

Utvärdering av trafikmätningar vid Ölandsbron



Mikael Gullberg Jonatan Halldin

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund Universitet, 2008

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

Utvärdering av trafikmätningar vid Ölandsbron

Master Thesis

Evaluation of traffic measurements at the Öland Bridge

Mikael Gullberg
Jonatan Halldin

Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Februari 2008

Rapport TVBK-5157
ISSN: 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-08/5157+93p

Examensarbete
Handledare: Fredrik Carlsson
Februari 2008

Förord

Denna rapport är skriven som ett examensarbete inom Väg- och vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska högskola. Idén till examensarbetet är initierad av teknisk doktor Fredrik Carlsson och ingår som en del i ett forskningsprojekt som berör analyser av trafikklaster på befintliga broar.

Undertecknande vill framförallt tacka handledaren Fredrik Carlsson för god sakkunnighet, gott samarbete och stort engagemang.

Vidare vill vi också tacka vår examinator Prof. Sven Thelandersson.

Lund, Februari 2008



Mikael Gullberg



Jonatan Halldin

Sammanfattning

- Titel:** Utvärdering av trafikmätningar vid Ölandsbron
- Författare:** Mikael Gullberg och Jonatan Halldin
- Handledare:** Teknisk doktor Fredrik Carlsson, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Teknisk Högskola
- Problemställning:** För att utvärdera och bärighetsmässigt klassa broar används Vägverkets norm, Klassningsberäkning av vägbroar (1998). Denna klassning görs för alla vägbroar och ligger till grund för avgörandet hur tunga transporter som kan tillåtas att trafikera den aktuella bron. Vägverket har under 2006 gjort beräkningar enligt denna norm på Ölandsbrons primärbalkar där resultatet visar att den dimensionerande boggilasten, B är lägre än Vägverkets önskemål.
- Vägverket har under 2007 utfört mätningar på ett stort antal fordon som trafikerar Ölandsbron. Utifrån dessa mätningar vill Vägverket ta fram en realistisk bild av trafiklasternas storlek och placering.
- Syfte:** Syftet med denna rapport är att utifrån dessa mätningar, statistiskt utvärdera tunga fordons placering i tvärled på brobanan, fordonens axelbredder och axelkrafter. Med statistisk beskrivning avses att bestämma dessa variablers statistiska fördelningsfunktioner.
- Metod:** För att lättare kunna bedöma trovärdigheten hos mätresultaten gjordes en förstudie av de trafikregler och bronormer som gäller i Sverige.
- Två olika mätsystem har använts, B-WIM och Sidolägesmetoden. B-WIM registrerar fordonens axelkrafter och axelavstånd. Sidolägesmetoden registrerar fordonens placering och axelbredd. Utifrån dessa data kan snittkrafter genererade av fordon bestämmas med hög precision. Utifrån mätningarna har en statistisk beskrivning av fältmomentet i brons kritiska snitt bestämts. Detta moment har jämförts med primärbalkens momentkapacitet.

Slutsatser:

Mätresultaten från Sidelägesmetoden visar att fordonen har en tendens att köra nära bromitt. Detta resulterar i att filfaktorn, α får ett mer gynnsamt värde jämfört med motsvarande filfaktorer beräknat enligt Bro (2004) och Klassningsberäkningar av vägbroar (1998). Snittkrafterna från B-WIM-mätningarna visar sig vara lägre än motsvarande snittkrafter enligt Bro (2004).

Tillsammans resulterar detta i en totalt lägre belastning i jämförelse med gällande bronorm.

Studerar man mätresultatet från Sidelägesmetoden mer noggrant kan man se en avvikelse från den normala filplaceringen i den västliga riktningen. Med normal anses att de tunga fordonen mestadels är placerade i det högra körfältet. Fordonsplaceringen i den östliga riktningen följer den normala filplaceringen, d.v.s. största delen av de tunga fordonen är placerade i högerfilen, fil 1. Fördelningen i den västliga riktningen beror troligen på den avfart till Kalmar som finns direkt efter mätstationen.

För att erhålla bättre mätresultat med Sidelägesmetoden rekommenderas att placera mätstationen uppe på hög- eller låg-brodelen. Mätresultatet hade också blivit bättre om de båda metoderna hade varit kopplade till varandra vilket de inte är i nuläget.

Bedömning av momentkapaciteten gentemot det dimensionerande momentet gjordes utifrån fyra belastningsfall. Resultatet från detta visade att de två belastningsfallen med störst sannolikhet att inträffa klarar sig med god marginal. Det belastningsfall som beskriver ett extremfall skapade större momentpåverkan än vad bron klarar. Dock mindre moment än det moment som genereras av Ekvivalentlast 1 i Bro (2004).

Nyckelord:

trafiklaster, bronormer, axel- och boggitryck, axelkraft, axelbredd, filfaktor, B-WIM, Sidelägesmetoden, fördelningsfunktioner, Peaks Over Threshold, momentbelastning, momentkapacitet, dynamisk effekt, egentyngd, influensdiagram

Abstract

Title:	Evaluation of traffic measurements at the Öland Bridge
Author:	Mikael Gullberg and Jonatan Halldin
Supervisor:	Assist. Prof. Fredrik Carlsson, Division of Structural Engineering, Lund University
Problem formulation:	To evaluate and classify the bearing capacity of bridges the Swedish classification code, Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) is used. Classifications of bridges are made to determine the axle- and bogie capacity of the bridge. The result can be used to give permissions for heavy transports over the actual bridge. Vägverket has during 2006 made calculations of the bearing capacity according to this code for the Öland Bridge. The result shows that the calculated bogie pressure, B is lower then required. The Öland bridge is a very long bridge between Kalmar and Öland. Reinforcement of the bridge to increase the bogie capacity is therefore connected with great costs. Instead the owner of the bridge Vägverket has done measurements of the vehicles trafficking the bridge. The purpose of the measurements is to develop realistic traffic load models, less conservative than the correspondent in the code, for the actual bridge.
Objective:	One object of this master thesis is to evaluate the measurement of traffic loads at the Öland Bridge. Another is to use the measurements as a base and try to develop more realistic traffic load models at the bridge site. Finally, from the measurements develop statistical distributions that describe the axle spacing and the position of the vehicles on the bridge in the transverse direction of the bridge.
Method:	To evaluate the reliability of the measurements a pre study where made. The traffic regulations and bridge codes in Sweden and Europe were studied. The purpose was to compare the measured vehicle with the regulations given in the traffic laws and the traffic loads given in the codes.

Two different measurement systems has been used, B-WIM and Sidoläges method. B-WIM registers axle pressures and axel distances of the vehicles. Sidoläges method registers the position of the vehicles in the transverse direction of the bridge and the axle width of the vehicles. From this information is it possible to determine section forces in the actual bridge with a very high accuracy.

From the data a model of the moment in the critical section generated by the vehicles in the main girders is developed. This moment will be compared with the capacity of the main girders.

Conclusion:

The result from Sidoläges method shows that the vehicles have a tendency to drive closer to the middle of the bridge. This result gives a more favorable girder distribution factor, α than the correspondent given in the codes Bro (2004) and Klassningsberäkningar av vägbroar (1998). Another finding is that the moment determined from the measured vehicles gives a lower moment than the moment calculated according to the codes.

The Öland bridge has for lanes, two eastern and two western lanes. A closer study of the result from the Sidoläges method shows that the vehicles that are traveling to the east are located in the right lane. Heavy vehicles are generally located in the right lane. But the vehicles that are traveling in the west direction are equally distributed in two lanes.

The distribution of vehicles in the two lanes in the western direction is likely an effect of a sliproad to Kalmar that is located directly after the location of measurement station.

To establish more general conclusions from the Sidoläges method it is recommended that measurements in the future shall be made upon the bridge. The two measurement systems are not linked to each other. A better model of the section forces generated in the bridge by the vehicles could be developed if the two systems could be linked together.

The moment generated in the critical section by the measured vehicles was compared to the moment capacity of the main girders. The moment was determined by four decisive load cases. The result from these load cases showed that the two load cases with the highest probability to occur generated lower moment than the capacity of the main girders.

The load case that describes an extreme case generated a moment higher than the capacity of the main girders. This moment where however lower than the moment generated by the load case described in Bro (2004).

Keywords:

traffic loads, bridge code, axle and bogie pressure, axle force, axle width, girder distribution factor, B-WIM, Sidoläges method, distribution function, Peaks Over Threshold, moment capacity, dynamic effect, self weight

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod och genomförande	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Frågeställning.....	3
2. Trafikregler och tunga fordon	5
2.1 Inledning	5
2.2 Trafikregler för transporter	5
2.2.1 Fordonsvikter	5
2.2.2 Fordonsdimensioner	9
2.3 Tunga fordon.....	9
2.3.1 Volvo och Scania	9
2.4 Bronormer	11
2.4.1 Bro (2004)	11
2.4.2 Eurocode 1 (2002).....	12
2.4.3 Klassningsberäkning av vägbroar (1998).....	13
3. Mätningar	17
3.1 Inledning	17
3.2 Mätmetoder	17
3.2.1 Beskrivning av B-WIM.....	17
3.2.2 Beskrivning av Sidolägesmetod.....	19
3.4 Resultat från mätningar	21
3.4.1 Resultat B-WIM.....	21
3.4.1.1 Fordonstyper	21
3.4.1.2 Fordonsvikter	24
3.4.2 Resultat Sidolägesmetoden	25
3.4.2.1 Trafiksammansättning.....	26
3.4.2.2 Fordonsplacering.....	28
3.4.2.3 Statistisk beskrivning av fordonen.....	32
4. Beräkning av primärbalk.....	39
4.1 Inledning	39
4.2 Förutsättning	39
4.3 Armeringsutforming.....	41
4.3 Beräkning av böjmomentkapacitet.....	45

5. Laster	49
5.1 Inledning	49
5.2 Permanenta laster	50
5.2.1 Egentyngd	50
5.2.2 Beläggning	51
5.3 Trafiklaster	53
5.3.1 Statiska trafiklaster	53
5.3.2 Filfaktor	55
5.3.2.1 Filfaktor enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998)	55
5.3.2.2 Filfaktor för fordon i Sidolägesmetoden	60
5.3.2.3 Fördelningsfunktion för filfaktorer	64
5.3.3 Dynamisk tillskott	69
5.3.4 Beräkning av tillåtet boggitryck	70
5.3.5 Beräkning av det totala maxmomentet från mätresultatet	72
5.3.6 Dimensionerande moment	73
6. Slutsats	79
7 Referenser	81
Böcker	81
Rapporter	81
Internet	81

1. Inledning

De lastmodeller som finns angivna i den svenska bronormen Bro (2004) är oftast konservativa, dvs. de genererar snittkrafter som är större än de som uppkommer av den verkliga trafiken, se Carlsson (2006). Det innebär att konstruktionselementen i de flesta broar har en överkapacitet. Detta är oftast inget problem vid nybyggnation av broar eftersom att större dimensioner på konstruktionselement endast medför en ringa kostnadsökning. Om en befintlig bros säkerhetsnivå utvärderas och analysen ger att säkerhetsnivån är för låg, är kostnaderna för att öka brons säkerhetsnivå ansevärt höga.

För att kunna beskriva trafiklasterna mera realistiskt, än vad det görs i den befintliga bronormen måste det finnas data om verkliga trafiklaster. Enda sättet att skaffa sådana data är att genomföra mätningar på verkliga fordon vid Ölandsbron.

1.1 Bakgrund

För att utvärdera och bärighetsmässigt klassificera broar används Vägverkets norm, Klassningsberäkning av vägbroar (1998). Denna klassning görs för alla vägbroar och ligger till grund för avgörandet hur tunga transporter som kan tillåtas att trafikera den aktuella bron. Vägverket har under 2006 gjort beräkningar för Ölandsbrons primärbalkar enligt denna norm. Resultatet visar att boggilasten, B är otillräcklig enligt Vägverkets önskemål.

Vägverket har därför under 2007 utfört trafikmätningar i anslutning till Ölandsbron. Utifrån dessa mätningar vill Vägverket ta fram en mer realistisk lastmodell.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att utifrån de mätningar som gjorts under 2007 vid Ölandsbron, statistiskt utvärdera tre viktiga parametrar relaterad trafiklasten:

- Var i tvärled av bron de tunga fordonen kör?
- Hur stora är axelkrafterna hos de tunga fordonen?
- Hur breda är dessa tunga fordon, d.v.s. avståndet mellan hjulen inom en axel?

Med statistisk beskrivning avses att bestämma dessa variablers statistiska fördelningsfunktioner.

Avsaknaden av data om hur trafiken kör i tvärled på broar är mycket stor. En ökad kunskap om detta skulle innebära att en mer realistisk beskrivning av fordonens placering i brons tvärriktning skulle kunna tas fram. En sådan beskrivning skulle kunna användas i bronormer vilket skulle göra dessa mindre konservativa.

1.3 Metod och genomförande

För att lättare kunna bedöma rimligheten av mätresultaten från Ölandsbron gjordes en förstudie gällande de trafikregler och bronormer som gäller i Sverige. Genom att studera informationen från de största fordonstillverkarna i Sverige gavs en uppfattning om fordonens dimensioner, längd och bredd. Utifrån dessa kunde gränsvärden för fordonsdimensionerna bestämmas. Dessa ligger till grund för bedömning av mätresultatens trovärdighet.

Två mätmetoder, B-WIM och Sidolägesmetoden, har använts av Vägverket vilka tillsammans har registrerat all nödvändig data för att kunna genomföra denna studie. De viktigaste parametrarna hos fordonen vid bestämning av trafiklaster som genereras i vägbroar är:

- Fordonsplacering i tvärled.
- Fordonsbredder.
- Axeltryck.
- Axlarnas placering i längdled.

Vägverket har genomfört en klassningsberäkning av Ölandsbron. Enligt dessa beräkningar är brons boggikapacitet 193 kN. Vägverkets önskemål är att kunna belasta bron med boggilasten 200 kN. Klassningsberäkningen visade att det kritiska snittet för primärbalkarna befinner sig mellan två stöd, dvs. i fältet. I denna rapport utgår vi ifrån dessa beräkningar och koncentrerar oss på momentet i detta snitt.

Beräkningar av momentbelastningen på bron har gjorts i det fack där det kritiska snittet är placerat. De laster som ingår i beräkningarna är:

- Egentyngd.
- Beläggning.
- Trafiklast.

Den statistiska fördelningsfunktionen för momentet som genereras av fordonen har bestämts utifrån mätningarna. För att bestämma det statiska momentet i primärbalkarna har mätresultaten från B-WIM och Sidolägesmetoden använts. Det dynamiska tillskottet har bestämts genom simulering och antagits vara normalfördelat. Parametrarna är bestämda med utgångspunkt från Klassningsberäkningar av vägbroar (1998).

Eftersom mätningarna är gjorda under en åttadagarsperiod ger detta inte en rättvis utvärdering av momentfördelning på bron under en längre tid. En metod kallad *Peak over threshold* har använts för att statistiskt ta fram den maximala momentpåverkan under ett år.

1.4 Avgränsningar

I denna rapport behandlas endast brottgränstillståndet eftersom böjmomentkapacitet i primärbalken är av störst intresse. Momentet som verkar på primärbalken uppkommer av de vertikalt riktade krafterna, därför behandlas endast denna riktning. De vertikala lasterna består av egentyngd, beläggning och trafiklast.

1.5 Frågeställning

Utifrån syftet har följande frågor formulerats.

- Var kör de tunga fordonen på bron?
- Hur skiljer sig momentbelastning genererat av verkliga fordon i förhållande till momentet baserat på bronomens trafiklast?
- Hur förhåller sig momentkapaciteten hos primärbalken mot de verkliga trafiklasterna?

2. Trafikregler och tunga fordon

2.1 Inledning

I detta kapitel beskrivs:

- Trafikregler för transporter. En inblick i bestämmelser gällande vikt, längd och bredd för tunga fordon på de svenska vägarna.
- Tunga fordon. Beskrivande specifikationer för dimensioner hos Volvo och Scania lastbilar.
- Bronormer. Avsnittet beskriver förutsättningar för trafiklasterna i de svenska och europeiska bronormerna.

2.2 Trafikregler för transporter

Avsnittet behandlar svenska regler för vikter och mått på tunga fordon. All fakta är hämtad ur Åkerihandboken (2007).

2.2.1 Fordonsvikter

Definitioner

- **Tjänstevikt:** Fordonet i driftsfärdigt skick inkl. verktyg, reservhjul, bränsle och förare.
- **Totalvikt:** Tjänstevikt + den maxlast som registreringsbeviset anger.
- **Bruttovikt:** Tjänstevikt + den last som fordonet för tillfället har.
- **Axeltryck:** Statiska vikten på en hjulaxel som överförs till vägbanan.
- **Boggi:** Två hjulaxlar på ett fordon där det inbördes avståndet är mindre än två meter.
- **Boggitryck:** Sammanlagda statiska vikt av 2 axlar som överförs till vägbanan.
- **Trippelaxel:** Tre hjulaxlar på ett fordon där det inbördes avstånd mellan första och sista axel är mindre än fem meter.
- **Trippelaxeltryck:** Sammanlagda statiska vikt av 3 axlar som överförs till vägbanan.
- **Dolly:** Används för att komplettera en trailer, så att den fungerar som en släpvagn.
- **Dragfordon:** Lastbil avsedd att dra en släpvagn efter sig.
- **Fordonståg:** Dragfordon + släp.

De faktorer som styr hur mycket ett fordon/fordonståg får väga redovisas nedan.

- Maximalt axeltryck, boggitryck och trippelaxeltryck, se Tabell 2.1.
- Maximal bruttovikt vid olika axelavstånd mellan första och sista axel på fordon/fordonståg, se Figur 2.1.
- Fordonens totalvikt.
- Axelavstånd mellan fordonets sista axel och släpets första axel, se Tabell 2.3.

Det förekommer också vissa restriktioner för hur tungt lastade fordon får vara beroende på vilken typ av väg som fordonet färdas på. Bärighetsklass är den klassificering som används av Vägverket för att gradera hur stor belastning en väg i det allmänna vägnätet får utsättas för. Vägarna delas in i tre bärighetsklasser, BK1-BK3. Enskilda vägar är inte klassificerade utan regleras med lokala bestämmelser.

BK1: Max 60 tons totalt axeltryck.

BK2: Max 51,4 tons totalt axeltryck.

BK3: Max 37 tons totalt axeltryck.

Dessa restriktioner finns redovisade på Vägverkets väginformationskartor som ges ut årligen.

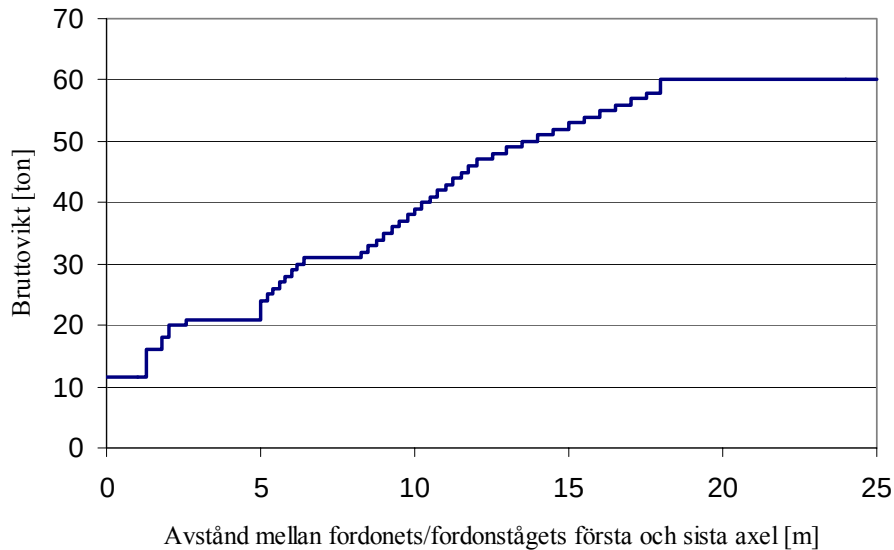
Enligt Vägverket tillhör 94 % av det allmänna vägnätet BK1 och därför behandlar vi endast denna bärighetsklass.

Som nämnts tidigare styrs den tillåtna bruttovikten som fordonet/fordonståget får ha bl.a. efter antal axlar med tillhörande axelavstånd. Det högsta tillåtna axeltrycket en grupp av axlar får ha framgår av Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Högsta tillåtna axel-, boggi- och trippelaxeltryck.

	BK1 [ton]
Axeltryck	
Axel som inte är drivande.	10
Drivande axel.	11,5
Boggitryck	
Avståndet mellan axlarna är mindre än 1 meter.	11,5
Avståndet mellan axlarna är 1 meter eller större men inte 1,3 meter.	16
Avståndet mellan axlarna är 1,3 meter eller större men inte 1,8 meter.	18
Avståndet mellan axlarna är 1,3 meter eller större men inte 1,8 meter och drivaxeln är försedd med dubbelmonterande hjul och luftfjädring eller likvärdig fjädring, eller varje drivaxel är försedd med dubbelmonterade hjul och vikten överstiger inte 9,5 ton på någon av axlarna.	19
Avståndet mellan axlarna är 1,8 meter eller större.	20
Trippelaxeltryck	
Avståndet mellan de yttre axlarna är mindre än 2,6 meter.	21
Avståndet mellan de yttre axlarna är 2,6 meter eller större.	24

Den tillåtna bruttovikten vid olika axelavstånd redovisas i Figur 2.1. Detta illustreras även mer detaljerat i Tabell 2.2.



Figur 2.1 Bruttoviktsskurva för BK1 väg.

Tabell 2.2 BK1, högsta tillåtna bruttovikt för olika fordonstyper.

Avståndet i meter mellan fordonet eller fordonstågets första och sista axel		Högsta tillåtna bruttovikt i ton för fordonet eller fordonståget	
	mindre än	1,0	11,5
1,0	men ej	1,3	16
1,3	men ej	1,8	18
1,8	men ej	2,0	20
2,0	men ej	2,6	21
2,6	men ej	5,0	24
5,0	men ej	5,2	25
5,2	men ej	5,4	26
5,4	men ej	5,6	27
5,6	men ej	5,8	28
5,8	men ej	6,0	29
6,0	men ej	6,2	30
6,2	men ej	6,4	31
6,4	men ej	8,25	32
8,25	men ej	8,5	33*
8,5	men ej	8,75	34*
8,75	men ej	9,0	35*
9,0	men ej	9,25	36*
9,25	men ej	9,5	37
9,5	men ej	9,75	38
9,75	men ej	10,0	39
10,0	men ej	10,25	40
10,25	men ej	10,5	41
10,5	men ej	10,75	42
10,75	men ej	11,0	43
11,0	men ej	11,25	44
11,25	men ej	11,5	45
11,5	men ej	11,75	46
11,75	men ej	12,0	47
12,0	men ej	12,5	48
12,5	men ej	13,0	49
13,0	men ej	13,5	50
13,5	men ej	14,0	51
14,0	men ej	14,5	52
14,5	men ej	15,0	53
15,0	men ej	15,5	54
15,5	men ej	16,0	55
16,0	men ej	16,5	56
16,5	men ej	17,0	57
17,0	men ej	17,5	58
17,5	men ej	18,0	59
18,0	och större		60

*) För en släpvagn eller en dolly med tillkopplad påhängsvagn med ett minsta avstånd mellan första och sista axeln av 6,6 meter gäller Tabell 2.2.

Det finns också bestämmelser för tillåten bruttovikt beroende på hur stort avståndet är mellan dragbilens och släpets sista respektive första axel. Dessa bestämmelser redovisas i Tabell 2.3.

Tabell 2.3 Släpvagn eller dolly med tillkopplad påhängsvagn.

Avstånd i meter mellan släpvagnens första och sista axel eller mellan dollyns första och påhängsvagnens sista axel			Högsta tillåtna bruttovikt i ton för släpvagnen eller för dolly med tillkopplad påhängsvagn
6,6	men ej	6,8	33
6,8	men ej	7,0	34
7	men ej	7,2	35
7,2	och större		36

Samtidigt som ovan nämnda regler, gäller även en bruttoviktsbegränsning för olika fordonstyper. Maximal bruttovikt för tvåaxliga fordon är 18 ton, för treaxliga 26 ton och för fordon med fyra eller fler axlar 32 ton. Bruttovikt för släpvagn får inte överskrida 36 ton.

