

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Petra Larsen

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund Universitet, 2009

Rapport TVBK - 5169

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Department of Structural Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Examensarbete

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Master Thesis

Determination of traffic loads at the Öland Bridge based on measurements of vehicles

Petra Larsen

Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Februari 2009

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Rapport TVBK-5169
ISSN: 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-09/5169+83p

Examensarbete
Handledare: Fredrik Carlsson
Februari 2009

Bilden på omslaget är hämtad från Internet: www.skyscrapercity.com (090217)

Förord

Detta examensarbete har utförts på civilingenjörsutbildningen inom Väg- och vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola.

Jag vill framförallt tacka min handledare Fredrik Carlsson för idén till detta examensarbete, hans goda sakkunnighet och stora engagemang.

Lund, Februari 2008

Petra Larsen

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Sammanfattning

Titel: Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Författare: Petra Larsen

Handledare: Teknisk doktor Fredrik Carlsson, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola

Problemställning: Transporterna på vägarna blir allt tyngre vilket medför att lasterna på våra broar ökar. Broarna måste då kontrolleras om de klarar dessa nya laster. I Sverige kontrolleras broars trafiklastkapacitet med regelverket, Klassningsberäkningar av vägbroar. Under 2006 genomförde Vägverket en klassningsberäkning av Ölandsbron och fann att trafiklastkapaciteten var lite lägre än önskvärt. Vägverket beslöt då att bron skulle kontrolleras med mer förfinade metoder. Som ett steg i detta skulle trafiklasterna på Ölandsbron undersökas.

Vägverket har under 2007 utfört mätningar av fordon på Ölandsbron med hjälp av de två mätsystemen B-WIM och sidoposition. Från dessa mätningar kan trafiklasterna på Ölandsbron utvärderas.

Syfte: Syftet med denna rapport är att med hjälp av de utförda mätningarna som bas simulera köer på Ölandsbron. Därefter beräkna moment för de simulerade köerna och jämföra dessa moment med motsvarande moment som beräknas enligt bronormer.

Metod: Vid simulering av köer används många statistiska fördelningar. De statistiska fördelningarna som beskrivs i denna rapport är normalfördelningen, poissonfördelningen, betafördelningen, exponentialfördelningen och den generaliserade extremvärdesfördelningen.

En utvärdering av resultaten från B-WIM- och sidopositionsmätningarna har gjorts för att ta reda på vilken typ av fordon som passerar bron. I simulering av köer används mätdata för axellaster och axelavstånd för de tunga fordonen. Dimensioner och axellaster från Volvo och Saabs personbilar har däremot fått representera en genomsnittlig personbil.

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Simulering av köer har gjorts med datorprogrammet Matlab R2006a. De simulerade köernas moment har beräknats i det kritiska snittet. Momenten från de simulerade köerna har sedan jämförts med motsvarande moment beräknade enligt bronormer.

Slutsatser:

Vid utvärderingen av datamaterialet som samlades in från de båda mätmetoderna B-WIM och sidoposition kunde följande konstateras. Cirka 95 procent av alla fordon som passerar Ölandsbron är personbilar och resterande fem procent är lastbilar. Det kunde även konstateras att majoriteten av den tunga trafiken som trafikerar bron i östlig riktning är placerad i högerfilen. För den tunga trafiken i västlig riktning är förhållandet det motsatta. Antagligen beror det på att mätplatsen är illa vald. Mätningarna i västlig riktning speglar inte hur den tunga trafiken är placerad på Ölandsbron. Därför används bara mätdata för den östliga riktningen vid simulering av köer.

I denna rapport har snittkrafter genererade av köer i Ölandsbrons mest belastade snitt studerats. Definitionen på en kö i denna rapport är att fordonen kör med en låg hastighet, under 10 km/h och att avståndet mellan fordonen är litet, omkring 10 meter. Tunga och lätta fordon är slumpmässigt blandade i kön. Köernas sammansättning har bestämts genom simulering. Vissa förenklingar har varit tvungna att införas och dessa är:

1. Personbilarna har konstanta värden på axellaster och axelavstånd.
2. Avstånd mellan fordon har samma betafördelning
3. Köer i fil 1 simuleras på samma sätt som för fil 2

Följande antal köer per år simuleras, 10, 50, 100, 250, 500 och 1000. De karakteristiska momenten för de simulerade köerna ökar med antal köer. I denna rapport simulerades endast 100 årsmaxima. För bättre resultat borde fler simuleringar göras. Detta borde bidra till att de karakteristiska momenten skulle kunna bestämmas noggrannare. Antal köer på Ölandsbron i den östliga riktningen beräknas till cirka 22 stycken per år.

Resultatet från beräkningarna i rapporten visar att bronormerna ger generellt sett mycket höga trafiklastmoment. Bro 04 ger det högsta trafiklastmomentet.

Nyckelord:

trafiklast, bronormer, axeltryck, boggilast, axelavstånd, B-WIM, Sidpositions-mätning, influenslinje, karakteristiskt moment, fördelningsfunktioner

Abstract

Title: Determination of traffic loads at the Öland Bridge based on measurements of vehicles

Author: Petra Larsen

Supervisor: Assist. Prof. Fredrik Carlsson, Division of Structural Engineering, Lund University

Problem formulation: Transportation of goods on the Swedish road net are constantly increasing. The owners of the Swedish bridges as well as the transporting companies wishes to increase the allowed loads on the bridges. To check if it is possible to increase the loads Vägverket uses the classification code, Klassningsberäkningar av vägbroar (1998). A classification of the Öland bridge was made by Vägverket in 2006. Their conclusions was that the capacity did not quite fulfil their demands. As a result of this Vägverket decided to measure traffic loads at the Öland Bridge and use the result for a more refined analysis of the bridge.

During 2007 Vägverket measured traffic loads at the Öland Bridge. The two measuring methods B-WIM and Sideposition were used.

Objective: The object of this master thesis is to determine the moments generated by vehicle queues in the Öland bridge. In order to determine these moments, vehicle queues were simulated. The simulated vehicle queues are based on the measurements. The calculated characteristic moments from the queues are compared to correspondent moments from other traffic situations and bridge codes.

Method: Simulations of vehicle queues demands statistical information about the characteristic of vehicles at the bridge site. In this master thesis five probability distributions have been used to model different variables related to the vehicles that trafficking the bridge. The probability distributions used in this thesis are the normal, exponential, Poisson, beta and extreme value distributions.

From the measurement it is possible to determine what kind of vehicles that passes over the Öland Bridge. In simulations of vehicle queues data for axle loads and wheel base from heavy vehicles are used. But dimensions and axle loads for passenger

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

cars are taken directly from Volvo and Saab web pages. Since information of passenger cars are missing in the data material

Queues of vehicles are simulated by the computer programme Matlab R2006a. The simulated queue moments have been calculated in the critical section. These moments have been compared to correspondent given in bridge codes

Conclusion:

Study of the data material shows that about 95 percent of all vehicles at the bridge are passenger cars and remaining 5 percent are trucks. It also shows that in the east direction a major part of the heavy vehicles is, as expected located in the right lane. So is not the case in the other direction, which is a bit strange. An explanation is that the lanes in the western direction split up in two directions, one towards Stockholm and the other towards Kalmar. This implies that the drivers have to choose lane before they enter the location of the instrumented bridge. Normally, heavy vehicles are located in the right lane and therefore only the measurements in the east direction are used in this report.

In this master thesis section forces generated by queues of vehicles at the critical section are studied. The definition of a queue of vehicles is established in this master thesis is defined as: The vehicles are travelling with low velocity, less than 10 km/h and the distance between two vehicles are short, less than 10 meters. It is also a random blend of passenger cars and trucks. The position of vehicles in the queue are random and determined by simulation. To be able to simulate queue of vehicles some simplifications had to be made.

1. All passenger cars have the same axle loads and wheelbases.
2. All the distances between two vehicles have the same beta distribution.
3. The simulation method of queues in lane 2 are the same as in lane 1.

In the simulation the numbers of queues of vehicles are 10, 50, 100, 250, 500 and 1000. When the number of queue of vehicles increases the characteristic moments increases. In this master thesis only 100 maximum moments were simulated for every number of queues. For better result more maximal moment should be simulated. The number of queues during a reference period of one year at the Öland Bridge is calculated to 22.

Generally, moments calculated with the bridge codes are much higher than the simulated moment. Bridge code Bro 04 gives the highest moment.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Keywords: traffic loads, bridge codes, axle load, bogie load, wheel base, B-WIM, Sidepositionmeasurement, influence line, characteristic moment, distribution function

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning.....	5
Abstract.....	7
1 Inledning.....	13
1.1 Bakgrund.....	13
1.2 Syfte.....	13
1.3 Metod och genomförande.....	14
1.4 Avgränsningar.....	14
1.5 Frågeställning.....	14
2. Matematisk statistik.....	15
2.1 Normalfördelning.....	15
2.2 Poissonfördelning.....	16
2.3 Exponentialfördelning.....	16
2.4 Betafördelning.....	17
2.5 Generaliserad extremvärdesfördelning.....	18
3. Bronormer.....	21
3.1 Bro 04.....	21
3.2 Eurocode.....	22
3.3 Klassningsberäkning av vägbroar (1998).....	23
4. Mätningar.....	27
4.1 B-WIM (Bridge-Weigh-In-Motion).....	27
4.2 Sidoposition.....	28
5 Utvärdering av mätdata.....	31
5.1 Uppdelning av fordon.....	31
5.2 Köbildning.....	34
5.3 Personbilar.....	36
5.3.1 Volvo.....	36
5.3.2 Saab.....	37
5.3.3 Genomsnittlig personbil.....	37
5.4 Lastbilar.....	38
6. Simulering av köer.....	39
6.1 Kritiska snittet.....	39
6.2 Simulering av köer.....	40
6.3 Beräkning av moment för den simulerande kön.....	43
6.4 Resultat från simuleringarna.....	43
6.5 Frekvens av köer på Ölandsbron.....	48
6.6 Getachews simulering av en kö.....	50
7. Momentberäkning av sju trafiksituationer.....	53
7.1 Moment som uppkommer av trafiksituationerna ett tungt fordon, omkörning, karavan och kö.....	53
7.2 Momentberäkning av trafiklast enligt Bro 04.....	54
7.3 Momentberäkning av trafiklast enligt Eurocode.....	57
7.4 Momentberäkning enligt Vägverkets Klassningsberäkningar av vägbroar (1998).....	60

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

7.6 Sammanställning av de sju olika trafiksituationerna.....	61
8. Slutsats	63
Referenser	65
Rapporter.....	65
Internet.....	65
Övriga källor	66
Appendix A.....	67
Antal av varje fordonstyp.....	67
Andel av varje fordonstyp.....	68
Andel personbilar	70
Andel lastbilar	71
Appendix B	73
Antal personbilar mellan två lastbilar	73
Appendix C	81

1 Inledning

Snittkrafter som genereras av trafiklaster i broar är mycket varierande och slumpmässiga. Det beror bland annat på att fordonens axeltryck, bruttovikt och placering på bron varierar. Eftersom trafiklasten är varierande är det svårt att författa en generell bronorm som kan användas för alla brotyper. Detta är orsaken till att bronormer är konservativa, det vill säga att snittkrafter enligt bronormerna är högre än de snittkrafter som uppkommer på grund av den verkliga trafiken. Detta är inget problem vid nyproduktion av broar då kostnaden bara ökar marginellt med ökande storlek på konstruktionselementen. För en befintlig bro kan kostnaden att förstärka bron vara avsevärd. Det finns tre sätt att öka en befintlig bros säkerhetsnivå. Det första sättet är att visa att bron har tillräckligt hög säkerhetsnivå med hjälp av analytiska metoder. Det andra sättet är att förstärka och reparera bron. Det tredje sättet är att ta bort den befintliga bron och ersätta med en ny bro. Det första sättet att med analytiska metoder visa att bron har en tillräckligt hög säkerhetsnivå är det mest ekonomiska, se Carlsson (2006).

1.1 Bakgrund

Transporterna på vägarna blir allt tyngre vilket medför att lasterna på våra broar ökar. Broarna måste då kontrolleras om de klarar dessa nya laster. I Sverige kontrolleras broars trafiklastkapacitet med regelverket, Klassningsberäkningar av vägbroar. Under 2006 genomförde Vägverket en klassningsberäkning av Ölandsbron och fann att trafiklastkapaciteten var lite lägre än önskvärt. Vägverket beslöt då att bron skulle kontrolleras med mer förfinade metoder. Som ett steg i detta skulle trafiklasterna på Ölandsbron undersökas.

För att kunna utvärdera trafiklaster på broar krävs insamling av data från verkliga fordon. Med trafikmätningar som till exempel B-WIM och sidoposition kan sådana data erhållas. Exempel på information som dessa mätsystem mäter är axellaster, axelavstånd och fordons position då de trafikerar den aktuella bron. På Ölandsbron har trafikmätningar utförts under 2007 med hjälp av dessa två mätsystem, se Carlsson och Karoumi (2008).

Gullberg & Halldin (2008) har utvärderat och kontrollerat de snittkrafter som uppkommer då ett enskilt tungt fordon kör över Ölandsbron. Carlsson & Karoumi (2008) har även utvärderat de moment som uppkommer av omkörning mellan två tunga fordon och av karavan med tunga fordon. I denna rapport utvärderas snittkrafter som uppkommer i samband med köbildning på bron.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att med hjälp av de utförda mätningarna som bas simulera köer på Ölandsbron. Därefter beräkna moment för de simulerade köerna och jämföra dessa moment med motsvarande moment beräknade enligt bronormerna.

1.3 Metod och genomförande

Vid simulering av köer används många statistiska fördelningar. De statistiska fördelningar som används för att beskriva köernas karakteristika är normalfördelning, poissonfördelning, exponentialfördelning, betafördelning och den generaliserade extremvärdesfördelning. I rapporten är samtliga fördelningar beskrivna.

I rapporten jämförs snittkrafter som de simulerade köerna ger upphov till med motsvarande snittkrafter utvärderade utifrån olika bronormer. Följande bronormer har använts:

- Bro 04
- Eurocode
- Vägverkets Klassningsberäkningar av vägbroar

I samtliga bronormer har endast trafikklaster granskats och jämförts.

Resultaten från B-WIM och sidopositionmätningarna har utvärderats för att ta reda på vilka typer av fordon som trafikerar bron. De uppmätta tunga fordonens axellaster och axelavstånd tas direkt från mätningarna. Däremot saknas motsvarande information angående personbilar. Därför har dimensioner och axellaster för Volvo och Saabs personbilar fått representera en genomsnittlig personbil.

Simuleringarna av köer har gjorts med hjälp av datorprogrammet Matlab R2006a. De simulerade köernas moment har beräknats i det kritiska snittet. Momenten har sedan jämförts med motsvarande moment beräknade enligt de olika bronormerna men också med moment genererade av andra trafiksituationer. De andra trafiksituationerna är ett tungt fordon, omkörning mellan två tunga fordon och karavan av tunga fordon.

1.4 Avgränsningar

De avgränsningar som gjorts i denna rapport är att simulering av köer och beräkning av moment endast görs i den östliga riktningen. Denna begränsning har gjorts på grund av att det är den riktningen där fordonen ger upphov till högst moment i brons huvudbalkar. Samtliga momentberäkningar görs i brottgränstillståndet. I rapporten studeras endast trafikklaster i vertikal riktning.

1.5 Frågeställning

Följande frågor har formulerats:

- Hur kan en kö simuleras och vilka parametrar är viktiga för att karakterisera kön?
- Hur kan antalet köer per år på Ölandsbron bestämmas?
- Vilka moment ger de simulerade köerna upphov till?
- Vilken skillnad är det på de moment som de simulerade köer ger upphov till i jämförelse med de moment som bronormernas typfordon ger upphov till?

2. Matematisk statistik

Inom matematisk statistik talar man om två typer av fördelningar, diskreta och kontinuerliga. Om den stokastiska variabeln antar ett ändbart eller numrerbart antal värden kallas den för en diskret stokastisk variabel. Några exempel på diskreta fördelningar är poissonfördelning och binomialfördelning. En kontinuerlig stokastisk variabel kan anta alla värden i ett intervall. Några exempel på kontinuerliga fördelningar är rektangelfördelningen, exponentialfördelningen och normalfördelningen, Vännman (2006). Detta kapitel beskriver de diskreta och kontinuerliga fördelningar som förekommer i denna rapport för att beskriva fordonsköer. De fördelningar som beskrivs är normalfördelningen, poissonfördelningen, betafördelningen exponentialfördelningen och den generaliserade extremvärdesfördelningen.

2.1 Normalfördelning

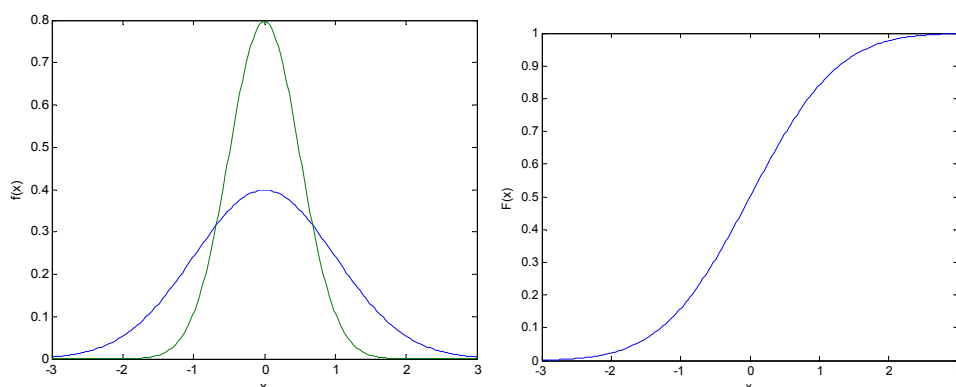
Normalfördelningen är den mest vanliga fördelningen bland de kontinuerliga fördelningarna. En normalfördelad stokastiska variabel har frekvensfunktionen

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}, \quad \text{där } -\infty < x < \infty$$

och fördelningsfunktionen

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx$$

där μ och σ är fördelningens medelvärde respektive standardavvikelse. Frekvensfunktionen är symmetrisk kring μ som anger läget för fördelningen. σ anger fördelningens spridning, ju större sigma är desto större spridning, se Figur 2.1. I den vänstra figuren är $\mu = 0$ för båda normalfördelade stokastiska variabler men $\sigma = 1$ för den nedre och $\sigma = 0,25$ för den övre kurvan. I högra bilden i Figur 2.1 visas även fördelningsfunktionen, $F(x)$ för fallet då $\mu = 0$ och $\sigma = 1$.



Figur 2.1 Frekvensfunktioner (vänster) och fördelningsfunktion (höger) för normalfördelade stokastiska variabler.

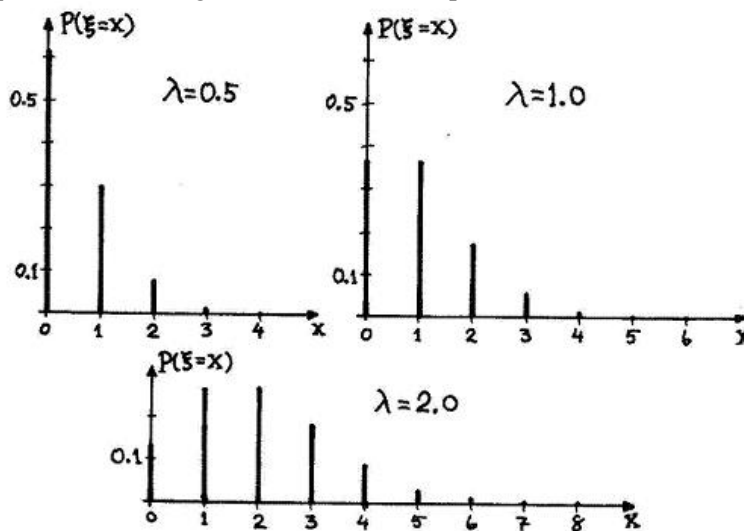
Normalfördelningen kan användas till att till exempel beskriva slumpmässiga mätfel, vibrationer eller luftfuktighet, se Vännman (2006). I denna rapport används normalfördelningen för att beskriva filfaktorn, se kapitel 6.3.

2.2 Poissonfördelning

Poissonfördelning tillhör de diskreta fördelningarna. Fördelningens frekvensfunktion redovisas nedan

$$P(\xi = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, \text{ där } x = 0, 1, 2, \dots \text{ osv.}$$

där λ är fördelningens parameter. λ är det genomsnittliga antalet händelser under ett tidsintervall, Vännman (2006). I Figur 2.2 visas sannolikhetsfunktioner för poissonfördelningar med olika värden på λ .



Figur 2.2 Olika Poissonfördelningar, bilden är hämtad från Vännman (2006).

Poissonfördelningen används i denna rapport för att approximera antalet köer som förväntas uppkomma under ett år.

2.3 Exponentialfördelning

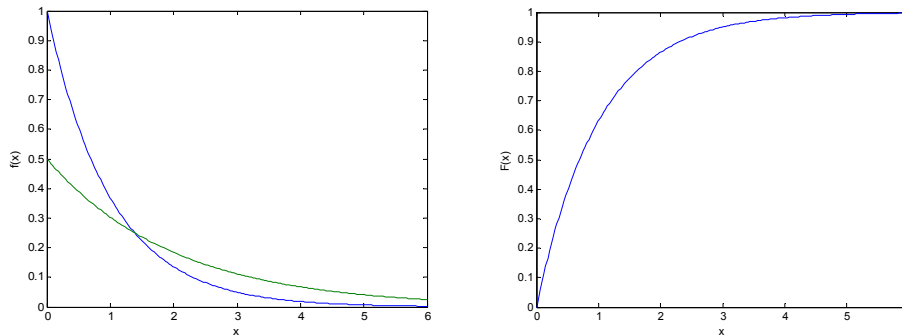
Tiden mellan två händelser som inträffar slumpmässigt och som är oberoende av varandra är ofta exponentialfördelad. Frekvensfunktionen för en exponentialfördelning redovisas nedan:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

där λ är fördelningens parameter. Den vänstra bilden i Figur 2.3 visar två exponentialfördelningar. För den övre kurvan är $\lambda=1$ och den undre kurvans är $\lambda=2$.

Större λ innebär mer utbredd sannolikhetsmassan. Fördelningsfunktionen, $F(x)$ visas i den högra bilden i Figur 2.3.

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & x > 0 \end{cases}$$



Figur 2.3 Frekvensfunktioner (vänster) och fördelningsfunktion (höger) för exponentialfördelade variabler.

Många elektroniska komponenters livslängd antas kunna approximeras med en exponentialfördelning, Vännman (2006). Antalet personbilar mellan två lastbilar modelleras med en exponentialfördelning i denna rapport, se kapitel 5.2.

