Hela 3m gång- och cykelbanan belastad med utbredd last.

Filfaktor:  $ff_{A2} = 0.547$

Stödmoment:  $M_{2stöd} = -102.432 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{2fält} = 639.38 \cdot \text{kNm}$

#### Lastfall 3:

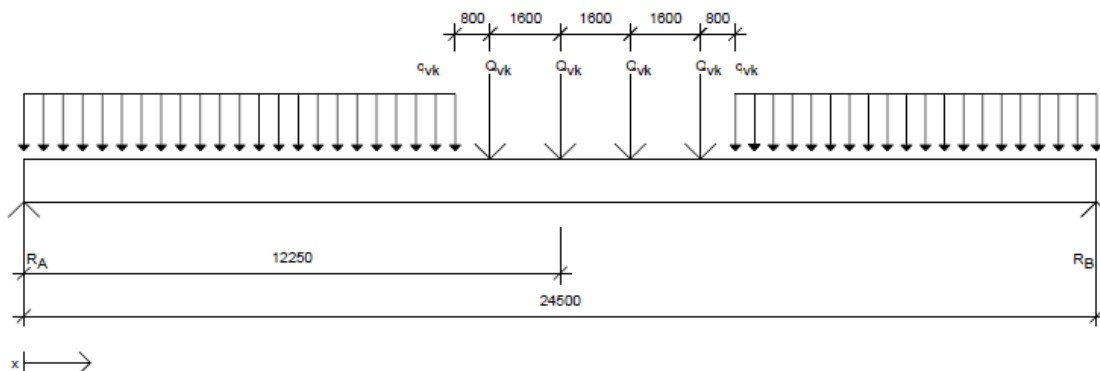
Spårbunden last enligt LM71. Bron breddad med 1,5m gång- och cykelbana. Gång- och cykelbanan belastad med axellast från servicefordon placerad på brons ytterkant.

Filfaktor:  $ff_{A3} = 0.631$

Stödmoment:  $M_{3stöd} = -358.08 \cdot \text{kNm}$

Fältmoment:  $M_{3fält} = 555.937 \cdot \text{kNm}$

## 4. Beräkning av järnvägsbron i längsled.



Bron i längsled beräknas med Lastmodell LM 71 och med de filfaktorer som räknats fram ovan för att se hur balk A belastas i längsled. samtliga laster från spårbunden trafik anpassas med faktor  $\alpha=1,35$

### Filfaktorer från tidigare:

Lastfall 1:	$ff_{A1} = 0.52$	Bron i dagens utförande med en GC-bana på 1,5 meter
Lastfall 2:	$ff_{A2} = 0.547$	Bron med en GC-bana på 3 meter bredd, utbredd last
Lastfall 3:	$ff_{A3} = 0.631$	Bron med en GC-bana på 3 meter, last från servicefordon.

**Brons spännvid (längsta spannet):**  $l := 24.5\text{m}$

Last från servicefordon antas verka med den tyngsta axeln i mitten av spannet och den lättare axeln 3 meter åt höger i figuren.

### Laster:

Axellast från spårbunden trafik:	$Q_{vk} := 250\text{kN}$	$Q_{vd} := \alpha \cdot Q_{vk} = 332.5 \cdot \text{kN}$
Utbredd last från spårbunden trafik:	$q_{vk} := 80 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$q_{vd} := \alpha \cdot q_{vk} = 106.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Axellaster från servicefordon:	$Q_{sv1} := 80\text{kN}$	$Q_{sv2} := 40\text{kN}$
Utbredd last från GC-trafik:	$q_{gc} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	

Lasterna multipliceras med filfaktorn i varje fall.