Dispens kan sökas vid behov av tyngre transporter. Om överlastning sker utan dispens anses detta olagligt och kan medföra dryga böter.

2.2.2 Fordonsdimensioner

Den största tillåtna längden och bredden, last inräknat, för fordonståg i Sverige är 25,25 meter respektive 2,60 meter. Man kan söka dispens vid behov av längre eller bredare transporter om inte transporten kan delas upp. En maximal gräns för hur lång eller bred en transport får vara med dispens finns inte.

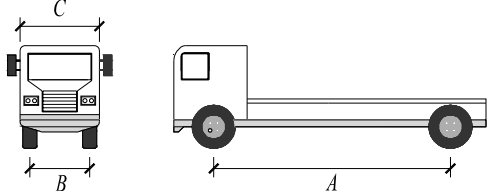
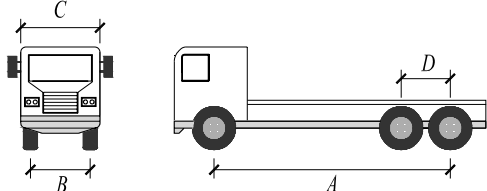
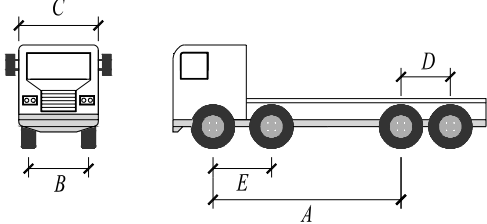
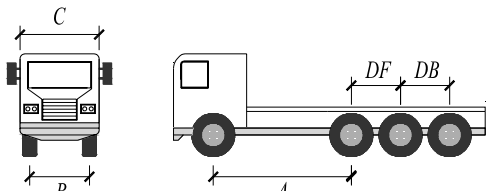
2.3 Tunga fordon

För att kunna utvärdera mätresultaten från Ölandsbron på ett bra sätt gjordes en förundersökning på dimensioner hos tunga fordon. Som tungt fordon räknas fordon med en totalvikt över 3,5 ton. Det finns många aktörer som tillverkar lastbilar, både svenska och utländska. Den största delen av tunga fordon som trafikerar det svenska vägnätet är producerade av Volvo eller Scania. Förundersökningen har därför begränsats till dessa två tillverkare.

2.3.1 Volvo och Scania

Fordonsspecifikationer för Volvos och Scanias lastbilar har tagits fram från respektive hemsida. Av dessa specifikationer togs gränsvärden fram för olika modeller enligt Tabell 2.4

Tabell 2.4 Fordonsspecifikationer.

Första siffran beskriver antal hjulpositioner på fordonet och andra siffran beskriver antalet drivande hjul.		VOLVO		SCANIA	
		Min [mm]	Max [mm]	Min [mm]	Max [mm]
4X2 - 4X4					
	A	3350	6800	3100	6300
	B	1830	2205	1871	2206
	C	2400	2508	2501	2501
6X2 - 6X4 - 6X6					
	A	3000	6450	2900	6300
	B	1865	2205	1911	2206
	C	2495	2500	2501	2501
	D	1350	1370	1305	1445
8X2 - 8X4					
	A	4300	6200	4100	6500
	B	1905	2200	1911	2206
	C	2495	2495	2501	2501
	D	1370	1370	1315	1445
	E	1995	1995	1940	1940
8X2 - 8X4					
	A	-	-	3150	5300
	B	-	-	1911	2206
	C	-	-	2501	2501
	DF	-	-	1355	1355
	DB	-	-	1305	1305

A = Axelavstånd.

C = Chassibredd.

E = Framaxelavstånd.

DB = Boggiavstånd bak.

B = Axelbredd.

D = Boggiavstånd.

DF = Boggiavstånd fram.

Det viktigaste gränsvärdet är axelbredden, B. Axelbredden är avståndet mellan de laster som leds ner från axlarna till vägbanan. Axelbredden för dessa modeller varierar mellan 1830 - 2206 millimeter.

2.4 Bronormer

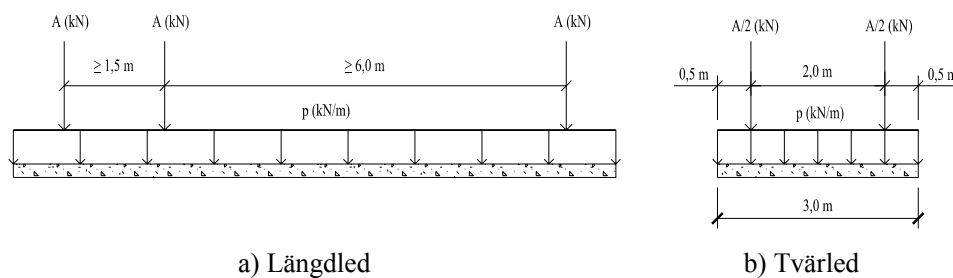
2.4.1 Bro (2004)

I Bro (2004) beskrivs trafiklasternas storlek i horisontal och vertikal riktning. Körbanan delas in i lastfält som beskriver utbredningen av de belastade ytorna i tvärled. Lastfältets antal och placering ska väljas så att den ogynnsammaste inverkan erhålls. Antalet lastfält är högst lika med det antal lastfält som ryms inom det område som är tillgängligt för trafik (körbana och vägren). För Ekvivalentlast typ 1,2 och 5 är lastfältets bredd 3,0 meter.

I avsnittet beskrivs endast Ekvivalentlast 1 eftersom den i brottgränstillståndet är gränssättande för Ölandsbron. Dynamiska effekten är inkluderad i Ekvivalentlast 1.

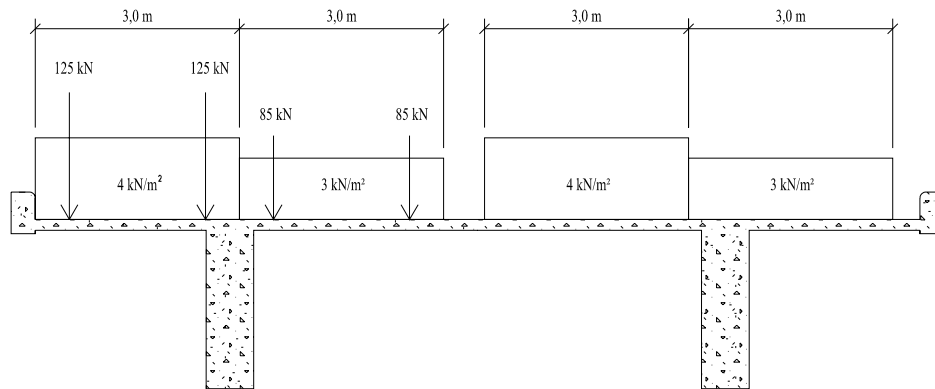
I längdled består Ekvivalentlast 1 av en jämnt fördelad last, p (kN/m), och en lastgrupp bestående av tre axellaster, A (kN) med axelavstånden $\geq 1,5$ meter och $\geq 6,0$ meter, se Figur 2.2a. A är för ett lastfält 250 kN och för det andra 170 kN. Lasten p är jämnt fördelad över lastfältets bredd, där $p = 12$ kN/m i första lastfältet, 9 kN/m i andra lastfältet och 6 kN/m i övriga lastfält, se Figur 2.2b. Lastfältets bredd är 3,0 meter, det innebär att ytlasten för lastfälten är 4 kN/m², 3 kN/m² respektive 2 kN/m². För vägar med mittremsa gäller fördelningen i vardera körriktningen.

Axellasten består av två punktlaster om $A/2$ kN med ett centrumavstånd av 2,0 m. Punktlasterna är placerade symmetriskt i lastfälten se Figur 2.2b. Högst två lastfält belastas med lastgrupper.



Figur 2.2 Lastplacering för Ekvivalentlast 1 i längdriktningen och tvärriktning enligt Bro (2004).

Ölandsbron består av två körfält i vardera körriktningen som är skilda av en mittremsa. Lastplaceringen på Ölandsbron med Bro (2004) blir enligt Figur 2.3.



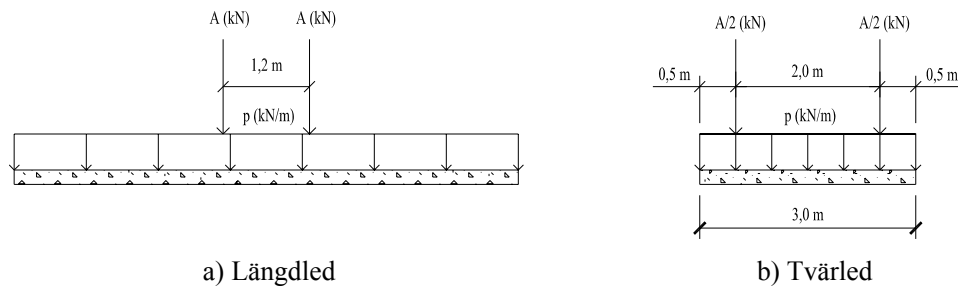
Figur 2.3 Lastplacering enligt Ekvivalentlast 1 i tvärläng på Ölandsbron.

2.4.2 Eurocode 1 (2002)

Där finns både likheter och skillnader mellan den europeiska standarden, Eurocode 1 (2002), och den svenska standarden, Bro (2004). I detta avsnitt behandlas Load Model 1 vilken är den viktigaste lastmodellen. Precis som i Bro (2004) ska lastfälten väljas så att ogynnsammaste inverkan erhålls. Antalet lastfält är högst lika med det antal lastfält som ryms inom det område som är tillgängligt för trafik. Lastfältens bredd är 3,0 meter. Dock ses vägrenen inte som körbar i Eurocode 1 (2002) utan räknas som övrig yta. Den största skillnaden är lastfältens placering och storleken på axellasterna, A . I Eurocode 1 (2002) sätts lastfälten efter filernas placering och övriga ytor tilldelas en mindre utbredd last. Den dynamiska effekten är inkluderad i axelkrafterna precis som i Bro (2004).

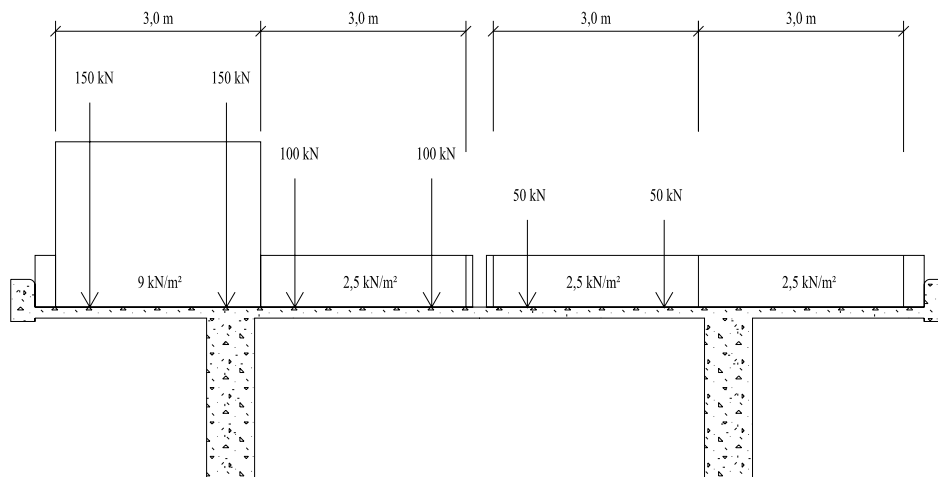
I längdled består Load Model 1 av en lastgrupp bestående av två axellaster, A (kN) med axelavståndet 1,2 meter i längdled, se Figur 2.4a. Tre lastfält belastas med axelkrafter där det första lastfältet tilldelas 300 kN, det andra 200 kN och det tredje 100 kN. Axellasternas verkan sker på samma sätt som i Bro (2004) med ett centrumavstånd av 2,0 meter och placeras symmetriskt i lastfälten se Figur 2.4b. Högst tre lastfält belastas med lastgrupper enligt Eurocode 1 (2002).

Den utbredda lasten, p (kN/m) är jämnt fördelad över lastfältets bredd. Den utbredda lasten är för ett lastfält $9,0 \text{ kN/m}^2$ och $2,5 \text{ kN/m}^2$ för övriga lastfält och ytor.



Figur 2.4 Lastplacering för Load Model 1 i längdriktningen och tvärriktning enligt Eurocode 1 (2002).

Lastplaceringen på Ölandsbron med Eurocode 1 (2002) blir enligt Figur 2.5.



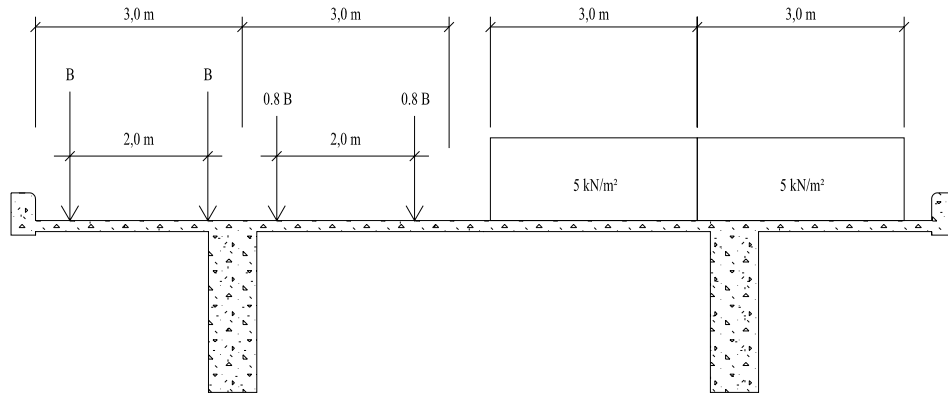
Figur 2.5 Lastplacering enligt Load Model 1 i tvärled på Ölandsbron.

2.4.3 Klassningsberäkning av vägbroar (1998)

För att utvärdera och bärighetsmässigt klassificera broar används Vägverkets norm, Klassningsberäkning av vägbroar (1998). Genom att använda denna norm kan man bestämma ett tillåtet värde på brons axelkapacitet, A och boggikapacitet, B .

Precis som i Bro (2004) och Eurocode 1 (2002) ska lastfälten väljas så att den ogynnsammaste inverkan erhålls. Trafiklasten i Klassningsberäkning av vägbroar (1998) definieras med 12 olika typfordon, se Figur 2.7. Brobanan delas in i lastfält med bredden 3,0 meter där maximalt 4 lastfält är belastade. I de två första lastfälten placeras typfordon. Typfordonet i det andra lastfältet reduceras genom att multipliceras med en faktor 0,8. I de två återstående lastfälten placeras utbredd last med värden 5 kN/m eller 0 kN/m.

Lastplaceringen på Ölandsbron med Klassningsberäkning av vägbroar (1998) blir enligt Figur 2.6.



Figur 2.6 Lastplacering i tvärled på Ölandsbron enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998).

Brons axel- och boggikapacitet är den kapacitet som finns tillgänglig då samtliga laster utöver trafiklasten subtraherats från bärformågan. Trafiklasterna bestäms med hjälp av typfordon enligt Figur 2.7.

Tillskillnad från Bro (2004) och Eurocode 1 (2002) är det dynamiska tillskottet, ε inte inräknad de trafiklasterna som är angivna i Klassningsberäkningar av vägbroar (1998). Det dynamiska tillskottet räknas fram enligt nedan

$$\varepsilon = \frac{740}{20 + L} < 35\%$$

där L är längden för ett fack i meter. Den totala lasteffekten (statisk och dynamisk) P beräknas enligt nedan

$$P = P_0 \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon}{100} \right)$$

där P_0 är den statiska trafiklasten.

Utvärdering av trafikmätningar vid Ölandsbron

Typfordon

(mått i m)

A)



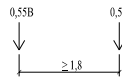
B)



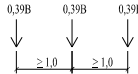
C)



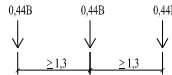
D)



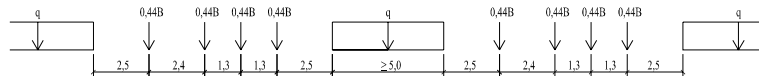
E)



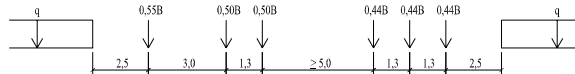
F)



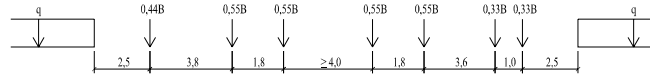
G)



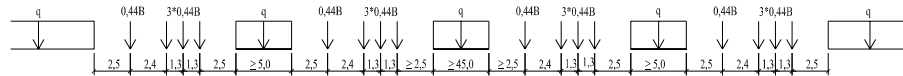
H)



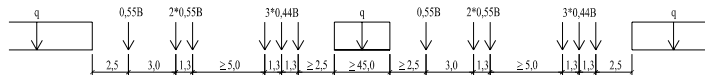
I)



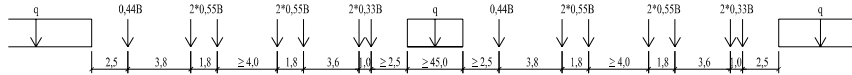
J)



K)



L)



Figur 2.7 Typfordon enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998).

3. Mätningar

3.1 Inledning

På Vägverkets begäran har mätningar utförts för att få en klarare bild av de trafiklaster som verkar på Ölandsbron. Mätningar har utförts vid tre tillfällen och pågått en vecka vid varje tillfälle. Registrering av data har gjorts i både östlig och västlig riktning. I denna rapport kommer endast mätdata från det första mättillfället att redovisas och analyseras.

Syftet med mätningarna är att skapa sig en uppfattning om var i bron tvärläng den tunga trafiken kör och att bestämma axellasterna hos dessa fordon.

Detta kapitel innehåller följande avsnitt:

- Mätmetoder. Beskriver de två mätmetoder som har används på Ölandsbron.
- Resultat från mätningar. Redovisar de behandlade resultaten som användas senare i analyserna.

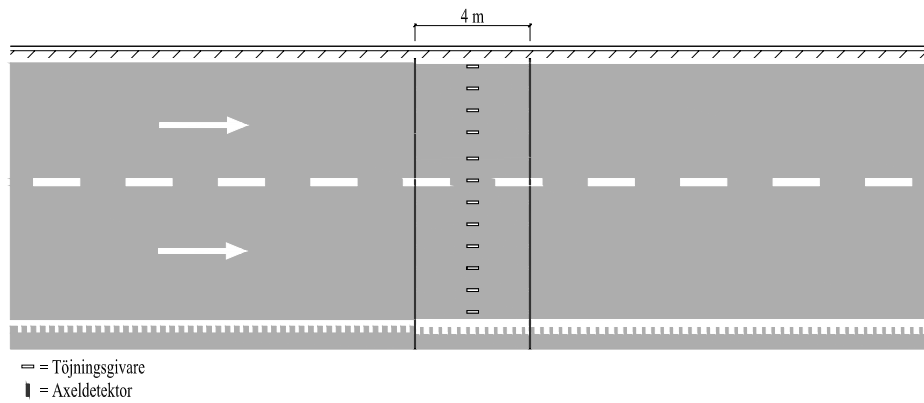
3.2 Mätmetoder

Två fristående mätningar med två olika mätutrustningar har genomförts. En mätutrustning från Slovenien (B-WIM) och en från KTH (Sidolägesmetod). Dessa två tillsammans har registrerat all data som behövs för att ge en bra bild av trafiklasterna på Ölandsbron.

Svårigheter att installera mätutrustning på själva Ölandsbron har lett till att utrustningen placerats på en mindre bro som ligger 1 kilometer innan Ölandsbron i östlig riktning. Mängden registrerade fordon har inte påverkats av detta då inga avfarter finns mellan mätstationen och Öland.

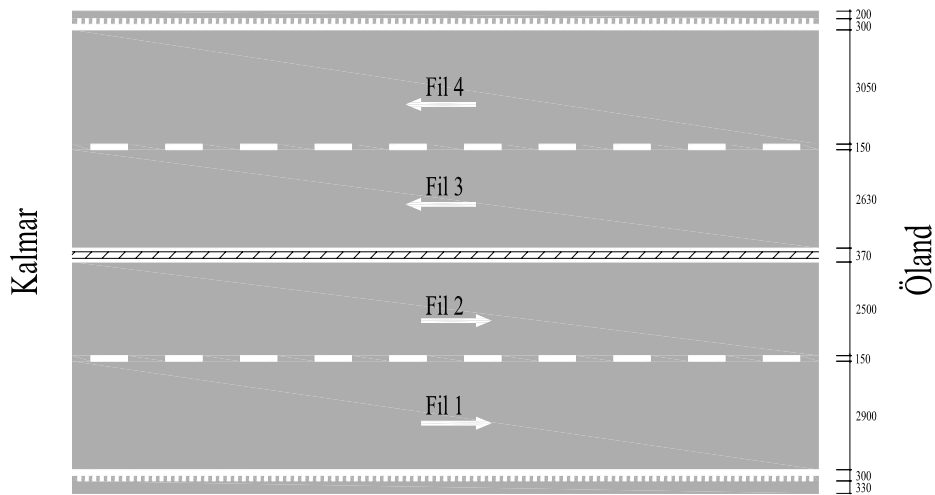
3.2.1 Beskrivning av B-WIM

Denna metod bygger på att töjningsgivare monteras på undersidan av en broplatta tillsammans med axeldetektorer uppe på brobanan. Antalet givare, som kan vara mellan 8-16 stycken, bestäms av plattans bredd, se Figur 3.1. Dessa givare registrerar de töjningar som uppstår i bron då ett fordon passerar. Samtidigt är axeldetektorer utplacerade på vägbanan för att registrera fordonens axelavstånd se Figur 3.1. Mätningarna samlas upp i en mät dator och lagras.



Figur 3.1 Placering av töjningsgivare och axeldetektorer för B-WIM.

B-WIM registrerar fordonets placering på vägbanan enligt följande uppdelning se Figur 3.2.



Figur 3.2 Filindelning enligt B-WIM.

De data som ett B-WIM-system kan registrera är:

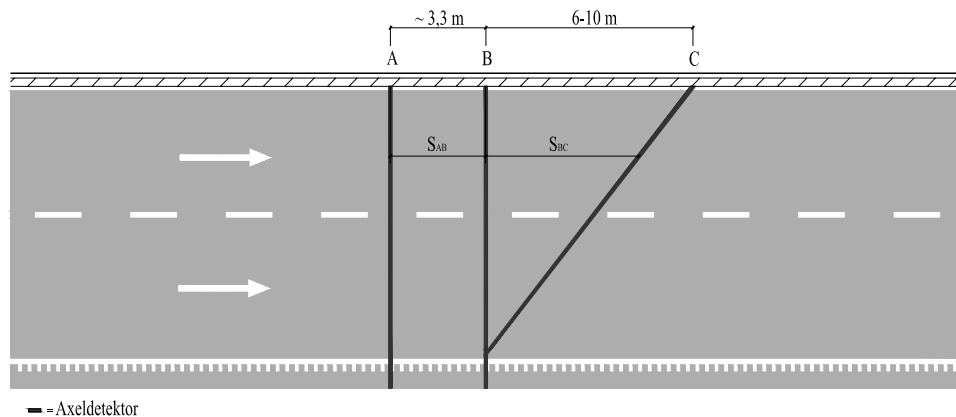
- | | |
|-----------------|-----------------|
| – Tid och datum | – Totalvikt |
| – Filplacering | – Vikt per axel |
| – Hastighet | – Axelavstånd |
| – Antal axlar | – Temperatur |
| – Fordonstyp | |

För att få tillförlitlig mätdata från B-WIM-systemet krävs att följande kriterier är uppfyllda:

- Bron skall vara en plattrambro.
- Bron skall vara i tekniskt bra skick, inga större sprickor.
- Bron skall inte vara för kort i förhållande till sin bredd.
- Bron får inte vara vinklad mer än 20° mot fundamentet.
- Fritt flytande trafik, d.v.s. inga trafikljus eller korsningar nära broläget.
- Vägytan skall vara jämn före och efter bron.
- Tillgång till brons undersida någorlunda enkel med avseende på vegetation, höjd, vatten etc.
- Sträckan kalibreringsfordonet måste färdas innan det kan vända får inte vara för lång.