2.4 Betafördelning

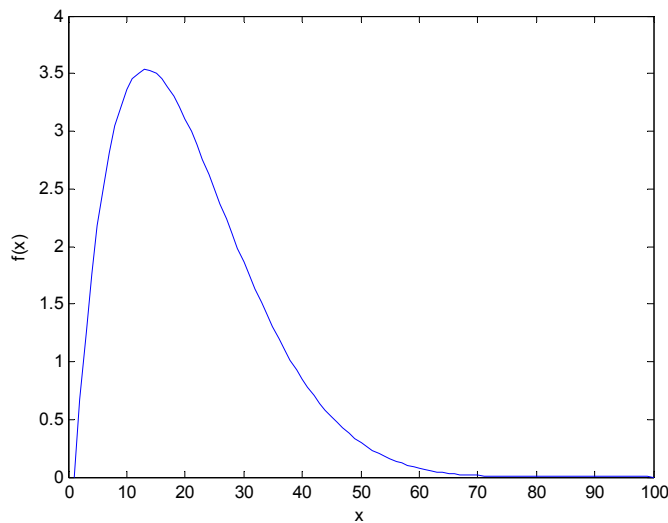
Betafördelningen kan användas till exempel för att uppskatta avståndet mellan två fordon som färdas i en kö eller i en karavan. Frekvensfunktionen för en betafördelning ser ut på följande sätt, Carlsson (2006):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta(q, r)} \frac{(x-a)^{q-1} (b-x)^{r-1}}{(b-a)^{q+r-1}} & a \leq x \leq b \\ 0 & \text{övriga värden} \end{cases}$$

Där a och b är funktionens övre respektive undre gränsvärde. r och q är parametrar som bestämmer fördelningens utseende. $\beta(q, r)$ är betafunktionen, se nedan

$$\beta(q, r) = \frac{\Gamma(q)\Gamma(r)}{\Gamma(q+r)}$$

där $\Gamma()$ är en gammafunktion, Carlsson (2006). Figur 2.4 visar frekvensfunktion för en betafördelad variabel där parametern a och b är lika med två respektive åtta.



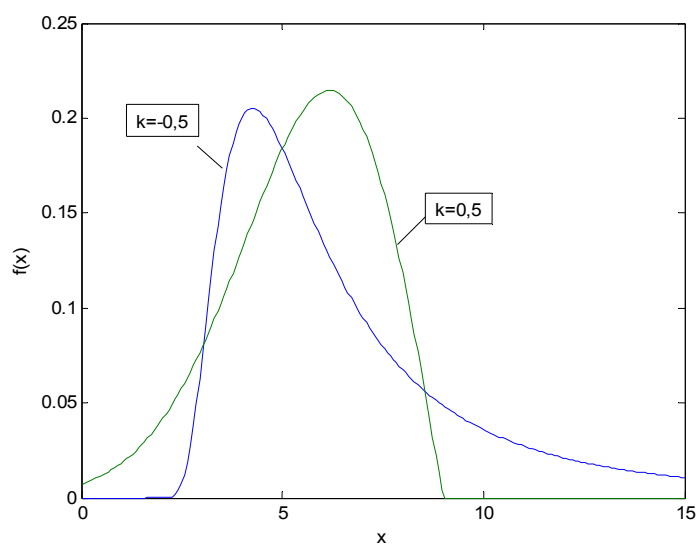
Figur 2.4 Frekvensfunktion för en betafördelning.

2.5 Generaliserad extremvärdesfördelning

Det finns tre typer av extremvärdesfördelningar, Gumbel-, Fréchet- och Weibullfördelning. Dessa tre fördelningar kan sättas samman till en fördelning, nämligen generaliserad extremvärdesfördelning och som har fördelningsfunktionen enligt nedan:

$$F_x(x, k, a, b) = \begin{cases} \exp(-(1 - k(x - b)/a)^{1/k}) & \text{då } \begin{cases} k \neq 0 \\ k = 0 \end{cases} \\ \exp(-\exp(-(x - b)/a)) \end{cases}$$

Parametern k är formparameter och talar om vilken fördelning som den generaliserade extremvärdesfördelningen tillhör. Om $k > 0$, $k = 0$ och $k < 0$ tillhör den generaliserade extremvärdesfördelningen en Weibull, Gumbel respektive Fréchet fördelning. De andra två parametrarna a och b är skal- respektive lägesparameter. I Figur 2.5 visas frekvensfunktionerna för två generella extremvärdesfördelningar båda fördelningarna har samma värde på parametrarna a och b . Det är endast parametern k som skiljer fördelningarna åt.



Figur 2.5 Frekvensfunktion för två extremvärdesfördelningar.

Fördelen med den generaliserade extremvärdesfördelningen är att man inte på förhand måste ta reda på vilken av de tre typerna av extremfördelningar som intervallet av värden tillhör. Extremvärdesfördelningar kan användas för att approximera snittkrafter i broar genererade av olika trafiksituationer, se Carlsson (2006). I denna rapport anpassas den generaliserade extremvärdesfördelningen till de årsmaximum moment som de simulerade köerna ger upphov till, se kapitel 6.4.

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

3. Bronormer

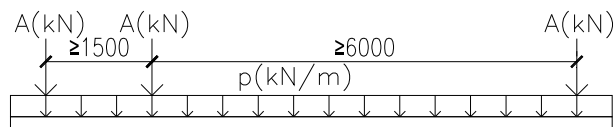
Bronormer beskriver bland annat hur laster ska hanteras då broar dimensioneras. Bro 04, Eurocode och Vägverkets ”Klassningsberäkningar av vägbroar” är exempel på bronormer. Det finns många likheter men även olikheter mellan de olika normerna. I detta kapitel beskrivs trafiklasterna i dessa tre normer.

Laster är uppdelade i två kategorier, permanenta och variabla laster. De permanenta lasterna är sådana laster som är konstanta under tiden eller varierar mycket lite under bron livslängd. Exempel på permanenta laster är egentyngd, beläggning, överfyllnad, jordtryck och vattentryck. Variabla laster varierar med tiden. Exempel på variabla laster är trafiklast, lagerfriktion, snölast, temperaturändring, vindlast och istryck. Trafiklast på broar består av en vertikal och en horisontal last. Vertikala laster är de laster som uppkommer i den vertikala riktningen och kan vara till exempel axellaster på ett fordon. Horisontallast är de laster som uppkommer i den horisontella riktningen till exempel acceleration, bromskraft, sidokrafter och centrifugalkrafter. Vid jämförelse mellan de olika normerna kommer endast vertikal trafiklast att beaktas. Eftersom det inte finns gång och cykelbanor på Ölandsbron beaktas inte heller laster som uppkommer på grund av detta.

3.1 Bro 04

I Bro 04 delas körbanan i tvärled upp i så kallade lastfält. Lastfälten är parallella med körbanans längdriktning. Placering och antalet lastfält skall väljas så ogynnsamt som möjligt. På dessa lastfält placeras punktlaster och utbredda laster. Antal och storlek på punktlaster och utbredda laster definieras av så kallade ekvivalentlaster. Det finns fem typer av ekvivalentlaster i Bro 04. Ekvivalentlast ett används i brottgränstillståndet.

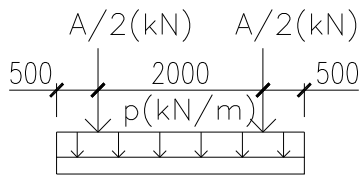
I längdled består Ekvivalentlast typ ett av en utbredd last, p (kN/m) och en lastgrupp med tre axellaster, A (kN). Axelavståndet mellan axellasterna skall vara $\geq 1,5$ m och ≥ 6 m, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Lastplacering för ekvivalentlast typ enligt Bro 04.

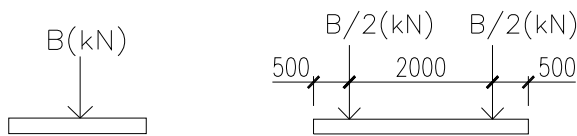
I det första lastfältet är $A = 250$ kN och $p = 12$ kN/m, i det andra lastfältet är $A = 170$ kN och $p = 9$ kN/m. I eventuellt ytterliga lastfält finns inga axellaster dock kan den utbredda lasten sättas till $p = 6$ kN/m. Samtliga lastfält är tre meter breda. Axellasterna består av två punktlaster ($A/2$) med ett avstånd på två meter mellan dem. Punktlasterna placeras centriskt i lastfältet, se Figur 3.2.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 3.2 Lastplacering för ekvivalentlast typ ett i tvärled.

Ekvivalentlast typ två består av en axellast B kN. Precis som för ekvivalentlast typ ett är avståndet mellan punktlasterna två meter som placeras centriskt över lastfältet. $B = 310$ kN för det första lastfältet och $B = 210$ kN för det andra lastfältet, se Figur 3.3 för lastplacering i längd- och tvärled. Endast två lastfält belastas.

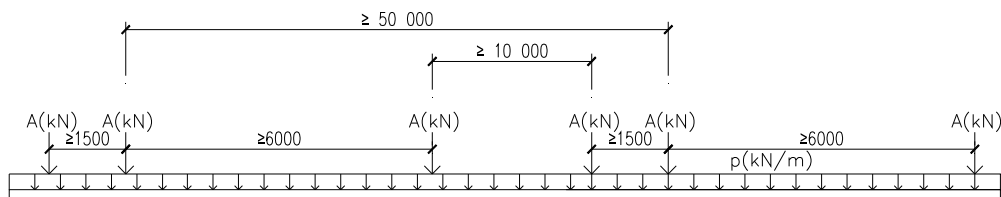


Figur 3.3 Lastplacering för ekvivalentlast typ två i längdled och tvärled.

Ekvivalentlast typ tre består av en punktlast på 155 kN och placeras godtyckligt i körbanans tvärriktning. Avståndet mellan punktlasten och någon begränsning till exempel ett räcke ska vara minst 0,5 meter.

Ekvivalentlast typ fyra består av en enda lastgrupp som i ekvivalentlast typ 1, men i detta fall är $A = 325$ kN. Fördelningsbredden är 4 meter i stället för 3 meter. Sidoförskjutning för lastgruppen får högst vara 1 meter från körbanans centrumlinje.

Ekvivalentlast typ fem består av en utbredd last, p kN/m, samt två lastgrupper med tre axellaster, A (kN) vardera. Varje lastgrupp har samma axelavstånd som i ekvivalentlast typ ett. Avståndet mellan de två lastgrupperna skall vara ≥ 10 m och avståndet mellan de mittersta axellasterna på de två lastgrupperna skall vara ≥ 50 m, se Figur 3.4. Axellasterna, A och de utbredda lasterna, p har samma värde som för ekvivalent last typ ett.



Figur 3.4 Lastplacering för ekvivalentlast typ fem i längdled.

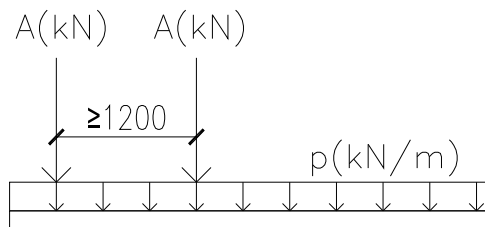
3.2 Eurocode

Precis som i Bro 04 har även Eurocode 1 definierat lastfält. Antal lastfält och placering av lastfält ska väljas på mest ogynnsamma sätt. Lastfältens bredd är tre meter. Det är endast körbar yta på bron som belastas med trafiklaster. Vägaren anses inte som körbar yta. Istället för fem ekvivalentlaster som i Bro 04 har Eurocode fyra

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

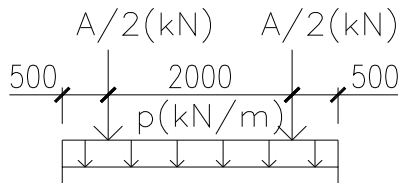
Load models. Den största skillnaden mellan Eurocode och Bro 04 är placering och storlek på axellasterna, A och de utbredda lasterna, p. Lasterna skall även multipliceras med nationella anpassningsfaktorer som redovisas i Tabell 7.1 i Vägverket (2008). Vägverket (2008) är en översatt författningssamling av Eurocode 1 och beskriver nationella val av parametrar. Dynamiska effekter är inkluderade i lastmodellerna precis som i Bro 04.

Load Model 1 består av två axellaster, A och utbredd last, p, se Figur 3.5. För axellasterna är $A = 300$ kN i det första, $A = 200$ kN i det andra och $A = 100$ kN i det tredje lastfältet. Högst tre lastfält belastas med axellaster. För de utbredda lasterna är $p = 9$ kN/m², $2,5$ kN/m² och $2,5$ kN/m² i det första, andra respektive tredje lastfältet. Om det finns eventuellt ytterligare fält än tre sätts $A = 0$ kN och $p = 2,5$ kN/m².



Figur 3.5 Lastplacering för Load Model 1 i längdled.

Placering av punktlaster görs på samma sätt som i Bro 04, det vill säga centriskt inom lastfältet. Avståndet mellan punktlaster är två meter, se Figur 3.6.



Figur 3.6 Lastplacering för Load Model 1 i tvärled.

Load Model 2 består av en axellast $A = 400$ kN som placeras på det mest ogynnsammaste läget var som helst på körbanan. I vissa fall är det även tillåtet att endast en punktlast på 200 kN används.

Load Model 3: Vid behov ska även speciella fordon tas hänsyn till och detta görs genom Annex A i Eurocode. De speciella fordon skiljer sig från normala fordon genom att de har högre laster eller större dimensioner än vad som normalt är tillåtet för fordon.

Load Model 4 består av en jämt utbredd last, $p = 5$ kN/m² och används för gångbroar.

3.3 Klassningsberäkning av vägbroar (1998)

Vägverkets regelverk Klassningsberäkning av vägbroar används för att bärighetsmässigt klassificera broar. Även i detta regelverk finns lastfält definierade.

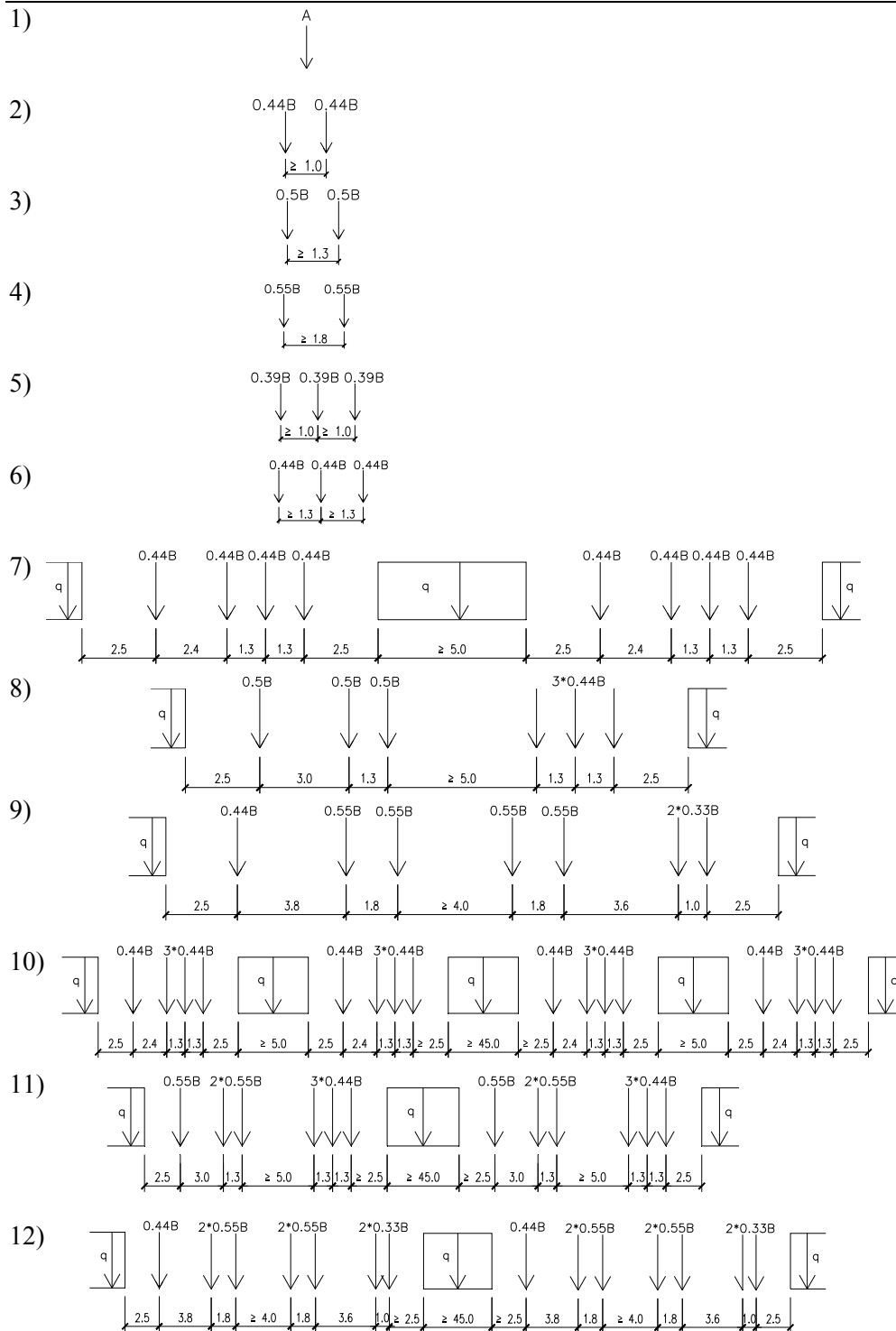
Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Antal lastfält ska anpassas efter hur många fält som får plats på körbanan och vägrenen, dock högst fyra. Lastfältets bredd är 3 m. Trafiklasten består av tolv stycken olika typfordon. För storlek och placering av dessa typfordon se Figur 3.7. För det första lastfältet multipliceras typfordonet med faktorn 1,0 och för det andra lastfältet multipliceras typfordonet med faktorn 0,8. Det får högst vara två lastfält med typfordon. De två andra lastfälten belastas med eventuell utbredda laster. Den utbredda lasten väljs till 0 eller 5 kN/m². Placering och antal typfordon ska väljas så det har den mest ogynnsamma inverkan på bron erhålls. Trafiklasterna skall dessutom ökas med en dynamisk förstoringfaktor ε .

$$\varepsilon = \frac{740}{20 + L} [\%] \quad \text{dock max 35 \%}$$

där L är spännvidden i enheten meter om konstruktionen är upplagd på två stöd. Vid kontinuerliga broar är $L = 1.5 \cdot l_m$. Där l_m är genomsnittslängden för samtliga fack.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 3.7 Typfordon enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998). Mått i meter.

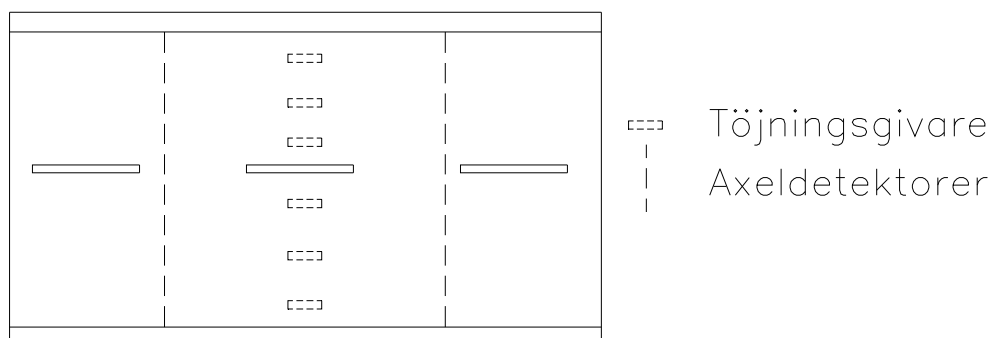
Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

4. Mätningar

Mätningarna på Ölandsbron utfördes i maj, augusti och oktober under 2007. Mätperiodernas längd var vid samtliga tillfällen cirka en vecka, för mer detaljerad information om mätningarna se Carlsson & Karoumi (2008). Mätningarna utfördes på en mindre bro i anslutning till Ölandsbron. De två mätmetoderna som användes var B-WIM (Bridge-Weigth-In-Motion) och sidoposition. I detta kapitel kommer dessa två mätmetoder att beskrivas. Utvärdering av resultatet från mätningarna kommer däremot att tas upp i kapitel 5.

4.1 B-WIM (Bridge-Weigth-In-Motion)

B-WIM metoden innebär att en befintlig bro används som våg för att bestämma fordons axelvikter. Detta görs med hjälp av töjningsgivare som monteras på bronns undersida. Givaren registrerar de töjningar som uppkommer då fordonet passerar bron och informationen lagras i en mät dator. För att det ska vara möjligt att utföra mätning måste systemet kalibreras först. Kalibrering sker med hjälp av fordon där axellaster och axelavstånd är kända. Utifrån kalibreringen kan bronns verkliga influenslinje bestämmas. Då man vet hur kalibreringsfordonet påverkar bron kan andra fordons axelvikter mätas. Eftersom B-WIM registrerar töjningarna i bron krävs det dock fortfarande information om det passerande fordonets hastighet, antal axlar och axelavstånd. Denna information kan fås på två sätt. Det första sättet är att placera två gummislangar på vägbanan, se kapitel 4.2 och det andra sättet är att placera en av töjningsgivarna en bit från resterande töjningsgivare i bronns längdled, se Carlsson & Karoumi (2008). Figur 4.1 visar en alternativ placering av töjningsgivare och axeldetektorer (gummislangar) på bron. Töjningsgivarna placeras på undersidan av bron och gummislangarna uppe på bronns körbana.



Figur 4.1 Placering av töjningsgivare och axeldetektorer på en bro.

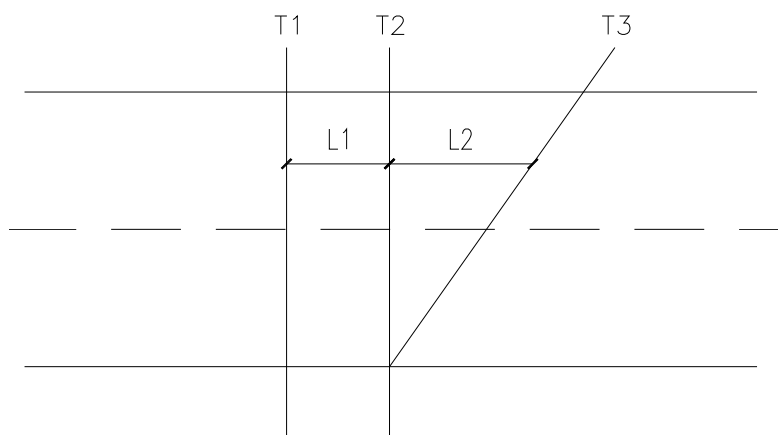
Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

För att B-WIM metoden ska kunna fungera optimalt är det viktigt att ta hänsyn till följande punkter, se Vägverket (2006).

- Bron är av typen plattsträmbro
- Bron får inte vara för kort i förhållande till sin bredd
- Tekniskt gott skick, inga större sprickor
- Ej vinklad mer än 20° mot fundamentet
- Fritt flytande trafik, det vill säga inga korsningar eller trafikljus
- Vägytan ska vara jämn före och efter bron
- Tillgång till el
- Tillgång till brons undersida

4.2 Sidoposition

Sidopositionsmätning är en metod som är utvecklad av professor Raid Karoumi på KTH. Syftet med sidopositionsmätningar är att bestämma fordons axelbredder och var i brons tvärriktning som de kör. Mätningen fungerar på så sätt att tre gummislangar placeras på körbanan. Två av slangarna läggs parallellt med varandra i tvärled över körbanan. Den tredje slangerna läggs diagonalt över körbanan, se Figur 4.2.