### Längder:

Längderna är mätta från  $R_B$  och från vänster till höger

Längd av utbredd last 1:  $l_1 := 9.85\text{m}$

Längd från  $R_B$  till mitten av utbredd last 1:  $l_2 := 19.575\text{m}$

Längd från  $R_B$  till punktlast 1:  $l_3 := 13.85\text{m}$

Längd från  $R_B$  till punktlast 2:  $l_4 := 12.25\text{m}$

Längd från  $R_B$  till punktlast 3:  $l_5 := 10.65\text{m}$

Längd från  $R_B$  till punktlast 4:  $l_6 := 9.05\text{m}$

Längd av utbredd last 2:  $l_7 := 8.25\text{m}$

Längd av utbredd last 2:  $l_8 := 9.25\text{m}$

## 4.1 Lastfall 1

Bron belastas med spårbunden trafik samt med gc last på en 1,5 meter bred gång och cykelbana, antagand om att ett servicefordon med axelbredd på 1,3 meter ej ryms på gc banan har gjorts.

$$Q_{vd1} := ff_{A1} \cdot Q_{vd} = 172.772 \cdot \text{kN}$$

$$q_{vd1} := ff_{A1} \cdot q_{vd} = 55.287 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{gc1} := ff_{A1} \cdot q_{gc} = 2.598 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

En momentjämvikt runt Balk B ger oss stödreaktionerna:

Given

$$R_A \cdot l = q_{vd1} \cdot l_1 \cdot l_2 + Q_{vd1} \cdot l_3 + Q_{vd1} \cdot l_4 + Q_{vd1} \cdot l_5 + Q_{vd1} \cdot l_6 + q_{vd1} \cdot \frac{l_7^2}{2} + 1.5 \text{m} \cdot q_{gc1} \cdot l \cdot \frac{1}{2}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

$$R_A = 882.619 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}} := 4 \cdot Q_{vd1} + (l_1 + l_7) \cdot q_{vd1} + 1.5 \text{m} \cdot l \cdot q_{gc1}$$

$$R_B := P_{\text{tot}} - R_A = 904.644 \cdot \text{kN}$$

Maxmoment i balkmitt:

$$M_1 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 6.254 \cdot \text{MNm}$$



## 4.2 Lastfall 2

Bron belastas med spårbinden trafik samt med gc last på en 3 meter bred gång och cykelbana.

$$Q_{vd2} := ff_{A2} \cdot Q_{vd} = 181.765 \cdot \text{kN}$$

$$q_{vd2} := ff_{A2} \cdot q_{vd} = 58.165 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{gc2} := ff_{A2} \cdot q_{gc} = 2.733 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

En momentjämvikt runt Balk B ger oss stödreaktionerna:

Given

$$R_A \cdot l = q_{vd2} \cdot l_1 \cdot l_2 + Q_{vd2} \cdot l_3 + Q_{vd2} \cdot l_4 + Q_{vd2} \cdot l_5 + Q_{vd2} \cdot l_6 + q_{vd2} \cdot \frac{l_7^2}{2} + 3m \cdot q_{gc2} \cdot l \cdot \frac{1}{2}$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