3.2.2 Beskrivning av Sidolägesmetod

Metoden bygger på att slangar placeras enligt Figur 3.3. Avståndet mellan slang A och B skall vara cirka 3,3 meter. Mellan slang B och C kan avståndet variera mellan 6-10 meter beroende på brobredden.



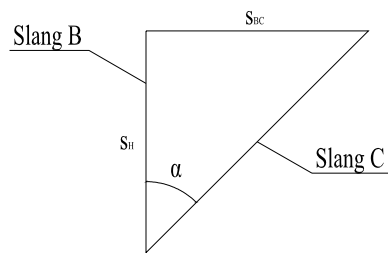
Figur 3.3 Placering av mätutrustning för Sidolägesmetoden.

När fordonet kör över slang A skickas en luftpuls till en mätbox som registrerar denna puls. Samma sak sker då fordonet kör över slang B. Utifrån tidsskillnaden, t_{AB} (s) mellan de två pulserna och det givna avståndet s_{AB} (m), mellan punkt A och punkt B kan fordonets hastighet, v (m/s) beräknas enligt nedan:

$$v = \frac{s_{AB}}{t_{AB}} \quad [m / s]$$

Slang C används för att bestämma fordonets sidoposition. Då fordonets hastighet och vinkeln mellan slagg C och B är känd kan man genom trigonometri beräkna fram höger- och vänsterhjulets position, se Figur 3.4.

Genom att mäta tidsskillnaden, t_{BC} (s) mellan luftpulsen från slang B och C, förutsatta att fordonets hastighet, v (m/s) är konstant, kan avståndet, s_{BC} (m) bestämmas. Slang C är placerad diagonalt över brobanan för att kunna registrera två luftpulser, en för varje hjul. Det trigonometriska förhållandet som gäller illustreras i Figur 3.4.



Figur 3.4 Trigonometriskt förhållande mellan slang B och C.

Då vinkeln, α ($^{\circ}$) är känd kan avståndet från där slang B och C börjar till det mätta hjulet, s_H (m) beräknas enligt nedan:

$$s_H = \frac{s_{BC}}{\tan \alpha} \quad [m]$$

De data som Sidolägesmetoden kan registrera är:

- Tid och datum
- Hastighet
- Antal axlar
- Fordonstyp
- Höger hjulposition
- Vänster hjulposition

3.4 Resultat från mätningar

3.4.1 Resultat B-WIM

Vid varje mättillfälle registreras stora mängder mätdata. MS Excel har använts för att behandla denna mängd mätdata.

Mätdatum: 7 - 15 maj 2007 (ej 10 maj)

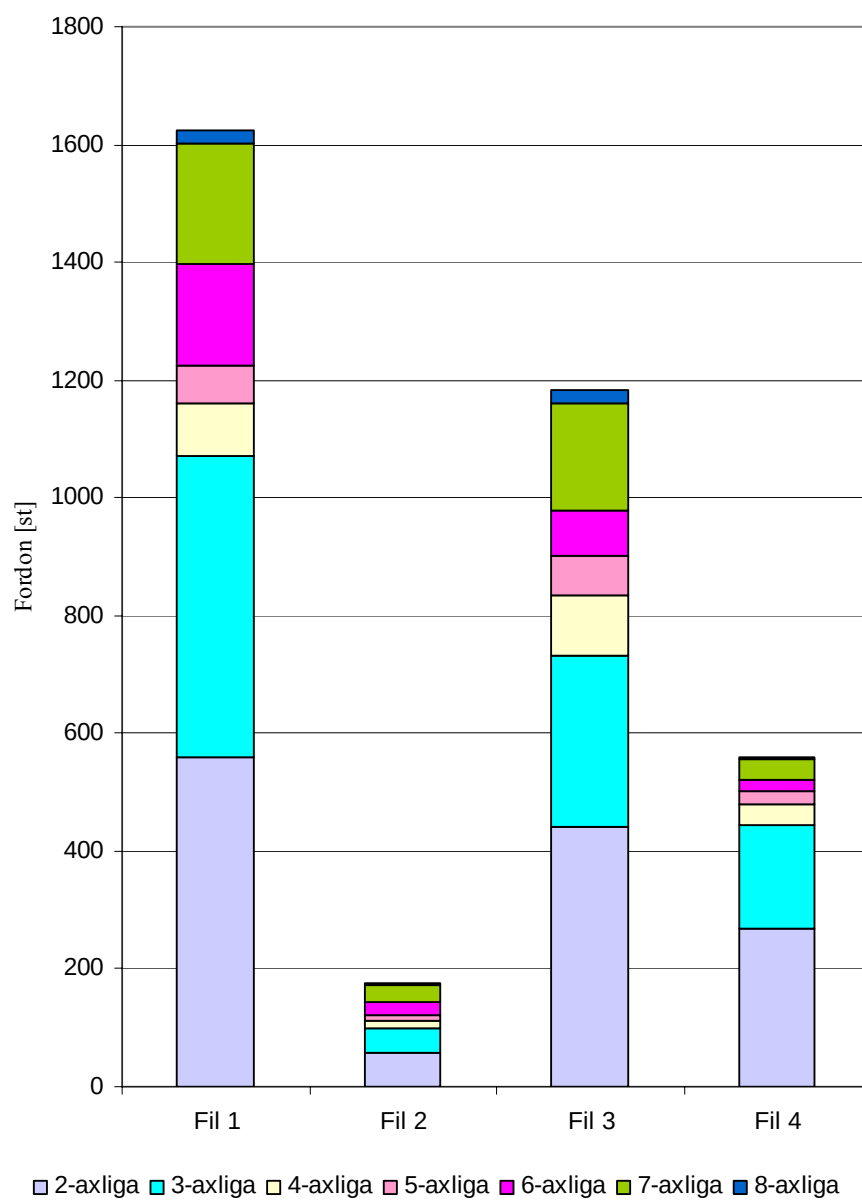
Totalt har 3541 tunga fordon registrerats. Tabell 3.1 visar axelfördelningen mellan olika fordonstyper.

Tabell 3.1 Axelfördelningen av tunga fordon enligt B-WIM

Fordon	Antal (Mängd)
2-axliga	1322 (37.3%)
3-axliga	1024 (28.9%)
4-axliga	239 (6.9%)
5-axliga	165 (4.7%)
6-axliga	288 (8%)
7-axliga	454 (12.8%)
8-axliga	49 (1.4%)
Total:	3541 (100%)

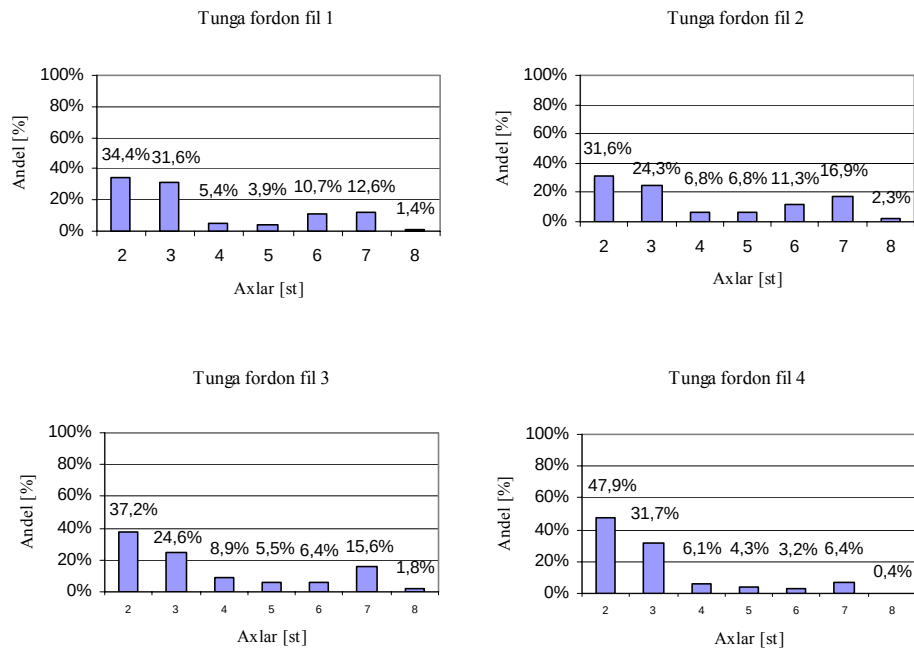
3.4.1.1 Fordonstyper

Avsikten med detta avsnitt är att redogöra för i brobanans tvärriktning som den tunga trafiken kör. Totalt registrerades 3541 tunga fordon vid mättillfället. Dessa har delats upp efter antal axlar och filplacering, se Figur 3.5.



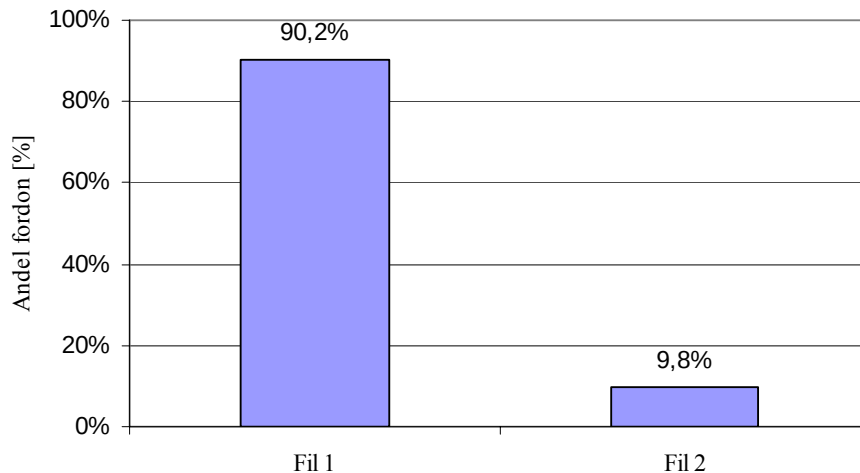
Figur 3.5 Fordonsfördelning, uppdelat i axlar och filer. Filindelning enligt Figur 3.2.

En mer detaljerad uppdelning av mätdata visas i Figur 3.6.

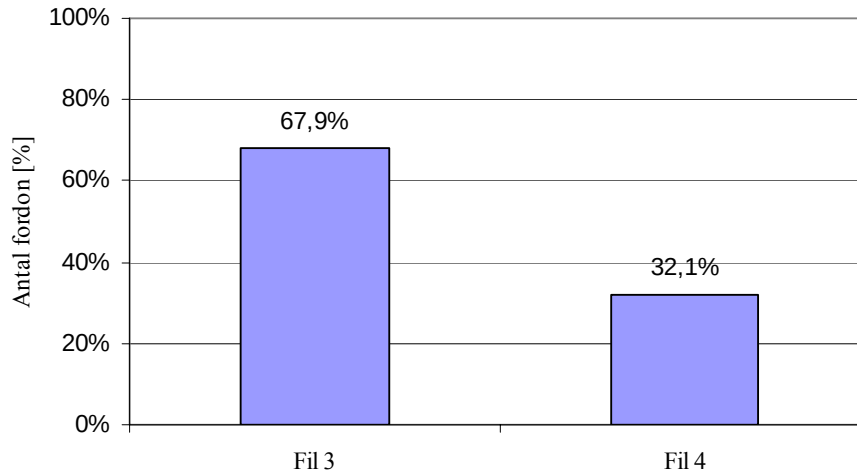


Figur 3.6 Procentuell axelfördelning för varje fil.

För att visa hur vägbanan är trafikerad andelsmässigt sammanställs mätdata för trafiken österut och väster ut, se Figur 3.7 respektive Figur 3.8.



Figur 3.7 Andel tung trafik som färdas österut enligt B-WIM. Filindelning enligt Figur 3.2.

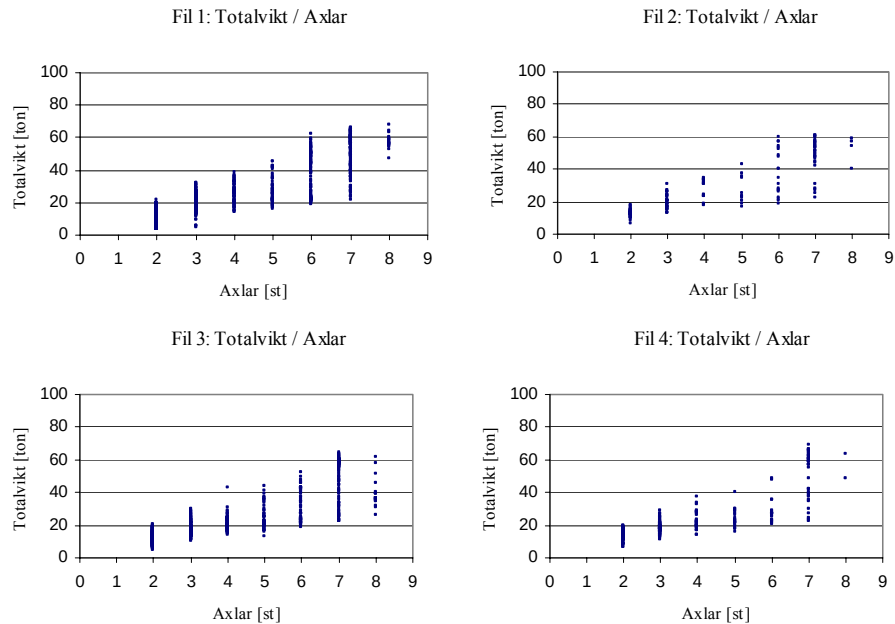


Figur 3.8 Andel tung trafik som färdas västerut enligt B-WIM. Filindelning enligt Figur 3.2.

Figur 3.8 visar en avvikelse från den normala trafikuppdelningen i den västliga riktningen, där omkörningsfilen trafikeras mer än högerfilen. Så är inte fallet österut, se Figur 3.7, där fordonsplacering är normal dvs. de tunga fordonen är placerade mestadels i den högra filen. Detta kan förklaras med att fordonen som transporteras västerut kör efter skyltar när de kommit av Ölandsbron. Vid trafikplats Stallhagen delas vägen upp, där höger körfält svänger av mot Kalmar och den vänstra går rakt fram mot E22 (Malmö, Norrköping). Skyltningen till avfarten görs innan den mindre bron där mätningen är gjorda vilket gör att fordonen redan är filplacerade där mätningen görs.

3.4.1.2 Fordonsvikter

Med B-WIM-metoden bestäms fordonens totalvikt. Figur 3.9 visar de tunga fordonens totalvikt uppdelat efter antalet axlar och vilken fil färdats. Som tidigare nämnts får bruttovikten hos en lastbil max vara 60 ton om ingen dispens har sökts. Figur 3.9 visar att det finns ett antal fordon som har en större totalvikt än 60 ton.

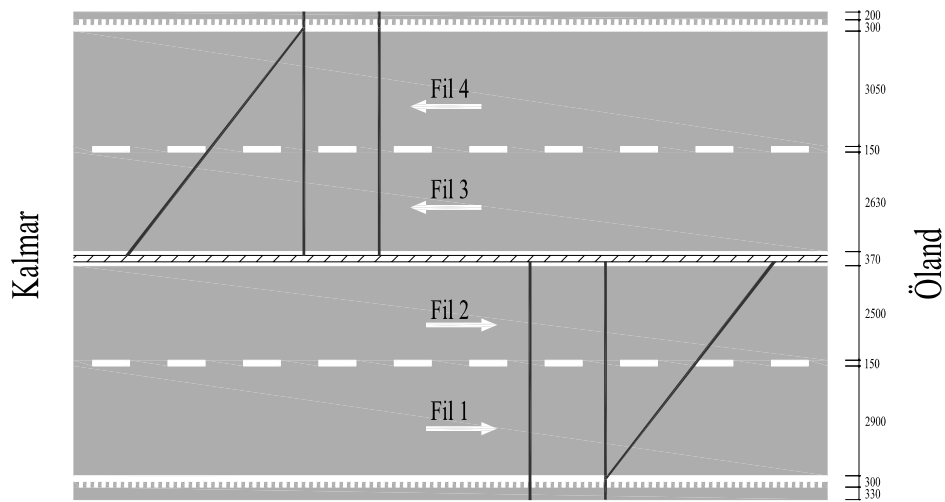


Figur 3.9 Fordonens totalvikt uppdelat på antal axlar och filplacering

Figureerna ovan visar en linjär ökning av totalvikten förhållande till antal axlar. Resultat från denna mätning gav oss en klarare bild av placeringar och axeltryck hos olika fordonstyper.

3.4.2 Resultat Sidolägesmetoden

Mätresultaten från denna mätmetod registrerades i stora matriser. Matlab användes för att öppna mätdata, dock gav de oss inte någon bra överblick av resultatet. Ett tidskrävande arbete lades därför ner till att omvandla dessa matriser till MS Excel för att lättare kunna strukturera upp mätdata. En planritning över mätplasten visas i Figur 3.10.



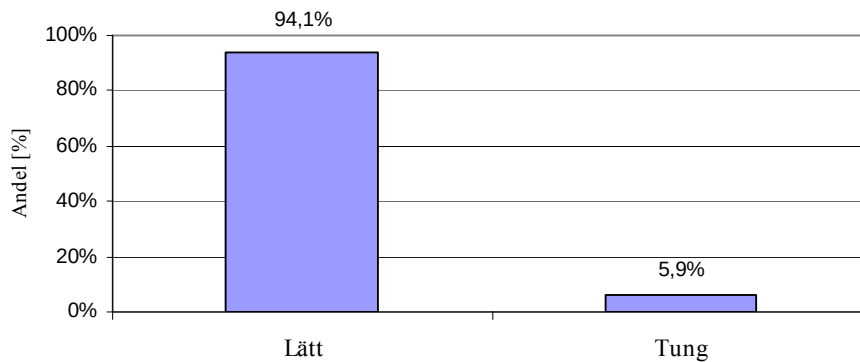
Figur 3.10 Mätplats utformning för Sidolägesmetoden.

Mätdatum: 8-16 maj 2007 (i riktning mot väster)
7-16 maj 2007 (i riktning mot öster)

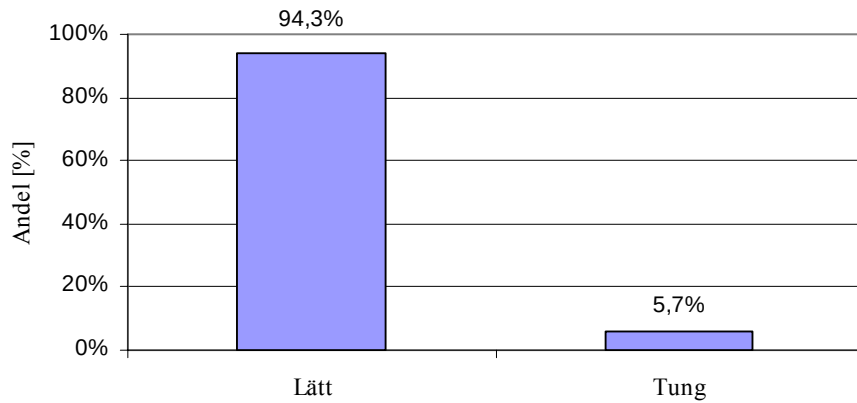
Sidolägesmetoden är ett mätsystem som registrerar fordonets hjulplacering i tvärlädd. Utifrån den informationen kan man bestämma fordonets placering på bron, och därmed också en filfaktor.

3.4.2.1 Trafiksammansättning

B-WIM-metoden registrerar endast de tunga fordonens. Så är inte fallet med Sidolägesmetoden, som registrerar alla fordon. En överskådlig överbild hur stor andel den tunga trafiken utgör av den totala trafiken i varje riktning visas i Figur 3.11 - 3.12.

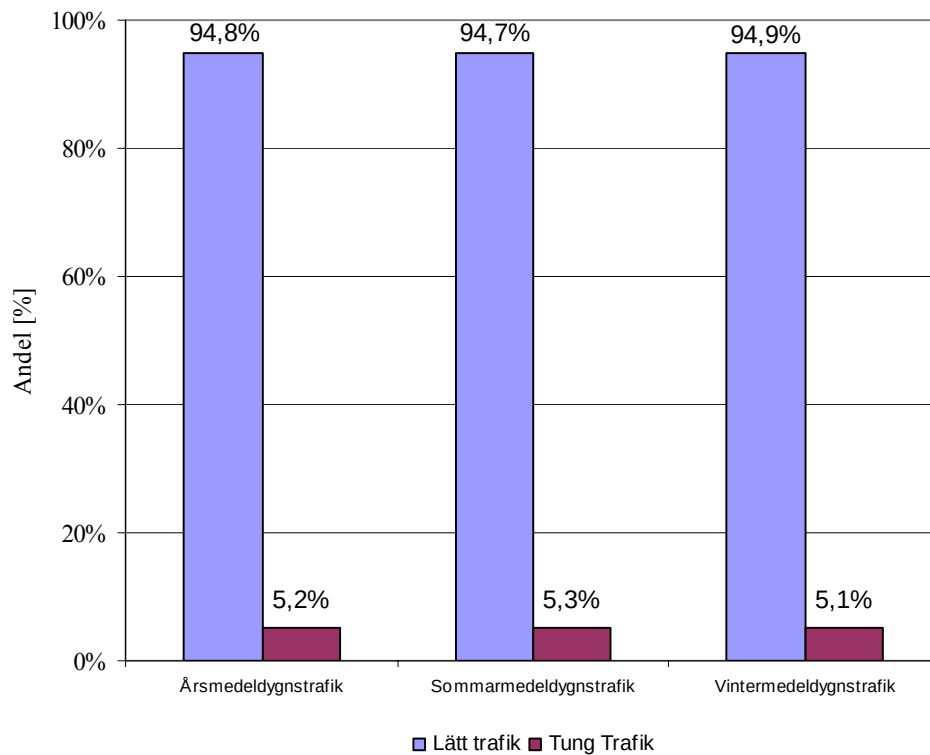


Figur 3.11 Total trafikmängd österut enligt Sidolägesmetoden.



Figur 3.12 Total trafikmängd västerut enligt Sidolägesmetoden.

Vägverket har tidigare gjort denna typ av mätning. I rapporten, Trafiken på Ölandsbron 2006, Vägverket (2006a), redovisas en trafikmätning av personbilar och lastbilar. Resultatet från denna mätning illustreras i Figur 3.13.

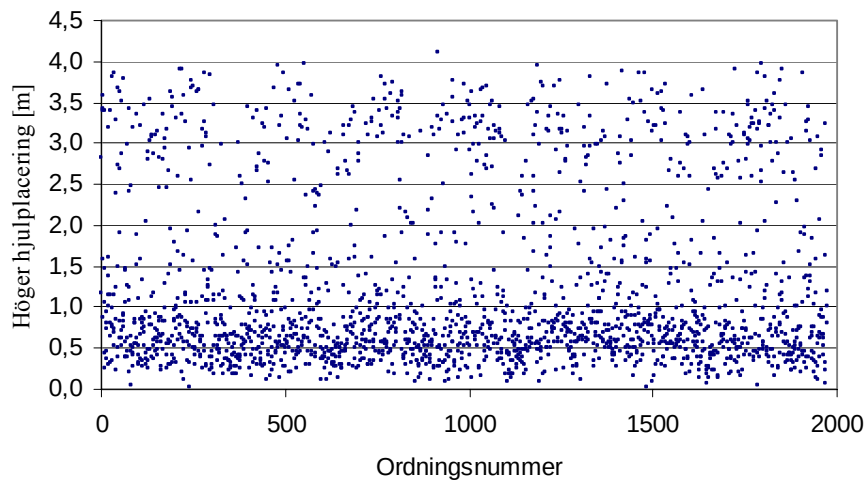


Figur 3.13 Mätresultat från Trafiken på Ölandsbron 2006, Vägverket (2006a).

