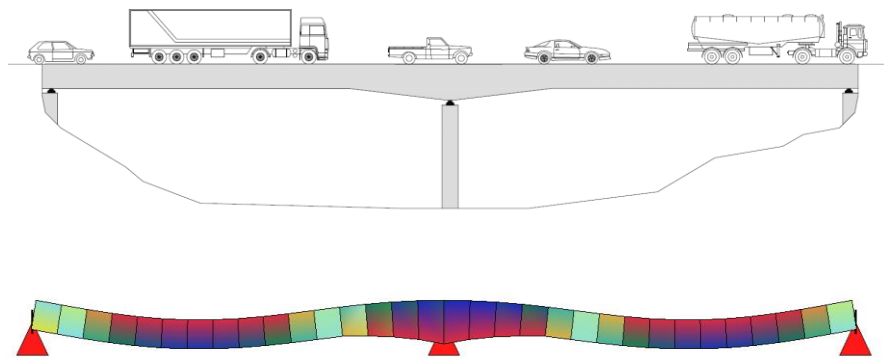


Brokonstruktioner – Lasteffektrelationer av trafiklaster



Rasmus Halling och André Hilvardén

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2013

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Division of Structural Engineering
Faculty of Engineering, LTH
P.O. Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Brokonstruktioner – Lasteffektrelationer av trafiklast

Bridge structures – Load effect relations of traffic loads

Rasmus Halling och André Hilvardén

2013

Rapport TVBK-5227
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-13/5227(112p)

Examensarbete
Handledare: Ivar Björnsson
Maj 2013

Abstract

Load models are used to simulate the effects of traffic when designing road bridges. In Sweden several load models are used; load models from Eurocode (rules that most European countries have in common) and the *Type Vehicle Model*, defined by Trafikverket. Among the Eurocode load models, *Load Model 1* is decisive for most bridges. This master thesis has therefore been limited to comparisons between Load Model 1 and the Type Vehicle Model.

The Type Vehicle Model is more complex than Load Model 1 which yields longer and more demanding analyses. Therefore, it might be economically efficient to exclude the Type Vehicle Model from the design process. This can be done by adjusting Load Model 1 with different factors so that it also covers the effects of the Type Vehicle Model. The purpose of this master thesis has been to determine these factors. The factors indicate the relation in magnitude of the load effects between the two load models, and are referred to as *load effect factors*. The load effect factors vary depending on the mode of the bridge and are determined by comparing load effects from analysis with Load Model 1 and the Type Vehicle Model.

In this master thesis the load effect factors for 448 fictitious bridges, with different modes, have been examined. All analysis has been carried out in a finite element program. Bridge types that have been investigated are composite bridges and concrete beam bridges with a single beam, referred to as single beam bridges. For the analysis the main difference between the two bridge types is that torsional moment is neglected for composite bridges. Total bridge length, number of spans and bridge width have been varied systematically.

Most important conclusions from this report:

- The Type Vehicle Model yielded in most cases larger load effects than Load Model 1.
- The load effect factor could vary heavily with lesser variations of span length.
- For single beam bridges, the relation between bridge width and load effect factor was almost linear. This did not apply for composite bridges.
- To replace the Type Vehicle Model with an adjusted Load Model 1 is not always necessarily economically efficient. The analysis process can become complicated or it could lead to large oversizing.

Key words: *Load Model 1, Type Vehicle Model, load effect factor.*

Sammanfattning

Lastmodeller används för att simulera effekter av trafik vid dimensionering av vägbroar. I Sverige används flera olika lastmodeller; dels lastmodeller i den för Europa gemensamma Eurokoden samt *Typfordonsmodellen*, definierad av Trafikverket. I Eurokoden är *Lastmodell 1* dimensionerande för de flesta broar. Detta arbete har därför begränsats till jämförelser mellan Lastmodell 1 och Typfordonsmodellen.

Typfordonsmodellen är mer komplext uppbyggd jämfört med Lastmodell 1 vilket medför längre och mer krävande analyser. Det är därför ekonomiskt effektivt att utesluta Typfordonsmodellen ur dimensioneringsprocessen. Det kan göras genom att justera Lastmodell 1 med faktorer så att den även täcker in effekterna från Typfordonsmodellen. Syftet med arbetet har varit att ta fram dessa faktorer. Faktorerna anger förhållandet i storleken på lasteffekter mellan de två lastmodellerna och benämns *lasteffektfactorer*. Deras värde varierar beroende på brons verkningsätt och har tagits fram genom att jämföra lasteffekter som erhålls vid analys med Lastmodell 1 och Typfordonsmodellen.

I detta examensarbete har lasteffektfaktorerna undersökts för 448 stycken fiktiva broar med olika verkningsätt. All analys har utförts i ett finita elementprogram. Brotyper som har behandlats är samverkansbro och betongbalkbro med en balk, benämnt enbalksbro. För analysen är den främsta skillnaden mellan de två brotyperna att torsionsmoment försummas för samverkansbroar. Total brolängd, antal spann samt brobredd har varierats systematiskt.

Viktigaste slutsatser för denna rapport:

- Typfordonsmodellen gav i de flesta fall högre lasteffekt än Lastmodell 1.
- Lasteffektfaktorerna kunde variera kraftigt vid mindre variationer av spannlängd.
- För enbalksbroar var sambandet mellan brobredd och lasteffektfaktor nästintill linjärt, vilket dock inte gällde för samverkansbroar.
- Att ersätta Typfordonsmodellen med en justerad Lastmodell 1 behöver inte alltid vara ekonomiskt effektivt. Analysen kan bli komplicerad eller ge stora överdimensioneringar.

Nyckelord: *Typfordonsmodellen, Lastmodell 1, lasteffektfaktor.*

Förord

Denna rapport utgör ett examensarbete på 30 högskolepoäng vid Lund Tekniska Högskola, institutionen för Bygg- och miljöteknologi, avdelningen för Konstruktionsteknik.

Idén initierades av Centerlöf & Holmberg i Malmö, där också arbetet har utförts under vårterminen 2013.

Ett särskilt tack till vår handledare Thomas Kamrad på Centerlöf & Holmberg som har varit till stor hjälp under arbetet.

Vi vill också tacka följande personer för deras bidrag:

Ola Bengtsson, Centerlöf & Holmberg
Ivar Björnsson, Lunds Tekniska Högskola

Rasmus Halling och André Hilvardén
Civilingenjörsprogrammet i Väg- och vattenbyggnad

Lund 2013

Innehåll

Abstract	i
Sammanfattning	iii
Förord.....	v
Beteckningar	ix
Nomenklatur.....	xi
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund och syfte	1
1.2 Avgränsningar	2
1.3 Disposition	2
2 Metodik	3
2.1 Metod	4
2.1.1 Symmetrier.....	4
2.1.2 Verifiering av resultat.....	4
2.1.3 Bearbetning av data.....	4
2.2 Lastmodeller.....	5
2.2.1 Lastmodell 1 – LM1	5
2.2.2 Typfordonsmodellen – TFM	8
2.3 Allmänna förutsättningar för analyserade broar.....	12
2.3.1 Antal spann och spannlängder.....	12
2.3.2 Brolängder.....	12
2.3.3 Brobredder.....	12
2.3.4 Upplagsvillkor.....	13
2.4 Brotyper.....	14
2.4.1 Samverkansbro	14
2.4.2 Betongbalkbro med en balk – Enbalksbro	17
2.5 Finita elementanalys.....	19
2.5.1 Val av finita elementprogram.....	19

2.5.2	Modell och elementindelning	19
2.5.3	Princip för lastplacering	19
2.5.4	Numeriska svårigheter.....	22
2.6	Flödesschema för beräkningar	23
3	Resultat och analys.....	25
3.1	Lasteffekt faktorn relaterad till brobredd och brolängd	26
3.1.1	Samverkansbroar	26
3.1.2	Enbalksbroar	32
3.2	Kritiska lasteffekter (Förklaring till Bilaga 1 och Bilaga 2).....	36
3.2.1	Grundidé och urval av data	36
3.2.2	Förenkling av kritisk lasteffekt för M+	36
3.2.3	Exempel på hur tabell skapas	37
3.2.4	Analys	38
3.3	Användning av lasteffekt faktorer (Förklaring till Bilaga 3 och Bilaga 4)	39
3.3.1	Grundidé och urval av data	39
3.3.2	Exempel på hur tabell skapas	41
3.3.3	Analys	45
4	Diskussion och slutsatser	47
4.1	Slutsatser	47
4.2	Diskussion.....	47
4.3	Framtida studier	49
	Referenser	51

Bilaga 1 – Kritiska lasteffekter. Samverkansbroar.

Bilaga 2 – Kritiska lasteffekter. Enbalksbroar.

Bilaga 3 – Användning av lasteffekt faktorer. Samverkansbroar.

Bilaga 4 – Användning av lasteffekt faktorer. Enbalksbroar.

Bilaga 5 – Flödesscheman.

Bilaga 6 – Definition av typfordon.

Beteckningar

Latinska bokstäver

A	Axellast 180 kN (Typfordonsmodellen)
B	Axellast 300 kN (Typfordonsmodellen)
b	Brobredd [m]
D	Andel av spannlängd i 1/8-delspunkter
F	Lasteffektfaktor. Typfordonsmodellens lasteffekt dividerat med lasteffekt från Lastmodell 1
FF_i	Filfaktor
h	Tvärsnittshöjd [m]
h_f	Tvärsnittshöjd i fält [m]
h_s	Tvärsnittshöjd över stöd [m]
I	Tröghetsmoment [m ⁴]
L_{tot}	Total brolängd [m]
L_i	Längd av spann [m]
LM1	Eurokodens Lastmodell 1
M_+	Positivt böjmoment [kNm]
ΔM_+	Överdimensionering för positivt böjmoment [kNm]
M_{+F}	Positivt böjmoment i fält, mitten av spannet [kNm]
M_-	Negativt böjmoment [kNm]
ΔM_-	Överdimensionering för negativt böjmoment (absolutvärde) [kNm]
M_{-S}	Negativt böjmoment i stöd [kNm]
M_t	Absolutvärde av torsionsmoment [kNm]

ΔM_t	Överdimensionering för absolutvärde av torsionsmoment [kNm]
M_{t_s}	Absolutvärde av torsionsmoment i stöd [kNm]
n_{spann}	Antal spann
Q_i	Axellast [kN]
q_i	Utbredd last [kN/m]
TFM	Typfordonsmodellen.
V	Absolutvärde av tvärkraft [kN]
ΔV	Överdimensionering för absolutvärde av tvärkraft [kN]
V_s	Absolutvärde av tvärkraft i stöd [kN]
w	Total körbanebredd [m]
w_i	Lastfältsbredd [m]

Grekiska bokstäver

α_{Q_i}	Anpassningsfaktor för axellast (Lastmodell 1)
α_{q_i}	Anpassningsfaktor för utbredd last (Lastmodell 1)
ε	Dynamisk faktor (Typfordonsmodellen)

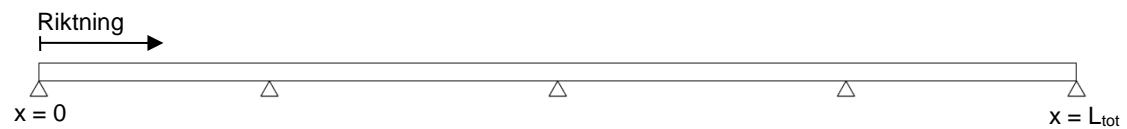
Övriga definitioner

Axellastgrupp	En eller flera axlar (punktlaster) som förekommer tillsammans. Ny axellastgrupp definieras av att avståndet mellan två axlar kan variera. Gäller för Typfordonsmodellen.
Typfordon	Lastgrupp bestående av en eller två axellastgrupper och eventuellt även utbredd last. Det finns totalt 14 st typfordon, betecknade <i>a-n</i> .

Nomenklatur

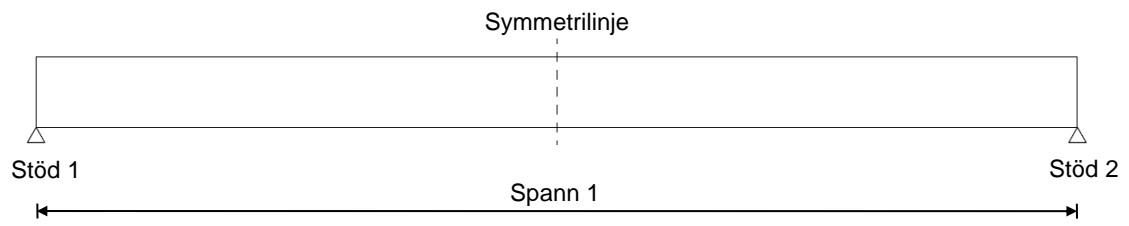
Detta avsnitt visar hur stöd och spann numreras och benämns i rapporten. Broar i 1, 2, 3 samt 4 spann finns redovisade.

Stöd och spann för samtliga broar numreras från vänster.

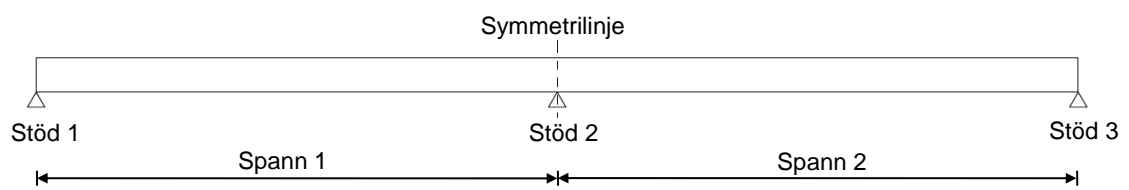


På grund av symmetri redovisas endast resultat längs halva bron. Symmetrilinjen visas i figurerna på nästa sida.

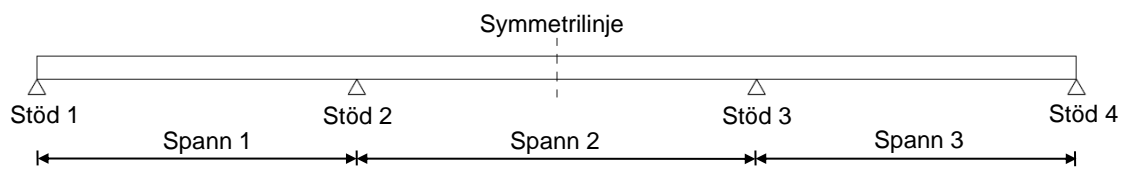
1 spann



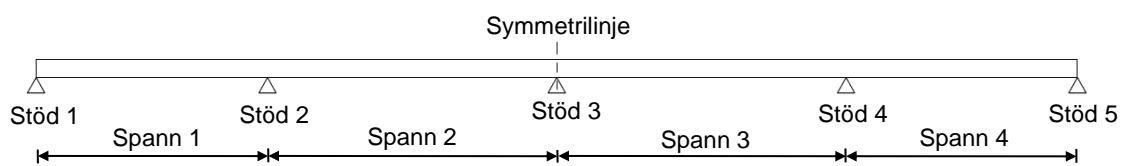
2 spann



3 spann



4 spann



1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Vid dimensionering av vägbroar eftersträvas att göra en säker men samtidigt ekonomisk konstruktion. Förenklade antaganden görs för att motsvara de högsta trafiklasterna som bron sannolikt kommer att utsättas för, vanligen benämnt lastmodeller.

För dimensionering av vägbroar i Sverige används olika lastmodeller; Eurokodens Lastmodell 1 till och med 4 samt den äldre och för Sverige specifika Typfordonsmodellen. Då den senare är mer komplext uppbyggd och därmed kräver längre beräkningstider vid datorsimuleringar är det önskvärt att enbart använda Eurokodens lastmodell (Kamrad. 2013).

Syftet med detta examensarbete har varit att jämföra resultat mellan Typfordonsmodellen, TFM, och Lastmodell 1, LM1. Bortsett från broar med mycket korta spännvidder så är LM1 dimensionerande för Eurokodens lastmodeller vad gäller fordonslast (Kamrad. 2013).

Omräkningsfaktorer som beror på brons verknings sätt har tagits fram. Dessa kan sedan användas för att justera LM1 och därmed ge ett resultatenvelopp som även täcker inverkan av TFM. Genom att minska oekonomiska beräkningstider kan dimensioneringsprocessen effektiviseras.

1.2 Avgränsningar

Rapporten har begränsats till att endast behandla

- jämförelser mellan LM1 och TFM
- karakteristiska laster och lasteffekter
- vertikala laster från fordon
- linjärelastisk statisk analys
- global analys

Avgränsningar har även gjorts för antal spann, total bro längd, bredd, verkningssätt och lagerförhållande.

1.3 Disposition

- Kapitel 2: Metodik. Förklaring av arbetsmetoderna och bearbetning av data, definition av lastmodeller, vilka förutsättningar som gäller för de analyserade broarna samt principer och teori kring hur datorberäkningarna sker.
- Kapitel 3: Resultat. Presentation av exempel på resultat som erhållits. Exempelen ska representera vissa övergripande fenomen. Förklaring ges också till tabeller och resultat som presenteras i Bilaga 1-4.
- Kapitel 4: Diskussion och slutsatser. Listning av viktigaste slutsatser, utvärderar resultat och metoder samt ger förslag på framtida studier.
- Bilaga 1-2: Kritiska lasteffekter. Tabeller som för samtliga analyserade broar anger vilken av lastmodellerna som är dimensionerande för kritiska lasteffekter.
- Bilaga 2-4: Användning av lasteffektfaktor. Tabeller som för samtliga analyserade broar anger maximala lasteffektfaktorer för olika lasteffekter och vilka överdimensioneringar som görs vid justering av LM1 med olika lasteffektfaktorer.
- Bilaga 5. Flödesschema för datorberäkningar.
- Bilaga 6. Definition av typfordonsmodellen.

2 Metodik

- Avsnitt 2.1. Kort förklaring hur arbetet har bedrivits och hur data har hanterats.
- Avsnitt 2.2. Bakgrund och uppbyggnad för de två lastmodellerna, TFM och LM1. Lastvärden och faktorer definieras.
- Avsnitt 2.3 och 2.4. Allmänna förutsättningar för analyserade broar; antal spann, spannlängder, brobredder och upplagsvillkor. Val av brotyper och grundläggande teori om de olika broarnas uppbyggnad samt de förenklingar och anpassningar som görs i datormodellen.
- Avsnitt 2.5. Finita elementanalys; val av beräkningsprogram, elementindelning och lastplacering.
- Avsnitt 2.6. Principiellt flödesschema för hur datorberäkningarna är uppbyggda. (Förklaring till Bilaga 5)

2.1 Metod

2.1.1 Symmetrier

Samtliga analyserade broar är symmetriska runt mittpunkten, se Nomenklatur, vilket utnyttjas då endast resultat för halva längden av bron har iakttagits.