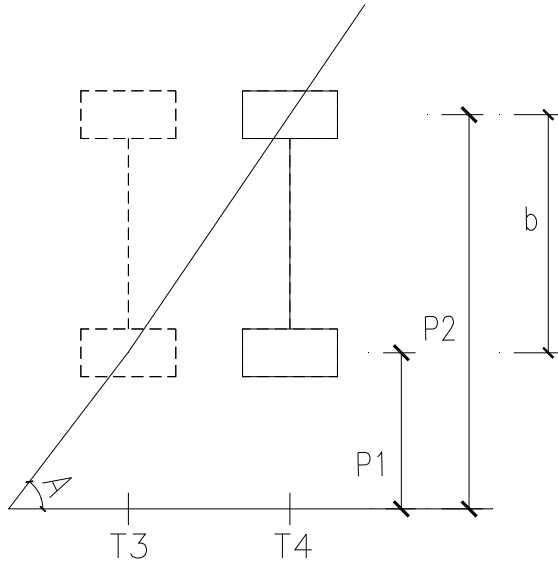
Figur 4.2 Mätning med hjälp av Sidoposition.

När ett fordon kör över slangarna genereras luftpulser. Då fordonet passerar den första och andra slangerna genereras två luftpulser vid tiderna $T1$ och $T2$. Utifrån dessa tider kan tiden mellan de två luftpulserna beräknas Δt_1 . Sträckan mellan de parallella slangarna $L1$ är känd vilket innebär att hastigheten v för fordonet beräknas enligt nedan:

$$v = \frac{L_1}{\Delta t_1} [m/s]$$

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

För att bestämma fordonens sidopositioner och axelavstånd utnyttjas den diagonala slangen, se Figur 4.3.



Figur 4.3 Beskrivning av sidopositionsmätningssystemet.

Tiderna T_3 och T_4 är tidpunkterna då fordonets högra respektive vänstra hjul träffar den diagonala slangen. A är vinkeln, som är känd, mellan den diagonala slangen och färdriktningen. Eftersom hastigheten är beräknad kan fordonens axelpositioner P_1 och P_2 beräknas enligt nedan.

$$P_1 = \tan(A) \cdot v \cdot (T_3 - T_2)$$

respektive

$$P_2 = \tan(A) \cdot v \cdot (T_4 - T_2)$$

Fordonets axelbredd b beräknas enligt nedan:

$$b = P_2 - P_1$$

Eftersom slangarna kan träffas av flera fordon samtidigt, vid till exempel en omkörning mellan två fordon, måste luftpulserna kopplas ihop till rätt fordon. Detta görs med en algoritm i programmet SidoPos. Information som kan bestämmas med mätsystemet är som tidigare nämnts axelbredd och fordonens placering i bronns tvärlängd. Men även axelantal, tiden då fordonet passerar mätplatsen och fordonstyp (MC, personbil, eller lastbil) kan bestämmas, se Carlsson & Karoumi (2008).

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

5 Utvärdering av mätdata

Mätningarna vid Ölandsbron utfördes som tidigare nämnts under maj, augusti och oktober. Mätperiodernas längd var vid samtliga tillfällen cirka en vecka, för mer detaljerad information om mätningarna se Carlsson & Karoumi (2008). All bearbetning av mätdata och alla beräkningar i denna rapport görs med hjälp av beräkningsprogrammet Matlab R2007a. Resultatet från bearbetningen av mätresultaten lagras månadsvis i två matriser. Den ena matrisen innehåller information om fordonens hastighet, antal axlar, position för höger däck, position för vänster däck, fordonsbredd och tidpunkten då fordonet passerade mätplatsen. Den andra matrisen innehåller fordonsbeteckningar. Fordonsbeteckningarna är P20-P22, L20-L24 och L30-L34. Bokstäverna P och L i fordonsbeteckningen anger om fordonet är en person- eller en lastbil. Första och andra siffran anger dragbilen respektive släpets axelantal. Exempelvis står P20 för en personbil med två axlar utan släp (0 står för att fordonet inte drar något släp) och L32 står för lastbil med tre axlar och släp med två axlar.

5.1 Uppdelning av fordon

Samtliga uppmätta fordon för respektive mätperiod sorteras efter vilken fil de trafikerar. I Tabell 5.1 visas antalet fordon och vilken fil de befinner sig i för mätningen i maj månad. Resultaten för de två andra mätperioderna finns redovisat i appendix A.

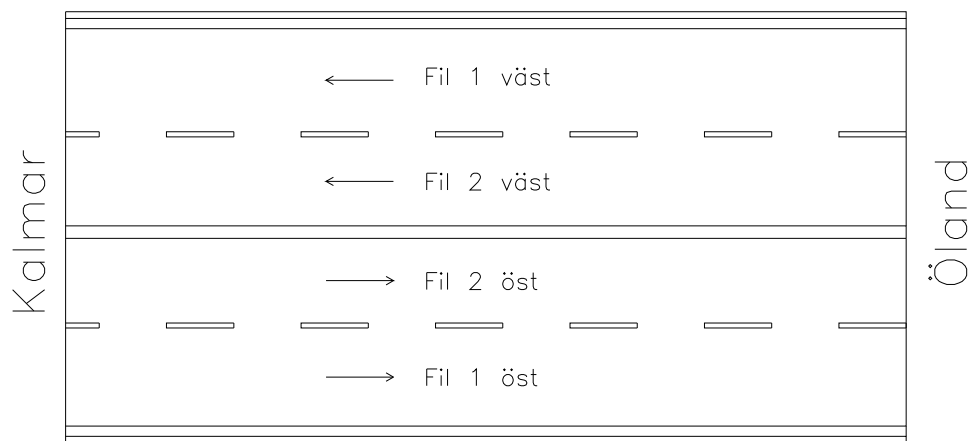
Tabell 5.1 Antal fordon och filplacering för fordonen uppmätta under maj månad.

	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 12 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst	Fil 12 Väst
P20	19900	5819	4794	13232	11872	4824
P21	509	121	216	217	471	130
P22	61	16	32	32	83	18
L20	640	222	481	284	700	264
L21	41	6	36	20	44	25
L22	1	1	17	2	37	8
L23	14	4	31	3	53	21
L24	12	3	60	17	23	19
L30	207	11	193	88	168	102
L31	1	1	4	1	13	3
L32	2	0	10	1	10	3
L33	32	8	45	4	33	14
L34	46	14	62	7	96	13
Totalt	21466	6226	5981	13908	13603	5444
		Totalt öst	33673		Totalt väst	32955

Fil 1 i östlig riktning är den högra filen i riktning mot Öland och fil 1 i västlig riktning är den högra filen i riktning mot Kalmar, se Figur 5.1. Fil 12 är alla de fordon som gör en omkörning vid mätplatsen, det vill säga fordonets ena däck är registrerat i fil 1 och

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

det andra i fil 2. Antalet fordon per riktning mellan de olika mätperioderna varierar mellan 34 000 och 22 000 fordon, se Appendix A. Det är ungefär samma antal fordon i den östliga riktningen som i den västliga riktningen vid samma mätperiod.



Figur 5.1 Filuppdelning på Ölandsbron.

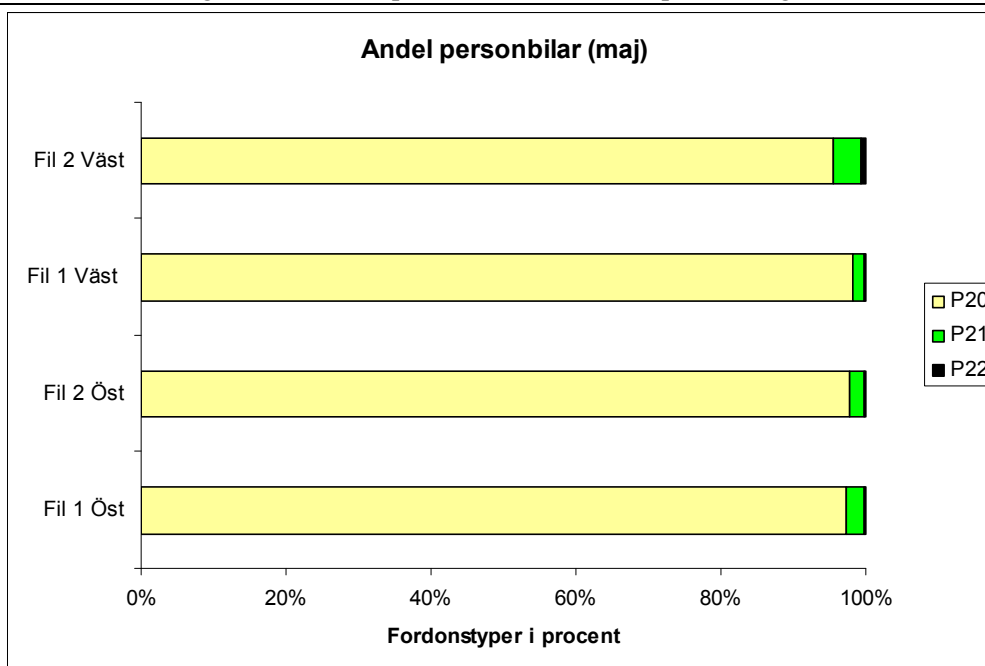
För att få en uppfattning om hur stora andelar det finns av varje fordonstyp har antalet fordon omvandlats till procent, se Tabell 5.2. Dessutom har fordonen som gör omkörningar vid mätplatsen i båda riktningarna tagits bort eftersom om det bildas köer på bron kommer det inte att vara möjligt att göra omkörningar. Precis som tidigare är det bara data för maj månad som redovisas i Tabell 5.2. Motsvarande information för mätningar i augusti och oktober månad, finns redovisat i appendix A.

Tabell 5.2 Andel av respektive fordonstyp uppdelat efter filplacering för mätperioden i maj.

	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst
P20	92,7047%	93,4629%	95,1395%	87,2941%
P21	2,3712%	1,9435%	1,5603%	3,4632%
P22	0,2842%	0,2570%	0,2301%	0,6103%
L20	2,9815%	3,5657%	2,0420%	5,1471%
L21	0,1910%	0,0964%	0,1438%	0,3235%
L22	0,0047%	0,0161%	0,0144%	0,2721%
L23	0,0652%	0,0642%	0,0216%	0,3897%
L24	0,0559%	0,0482%	0,1222%	0,1691%
L30	0,9643%	0,1767%	0,6327%	1,2353%
L31	0,0047%	0,0161%	0,0072%	0,0956%
L32	0,0093%	0,0000%	0,0072%	0,0735%
L33	0,1491%	0,1285%	0,0288%	0,2426%
L34	0,2143%	0,2249%	0,0503%	0,6838%

Som tabellen visar är omkring 90 % av alla fordon, personbilar av typen P20. För lastbilar är fordonstypen L20 vanligast, mellan två och fem procent. Fördelningen för personbilar visas i Figur 5.2.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

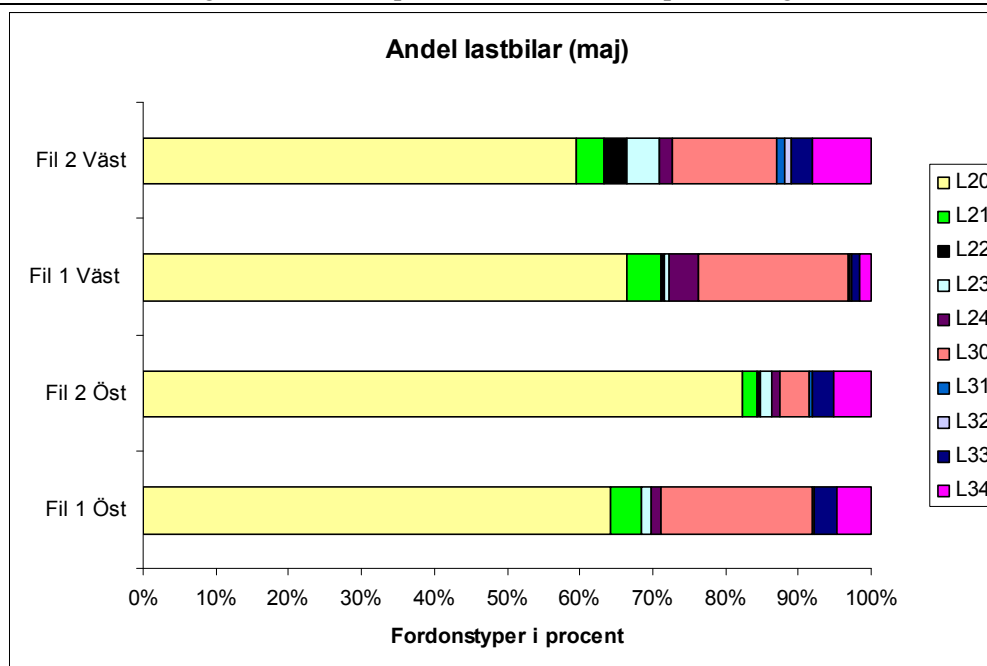


Figur 5.2 Andel personbilar i respektive fil för maj månad.

Figur 5.2 visar som tidigare konstaterats att personbilar av typen P20 är mest förekommande, därefter är det P21 och sedan P22.

Eftersom att andel lastbilar endast är 3-7 procent är det svårt att se fördelningen mellan olika lastbilstyper av Tabell 5.2. Därför visar i Figur 5.3 en separat fördelning över endast lastbilar.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 5.3 Andel lastbilar i respektive fil.

Figur 5.3 visar att de tre mest förekommande lastbilstyperna är L20, L30 samt L34. L34 är den fordontyp som ger upphov till de största momenten då ett enskilt fordon kör över bron, se Gullberg & Halldin (2008).

Generellt sett har trafikens samma utseende vid de olika mätperioderna, dvs. andelar av olika fordontyper är i stort sett detsamma. Flest fordon har registrerats under första mätperioden, cirka 30 000 stycken. Under mätperioderna i augusti och oktober har cirka 25 000 stycken fordon registrerats. Andelen personbilar och lastbilar för respektive fil följer samma mönster för alla mätperioderna. Även här finns det variationer mellan mätperioderna men dessa är små.

5.2 Köbildning

Det finns ingen generell definition av en kö. I denna rapport består en kö av blandat tunga och lätta fordon som färdas med låg hastighet, under 10 km/h. Avstånden mellan fordonen är litet, omkring 10 m. Om det finns fler filer i en riktning ska samtliga filer vara belastade med fordon, för Ölandsbron innebär det att både fil 1 och fil 2 är trafikerade.

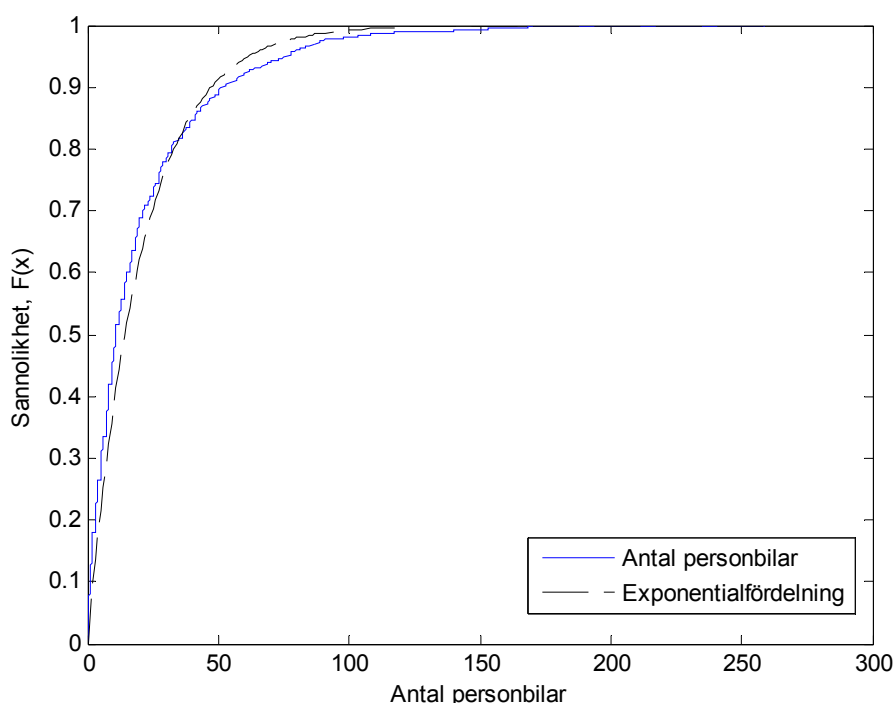


Figur 5.4 En kö som består av blandat lätta och tunga fordon. (Bilder på bilarna är hämtad från Svensson (1997))

För att få en uppfattning om hur en godtycklig kö kan se ut på Ölandsbron, görs som första steg en beräkning av antalet personbilar mellan två lastbilar, se Figur 5.4. I analysen av datamaterialet har ingen hänsyn tagits till vad det är för typ av personbil eller lastbil. P20-P22 har bedömts som en personbil och L20-L24 samt L30-L34 har bedömts som en lastbil. Resultatet av analysen av datamaterialet är en vektor som anger hur många personbilar det finns mellan två lastbilar. Ett exempel på en sådan vektor visas nedan,

[0 20 0 11 21 11 14 1 10 16 8 1 4 22 1 26 8 26.....osv]

där siffrorna står för hur många personbilar det är mellan två lastbilar. En nolla betyder att det är två lastbilar som kommer efter varandra. Antalet personbilar mellan två lastbilar anpassas till en exponentialfördelning, se Figur 5.5.



Figur 5.5 Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i östlig riktning för samtliga mätperioder.

I Appendix B visas anpassade exponentialfördelningar för övriga filer och mätperioder. Medelvärde för antalet personbilar mellan två lastbilar i alla filer för samtliga mätningar redovisas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 Medelvärde för antal personbilar mellan två lastbilar

	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst
Maj	20,5	22,0	31,6	10,5
Augusti	19,4	29,5	28,7	15,3
Oktober	22,5	25,1	26,2	10,1

Tabell 5.3 visar att det är flest personbilar mellan två lastbilar i fil 2 i den östliga riktningen. Detta beror troligtvis på att lastbilar oftast ligger i högerfilen det vill säga fil 1. Det är ingen stor skillnad på antalet personbilar mellan fil 1 och fil 2. För maj månad är det till exempel 20,5 i fil 1 och 22,0 personbilar i fil 2. I den västliga riktningen är det flest lastbilar i fil 2. Det beror antagligen på som Gullberg & Halldin (2008) också påpekat i sitt examensarbete att avfarten till Kalmar ligger direkt efter mätstationen och det medför att de flesta av de tunga fordonen redan har filplacerat sig i det vänstra körfältet. Eftersom de tunga fordonen följer normala mönster i den östliga riktningen, de flesta kör i höger fil, kommer det att generera det största momentet och därför beaktas endast fordon i den östliga riktningen vid fortsatta beräkningar.

5.3 Personbilar

I datamaterialet saknas information om personbilars axelvikter och axelavstånd. För att kunna genomföra simuleringar av köer krävs därför vissa antaganden angående personbilar. Enligt statistiska centralbyrån är Volvo det vanligaste bilmärket 2007. På andra plats kommer Volkswagen och därefter kommer Saab. Det är alltså dessa bilmärken som trafikerar de svenska vägarna i störst utsträckning. I denna rapport kommer ett medelvärde av Volvos och Saabs vanligaste personbilsmodeller att få representera en typisk personbil i den simulerade köen. För att kunna simulera en kö är det framförallt tre parametrar som är viktiga, axeltrycken på både framaxeln och bakaxeln, längden mellan framaxel och bakaxel och avstånden mellan front till framaxel och bak till bakaxel.

5.3.1 Volvo

Från Volvos hemsida (www.volvocars.com) samt efter besök på Bilia i Lund har hjulbaserna och axeltrycken för de vanligaste personbilsmodellerna från Volvo tagits fram. Det är Volvos nuvarande sortiment som studerats och i Tabell 5.4 sammanställs resultaten från studien. Axeltrycken för S60 och S80 saknas och det beror på att dessa data inte var tillgängliga vid tillfället då de andra axeltrycken gavs.

Tabell 5.4 Hjulbas (L) och axelbelastning fram och bak (P fram respektive P bak) för personbil av märket Volvo.

Volvo	L (mm)	P_{fram} (kg)	P_{bak} (kg)	P_{fram} (kN)	P_{bak} (kN)
S40	2640	1090	850	10,69	8,34
S60	2715				
S80	2835				
V50	2640	1100	860	11,03	8,44
V70	2816	1270	1000	12,46	9,81

5.3.2 Saab

Från Saabs kundtjänst samt deras hemsida (www.saabsverige.com) har hjulbas och axelbelastning bestämts. Precis som för Volvo är de utvalda bilarna från Saabs nuvarande sortiment. I Tabell 5.5 redovisas data för Saabs personbilsmodeller.

Tabell 5.5 Hjulbas (L) och axelbelastning fram och bak (P fram respektive P bak) för personbil av märket Saab

Saab	L (mm)	P_{fram} (kg)	P_{bak} (kg)	P_{fram} (kN)	P_{bak} (kN)
9-3 SportSedan	2675	1125	1010	11,03	9,905
9-3 SportCombi	2675	1125	1100	11,03	10,79
9-3 Cabriolet	2675	1160	1050	11,38	10,3
9-5 Sedan	2703	1175	1050	11,52	10,03
9-5 SportCombi	2703	1175	1125	11,52	11,03

5.3.3 Genomsnittlig personbil

Vid jämförelse mellan Volvo och Saab kan följande konstateras. Hjulbasen, det vill säga längden mellan framaxel och bakaxel varierar mellan 2640-2835 mm. Medelvärde på hjulbasen är 2700 mm. Axelbelastning fram varierar mellan 1090-1270 kg och medelvärdet är ungefär 1150 kg (11,3 kN). Axelbelastningen bak varierar mellan 850-1125 kg och medelvärdet för axelbelastning bak är 1000 kg (9,9 kN). Avståndet mellan front och framaxel samt bak och bakaxel har summerats på samtliga personbilar. Därefter har ett medelvärde beräknats, se tabell 5.6. Även dessa avstånd har hämtats från Volvos respektive Saabs hemsidor.

Tabell 5.6 Avstånd mellan front och framaxel samt bak och bakaxel för Volvos och Saabs personbilsmodeller.

Saab	a_f , avstånd front till framaxel (mm)	a_b , avstånd bak till bakdäck (mm)
9-3 SportSedan	981	991
9-3 SportCombi	961	1014
9-3 Cabriolet	961	991
9-5 Sedan	1031	1102
9-5 SportCombi	1031	1107
Volvo		
S40	918	918
S60	944	944
S80	1008	1008
V50	941	941
V70	1004	1004
summa	9780	10020
medel	978	1002

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Medelvärde för avståndet front till framaxel är 978 mm och för bak till bakaxel 1002 mm. Båda avstånden avrundas till 1000 mm som en förenkling för fortsatta beräkningar. Sammanfattningsvis kommer en personbil ha följande dimensioner i de framtida beräkningarna:

$$L = 2700 \text{ mm}$$

$$P_{\text{fram}} = 1150 \text{ kg}$$

$$P_{\text{bak}} = 1000 \text{ kg}$$

$$a_f = a_b = 1000 \text{ mm}$$

5.4 Lastbilar

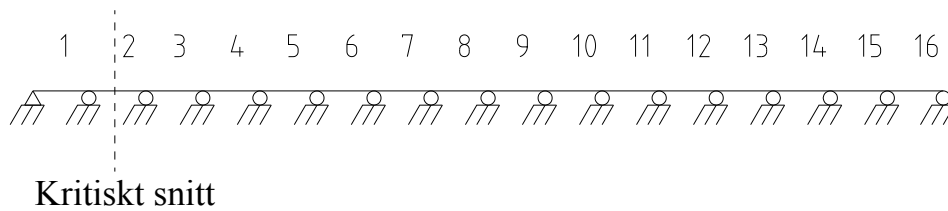
Från mätningarna hämtas data för axelavstånd och axellast på de tunga fordonen. För lastbilarna görs därför inte en generell lastbil för alla lastbilar utan de uppmätta värdena från mätningarna används. Avstånden mellan front och framaxel samt bak och bakaxel är generellt större än 1000 mm, men dessa avstånd sätts till 1000 mm även för lastbilar.