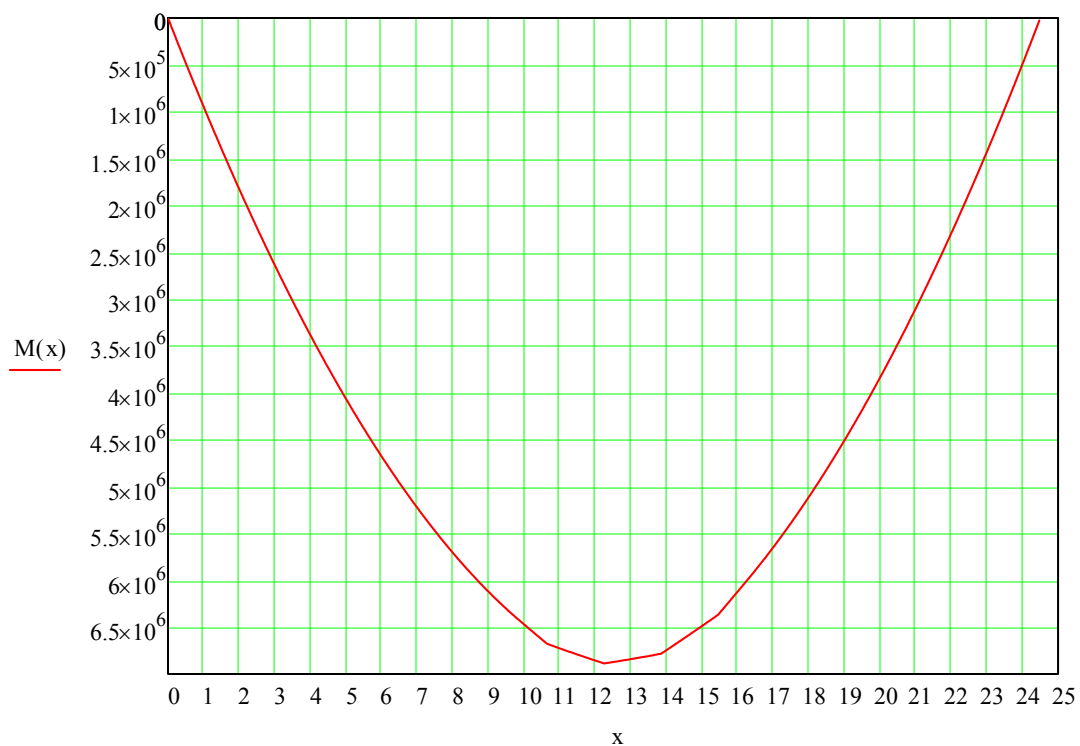
$$R_A = 978.784 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}} := 4 \cdot Q_{vd2} + (9.85\text{m} + 8.25\text{m}) \cdot q_{vd2} + 3\text{m} \cdot l \cdot q_{gc2}$$

$$R_B := P_{\text{tot}} - R_A = 1.002 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Maxmoment i balkmitt:

$$M_2 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 6.887 \cdot \text{MNm}$$



### 4.3 Lastfall 3

Bron belastas med spårbunden trafik samt med ett servicefordon på GC banan.

$$Q_{vd3} := ff_{A3} \cdot Q_{vd} = 209.881 \cdot \text{kN}$$

$$q_{vd3} := ff_{A3} \cdot q_{vd} = 67.162 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Q_{sv1.3} := ff_{A3} \cdot Q_{sv1} = 50.498 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{sv2.3} := ff_{A3} \cdot Q_{sv2} = 25.249 \cdot \text{kN}$$

En momentjämvikt runt Balk B ger oss stödreaktionerna:

Given

$$R_A \cdot l = q_{vd3} \cdot l_1 \cdot l_2 + Q_{vd3} \cdot l_3 + Q_{vd3} \cdot l_4 + Q_{vd3} \cdot l_5 + Q_{vd3} \cdot l_6 + q_{vd3} \cdot \frac{l_7^2}{2} + Q_{sv1.3} \cdot l_4 + Q_{sv2.3} \cdot l_8$$