2.1.2 Verifiering av resultat

Där verifiering genom handberäkningar anses praktiskt möjligt har detta utförts, vilket framförallt gäller LM1 för broar i ett spann. I övrigt har simuleringarna verifierats av en fristående modell i finita elementprogrammet SOFiSTiK som används på Centerlöf & Holmberg. Viss verifiering har också skett i beräkningsprogrammet Strip Step 2, som också används på företaget.

2.1.3 Bearbetning av data

Fokus har legat på förhållandet av lasteffekter mellan LM1 och TFM, alltså lasteffektfaktorerna, och inte på faktiska lasteffektsvärden.

Faktorerna har jämförts på två olika sätt;

- i en viss punkt på flera broar, se exempelvis Figur 3.1.
- längs hela längden för en bro, se exempelvis Figur 3.17.

Endast ett fåtal diagram av ovanstående principer presenteras i denna rapport.

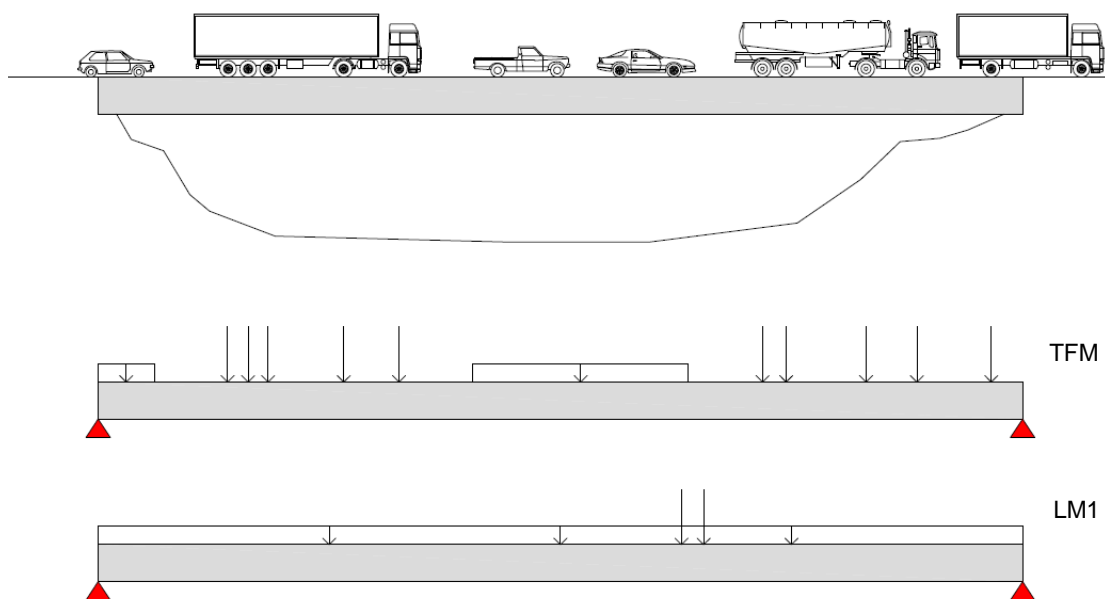
Från beräkningar i SOFiSTiK har data erhållits i tabellform för de olika lasteffekterna i valda punkter längs bron. All data har lagts in i mallar skapade i Excel där all faktoruträkning har skett och diagram har skapats.

Redovisningen av resultat sker i tabeller och i diagram.

2.2 Lastmodeller

De två lastmodeller som beskrivs nedan är LM1, samt TFM. Det är dessa två modeller som har använts vid den numeriska analysen i detta arbete.

Gemensamt för de två lastmodellerna är att de baseras på mätningar av verkliga trafiklaster och är utformade för att ge ungefär samma effekter på bron som verklig trafik. LM1 är inte utformad för att efterlikna verkliga fordon, men ska ge ungefär samma lasteffekter. TFM ska efterlikna verkliga tunga fordon och fordonståg. En princip över hur de två lastmodellerna är uppbyggda visas i Figur 2.1. Punktlasterna i LM1 ska till skillnad från punktlasterna i TFM inte representera verkliga axellaster från tunga fordon. Mer information om de två lastmodellerna finns i avsnitt 2.2.1 respektive 2.2.2.



Figur 2.1. Princip för hur de två lastmodellerna är utformade.

Fördelen med LM1 är att den är enkelt utformad vilket innebär mindre tidskrävande beräkningar jämfört med TFM som är mer komplicerat uppbyggd. På grund av den enkla utformningen av LM1 täcker den inte in lika många möjliga lastfall som TFM.

2.2.1 Lastmodell 1 – LM1

I detta avsnitt beskrivs kort LM1. För mer ingående information hänvisas till SS-EN 1991-2:2003, Kapitel 4. De lastmodeller som Eurokod definierar, LM1-4 gäller för broar med en belastad längd på maximalt 200 m. Belastade längder som är större än 200 m anses i allmänhet ge resultat på säkra sidan (SS-EN 1991-2:2003, 4.1). I Sverige används även en speciell lastmodell för spännvidder >200 m (TRV Publ. 2011:85, B.3.2.1.3.b)

2.2.1.1 Bakgrund

Mellan 1986-87 gjordes mätningar på verklig trafik i ett flertal europeiska länder. Mätningarna gav liknande resultat oavsett land, en följd av att mycket trafik är internationell och att utformningen av lastfordon är samma (Calgaro. 1998). Insamlad data användes för att skapa lastmodellerna i ENV 1991-3, vilken var en föregångare till de senare Eurokodstandarderna (Calgaro. 1998).

LM1 och LM2 utformades för att på ett noggrant sätt motsvara effekterna från verklig trafik. Vid kalibreringarna användes framförallt data från motorväg A6 nära Auxerre, Frankrike. Slutsatsen var att den bäst lämpade modellen innehöll utbredd last kombinerad med punktlaster. I ett tidigt stadium valdes magnituden av den utbredda lasten som en funktion av den belastade längden. Detta togs dock bort för att det skulle bli lättare att använda modellen. (Calgaro. 1998).

2.2.1.2 Lastfält

Brons körbana, med bredden w , delas in i lastfält där lasterna placeras för att uppnå mest ogynnsam lasteffekt. Lastfälten, med bredden w_i , är fiktiva fordonsfiler. I Tabell 2.1 framgår hur Eurokodens lastfältsindelning görs.

Tabell 2.1. Lastfältsindelning av körbana (SS-EN 1991-2:2003, Tabell 4.1).

Körbanebredd w	Antal lastfält	Bredd på ett lastfält w_i	Återstående ytans bredd
$w < 5,4$ m	$n_1 = 1$	3 m	$w - 3$ m
$5,4$ m $\leq w < 6$ m	$n_1 = 2$	$\frac{w}{2}$	0
6 m $\leq w$	$n_1 = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_1$
ANM Exempel. För en körbana med bredden lika med 11m, $n_1 = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 3$, och den återstående ytans bredd blir $11 - 3 \times 3 = 2$ m.			

Det lastfält där lasten ger den mest ogynnsamma effekten tilldelas nummer 1. Lastfält nummer 2 gäller där näst mest ogynnsam effekt uppnås och så vidare.



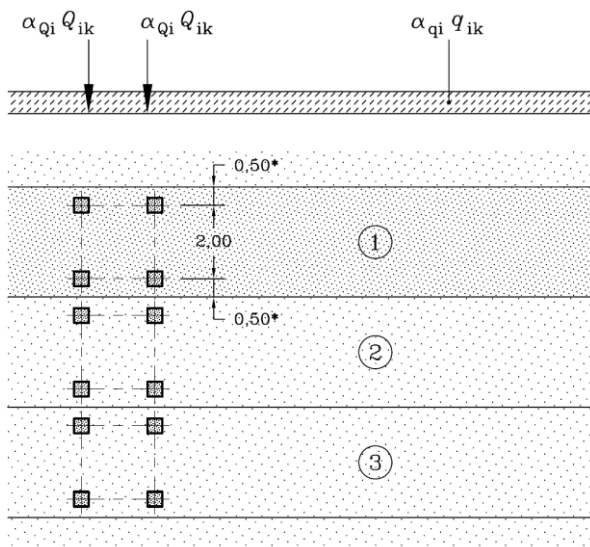
Figur 2.2. Numrering av lastfält. I detta exempel numreras lastfälten 1-3 medan den återstående ytan är nr. 4 (SS-EN 1991-2:2003, Figur 4.1).

2.2.1.3 Uppbyggnad

LM1 ska inte, till skillnad från TFM, efterlikna verkliga fordon. LM1 ska dock ge liknande effekter som verkliga fordon. LM1 består av en utbredd last kombinerad med boggilaster, vilka består av två hjulaxlar. I varje lastfält kan endast en boggi förekomma medan den utbredda lasten placeras på de ställen där den ger ogynnsam effekt. Utbredd last och boggilast kan överlappa varandra.

För globala beräkningar placeras boggierna centrerade i lastfälten enligt Figur 2.3. Detta innebär att de aldrig kommer närmare än 1 meter ifrån varandra i tvärlängd. För lokal analys tillåts detta avstånd minska till 0,5 m (SS-EN 1991-2:2003, 4.3). Lokal analys har inte behandlats i detta examensarbete.

Observera att i Sverige är boggilasten i tredje lastfältet försummad eftersom anpassningsfaktorn $\alpha = 0$, se avsnitt 2.2.1.4.



Figur 2.3. Detaljer för lastmodell 1 (SS-EN 1991-2:2003, Figur 4.2a). För värden, se Tabell 2.2. Karakteristiska värden på laster inklusive dynamiskt tillskott.

*) gäller för lastfältsbredd $w_l = 3,00$ m.

2.2.1.4 Lastvärden

Storleken på lasterna framgår av Tabell 2.2. Dessa ska multipliceras med anpassningsfaktorer, α , se Tabell 2.3.

Tabell 2.2. Karakteristiska värden på laster inklusive dynamiskt tillskott (SS-EN 1991-2:2003, Tabell 4.2).

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

Den verkliga trafikbelastningen kan skilja sig åt mellan olika broar i form av intensitet, trafikens sammansättning, sannolikhet för mycket tunga fordon och så vidare (SS-EN 1991-2:2003, 4.2.2). Hänsyn till detta tas genom så kallade anpassningsfaktorer, α . De betecknas α_Q för boggisystem samt α_q för jämnt utbredd last. (SS-EN 1991-2:2003, 4.3.2). Aktuella värden väljs enligt Tabell 2.3. Faktorerna är nationella val.

Tabell 2.3. Anpassningsfaktorer för LM1 (TRVFS 2011:12, 6 kap. 3 §).

Anpassningsfaktor	Värde
α_{Q1}	0,9
α_{Q2}	0,9
α_{Q3}	0
α_{q1}	0,7
α_{q2}	1,0 för $i > 1$
α_{q3}	1,0

2.2.2 Typfordonsmodellen – TFM

2.2.2.1 Bakgrund

Punktlasterna i typfordonen ska representera axellaster från verkliga tunga fordon som kör på Sveriges vägar. Typfordonen tillkom på 1990-talet och utformades efter Trafikförordningens EU-regler (SFS 1998:1276) samt diskussioner med Volvo och Scania (Ronnebrant. 2013). Kontakt har tagits med både Volvo och Scania men de har inte haft tillgång till relevant information gällande framtagningen av TFM.

Vid framtagningen av de olika fordonen i lastmodellen gjordes omfattande tvådimensionella beräkningar för balkelement i längdled och vissa beräkningar i tvärlängd, framförallt för farbanekonsol. Beräkningarna utfördes av externa konsulter på uppdrag av dåvarande Vägverket (Ronnebrant. 2013). Detta arbete har inte publicerats av Trafikverket och finns inte tillgängligt.

Stora och omfattande mätningar av verklig trafik har gjorts vid två tillfällen i Sverige, dels i början på 1990-talet samt 2002-2003 (Carlsson. 2006, 5.1). Vid trafiklastmätningarna i

Sverige 2002-2003 förekom relativt ofta fordon som överskred de maximalt tillåtna vikterna enligt Vägverkets då gällande bestämmelser för vägar i Bärighetsklass 1, BK1. Det kan förklaras av extra tunga fordon som har fått tillstånd att färdas på vägen eller olaglig överträdelse, alternativt mätfel (Carlsson. 2006, 5.6).

2.2.2.2 Lastfält

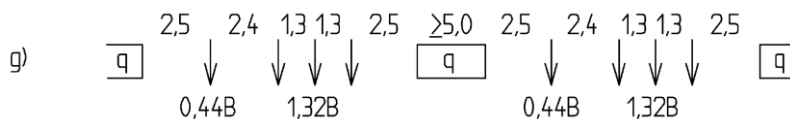
För TFM gäller samma lastfältsindelning i tvärled som för LM1 (VV Publ. 2009:61, 2.3.2.2.1). Varje lastfält är 3 meter brett, se även avsnitt 2.2.1.2.

Antalet lastfält med typfordon, alltså punktlaster och utbredd last (se även Bilaga 6) är högst 2. Övriga ytor belastas enbart med en utbredd last (VV Publ. 2009:61, 2.3.2.2.1). Samma källa anger också att antalet lastfält är högst 4 men detta motsägs av TRVFS 2011:12 (6 kap. 3 §), där ingen begränsning av antal lastfält anges. För att inte riskera att underskatta TFM:s lasteffekter har därför det totala antalet belastade lastfält valts till samma som för LM1, se även Tabell 2.1.

2.2.2.3 Uppbyggnad

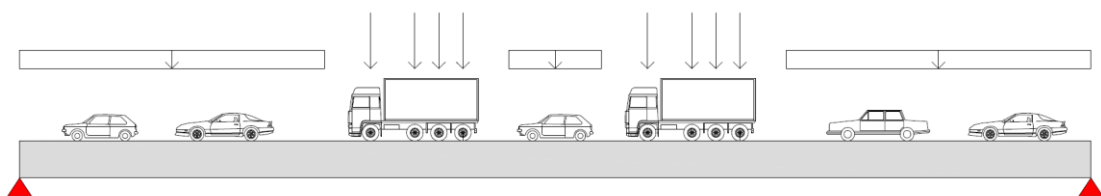
TFM är uppbyggd av punktlaster och utbredda laster. Typfordon, alltså lastgrupper bestående av punktlaster och eventuellt även utbredd last förekommer enbart i två lastfält. Den utbredda lasten i övriga lastfält benämns inte typfordon även om den ingår i TFM.

Ett specifikt typfordon kan representera ett eller flera verkliga fordon. Generellt representerar punktlaster axellaster från tyngre fordon medan de utbredda lasterna ska simulera lättare trafik. Punktlaster och de utbredda lasterna överlappar aldrig varandra vilket är fallet i LM1. Ett typfordon, i detta fall typfordon g, kan se ut som i Figur 2.4.



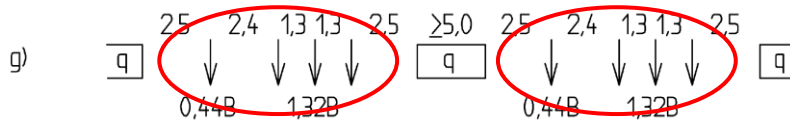
Figur 2.4. Exempel på typfordon (TRVFS 2011:12, Bilaga 3)

Typfordon g tolkas lämpligen som två tyngre lastbilar med lättare fordonstrafik mitt emellan, före samt efter. Axellasterna, i detta fall punktlaster, har i beräkningarna delats upp i två i tvärled parallella punktlaster för att representera enskilda hjul. En principbild på hur typfordon g tolkas visas i Figur 2.5.



Figur 2.5. Tolkning av typfordon g. Exempel gäller bro i ett spann.

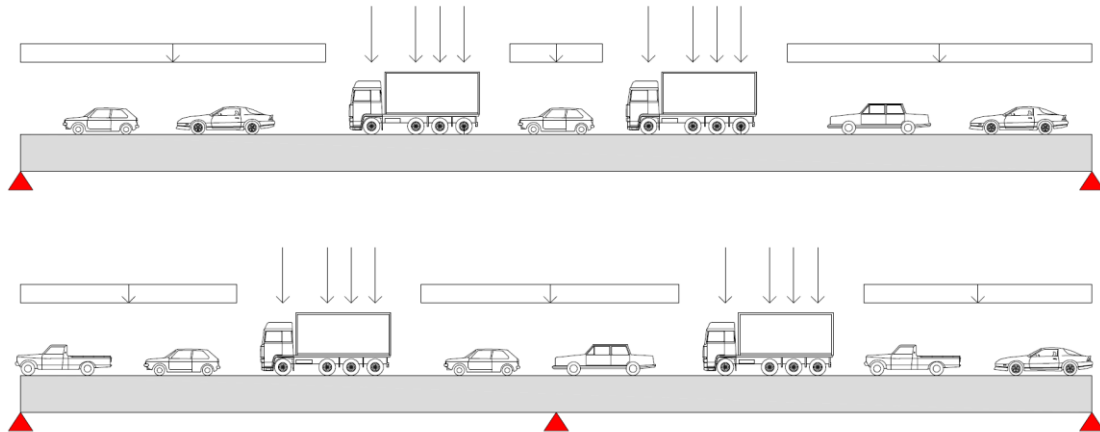
En axellastgrupp definieras i denna rapport som en eller flera punktlaster med låst avstånd emellan. För exemplet typfordon g finns alltså två axellastgrupper i modellen, se Figur 2.6.



Figur 2.6. Typfordon g med markerade axellastgrupper.

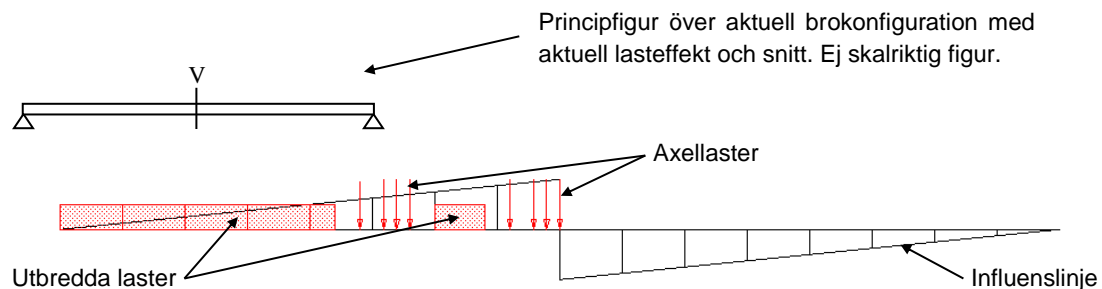
Avståndet mellan axellastgrupper i TFM kan variera. I exemplet i Figur 2.4 representeras avståndet av en utbredd last q. Det variabla avståndet innebär numeriska svårigheter, se avsnitt 2.5.4.