6. Simulering av köer

I detta kapitel redovisas hur fordonsköer simuleras och vilka moment som genereras av dessa köer. För att simulera köerna och utifrån dessa köer bestämma momentet som de ger upphov till utnyttjas Matlab. Vid beräkning av det maximala momentet av kön, stegas den simulerade kön över en influenslinje. För att förenkla beräkningarna stegas kön inte över hela bron utan endast över de fyra fack där det kritiska snittet är beläget. Därför inleds detta kapitel med en beskrivning av det kritiska snittet. Vid simulering av köer är det många parametrar som måste bestämmas, vilket gör det till ett mycket komplext problem. En kö kan simuleras på många olika sätt. I slutet av detta kapitel finns det därför en beskrivning och en jämförelse mellan en kösimulering gjord av Abraham Getachew och simuleringen som är utförd i denna rapport.

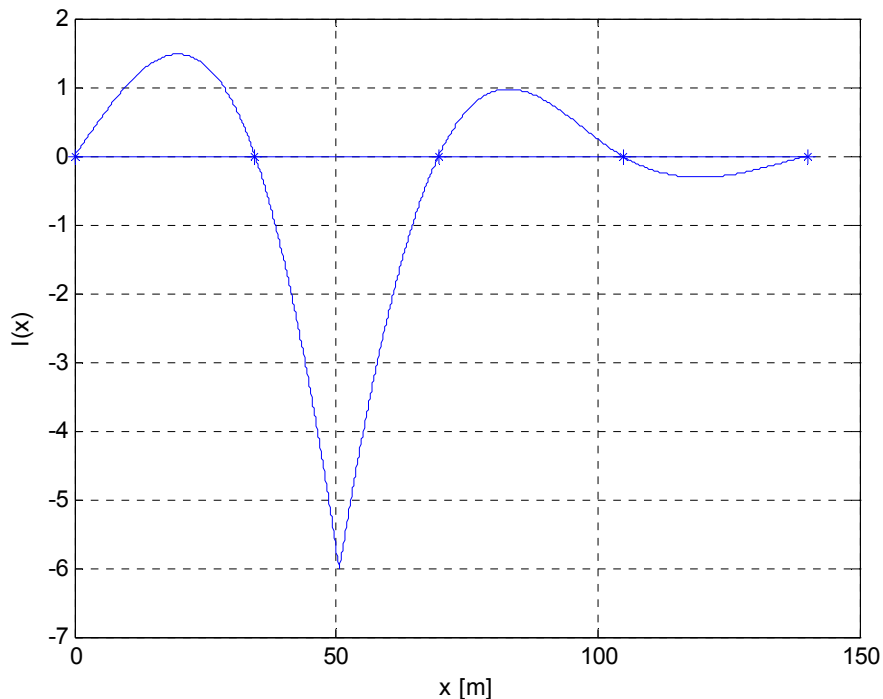
6.1 Kritiska snittet

Ölandsbron är 6 072 meter lång. Bredden på körbanan, kantbalkar inkluderade, är 13,43 meter. Körbanan består av fyra filer, två i vardera riktningen. Bron består av en högbro och en lågbro. Lågbron kan i sin tur delas in i 8 identiska kontinuerliga broar med vardera 16 fack. I samtliga kontinuerliga broars andra fack är det kritiska snittet beläget, se Figur 6.1.



Figur 6.1 Kontinuerlig bro som visar var det kritiska snittet är beläget.

Anledningen till att det kritiska snittet är beläget i det andra facket beror på att en stor del av underkantsarmeringen i de två huvudbalkarna är skarvad precis där. Enligt Carlsson & Karoumi (2008) är det momentet som kommer vara det gränssättande. Analys av den kontinuerliga bronns influenslinje visar att det är endast de sex första facken som påverkar momentet i det kritiska snittet. Men redan efter fack fyra är påverkan minimal och därför används bara de fyra första facken. Detta görs dels eftersom att beräkningar förenklas men det är också ett antagande på "säkra sidan". Influenslinjen blir cirka 140 meter lång och illustreras i Figur 6.2.



Figur 6.2 Influenslinje för det kritiska snittet.

Figur 6.2 visar influenslinjen för momentet i det kritiska snittet som är placerat vid $x = 50,751$ meter. Snittet är placerat 16,05 meter från vänstra stödet i fack 2 vilket innebär att snittet ligger i fält. Stöden är markerade med * i figuren. Längden på samtliga fack är 35,212 meter förutom för fack 1 som är 34,521 meter.

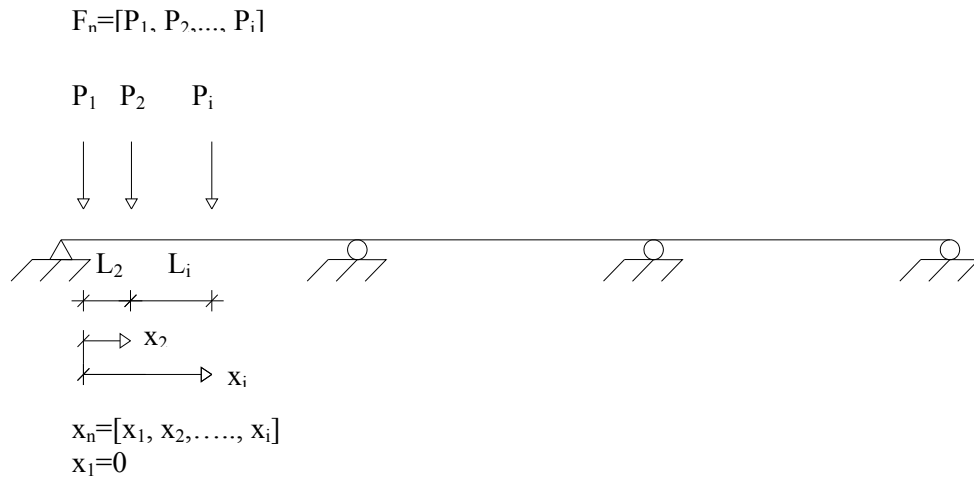
6.2 Simulering av köer

De extrema moment i Ölandsbrons kritiska snitt som genereras av trafikerande fordonköer bestäms genom simulering. Första steget är att simulera fordonsköer. Hur det går till redovisas i detta avsnitt. I nästa avsnitt redovisas hur momenten beräknas. Med hjälp av Matlab simuleras två vektorer, en med axellaster, F_n och en med axelpositioner, x_n . Där n är antalet axlar i kön. Den totala längden på kön begränsas till 200 meter för att förenkla beräkningarna. Nedan beskrivs i punktform simuleringsprocessen av en kö.

Simuleringsprocess för en kö:

1. Ur datamaterialet dras slumpmässigt ett tungt fordon med i axlar. Datamaterialet innehåller information om lastbilarnas axelvikter, P_i och avstånd mellan respektive axlar, axellägen, L_i . Det tunga fordonets axellaster och axellägen sätts in i F_n och x_n vektorerna där n är fordonsköns totala antal axlar enligt Figur 6.3.

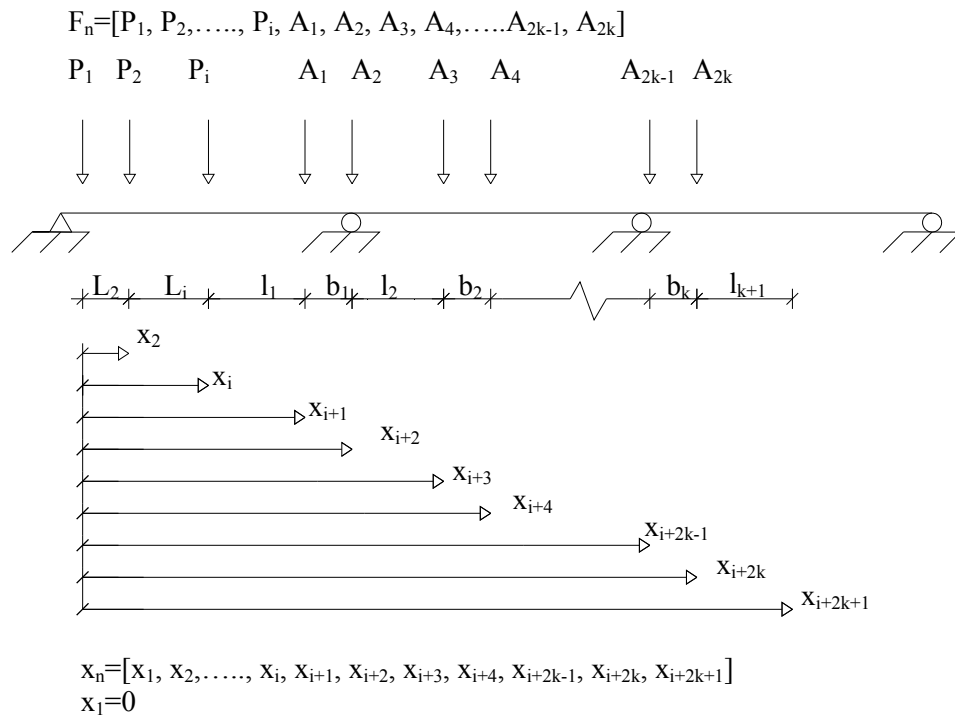
Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 6.3 Modell av fordonskö.

- Enligt föregående kapitel är antalet personbilar mellan två tunga fordon exponentialfördelat. Antal fordon, k slumpas från exponentialfördelningen för fil 1, se föregående kapitel. Eftersom att exponentialfördelningen inte ger heltal avrundas det slumpade värdet nedåt. Personbilarnas axelvikter, A och axellägen, b modelleras enligt föregående kapitel som deterministiska.
- Avstånden, g mellan fordonen är enligt Getachew (2000) betafördelade med fördelningsfunktion $F_d = \text{beta}(0.1, 15, 2.15, 15.5)$. Där de två första parametrarna är funktionens undre respektive övre gränsvärde och de två sista parametrarna är formfaktorer. Ur denna fördelning slumpas $k + 1$ avstånd. Avstånden enligt Getachew är definierade från fronten på den bakre bilen till baken på den främre bilen. Det medför att avstånden från fram- och bakaxel till front respektive bak måste adderas till de betafördelade avstånden. Dessa avstånds sätts till en meter vardera alltså adderas två meter till varje betafördelat avstånd, dvs. de totala avstånden mellan fordonen är $l = g + 2$. De lätta fordonens axelvikter och axellägen sätts in i vektorerna F_n och x_n enligt Figur 6.4.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 6.4 Modell av fordonskö.

4. Ur datamaterialet dras slumpmässigt ett nytt tungt fordon och placeras i läge x_{i+2k+1} . Fordonets axellaster och axellägen läggs in i F_n och x_n vektorerna enligt punkt 1. Därefter dras slumpmässigt ett antal personbilar enligt punkt 2 och 3.
5. Punkterna 1 till 3 upprepas tills att kön har totallängden 200 m, dvs. $x_n \leq 200$ m

Resultatet från simuleringen är två vektorer som innehåller information om fordonskön. I F vektorn finns samtliga fordons axelvikter och i x vektorn samtliga axelpositioner. Om det bildas en kö i någon riktning på Ölandsbron är det mycket sannolikt att det blir kö i båda filerna. Det innebär att ytterligare en kö måste simuleras. För att förenkla simuleringarna simuleras kön för fil 2 på exakt samma sätt som för fil 1. Det som skiljer fil 1 från fil 2 är exponentialfördelningen för antalet personbilar och det slumpmässiga valet av lastbilarnas axelavstånd och axelvikter. Medelvärde för antalet personbilar mellan två lastbilar för samtliga mätperioder för fil 1 är ungefär 20,8 stycken och för fil två 22,5 stycken. Det är en liten skillnad mellan fil 1 och fil 2 och simuleringen för fil 2 sker alltså på samma sätt som för fil 1.

Eftersom varje simulering av en kö börjar med ett tungt fordon kommer detta att medföra att de maximala momenten uppkommer då två köer ligger precis bredvid varandra. Detta kommer att ge ett högre karakteristiskt värde på momentet än vad det normalt skulle bli, beräkning av momentet är därför på säkra sidan.

6.3 Beräkning av moment för den simulerande kön

Det moment som är intressant att studera är det karakteristiska momentet. Karakteristiska moment är det moment som i medeltal uppträder en gång per 50 år. Storleken på detta moment beror på hur ofta det bildas köer på bron. För att studera hur antalet köer under referensperioden påverkar det karakteristiska momentet studeras följande antal köer, 10, 50, 100, 250, 500 och 1000 stycken per år. Det som krävs för att bestämma det maximala momentet som uppkommer på grund av en kö är att influenslinjen, avstånd mellan laster (x-vektorn) och lasterna (F-vektorn) är kända. Influenslinjen för det kritiska snittet är redovisad i Figur 6.2. F- och x-vektorn fås från simuleringen av en kö se förgående avsnitt. Karakteristiska moment för olika antagande om antalet köer under referensperioden beräknas enligt nedan:

1. Antalet köer under ett år, j slumpas från en poissonfördelning med medelvärde 10, 50, 100, 250, 500 eller 1000 köer per år.
2. Två köer en för fil 1 och en för fil 2 simuleras enligt avsnitt 6.2.
3. Kön i fil 1 stegas i steg om 0,1 meter över influensområdet. I varje steg beräknas momentet enligt nedan,

$$M = [F_1 \dots F_n] \times \begin{bmatrix} I_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix}$$

där I är influensvärdet. Det maximala momentet som genereras av fordonskö i fil 1, $M_{1,MAX}$ och läget, x_{MAX} då det inträffar lagras.

4. Kön i fil 2 placeras i läge x_{MAX} och momentet som genereras av kön i fil 2, M_2 beräknas.
5. Filfaktorerna är enligt Carlsson & Karoumi (2008) normalfördelade. Filfaktorn anger hur stor andel av momentet som fördelas till respektive huvudbalk. Filfaktorerna f_1 och f_2 slumpas från två normalfördelningar med parametrar enligt Carlsson och Karoumi (2008). Det totala momentet, M_{tot} i huvudbalken beräknas enligt: $M_{tot} = f_1 M_{1,MAX} + f_2 M_2$ och sparas.
6. Punkterna 2-3 upprepas j gånger och det största momentet sparas i en vektor som då innehåller årsmaximum för antaget antal köer under referensperioden.
7. Punkterna 1-6 upprepas 100 gånger vilket innebär att vektorn med årsmaximum innehåller 100 värden. Dessa värden anpassas till en generell extremvärdesfördelning vilken beskriver hur årsmaximum momenten är fördelade.

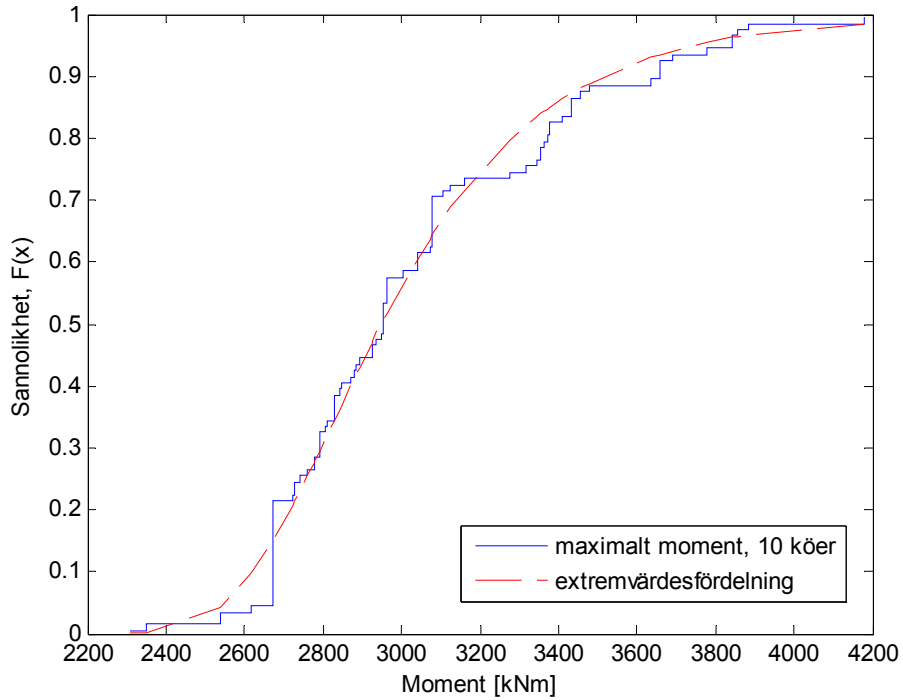
I nästa avsnitt redovisas resultaten från simuleringarna

6.4 Resultat från simuleringarna

Resultatet från simuleringarna är en vektor, M som innehåller 100 årsmaximum. Varje värde representerar det maximala momentet för de antal köer som simulerats.

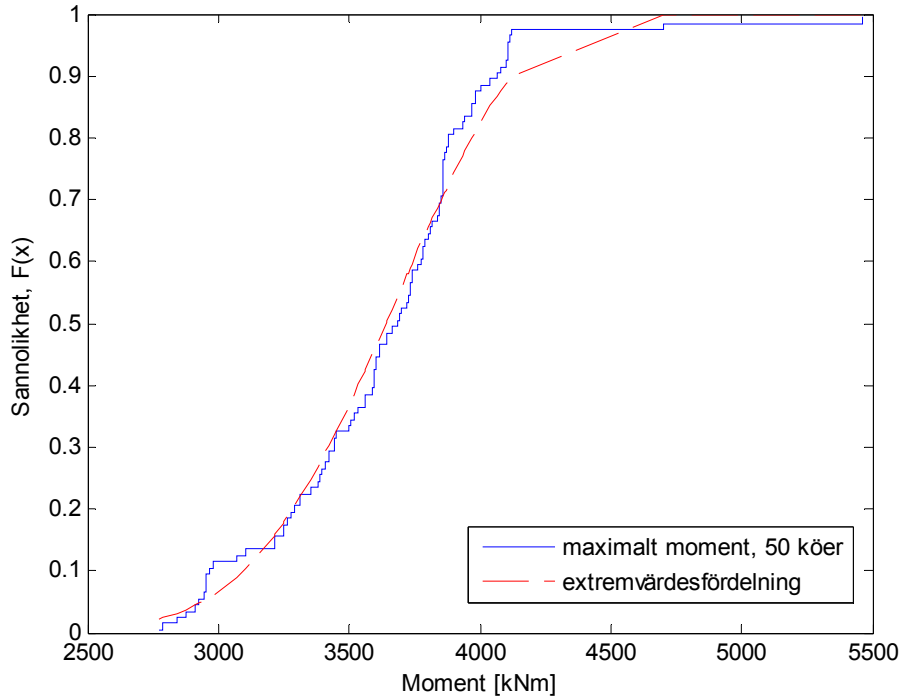
Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Totalt skapas sex stycken M-vektorer. En vektor för varje antal köer, 10, 50, 100, 250, 500 och 1000 stycken köer per år. Årsmaximum momenten anpassas till generella extremvärdesfördelningar, se Figur 6.5-6.10.

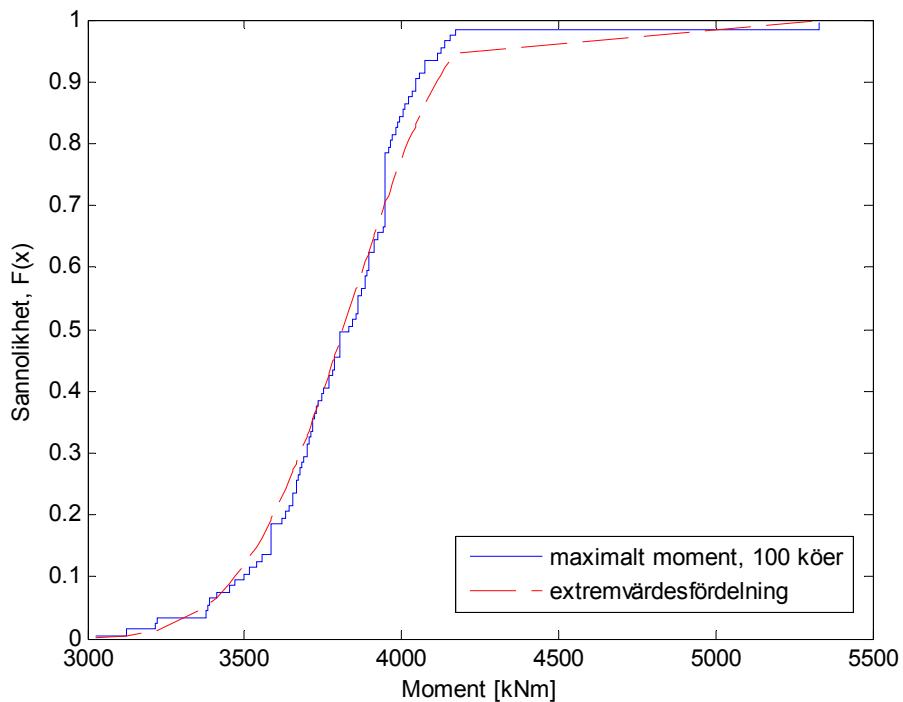


Figur 6.5 Anpassad extremvärdesfördelning och empirisk fördelning för maximala moment för 10 köer.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

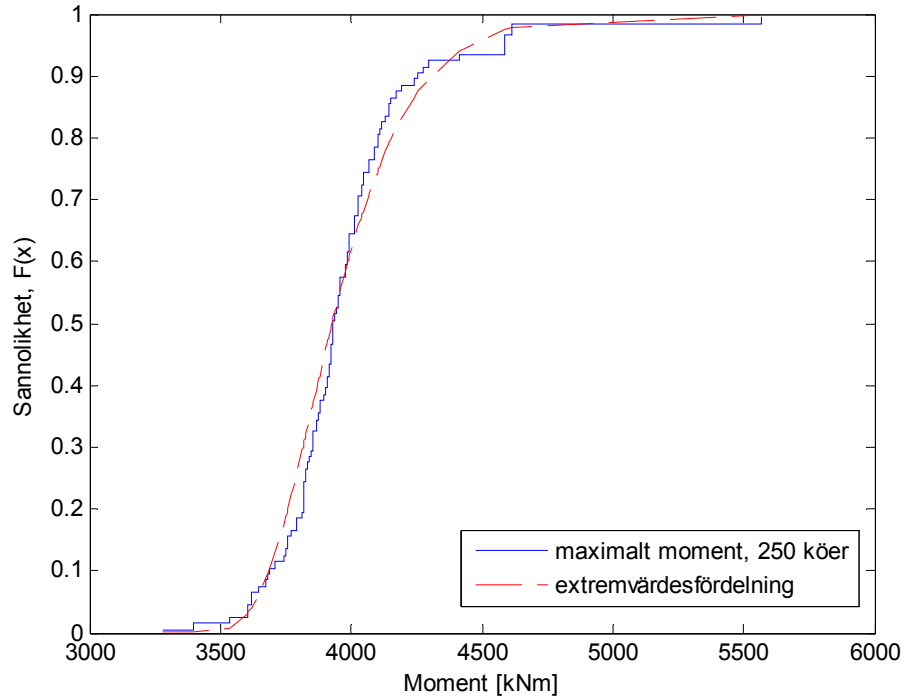


Figur 6.6 Anpassad extremvärdesfördelning och empirisk fördelning för maximala moment för 50 köer.