$$R_A := \text{Find}(R_A)$$

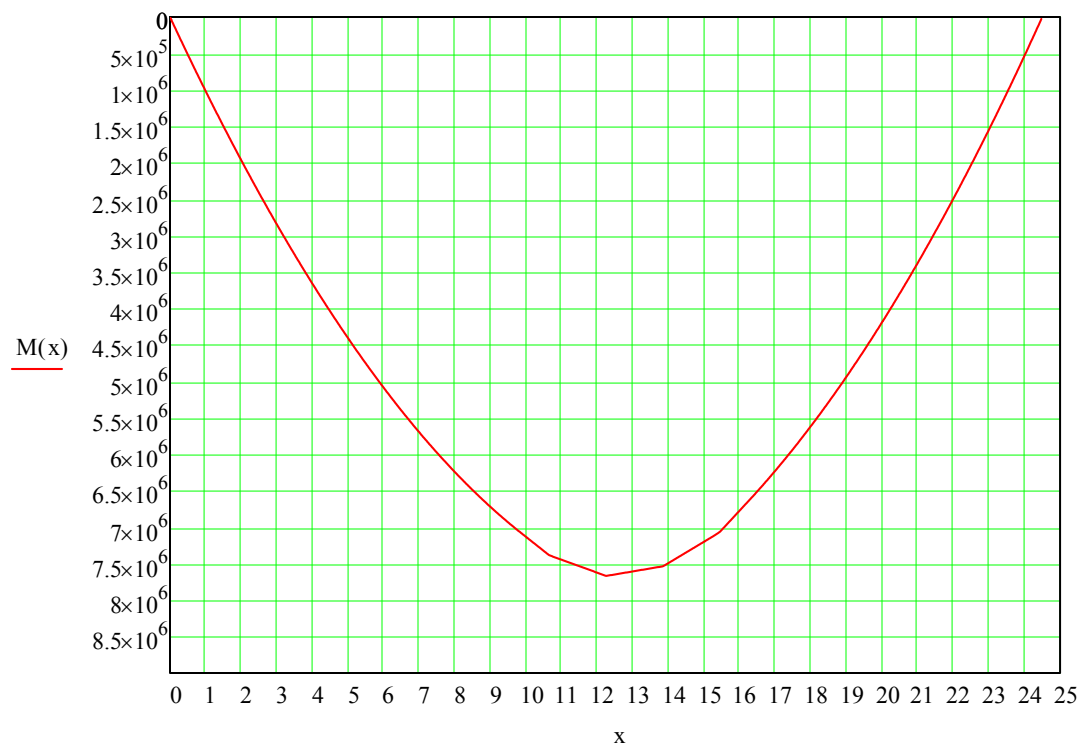
$$R_A = 1.049 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{tot}} := 4 \cdot Q_{vd3} + (9.85\text{m} + 8.25\text{m}) \cdot q_{vd3} + Q_{sv1.3} + Q_{sv2.3}$$

$$R_B := P_{\text{tot}} - R_A = 1.082 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Maxmoment i balkmitt:

$$M_3 := M\left(\frac{l}{2}\right) = 7.668 \cdot \text{MNm}$$



## **4.4 Sammanställning, beräkningar i längsled**

### Lastfall 1:

Spårbunden last enligt LM71, 1,5m gång- och cykelbana belastad med utbredd last.

Filfaktor:  $ff_{A1} = 0.52$

Maximalt moment:  $M_1 = 6.254 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot1}} = 1.52 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### Lastfall 2:

Spårbunden last enligt LM71. Bron breddad med 1,5m gång- och cykelbana. Hela 3m gång- och cykelbanan belastad med utbredd last.

Filfaktor:  $ff_{A2} = 0.547$

Maximalt moment:  $M_2 = 6.887 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot2}} = 1.046 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

### Lastfall 3:

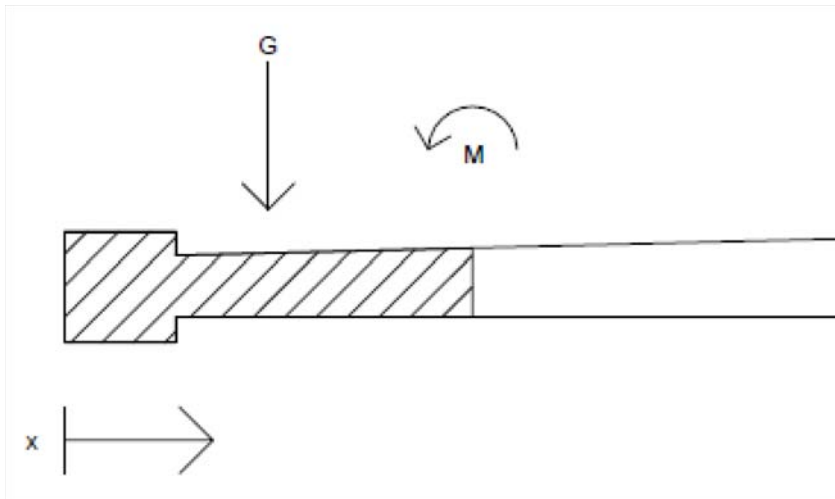
Spårbunden last enligt LM71. Bron breddad med 1,5m gång- och cykelbana. Gång- och cykelbanan belastad med axellast från servicefordon placerad på bronns ytterkant.