För enspannsbroar blir dimensionerande lastfall för M+ och V då typfordonens axlar placeras så nära varandra som möjligt, medan axelavstånden kan variera för flerspannsbroar; influensdiagrammens utseende styr lastplaceringen. I Figur 2.7 visas ett exempel hur TFM kan separera axellastgrupper. Separering av punktlaster kan inte göras i LM1.

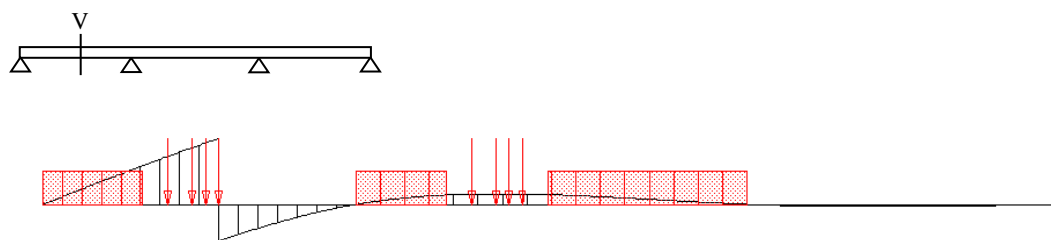


Figur 2.7. Typfordon g för broar med 1 respektive 2 spann. Separering av axellastgrupper.

I Figur 2.8 och Figur 2.9 illustreras principen med två andra exempel för typfordon g. Lastplaceringar är anpassade efter brons influensdiagram. I Figur 2.8 placeras axellastgrupperna så nära varandra som möjligt medan de i Figur 2.9 separeras för att uppnå maximal lasteffekt för V.



Figur 2.8. Lastplacering typfordon g för maximal tvärkraft i fältmitt. Samverkansbro, 1 spann, L_{tot} 100 m.



Figur 2.9. Lastplacering typfordon g för maximal tvärkraft i fältmitt i första spannet. Samverkansbro, 3 spann, L_{tot} 100 m.

Observera att den utbredda lasten i Figur 2.9 ej medräknas då dess inverkan annars skulle vara gynnsam. Detta sker till höger om snittet i spann 1 och för hela spann 3. Denna princip används även för LM1.

Det finns 14 typfordon specificerade i TRVFS 2011:12, betecknade $a-n$, se Bilaga 6. När typfordonen introducerades på 1990-talet fanns inte typfordon m och n med. De har tillkommit senare i lastmodellen, något som dock inte beror på att nya fordon finns på de svenska vägarna (Ronnebrant. 2013).

Förutom lastplaceringen i längdled så är även avståndet mellan hjulen i tvärled varierande för TFM. Det finns två centriska hjulavstånd definierade; 1,7 respektive 2,3 m. För globala beräkningar i balkbroar har axelbredden ingen betydelse och det sätts därför till 2 m, samma som för LM1.

I SFS 1998:1276 anges övre gränser på axellaster, beroende på avståndet mellan axlarna. I förordningen definieras bland annat tvåaxliga fordon med axelavstånd 1 och 1,3 m samt treaxliga fordon med axelavstånd 2,6. Denna uppbyggnad återfinns även i TFM vilken alltså baseras på dessa bestämmelser.

2.2.2.4 Lastvärden

Storlek på typfordonslasterna, för bärverksdimensionering, visas i Tabell 2.4. Lasterna sätts till 0 då placering är gynnsam. Lasterna ska multipliceras med ett dynamiskt tillskott, ε , och sätts till $\varepsilon = 1.2$ (TRVFS 2011:12, 6 kap. 3 §). Värdet motsvarar kravet för bärverksdimensionering.

Tabell 2.4. TFM. Storlek på axellasterna A och B samt den utbredda lasten q (TRVFS 2011:12, 6 kap. 3 §). Möjliga konfigurationer på axlarna finns i Bilaga 6.

Bet.	Enhet	Storlek
A	kN	180
B	kN	300
q	kN/m	5

Vissa typfordon är tyngre än de tyngsta tillåtna fordonen på Sveriges vägar. En väg med högst hållfasthet, bärighetsklass 1, tillåter som tyngst 60 ton i bruttovikt för ett fordon. Detta gäller för fordon med 18 m eller längre mellan första och sista axel (SFS 1998:1276). Jämförelse med motsvarande typfordon ger en tyngd på 99 ton.

2.3 Allmänna förutsättningar för analyserade broar

Totalt har 448 analyserats broar i denna rapport; hälften samverkansbroar, hälften enbalksbroar.

2.3.1 Antal spann och spannlängder

Broar med 1, 2, 3 och 4 spann har analyserats. Vid fler än två spann har sidospännens längd valts till 80 % av innerspännens (VV Publ. 1996:63, avsnitt 6.6 Balkbroar). Det ger förhållanden mellan spannlängder som presenteras i Tabell 2.5.

Tabell 2.5. Olika spannlängders andel av total brolängd.

Antal spann	Spann 1	Spann 2	Spann 3	Spann 4
1	1,00	-	-	-
2	0,50	0,50	-	-
3	0,31	0,38	0,31	-
4	0,22	0,28	0,28	0,22

2.3.2 Brolängder

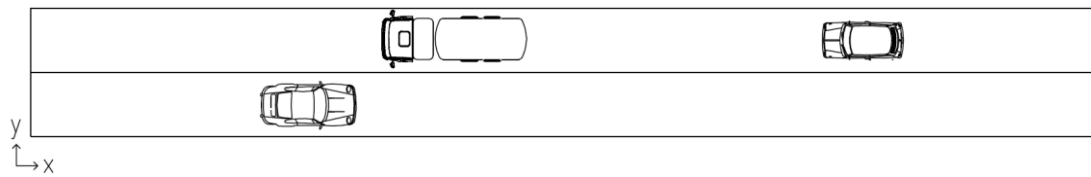
Vilka längder som har studerats beror på antal spann. Listan nedan anger total brolängd och gäller för både samverkansbro och enbalksbro.

- 1 spann: 10-50 m (5 m intervall), 50-100 m (10 m intervall).
- 2 spann: 20-100 m (10 m intervall), 100-200 m (20 m intervall).
- 3 spann: 30-150 m (15 m intervall), 150-300 m (30 m intervall).
- 4 spann: 40-200 m (20 m intervall), 200-400 m (40 m intervall).

2.3.3 Brobredder

Enligt de trafiklastmodeller som används definieras en hel filbredd till 3 meter, se även 2.2.1.2 och 2.2.2.2. För att få rimliga brobredder och samtidigt passa in hela filer har brobredderna valts till multipler av 3, alltså 6, 9, 12 och 15 m. Utrymme för kantbalk, räcken med mera har försumrats. Motsvarande verkliga broar är därför något bredare, men då endast trafiklast har analyserats så har denna skillnad ingen påverkan på resultatet. Broar med resterande farbanbredd som är mindre än en hel filbredd har inte analyserats i detta arbete.

2.3.4 Upplagsvillkor

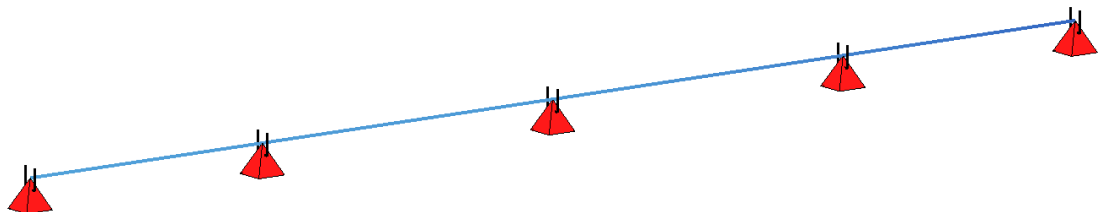


Figur 2.10. Koordinatsystem.

Som förenkling har samtliga upplag modellerats som fixa. De är låsta för translation i bronns vertikalkomponent (z), tvärriktning (y) samt längsriktning (x). Koordinatsystem visas i Figur 2.10. En mer verklig modell av upplagsvillkoren kan vara att modellera endast ett upplag som fast och övriga fria för translation i längdled. Då inga horisontala laster har ingått i detta arbete och endast linjär analys av första ordningen har utförts så blir dock resultatet samma oavsett vilket val som görs.

För att inte få instabilitet bör ändupplagen låsas för rotation kring bronns längdaxel. I finita elementmodellen har samtliga modellerats som gaffelupplag, det vill säga att ingen rotation kan ske kring längdaxeln. Låsningen runt x-axeln motsvarar två eller fler i tvärled parallella upplag. I verkligheten är det inte orealistiskt att broar är låsta för rotation kring längdaxeln vid alla upplag.

För enbalksbroar har analys skett av torsionsmoment. En följd av ovanstående val, att modellera samtliga upplag som gaffelupplag, blir att torsionsmomentet är mindre i ändstöd och större vid mellanstöd. Exempel på hur upplagen modelleras i SOFiSTiK ges i Figur 2.11.



Figur 2.11. Upplagsvillkor. Gaffelupplag för samtliga upplag. Samtliga upplag låsta för translation i x-, y-, och z-riktning samt rotation kring x-axeln. Linjen mellan stöden representerar bronns centrumlinje.

2.4 Brotyper

De brotyper som har analyserats baseras på de vanligare vägbroarna i Sverige.

Två typer av balkbroar har analyseras;

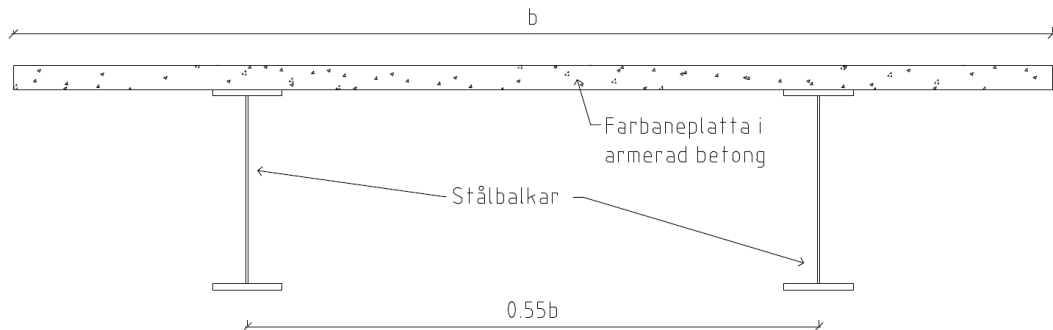
- Samverkansbro
- Betongbalkbro med en balk – enbalksbro

För analysen finns framförallt två skillnader mellan dessa brotyper. För enbalksbro tas hänsyn till vridmoment medan det försummas för samverkansbro, vilket gör att filfaktorer medräknas, se avsnitt 2.4.1.3. Filfaktorer används inte i analys av enbalksbro.

2.4.1 Samverkansbro

2.4.1.1 Geometri

En samverkansbro består av två eller flera stålbeaklar som bär upp en farbaneplatta i armerad betong. Plattan är fäst i ovankant av stålbeaklen med ingjutna svetsbultar och förhindrar därmed glidning vilket gör att materialen kan samverka, därav namnet på brotypen. Detta examensarbete behandlar samverkansbroar med två stålbeaklar med centrumavståndet $0,55b$, se Figur 2.12.



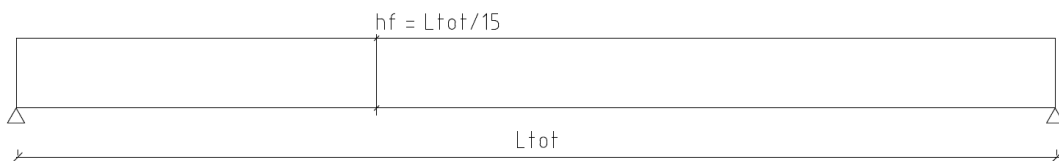
Figur 2.12. Princip för tvärsnitt av samverkansbro.

I SOFiSTiK har en förenklad modell av samverkansbron gjorts där den simuleras som ett massivt betongtvärsnitt med bredden samma som vald brobredd, se Figur 2.13. Att modellera ett komplett samverkansbrottvärsnitt för varje enskild bro är mycket tidskrävande, och kräver mer beräkningstid. Eftersom endast lasteffekten för den mest belastade beaklen är av intresse kan det simuleras med filfaktorerna, se avsnitt 2.4.1.3. Den modellerade bron motsvarar då enbart en av stålbeakarna.



Figur 2.13. Förenklat tvärsnitt för samverkansbro.

För att efterlikna verkliga broar så har tvärsnittshöjden ansatts olika beroende på hur många spann bron har och var längs bron tvärsnittet befinner sig. För broar i ett spann har tvärsnittshöjden satts till $L/15$ i hela spannet (Bengtsson. 2013), se Figur 2.14.



Figur 2.14. Samverkansbro i 1 spann.

Vid flerspannsbroar utsätts den överliggande farbaneplattan för dragspänningar vid negativa momentpåkänningar över stöd vilket medför att betongen spricker. För att simulera detta fenomen har tvärsnittets styvhet, tröghetsmomentet I , minskats till 75 % över stöd (Bengtsson. 2013). Skillnaden i styvhet påverkar lastfördelningen mellan bronns olika delar. Anpassningen har gjorts genom att höjden över stöd, h_s , blir ungefär 91 % av höjden i fält, h_f . Detta betyder att

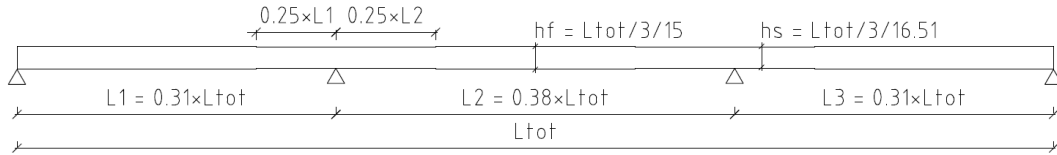
$$h_s \approx L_{tot}/n_{spann}/16.51$$

För övriga tvärsnittshöjder längs bron har värdet ansatts till

$$h_f = L_{tot}/n_{spann} /15$$

På grund av varierande spannlängd blir följden av ovanstående val att tvärsnittshöjd för flerspannsbroar relaterar till total brolängd och antal spann istället för faktisk spannlängd. I sidospänn blir $h_f > L_i/15$ och för innerspänn blir $h_f < L_i/15$. Detta är en förenkling för att få färre antal olika tvärsnitt.

Uppsprickningen har vidare antagits ske på ett område $1/4$ av spannlängden på vardera sidan av mittstöd (Bengtsson. 2013). Det ger utseendet som i exemplet i Figur 2.15. På grund av problem i finita elementanalysen har tvärsnittets höjd justerats i både överkant och underkant för att få en centrisk variation längs bron. Denna variation innebär endast en estetisk olikhet med en verklig bro och har ingen betydelse för slutresultatet.



Figur 2.15. Samverkansbro i 3 spann.

2.4.1.2 Lasteffekter

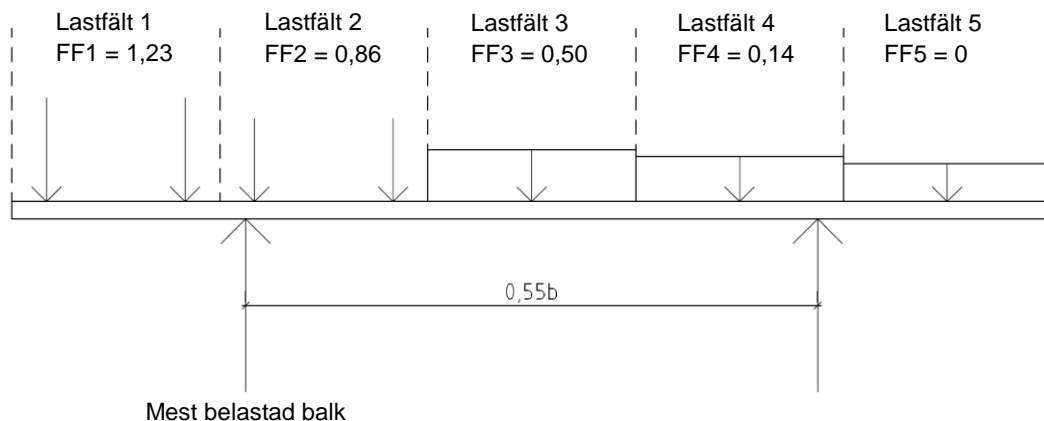
Lasteffekter som har analyserats är:

- Positivt böjmoment, $M+$
- Absolutvärde av tvärkraft, V
- Negativt böjmoment, $M-$ (endast för flerspanssbroar)

Vridstyvhet i tvärlid har försumrats för samverkansbroar då inget torsionsmoment antas föras över från farbanepattan till stålbalkarna.

2.4.1.3 Filfaktorer

Eftersom vridstyvhet i tvärlid försummas kan filfaktorerna enkelt räknas fram med handberäkningar. Filfaktorer anger hur stor del av överliggande last som belastar respektive balk. Dessa faktorer beror på möjlig lastplacering, antal balkar och deras inbördes avstånd. Då vridstyvhet försummas i tvärlid medräknas större lasteffekt än vad som faktiskt belastar balkarna och resultatet är därför på säkra sidan. Filfaktorerna används för att räkna om lasteffekter för att simulera en lastplacering i sidled som ger maximala lasteffekter på en av balkarna, se Figur 2.16. Maximal belastning kan ske på båda balkar och är symmetrisk, men kan inte ske samtidigt.



Figur 2.16. Princip för filfaktorer. Brobredd 15 m. Lastfältsbredd 3 m.

$$\text{Last i mest belastad balk} = FF1 * \sum(\text{last i fält 1}) + FF2 * \sum(\text{last i fält 2}) + \dots + FF5 * \sum(\text{last i fält 5}).$$

I Tabell 2.6 redovisas de filfaktorer som ingår i analysen och som är beroende av antal filer som får plats på bron. Filfaktorer med negativt värde ger positiv effekt. De har tilldelats värdet 0.