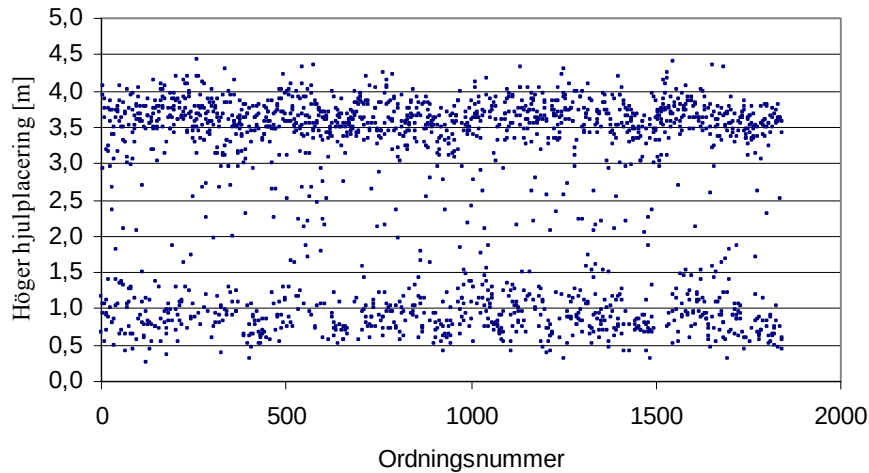
Mätningresultatet i Trafiken på Ölandsbron 2006, Vägverket (2006a), bekräftar det resultat som redovisas i denna rapport, enligt Sidolägesmetoden, angående fördelningen av lätt och tunga fordon som färdas på Ölandsbron.

3.4.2.2 Fordonsplacering

Höger och vänster hjulplacering registrerades för alla passerande fordon. Utifrån dessa data kan fordonets centrumpunkt beräknas. Högerhjulets placering redovisas i Figur 3.14 för fordon som färdas österut och Figur 3.15 för fordon som färdas västerut. Ur figurerna kan man tydligt se ett mönster hur fordonen är placerade. Österut är de flesta fordonen placerade i närhet av kantbalken, se Figur 3.14. Västerut är de dock mera jämnt fördelat, med ett litet övertag i vänsterfilen, se Figur 3.15. Detta är överensstämmande med tidigare mätresultat från B-WIM-mätningar gällande filplacering, se Figur 3.7-3.8.

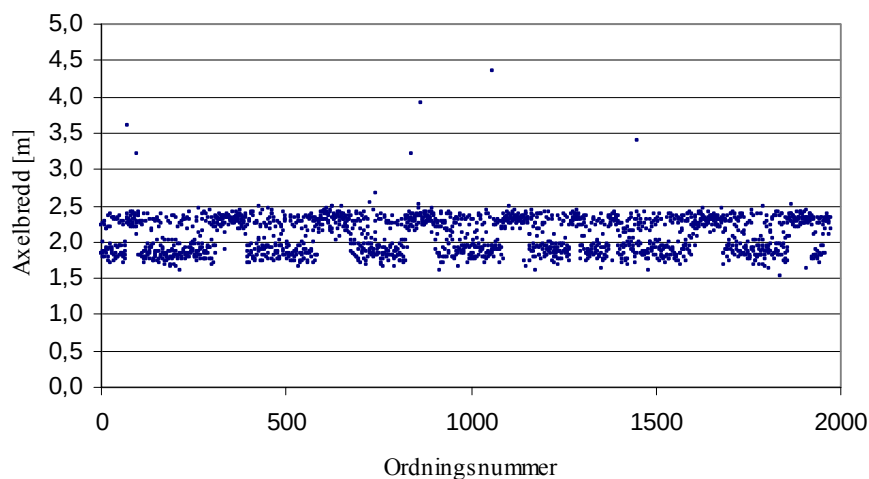


Figur 3.14 Höger hjulplacering för alla tunga fordon österut.

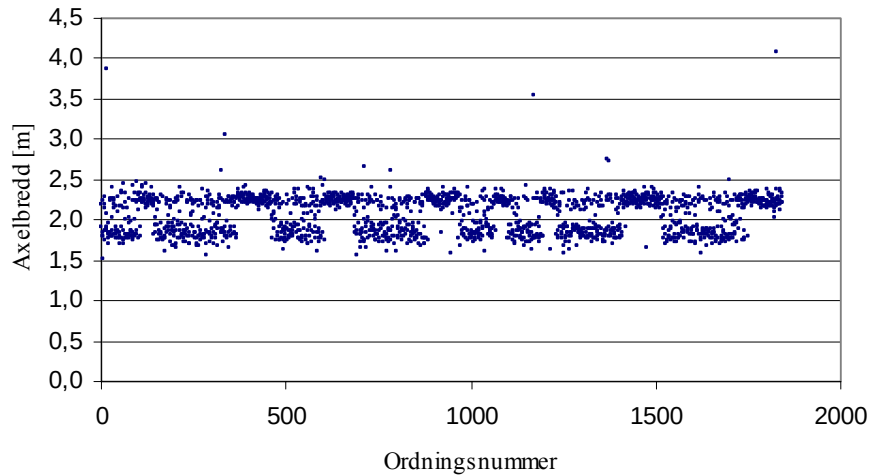


Figur 3.15 Höger hjulplacering för alla tunga fordon västerut

Eftersom både höger och vänster hjulplacering är känt kan en axelbredd för varje fordon tas fram. Axelbredderna illustreras i Figur 3.16 och Figur 3.17. Ur resultatet kan man se en viss gruppindelning, en grupp med axelbredd 1,5-2,0 meter och en grupp med axelbredd 2,0-2,5 meter. De flesta fordon har dock en axelbredd mindre än 2,60 meter som är den maximalt tillåtna fordonsbredden i Sverige. De som överstiger detta värde är av största sannolikhet mätfel. Detta kan hända då två fordon har korsat slangarna samtidigt.

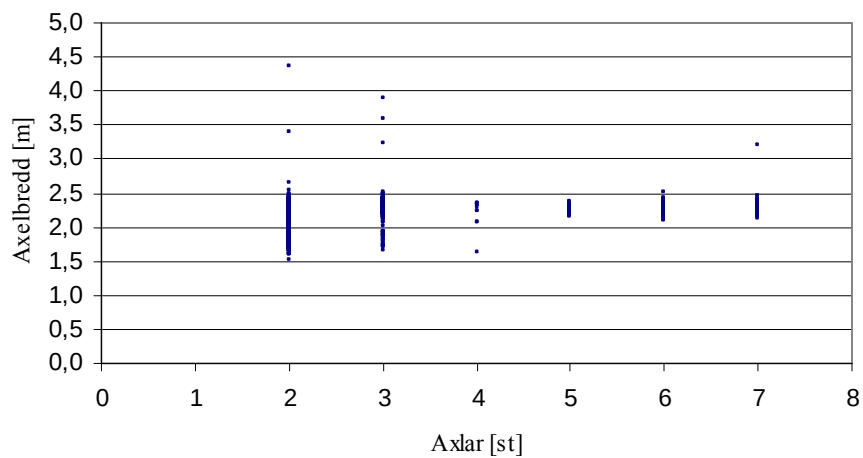


Figur 3.16 Axelbredd för alla fordon österut.

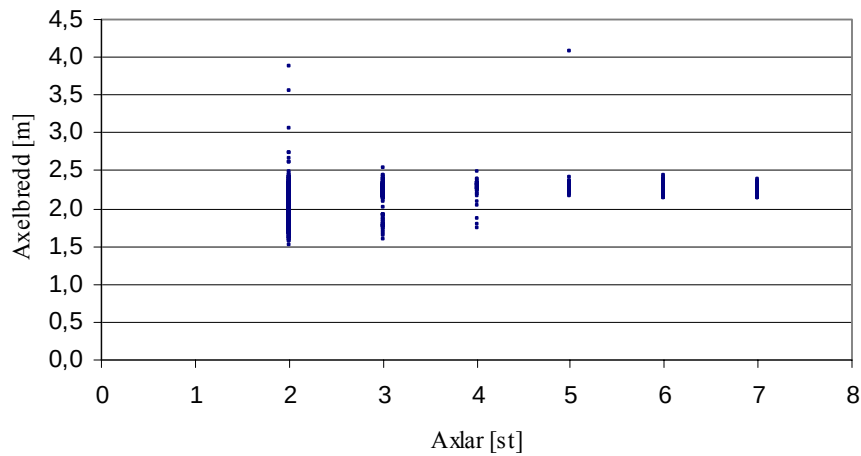


Figur 3.17 Axelbredd för alla fordon västerut.

I Figur 3.18 och 3.19 visas axelbredden hos de tunga fordonen indelat efter antal axlar. De 2- och 3-axliga fordonen har en större spridning på axelbredden än de övriga fordonstyperna. De 2- och 3-axliga fordonen pendlar mellan 1,5 och 2,5 meter medan de fordonen med fler axlar är över 2 meter breda.

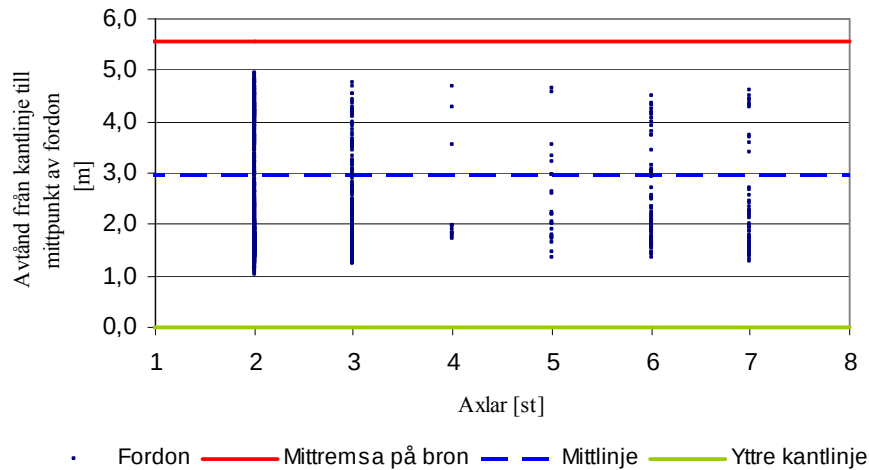


Figur 3.18 Axelbredd för alla tunga fordon österut indelat i antal axlar.

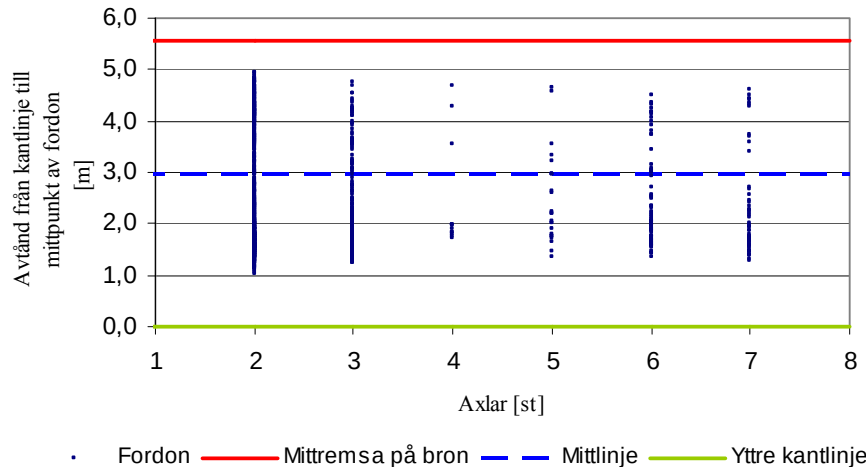


Figur 3.19 Axelbredd för alla tunga fordon västerut indelat i antal axlar

Genom att ta fram fordonens mittpunkt med avseende på antal axlar kan man utläsa en klar spridning på fordonsplacering. Fordonen med 2- 3-axlar är jämnt utsprida på hela vägbanan i båda riktningarna. Den stora skillnaden för fordonen med fler antal axlar är att de som färdas österut är placerade i högerfilen (fil 1) och fordonen västerut är placerade till största del i den vänsterfilen (fil 3). Detta beror som tidigare nämnts på att de tyngre långgående fordonen som kör västerut väljer att köra mot E22 (Malmö, Norrköping), se Figur 3.20 och Figur 3.21.



Figur 3.20 Mittpunkt på fordon österut uppdelat i antal axlar.



Figur 3.21 Mittpunkt på fordon västerut uppdelat i antal axlar.

Resultat av denna mätning gav oss ungefär samma resultat som i B-WIM-metoden, dock en mer precis placering av fordonen. Om man kombinerar de båda mätningarna får man en exakt placering med ett exakt axeltryck för varje fordon. Problem har uppstått vid sammanföringen av de båda mätningarna. Tanken var att kunna sammanfoga resultaten från de två olika mätsystemen genom att jämföra tider och hastigheter. Dock visade sig att tidsskillnaden mellan de båda mätfilerna var alldeles för stor och hastigheterna inte kunde jämföras. De har också visat sig att fordonstyperna inte heller har stämt fullt ut, det finns t.ex. inga 8-axliga fordon i Sidelägesmätningen. Man hade kunna undvika detta genom att sammanfoga de två mätsystemen.

För att undvika den märkliga filfördelningen som sker västerut hade man kunnat placera Sidelägesmätningen uppe på hög- eller lågbrodelen. Detta hade förmodligen gett oss en liknande fördelning som för fil 1 och 2. Trots det avvikande resultatet i fil 3 och 4 utesluts inte detta i rapporten.

3.4.2.3 Statistisk beskrivning av fordonen

Axelbredderna som beräknats i rapporten anpassas till standardfördelningar. Det visar sig att axelbredderna kan passas till en normalfördelning med god överensstämmelse. Det krävdes dock en uppdelning mellan 2-4-axliga och 5-8-axliga fordon i varje fil. Detta gjordes eftersom spridningen mellan 2-4-axliga fordon var mycket större än för 5-8-axliga fordon. Den normalfördelning som passas in på axelbredderna visas sig vara en bimodal normalfördelning. Detta innebär att det finns en spridning på axelbredderna mellan de olika axelgrupperna, se Kapitel 3.5. Denna är mer tydlig för de fordonen med färre antal axlar, se Figur 3.22-3.29.

Fördelningsfunktionerna för axelbredderna används inte i denna rapport då de endast är relevanta vid beräkning i tvärlädd. Anledningen till att det redovisas beror på att de kan vara viktiga för framtida analyser.

I Tabell 3.2 redovisas medelvärden, μ och standardavvikelsen, σ för de anpassade normalfördelningarna som beskriver fordonens axelbredder.

Tabell 3.2 Parametrar för de anpassade fördelningsfunktionerna

Fil	Antal axlar	Axelbredd första puckeln			Axelbredd andra puckeln		
		μ	σ	Andel	μ	σ	Andel
[-]	[st]	[m]	[m]	[%]	[m]	[m]	[%]
1	2-4	1,88	0,10	0,47	2,31	0,07	0,53
1	5-7	2,21	0,05	0,24	2,34	0,05	0,76
2	2-4	1,84	0,09	0,74	2,25	0,07	0,26
2	5-7	2,22	0,05	0,51	2,30	0,02	0,49
3	2-4	1,82	0,08	0,47	2,23	0,08	0,53
3	5-7	2,18	0,02	0,10	2,27	0,05	0,90
4	2-4	1,85	0,09	0,53	2,24	0,08	0,47
4	5-7	2,24	0,03	0,50	2,35	0,03	0,50

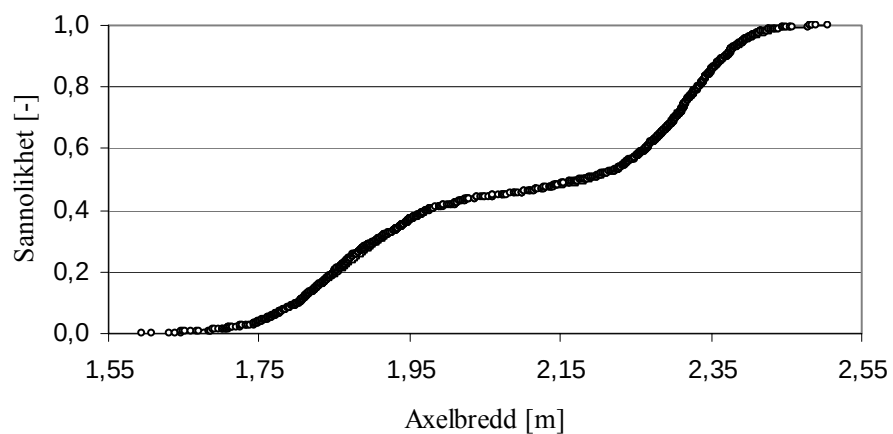
Figur 3.22 – 3.29 visar att axelbredderna kan anpassas med en bimodal normalfördelning. Det är mest tydligt för de 2-4-axliga fordonen eftersom det finns två tydliga grupper av fordonen. De 5-7-axliga fordonen har en lägre spridning och följer inte lika bra en bimodal normalfördelning.

Resultatet i Tabell 3.2 visar en låg standardavvikelse hos alla fordonsgrupper. Detta medför en liten spridning av axelbredderna. Största delen av fordonen placeras inom två standardavvikelser från medelvärdet, vilket gör mätningen väldigt trovärdig gentemot förundersökningen.

Enligt förundersökningen är den maximala axelbredden, tagen i centrum av hjulen, 2,2 meter. I mätningen fanns fordon med axelbredder över detta värde. Detta är förmodligen ett mätfel vilket kan bero på många faktorer. Exempel på faktorer som kan påverka mätresultatet är:

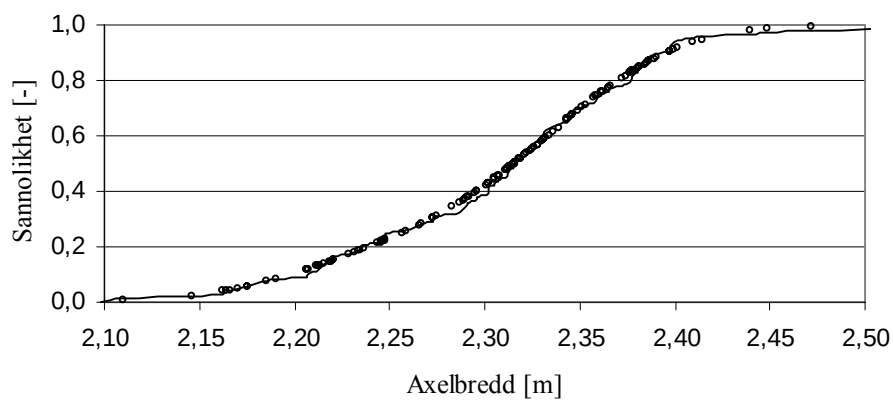
- Fordonen har dåligt pumpade hjul.
- Mätslangen har förflyttats och ligger fel.
- Två fordon passerar samtidigt.

I denna rapport kommer inte hänsyn tas till mätfelen, då dessa har liten betydelse för studien i längdled. Vid framtida beräkningar i tvärlädd kommer detta ha större betydelse och därför måste en mer utförlig studie utföras.



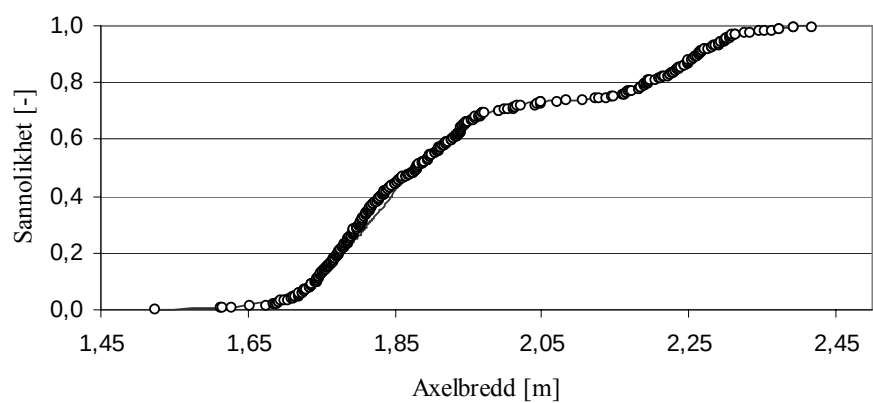
— Anpassad bimodal normalfördelning ◦ Uppmätta axelbredder

Figur 3.22 Fördelningsfunktion av axelbredder för 2-4-axliga fordon i fil 1



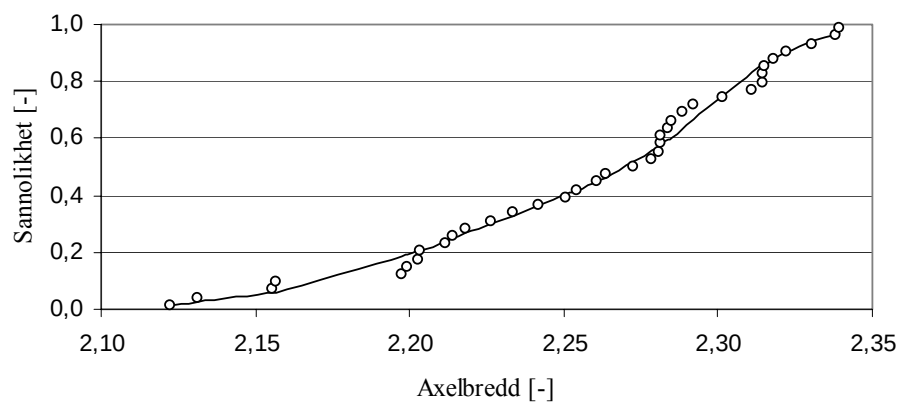
— Anpassad bimodal normalfördelning ◦ Uppmätta axelbredder

Figur 3.23 Fördelningsfunktion av axelbredder för 5-7-axliga fordon i fil 1



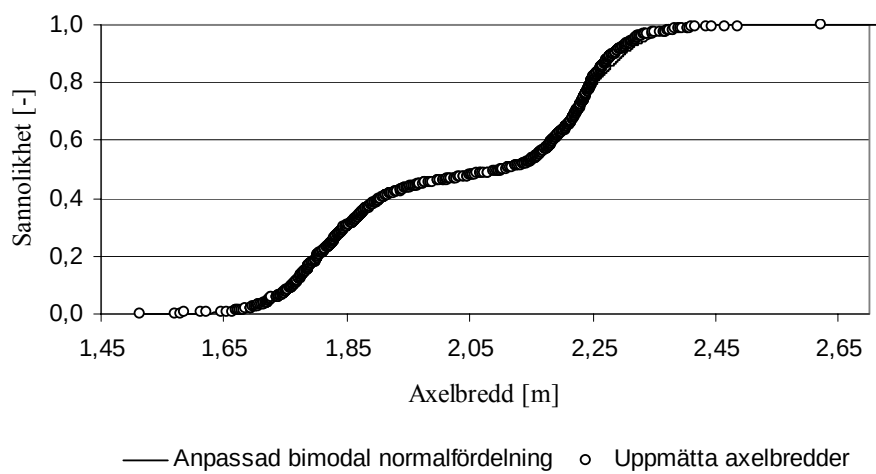
— Anpassad bimodal normalfördelning ○ Uppmätta axelbredder