Filfaktor:  $ff_{A3} = 0.631$

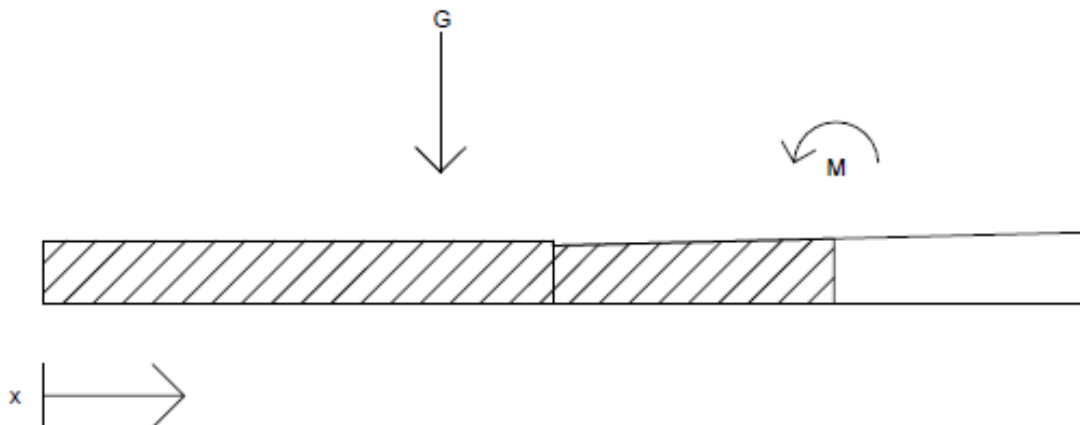
Maximalt moment:  $M_3 = 7.668 \cdot \text{MNm}$

Total last på balk A:  $P_{\text{tot3}} = 1.117 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

## 5. Ersätta befintlig betong med nytt material.



För att undersöka om konstruktionens egentyngd går att behålla relativt oförändrad görs lite förenklade överslagsberäkningar över ett möjligt utbyte av material och hur pass mycket betong som skulle behöva tas bort för att kunna ersättas av ett lättare material.



Den tänkta breddningen av bron är på 1,25 meter och hela denna bredd och den mängd betong som tas bort blir en konstruktion av ett lättare material. Vi antar att betongplattan är 200 mm i genomsnittstjocklek för den delen vi tar bort, då kantbalken är 300\*300 så är detta rimligt.

De material som är aktuella är: trä, aluminium, fiberförstärkt polymerkomposit (FRP). Aluminium och FRP finns i färdiga däckssystem. trä och stål kan dimensioneras efter behov.

**Egentyngder:**

Egentyngd armerad betong:  $\rho_{\text{btg}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egentyngd trä:  $\rho_{\text{trä}} := 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Träplattan antas vara 200 mm tjock för att matcha betongplattan.

Egentyngd FRP, FBD 300:  $\rho_{\text{frp300}} := g \cdot 42.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.413 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egentyngd aluminium, System 100:  $\rho_{\text{alu100}} := g \cdot 60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.588 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egentyngd stål:  $\rho_{\text{stål}} := g \cdot 65.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.643 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Plattan i stål utgörs av 10 mm grovplåt och IPE 180 balkar för att matcha betongplattans tjocklek.

**Dimensioner:**

Plattans tjocklek:  $h := 0.2\text{m}$

Breddningen:  $b_{\text{gc}} := 1.25\text{m}$

## 5.1 Beräkning då gång- och cykelbanan breddas med 1,25 meter

### 5.1.1 Trä

Om vi antar att träplattan för breddningen är av samma tjocklek som betongplattan

$$h_{\text{trä}} := 0.2\text{m}$$

**För att behålla samma egentyngd:**

Gissa ett värde på x för att mathcad ska kunna räkna.

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

Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{\text{btg}} = h_{\text{trä}} \cdot (b_{\text{gc}} + x) \cdot \rho_{\text{trä}}$$

$$x \geq 0\text{m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.238\text{ m}$$



För att behålla samma egentyngd i broplattan behöver 0.238 meter av betongen tas bort och ersättas med trä.