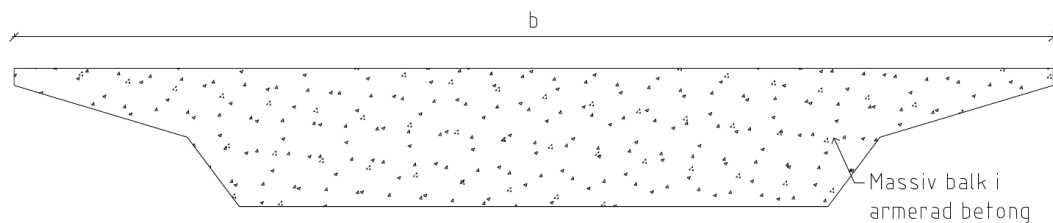
Tabell 2.7. Filfaktorer, FF , för olika brobredder. Filfaktorerna gäller enbart för den mest belastade balken. $FF1$ gäller belastning från lastfält 1, $FF2$ från lastfält 2 och så vidare, alltså både för axellaster och utbredd last. Negativa filfaktorer har satts till 0 då de annars skulle ha en gynnsam inverkan.

Bredd [m]	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5
6	0,95	0,05	-	-	-
9	1,11	0,50	0	-	-
12	1,18	0,73	0,27	0	-
15	1,23	0,86	0,50	0,14	0

2.4.2 Betongbalkbro med en balk – Enbalksbro

2.4.2.1 Geometri

Betongbalkbro benämns i denna rapport enbalksbro. Brotypen består av en massiv balk i armerad betong. Ofta finns konsoler längs kanterna, se Figur 2.17.



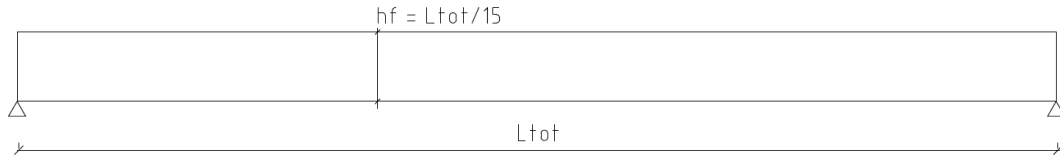
Figur 2.17. Princip för tvärsnitt av enbalksbro.

I SOFiSTiK har dock utseendet på brotypen förenklats och har modellerats med ett rektangulärt tvärsnitt, se Figur 2.18.



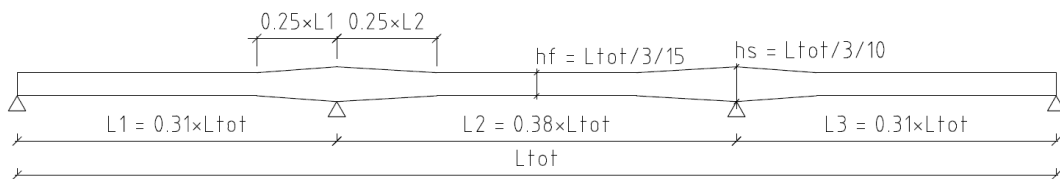
Figur 2.18. Förenklat tvärsnitt för enbalksbro.

För broar i ett spann är det ingen skillnad mellan samverkansbro och enbalksbro vad gäller modelleringen i SOFiSTiK. Precis som för samverkansbro har tvärsnittshöjden satts till $L_{tot}/15$ för hela spannet (Bengtsson. 2013).



Figur 2.19. Enbalksbro i 1 spann.

För att efterlika verkliga enbalksbroar i flera spann så har ett större tvärsnitt modelleras vid stöd i relation till fältets tvärsnitt (vot). Längs sträckan 1/4 av spannlängden på vardera sidan av mittstöd förändras tvärsnittets höjd linjärt (Bengtsson. 2013). Över stöd har tvärsnittshöjden satts till $L_{tot}/n_{spann}/10$. Skillnaden i styvhet påverkar lastfördelningen mellan bronns olika delar. Exempel finns redovisat i Figur 2.20. Förhållandena mellan spannlängder är samma som för samverkansbroar. I verkligheten görs voten nedåt och överkanten förblir plan. På grund av analysvårigheter i SOFiSTiK har dock bron utformats som i Figur 2.20, där överkanten inte förblir plan som i verkligheten. Den totala tvärsnittshöjden förblir samma oavsett hur voten görs. Denna variation innebär endast en estetisk olikhet med en verklig bro och har ingen betydelse för slutresultatet.



Figur 2.20. Enbalksbro i 3 spann.

2.4.2.2 Lasteffekter

Lasteffekter som har analyserats är:

- Positivt böjmoment, $M+$
- Absolutvärde av tvärkraft, V
- Absolutvärde av torsionsmoment, M_t
- Negativt böjmoment, $M-$ (endast för flerspanssbroar)

2.4.2.3 Filfaktorer

Filfaktorer för enbalksbro behöver inte beaktas då bron endast består av en balk.

2.5 Finita elementanalys

2.5.1 Val av finita elementprogram

Samtliga beräkningar har gjorts i ett finita elementprogram, i detta fall SOFiSTiK som är ett kraftfullt verktyg för modellering och analys av finita elementmodeller. Programmet erbjuder både grafiskt och textbaserat gränssnitt. Arbete i grafiskt läge görs i SOFiPLUS, som är ett AutoCAD-baserat program med anpassade verktyg. Arbete som utförs i SOFiPLUS kan exporteras till SOFiSTiK Structural Desktop (SSD) för textbaserat fortsatt arbete. Vid komplicerade geometrier är det fördelaktigt att skapa en geometrisk modell i SOFiPLUS och hantera lastapplicering och analys i SSD. Vid enklare geometrier är det relativt enkelt att utföra allt arbete i SSD. I detta examensarbete har enbart SSD använts.

Från SOFiSTiK kan data exporteras till Excel för vidare arbete.

2.5.2 Modell och elementindelning

I SOFiSTiK har en 3D-modell av balkelement modellerats. Varje spann av bron har delats in i 16 lika långa balkelement. Indelningen är en kompromiss mellan att få en relativt noggrann beräkning och begränsad beräkningstid. Indelning i 16 element möjliggör också ett enkelt studerande av mittpunkt, 1/4-delspunkt, 1/8-delspunkt och så vidare. Elementen har indexerats logiskt för att underlätta hantering av många element.

2.5.3 Princip för lastplacering

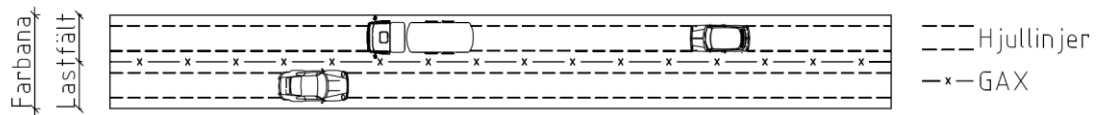
Alla beräkningar gäller global analys och ingen lokal analys har utförts; alltså har ingen hänsyn tagits till hjultryckens utbredning i balkmodellerna. Vad gäller lastapplicering har samtliga axellaster behandlats som punktlaster och utbredd last som linjelaster.

SOFiSTiK utför kontroll av vilket lastfall och vilken lastplacering som ger störst lasteffekt längs bron genom ett flertal iterationer. Dessa beräkningar utförs successivt över hela brobredden och kombineras för att ge total lasteffekt.

LM1 och samtliga typfordon i TFM körs över varje bro oavsett verkningsätt.

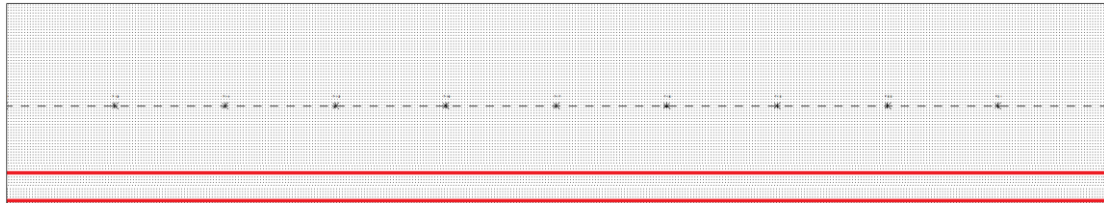
2.5.3.1 Linjer för lastplacering

För varje bro definieras en spårlinje som programmet följer. I SOFiSTiK benämns denna linje som GAX-linje och går från brons start till slut. Som tidigare nämnts i 2.2.1.2 delas brons körbana in i ett antal lastfält som representerar körfiler. För varje fil definieras var last kan appliceras i tvärlängd. Denna lastapplicering sker sedan parallellt GAX-linjen längs hela bron och skapar på så sätt linjer representerande hjullinjer. För en fil synkroniseras lastappliceringen för dessa linjer så att lasten representeras korrekt. Hjullinjerna har ett inbördes avstånd av 2 m men för globala beräkningar i balkmodellerna har inte axelbredden någon inverkan.



Figur 2.21. Uppbyggnad lastapplicering. Farbana, lastfält, hjullinjer samt GAX-linje.

Figur 2.22 visar ett exempel på hur hjullinjerna kan se ut i SOFiSTiK. GAX-linjen är streckad längs mitten av bron och de båda hjullinjerna för det första körfältet är markerade som heldragna linjer.

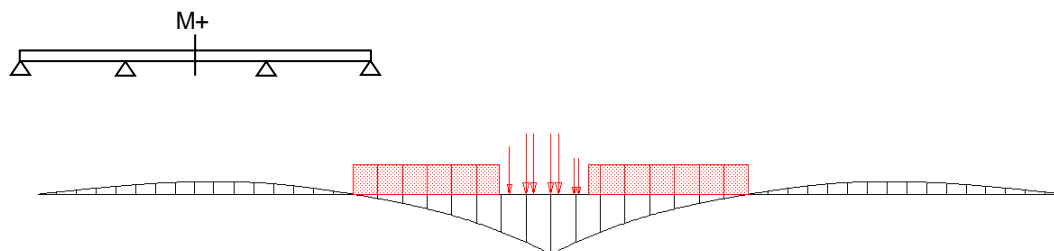


Figur 2.22. Farbana med två hjullinjer för den yttersta filen. GAX-linje syns i mitten av bron.

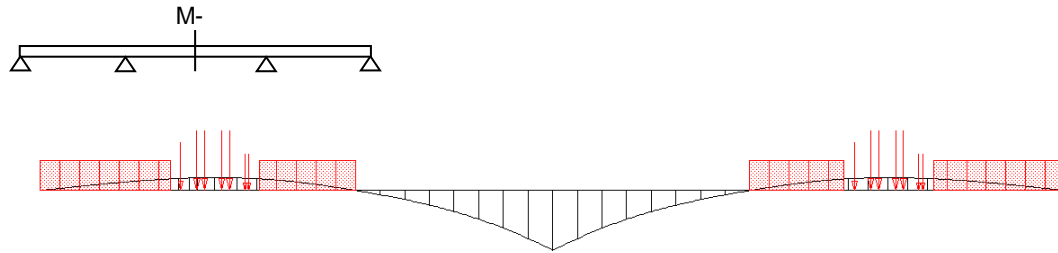
2.5.3.2 Influensdiagram

För varje element längs hjullinjerna skapas influensdiagram som visar om gynnsam eller ogynnsam lasteffekt uppstår vid lastpåläggning. Det är utifrån influensdiagram som SOFiSTiK applicerar last.

För att uppnå störst möjlig lasteffekt placerar SOFiSTiK enbart laster där de ger ogynnsam inverkan. Det innebär att lasttåg kan reduceras för att en del av det inte ska ge gynnsam effekt. Exempel på influensdiagram finns i Figur 2.23 och Figur 2.24.



Figur 2.23. Influensdiagram och lastplacering för maximalt M_+ i mitten av spann 2 för en bro i 3 spann.

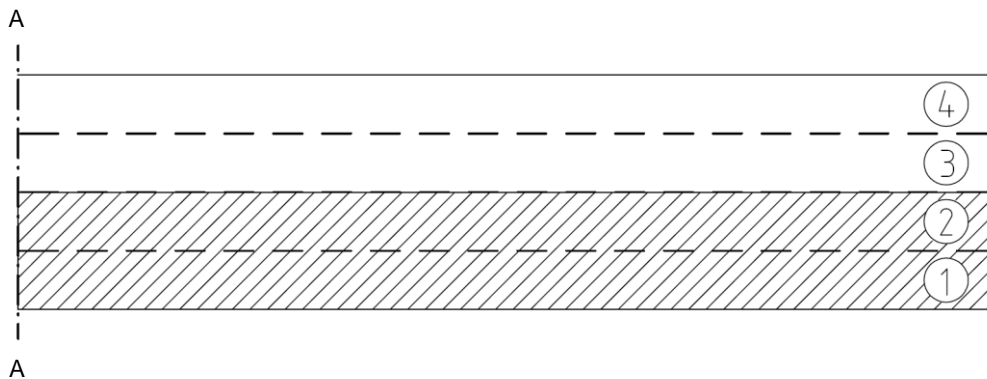


Figur 2.24. Influensdiagram och lastplacering för maximalt M - i mitten av spann 2 för en bro i 3 spann.

2.5.3.3 Lastplacering för maximalt torsionsmoment

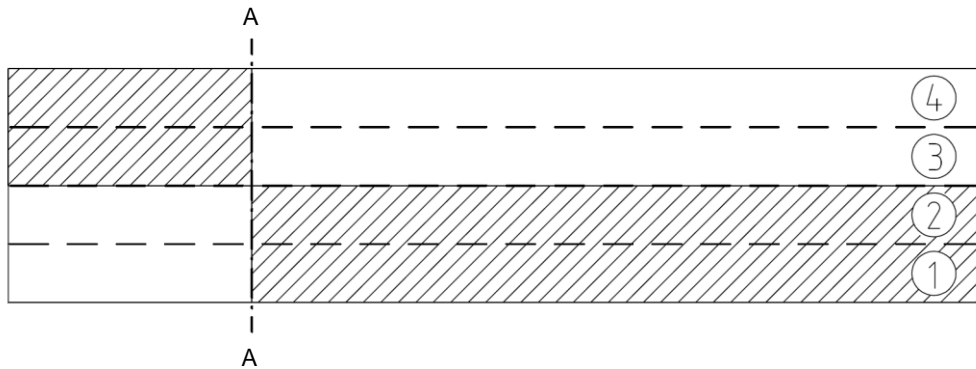
Figur 2.25 och Figur 2.27 visar olika lastplaceringar för maximalt torsionsmoment. Exempelbron är 12 m bred och lastfälten numrerade 1-4.

Maximal torsion för utvalda punkter uppnås då last placeras i markerade fält. Större last nära den betraktade punkten inom det markerade området ger större torsionsmoment. Samma princip för influensdiagrammen gäller alltså som för tvärkraft. Störst torsionsmoment i en ände uppnås då all last är placerad i fil 1 och 2, alternativt 3 och 4, med störst last vid det vänstra stödet.

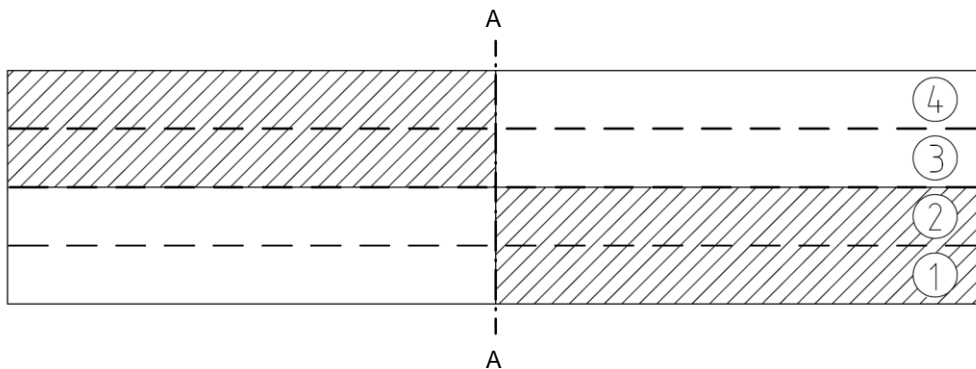


Figur 2.25. Princip för beräkning av maximalt torsionsmoment i den vänstra änden av bron, snitt A-A. Laster appliceras längs ena halvan av bron, alltså antingen lastfält 1 & 2 (i detta exempel det markerade området) eller lastfält 3 & 4. Laster nära den beaktade snittlinjen (markerad A-A i figuren) ger större torsionsmoment. Motsvarande metodik gäller självklart den högra änden av bron.

Längs bron uppnås störst torsionsmoment då last placeras på olika sidor av snittlinjen och på motsatta halvorna av brobredden, se Figur 2.26 och Figur 2.27.



Figur 2.26. Lastplacering för maximalt torsionsmoment i ett godtyckligt snitt A-A.



Figur 2.27. Lastplacering för maximalt torsionsmoment i mitten av bron, snitt A-A.

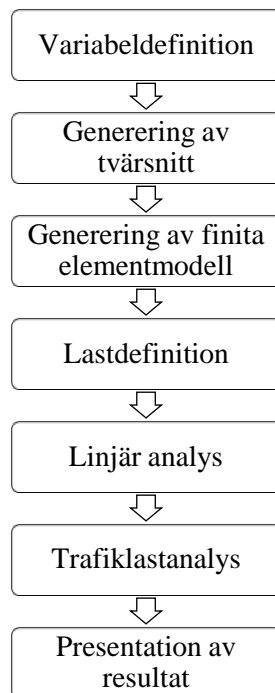
2.5.4 Numeriska svårigheter

Att numeriskt beräkna maximal lasteffekt av typfordonslast är mycket komplicerat, vilket beror på de variabla avstånd som modellen innehåller. För att få fram det dimensionerande lastfallet gör finita elementprogram ett visst antal iterationer. Ett begränsat antal iterationer gör att det föreligger en risk att det dimensionerande lastfallet inte upptäcks. Beräkningstiden blir också mycket lång jämfört med analys med enbart LM1.

2.6 Flödesschema för beräkningar

För att på ett automatiserat sätt generera broar, utföra analys och presentera resultat krävs att ett textbaserat program skapas i SOFiSTiK. Programmet byggs upp av mindre moduler. I detta avsnitt redovisas schematiskt hur programmet och modulerna är uppbyggda.

I Figur 2.28 presenteras ett förenklat övergripande flödesschema för programmet som skrivits. Viss förklarande text finns till varje modul. Mer ingående flödesscheman för ”Generering av tvärsnitt”, ”Generering av finita elementmodell” samt Trafiklastanalys” finns i Bilaga 5. Programmet kan generera och analysera flera broar samtidigt.



Figur 2.28. Förenklat flödesschema för programmet. Varje ruta representerar en modul.