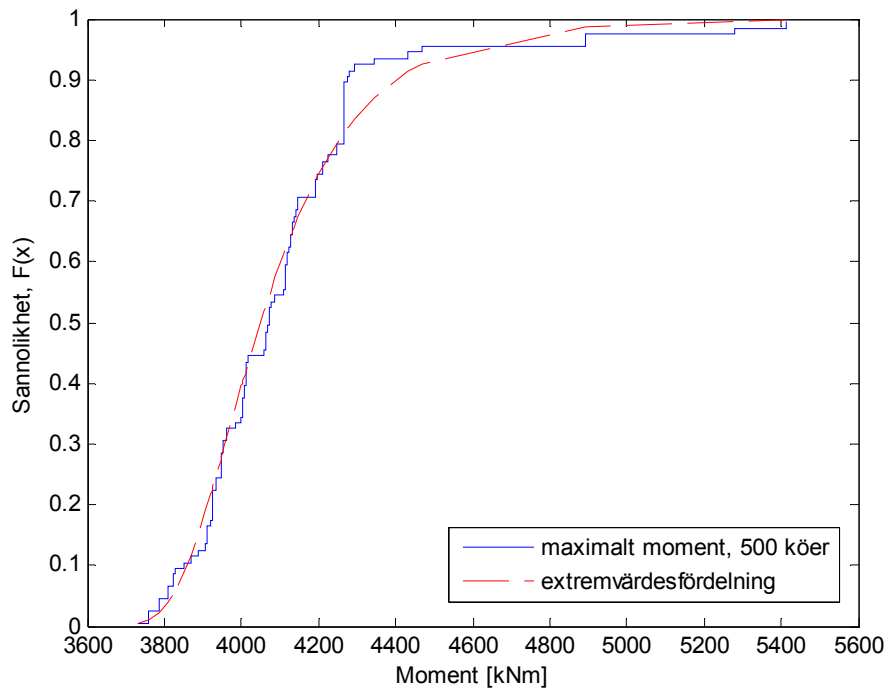


Figur 6.7 Anpassad extremvärdesfördelning och empirisk fördelning för maximala moment för 100 köer.

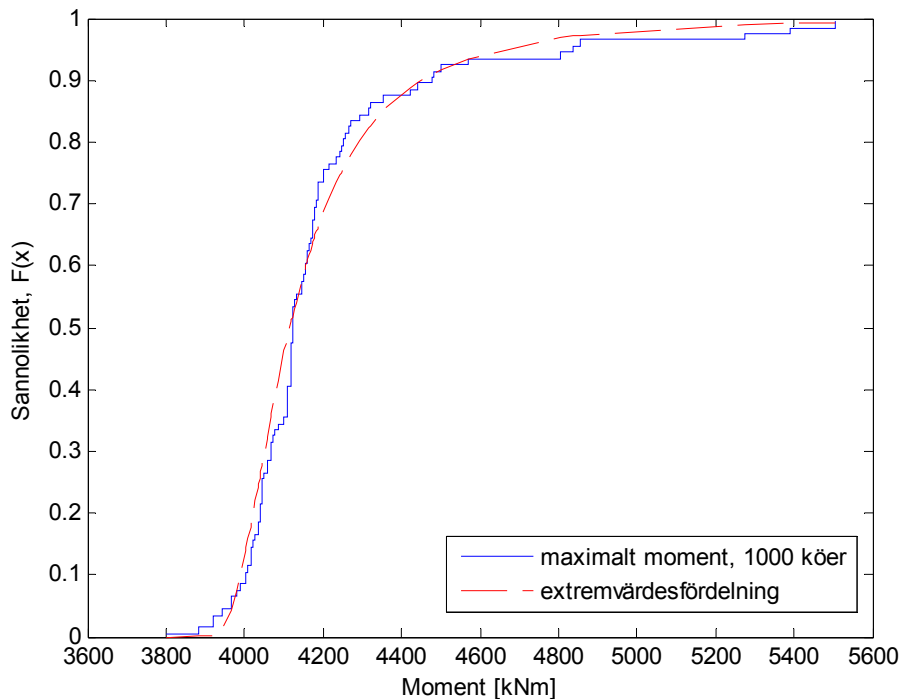
Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 6.8 Anpassad extremvärdesfördelning och empirisk fördelning för maximala moment för 250 köer.



Figur 6.9 Anpassad extremvärdesfördelning och empirisk fördelning för maximala moment för 500 köer.



Figur 6.10 Anpassad extremvärdesfördelning och empirisk fördelning för maximala moment för 1000 köer.

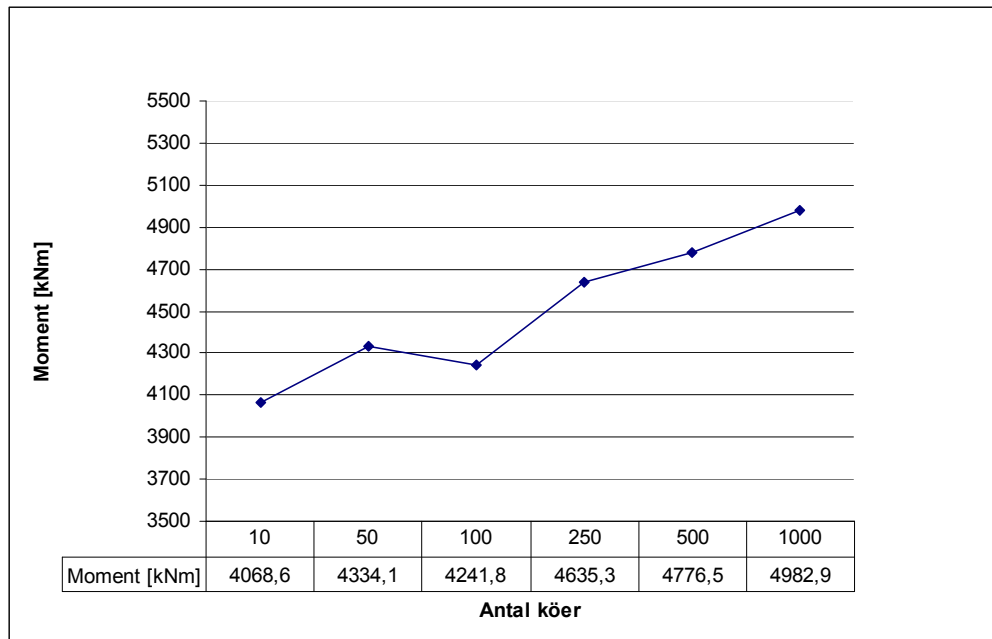
I Tabell 6.1 redovisas de anpassade fördelningarna. Beskrivning av den generaliserade extremvärdesfördelningen finns redovisad i kapitel 2. Formparametern anger vilken typ av fördelning som de simulerade momenten tillhör. I detta fall tillhör 50 och 100 köer en Weibullfördelning och 250 köer tillhör en Gumbelfördelning. Däremot tillhör 10, 500 och 1000 köer en Fréchetfördelning. Lägesparametern, b , ökar då antal köer ökar.

Tabell 6.1 Simulerade extremvärdesfördelning för 10, 50, 100, 250, 500 och 1000 köer.

Antal köer	10	50	100	250	500	1000
Formparameter	-0,1	0,4	0,4	0	-0,1	-0,3
Skalparameter	276,5	412,7	258,8	200,8	163,2	112,5
Lägesparameter	2845,4	3499,8	3727,6	3853,5	3988,1	4071,3

För att bestämma det karakteristiska momentet beräknas 98%-fraktilen av extremvärdesfördelningen. Detta görs för samtliga antal köer. Figur 6.10 visar 98%-fraktilen för de maximala momenten som funktion av antalet köer.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 6.10 98 %-fraktilen för de maximala momenten som funktion av antalet köer.

Figur 6.10 visar att det karakteristiska momentet ökar med 22 % då antalet köer ökar från 10 till 1000 per år. Det är endast det karakteristiska momentet för 100 köer som inte följer kurvan. Detta beror på att vid simuleringen av 100 köer har några enskilda värden varit mycket låga. För att få ett bättre resultat på 100 köer skulle det krävas fler simuleringar. Istället för 100 hade det kanske varit bättre med 1000 årsmaxima, men detta var inte möjligt på grund av tidsbrist. De karakteristiska momenten ligger mellan 4 068,6-4 982,9 kNm.

6.5 Frekvens av köer på Ölandsbron

Eftersom det karakteristiska momentet är beroende av antalet köer är det intressant att ta reda på hur många köer som uppstår på Ölandsbron per år. För att kunna ta reda på detta krävs det mätningar av fordon. Fordonsmätningar har utförts under perioden 080414-081015. Mätningarna gjordes på två platser, uppe på högbron samt på lågbron nära Öland. På varje mätplats fanns 8 stycken mätpunkter. Under mätperioden passerade 6,8 miljoner fordon. Utav dessa var 1 648 av dessa fordon långsamtgående det vill säga de höll en hastighet under 10 km/h. De flesta observationer av fordon med låg hastighet var under midsommar och under påskhelgen. Vid midsommar var det så många som 1182 stycken som passerade mätplatsen med låg hastighet av de totalt 1648 långsamtgående fordonen. Resultatet från mätningarna, det vill säga antal fordon samt vilka slags fordon som passerat över bron, har tagits fram av Ramböll Syd i uppdrag av Vägverket, se resultat av mätdata i Appendix C. Den totala längden på kön beräknades med hjälp av antal av de olika fordonstyperna multiplicerat med längden på fordonstypen som passerade mätplatserna. Längderna för de olika fordonstyperna uppskattades godtyckligt med hjälp av Vägverkets hemsida och framförallt Vägverket (2004), se tabell 6.2.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Tabell 6.2 Längd för de olika fordonstyperna

Fordonstyp	Längd [m]
Personbil	4,7
Personbil med släp	8,7
Lastbil	8,5
Lastbil med släp	20
Buss	15
Övriga fordon	15

Den totala längden för högra filen i den östliga riktningen blir 2273 m, se tabell 6.3.

Tabell 6.3 Beräkning av total längd för kö på Ölandsbron i den östliga riktningen.

Fordonstyp	Antal [st]	Total längd [m]
Personbil	272	1278,4
Personbil med släp	27	234,9
Lastbil	20	170
Lastbil med släp	4	80
Buss	28	420
Övriga fordon	6	90
Summa		2273

Om den totala längden av kön divideras med en 200 m lång simulerad kö fås antalet köer till 11 stycken. Mätningarna visar att det tenderar att vara fler köer i den västliga riktningen det vill säga i riktning mot Kalmar. Totala längden för den högra filen i denna riktning blev 3925 m vilket medför att antalet köer blir 20 stycken, se tabell 6.4.

Tabell 6.3 Beräkning av total längd för kö på Ölandsbron i den västliga riktningen.

Fordonstyp	Antal [st]	Total längd [m]
Personbil	529	2486,3
Personbil med släp	25	217,5
Lastbil	6	51
Lastbil med släp	6	120
Buss	53	795
Övriga fordon	17	255
Summa		3925

Men då mätperioden bara varar över sex månader medför det att antalet köer multipliceras med två för att få antalet köer för ett år. Det betyder att det blir 22 stycken köer i den östliga riktningen och 40 stycken köer i den västliga riktningen. Vid simulering av köer används bara mätdata för den östliga riktningen och därför sätts antalet köer per år till 22 stycken.

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Det karakteristiska momentet för 22 köer kan beräknas genom interpolation av Figur 6.10. För 10 köer är det karakteristiska momentet, $M_{k10} = 4068,6$ kNm och för 50 köer är det karakteristiska momentet, $M_{k50} = 4334,1$ kNm. Det karakteristiska momentet för 22 köer blir då följande:

$$M_{k22} = M_{k10} + \frac{M_{k50} - M_{k10}}{50 - 10} \cdot (22 - 10)$$

$$M_{k22} = 4068,6 + \frac{(4334,1 - 4068,6)}{(50 - 10)} \cdot (22 - 10) = 4148,25 \text{ kNm}$$

Det karakteristiska momentet för 22 köer är 4 148,25 kNm. Detta moment kommer att jämföras med motsvarande moment beräknade enligt bronormerna.

6.6 Getachews simulering av en kö

Abraham Getachew har gjort en modell för simulering av köer, se Getachew (2000). Det första Getachew har gjort är att bearbeta mätdata, det vill säga filtrera bort alla uppenbara mätfel. Därefter genereras en köer av fordon. Fordonens inbördes placeringar i kön är baserade på mätningarna, dvs. det är samma ordning på fordonen i den simulerade kön som i den fria trafiken. Fritt avstånd mellan två fordon inom kön modelleras som konstant, två meter. I Getachew (2000) han endast köer i en fil studerats. Getachew har endast modellerat två kölängder, 250 meter och 400 meter. För att kunna göra detta måste följande ingångsvärden bestämmas:

1. Totalt utrymme som ett fordon upptar a_i är $d_i + 2$ mete. Där d_i är det enskilda fordonets längd.
2. Lasten beräknas som en jämnt utbredd last q_i , $q_i = Q_i / a_i$. Där Q_i är det enskilda fordonets totalvikt.

3. Antal fordon i kön n beräknas enligt: $\sum_{i=1}^{n-1} a_i \leq L_0 \leq \sum_{i=1}^n a_i$. Där L_0 är den

eftersträfvade kölängden. Däremot är den verkliga kölängden $L = \sum_{i=1}^n a_i$.

Med ovanstående parametrar som bas simulerar Getachew köer. För att simulera köerna används datorprogrammet Queue Weight, som är utvecklat av Allogg AB (Getachew, 2000).

Vid jämförelse mellan Getachews simulering och den simulering som gjorts i denna rapport kan följande konstateras:

1. Båda författarna utnyttjar de tunga fordonens uppmätta axelbelastningar och axellängder. Lasterna approximeras däremot som utbredda laster i Getachews (2000). I denna rapport modelleras axellasterna som punktlaster..
2. I Getachew (2000) är ordningen på fordonen inom kön direkt baserad på mätningarna. I denna rapport har ordningen bestämts med simulering som är baserad på mätresultaten.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

3. Simulering av kö görs endast för en fil i Getachew (2000) I denna rapport har fordonsköer i två filer studerats.
4. Avstånden mellan två fordon är konstant 2 meter enligt Getachew (2000). I denna rapport har detta avstånd approximerats med en betafördelning.
5. Längden på kön är ungefär 200 m i denna rapport medan Getachew har studerat två kölängder 250-400 m.

Resultatet av kösimuleringen enligt Getachew är ett karakteristiskt värde för kövikten w_k . För fallet att det endast uppstår en kö under referensperioden och att kölängden är 250 m beräknas kövikten till 12,7 kN/m. För att kunna jämföra Getachews kövikt med momentet som beräknas enligt Matlab placeras Getachews kövikt på influenslinjen för Ölandsbron. Kövikten multipliceras med arean för influenslinjen och ett moment beräknas. Båda filerna belastas med samma kövikt och filfaktorer multipliceras till dessa kövikter. Filfaktorerna har samma normalfördelning som i kap 6.3. Det karakteristiska momentet för Ölandsbron med Getachews kövikt blir 1 192,6 kNm. För att en jämförelse mellan de båda metoderna ska kunna vara möjlig har ett karakteristiskt moment för en kö per år beräknats. Det karakteristiska momentet enligt för en kö beräknades till 3 597,4 kNm för en kö per år. Moment som beräknas med modellen i denna rapport ger mycket högre moment. En anledning till detta kan vara att en simulerad kö i denna rapport alltid innehåller åtminstone ett tungt fordon. Det behöver inte Getachew alltid få då hans fordon har samma ordning som den fritt flytande trafiken.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

7. Momentberäkning av sju trafiksituationer

För att få en uppfattning om storleken på momentet som uppkommer i bron av simulerade köer jämförs de momenten med moment som uppkommer av andra trafiksituationer i detta kapitel. En jämförelse kommer även att göras mellan moment som genereras av de simulerade köerna och motsvarande moment beräknade enligt bronormer. Följande trafiksituationer redovisas och jämförs:

1. Ett tungt fordon
2. Omkörning
3. Karavan
4. Kö
5. Trafiklast enligt Bro 04
6. Trafiklast enligt Eurocode
7. Trafiklaster enligt Vägverkets Klassningsberäkningar av vägbroar (1998)

Beräkning av moment görs endast för trafiklaster enligt Bro 04 och Eurocode eftersom Carlsson och Karoumi (2008) redan har behandlat de tre första trafiksituationerna och trafiksituation 7. Därför redovisas endast resultaten av deras studie i detta kapitel. Moment som uppkommer på grund av köer har beräknats i föregående kapitel och är med för jämförelsens skull.

7.1 Moment som uppkommer av trafiksituationerna ett tungt fordon, omkörning, karavan och kö.

Trafiksituationerna, ett tungt fordon, omkörning och karavan kommer inte att beskrivas mer än vilket moment som uppstår för dessa trafiksituationer. För mer detaljerade beskrivningar och beräkningar se Carlsson & Karoumi (2008). Det karakteristiska momentet för trafiksituation 1, ett tungt fordon är 3 390,2 kNm. I detta moment är dock inte filfaktor medräknad. Filfaktorn hämtas från tabell 5.6 i Carlsson & Karoumi (2008). Medelvärdet och standardavvikelsen för filfaktorn för fordon med 5-8 axlar i fil 1, är 1,165 respektive 0,013. Karakteristiskt momentet i huvudbalkens kritiska snitt för ett tungt fordon beräknas till:

$$M_k = 1,165 \cdot 3390,2 = 3949,6 \text{ kNm}$$

Omkörning ger ett högre moment än möte mellan två tunga fordon på grund av huvudbalken placering. Därför har Carlsson och Karoumi (2008) valt att studera trafiksituationen omkörning. Det karakteristiska momentet för omkörning mellan två tunga fordon är $M_k = 4 270,4 \text{ kNm}$. Trafiksituation 3, karavan av tunga fordon innebär att det finns två eller flera tunga fordon efter varandra och att det inte finns några lätta fordon mellan de tunga fordonen. Det karakteristiska momentet för karavan är $M_k = 3 015,8 \text{ kNm}$. Trafiksituation 4 är kö och har som tidigare nämnts behandlats i kapitel 6. Det karakteristiska momentet för 22 köer är $M_{k,22} = 4 148,25 \text{ kNm}$.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

För trafiksituation 2,3 och 4 dvs. omkörning, karavan och kö är filfaktorer medräknade. Däremot är de dynamiska faktorerna ej inkluderade i några av de karakteristiska momenten. För att kunna jämföra momenten som uppkommer från de olika trafiksituationerna måste den dynamiska faktorn multipliceras med momenten. Enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) beräknas den dynamiska faktorn, ε enligt följande:

$$\varepsilon = \frac{740}{20 + L} [\%] \quad \text{dock max 35 \%}$$

$$L = 1,5 \cdot l_m$$

$$l_m = \frac{34,521 + 14 \cdot 35,121 + 34,521}{16} = 35,046$$

$$L = 1,5 \cdot 35,046 = 52,569$$

$$\varepsilon = \frac{740}{20 + 52,569} = 10,2\%$$

$$DF = 1 + \frac{\varepsilon}{100} = 1 + \frac{10,2}{100} = 1,102$$

Den dynamiska förstoringfaktorn, DF beräknas till 1,102. Samtliga moment multipliceras med den dynamiska faktorn och beräknas nedan:

$$M_{k, \text{ett tungt fordon}} = 1,102 \cdot M_k = 1,102 \cdot 3949,6 = 4\,352,5 \text{ kNm}$$

$$M_{k, \text{omkörning}} = 1,102 \cdot M_k = 1,102 \cdot 4270,4 = 4\,706,0 \text{ kNm}$$

$$M_{k, \text{karavan}} = 1,102 \cdot M_k = 1,102 \cdot 3015,8 = 3\,323,4 \text{ kNm}$$

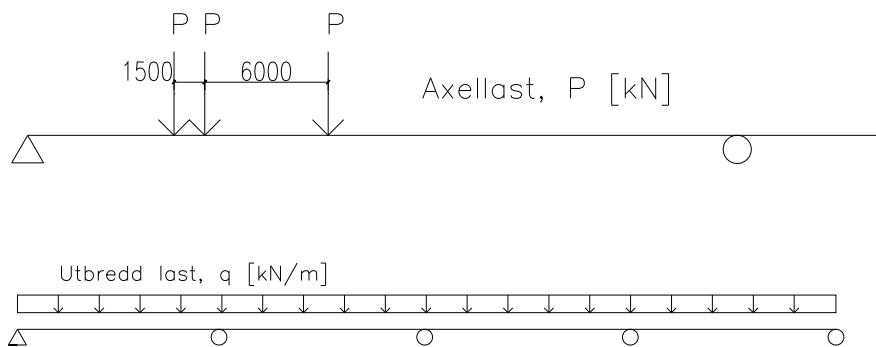
$$M_{k, \text{kö}} = 1,102 \cdot M_{k,22} = 1,102 \cdot 4148,25 = 4571,4 \text{ kNm}$$

Det största momentet uppstår vid trafiksituationen omkörning, dvs. då två tunga fordon ligger bredvid varandra.

7.2 Momentberäkning av trafiklast enligt Bro 04

Moment av trafiklast beräknas enligt Bro 04 utifrån ekvivalentlast ett. Det betyder att fil 1 belastas med tre axellaster på 250 kN vardera och en utbredd last på 12 kN/m. För placering av axellast och utbredd last i längdled se Figur 7.1. Även fil 2 belastas med tre axellaster, på vardera 170 kN och en utbredd last på 9 kN/m.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 7.1 Placering av axellaster (övre) och utbredd last (undre) i längdled.

Axellasterna för fil 1 och fil 2 stegas över influenslinjen och det maximala momentet beräknas med hjälp av Matlab. Det maximala momentet av punktlasterna, M_{P1} för fil 1 beräknas till 3 641,5 kNm och det maximala momentet, M_{P2} för fil 2 till 2 476,2 kNm. Den utbredda lastens moment beräknas genom att lastens intensitet multipliceras med arean under influenslinjens. Arean, A beräknas till 47,9 m². Momenten för utbredd last, M_{q1} och M_{q2} för fil 1 respektive fil 2 beräknas enligt nedan:

$$M_{q1} = A \cdot q_1 = 47,9 \cdot 12 = 574,8 \text{ kNm}$$

$$M_{q2} = A \cdot q_2 = 47,9 \cdot 9 = 431,1 \text{ kNm}$$

I Tabell 7.1 finns en sammanställning av beräknade moment enligt Bro 04. Samtliga moment är beräknade utan hänsyn till ekvivalentlasternas placering i bronns tvärriktning.