Given

$$h \cdot \rho_{\text{btg}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = h \cdot (x + b_{\text{gc}}) \cdot \rho_{\text{trä}} \cdot \frac{(x + b_{\text{gc}})}{2}$$

$$x \geq 0\text{m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.833\text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 0.833 meter betong tas bort och ersättas med trä. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

## 5.1.2 FRP

För att behålla samma egentyngd:

Med FBD 300:

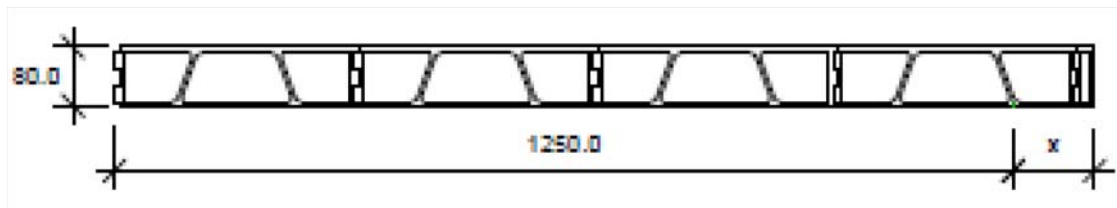
Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{btg} = (b_{gc} + x) \cdot \rho_{frp300}$$

$$x \geq 0\text{m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.113\text{ m}$$



För att behålla samma egentyngd i broplattan behöver 0.113 meter av betongen tas bort och ersättas med FBD 300.

För att behålla samma moment i punkten x

Med FBD 300

Given

$$h \cdot \rho_{btg} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = (x + b_{gc}) \cdot \rho_{frp300} \cdot \frac{(x + b_{gc})}{2}$$

$$x \geq 0\text{m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.504\text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 0.504 meter betong tas bort och ersättas med FBD 300, motsvarande för FBD 450 är 0.676 meter. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

### 5.1.3 Aluminium

För att behålla samma egentygnd:

Med System 100:

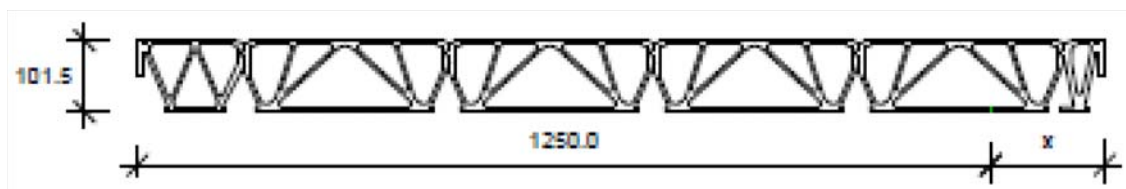
Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{btg} = (b_{gc} + x) \cdot \rho_{alu100}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.167 \text{ m}$$



För att behålla samma egentygnd i broplattan behöver 0.167 meter av betongen tas bort och ersättas med System 100.

För att behålla samma moment i en punkt x läng med plattan:

Med System 100:

Given

$$h \cdot \rho_{btg} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = (x + b_{gc}) \cdot \rho_{alu100} \cdot \frac{(x + b_{gc})}{2}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.653 \text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 0.653 meter betong tas bort och ersättas med FBD 300. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

## 5.1.4 Stål

Vi har antagit att en platta av 10 mm grovplåt på IPE 180 balkar kan användas som broplatta på GC banan.

För att behålla samma egentyngd:

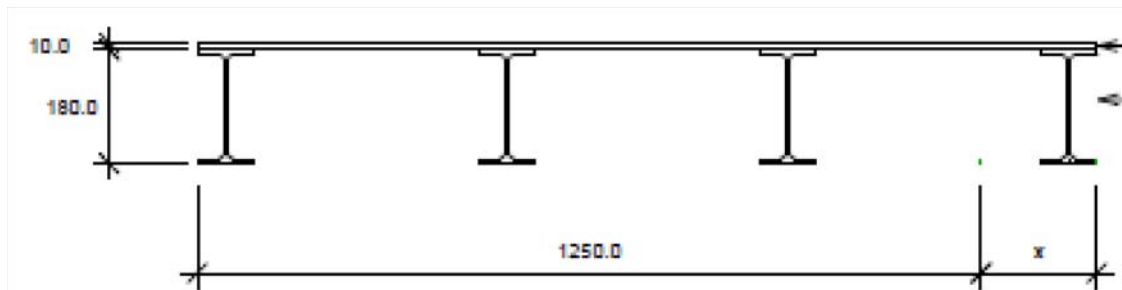
Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{btg} = (b_{gc} + x) \cdot \rho_{stål}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.185 \text{ m}$$



För att behålla samma egentyngd i broplattan behöver 0.185 meter av betongen tas bort och ersättas med stålplattan.