Figur 3.24 Fördelningsfunktion av axelbredder för 2-4-axliga fordon i fil 2

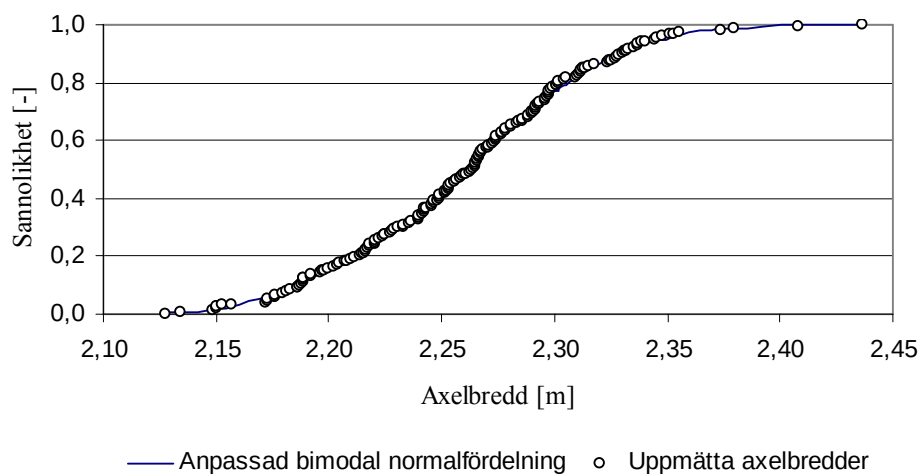


— Anpassad bimodal normalfördelning ○ Uppmätta axelbredder

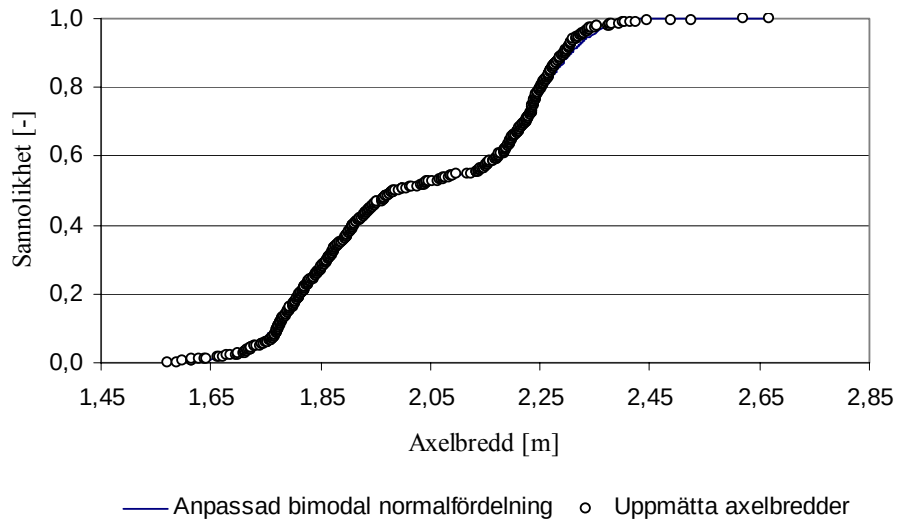
Figur 3.25 Fördelningsfunktion av axelbredder för 5-7-axliga fordon i fil 2



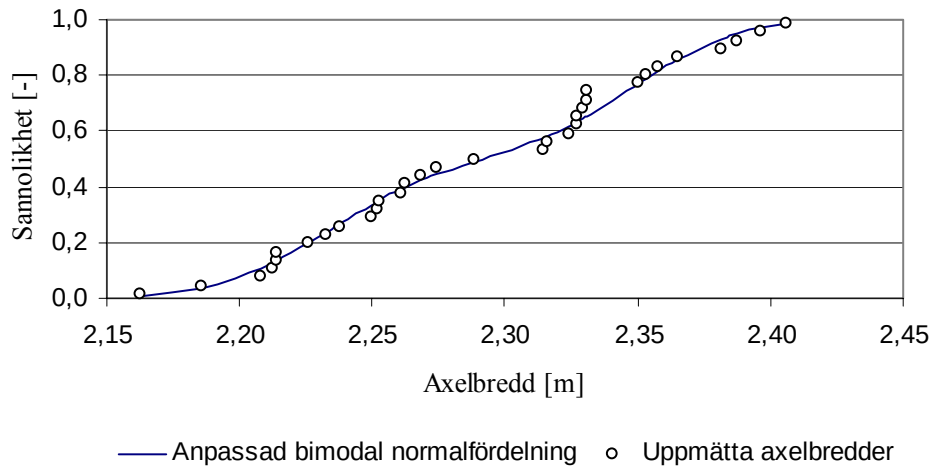
Figur 3.26 Fördelningsfunktion av axelbredder för 2-4-axliga fordon i fil 3



Figur 3.27 Fördelningsfunktion av axelbredder för 5-7-axliga fordon i fil 3



Figur 3.28 Fördelningsfunktion av axelbredder för 2-4-axliga fordon i fil 4



Figur 3.29 Fördelningsfunktion av axelbredder för 5-7-axliga fordon i fil 4

4. Beräkning av primärbalk

4.1 Inledning

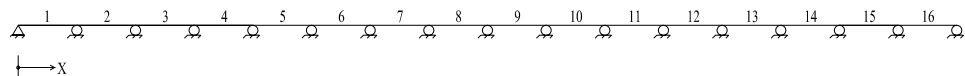
I detta kapitel redovisas beräkningar av primärbalkens böjmomentkapacitet i fält. Kapitlet är indelat i följande avsnitt:

- Förutsättningar. Avsnittet behandlar de antagningar och förutsättningar som gäller för beräkning av primärbalkens böjmomentkapacitet.
- Armeringsutformning. I detta avsnitt beskrivs hur armeringen är inlagd vid det kritiska snittet.
- Böjmomentkapacitet. Utifrån förutsättningar och armeringsutformning beräknas primärbalkens böjmomentkapacitet i detta avsnitt.

4.2 Förutsättning

De beräkningar som utförts av Vägverket (2006b) på Ölandsbrons lågbro visar att primärbalkas böjmomentkapacitet i fält inte är tillräcklig för att öka tillåtet boggitryck från 18 till 20 ton. Beräkningarna är gjorda enligt Vägverkets norm, Klassningsberäkning av vägbroar (1998) och visar att underkantsarmeringen i primärbalken är otillräcklig.

Ölandsbrons lågbro är uppbyggd av flera mindre kontinuerliga broar. Varje bro har 16 fack se Figur 4.1.



Figur 4.1 Systemfigur för de mindre kontinuerliga broarna

Fackens utformning skiljer sig något från varandra i längd, L och underkantsarmering. De olika facken är armerade enligt fyra olika utformningar, $A-D$. Armeringsutformningens betäckning, $A-D$ används endast i denna rapport för att särskilja de olika armeringsutförandena. Endast den armeringsutformning som finns i det kritiska snittet kommer att beskrivas noggrannare. Den kontinuerliga bron som studeras beskrivs nedan:

Längder, L :

Fack 1 och 16: $L = 34,521$ m

Fack 2 – 15: $L = 35,121$ m

Underkantsarmering:

Fack 1 och 16: Armeringsutformning A

Fack 2 och 15: Armeringsutformning B

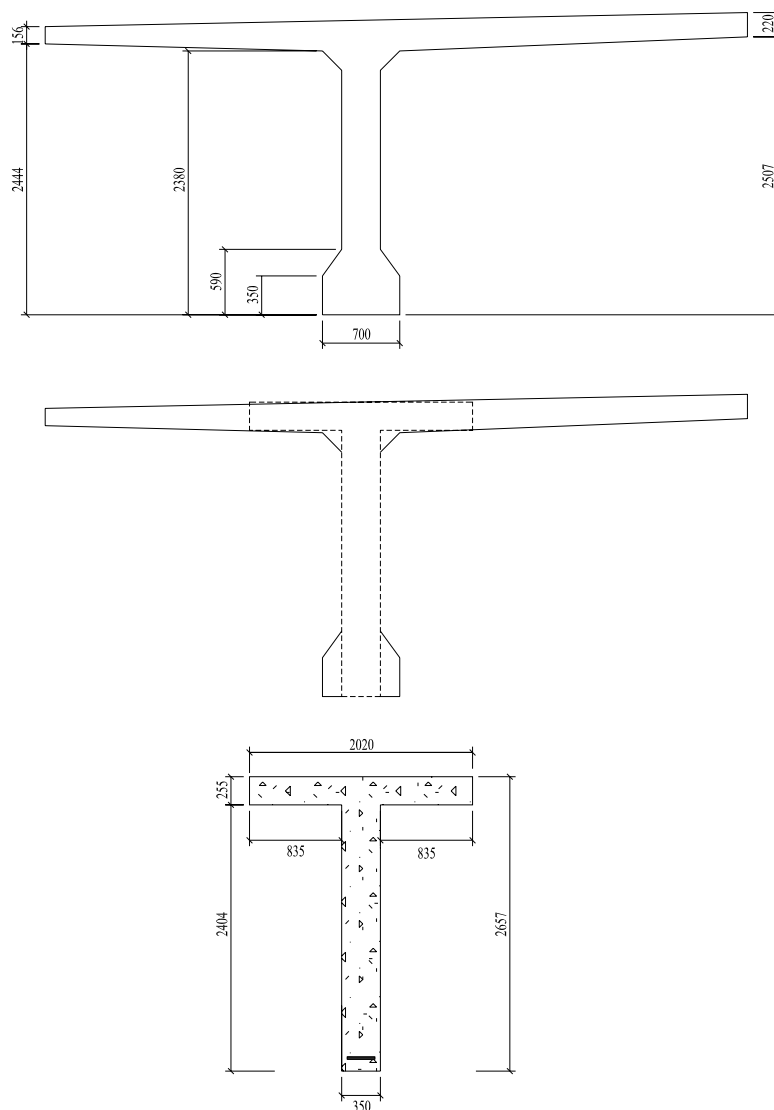
Fack 3 och 14: Armeringsutformning C

Fack 4 – 13: Armeringsutformning D

Enligt beräkningar gjorda av Vägverket (2006b) befinner sig det kritiska snittet för böjmomentkapaciteten 16,05 m in i fack 2 ($x = 50,571$ m), se Figur 4.1. I denna rapport kommer även detta snitt betraktas som det mest kritiska.

För att förenkla beräkningarna gjordes följande antagningar gällande tvärsnittet:

- Det varierande tvärsnittet förenklas till en T-balk se Figur 4.2
Den medverkande flänsbredden har beräknats enligt BBK (2004).
Flänshöjden är ett medelvärde av broplattans verkliga höjd då denna inte är konstant.
- Tvärsnittet antas vara enkelsarmerat då underkantsarmering tar upp största delen av böjmomentet i det kritiska snittet.

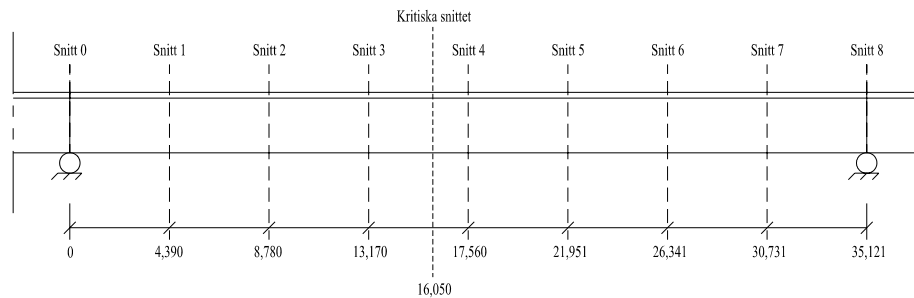


Figur 4.2 Förenkling av tvärsnitt i det kritiska snittet

4.3 Armeringsutformning

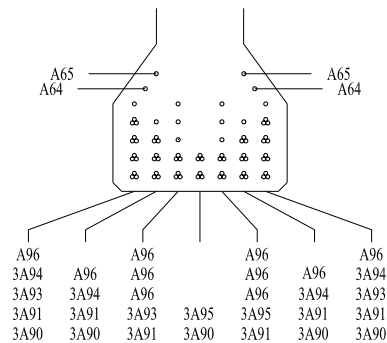
Positionen för det kritiska snittet är 16,05 m in i fack 2, $x = 50,571$ m. Att detta snitt är mest kritiska beror på att en stor del av armeringen är skarvad i detta snitt. Då det sker en skarvning av järnen i området runt det kritiska snittet tillåts det inte enligt Vägverket att räkna med armeringsmängdens fulla dragkapacitet, f_{st} . Två reduktioner av dragkapaciteten hos armeringen måste göras. En reducering som tar hänsyn till att armeringen skarvas och en reduktion som tar hänsyn till förankringslängden hos de skarvade armeringsjärnen. Detta beskrivs mer utförligt längre fram i detta kapitel.

Fack 2 delas upp enligt Figur 4.3 och är armerat enligt armeringsutformning B.



Figur 4.3 Uppdelning i längdled av primärbalken i fack 2.

Det kritiska snittet är mellan Snitt 3 och 4, se Figur 4.3. Armeringsutformning B gäller för dessa två snitt vilket illustreras i Figur 4.4 tillsammans med armeringsspecifikation i Tabell 4.1.



Figur 4.4 Armeringsutförande (B) hos primärbalken i det kritiska snittet

Tabell 4.1 Armeringsspecifikation från Vägverket (2006b) i det kritiska snittet.

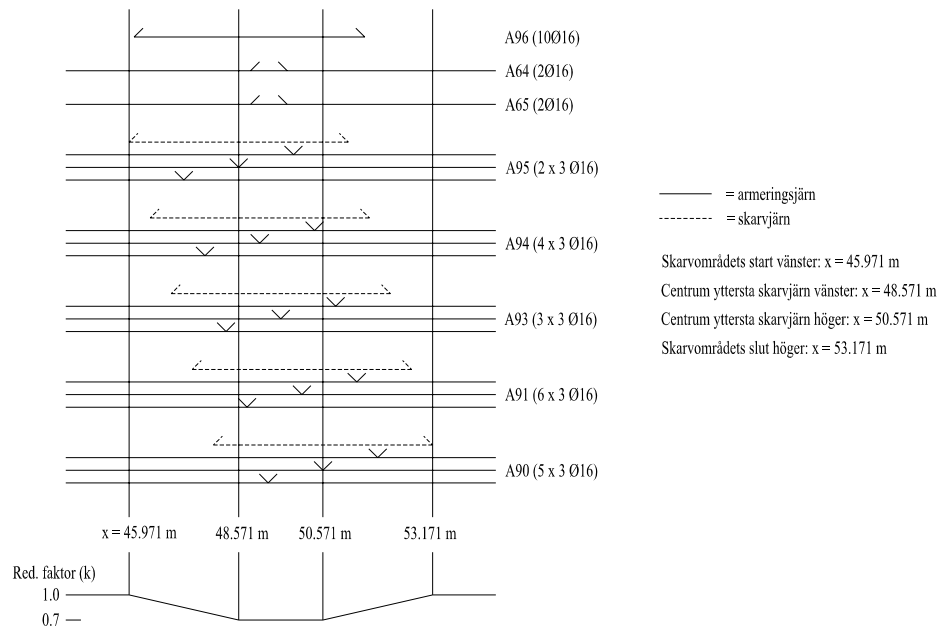
Beteckning	Diameter, Ø [mm]	Totalt antal järn [st]	Dragkapacitet, f_{st} [MPa]
A96	16	10	449
A64	16	2	449
A65	16	2	449
A95	16	6	449
A94	16	12	449
A93	16	9	449
A91	16	18	449
A90	16	15	449

Enligt Tabell 4.1 är den totala armeringsmängden i det kritiska snittet 74 Ø 16. Den sammanlagda dragkraftskapaciteten för denna armeringsmängd får inte utnyttjas fullt ut då det kritiska snittet befinner sig i ett skarvområde. Beroende på skarvarnas utformning och placering för de olika järnen måste enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) en reduktion, k av armeringens dragkapacitet göras. Då skarvningen görs i samma snitt kommer en reducering av dragkraftskapaciteten att ske för alla järn i det kritiska snittet, se Figur 4.5. Ytterligare en reduktion, κ för minskad förankringslängd tillkommer. Detta kan sammanfattas med att två stycken reduktioner kommer att göras. En reduktion p.g.a. att armeringsjärnen befinner sig i ett skarvområde och en reduktion p.g.a. otillräcklig förankringslängd.

Från armeringsspecifikationer, Vägverket (2006b), kan placering hos alla armeringsjärn bestämmas. Utifrån denna kan skarvområdets gränser bestämmas, se Figur 4.5. Armeringen från Tabell 4.2 har delats in i nivåer för att få en mer överskådlig bild av dess placering. Skarvområdet startar från vänster där det första skarvjärnet har sin början ($x = 45,971$ m) och slutar till höger med det sista skarvjärnet ändpunkt ($x = 53,171$ m). Reduktionsfaktorn för skarvning, k faller linjärt, från 1,0 till 0,7, mellan det första skarvjärnets början ($x = 45,971$ m) till dess mittpunkt ($x = 48,571$ m). Samma gäller vid skarvområdets slut. Reduktionsfaktorn för skarvning, k ökar linjärt, från 0,7 till 1,0, mellan det sista skarvjärnets mittpunkt ($x = 50,571$ m) till dess ändpunkt ($x = 53,171$ m). Området mellan de två yttersta skarvjärnens mittpunkter skall reduceras med $k = 0,7$. I Figur 4.5 kan reduktionsfaktorns, k förändring ses.

Det kritiska snitt befinner sig $x = 50,571$ m och faller samman med det högra yttersta skarvjärnets mittpunkt, enligt Figur 4.5, vilket gör att alla järn som har skarvats kommer att reduceras med $k = 0,7$.

Utvärdering av trafikmätningar vid Ölandsbron



Figur 4.5 Skarvområdets utformning och reduktion i det kritiska snittet.

Tabell 4.2 Armeringsspecifikation med skarvreduktion i det kritiska snittet.

Beteckning	Diameter	Antal järn	Reduktion	Dragkapacitet
	Ø	n	k	f _{st}
	[mm]	[st]	[-]	[MPa]
A96	16	10	0,7	449
A64	16	2	0,7	449
A65	16	2	0,7	449
Skarv 1	16	2	0,7	449
A95	16	6	0,7	449
Skarv 2	16	4	0,7	449
A94	16	12	0,7	449
Skarv 3	16	3	0,7	449
A93	16	9	0,7	449
Skarv 4	16	6	0,7	449
A91	16	18	0,7	449
Skarv 5	16	5	0,7	449
A90	16	15	0,7	449

Eftersom armeringen är skarvad vid det kritiska snittet ($x = 50,571$) måste en reduktion, κ på grund av minskad förankringslängd beräknas. Armeringsspecifikationerna från Vägverket (2006b) visar alla järns placering och förankringslängd. Genom att studera dessa två parametrar kan en reduktionsfaktor för minskad förankringslängd, κ tas fram. Reduktionen, κ följer ett linjärt förhållande, där reduktionen går från 1 till 0 som funktion av förankringslängden. De ingående armeringsjärnens reduktion visas i Tabell 4.3.

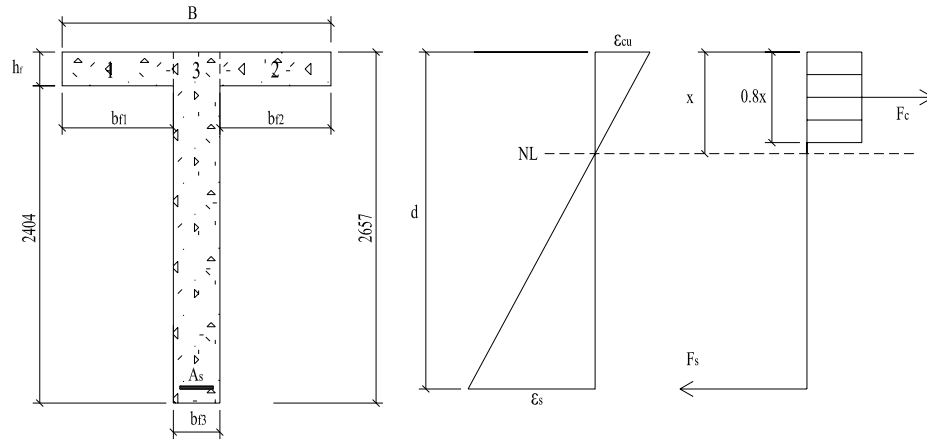
Tabell 4.3 Armeringsspecifikation med förankringsreduktion i det kritiska snittet.

Beteckning	Diameter	Antal järn	Reduktion	Reduktion	Dragkapacitet
	Ø	n	k	κ	f_{st}
	[mm]	[st]	[-]	[-]	[MPa]
A96	16	10	0,7	1,00	449
A64	16	2	0,7	1,00	449
A65	16	2	0,7	1,00	449
Skarv 1	16	2	0,7	0,41	449
A95 (d)	16	2	0,7	0,48	449
A95 (e)	16	2	0,7	1,00	449
A95 (f)	16	2	0,7	1,00	449
Skarv 2	16	4	0,7	0,76	449
A94 (d)	16	4	0,7	0,14	449
A94 (e)	16	4	0,7	1,00	449
A94 (f)	16	4	0,7	1,00	449
Skarv 3	16	3	0,7	1,00	449
A93 (a)	16	3	0,7	0,21	449
A93 (e)	16	3	0,7	0,69	449
A93 (f)	16	3	0,7	1,00	449
Skarv 4	16	6	0,7	1,00	449
A91 (a)	16	6	0,7	0,55	449
A91 (e)	16	6	0,7	0,10	449
A91 (f)	16	6	0,7	1,00	449
Skarv 5	16	5	0,7	1,00	449
A90 (a)	16	5	0,7	0,90	449
A90 (b)	16	5	0,7	0,00	449
A90 (e)	16	5	0,7	0,00	449
A90 (f)	16	5	0,7	0,90	449

Den reducerade dragkraftskapaciteten, $f_{st,red}$ och armeringsmängden, A_s kommer att användas för att beräkna primärbalkens böjmomentkapacitet, M_R i det kritiska snittet.

4.3 Beräkning av böjmomentkapacitet

I Vägverket (2006b) beräknas endast draghållfastheten hos armeringen i det kritiska snittet. Böjmomentkapaciteten, M_R hos primärbalkarna redovisas inte i Vägverket (2006b) utan görs i denna rapport med avseende på det förenklade tvärsnittet enligt Figur 4.6.



Figur 4.6 Beräkningsmodell hos det förenklade tvärsnittet.

A_s = Armeringsarean i underkant [mm^2]

d = Avståndet från balkens ovkant ner till tyngdpunkten för armeringen [m]

B = Medverkande flänsbredd [m]

b_{f1} , b_{f2} , b_{f3} = Den totala bredden på flänsen uppdelad i tre delar [m]

x = Avståndet från balkens ovkant till neutrallagrets läge [m]

f_{cc} = Betongens tryckhållfasthet [MPa]

f_{st} = Armeringens draghållfasthet [MPa]

F_c = Betongens verkande tryckkraft [kN]

F_s = Armeringens verkande dragkraft [kN]

NL = Neutrala lagrets position

Tabell 4.4 Armeringsspecifikation med reduktion i det kritiska snittet.