Variabeldefinition

- Brotyp; samverkansbro, enbalksbro etc.
- Antal spann.
- Antal olika brolängder.
- Antal olika brobredder.
- Total längd för första bron.
- Inkrement av längd beroende på antal spann.
- Bredd för första bron; 6, 9, 12 alt. 15 meter.
- Inkrement av bredd; 3, 6, alt. 9 meter.
- Tvärsnittshöjd i spann och över stöd i relation till brolängd.
- Brospannens inbördes längdförhållande.
- Antal fordon som ska köras i TFM.
- Antal element i varje spann.
- Längd på brodel med annat tvärsnitt vid stöd i relation till spannlängd.
- Filfaktorer beroende av brobredd.

Generering av tvärsnitt

- Automatisk tvärsnittsgenerering. För enspannsbroar; ett tvärsnitt per balk. För flerspannsbroar; ett tvärsnitt för fält och ett för stöd.

Generering av finita elementmodell

- Koordinater för upplag baserat på spannlängder.
- Koordinater för strukturlinjer baserat på spannlängder.
- Gruppering av strukturlinjer och upplagspunkter.
- Definiering av upplagsvillkor.

Lastdefinition

- Definition av egentyngdlast.
- Definition av lastmodell 1, LM1. Laststorlekar och variabler.
- Definition av TFM. Laststorlekar och variabler.

Linjär analys

- Oberoende linjär analys av systemet. Linjär analys är en fristående analys som krävs för att SOFiSTiK ska kunna utföra trafiklastanalys. Linjär analys är ej kopplat till resultatet av trafiklastanalys. Någon typ av last i systemet krävs för att utföra linjär analys, exempelvis egentyngd.

Trafiklastanalys

- Uppdelning av bron i filer.
- Påläggning av trafiklastmodeller. Beräkning/kombinering av lasteffekter med eventuellt hänsynstagande av filfaktorer. Största lasteffekter registreras.

Presentation av resultat

- Presentation av resultat i tabellform. Lasteffekter samt lasteffektrelation mellan LM1 och Typfordon.

3 Resultat och analys

- Avsnitt 3.1. Redovisning om hur lasteffektfaktorn F påverkas av längd, bredd och antal spann för samverkans- och enbalksbroar.
- Avsnitt 3.2. Faktorn behandlas i vissa kritiska punkter och är en introduktion till de tabeller som redovisas i Bilaga 1 och Bilaga 2.
- Avsnitt 3.3. Förklaring till hur maximala lasteffektfaktorer tas fram och hur överdimensioneringar presenteras vid justering av LM1. Avsnittet är en introduktion till de tabeller som presenteras i Bilaga 3 och Bilaga 4.

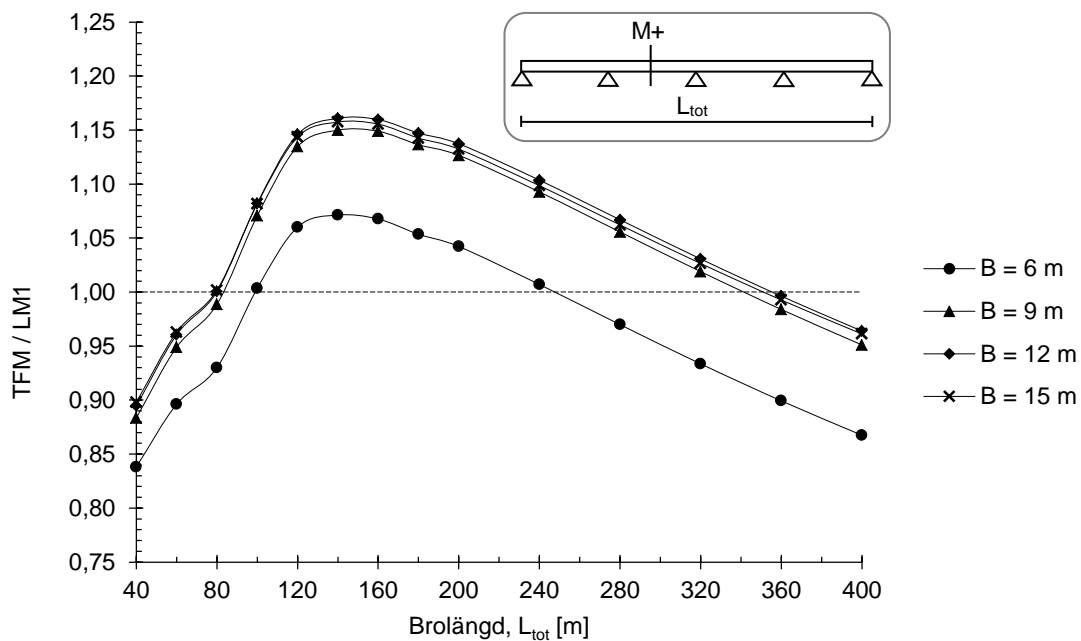
3.1 Lasteffektfaktorn relaterad till brobredd och brolängd

3.1.1 Samverkansbroar

3.1.1.1 Brobreddens och filfaktorers inverkan

Brobredden och framförallt filfaktorerna, se avsnitt 2.4.1.3, har en avgörande betydelse för hur stor lasteffektfaktorn blir. För samtliga samverkansbroar observeras en tydlig skillnad för lasteffektfaktorer för broar med bredd 6 m och 9 m, medan resultaten för broar med 9, 12 och 15 m endast skiljer sig lite. Detta gäller samtliga lasteffekter.

I Figur 3.1 visas lasteffektfaktorns beteende för $M+$ i mitten av andra spannet för fyrspannsbroar av varierande längd. Samma fenomen för $M+$ i ett spann kan även ses i Figur 3.2. För V är beteendet liknande; skillnaden i lasteffektfaktorn mellan olika brobredder är i princip samma, se Figur 3.5.



Figur 3.1. Lasteffektfaktorer för $M+$, 4/8-delspunkt i spann 2, samverkansbroar 4 spann.

Förutom filfaktorerna har förhållandet mellan axellasters storlek i fil 1 och 2 stor inverkan, se Tabell 3.1.

Tabell 3.1. Förhållande mellan axellaster i fil 1 och 2 för de två lastmodellerna. För fil 1 sätts indexvärdet till 1.

Lastmodell	Fil 1	Fil 2
LM1	1	0,67
TFM	1	0,80

Vid bredden 6 meter är axellasten i fil 2 i princip försumbar på grund av den låga filfaktorn, 0,05. Vid bredden 9 meter har den större betydelse och räknas med faktor 0,50. Tack vare att axellasten i fil 2 i TFM är förhållandevis stor ger ökningen utslag i resultaten i förhållande till LM1.

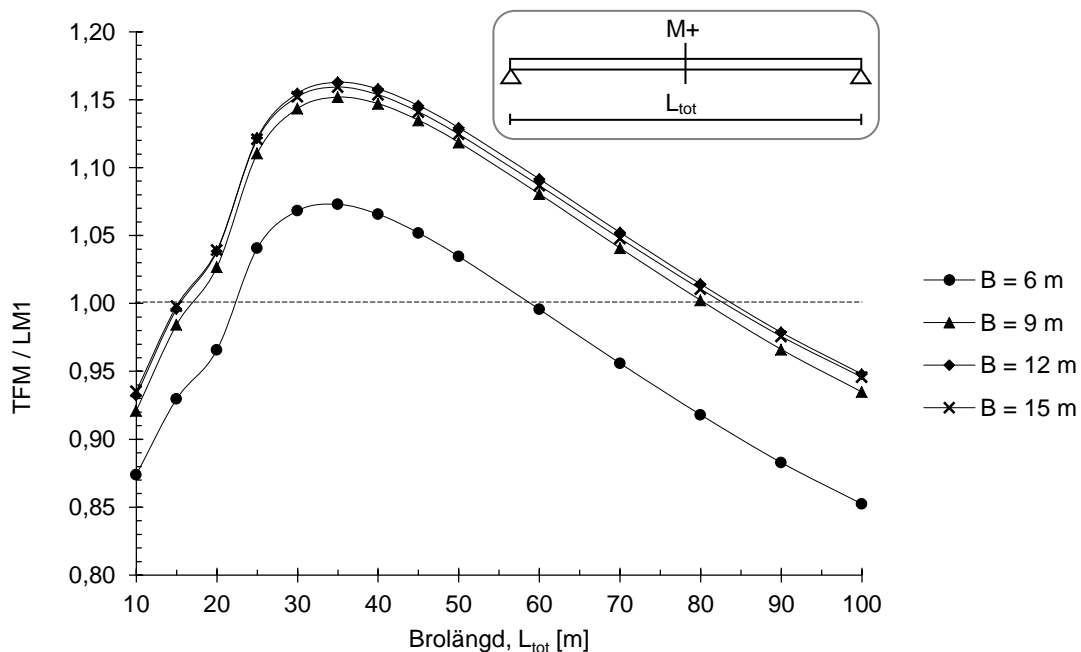
En svag ökning av lasteffektfaktorn sker från 9 till 12 meters bredd medan den för 15 meter istället sjunker något. Orsaken är en kombination av andra filfaktorer och att den utbredda lasten för LM1 är större än för TFM. Nedåtgående trend kommer troligtvis att fortsätta för broar bredare än 15 m.

3.1.1.2 Brolängdens inverkan

Faktorns variation med avseende på brolängden beror framförallt på typfordonens ojämna lastökning. Det innebär att tillkomsten av nya axellaster inte är linjär, se även Bilaga 6.

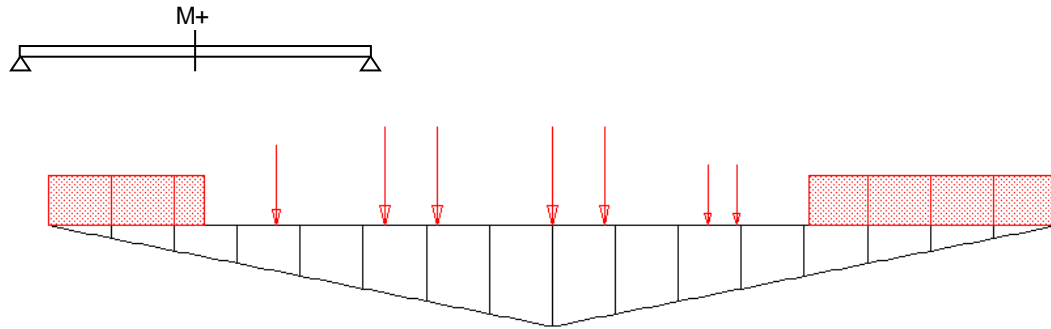
Summan av lasterna i LM1 är större vid brolängder på enstaka meter. Sedan blir summan för TFM större redan runt 5 meter, då en större axellastgrupp får plats på bron. För M+ blir TFM dock dimensionerande först vid 15-25 meters brolängd på grund av att punktlasterna är mer utspridda i TFM jämfört med LM1 och därför kan ge lägre lasteffekt.

För maximalt positivt böjmoment i enspannsbroar är lasteffektfaktorn störst för brolängd kring 35 meter, se Figur 3.2.



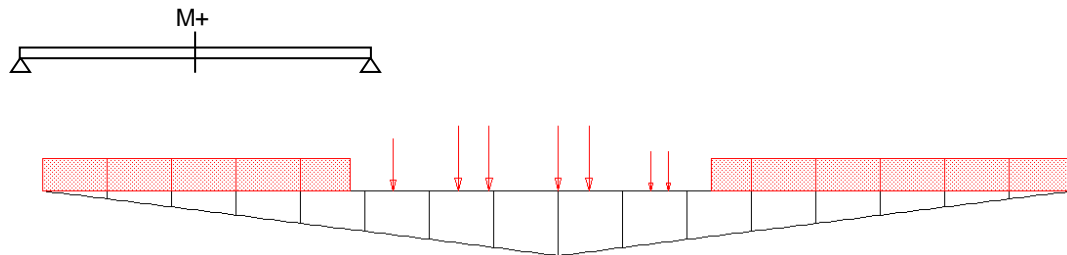
Figur 3.2. Lasteffektfaktorer för M+, 4/8-delspunkt, samverkansbroar 1 spann.

Figur 3.3 visar lastplaceringen för typfordon i . Aktuell längd ger störst lasteffektfaktor.



Figur 3.3. $M+$. Bro i 1 spann, L_{tot} 35 m. Lastplacering för typfordon i .

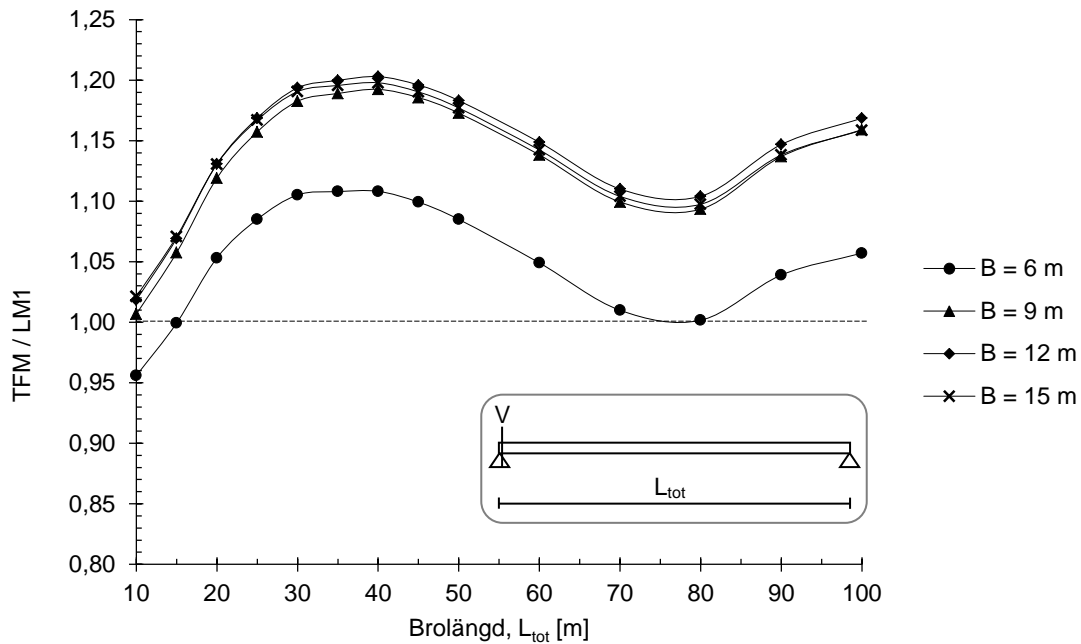
För brobredden 6 m har lasteffektfaktorn sjunkit under 1 vid längden 60 m, se Figur 3.2. I Figur 3.4 kan man se att inga nya punktlaster tillkommit jämfört med i Figur 3.3. Enbart utbredd last, q , har ökat i utbredning. Då q är större i LM1 är det naturligt att lasteffektfaktorn sjunker.



Figur 3.4. $M+$. Övergångslängd från $F > 1$ till $F < 1$. Bro i 1 spann, L_{tot} 60 m. Lastplacering för typfordon i .

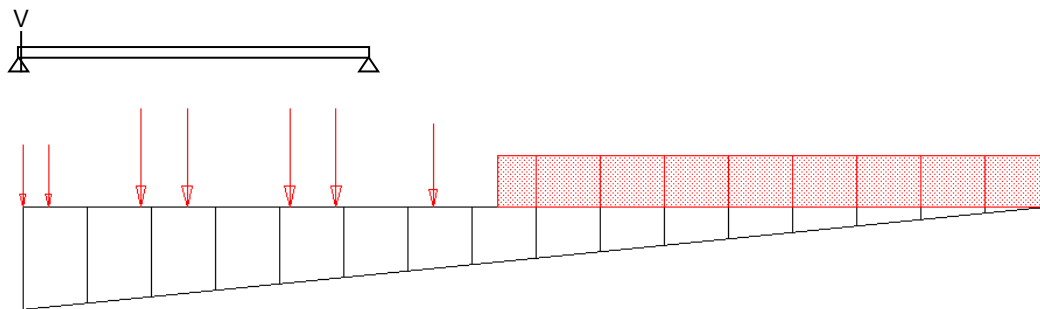
I mitten på spannet ökar aldrig faktorn igen för enspannsbroar längre än 35 m. Dimensionerande lastfall inträffar då de tyngsta axellastgrupperna är koncentrerade i mitten av spannet. Således kommer aldrig alla axellaster för typfordon j , k och l in på bron. Om istället $M+$ studeras nära stöd kommer fler axellastgrupper in på bron och faktorn ökar för de längsta broarna.

Den bro längd som ger maximal lasteffektsfaktor för tvärkraft är cirka 40 meter på en sida av betraktad punkt. Vid analys av V vid stöd för en enspannsbro ger bro längden 40 meter därför störst lasteffektsfaktor, se Figur 3.5.



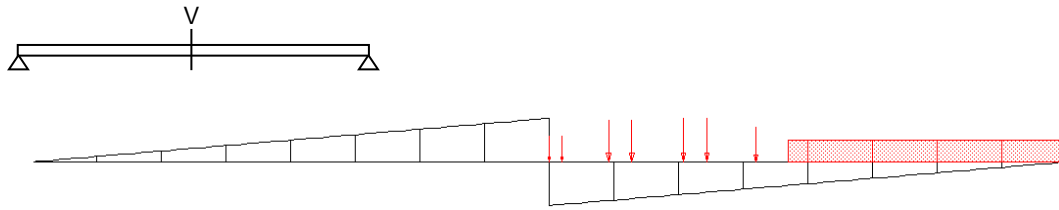
Figur 3.5. Lasteffektfaktorer för V, 0/8-delspunkt, samverkansbroar 1 spann.

Lastplaceringen för typfordon i (samma gäller för typfordon l) visas i Figur 3.6 för samverkansbro i 1 spann. Längden är 40 m, det vill säga den längd som ger störst lasteffektsfaktor.



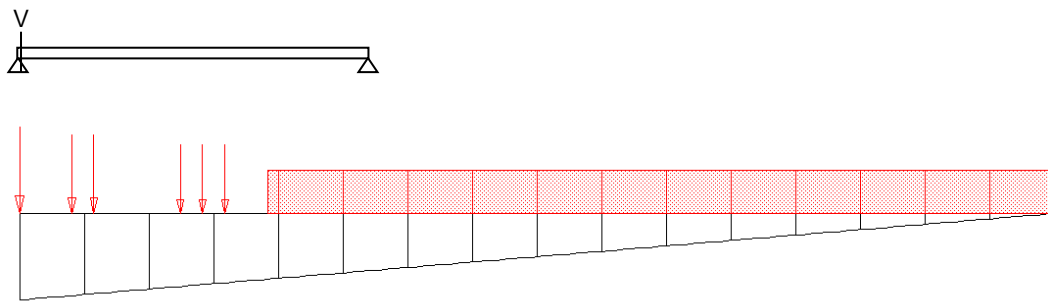
Figur 3.6. V, 0/8-delspunkt, L_{tot} 40 m. Typfordon i .