Tabell 7.1 Beräknade moment enligt Bro 04.

	M_p [kNm]	M_q [kNm]
Fil 1	3 641,5	574,8
Fil 2	2 476,2	431,1

Filfaktorn anger hur stor andel av det totala momentet som fördelas till respektive huvudbalk. En filfaktor beräknas för punktlasterna och en för de utbredda lasterna. Filfaktorn, F beräknas enligt nedan

$$F = \frac{R_A}{(R_A + R_B)}$$

där R_A och R_B är upplagskrafterna i punkterna A respektive B, se Figur 7.2. Nedan redovisas beräkningarna för de båda filfaktorerna.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Moment kring B motsols (punktlaster):

Se Figur 7.2 för principskiss av tvärsnitt med utsatta punktlaster.

$$-R_{A,P} \cdot 7000 + 125 \cdot 9360 + 125 \cdot 7360 + 85 \cdot 6360 + 85 \cdot 4360 = 0$$

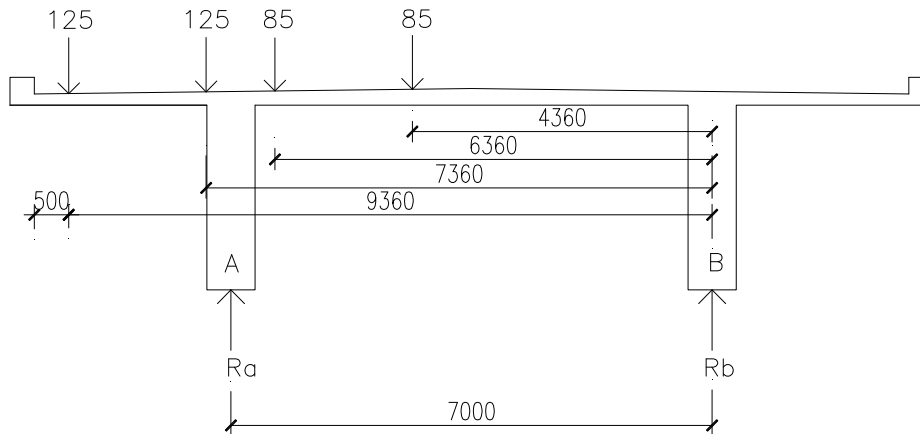
$$\Rightarrow R_{A,P} = 428,74 \text{ kN}$$

$$\uparrow: R_{B,P} + R_{A,P} - 125 - 125 - 85 - 85 = 0$$

$$\Rightarrow R_{B,P} = -428,74 + 125 + 125 + 85 + 85 = -8,74 \text{ kN}$$

Filfaktor för punktlast, F_P beräknas enligt nedan:

$$F_P = \frac{R_{A,P}}{(R_{A,P} + R_{B,P})} = \frac{428,74}{(428,74 + (-8,714))} = 1,021$$



Figur 7.2 Tvärsnitt med utsatta punktlaster.

Moment kring B motsols (utbredda laster):

Se Figur 7.3 för principskiss av tvärsnitt med utsatta utbredda laster.

$$-R_{A,q} \cdot 7000 + 12 \cdot 8360 + 9 \cdot 5360 = 0$$

$$\Rightarrow R_{A,q} = 21,22 \text{ kN / m}$$

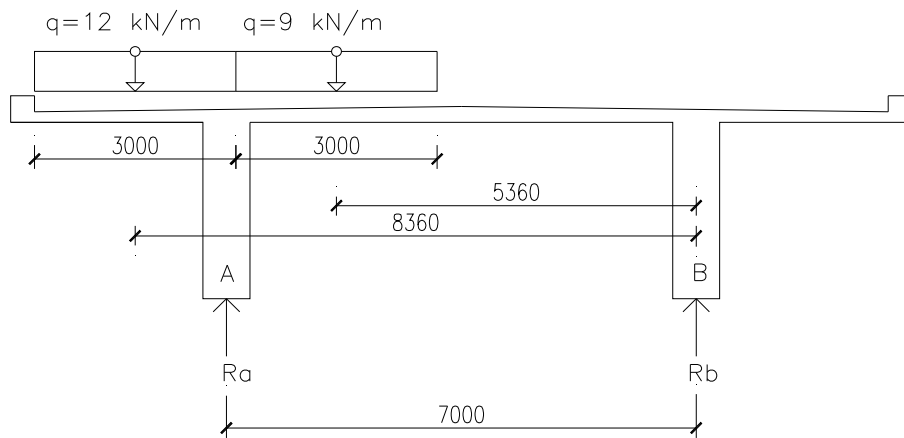
$$\uparrow: R_{B,q} + R_{A,q} - 12 - 9 = 0$$

$$\Rightarrow R_{B,q} = -21,44 + 12 + 9 = -0,22 \text{ kN / m}$$

Filfaktor för utbredd last, F_q beräknas enligt nedan:

$$F_q = \frac{R_{A,q}}{(R_{A,q} + R_{B,q})} = \frac{21,44}{(21,44 + (-0,44))} = 1,010$$

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 7.3 Tvärsnitt med utsatta utbredda laster.

Filfaktor av punktlaster för huvudbalk A, $F_p = 1,021$ och motsvarande för utbredd last, $F_q = 1,010$. Filfaktorerna multipliceras med respektive moment, se Tabell 7.2.

Tabell 7.2 Beräknade moment utifrån ekvivalentlast 1 med respektive filfaktor.

	F_p / F_q	M_p [kNm]* F_p	M_q [kNm]* F_q	M_p+M_q [kNm]
Fil 1	1,021/1,010	3 718,0	580,5	4 298,5
Fil 2	1,021/1,010	2 528,2	435,4	2 963,6
Karakteristiskt moment				7 262,1

Tabell 7.2 visar att det totala karakteristiska momentet för trafiklast enligt Bro 04 är $M_k = 7 262,1$ kNm.

7.3 Momentberäkning av trafiklast enligt Eurocode

För att beräkna momentet av trafiklast enligt Eurocode används Load Model 1. Det innebär att fil 1 belastas med två axellaster på 300 kN vardera och en utbredd last på 9 kN/m². För fil 2 är axellasternas storlek 200 kN och den utbredda lasten är 2,5 kN/m². Samtliga dessa laster ska dessutom multipliceras med deras respektive nationella anpassningsfaktorer, α . Värdena på dessa anpassningsfaktorer redovisas i Tabell 7.1 i Vägverket (2008). För axellasterna är den 0,9 och för de utbredda lasterna är den 0,7 i det första lastfältet och 1,0 i resterande lastfälten. Det första lastfältet får följande axellaster, P och utbredd last, q då anpassningsfaktorerna har multiplicerats med respektive last:

$$P = \alpha_{p1} \cdot P_1 = 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ kN}$$

$$q = \alpha_{q1} \cdot q_1 = 0,7 \cdot 9 = 6,3 \text{ kN} / \text{m}^2 .$$

Det andra lastfältet får följande laster:

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

$$P = \alpha_{p_2} \cdot P_2 = 0,9 \cdot 200 = 180 \text{ kN}$$

$$q = \alpha_{q_2} \cdot q_2 = 1,0 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Båda lastfälten är tre meter breda. För placering av axellast i längdled se Figur 7.4. Placeringen av den utbredda lasten är densamma som för Bro 04, se Figur 7.1.



Figur 7.4 Placering av axellaster i längdled enligt Eurocode.

Momentet för axellasterna enligt Eurocode beräknas på samma sätt som för Bro 04. Det vill säga axellasterna stegas över influenslinjen och det maximala momentet beräknas med hjälp av Matlab. Det maximala momentet för fil 1 och fil 2 beräknas till 3 445,2 kNm och för fil 2 respektive 2 296,8 kNm. Arealen för influenslinjen är samma, $A = 47,9 \text{ m}^2$. De utbredda lasterna multipliceras dessutom med lastfältets bredd, L_B för att få lasterna i enheten kN/m. Moment för den utbredda lasten för fil 1 och fil 2 beräknas enligt nedan:

$$M_{q_1} = A \cdot q_1 \cdot L_B = 47,9 \cdot 6,3 \cdot 3 = 905,3 \text{ kNm}$$

$$M_{q_2} = A \cdot q_2 \cdot L_B = 47,9 \cdot 2,5 \cdot 3 = 359,3 \text{ kNm}$$

I tabell 7.3 sammanställs beräknade moment enligt Eurocode.

Tabell 7.3 Beräknade moment enligt Eurocode.

	M_p [kNm]	M_q [kNm]
Fil 1	3 100,7	905,3
Fil 2	2 067,1	359,3

För momenten i Tabell 7.3 har ingen hänsyn tagits till lasternas tvärplacering på bron. Precis som för Bro 04 beräknas en filfaktor för punktlaster och för de utbredda lasterna. Det som skiljer beräkningarna av filfaktorer enligt Bro 04 och Eurocode är att i Eurocode måste vägrenen beaktas. Vägrenen bredd antas till 300 mm.

Moment kring B motsols (punktlaster):

Se Figur 7.5 för principskiss av tvärsnitt med utsatta punktlaster.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

$$-R_{A,P} \cdot 7000 + 135 \cdot 9060 + 135 \cdot 7060 + 90 \cdot 6060 + 90 \cdot 4060 = 0$$

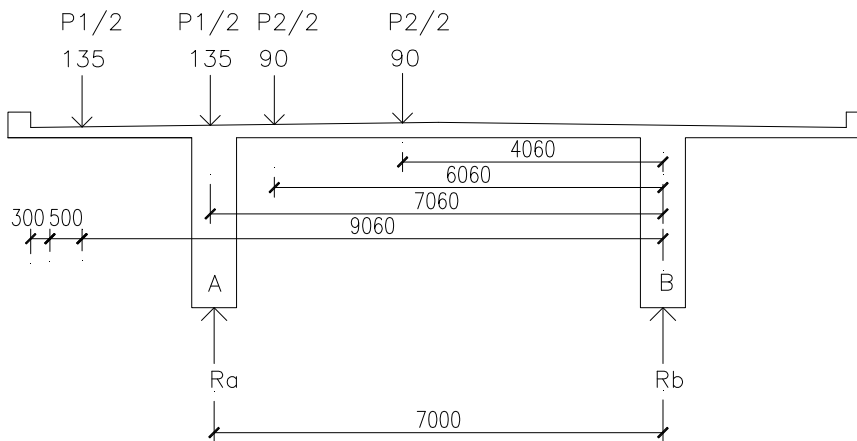
$$\Rightarrow R_{A,P} = 441 \text{ kN}$$

$$\uparrow: R_{B,P} + R_{A,P} - 135 - 135 - 90 - 90 = 0$$

$$\Rightarrow R_{B,P} = -441 + 135 + 135 + 90 + 90 = 9 \text{ kN}$$

Filfaktor för fil 1 och fil 2 vid punktlast:

$$F_P = \frac{R_{A,P}}{(R_{A,P} + R_{B,P})} = \frac{441}{(441 + 9)} = 0,98$$



Figur 7.5 Tvärsnitt med utsatta punktlaster.

Moment kring B motsols (utbredda laster):

Se Figur 7.6 för principskiss av tvärsnitt med utsatta utbredda laster.

$$-R_{A,q} \cdot 7000 + 6,3 \cdot 3 \cdot 8060 + 2,5 \cdot 3 \cdot 5060 = 0$$

$$\Rightarrow R_{A,q} = 27,18 \text{ kN / m}$$

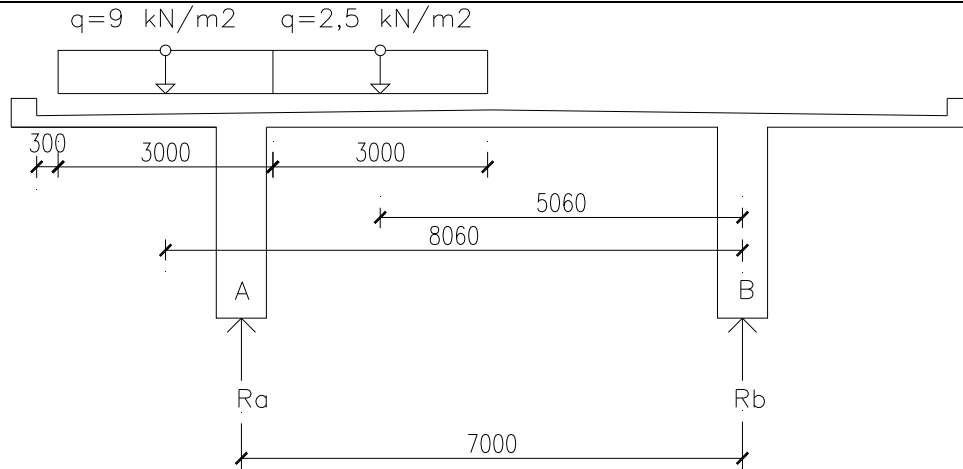
$$\uparrow: R_{B,q} + R_{A,q} - 6,3 \cdot 3 - 2,5 \cdot 3 = 0$$

$$\Rightarrow R_{B,q} = -27,18 + 6,3 \cdot 3 + 2,5 \cdot 3 = -0,78 \text{ kN / m}$$

Filfaktor för fil 1 och fil 2 vid utbredd last:

$$F_q = \frac{R_{A,q}}{(R_{A,q} + R_{B,q})} = \frac{27,18}{(27,18 + (-0,78))} = 1,030$$

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur 7.6 Tvärsnitt med utsatta utbredda laster.

Filfaktor av punktlaster för huvudbalk A, $F_P = 1,023$. och utbredda laster, $F_q = 1,101$. Filfaktorerna multipliceras med respektive moment, se Tabell 7.2.

Tabell 7.4 Beräknade moment från Load Model 1 med respektive filfaktor.

	F_P / F_q	M_P [kNm]* F_P	M_q [kNm]* F_q	M_P+M_q [kNm]
Fil 1	0,98/1,030	3 038,7	932,5	3 971,2
Fil 2	0,98/1,030	2 025,8	370,1	2 395,9
Karakteristiskt moment				6 367,1

Tabell 7.4 visar att det karakteristiska momentet för trafiklast enligt Eurocode är $M_k = 6\,367,1$ kNm.

7.4 Momentberäkning enligt Vägverkets Klassningsberäkningar av vägbroar (1998)

Trafiklaster som anges i Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) kallas typfordon och består av utbredda laster och punktlaster, se kapitel 3.3. De typfordon som genererar det största momentet i Ölandsbrons kritiska snitt är typfordon 12 enligt Carlsson & Karoumi (2008). Momentet som uppkommer på grund av typfordon beräknas på följande sätt

$$M_{\text{typfordon}} = 1,8 \cdot B \cdot Inf_{\text{typfordon}} \cdot F_{\text{typfordon}}$$

där B är boggilasten i kN, $F_{\text{typfordon}}$ är filfaktor och $Inf_{\text{typfordon}}$ är influensvärdet för typfordonen. Siffran 1,8 står för typfordonens storlek som är 1,0 och 0,8 för fil 1 respektive fil 2.

Carlsson & Karoumi (2008) har beräknat filfaktorn till $F_P=1,02$ och influensvärdet till $Inf_P= 14,28$. Två beräkningar med olika boggilaster kommer att utföras. I den första

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

beräkningen är $B = 18 \text{ ton}$ och i den andra är $B = 20 \text{ ton}$. Då $B = 18 \text{ ton}$ och $B = 20 \text{ ton}$ ger nedan följande moment av trafiklast:

$$M_{\text{typfordon},18} = 1,8 \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 14,28 \cdot 1,02 = 4629,6 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{typfordon},20} = 1,8 \cdot 20 \cdot 9,81 \cdot 14,28 \cdot 1,02 = 5144,0 \text{ kNm}$$

Carlsson & Karoumi (2008) beräknar momentet som uppkommer på grund av den utbredda lasten till 59,3 kNm. Detta adderas till momenten från typfordonen. Det totala karakteristiska momentet då $B = 18 \text{ ton}$ är $M_{k,18} = 4\,688,9 \text{ kNm}$ och då $B = 20 \text{ ton}$ är det karakteristiska momentet $M_{k,20} = 5\,203,3 \text{ kNm}$. Precis som för trafiksituationerna 1-4 ingår ej den dynamiska faktorn i dessa moment. Beräkning i kapitel 7.2 visar att den dynamiska faktorn blir 1,102. Den dynamiska faktorn multipliceras med de karakteristiska momenten.

$$M_{k,18} = 1,102 \cdot 4688,9 = 5167,2 \text{ kNm}$$

$$M_{k,20} = 1,102 \cdot 5203,3 = 5734,0 \text{ kNm}$$

7.6 Sammanställning av de sju olika trafiksituationerna

För samtliga nedanstående moment är filfaktorer och de dynamiska faktorerna medräknade i resultatet. Nedan är en sammanställning av de karakteristiska momenten för de sju olika trafiksituationerna:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ett tungt fordon | $M_{k1} = 4\,352,5 \text{ kNm}$ |
| 2. Omkörning | $M_{k2} = 4\,706,0 \text{ kNm}$ |
| 3. Karavan | $M_{k3} = 3\,323,4 \text{ kNm}$ |
| 4. Kö (22st) | $M_{k4} = 4\,571,4 \text{ kNm}$ |
| 5. Bro 04 | $M_{k5} = 7\,262,1 \text{ kNm}$ |
| 6. Eurocode | $M_{k6} = 6\,367,1 \text{ kNm}$ |
| 7. Klassningsberäkning av vägbroar | $M_{k7} = 5\,167,2 \text{ kNm (18 ton)}$
$M_{k7} = 5\,734,0 \text{ kNm (20 ton)}$ |

Generellt kan sägas att bronormerna ger högre moment. Eurocode och Bro 04 ger de största moment som uppkommer på grund av trafiklaster. Det största trafikmomentet som bestämts utifrån mätningarna genereras av trafiksituationen omkörning och därefter kommer kö. Karavan ger det lägsta trafikmomentet.

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

8. Slutsats

Simulering av trafiklaster kräver en hel del ingångsdata. Det viktigaste att ta reda på är vilka typer av fordon som passerar bron, i detta fall Ölandsbron. B-WIM- och sidopositionsmätningar ger detaljerad information om trafiken på Ölandsbron. Utifrån dessa mätningar kan snittkrafter i bron bestämmas med hög noggrannhet. Vid jämförelse av datamaterialet från mätningarna visar det sig att trafiken är likartad för de olika mätperioderna. Det är ungefär lika många fordon i den östliga som i den västliga riktningen. Cirka 95 % är personbilar och resterande 5 % består av tung trafik. Däremot finns det en skillnad vid val av körfält för de tunga fordonen. I den östliga riktningen väljer de tunga fordonen oftast det högra körfältet (som de gör i normalfall) medan i den västliga riktningen väljer de flesta tunga fordonen det vänstra körfältet.

I denna rapport har snittkrafter genererade av köer i Ölandsbrons mest belastade snitt studerats. Köernas sammansättning har bestämts genom simulering. Dessa köer har stegats över influensområdet och karakteristiska moment av trafiklast för olika antagande angående antal köer under referensperioden har beräknats. I dessa simuleringar har vissa förenklingar gjorts för att beräkningar skulle kunna genomföras på utsatt tid. I simuleringen av köer har följande förenklingar gjorts:

1. Personbilarna har konstanta värden på axellaster och axelavstånd.
2. Avstånd mellan fordon har samma betafördelning.
3. Köer i fil 1 simuleras på samma sätt som för fil 2.

De karakteristiska momenten för de simulerade köerna ökar med ökat antal köer. I denna rapport simulerades endast 100 årsmaxima. För bättre resultat borde fler simuleringar göras. Detta borde bidra till att de karakteristiska momenten skulle kunna bestämmas med bättre precision. Antal köer på Ölandsbron i den östliga riktningen är cirka 22 stycken per år och ett karakteristiskt moment för detta antal köer beräknades till 4 571,4 kNm då den dynamiska faktorn är inkluderad.

Resultatet från beräkningar av trafiklastmoment för de olika trafiksituationerna visar att bronormerna generellt ger mycket höga trafiklastmoment. Bro 04 ger det högsta trafiklastmomentet. Det skiljer cirka 2 700 kNm mellan trafiklastmomentet enligt Bro 04 och trafiklastmomentet för 22 stycken köer per år.

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Referenser

Rapporter

Bro 04, *Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättringar av broar*, Pub.2004:56, ISSN:1401-9612

Carlsson Fredrik & Karoumi Raid (2008), *Mätning av trafiklaster och sidopositioner av trafik på Ölandsbron*, Kungliga Tekniska Högskolan, Institution för Byggkonstruktion

Carlsson Fredrik (2006). *Modelling of traffic loads on bridges*. Avdelning för konstruktionsteknik, Lunds universitet, Rapport TVBK-1032, ISSN 0349-4969

Eurocode 1 (2002), *Actions on structures- Part 2: Traffic loads on bridges*, prEN 1991-2:2002, E CEN Brussels.

Getachew Abraham (2000). *Trafiklaster på broar, analys av insamlade och Monte Carlo genererade fordondata*, Licentiate thesis, Kungliga Tekniska Högskolan, Institution för Byggkonstruktion TRITA-BKN Bulletin 62, 2000, ISSN 1103-4270, ISRN KTH/BKN/B-62-SE

Gullberg Mikael & Halldin Jonatan (2008), *Utvärdering av trafikmätningar vid Ölandsbron*, Avdelningen för konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund Universitet, Rapport TVBK-5157, ISSN 0349-4969

Svensson Bertil (1997), *Dynamisk trafikinformation på Ölandsbron*, Pub.1997:54, Borlänge, ISSN 1401-9612.

Vägverket (1998), *Allmän teknisk beskrivning för klassningsberäkningar av vägbroar*, Pub.1998:78, ISSN:1401-9612.

Vägverket (2004), *Vägar och gators utformning*, Pub.2004:80

Vägverket (2006), *BWIM-mätningar 2004 och 2005 Projekt rapport*. Pub.2006:136, ISSN 1401-9612

Vägverket (2008), *Vägverkets föreskrifter om ändring i föreskrifterna (VVFS 2004:43) om tillämpningen av europeiska beräkningsstandarder*, VVFS 2008:400,

Vännman Kerstin, (2006), *Matematisk statistik*, Andra upplagan, Studentlitteratur, Lund, 2006.

Internet

Statistiska Centralbyrån: www.scb.se 2008-10-01

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon
http://www.scb.se/templates/tableOrChart___34750.asp

Volvos hemsida: www.volvocars.com 2008-09-16
<http://www.volvocars.com/se/Pages/default.aspx>

Saabs hemsida: www.saabsverige.com 2008-09-16
<http://www.saabsverige.com/main/SE/sv/>

Vägverket: www.vv.se 2008-11-10

Övriga källor

Svante Berg, Ramböll Syd

Appendix A

Antal av varje fordonstyp

Tabell A1. Antal fordon för mätningarna i maj.

Maj						
	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 12 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst	Fil 12 Väst
P20	19900	5819	4794	13232	11872	4824
P21	509	121	216	217	471	130
P22	61	16	32	32	83	18
L20	640	222	481	284	700	264
L21	41	6	36	20	44	25
L22	1	1	17	2	37	8
L23	14	4	31	3	53	21
L24	12	3	60	17	23	19
L30	207	11	193	88	168	102
L31	1	1	4	1	13	3
L32	2	0	10	1	10	3
L33	32	8	45	4	33	14
L34	46	14	62	7	96	13
Totalt	21466	6226	5981	13908	13603	5444
	Totalt öst 33673			Totalt väst 32955		

Tabell A2. Antal fordon för mätningarna i augusti.