Beteckning	Diameter Ø [mm]	Antal järn n [st]	Armerings area A _s [mm ²]	Reducerad dragkapacitet f _{st,red} [MPa]
A96	16	10	2010,6	314,3
A64	16	2	402,1	314,3
A65	16	2	402,1	314,3
Skarv 1	16	2	402,1	128,9
A95 (d)	16	2	402,1	150,9
A95 (e)	16	2	402,1	314,3
A95 (f)	16	2	402,1	314,3
Skarv 2	16	4	804,3	238,9
A94 (d)	16	4	804,3	44,0
A94 (e)	16	4	804,3	314,3
A94 (f)	16	4	804,3	314,3
Skarv 3	16	3	603,2	314,3
A93 (a)	16	3	603,2	66,0
A93 (e)	16	3	603,2	216,9
A93 (f)	16	3	603,2	314,3
Skarv 4	16	6	1206,4	314,3
A91 (a)	16	6	1206,4	172,9
A91 (e)	16	6	1206,4	31,4
A91 (f)	16	6	1206,4	314,3
Skarv 5	16	5	1005,3	314,3
A90 (a)	16	5	1005,3	282,9
A90 (b)	16	5	1005,3	0,0
A90 (e)	16	5	1005,3	0,0
A90 (f)	16	5	1005,3	282,9

A_s = Enligt Tabell 4.4

f_{st,red} = f_{st} = Enligt Tabell 4.4

h_f = 0,255 m

b_{f1} = b_{f2} = 0,835 m

b_{f3} = 0,350 m

f_{cc} = 21,57 MPa

d = 2,479 m

B = 2,020 m

Beräkning av neutrala lagrets position:

$$F_s = F_c \Rightarrow F_s = F_{c1} + F_{c2} + F_{c3}$$

$$F_{c1} = f_{cc} \cdot b_{f1} \cdot 0,8 \cdot x = 14,41 \cdot x \text{ MN}$$

$$F_{c2} = f_{cc} \cdot b_{f2} \cdot 0,8 \cdot x = 14,41 \cdot x \text{ MN}$$

$$F_{c3} = f_{cc} \cdot b_{f3} \cdot 0,8 \cdot x = 6,04 \cdot x \text{ MN}$$

Vid beräkning av kraften i armeringsjärnen, F_s summeras bidraget från alla ingående armeringsjärn från Tabell 4.4 enligt formeln nedan.

$$F_s = \sum(f_{st,red} \cdot A_s)$$

$$\begin{aligned} F_s = & (314,3 \cdot 2010,6) + (314,3 \cdot 402,1) + (314,3 \cdot 402,1) + (128,9 \cdot 402,1) + \\ & (150,9 \cdot 402,1) + (314,3 \cdot 402,1) + (314,3 \cdot 402,1) + (238,9 \cdot 804,3) + \\ & (44,0 \cdot 804,3) + (314,3 \cdot 804,3) + (314,3 \cdot 804,3) + (314,3 \cdot 603,2) + \\ & (66,0 \cdot 603,2) + (216,9 \cdot 603,2) + (314,3 \cdot 603,2) + (314,3 \cdot 1206,4) + \\ & (172,9 \cdot 1206,4) + (31,4 \cdot 1206,4) + (314,3 \cdot 1206,4) + (314,3 \cdot 1005,3) + \\ & (282,9 \cdot 1005,3) + (282,9 \cdot 1005,3) = 4422,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_s = 4422,5 \text{ kN}$$

$$F_s = F_{c1} + F_{c2} + F_{c3}$$

$$4,4225 = 2 \cdot 14,41 \cdot x + 6,04 \cdot x \Rightarrow$$

$$x = \frac{4,4225}{34,86} = 0,127 \text{ m}$$

Kontroll av underkantsarmering:

$$\varepsilon_s = \frac{d - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{2,479 - 0,127}{0,127} \cdot 0,0035 = 64,8 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{st}}{E_s} = \frac{449}{159 \cdot 10^3} = 2,8 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{sy} \rightarrow OK$$

Beräkning av böjmomentkapacitet, M_R i det kritiska snittet:

Moment kring F_s , enligt Figur 4.6:

$$\begin{aligned} M_R &= F_{c1} \cdot (d - 0,4 \cdot x) + F_{c2} \cdot (d - 0,4 \cdot x) + F_{c3} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 2 \cdot 14,41 \cdot 0,127 \cdot (2,479 - 0,4 \cdot 0,127) \\ &\quad + 6,04 \cdot 0,127 \cdot (2,479 - 0,4 \cdot 0,127) = 10,75 \text{ MNm} \end{aligned}$$

$$M_R = 10,75 \text{ MNm}$$

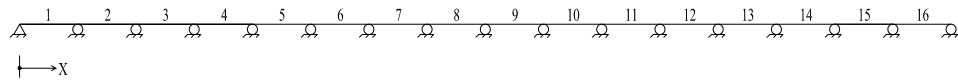
5. Laster

5.1 Inledning

I detta kapitel redovisas beräkningar som gjorts av de laster som verkar på primärbalken. Kapitlet är indelat i följande avsnitt:

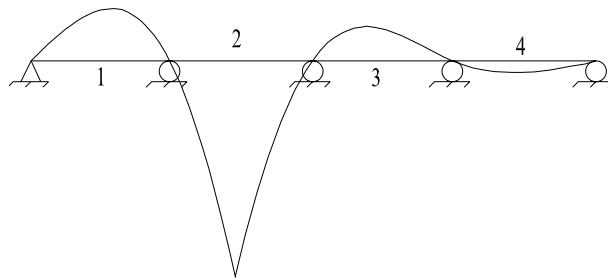
- Permanenta laster. Avsnittet behandlar brons egentyngd och beläggningen på brobanan som tillsammans utgör en stor del av belastningen på primärbalkarna
- Trafiklaster. I detta avsnitt behandlas de trafiklaster som baseras på mätningarna. Här redovisas även beräkningar av filfaktor för primärbalken utifrån de mätningar som gjorts med Sidolägesmetoden.

Som beskrevs i kapitel 4 är Ölandsbrons lågbrodel uppbyggd av flera mindre kontinuerliga broar. Varje bro har 16 fack se Figur 5.1. För att bestämma det maximala momentet som verkar i det kritiska snittet betraktas bron som kontinuerlig över 17 stöd. Enligt föregående kapitel befinner sig det kritiska snittet 16.05 meter in i fack 2.



Figur 5.1 Systemfigur för de mindre kontinuerliga broarna.

Genom att skapa ett influensdiagram för det kritiska snittet kan momentpåverkan beräknas för alla punkter i fack 1-4. Influensdiagrammet visas i Figur 5.2. Vid beräkningar av momentet behövs endast de fyra första facken beaktas eftersom arean under influensdiagrammet är nära noll efter fack fyra.



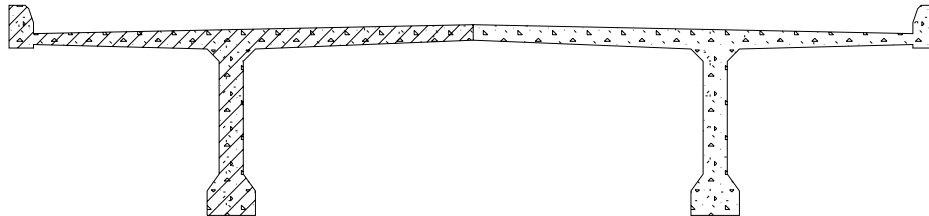
Figur 5.2 Influensdiagram för det kritiska snittet.

5.2 Permanenta laster

Beräkningar av de permanenta lasterna görs med avseende på halva brons tvärsnitt. Denna uppdelning kan göras eftersom bron är symmetrisk. Då beläggningen inte räknas med i egentyngheten men ändå ses som en permanent last behandlas dessa två var för sig.

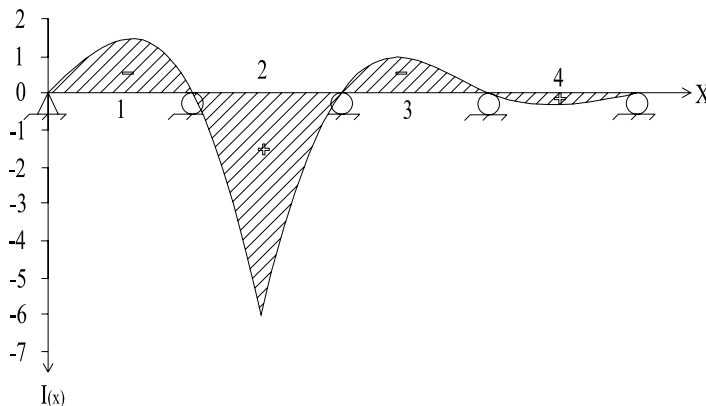
5.2.1 Egentyngd

Med egentyngd avses den bärande konstruktionens tyngd inklusive räcken och andra installationer. Då det största bidraget hos egentyngden utgörs av den bärande konstruktionen kommer endast denna ingå i beräkningen. Genom att beräkna arean i tvärläng för halva bron, se Figur 5.3, kan egentyngdens inverkan i längdled bestämmas.

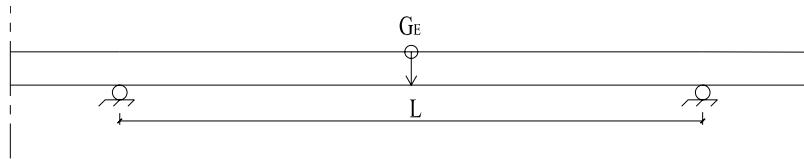


Figur 5.3 Medverkande tvärsnittsarea i tvärläng vid beräkning av egentyngd.

Egentyngdens kraftpåverkan på primärbalkarna ses som en utbredd last som verkar längs med hela facket se Figur 5.5. Momentpåverkan av egentyngden, M_E beräknas med avseende på det kritiska snittet. Utifrån influensdiagrammet, se Figur 5.4, för den kontinuerliga balken kan momentpåverkan av egentyngden beräknas. Denna beräknas genom att multiplicera betongens tunghet med arean under och över influensdiagrammet.



Figur 5.4 Areal för influensarean, A_I .



Figur 5.5 Egentyngdens kraftpåverkan i längdled för fack 2.

L = Längden för fack 2 [m]

γ = Tunghet för normalarmerad betong [kN/m^3]

A_T = Medverkande tvärsnittsarea [m^2]

A_I = Influensdiagrammets area [m^2]

G = Egentyngd för fack 2 [kN/m]

M_E = Egentyngdens momentpåverkan [kNm]

$$L = 35,121 \text{ m}$$

$$A_I = 42,379 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 25 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$A_T = 2,756 \text{ m}^2$$

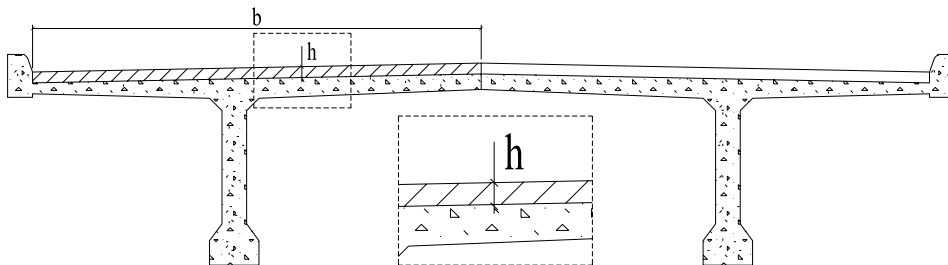
$$G_E = A_T \cdot \gamma$$

$$\left. \begin{array}{l} \gamma = 25 \text{ kN} / \text{m}^3 \\ A_T = 2,756 \text{ m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow G_E = 25 \cdot 2,756 = 68,91 \text{ kN} / \text{m}$$

$$M_E = A_I \cdot G_E = 42,379 \cdot 68,91 = 2920,34 \text{ kNm} = 2,92 \text{ MNm}$$

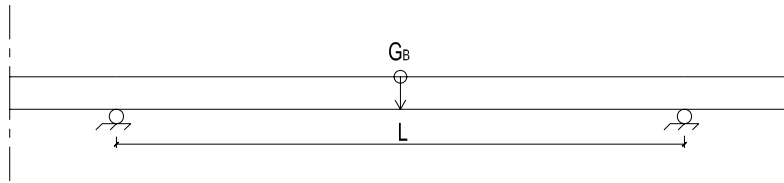
5.2.2 Beläggning

Brons beläggning är av asfaltsbetong och har tjockleken 185 mm. Då endast halva tvärsnittet är intressant för en primärbalk används bara halva brobanebredden vid beräkning av beläggningens momentpåverkan, M_B , se Figur 5.6



Figur 5.6 Medverkande beläggningsarea i tvärled vid beräkning av beläggningen.

Även här sker beräkningarna på fack 2 se Figur 5.7.



Figur 5.7 Beläggningens kraftpåverkan i längdled för fack 2.

L = Längden för fack 2 [m]

γ = Tunghet för asfaltsbetong [kN/m^3]

b = Beläggningens medverkande bredd [m]

h = Beläggningens tjocklek [m]

A_T = Medverkande tvärsnittsarea [m^2]

A_I = Influensdiagrammets area enligt Kapitel 5.2.1 [m^2]

G = Beläggningens tyngd för fack 2 [kN/m]

M_B = Beläggningens momentpåverkan [kNm]

$$L = 35,121 \text{ m}$$

$$A_I = 42,379 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} h = 0,185 \text{ m} \\ b = 6,44 \text{ m} \\ A_T = h \cdot b \end{array} \right\} \Rightarrow A_T = 0,185 \cdot 6,44 = 1,19 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} A_T = 1,19 \text{ m}^2 \\ \gamma = 23 \text{ kN} / \text{m}^3 \\ G_B = \gamma \cdot A_T \end{array} \right\} \Rightarrow G_B = 23 \cdot 1,19 = 27,40 \text{ kN} / \text{m}$$

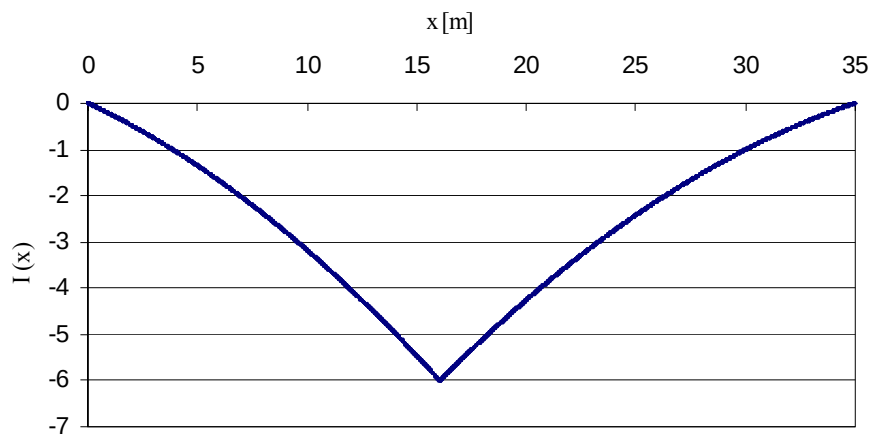
$$M_B = A_I \cdot G_B = 42,379 \cdot 27,4 = 1161,185 \text{ kNm} = 1,16 \text{ MNm}$$

5.3 Trafiklaster

Med trafiklast avses trafikens inverkan i vertikal och horisontell riktning. Från varje fordonsaxel uppkommer krafter som verkar vertikalt. Den horisontella kraften uppstår då fordonen bromsar eller accelererar. Momentet som verkar på primärbalken uppkommer av de vertikalt riktade krafterna, därför kommer endast denna riktning att behandlas.

5.3.1 Statiska trafiklaster

För att kunna bestämma den maximala momentpåverkan som uppkommer från fordonen krävs en rad olika parametrar. Genom att ta fram influenslinje för det kritiska snittet (16.05 meter in i fack 2) på den kontinuerliga balken, se Figur 5.8, kan momentet beräknas då axelavstånd och axeltryck är kända.



$$M_{AB} = P_x * I_x$$

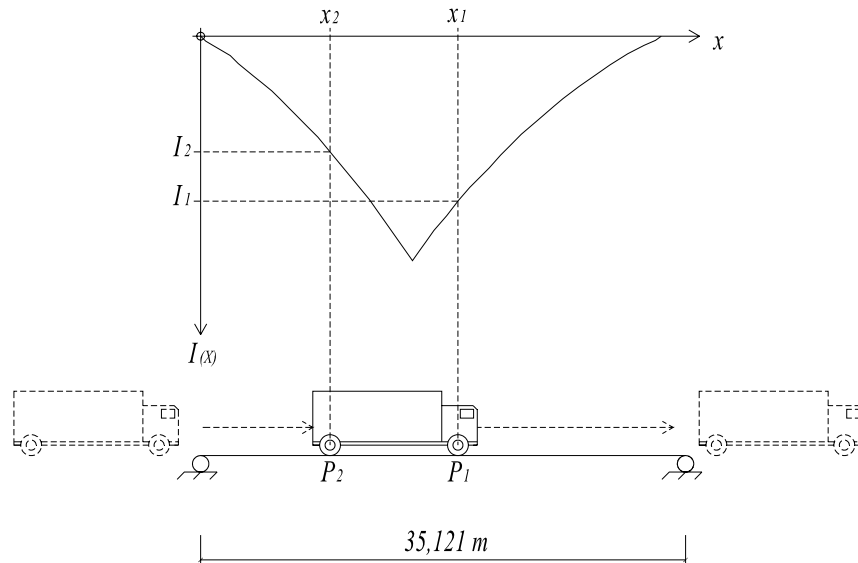
Figur 5.8 Influensdiagram för det kritiska snittet i fack 2.

Beroende på var axelkrafterna, P_x , är placerade så erhålls olika I_x . För att få fram momentet, M_{AB} , i det kritiska snittet multipliceras P_x med sitt tillhörande I_x . Den sammanlagda momentpåverkan som uppstår av ett fordon kan beräknas med följande ekvation

$$M_{AB} = \sum P_n(x) * I_n(x)$$

där n är antal axlar på fordonet. Genom att använda de uppmätta axelkrafterna och axelavstånd hos fordonen i B-WIM-mätningarna kan ett maxmoment för varje fordon i kritiska snittet beräknas. Denna simulering görs med hjälp av Matlab där varje fordon stegrats över den kontinuerliga balken. I Figur 5.9 visas stegringsförloppet av simulationen. Det maximala momentet från varje fordon i stegringen över balken sparas i en vektor.

För att få ett så noggrant resultat som möjligt har stegringen skett med 10 centimeters förflyttningar över det 35,121 meter långa facket. Det maximala momentet från varje fordonstyp är sammanställt i Tabell 5.1.



Figur 5.9 Schematisk bild av kraftinföringen på influensdiagrammet vid simulering.

En simulering med de ingående fordonen från B-WIM-mätningarna, endast de vertikala lasterna och dess placering ger följande resultat, se Tabell 5.1. Filfaktor och dynamisk effekt är inte inräknat i denna simulering.

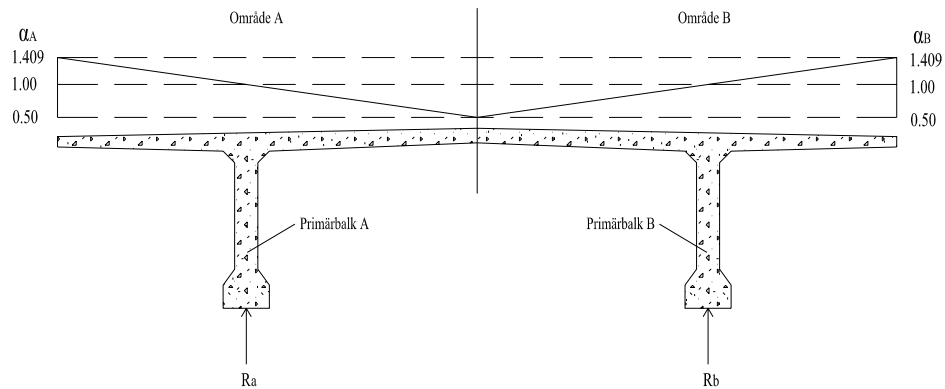
Tabell 5.1 Maxmoment, M_{AB} från simulationer av B-WIM-mätningar.

Fordonstyp	Antal simulerade fordon [st]	Maxmoment, M_{AB} [kNm]
2-axliga	1322	1116,1
3-axliga	1024	1660,2
4-axliga	239	2112,4
5-axliga	165	1894,3
6-axliga	288	2270,9
7-axliga	454	2544,6
8-axliga	49	2255,9

Som resultatet visar i tabell 5.1 så uppkommer det största momentet av de 7-axliga lastbilarna. Detta kan bero på att 7-axliga fordon kan lasta lika mycket som 8-axliga fordon, men lasten fördelas ner på färre axlar. Detta leder till att axelkrafterna blir större hos de 7-axliga fordonen, se Figur 5.8.

5.3.2 Filfaktor

Fordonens placering på brobanan har stor betydelse för momentets storlek. Utifrån mätresultatet från Sidolägesmetoden kan en placeringsfördelning för fordonen tas fram vilket används för att bestämma belastningsfördelning mellan primärbalkarna. Detta resulterar i en procentuell uppdelning av kraftupptagningen som kallas filfaktor, α . Filfaktorns variation längs balken visas i figur 5.10



Figur 5.10 Filfaktorns variation i tvärläng.

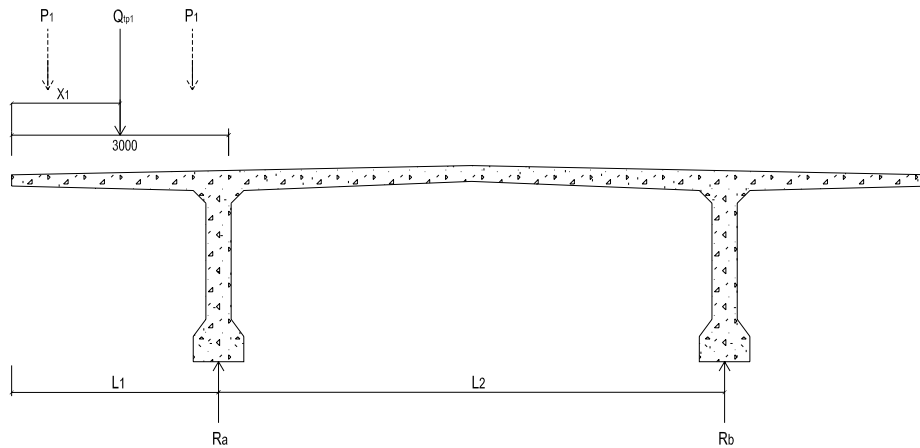
Filfaktorns värde, enligt den heldragna linjen i Figur 5.10, styrs av kraftresultantens läge på balken. Då kraftresultanten verkar i område A ges filfaktor för primärbalk A, α_A ett högre värde än 0,5. Filfaktor för primärbalk B, α_B blir då $1 - \alpha_A$, dock ≥ 0 . För fallet då kraftresultanten är placerad till vänster om primärbalk A kommer $\alpha_A > 1,0$. α_B sätts då i detta fallet till 0. Samma resonemang gäller då kraftresultanten är placerad i område B.

5.3.2.1 Filfaktor enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998)

Enligt Vägverkets norm, Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) delas bron in i lastfält med bredden 3 m över hela brobanan, dock max två i varje riktning, se Kapitel 2.4.3. De verkande kraftresultanterna, Q_{tp} är placerad mitt i filen. Då kraftresultanten alltid är centralt placerad i lastfältet kommer inte axelbredden hos de olika fordonen spela någon roll för den kommande beräkningen av filfaktor, α_A . För att få fram den värsta belastningen hos en primärbalk kommer två lastfall behandlas. Beräkningar kommer även att göras för båda riktningarna på bron då filbredderna skiljer sig i de båda riktningarna, se Figur 3.2.

Lastfall 1

Vid det första lastfallet placeras laster endast i det yttre lastfältet. Placering av kraftresultant enligt Figur 5.11.



Figur 5.11 Ingående lastfält för lastfall 1.

L_1 = Avstånd från kantlinje till mittpunkt av primärbalk A [m]

L_2 = Avstånd mellan primärbalkarna [m]

R_a = Upplagskraft för primärbalk A [kN]

R_b = Upplagskraft för primärbalk B [kN]

P_1 = Axelkraft [kN]

Q_{tp} = Kraftresultant av fordonets axelpar (P_1) [kN]

X_1 = Avstånd mellan kantlinje och kraftresultant [m]

α_A = Filfaktor för primärbalk A [-]

Moment kring R_b enligt Figur 5.11:

$$L_2 \cdot R_a = Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1)$$

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1)}{L_2} \\ R_b &= Q_{tp} - R_a \\ \alpha_A &= \frac{R_a}{R_a + R_b} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\alpha_A = \frac{\frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1)}{L_2}}{\frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1)}{L_2} + Q_{tp} - \frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1)}{L_2}} \Rightarrow$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X_1)}{L_2}$$

Filfaktor för fil 1 och 2.

$$L_1 = 2,585 \text{ m}$$

$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$X_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X_1)}{L_2} = \frac{(2,585 + 7 - 1,5)}{7} = 1,155$$

Filfaktor för fil 3 och 4.

$$L_1 = 2,715 \text{ m}$$

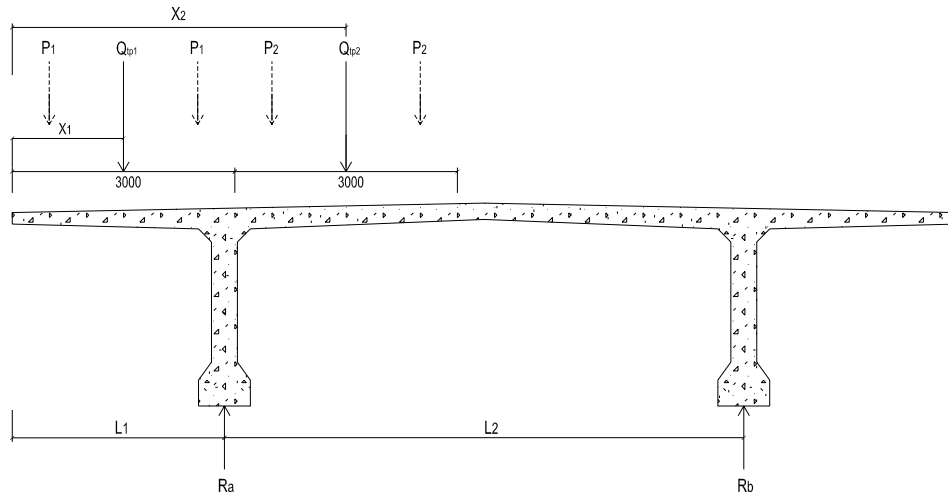
$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$X_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X_1)}{L_2} = \frac{(2,715 + 7 - 1,5)}{7} = 1,174$$

Lastfall 2

I det andra lastfallet placeras kraftresultanter i två lastfält, enligt Figur 5.12.