Om en annan punkt betraktas, exempelvis mitt i spannet uppnås maximal lasteffektsfaktor för tvärkraft då bro längden är 80 m, alltså 40 m på var sida om betraktad punkt, se Figur 3.7. Även här är det typfordon i som visas.

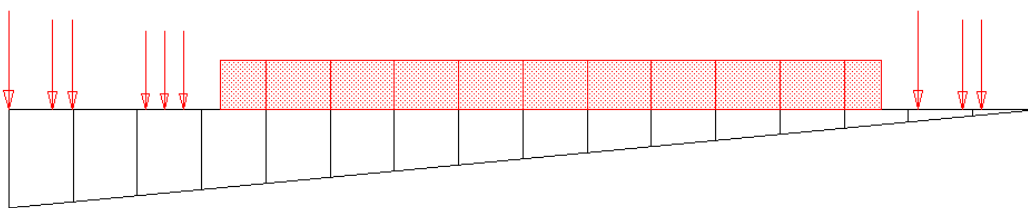


Figur 3.7. V, 4/8-delspunkt, L_{tot} 80 m. Typfordon I.

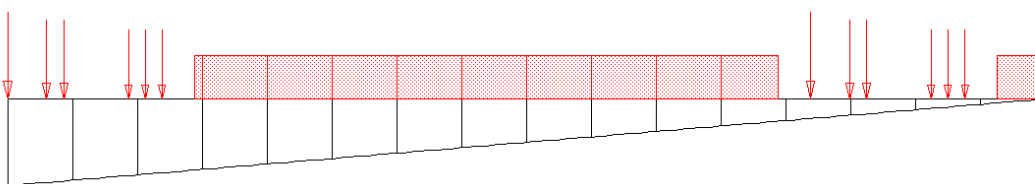
Typfordon j , k och l , se Bilaga 6, är betydligt längre än övriga typfordon och karakteristiskt för dessa tre typfordon är att det tillkommer axellastergrupper 50 meter eller längre ifrån övriga axellaster. Detta innebär att dessa tre modeller kan bli dimensionerande för längre broar. För enspannsbroar ger dessa extra axellaster utslag i resultaten för V för spannlängder större än 70 meter. Eftersom axellasterna är betydligt större i förhållande till de utbredda lasterna verkar de tillkommande axellasterna för en ökad lasteffektfaktor mellan TFM och LM1. I Figur 3.5 ses tydligt en nedåtgående trend för brolängder 40-70 m, därefter en ökning upp mot 100 m. Om analyser hade gjorts för ännu längre broar än 100 m hade faktorn återigen sjunkit eftersom inga fler axellastergrupper tillkommer och att den utbredda lasten för LM1 är större.



Figur 3.8. V, 0/8-delspunkt, L_{tot} 60 m. Typfordon k, endast 1 axellastergrupp.

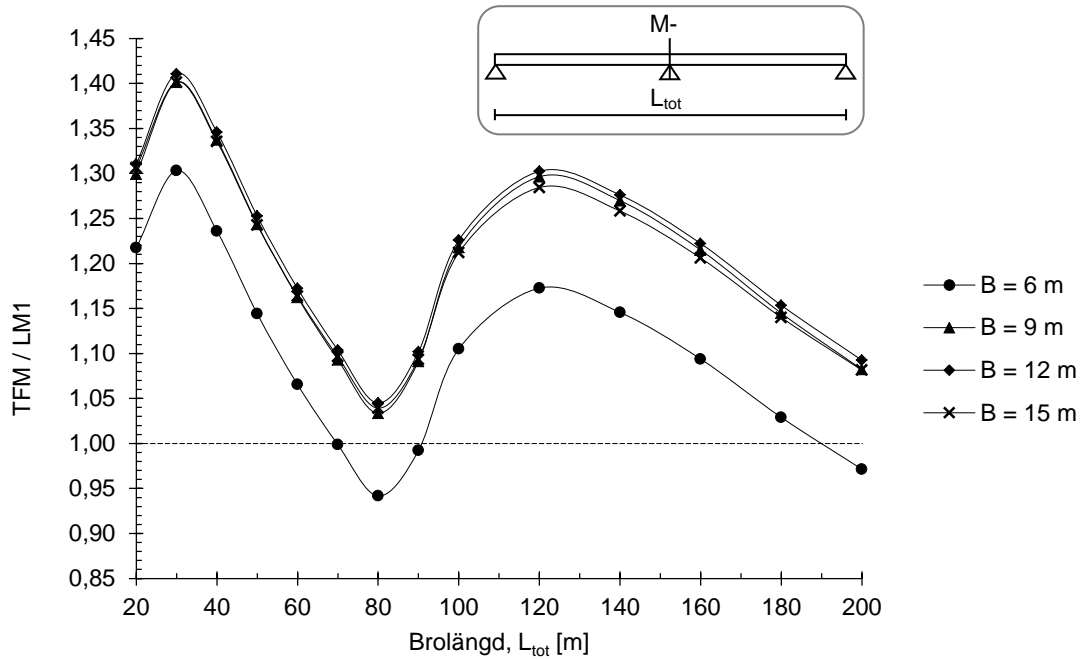


Figur 3.9. V, 0/8-delspunkt, L_{tot} 70 m. Typfordon k, axellastergrupp 2 delvis på bron.



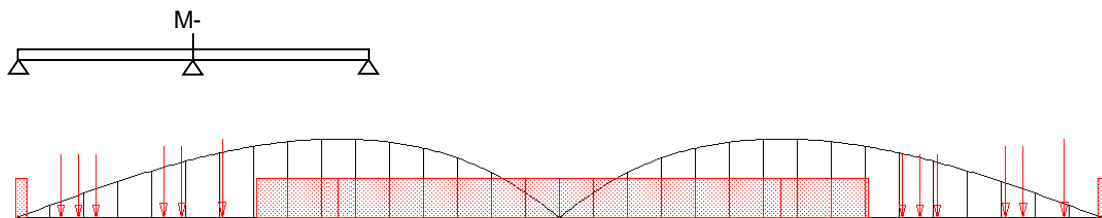
Figur 3.10. V, 0/8-delspunkt, L_{tot} 80 m. Typfordon k, båda axellastergrupper på bron.

För broar i flera spann kan högre lasteffekt, exempelvis för M-, uppnås om axellastgrupper placeras i olika spann samtidigt, vilket är möjligt för alla typfordon med ett axelavstånd som inte är låst utan bara definierat som ett minimivärde. Detta innebär bland annat att maximalt negativt moment över stöd kan bli mycket större för TFM än för LM1. Hur lasteffektfaktorer för negativt moment över stöd 2 för samverkansbroar i 2 spann varierar för olika brolängder visas i Figur 3.11.



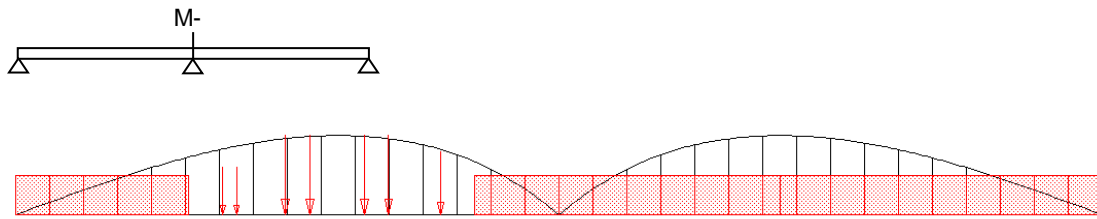
Figur 3.11. Lasteffektfaktorer för M-, stöd 2, samverkansbroar 2 spann.

Det lokala minimivärdet vid längden 80 m i Figur 3.11 kan förklaras av att typfordonen har svårt att optimalt passa in i brons influensdiagram för M- över mittstöd. I Figur 3.12 visas lastplacering för typfordon k. De tunga axellasterna kan inte placeras i de mest gynnsamma punkterna på grund av minimiavståndet mellan dem.



Figur 3.12. M-, stöd 2, L_{tot} 80 m. Typfordon k.

I Figur 3.13 ligger typfordon l på bron. Axellasterna är optimerade i det vänstra spannet men från axellasten längst till höger är det mer än 50 m till den högra broändan, vilket gör att inga fler axellaster ryms på bron för typfordon l .



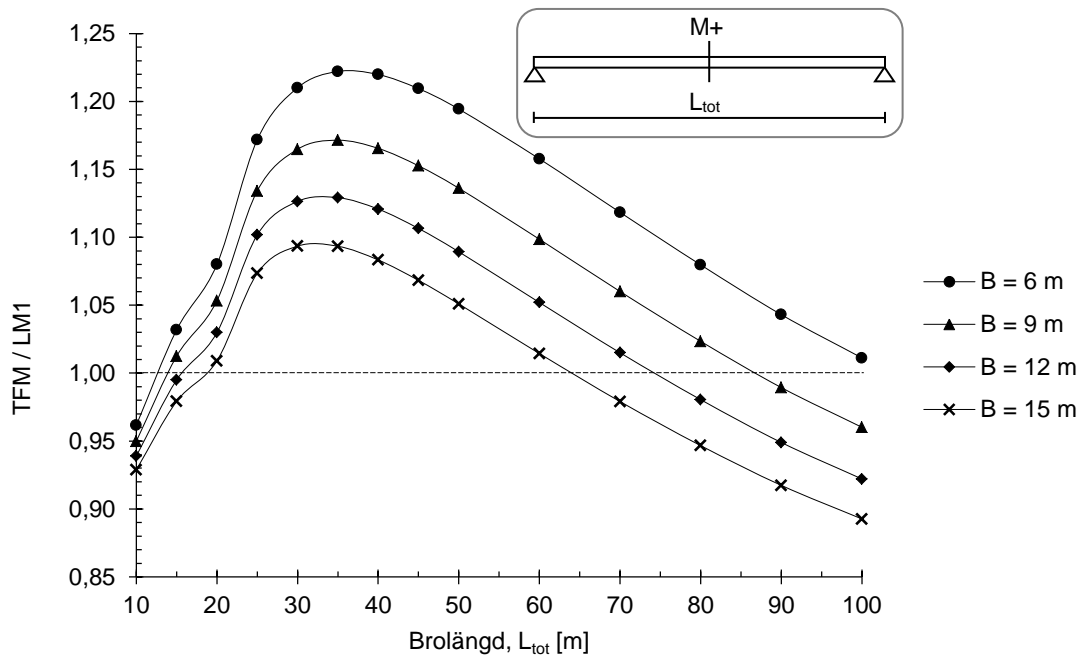
Figur 3.13. M -, stöd 2, L_{tot} 80 m. Typfordon l .

Sammanfattningsvis kan det konstateras att två olika konfigurationer av lastplacering kan ske för de längre typfordonen j , k och l . Antingen att två axellastgrupper ryms på bron men blir dåligt optimerade i respektive spann (Figur 3.12), eller optimerade i ett spann (Figur 3.13) vilket får till följd att endast en grupp ryms på exempelbron.

3.1.2 Enbalksbroar

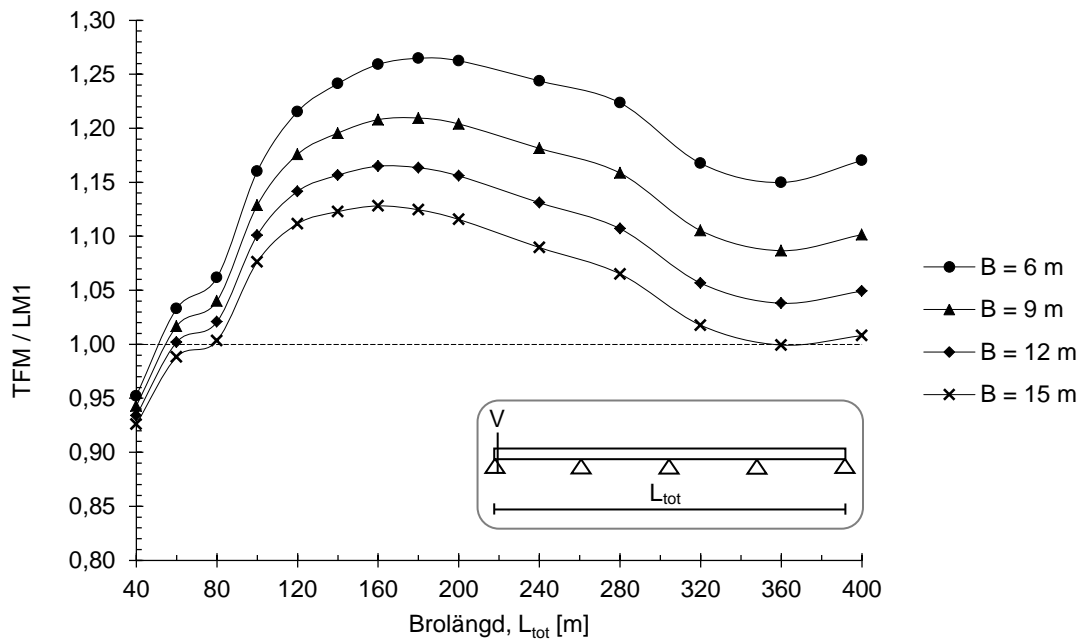
3.1.2.1 Brobreddens inverkan

Förhållandet mellan lasteffektsfaktorn för olika brobredder ser annorlunda ut för enbalksbroar jämfört med samverkansbroar, jämför Figur 3.2 med Figur 3.14, och beror på att filfaktorer inte används. För broar bredare än 6 meter tillkommer inga nya punktlaster och i resterande lastfält förekommer endast utbredd last. Eftersom LM1 har en större utbredd last än TFM så innebär detta att broar med fler lastfält får lägre lasteffektfaktorer (gäller ej torsionsmoment). I övrigt uppvisar graferna samma form för samverkansbroar som för enbalksbroar med avseende på brolängd.



Figur 3.14. Lasteffektfaktor för M_+ , 4/8-delspunkt, enbalksbroar 1 spann.

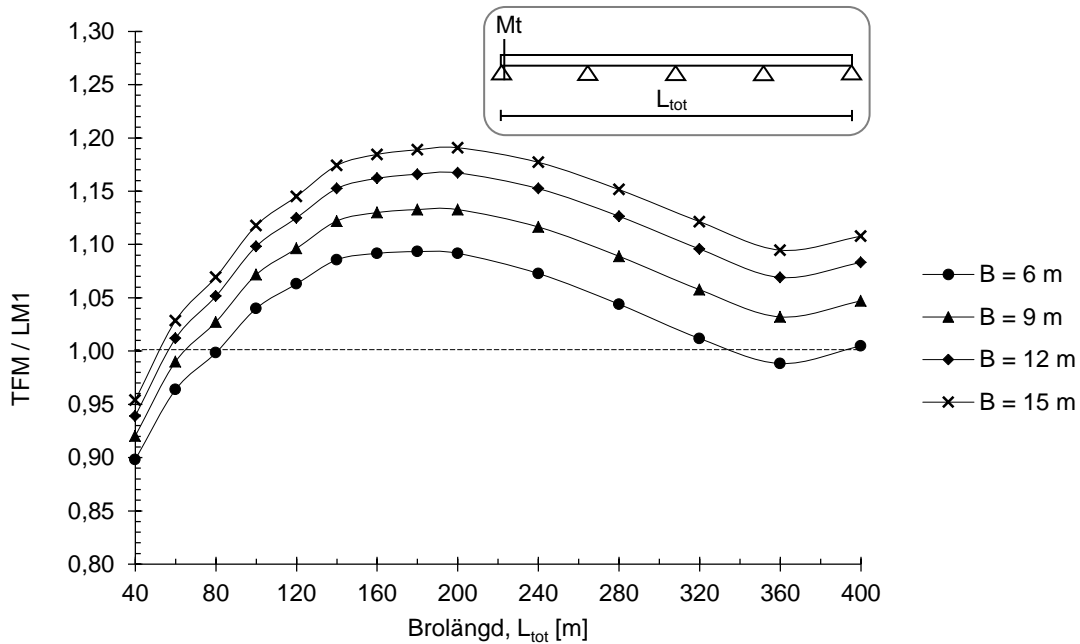
För tvärkraften är den inbördes ordningen mellan de olika brobredderna samma, se Figur 3.15, och det har samma orsaker som för positivt böjmoment.



Figur 3.15. Lasteffektfaktor för V , stöd 1, enbalksbroar 4 spann.

Vid analys av enbalksbroar tillkommer analys av torsionsmoment, M_t . M_t är liksom V störst vid stöd, förutsatt att stödet är låst för vridning kring längdaxeln, vilket är fallet i denna rapport. Lasteffekten är direkt beroende på excentriciteten i tvärled, vilket gör att den faktiska

lasteffekten ökar kraftigt med bredden. Även lasteffektfaktorerna ökar med brobredden. Jämfört med LM1 har TFM generellt större laster i fil 1 och 2, vilka naturligt placeras ytterst på bron, vilket ger ett större M_t . Ordningen för faktorn mellan de olika brobredderna blir då enligt Figur 3.16.



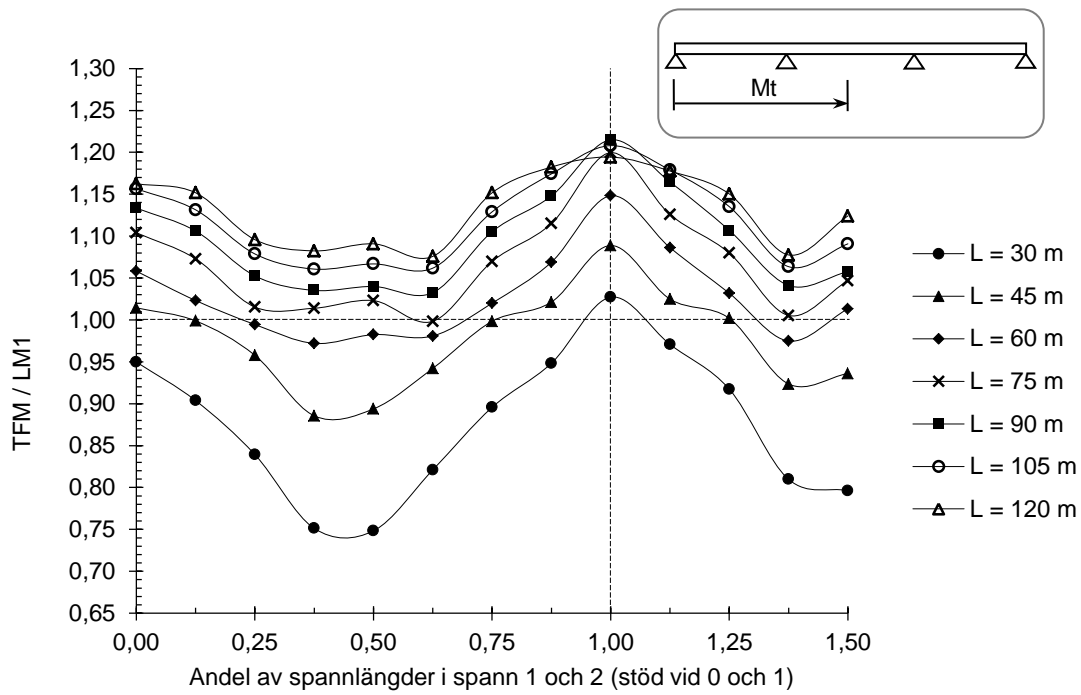
Figur 3.16. Lasteffektfaktorerna för M_t , stöd 1, enbalksbroar 4 spann.