Augusti						
	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 12 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst	Fil 12 Väst
P20	12007	4360	3333	9756	10777	4265
P21	375	68	143	273	475	154
P22	48	8	18	33	120	28
L20	430	129	228	265	501	211
L21	13	2	7	17	20	20
L22	7	2	12	3	27	3
L23	14	1	7	3	5	9
L24	11	0	23	10	20	13
L30	131	6	60	42	88	58
L31	0	0	2	1	6	2
L32	1	2	4	0	9	3
L33	10	2	19	1	13	3
L34	24	4	40	9	56	16
Totalt	13071	4584	3896	10413	12117	4785
	Totalt öst 21551			Totalt väst 27315		

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Tabell A3. Antal fordon för mätningarna i oktober.

Oktober

	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 12 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst	Fil 12 Väst
P20	15381	4340	3501	10638	9400	3270
P21	290	73	119	156	280	71
P22	41	13	17	16	67	4
L20	433	134	319	207	531	165
L21	20	2	12	14	29	10
L22	5	0	13	2	25	3
L23	4	1	10	4	51	13
L24	27	3	58	9	24	13
L30	148	13	136	63	126	83
L31	1	0	0	0	2	0
L32	7	1	8	0	11	5
L33	11	5	43	6	39	15
L34	40	18	106	11	129	26
Totalt	16408	4603	4342	11126	10714	3678
		Totalt öst	25353		Totalt väst	25518

Andel av varje fordonstyp

Tabell A4 Andelar av olika fordonstyper uppdelat efter filplacering.

Maj

	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst
P20	92,7047%	93,4629%	95,1395%	87,2749%
P21	2,3712%	1,9435%	1,5603%	3,4625%
P22	0,2842%	0,2570%	0,2301%	0,6102%
L20	2,9815%	3,5657%	2,0420%	5,1459%
L21	0,1910%	0,0964%	0,1438%	0,3235%
L22	0,0047%	0,0161%	0,0144%	0,2720%
L23	0,0652%	0,0642%	0,0216%	0,3896%
L24	0,0559%	0,0482%	0,1222%	0,1691%
L30	0,9643%	0,1767%	0,6327%	1,2350%
L31	0,0047%	0,0161%	0,0072%	0,0956%
L32	0,0093%	0,0000%	0,0072%	0,0735%
L33	0,1491%	0,1285%	0,0288%	0,2426%
L34	0,2143%	0,2249%	0,0503%	0,7057%

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Tabell A5. Andelar av olika fordonstyper uppdelat efter filplacering.

Augusti

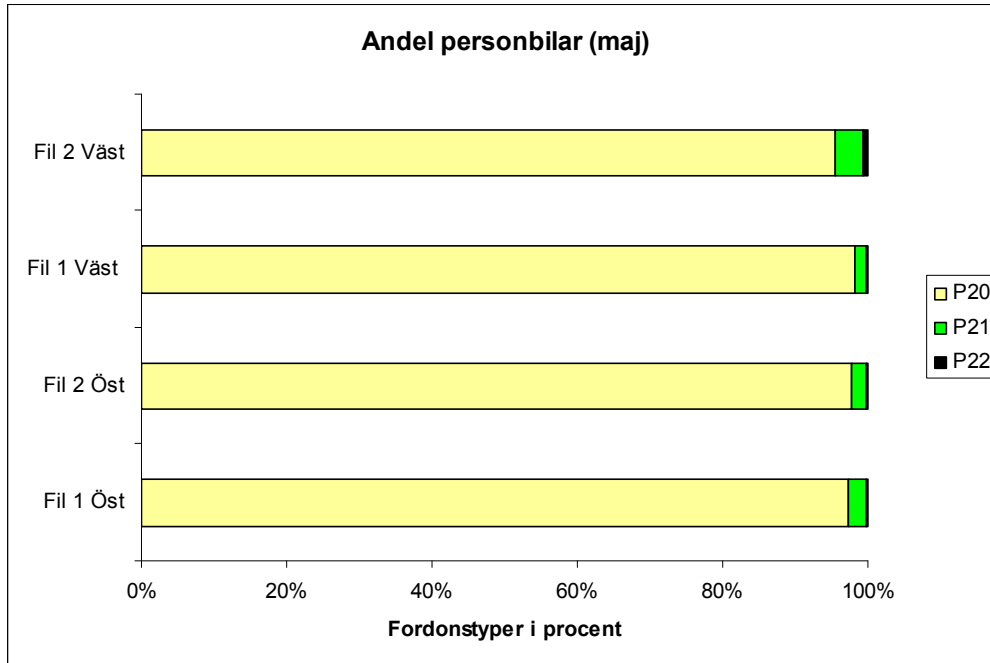
	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst
P20	91,8598%	95,1134%	93,6906%	88,9412%
P21	2,8689%	1,4834%	2,6217%	3,9201%
P22	0,3672%	0,1745%	0,3169%	0,9903%
L20	3,2897%	2,8141%	2,5449%	4,1347%
L21	0,0994%	0,0436%	0,1632%	0,1651%
L22	0,0536%	0,0436%	0,0288%	0,2228%
L23	0,1071%	0,0218%	0,0288%	0,0417%
L24	0,0842%	0,0000%	0,0960%	0,1651%
L30	1,0022%	0,1309%	0,4033%	0,7263%
L31	0,0000%	0,0000%	0,0096%	0,0495%
L32	0,0077%	0,0436%	0,0000%	0,0743%
L33	0,0765%	0,0436%	0,0096%	0,1073%
L34	0,1836%	0,0873%	0,0864%	0,4622%

Tabell A6. Andelar av olika fordonstyper uppdelat efter filplacering.

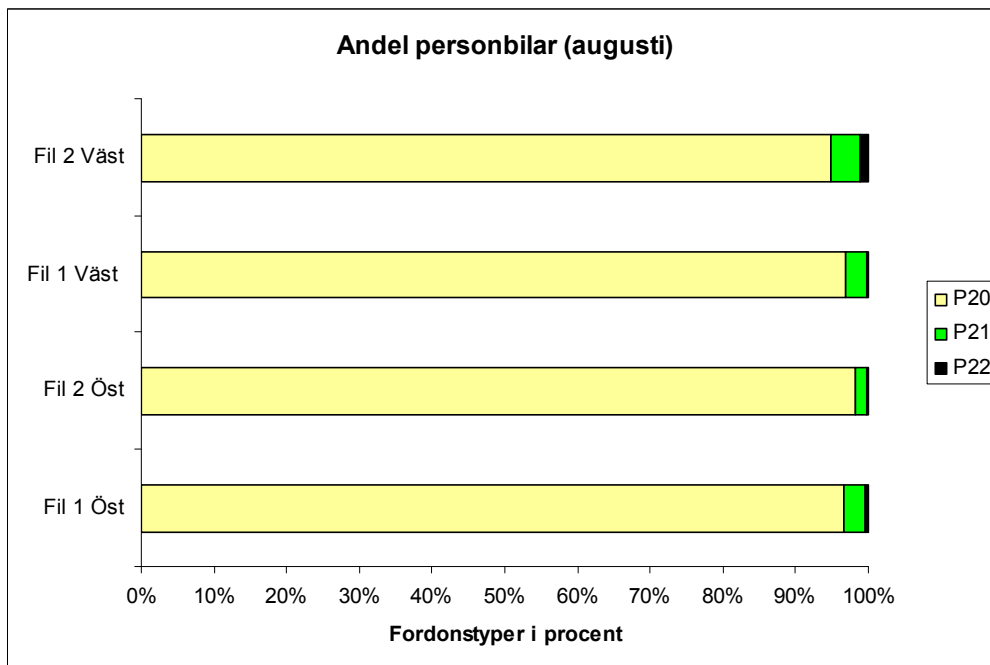
Oktober

	Fil 1 Öst	Fil 2 Öst	Fil 1 Väst	Fil 2 Väst
P20	93,7409%	94,2863%	95,6139%	87,7357%
P21	1,7674%	1,5859%	1,4021%	2,6134%
P22	0,2499%	0,2824%	0,1438%	0,6254%
L20	2,6390%	2,9111%	1,8605%	4,9561%
L21	0,1219%	0,0434%	0,1258%	0,2707%
L22	0,0305%	0,0000%	0,0180%	0,2333%
L23	0,0244%	0,0217%	0,0360%	0,4760%
L24	0,1646%	0,0652%	0,0809%	0,2240%
L30	0,9020%	0,2824%	0,5662%	1,1760%
L31	0,0061%	0,0000%	0,0000%	0,0187%
L32	0,0427%	0,0217%	0,0000%	0,1027%
L33	0,0670%	0,1086%	0,0539%	0,3640%
L34	0,2438%	0,3910%	0,0989%	1,2040%

Andel personbilar

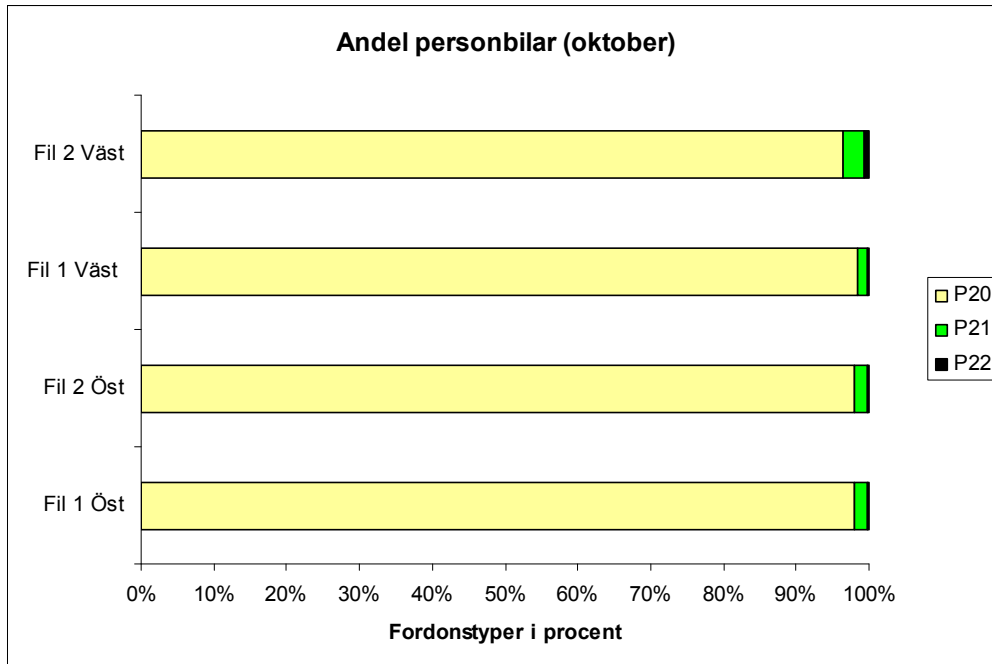


Figur A1. Andel personbilar i respektive fil.



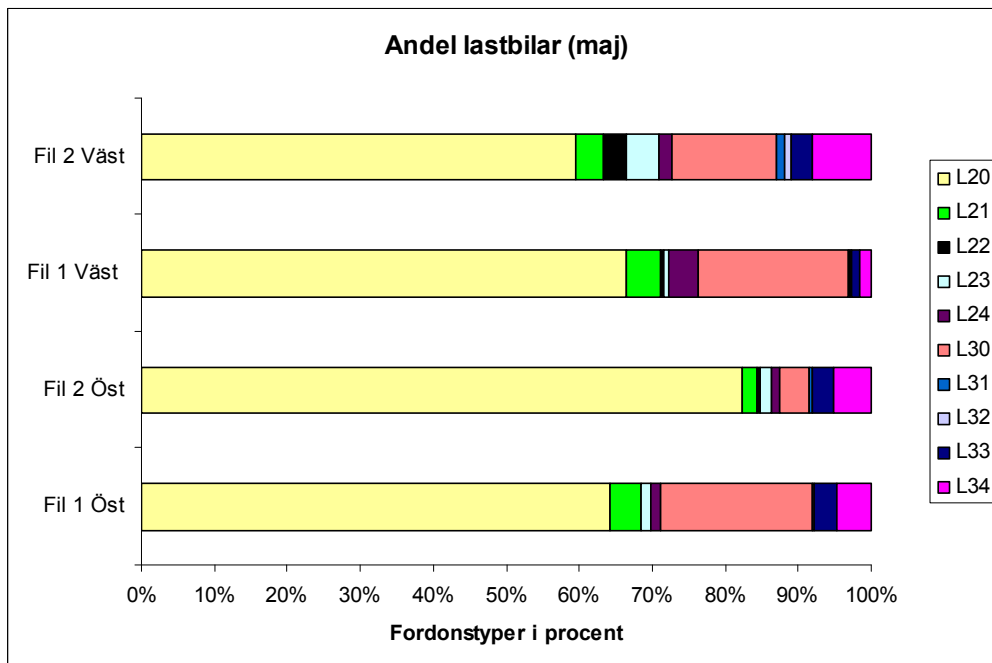
Figur A2. Andel personbilar i respektive fil.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



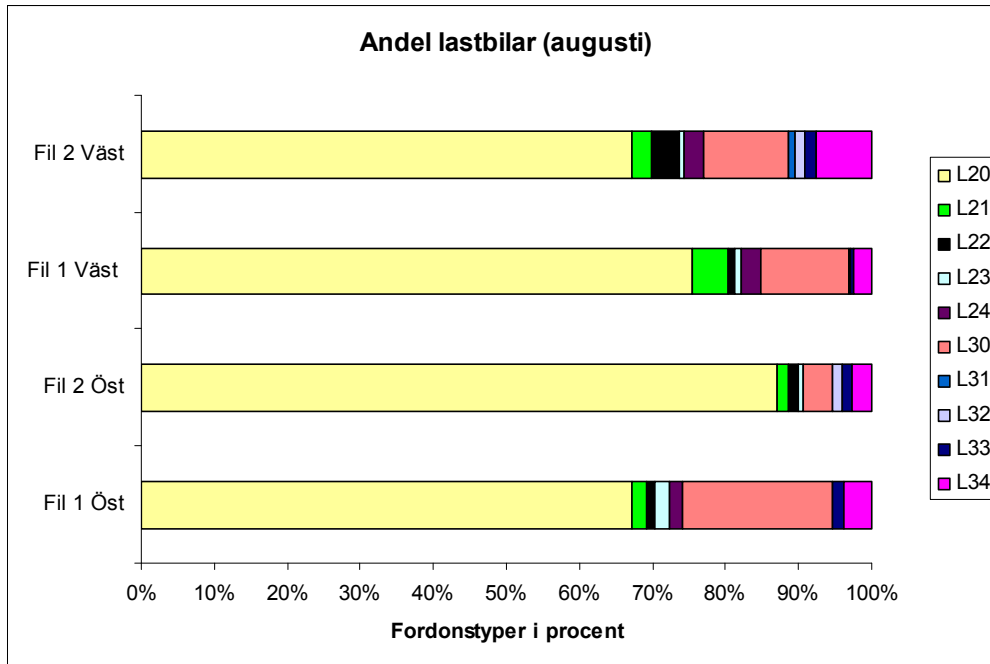
Figur A3. Andel personbilar i respektive fil.

Andel lastbilar

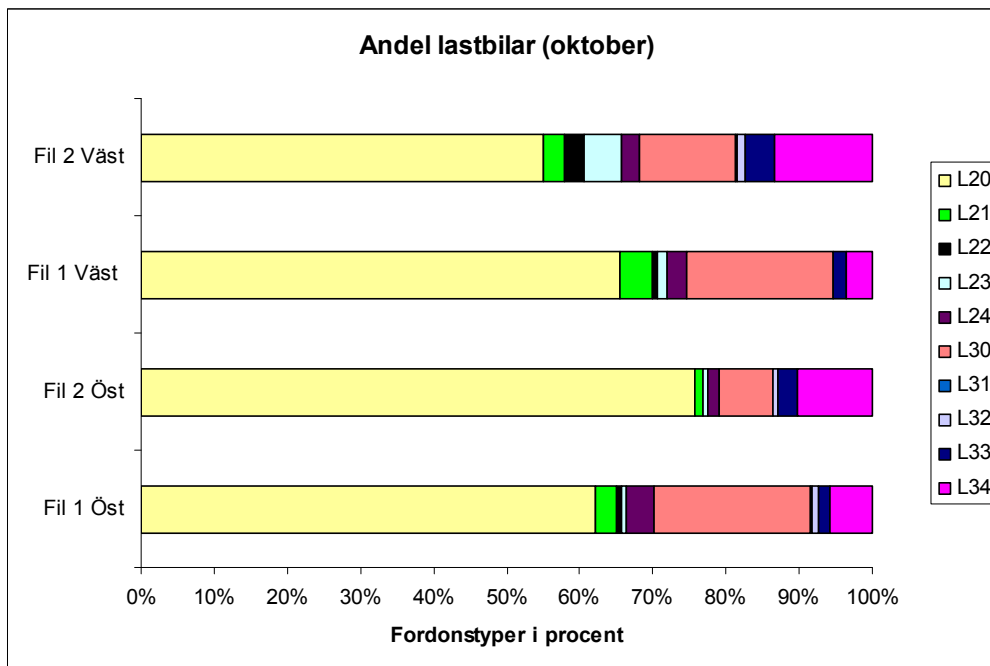


Figur A4. Andel lastbilar i respektive fil.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



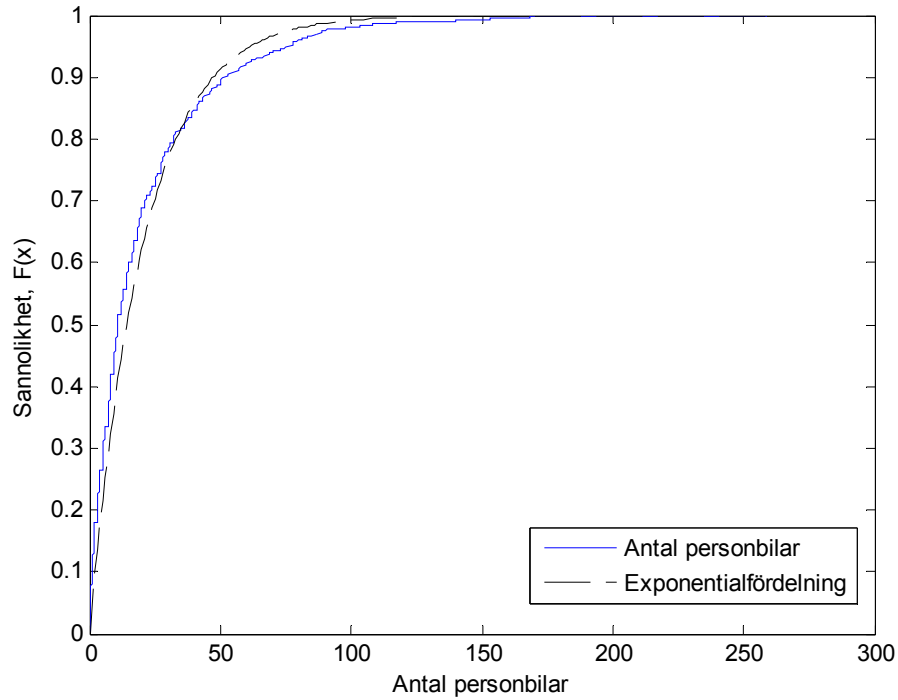
Figur A5. Andel lastbilar i respektive fil.



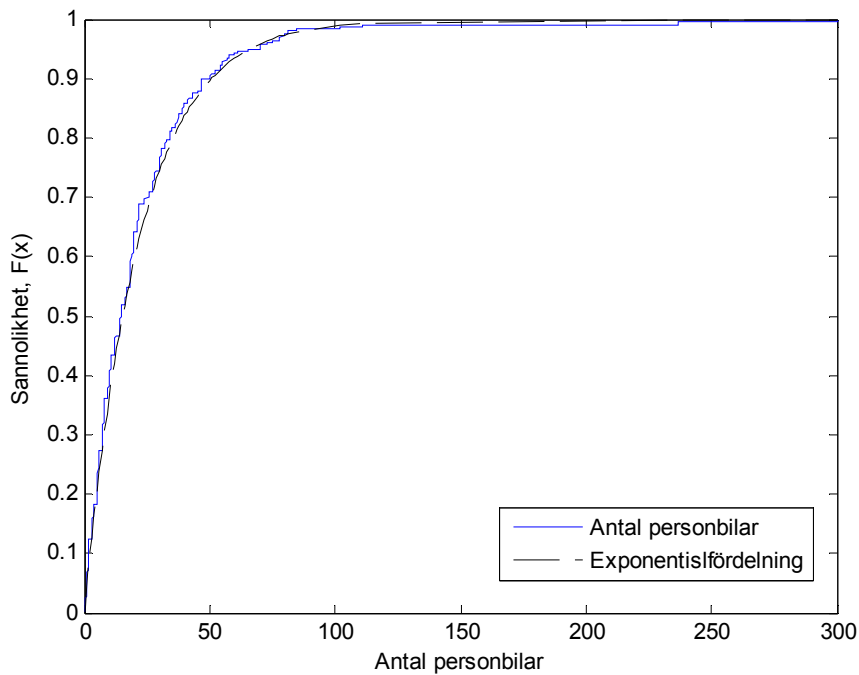
Figur A6. Andel lastbilar i respektive fil.