Figur 5.12 Ingående lastfält för lastfall 2.

L_1 = Avstånd från kantlinje till mittpunkt av primärbalk A [m]

L_2 = Avstånd mellan primärbalkarna [m]

R_a = Upplagskraft för primärbalk A [kN]

R_b = Upplagskraft för primärbalk B [kN]

P_1 = Axelkraft för fordon 1 [kN]

$P_2 = 0,8 \cdot P_1$ = Axelkraft för fordon 2 [kN]

Q_{tp1} = Kraftresultant för fordon 1 (P_1) [kN]

$Q_{tp2} = 0,8 \cdot Q_{tp1}$ = Kraftresultant för fordon 2 (P_2) [kN]

X_1 = Avstånd mellan kantlinje och kraftresultant (Q_{tp1}) [m]

X_2 = Avstånd mellan kantlinje och kraftresultant (Q_{tp2}) [m]

α_A = Filfaktor för primärbalk A [-]

Moment kring R_b enligt Figur 5.12:

$$L_2 \cdot R_a = Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1) + Q_{tp} \cdot 0,8 \cdot (L_1 + L_2 - X_2)$$

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X_1) + Q_{tp} \cdot 0,8 \cdot (L_1 + L_2 - X_2)}{L_2} \\ R_b &= Q_{tp} + 0,8 \cdot Q_{tp} - R_a \\ \alpha_A &= \frac{R_a}{R_a + R_b} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X_1) + 0,8 \cdot (L_1 + L_2 - X_2)}{1,8 \cdot L_2}$$

Filfaktor för fil 1 och 2.

$$L_1 = 2,585 \text{ m}$$

$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$X_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$X_2 = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \alpha_A &= \frac{(L_1 + L_2 - X_1) + 0,8 \cdot (L_1 + L_2 - X_2)}{1,8 \cdot L_2} = \\ &= \frac{(2,585 + 7 - 1,5) + 0,8 \cdot (2,585 + 7 - 4,5)}{1,8 \cdot 7} = 0,965 \end{aligned}$$

Filfaktor för fil 3 och 4.

$$L_1 = 2,715 \text{ m}$$

$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$X_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$X_2 = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \alpha_A &= \frac{(L_1 + L_2 - X_1) + 0,8 \cdot (L_1 + L_2 - X_2)}{1,8 \cdot L_2} = \\ &= \frac{(2,715 + 7 - 1,5) + 0,8 \cdot (2,715 + 7 - 4,5)}{1,8 \cdot 7} = 0,983 \end{aligned}$$

Sammanställning

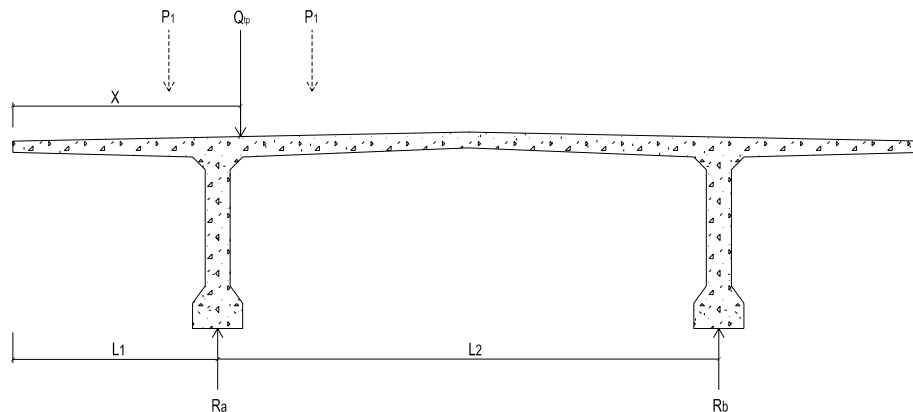
Vid lastplacering enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) blir filfaktorn för de två fallen enligt Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Filfaktorer enligt Klassningsberäkning av vägbroar (1998).

	Österut Fil 1 och Fil 2	Västerut Fil 3 och Fil 4
Fall 1	1,155	1,174
Fall 2	0,965	0,983

5.3.2.2 Filfaktor för fordon i Sidolägesmetoden

Utifrån Sidolägesmetodens mätningar kan en filfaktor bestämmas. Beroende på var kraftresultanten, Q_{tp} från fordonets axelkraftpar, P_1 verkar upptar primärbalkarna, R_a , R_b olika mycket av kraften. Filfaktorn kan bestämmas genom en momentjämvikt enligt beräkningar nedan. Detta görs i båda riktningarna eftersom både fordonsplaceringen och filernas bredd skiljer sig åt.



Figur 5.13 Modell i tvärled för beräkning av filfaktor.

L_1 = Avstånd från kantlinje till mittpunkt av primärbalk A [m]

L_2 = Avstånd mellan primärbalkarna [m]

R_a = Upplagskraft för primärbalk A [kN]

R_b = Upplagskraft för primärbalk B [kN]

P_1 = Axelkraft [kN]

Q_{tp} = Kraftresultant av fordonets axelpar (P_1) [kN]

X = Avstånd mellan kantlinje och kraftresultant [m]

α_A = Filfaktor för primärbalk A [-]

Moment kring R_b , enligt Figur 5.13:

$$L_2 \cdot R_a = Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X)$$

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X)}{L_2} \\ R_b &= Q_{tp} - R_a \\ \alpha_A &= \frac{R_a}{R_a + R_b} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\alpha_A = \frac{\frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X)}{L_2}}{\frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X)}{L_2} + Q_{tp} - \frac{Q_{tp} \cdot (L_1 + L_2 - X)}{L_2}} \Rightarrow$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X)}{L_2}$$

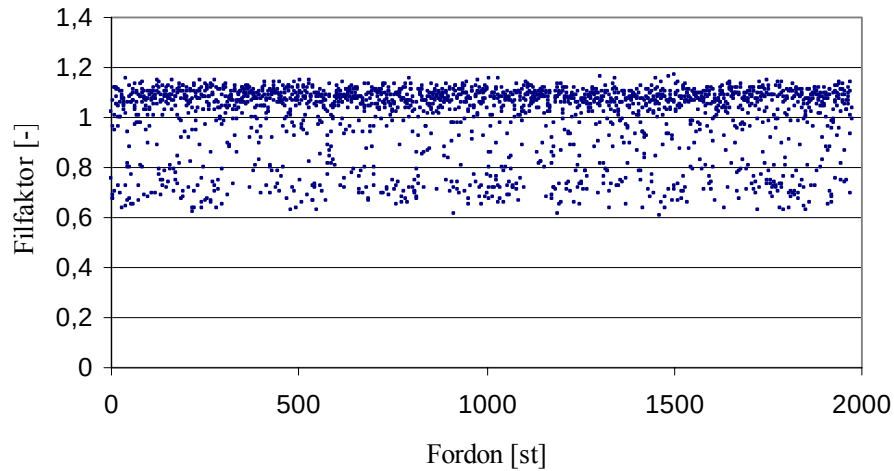
Filfaktor för fil 1 och 2.

$$L_1 = 2,230 \text{ m}$$

$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X)}{L_2} = \frac{(2,230 + 7,0 - X)}{7,0} = \frac{9,230 - X}{7,0}$$

Beräknade filfaktorer för alla tunga fordon som färdas österut visas i Figur 5.14.



Figur 5.14 Filfaktor för varje fordon österut.

Från Figur 5.14 kan följande värden tas fram:

Minvärde: 0,6107
 Maxvärde: 1,1702
 Medelvärde: 0,9960
 98 % fraktil: 1,1359

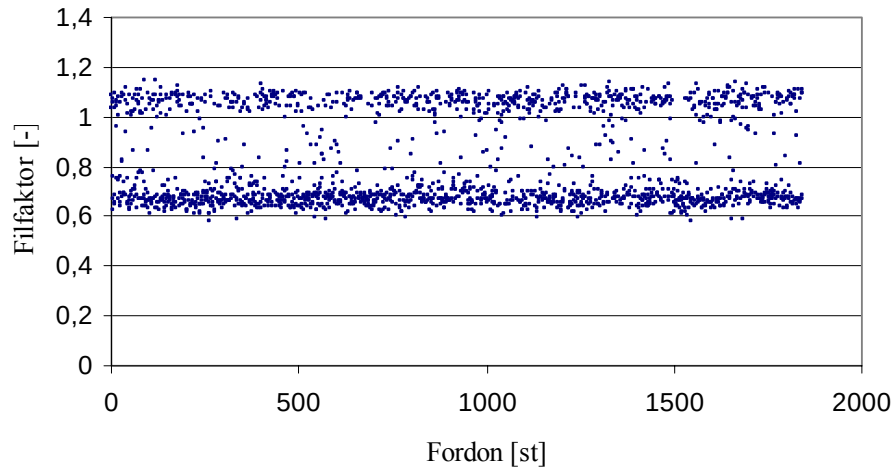
Filfaktor för fil 3 och 4.

$$L_1 = 2,360 \text{ m}$$

$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$\alpha_A = \frac{(L_1 + L_2 - X)}{L_2} = \frac{(2,360 + 7,0 - X)}{7,0} = \frac{9,360 - X}{7,0}$$

Beräknade filfaktorer för alla tunga fordon som färdas västerut visas i Figur 5.15.



Figur 5.15 Filfaktor för varje fordon västerut.

Från Figur 5.15 kan följande värden tas fram:

Minvärde: 0,5794
 Maxvärde: 1,1483
 Medelvärde: 0,8200
 98 % fraktil: 1,1092

Sammanställning

I Tabell 5.3 redovisas resultaten från Sidolägesmetoden.

Tabell 5.3 Sammanställning av filfaktorer, α_A från fordon i Sidolägesmetoden.

	Fil 1 och Fil 2	Fil 3 och Fil 4
Minvärde:	0,6107	0,5794
Maxvärde:	1,1702	1,1493
Medelvärde:	0,9960	0,8200
98 % fraktil:	1,1359	1,1092

5.3.2.3 Fördelningsfunktion för filfaktorer

Utifrån de beräknade filfaktorerna som beskrevs i föregående avsnitt anpassas en statistisk fördelning. Denna fördelning kommer därefter att användas vid simuleringen av maxmomentet då den beskriver sannolikheten att en viss filfaktor uppkommer.

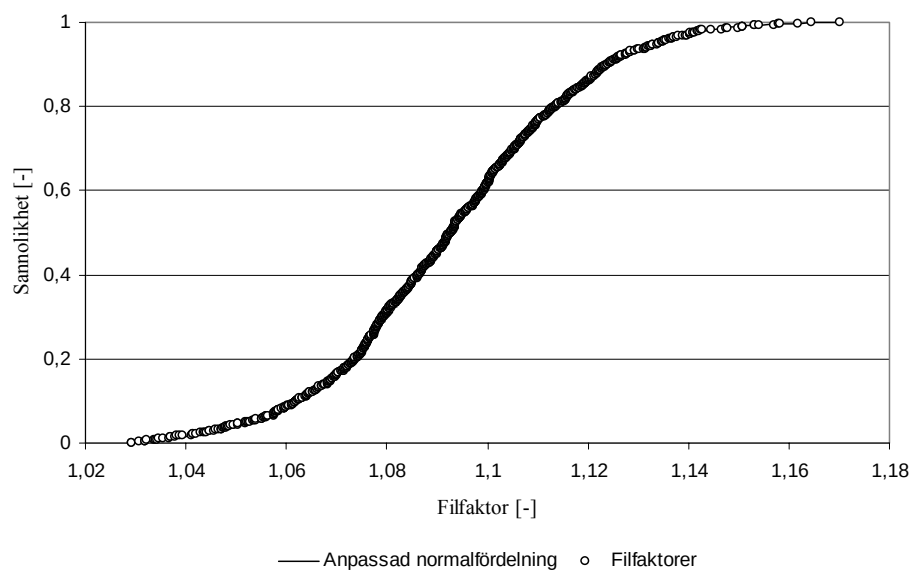
De registrerade fordonen delas in efter filer och axelgrupper. Fordonen delas in i två axelgrupperna där 2-4-axliga fordon ingår i den första och 5-7-axliga fordon ingår i den andra. Fördelningsfunktionen har endast gjorts för de fordon som är placerade i en bestämd fil. De fordon som befinner sig mellan två filer eller i vägrenen tas bort.

Vid passning av de registrerade filfaktorerna och fördelningsfunktionerna visar det sig att filfaktorerna är normalfördelade, se Figur 5.16-5.23. Fördelningarnas parametrar redovisas i Tabell 5.4.

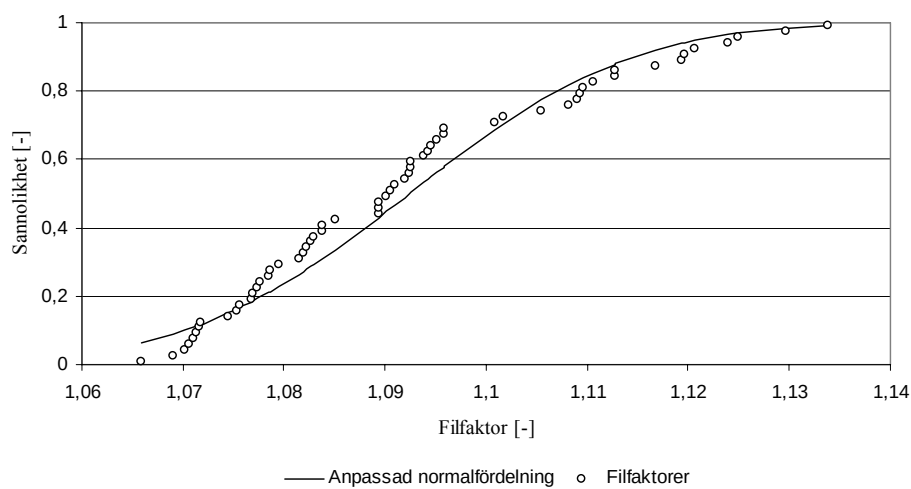
Tabell 5.4 Parametrar till fördelningsfunktionerna för filfaktorer.

Fil	Antal axlar	Medelvärde	Standardavvikelse
[-]	[-]	[-]	[-]
1	2 - 4	1,09	0,02
1	5 - 7	1,09	0,02
2	2 - 4	0,71	0,03
2	5 - 7	0,70	0,01
3	2 - 4	0,68	0,02
3	5 - 7	0,68	0,01
4	2 - 4	1,08	0,02
4	5 - 7	1,09	0,02

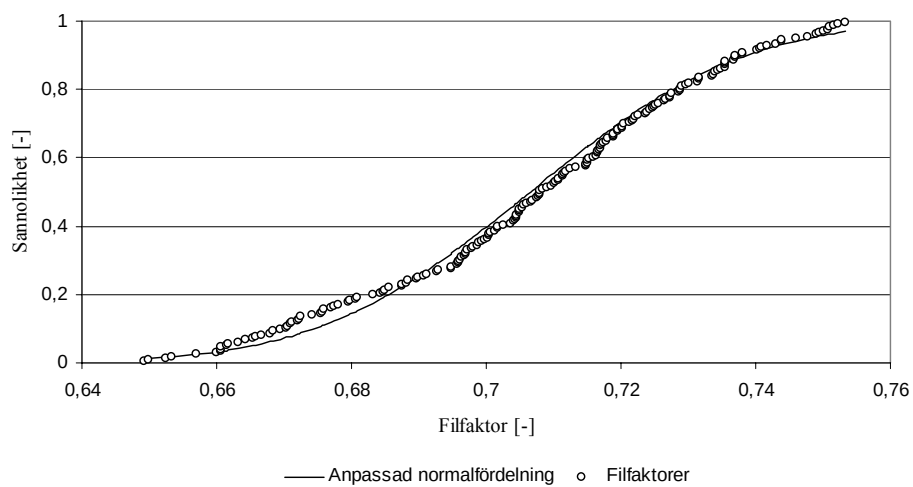
Utifrån dessa normalfördelningar slumpas filfaktorer och multipliceras med det framräknade momentet från trafiklasten i B-WIM.



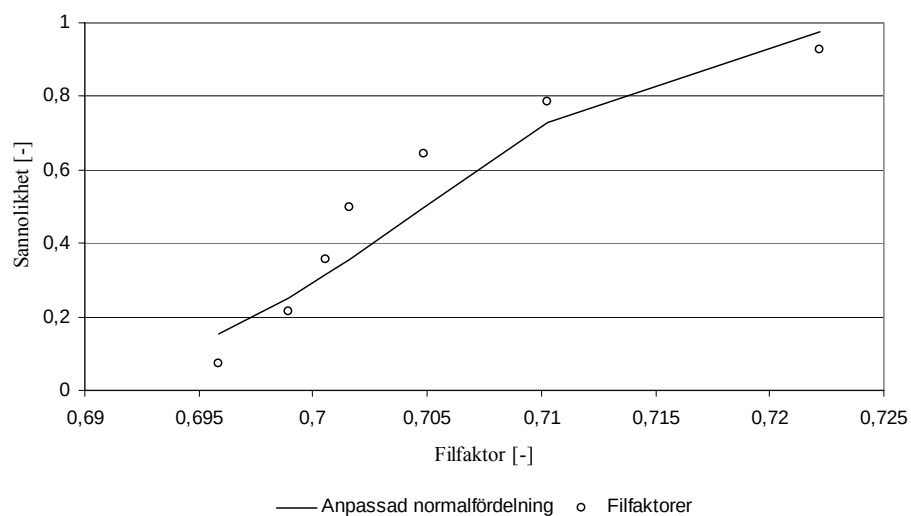
Figur 5.16 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 1 för 2- till 4-axliga fordon.



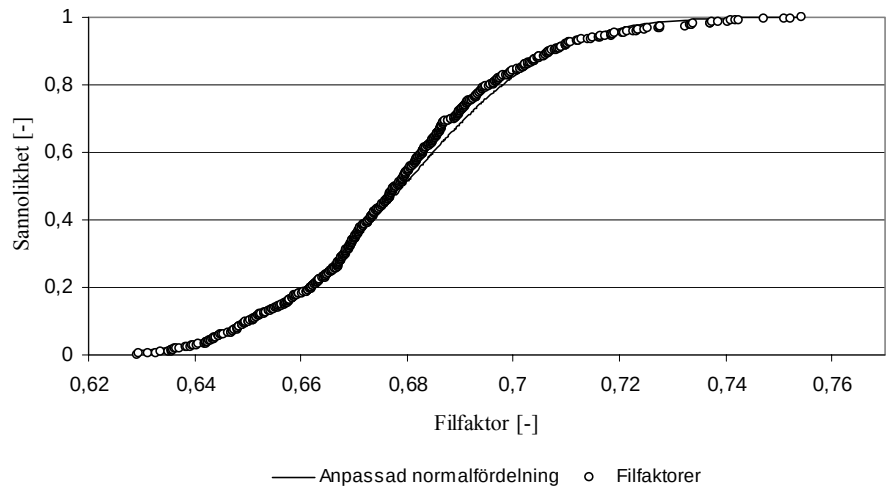
Figur 5.17 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 1 för 5- till 7-axliga fordon.



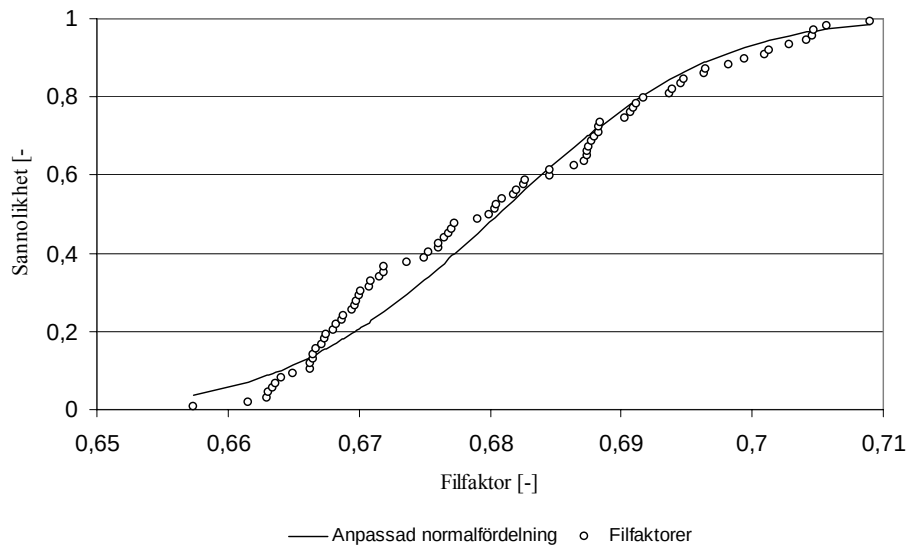
Figur 5.18 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 2 för 2- till 4-axliga fordon.



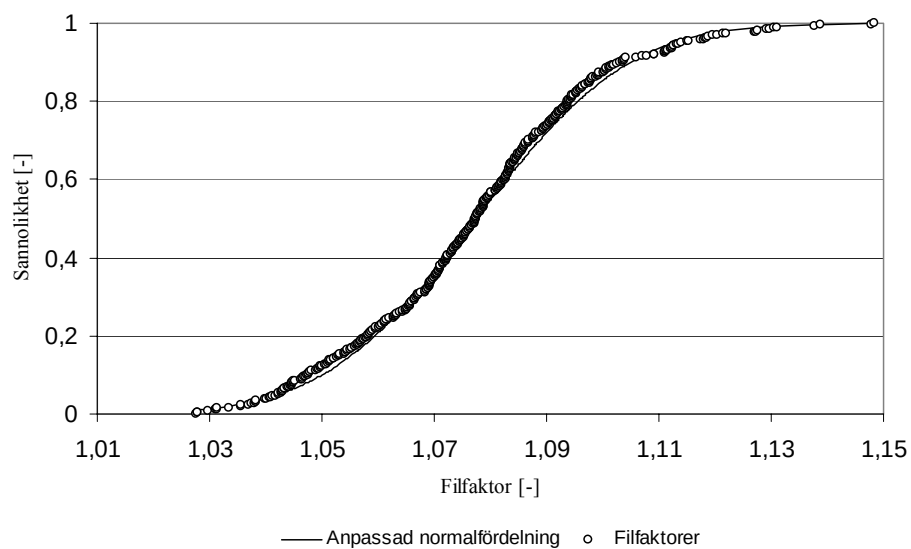
Figur 5.19 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 2 för 5- till 7-axliga fordon.



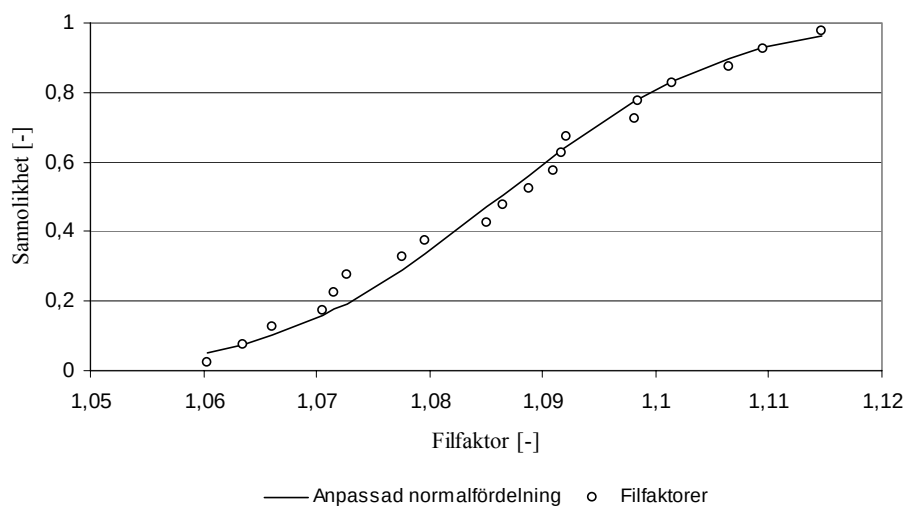
Figur 5.20 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 3 för 2- till 4-axliga fordon.