3.1.2.2 Brolängdens inverkan

Jämfört med samverkansbroar, avsnitt 3.1.1.2, är utseendet på graferna liknande med avseende på variationer av brolängderna. Då filfaktorerna är det enda som skiljer samverkansbroarna från enbalksbroarna är detta naturligt.

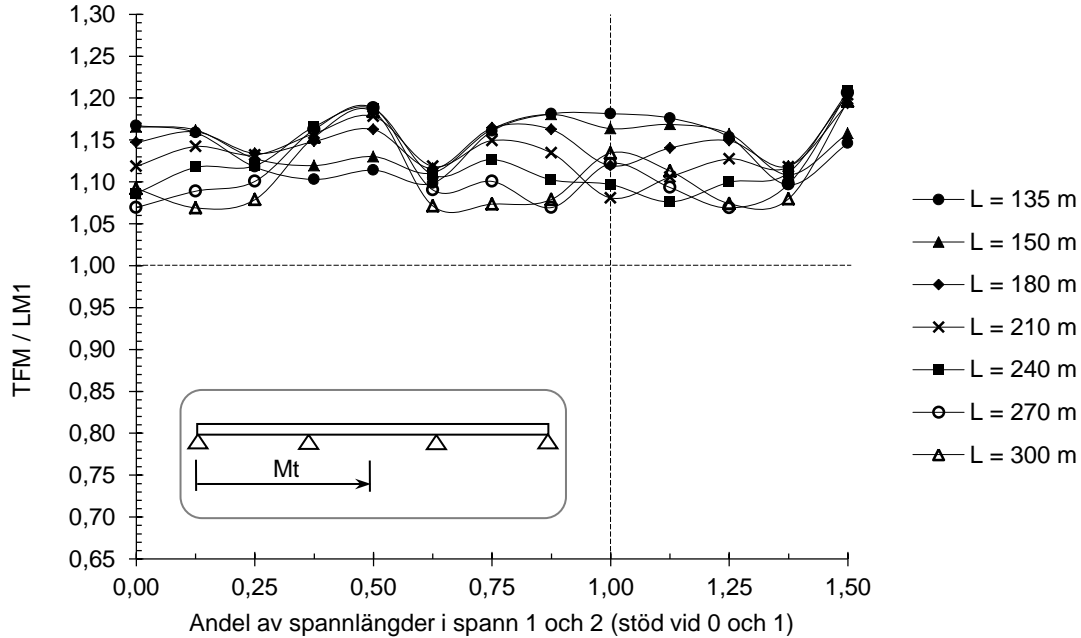
I följande exempel ökar faktorn för M_t med ökad brolängd. Figur 3.17 visar broar i 3 spann, längd 30-120 m. För de kortare broarna ryms inte TFMs alla axellaster medan de får större effekt ju längre spannen är.

Lasteffektfaktorerna i mitten av spannet är lägre än vid stöd, som mest är skillnaden cirka 30 %. För maximal lasteffekt vid stöd placeras lasten på ena sidan av bron mittlinje, medan lasten placeras enligt principen i avsnitt 2.5.3.3, för maximal lasteffekt i mitten av spannet. Detta medför att sträckan som lasten kan placeras på är hälften så lång för en punkt i mitten av spannet, jämfört med en punkt vid stöd.



Figur 3.17. Lasteffekt­faktorer för M_t . Enbalksbroar i 3 spann, L_{tot} 30-120 m, b 12 m.

Skil­naden mellan lasteffekt­faktor över stöd och i mitten av spannet minskar med ökad spann­längd. I Figur 3.18 är skil­naderna små, ungefär 10 %.



Figur 3.18. Lasteffekt­faktorer för M_t . Enbalksbroar i 3 spann, L_{tot} 135-300 m, b 12 m.

3.2 Kritiska lasteffekter (Förklaring till Bilaga 1 och Bilaga 2)

3.2.1 Grundidé och urval av data

I Bilaga 1 och Bilaga 2 presenteras tabeller som anger när TFM är dimensionerande för kritiska lasteffekter, alltså i punkter där olika lasteffekter kan uppnå de högsta värdena. För V, M- och M_t sker detta vid stöd, och för M_+ i mitten av spannet.

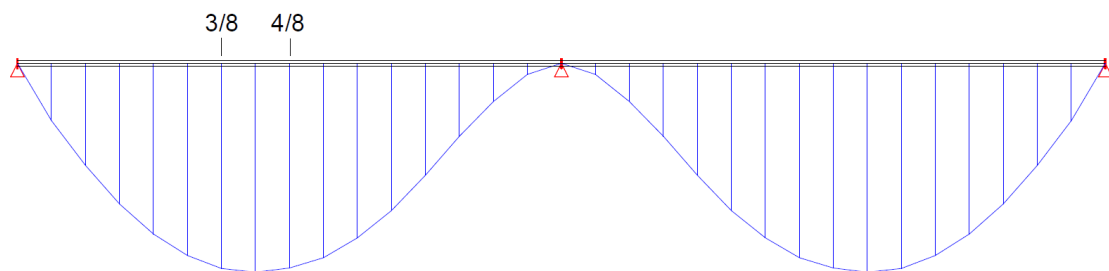
Tabellerna anger endast som $F > 1$ (skuggad ruta med x) eller om $F < 1$ (vit ruta), se även Tabell 3.4. Det finns ingen skala och alltså ingen känslighet i presentationen av resultaten. Det är därför omöjligt att bedöma storleken på avvikelserna. Nuvarande format anses dock vara tydligt och ger en snabb överblick.

Totalt redovisas 8 tabeller; 4 för samverkansbroar (Bilaga 1) och 4 för enbalksbroar (Bilaga 2). Varje tabell täcker in alla varianter av bredd och längd för en viss spannkonfiguration och brotyp. Varje tabell innehåller alltså information om 56 broar.

Som hjälp finns också figurer ovanför varje tabell. I Figur 3.20 visas var på bron värdena på lasteffekterna i Tabell 3.4 är hämtade. Tilläggs-siffran (n) efter lasteffekten, exempelvis $V_s(n)$, anger vilken lasteffekt i ordningen det är. För V, M- samt M_t gäller (n) numret på stödet och för M_+ numret på spannet, se även Nomenklatur. Exempelvis gäller $V_s(1)$ tvärkraften i *stöd 1*, $M_{ts}(2)$ torsionsmomentet i *stöd 2* och $M_{+F}(1)$ positivt böjmoment i mitten av *spann 1*.

3.2.2 Förenkling av kritisk lasteffekt för M_+

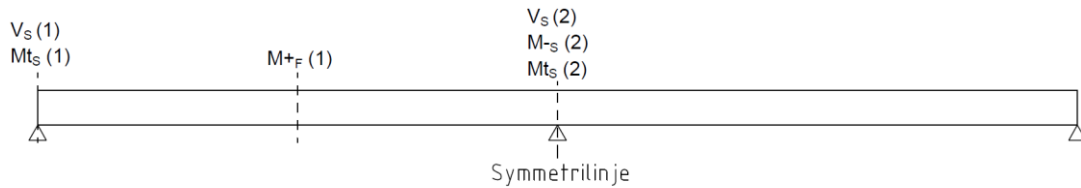
För flerspansbroar ger inte alltid 4/8-delspunkten störst värde för M_+ . För exempelvis en tvåspansbro ligger maximalt värde i spann 1 mellan 3/8-delspunkten och 4/8-delspunkten, sett från vänster i Figur 3.19. Resultaten från SOFiSTiK tas endast ut i 1/8-delspunkter men den procentuella skillnaden mellan lasteffekten i 4/8-delspunkten och maximala värdet är liten. Därför anses 4/8-delspunkten vara en fullgod representation av maximalt M_+ , framförallt när det är förhållandet mellan LM1 och TFM som analyseras.



Figur 3.19. Momentdiagram för samverkansbro i 2 spann. Maximalt moment i en punkt mellan 3/8-delspunkt och 4/8-delspunkt. Värdet för M_+ i 4/8-delspunkten anses representera maximalt värde.

3.2.3 Exempel på hur tabell skapas

Figur 3.20 ger information om vilken spannkonfiguration som studeras. Lasteffekterna i figuren anger också var längs bron F har analyserats.



Figur 3.20. Enbalksbroar 2 spann, redovisade lasteffekter i Tabell 3.4.

För varje analyserad bro översätts faktorvärden $F > 1$ (Tabell 3.2) till x (Tabell 3.3). Exemplet gäller en enbalksbro i 2 spann; bredd 15 m och längd 160 m.

Tabell 3.2

B	Lasteffekt	L160
15	M+_F(1)	0,96
	V_s(1)	1,03
	V_s(2)	0,96
	M-_s(2)	1,08
	M_t_s(1)	1,09
	M_t_s(2)	1,10

Översätts till →

Tabell 3.3

B	Lasteffekt	L160
15	M+_F(1)	
	V_s(1)	x
	V_s(2)	
	M-_s(2)	x
	M_t_s(1)	x
	M_t_s(2)	x

Information från 56 broar sätts samman i nya tabeller (se Tabell 3.4).

- B (Kolumn 1). Brobredd (6, 9, 12 respektive 15 m).
- Lasteffekt (2). I detta exempel 6 st. för varje bro.
- L20-200 (3-16). Total brolängd i meter.

Tabell 3.4. Enbalksbroar 2 spann. Markering x då typfordon är dimensionerande. Information från exemplet ovan är markerat.

b	Lasteffekt	L20	L30	L40	L50	L60	L70	L80	L90	L100	L120	L140	L160	L180	L200
6	M+_F(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	V_s(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	V_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M-_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M_t_s(1)			x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
	M_t_s(2)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
9	M+_F(1)			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	V_s(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	V_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M-_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M_t_s(1)			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M_t_s(2)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	M+_F(1)				x	x	x	x	x	x	x	x			
	V_s(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	V_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M-_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M_t_s(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M_t_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	M+_F(1)				x	x	x	x	x	x	x				
	V_s(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	V_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
	M-_s(2)	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
	M_t_s(1)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	M_t_s(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

3.2.4 Analys

Utseendet på Tabell 3.4 i avsnitt 3.2.3 överensstämmer till stor del med övriga 7 tabeller. Generellt är TFM dimensionerande. Avvikande trender finns, framförallt för M+ för mycket korta respektive mycket långa broar. Även övriga lasteffekter kan ha avvikande resultat för korta och långa broar.

För broar av medellängd kan F vara mindre än 1, framförallt för M-. Faktorena kan ligga nära 1 och små variationer kan innebära att antingen TFM eller LM1 blir dimensionerande. Skillnaderna beror framförallt på TFMs ojämna lastökning.

3.3 Användning av lasteffektfaktorer (Förklaring till Bilaga 3 och Bilaga 4)

I detta avsnitt förklaras hur lasteffektfaktorn kan användas för justering av LM1 med syfte att ersätta TFM-analys. Principen förklaras för de redovisade faktortabellerna som i sin helhet presenteras i Bilaga 3 (samverkansbroar) och Bilaga 4 (enbalksbroar).

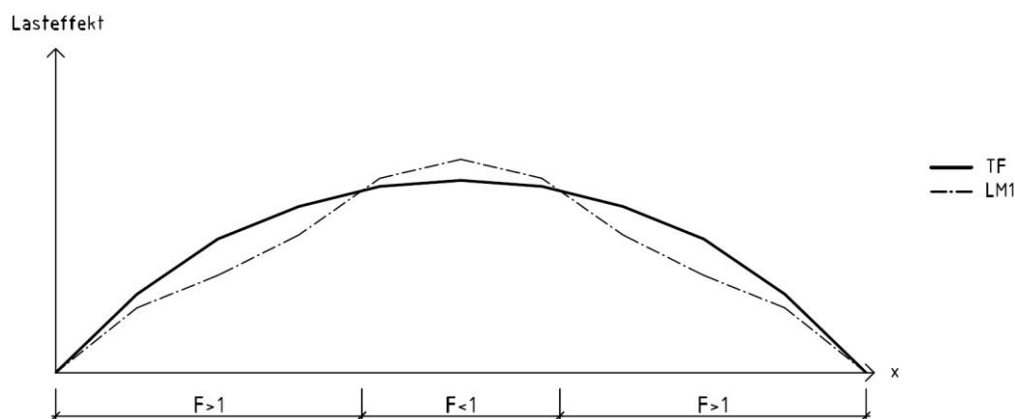
3.3.1 Grundidé och urval av data

När LM1 har justerats med vald lasteffektfaktor ska inga värden understiga de som erhålls vid analys med TFM. Detta gäller samtliga åttondelspunkter.

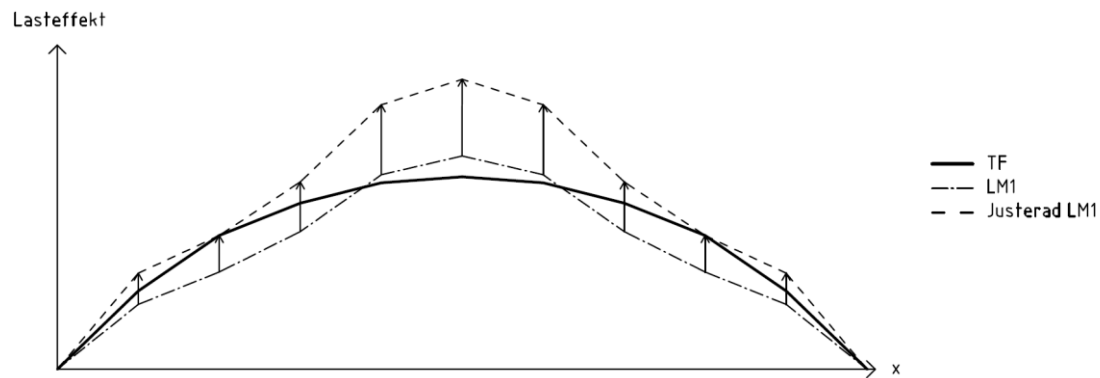
Ovanstående är själva grundtanken med metoden. För att uppnå detta krävs därför att LM1 justeras med den största faktorn som uppstår längs bron. För detta finns två principer.

- *Princip 1: Separata lasteffektfaktorer.*
Lasteffektfaktorer anpassas separat för varje lasteffekt i bron.
- *Princip 2: Gemensam lasteffektfaktor.*
En lasteffektfaktor anpassas för samtliga lasteffekter i bron.

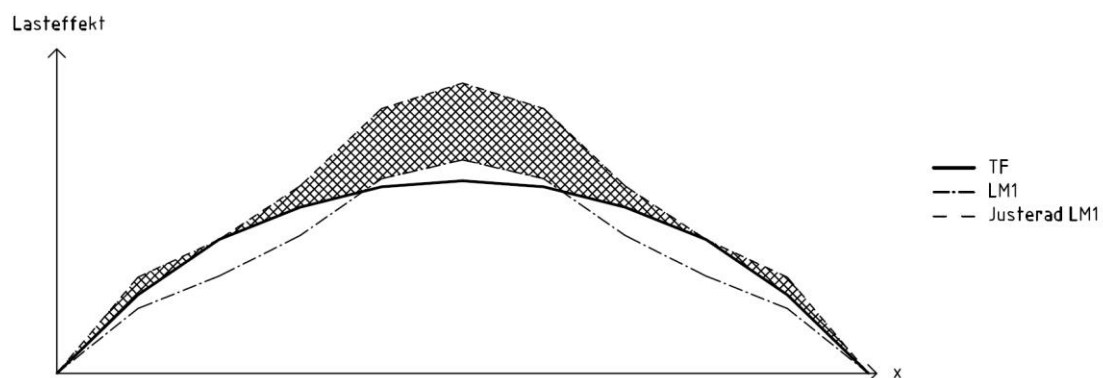
När LM1 justeras med lasteffektfaktorn resulterar det i överdimensionerade värden för alla punkter där faktorn är lägre än maximal lasteffektfaktor, Figur 3.21 - Figur 3.23. Överdimensioneringen definieras som värdet för justerad LM1 subtraherad med det största värdet av ursprunglig LM1 och TFM. Anledningen till att lasteffektsfaktorn inte nödvändigtvis baseras på punkter där störst lasteffekt uppträder, beror på att ingen punkt ska bli underdimensionerad.



Figur 3.21. Godtyckliga kurvor för lasteffektsvärden längs en bro för TFM och LM1.



Figur 3.22. Justering av LM1 med störst lasteffektsfaktor för att inte underdimensionera i någon punkt. I detta exempel uppstår störst lasteffektsfaktor i ungefär 1/4-delspunkt resp. 3/4-delspunkt (symmetri).



Figur 3.23. Markerat område är punkter längs bron som får överdimensionerade lasteffektsvärden. På den vertikala axeln kan överdimensioneringens storlek avläsas. Justeras LM1 med den största lasteffektsfaktorn som uppstår längs bron så kommer det att ske överdimensionering i alla punkter med mindre lasteffektsfaktor.

För att begränsa datamängden visar tabellerna i Bilaga 3 och Bilaga 4:

- De största lasteffektfaktorerna för varje bro och i vilken punkt de gäller. Separata faktorer respektive gemensam faktor i olika tabeller.
- Det högsta värdet på överdimensioneringen som uppnås vid justering med vald lasteffektsfaktor och i vilken punkt det gäller.

Istället för att presentera samtliga värden för alla broar ger tabellerna snarare en uppfattning i vilken härad som överdimensioneringarna ligger. Nackdelen är att varje bro inte kan utvärderas lika noggrant.