Appendix B

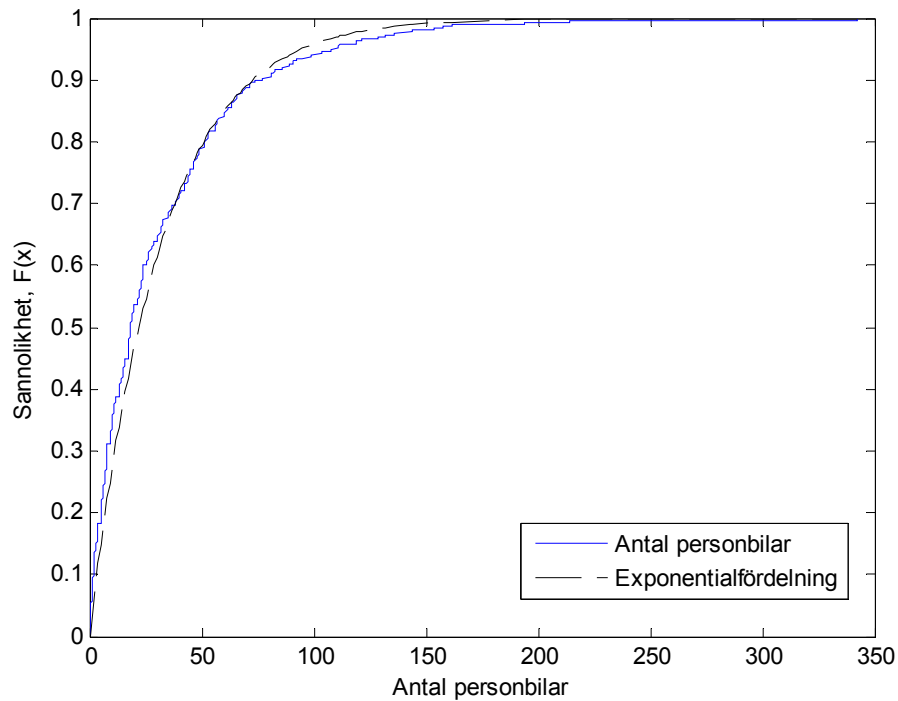
Antal personbilar mellan två lastbilar



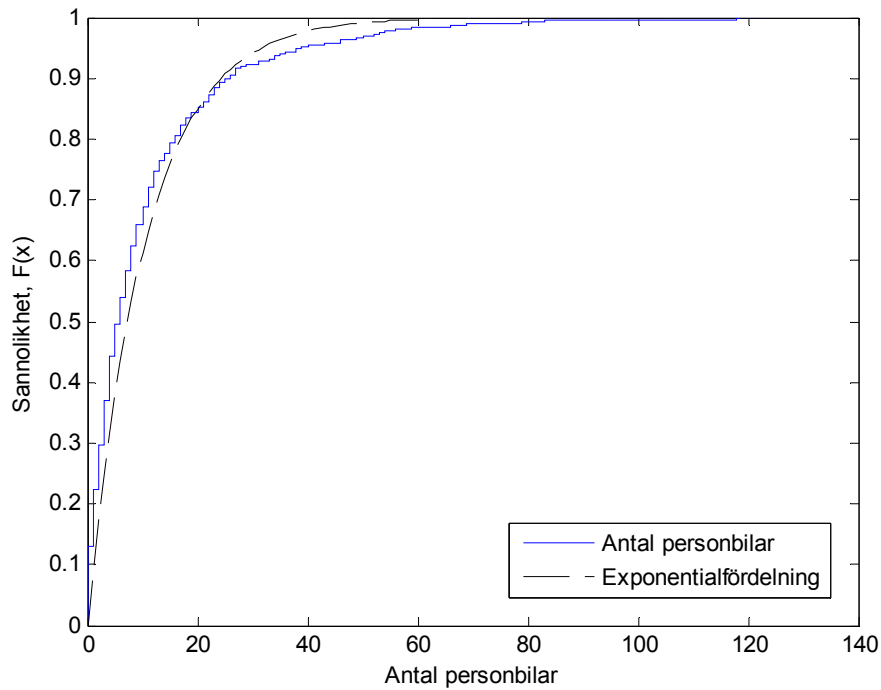
Figur B1. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i östlig riktning för maj månad.



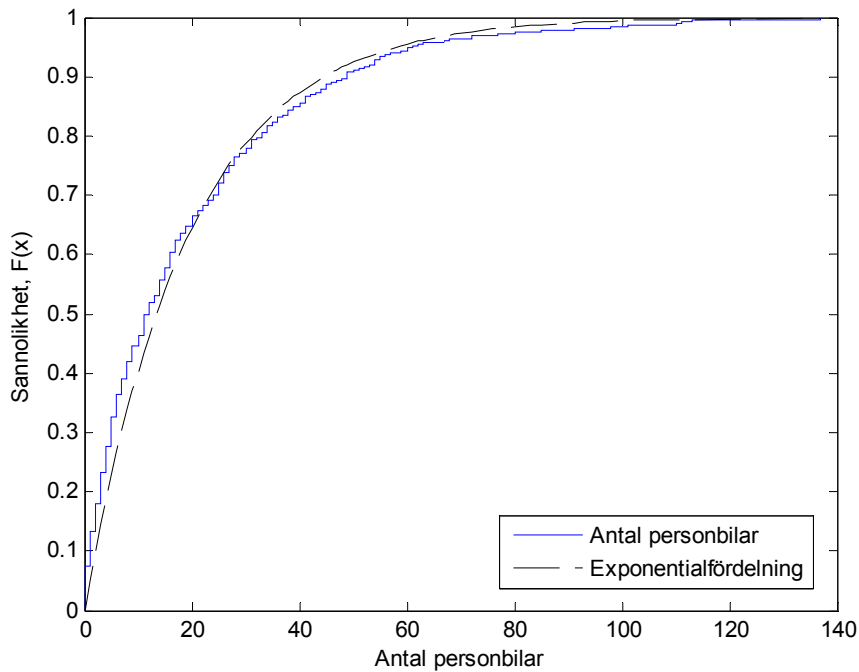
Figur B2. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 2 i östlig riktning för maj månad.



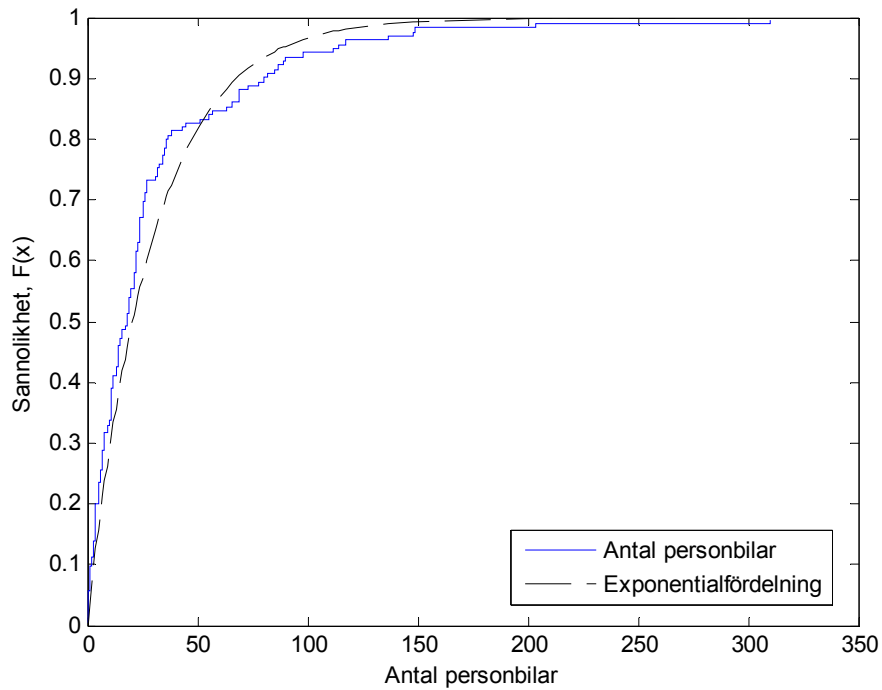
Figur B3. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i västlig riktning för maj månad.



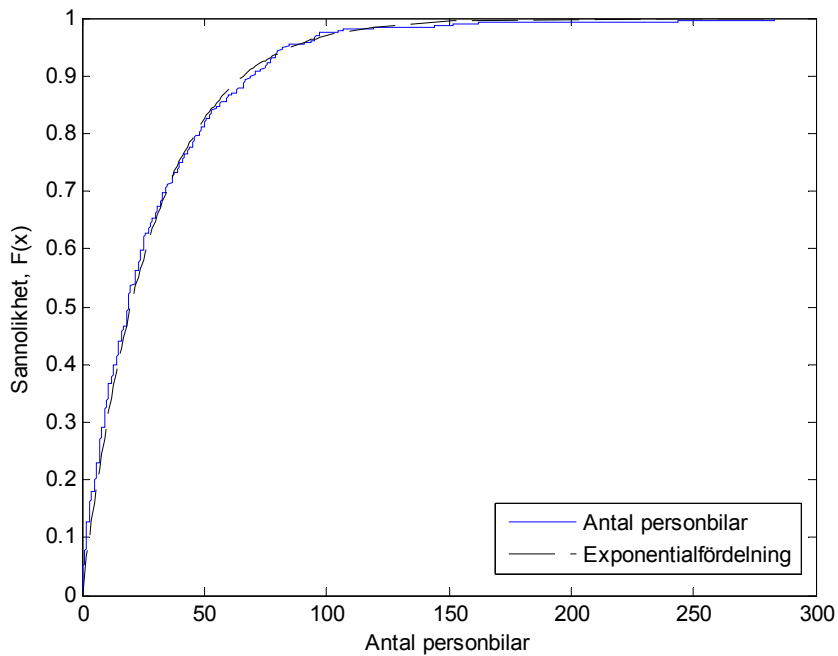
Figur B4. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 2 i västlig riktning för maj månad.



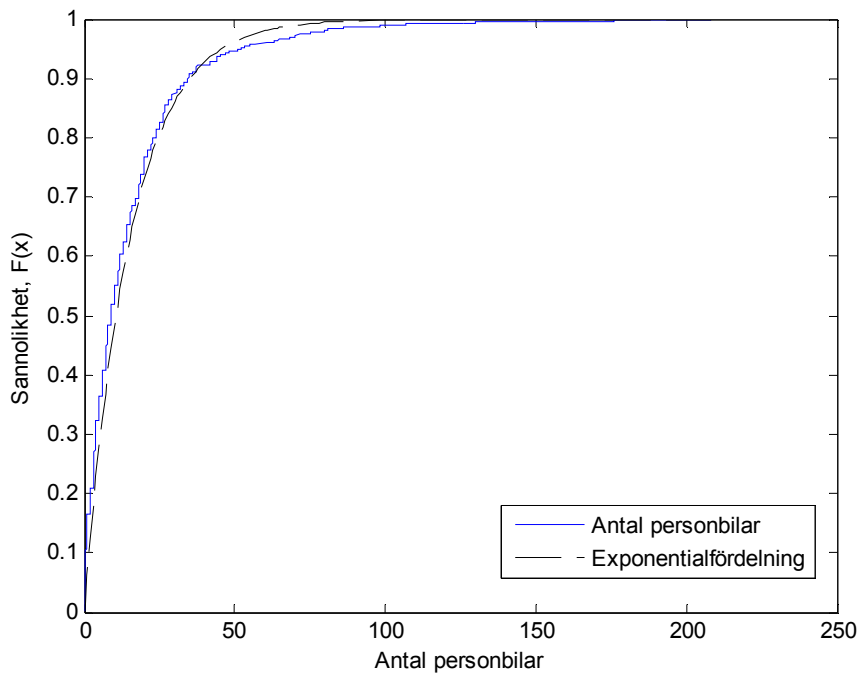
Figur B5. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i östlig riktning för augusti månad.



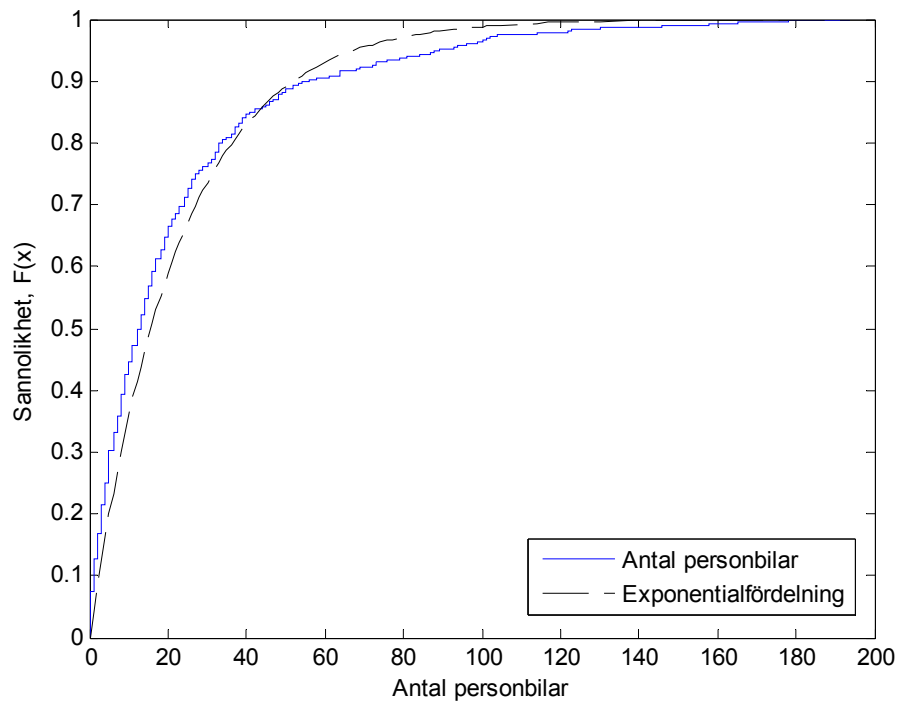
Figur B6. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 2 i östlig riktning för augusti månad.



Figur B7. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i västlig riktning för augusti månad.

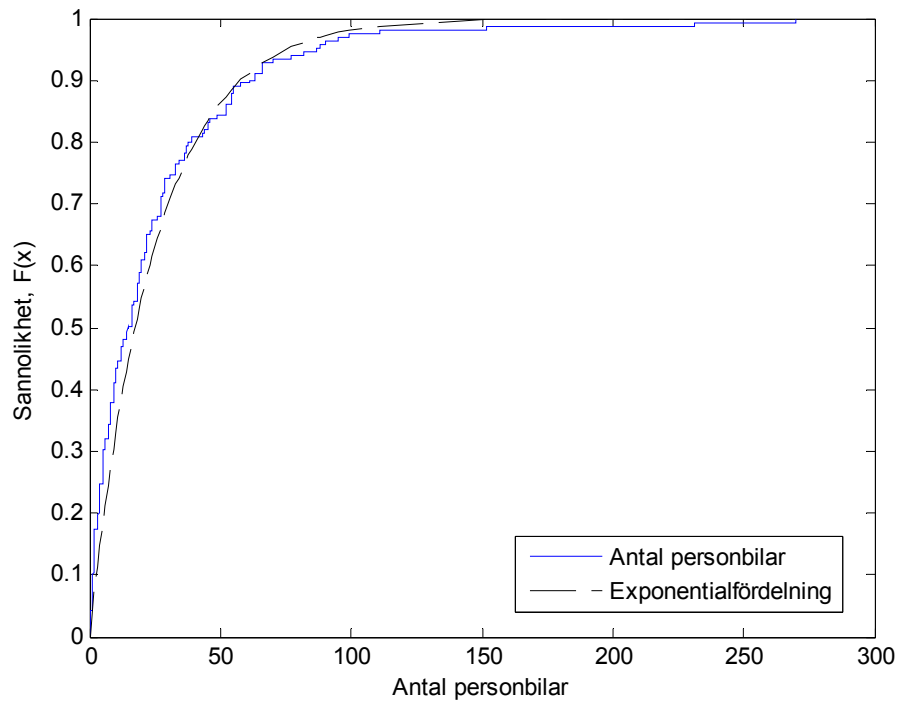


Figur B8. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 2 i västlig riktning för augusti månad.

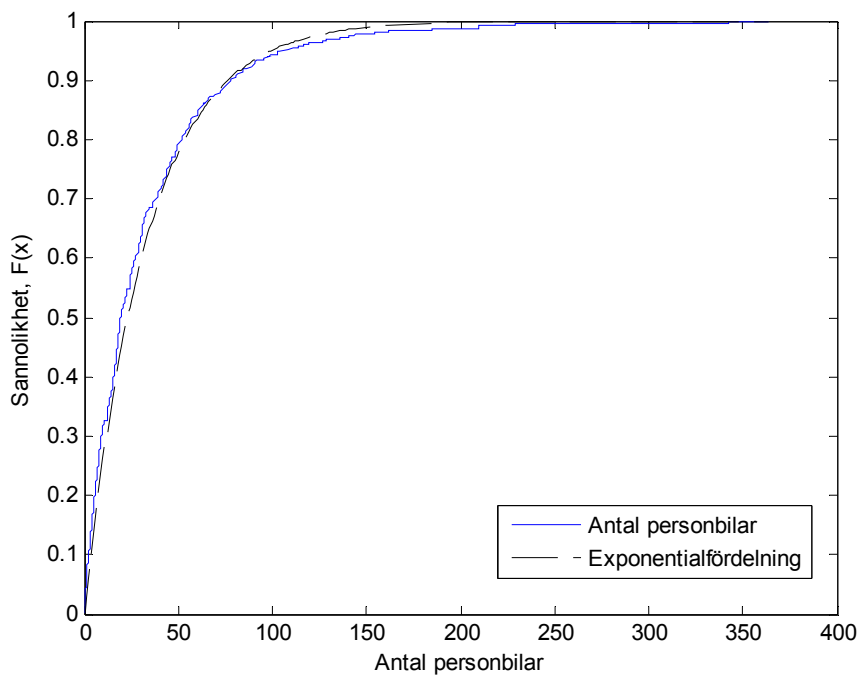


Figur B9. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i östlig riktning för oktober månad.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

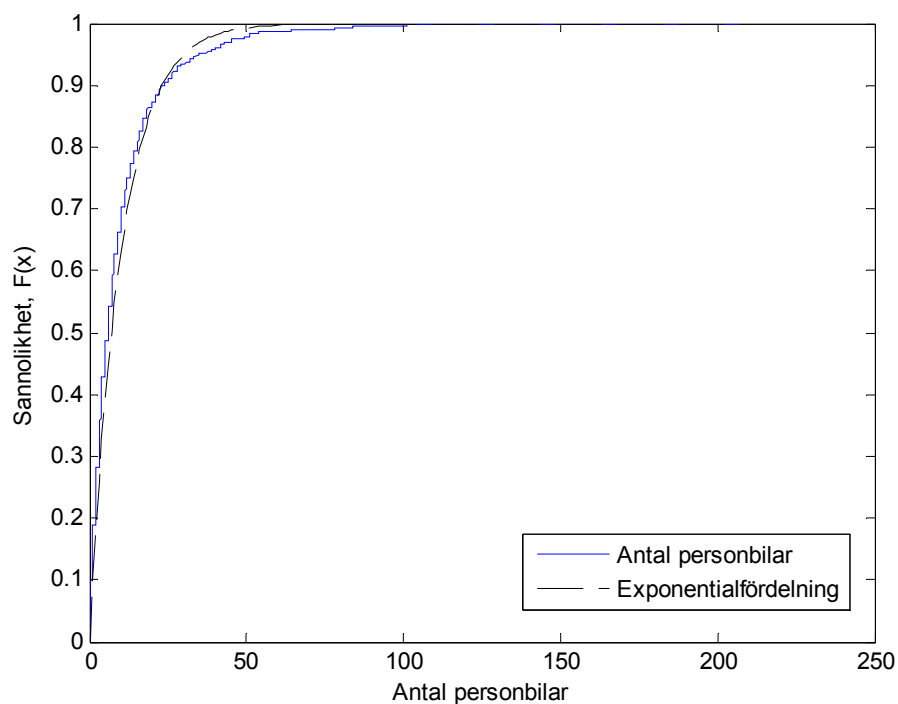


Figur B10. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 2 i östlig riktning för oktober månad.

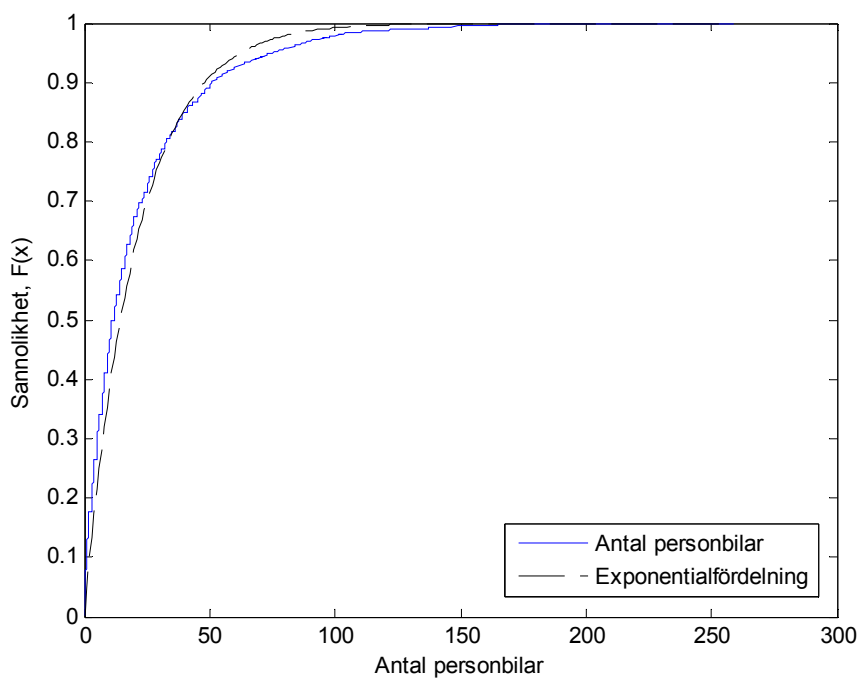


Figur B11. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i västlig riktning för oktober månad.

Bestämning av trafikklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon



Figur B12. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 2 i västlig riktning för oktober månad.



Figur B13. Anpassad exponentialfördelning och empirisk fördelning för antalet personbilar mellan två lastbilar för fil 1 i östlig riktning för samtliga mätperioder.

Bestämning av trafiklast på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Appendix C

Detta är resultaten från mätningarna som utfördes under perioden 080414-081015 av Ramböll i uppdrag av Vägverket. I allogg finns koderna på vad siffrorna i tabell C1 betyder.



Mariefred 08-10-15

Svante Berg
Ramböll Sverige AB
Region Syd
Pelle Bergs Backe 3
791 19 Falun

Vår referens: Petter Kappel

FÖLJESEDEL

1 st CD med trafikdata från Ölandsbron.

Mätsnitt
1234 Högbro
7350 Ölandsida

Körfältsnumrering:
1 K1 mot Öland
2 K2 mot Öland
5 K2 mot Kalmar
6 K1 mot Kalmar

Fordonstypsnumrering:
1 PU
3 PS
5 Buss
2 LU
7 LS
14 X

ALLOGG AB
Långgatan 16 • Box 43 • 847 21 Mariefred
T 0159-10560 F 0159-10130
E all@allogg.se W www.allogg.se
Org nr: 556263-6893 Säte: Strängnäs

Figur C1. Allogg från Ramböll Syd

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Tabell C1. Resultat från mätningarna för långsamtgående fordon under perioden 080414-081015.

Snitt	Lane	Vehicle type	Antal
Högbro	1	1	144
Högbro	1	2	13
Högbro	1	3	9
Högbro	1	5	10
Högbro	1	7	3
Högbro	1	8	1
Högbro	1	14	1
Högbro	1	Total	181
Högbro	2	1	74
Högbro	2	2	3
Högbro	2	3	2
Högbro	2	5	8
Högbro	2	7	1
Högbro	2	14	1
Högbro	2	Total	89
Högbro	5	1	400
Högbro	5	2	5
Högbro	5	3	22
Högbro	5	5	41
Högbro	5	7	4
Högbro	5	14	13
Högbro	5	Total	485
Högbro	6	1	295
Högbro	6	2	16
Högbro	6	3	45
Högbro	6	5	28
Högbro	6	7	4
Högbro	6	14	7
Högbro	6	Total	395
Högbro	Total		1 150
Öland	1	1	128
Öland	1	3	7
Öland	1	5	18
Öland	1	6	1
Öland	1	7	1
Öland	1	14	3
Öland	1	Total	158
Öland	2	1	3
Öland	2	Total	3
Öland	5	1	129
Öland	5	2	1
Öland	5	3	3

Bestämning av trafiklaster på Ölandsbron baserat på mätningar av fordon

Öland	5	5	12
Öland	5	7	2
Öland	5	14	4
Öland	5	Total	151
Öland	6	1	142
Öland	6	2	4
Öland	6	3	16
Öland	6	5	16
Öland	6	14	7
Öland	6	Total	185
Öland	Total		497
Total			1 647