Figur 5.21 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 3 för 5- till 7-axliga fordon.



Figur 5.22 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 4 för 2- till 4-axliga fordon.



Figur 5.23 Normalfördelning av filfaktorerna i fil 4 för 5- till 7-axliga fordon.

5.3.3 Dynamisk tillskott

Det dynamiska tillskottet, ε ska multipliceras till varje axelkraft. Detta tar hänsyn till den svängning i vertikalled som uppstår då ett fordon färdas över bron. I Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) används 98 % - fraktilen av det dynamiska tillskottet dvs. det karakteristiska värdet. Den dynamiska effekten enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) beräknas nedan.

$L_{1,16}$ = Spännvidden hos fack 1 och 16 [m]
 L_{2-15} = Spännvidden hos fack 2 till 15 [m]
 l_m = Medelspännvidden för alla 16 fack [m]
 ε_k = Den karakteristiska dynamiska effekten [%]
 L = Huvudkonstruktionens spännvidd [m]

$$L_{1,16} = 34,521 \cdot 2$$

$$L_{2-15} = 35,121 \cdot 14$$

$$l_m = \frac{34,521 \cdot 2 + 35,121 \cdot 14}{16} = 35,046 \text{ m}$$

$$\varepsilon_k = \frac{740}{20 + L} < 35\% \quad [\%]$$

$$\left. \begin{array}{l} L = 1,5 \cdot l_m \quad (Fall B) \\ l_m = 35,046 \end{array} \right\} \Rightarrow L = 52,569$$

$$\varepsilon_k = \frac{740}{20 + 52,569} = 10,1972 \%$$

Enligt Veidirektoratet (2004) modelleras den dynamiska förstöringsfaktorn som en normalfördelad stokastisk variabel med cov = 100 %. Eftersom simuleringen skall spegla verkliga belastningar som genereras i primärbalken antas det att den dynamiska förstöringsfaktorn är normalfördelad. Utifrån beräkningen av 98 % - fraktilen kan den normalfördelade dynamiska effekten parametrar beräknas. Vid simuleringen slumpas den normalfördelade dynamiska effekten, ε_{dyn} och multipliceras därefter till de beräknade statiska momenten.

$\mu_{\varepsilon_{dyn}}$ = Medelvärde av den dynamiska effekten [%]

$\phi_{0,98}$ = Fördelningsfunktionens x-värde för 98 % - fraktilen [-]

cov = Variationskoefficient [%]

$\sigma_{\varepsilon_{dyn}}$ = Standardavvikelsen av den dynamiska effekten [%]

ε_{dyn} = Normalfördelad dynamisk förstöringsfaktor [-]

$$\mu_{\varepsilon_{dyn}} = \frac{\varepsilon_k}{1 + \phi_{0,98}} = \frac{10,1972}{1 + 2,06} = 3,3324$$

$$\text{cov} = 100\%$$

$$\text{cov} = \frac{\sigma_{\varepsilon_{dyn}}}{\mu_{\varepsilon_{dyn}}} \rightarrow \sigma_{\varepsilon_{dyn}} = \mu_{\varepsilon_{dyn}} \cdot \text{cov} = 3,3324$$

$$\varepsilon_{dyn} \in N(\mu_{\varepsilon_{dyn}}, \sigma_{\varepsilon_{dyn}}) \quad [\%]$$

$$\varepsilon_{dyn} \in N(1.03332, 0.03332)$$

5.3.4 Beräkning av tillåtet boggitryck

Utifrån fordonstyperna i Klassningsberäkning av vägbroar (1998), se Kapitel 2.4.3, kan det maximala boggitrycket, B för primärbalkarna bestämmas enligt nedanstående ekvation.

$$M_R = M_T + M_B + M_E$$

M_R = Momentkapacitet hos primärbalken [kNm]

M_T = Moment av trafiklast [kNm]

M_B = Moment av beläggning [kNm]

M_E = Moment av egentyngd [kNm]

Enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) skall alla laster multipliceras med en lastkoefficient, γ beroende på vilken lastkombination som används. Då beräkningarna avser brottgränstillståndet gäller Lastkombination A. Partialkoefficienterna, γ för Lastkombination A blir enligt följande:

Egentyngd: $\gamma = 1,0$

Beläggning: $\gamma = 1,2$

Lastgrupp B - I: $\gamma = 1,3$

$$M_R = 1,3 \cdot M_T + 1,2 \cdot M_B + 1,0 \cdot M_E$$

$$\text{Fall 1: } M_T = 1,0 \cdot \beta \cdot \varepsilon_k \cdot \alpha \cdot B$$

$$\text{Fall 2: } M_T = 1,8 \cdot \beta \cdot \varepsilon_k \cdot \alpha \cdot B$$

β = Influensvärde från beräkningarna av boggitrycket genererat av typfordon B - I [-]

ε_k = Karakteristisk dynamisk effekt [-]

α = Filfaktor enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) [-]

B = Boggitryck [kN]

För att kunna få fram den tillåtna boggilasten, B måste alla ingående parametrar vara kända. Faktorerna 1,0 och 1,8 kommer från lastplaceringen i Klassningsberäkningar av vägbroar (1998), Kapitel 2.4.3. Enligt Figur 2.9 är boggilasterna i den ena filen $1,0 \cdot B$ och boggilasterna i den andra filen $0,8 \cdot B$. Därför har fall 1 en faktor på 1,0 och fall 2 en faktor på 1,8.

Genom att subtrahera egentygndens och beläggningens momentpåverkan från momentkapaciteten kan boggilasten, B beräknas. Enligt kapitel 5.2 gäller följande momentpåverkan.

$$M_R = 10750 \text{ kNm}$$

$$M_B = 1161 \text{ kNm}$$

$$M_E = 2920 \text{ kNm}$$

$$M_R - 1,2 \cdot M_B - 1,0 \cdot M_E = 1,3 \cdot M_T$$

$$M_R - 1,2 \cdot M_B - 1,0 \cdot M_E = 10750 - 1,2 \cdot 1161 - 1,0 \cdot 2920 = 6436,8 \text{ kNm}$$

$$\text{Fall 1: } 1,3 \cdot M_T = 1,3 \cdot 1,0 \cdot \beta \cdot \varepsilon_k \cdot \alpha \cdot B = 6436,8 \text{ kNm}$$

$$\text{Fall 2: } 1,3 \cdot M_T = 1,3 \cdot 1,8 \cdot \beta \cdot \varepsilon_k \cdot \alpha \cdot B = 6436,8 \text{ kNm}$$

Utifrån de olika lastgrupperna som finns i Klassningsberäkningar av vägbroar (1998), se Figur 2.10, uppkommer olika influensvärden, β . Detta gör att boggilasten, B blir olika stora beroende på vilken lastgrupp man studerar. Filfaktor, α antar två olika värden beroende på vilket lastfall man beräknar, se Kapitel 5.3.2.1. Den dynamiska effekten, ε_k antas ha karakteristiskt värde, se Kapitel 5.3.3, under simulationen. Resultaten från simulationen visas i Tabell 5.5.

$$\alpha_{\text{Lastfall 1}} = 1,174$$

$$\alpha_{\text{Lastfall 2}} = 0,983$$

$$\varepsilon_k = 10,1972$$

$$\text{Fall 1: } B = \frac{6436,8}{1,3 \cdot 1,0 \cdot \beta \cdot 1,101972 \cdot \alpha} = \frac{4493,2}{\beta \cdot \alpha}$$

$$\text{Fall 2: } B = \frac{6436,8}{1,3 \cdot 1,8 \cdot \beta \cdot 1,101972 \cdot \alpha} = \frac{2496,22}{\beta \cdot \alpha}$$

Tabell 5.5 Resultat från simulering av boggilaster.

Lastgrupp	β [m]	Fall 1	Fall 2
		B [kN]	B [kN]
B	5,0929	751,5	498,6
C	5,7186	669,3	444,1
D	6,1663	620,7	411,8
E	6,6632	574,4	381,1
F	7,3908	517,8	343,6
G	11,0500	346,4	229,8
H	12,2996	311,2	206,5
I	13,5392	282,7	187,6

Maximalt tillåtet boggitryck enligt Klassningsberäkningar av vägbroar (1998) beräknas till 187,6 kN. Detta resultat kan jämföras med beräkningar av boggitrycket enligt Vägverket (2006b) där resultatet blev 193 kN. Detta visar att beräkningarna av momentkapaciteten för primärbalkarna i denna rapport är mycket trovärdig.

5.3.5 Beräkning av det totala maxmomentet utifrån mätresultaten

I avsnitt 5.3.1 beräknades maxmomentet för trafiklasten som uppstod i det kritiska snitt då de tunga fordonen färdades över facket. Primärbalkens momentpåverkan styrs även av vilken position fordonet har i tvärled, vilket behandlades i Kapitel 5.3.2. Som visats kan fordonets placering antingen ge ett tillskott eller en reduktion av momentet. Även den dynamiska effekten måste beaktas vid beräkningarna vilket behandlas i Kapitel 5.3.3. Genom att slumpmässigt multiplicera de normalfördelade filfaktorerna och den normalfördelade dynamiska effekten med de framräknade maxmomenten i simuleringen, kan ett verkligt belastningsfall beräknas. Simuleringen gjordes för alla fordon indelade efter filer utan hänsyn till antal axlar. Resultatet från den slutgiltiga simuleringen visas i Tabell 5.6.

Tabell 5.6 Simulerat maxmoment, M_{AB} från trafiklasten i det kritiska snittet.

Fil	Maxmoment från trafiklast (M_{AB})	Antal axlar hos fordonet
[-]	[kNm]	[st]
1	2983,2	7
2	1769,3	7
3	1782,3	7
4	3078,6	7

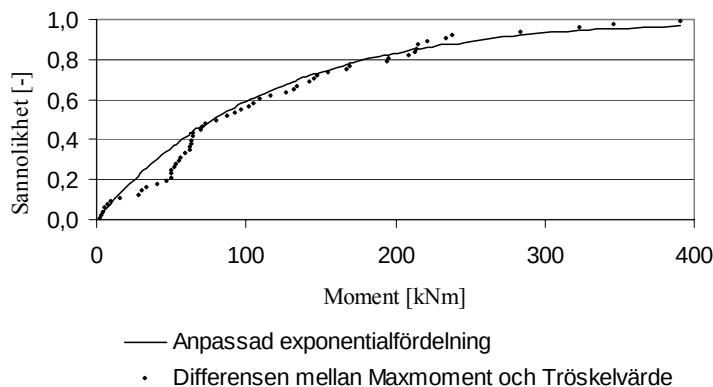
Som tidigare nämnts och även visas i Tabell 5.6 så är det de 7-axliga fordonen som genererar den största momentpåverkan på primärbalkarna. Då denna simulering speglar belastningen på primärbalkarna under en kortare tid krävs en statistisk modell för att visa belastningens fördelning under en längre tidsperiod. Detta behandlas i nästa avsnitt med resultat i detta avsnitt som grund.

5.3.6 Dimensionerande moment

Den mätning som är gjord av Vägverket 2007 sträcker sig över en 8-dagarsperiod. Detta ger ingen rättvis bild över momentpåverkan som uppkommer på primärbalkarna under ett år. Genom att endast studera de tyngsta fordonen och utifrån dessa skapa en statistisk modell som beskriver maxmomentens fördelning under ett år kan de dimensionerande momenten tas fram.

För att bestämma extremvärdesfördelningen för maxmomenten används en metod kallad *Peaks over threshold*. I denna rapport används endast tillvägagångssättet. Metoden beskrivs mer utförligt för trafikklaster i Carlsson (2006).

Metoden innebär att ett lämpligt tröskelvärde väljs och endast de momenten som överskrider tröskelvärdet används i analysen. Oftast används en exponentialfördelning för att approximera differensen mellan de momenten som överskrider tröskelvärdet. Denna approximation för fordonen i fil 1 visas i Figur 5.24. Differensen mellan maxmomentet, M och tröskelvärdet, u kallas ΔM .



Figur 5.24 Passning av exponentialfördelning till differensen mellan maxmoment och tröskelvärde, ΔM för fil 1.

Figur 5.24 visar att differensen mellan momenten och tröskelvärdet kan approximeras med en exponentialfördelning. Nedan beskrivs hur extremvärdesfördelningen för momentet i fil 1 beräknas. Den fullständiga beräkningsgången kommer endast redovisas för denna fil. Resultaten för alla filer visas i Tabell 5.7.

Exponentialfördelning

u = Tröskelvärde [kNm]

n_8 = Antal fordon som överstiger tröskelvärdet u under 8 dagar [st]

n_{365} = Antal fordon som överstiger tröskelvärdet u under 1 år [st]

M = Simulerat maxmoment [kNm]

ΔM = Differensen mellan maxmomentet och tröskelvärdet [kNm]

m = Parameter för den anpassade exponentialfördelningen [kNm]

$$u = 2600 \text{ kNm}$$

$$n_8 = 59 \text{ st}$$

$$n_{365} = \frac{59 \cdot 365}{8} = 2692 \text{ st}$$

$$F \in \text{Exp}(\Delta M) = \text{Exp}(M - u)$$

$$m = 112,3526 \text{ kNm}$$

Parametern för exponentialfördelningen, m används för att bestämma maxmomentens extremvärdesfördelningar. Extremvärdesfördelningen som används i detta fall är en gumbelfördelning, G.

Gumbelfördelning

Gumbelfördelningen har två parametrar:

a = Skalparameter [kNm]

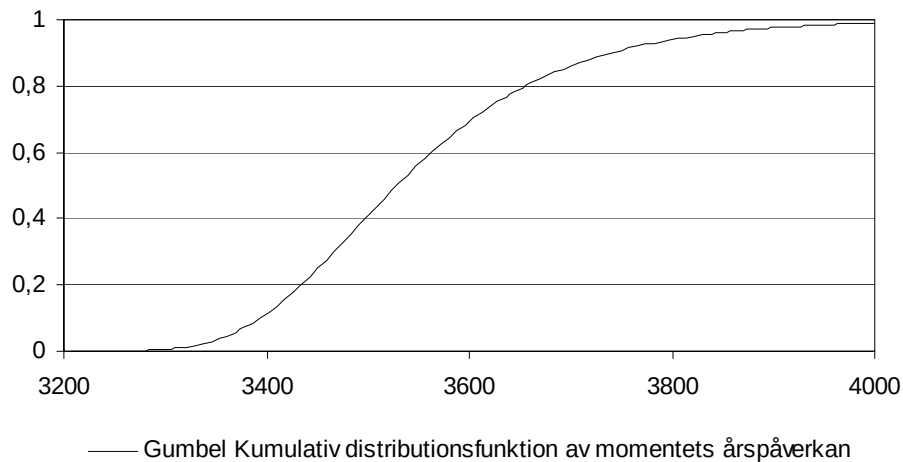
b = Lägesparameter [kNm]

$$a = m = 112,3526$$

$$b = u + m \cdot \ln(n_{365}) = 2600 + 112,3526 \cdot \ln(2692) = 3487,37$$

$$M_{\max} \in G(a, b) = G(112,3526, 3487,37)$$

Resultatet från gumbelfördelningen visas i Figur 5.25



Figur 5.25 Förväntad fördelningsfunktion av maxmomentet under ett år i fil 1.

Tabell 5.7 Ingående parametrar för exponentiell- och gumbelfördelning

	Fil 1	Fil 2	Fil 3	Fil 4
u	2600	1500	1600	2440
n_8	59	26	69	21
m	112,3526	114,9717	62,7028	174,0697
n_{365}	2692	1186	3148	958
a	112,3526	114,9717	62,7028	174,0697
b	3487,37	2313,81	2105,04	3634,96
98 %-fraktilen	3925,8	2762,4	2349,7	4314,2

Vid dimensionering av primärbalken används 98 %-fraktilen av maxmomenten vilket beskriver 50 års-lasten. Utifrån de framtagna 98 %-fraktilerna i Tabell 5.7 kommer momentpåverkan på primärbalken beräknas med fyra olika belastningsfall.

1. Belastningen då 50-årslasten uppkommer i båda filerna samtidigt.
2. Belastningen görs enligt statistisk modell från Carlsson (2006).
3. Belastningen räknas fram då 50-årslasten verkar tillsammans med medelbelastningen.
4. Belastning enligt Bro (2004)

Belastningsfall 1

I det första belastningsfallet används de framtagna värdena från Tabell 5.7. Genom att studera de två filerna i en riktning och addera 98 %-fraktilen av maxmomentet, $M_{\max}$ hos de båda kan momentpåverkan tas fram.

Östlig riktning:

98 %-fraktilen för fil 1: 3925,8 kNm

98 %-fraktilen för fil 2: 2762,4 kNm

$$M_{\max,1-2} = 3925,8 + 2762,4 = 6688,2 \text{ kNm}$$

Västlig riktning:

98 %-fraktilen för fil 3: 2349,7 kNm

98 %-fraktilen för fil 4: 4314,2 kNm

$$M_{\max,3-4} = 2349,7 + 4314,2 = 6663,9 \text{ kNm}$$

$$M_{\max,\text{fall 1}} = 6688,2 \text{ kNm}$$

Belastningsfall 2

Detta belastningsfall behandlar en statistisk modell enligt Carlsson (2006). Carlsson (2006) visar att då den första filen är maxbelastad är belastningen i den andra filen 40 % av maxlasten. Den mest belastade filen i denna rapport är fil 4, enligt Tabell 5.6. Detta maxmoment är framtaget med filfaktor från fil 4, α_4 . För att få den rätta belastningen i fil 3 används medelvärde av filfaktorn för denna fil, α_3 .

Filfaktor fil 3: $\alpha_3 = 0,679$

Filfaktor fil 4: $\alpha_4 = 1,077$

98 % -fraktilen för fil 4: 4314,2 kNm

$$M_{\max,3-4} = 4314,2 + 0,4 \cdot \frac{4314,2}{1,077} \cdot 0,679 = 5402,2 \text{ kNm}$$

$$M_{\max,\text{fall 2}} = 5402,2 \text{ kNm}$$

Belastningsfall 3

I belastningsfall 3 används 98 %-fraktilen tillsammans med det simulerade medelmomentet. De mest belastade filerna är fil 1 i östlig riktning och fil 4 i västlig riktning, enligt Tabell 5.7. Vid beräkningarna används 98 %-fraktilen för dessa filer och medelmomentet för fil 2 och 3. De simulerade maxmomenten.

Östlig riktning:

98 %-fraktilen för fil 1: 3925,8 kNm
Medelmoment för mätningen fil 2: 869,1 kNm

$$M_{\max,1-2} = 3925,8 + 869,1 = 4794,9 \text{ kNm}$$

Västlig riktning:

Medelmoment för mätningen fil 3: 720,4 kNm
98 %-fraktilen för fil 4: 4314,2 kNm

$$M_{\max,3-4} = 720,4 + 4314,2 = 5034,6 \text{ kNm}$$

$$M_{\max,\text{fall 3}} = 5034,6 \text{ kNm}$$

Belastningsfall 4

Enligt Vägverkets norm Bro (2004) belastas brobanan med Ekvivalentlast 1, se Kapitel 2.4.1.

Genom att beräkna de ingående krafter och kraftplaceringar på samma sätt som för de mätta värdena kan maxmomentet enligt Bro (2004) tas fram.

Filfaktorn, α beräknades enligt Bro (2004). Med lastplaceringen i två filer uppkom filfaktorn till $\alpha = 1,0$. Den dynamiska effekten är inräknad i lasterna enligt Bro (2004)

Simulering av Ekvivalentlast typ 1 gav följande resultat:

$$M_{Q_{tp}} = 6193,8 \text{ kNm}$$

Beräkning av utbredd last:

$$M_p = 890,0 \text{ kNm}$$

$$M_{\max,\text{fall 4}} = 6193,8 + 890,0 = 7083,8 \text{ kNm}$$

$$M_{\max,\text{fall 4}} = 7083,8 \text{ kNm}$$

Sammanfattning av belastningsfall

Primärbalkarnas momentkapacitet, $M_R = 10750 \text{ kNm}$, enligt Kapitel 4.3.

I tabell 5.8 redovisas den totala belastningen från de olika belastningsfallen. Resultatet visar att de två belastningsfallen som med störst sannolikhet kan inträffa under brons livslängd klarar sig med god marginal, *belastningsfall 2 och 3*. *Belastningsfall 1*, som är ett extremfall skapade större momentpåverkan än vad bron klarar. Det gav dock mindre moment än *belastningsfall 4* som beskriver lastmodellen enligt Bro (2004).

Tabell 5.8 Resultat från de olika belastningsfallen.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Trafiklast ($M_{\max}$)	6688,2	5402,2	5034,6	7083,8
Egentyngd (M_E)	2920,0	2920,0	2920,0	2920,0
Beläggning (M_B)	1161,0	1161,0	1161,0	1161,0
Totala belastning ($M_{\dim}$)	10769,2	9483,2	9115,6	11164,8

6. Slutsats

I studien visas många goda resultat. Från Sidelägesmetoden kan man utläsa att fordonen har en tendens att röra sig in mot bron mitt i båda riktningar d.v.s. ifrån kantbalken. Detta resulterar i att filfaktorn, α får ett mer gynnsamt värde än med Bro (2004). Liknande resultat gäller de registrerade axelvärdena från B-WIM-mätningarna som visar ett lägre värde än axellasterna i Bro (2004). Tillsammans resulterar detta i en totalt lägre belastning i jämförelse med gällande bronorm.

Studerar man mätresultatet från Sidelägesmetoden mer noggrant kan man se en avvikelse från den normala filplaceringen i den västliga riktningen. Med normal anses att de tunga fordonen mestadels är placerade i det högra körfältet. Fordonsplaceringen i den östliga riktningen följer den normala filplaceringen, d.v.s. den största delen av de tunga fordonen är placerade i högerfilen, fil 1. Axelfördelning visar att de 5-8-axliga fordonen kör mest i det högra körfältet medan de 2-4-axliga fordonen är jämnt fördelade i båda filerna. Den avvikande filplaceringen i den västliga riktningen visar en jämnare fordonsfördelning med ett övertag hos omkörningsfilen, fil 3. Denna fördelning beror på den avfart till Kalmar som finns direkt efter mätstationen. Mesta delen av fordonen går till motorvägen mot Malmö och Norrköping och den resterande mot Kalmar. Skyltningen till avfarten görs innan den mindre bron där mätningen är gjorda vilket gör att fordonen redan är filplacerade där mätningen görs.

För att erhålla bättre mätresultat med Sidelägesmetoden rekommenderas att placera mätstationen uppe på hög- eller låg-brodeln, innan skyltningen. Mätresultatet hade också blivit bättre om de båda metoderna hade varit kopplade till varandra vilket de inte är i nuläget.

Bedömning av momentkapaciteten gentemot det dimensionerande momentet gjordes efter fyra belastningsfall. Resultatet av detta visar att de två belastningsfall som med störst sannolikhet att inträffa under brons livslängd klarar sig med god marginal, *belastningsfall 2 och 3. Belastningsfall 1*, som är ett extremfall skapade större momentpåverkan än vad bron klarar. Det gav dock mindre moment än *belastningsfall 4* som beskriver lastmodellen enligt Bro (2004).

7 Referenser

Böcker

Åkerihandboken (2007). Sveriges åkeriföretag. Åkeriföreningen syd.

Rapporter

Carlsson Fredrik (2006). *Modelling of traffic loads on bridges*. Avdelning för konstruktionsteknik, Lund 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.

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

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

BBK (2004). *Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK 04*. Vällningby, ISBN 91-7147-816-7.

Vejdirektoratet (2004). *Reliability-based classification of the load carrying capacity of existing bridges*. Road Directorate, Rapport 291, ISBN 87-7923-773-8.

Vägverket (2006a). *Trafik på Ölandsbron 2006*, Vägverket Konsult AB, Jönköping.

Vägverket (2006b). Vägverket Konsult AB.

Internet

Vägverket: www.vv.se

Volvo: www.volvo.com

Scania: www.scania.se

Sveriges åkeriföretag: www.akeriforeningen.org