För att behålla samma moment i en punkt x längs med plattan:

Given

$$h \cdot \rho_{btg} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = (x + b_{gc}) \cdot \rho_{stål} \cdot \frac{(x + b_{gc})}{2}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.699 \text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 0.699 meter betong tas bort och ersättas med stålplatta. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

## 5.2 Beräkning då befintlig bro breddas med 3 meter gång- och cykelbanan

Ny bredd på gång och cykelbana:  $b_{gc} := 3\text{m}$

### 5.2.1 Trä

För att behålla samma egentyngd:

Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{btg} = h_{trä} \cdot (b_{gc} + x) \cdot \rho_{trä}$$

$$x \geq 0\text{m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.571\text{ m}$$

För att behålla samma egentyngd i broplattan vid en breddning på 3 meter behöver 0.571 meter av betongen tas bort och ersättas med trä. för att behålla samma moment i en punkt x läng med plattan:

Given

$$h \cdot \rho_{btg} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = h \cdot (x + b_{gc}) \cdot \rho_{trä} \cdot \frac{(x + b_{gc})}{2}$$

$$x \geq 0\text{m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 2\text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 2 meter betong tas bort och ersättas med trä. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

## 5.2.2 FRP

För att behålla samma egentyngd:

Med FBD 300:

Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{btg} = (b_{gc} + x) \cdot \rho_{frp300}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.27 \text{ m}$$

För att behålla samma egentyngd i broplattan behöver 0.27 meter av betongen tas bort och ersättas med FBD 300. För att behålla samma moment i en punkt x läng med plattan:

Med FBD 300

Given

$$h \cdot \rho_{btg} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = (x + b_{gc}) \cdot \rho_{frp300} \cdot \frac{(x + b_{gc})}{2}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 1.21 \text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 1.21 meter betong tas bort och ersättas med FBD 300. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

## 5.2.3 Aluminium

För att behålla samma egentyngd:

Med System 100:

Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{btg} = (b_{gc} + x) \cdot \rho_{alu100}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.4 \text{ m}$$

För att behålla samma egentyngd i broplattan behöver 0.4 meter av betongen tas bort och ersättas med System 100. För att behålla samma moment i en punkt x längs med plattan:

Med System 100:

Given

$$h \cdot \rho_{btg} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = (x + b_{gc}) \cdot \rho_{alu100} \cdot \frac{(x + b_{gc})}{2}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 1.567 \text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 1.567 meter betong tas bort och ersättas med System 100, detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.

## 5.2.4 Stål

Vi har antagit att en platta av 10 mm grovplåt på IPE 180 balkar kan användas som broplatta på GC banan.

För att behålla samma egentyngd:

Given

$$h \cdot x \cdot \rho_{\text{btg}} = (b_{\text{gc}} + x) \cdot \rho_{\text{stål}}$$

$$x \geq 0 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 0.443 \text{ m}$$

För att behålla samma egentyngd i broplattan behöver 0.443 meter av betongen tas bort och ersättas med stålplattan. För att behålla samma moment i en punkt x längs med plattan:

Given

$$h \cdot \rho_{\text{btg}} \cdot \frac{x^2}{2} = \rho_{\text{stål}} \cdot \frac{(x + b_{\text{gc}})^2}{2}$$

$$x \geq 1 \text{ m}$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 1.678 \text{ m}$$

För att momentet ska behållas i punkten x i betongplattan behöver 1.678 meter betong tas bort och ersättas med stålplatta. Detta är den sträckan av den befintliga konstruktionen som behöver ersättas.