3.3.2 Exempel på hur tabell skapas

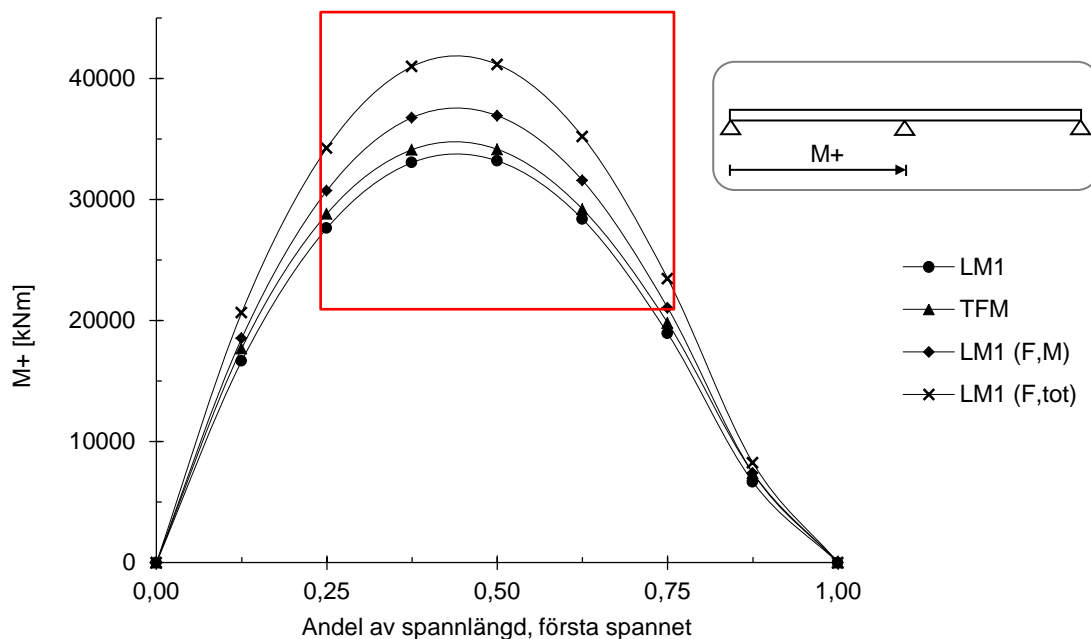
För att ge en ökad förståelse visas i detta avsnitt ett exempel på en analyserad bro och hur data hanteras och presenteras i faktortabellerna, Bilaga 3 och Bilaga 4.

I Figur 3.24 och Figur 3.25 visas kurvor för M_+ för en samverkansbro i 2 spann med total längd 160 m och bredd 12 m. Av symmetriskäl redovisas bara kurvor för första spannet.

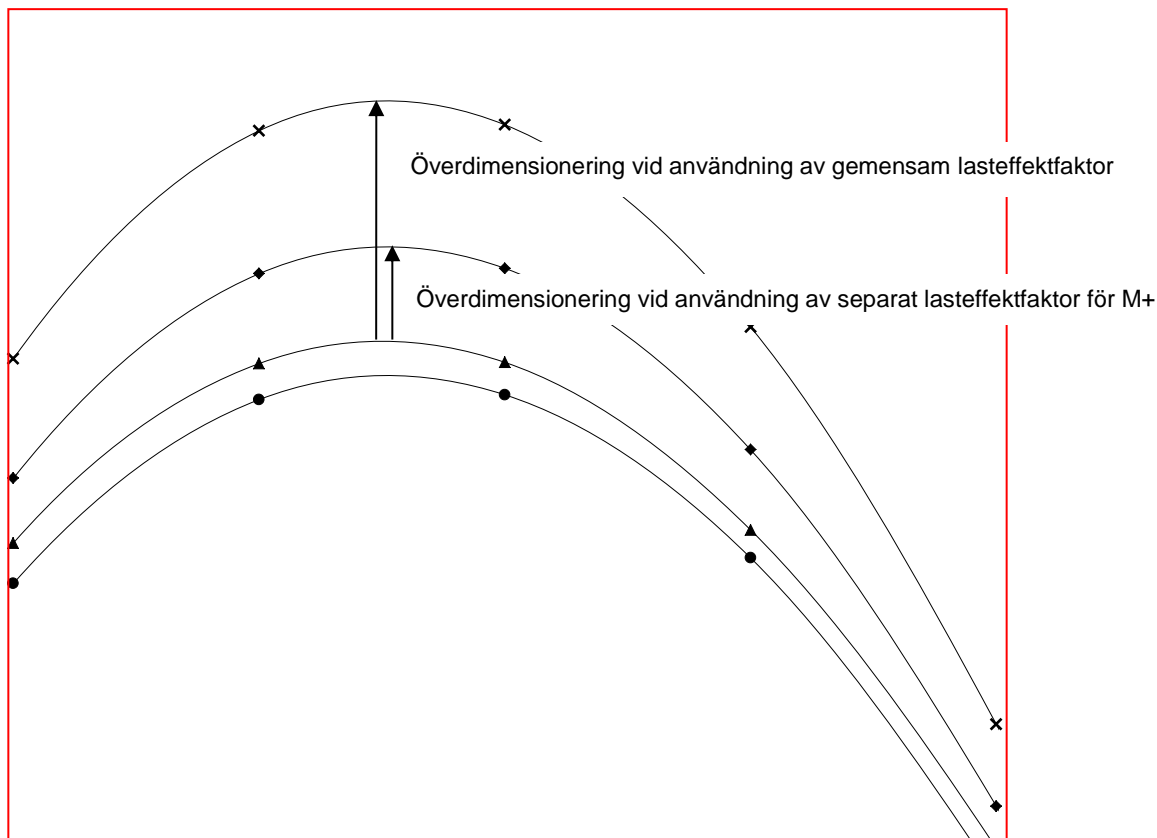
Kurvorna i figurerna representerar:

LM1	Lasteffekt (M_+) LM1
TFM	Lasteffekt (M_+) TFM
LM1 (F,M)	Lasteffekt (M_+) vid justerad LM1, separat lasteffektfaktor
LM1 (F,tot)	Lasteffekt (M_+) vid justerad LM1, gemensam lasteffektfaktor

För denna bro är lasteffektfaktorn nära stöd större än vad den är i fält, medan storleken på den faktiska lasteffekten i fält är större än vad den är nära stöd. Då störst lasteffektfaktor används för att justera LM1 kommer lasteffekten i fält därför få ett stort överdimensionerat värde, medan lasteffekten nära stöd kommer vara mer eller mindre oförändrad. Beroende på om separat eller gemensam lasteffektfaktor används blir överdimensioneringen olika stor.



Figur 3.24. Olika storlek på M_+ beroende på trafiklastmodell och val av lasteffektfaktor. Markerat område anger var störst lasteffekter förekommer och i detta exempel även var störst överdimensioneringar görs. Det markerade områden visas uppförstorat i Figur 3.25.



Figur 3.25. Förstorad bild av markerat område i Figur 3.24. Pilarna anger hur stor överdimensioneringen blir vid användning av de två olika metoderna.

LM1- och TFM-kurvorna i Figur 3.24 och Figur 3.25 består av värden från Tabell 3.5, vilka erhållits vid analys. För varje enskild bro av de 448 som analyseras skapas likande tabeller. Antal celler beror på antal analyserade lasteffekt och antal spann, alltså antal element i bron. Tabellen innehåller lasteffekternas storlek och värdet på lasteffekt faktorn.

Tabell 3.5. Resultande värden från analys i SOFiSTiK av samverkansbro 2 spann, L_{tot} 160 m, b 12 m.

REL.DIST	MY max			MY min			VZ max			VZ min			V ABS max		
	LM1	TFM	F	LM1	TFM	F	LM1	TFM	F	LM1	TFM	F	LM1	TFM	F
0/8(1)	0	0		0	0		1951	2160	1,11	-215	-219	1,02	1951	2160	1,11
1/8(1)	16650	17686	1,06	-2146	-2186	1,02	1538	1735	1,13	-288	-349	1,21	1538	1735	1,13
2/8(1)	27620	28814	1,04	-4292	-4372	1,02	1173	1356	1,16	-491	-611	1,25	1173	1356	1,16
3/8(1)	33046	34111	1,03	-6438	-6557	1,02	856	1007	1,18	-733	-908	1,24	856	1007	1,18
4/8(1)	33189	34146	1,03	-8584	-8743	1,02	588	693	1,18	-1012	-1255	1,24	1012	1255	1,24
5/8(1)	28376	29200	1,03	-10730	-10929	1,02	369	426	1,16	-1321	-1597	1,21	1321	1597	1,21
6/8(1)	18920	19804	1,05	-12876	-13115	1,02	197	216	1,10	-1656	-1927	1,16	1656	1927	1,16
7/8(1)	6653	7400	1,11	-16227	-17720	1,09	74	74	1,00	-2008	-2223	1,11	2008	2223	1,11
0/8(2)	0	0		-28069	-34305	1,22	2365	2505	1,06	0	0		2365	2505	1,06

För samtliga broar presenteras värden för åttondelspunkter i varje spann. För flera spann anger en tilläggsiffra vilket spann som avses, exempelvis 3/8(1) anger 3/8-delspunkt i första spannet. På grund av symmetri så gäller resultatet i punkt 3/8(1) även för 5/8(2) för en bro i 2 spann, och så vidare. Endast den tidigare punkten presenteras.

Resultat för lasteffektfaktorer, överdimensioneringar och relevanta punkter sammanställs i två tabeller. En för separat lasteffektfaktor, Tabell 3.7, och en för gemensam lasteffektfaktor, Tabell 3.9.

3.3.2.1 Separata lasteffektfaktorer (exempel med M+)

I detta avsnitt används ett exempel för M+. Principen är samma för övriga lasteffekter.

Tabell 3.5 visar att störst lasteffektfaktor för M+ är 1,11 och sker i 7/8-delpunkten i första spannet och värdet används som separat lasteffektfaktor.

Separat lasteffektfaktor för M+: 1,11

Den separata faktorn är ungefär 8 % större i 7/8-delpunkten än vad den är i mitten av spannet. Alltså kommer justerad lasteffekt i fält att vara 8 % överdimensionerad. Överdimensionering i faktisk lasteffekt blir:

$$\Delta M = \Delta F \cdot LM1 = 0,0836 \cdot 33189 = 2774 \text{ kNm}$$

Detta är den största överdimensioneringen som sker längs bron om separat lasteffektfaktor används. Informationen sammanställs i Tabell 3.6.

Tabell 3.6. Separat lasteffektfaktor, samverkansbro 2 spann, b 12 m.

L	M+			
	F	D	$\Delta M+$	D
160	1,11	7/8(1)	2774	4/8(1)

För Tabell 3.6 gäller;

- L (Kolumn 1). Längd i meter för aktuell bro; 160 m.
- M+ (2-5). Resultat för positivt böjmoment.
 - F (2). Den största faktorn för M+ som uppstår längs hela bron; 1,11.
 - D (3). I vilken punkt F uppstår; 7/8(1).
 - $\Delta M+$ (4). Största överdimensionering för M+ längs bron vid justering med F; 2774 kNm.
 - D (5). I vilken punkt $\Delta M+$ uppstår; 4/8(1).

Samma räkneoperationer utförs för alla broar. Data från varje bro sätts samman i större tabeller där 14 olika broar samlas. Brotyp, brobredd och antal spann är gemensamt. Tabell 3.7 gäller alltså för alla samverkansbroar med bredden 12 m i 2 spann.

Tabell 3.7. Separata lasteffektfaktorer, samverkansbro 2 spann, b 12 m. Data från Tabell 3.6 är markerat.

L	M+				V				M-			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D	F	D	$\Delta M-$	D
20	0.93	-	-	-	1.04	0/8(2)	114	5/8(1)	1.31	0/8(2)	250	7/8(1)
30	1.00	-	-	-	1.10	0/8(2)	84	5/8(1)	1.41	0/8(2)	463	7/8(1)
40	1.02	1/8(1)	288	7/8(1)	1.17	0/8(2)	123	5/8(1)	1.35	0/8(2)	367	7/8(1)
50	1.10	3/8(1)	368	7/8(1)	1.20	0/8(2)	131	4/8(1)	1.26	2/8(1)	109	7/8(1)
60	1.14	3/8(1)	444	7/8(1)	1.21	0/8(2)	139	4/8(1)	1.27	2/8(1)	526	0/8(2)
70	1.15	3/8(1)	505	7/8(1)	1.20	0/8(2)	110	4/8(1)	1.25	3/8(1)	1007	0/8(2)
80	1.15	3/8(1)	554	7/8(1)	1.19	0/8(2)	63	4/8(1)	1.22	3/8(1)	1495	0/8(2)
90	1.15	3/8(1)	593	7/8(1)	1.18	0/8(1)	30	3/8(1)	1.19	2/8(1)	873	0/8(2)
100	1.13	3/8(1)	577	7/8(1)	1.24	4/8(1)	150	0/8(2)	1.23	0/8(2)	375	6/8(1)
120	1.11	1/8(1)	351	5/8(1)	1.28	4/8(1)	340	0/8(2)	1.30	0/8(2)	1510	6/8(1)
140	1.09	1/8(1)	311	4/8(1)	1.27	4/8(1)	419	0/8(2)	1.28	0/8(2)	2177	6/8(1)
160	1.11	7/8(1)	2774	4/8(1)	1.24	4/8(1)	427	0/8(2)	1.22	0/8(2)	2622	6/8(1)
180	1.13	7/8(1)	3244	4/8(1)	1.22	4/8(1)	306	7/8(1)	1.15	0/8(2)	2791	6/8(1)
200	1.13	7/8(1)	7965	4/8(1)	1.19	4/8(1)	253	7/8(1)	1.09	0/8(2)	2185	7/8(1)

3.3.2.2 Gemensam lasteffektfaktor (exempel med M+)

I Tabell 3.5 uppstår störst lasteffektfaktor för samtliga lasteffekter i 4/8-delspunkten i första spannet för V. Den används som gemensam lasteffektfaktor för samtliga lasteffekter.

Gemensam lasteffektfaktor: 1,24

Vid användning av gemensam lasteffektfaktor kan analys utföras utan att lasteffekten underdimensioneras i någon åttondelspunkt med hänsyn till samtliga lasteffekter. Den gemensamma faktorn är dock 13 % större än den separata faktorn för M+ och hela 21 % större än den minsta faktorn för M+, vilken gäller i fältmitt. Överdimensionering i mitten av första spannet med avseende på M+ blir då:

$$\Delta M = \Delta F \cdot LM1 = 0,2112 \cdot 33189 = 7010 \text{ kNm}$$

Tabell 3.8. Gemensam lasteffektfaktor, samverkansbro 2 spann, b 12 m.

L	F	M+	
		$\Delta M+$	D
160	1,24	7010	4/8(1)

För Tabell 3.8 gäller;

- L (Kolumn 1). Längd i meter för aktuell bro; 160 m.
- F (2). Största lasteffektfaktor F för samtliga lasteffekter; 1,24.
- M+ (3-4). Resultat för positivt moment.
 - $\Delta M+$ (3). Största överdimensionering för M+ längs bron vid justering med F; 7010 kNm.
 - D (4). I vilken punkt $\Delta M+$ uppstår; 4/8/(1).

Samma räkneoperationer görs för alla broar, alla med olika lasteffektfaktorer. Data från varje bro sätts samman i större tabeller där 14 olika broar samlas. Brotyp, brobredd och antal spann är gemensamt. Tabell 3.9 gäller alltså för alla samverkansbroar med bredden 12 m i 2 spann.

Tabell 3.9. Gemensam lasteffektfaktor, samverkansbro 2 spann, b 12 m. Data från Tabell 3.8 är markerat.

L	F	M+		V		M-	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D	$\Delta M-$	D
20	1.31	827	3/8(1)	318	0/8(1)	250	7/8(1)
30	1.41	1422	3/8(1)	399	0/8(1)	463	7/8(1)
40	1.35	1596	4/8(1)	291	0/8(1)	367	7/8(1)
50	1.26	1069	4/8(1)	183	5/8(1)	109	7/8(1)
60	1.27	1080	4/8(1)	180	4/8(1)	526	0/8(2)
70	1.25	987	4/8(1)	146	4/8(1)	1007	0/8(2)
80	1.22	821	4/8(1)	81	4/8(1)	1495	0/8(2)
90	1.19	716	7/8(1)	30	3/8(1)	873	0/8(2)
100	1.24	1822	4/8(1)	150	0/8(2)	476	6/8(1)
120	1.30	4348	4/8(1)	377	0/8(2)	1510	6/8(1)
140	1.28	5727	4/8(1)	439	0/8(2)	2177	6/8(1)
160	1.24	7010	4/8(1)	427	0/8(2)	2852	6/8(1)
180	1.22	8858	4/8(1)	306	7/8(1)	3783	6/8(1)
200	1.19	10775	4/8(1)	253	7/8(1)	4528	7/8(1)

Tabellen för gemensam lasteffektfaktor anger inte var faktorn inträffar eller vilken lasteffekt som orsakar den. Den informationen fås dock lätt ut via jämförelse med motsvarande tabell för separat lasteffektfaktor. I bilagorna kommer den direkt före tabellen för gemensam faktor.

3.3.3 Analys

3.3.3.1 För- och nackdelar med separata lasteffektfactorer respektive gemensam lasteffektfaktor

Princip 1: Separata lasteffektfactorer.

Lasteffektfactorer anpassas separat för varje lasteffekt i bron.

- **Fördel:** Noggrannare dimensionering eftersom faktorn anpassas till varje lasteffekt.
- **Nackdel:** Ger längre beräkningstider alternativt mer invecklad programmering eftersom varje lasteffekt beräknas med en separat justering av LM1.

Princip 2: Gemensam lasteffektfaktor.

En lasteffektfaktor anpassas för samtliga lasteffekter i bron.

- **Fördel:** Ger kortare beräkningstider, alternativt mindre invecklad programmering, eftersom endast en korrigering av LM1 görs och alla lasteffekter kan beräknas samtidigt.
- **Nackdel:** Mindre noggrann dimensionering, större överdimensioneringar görs.

3.3.3.2 Analys för samverkansbroar

För enspannsbroar är faktorn F nästan alltid mindre för M+ jämfört med V. Samma gäller flerspannsbroar, men här orsakas oftast största faktorn av M-. I de flesta fall blir därför den relativa överdimensioneringen störst för M+ om gemensam lasteffektfaktor väljs framför separata lasteffektfactorer.

För många broar så är det störst lasteffektfaktor i punkter längs bron där lasteffekten inte är dimensionerande. Detta kan vara i en punkt nära stöd för M_+ eller nära mitten av ett spann för V eller M_- . Detta är naturligt då mindre lasteffekter ger upphov till större procentuell skillnad mellan lastmodellerna. Störst överdimensionering sker typiskt i punkter där dimensionerande lasteffekt uppstår.

Vid vissa längder på broarna beroende på antalet spann och lasteffekt så är det störst faktor i punkter där också stor lasteffekt uppstår.

3.3.3.3 Analys för enbalksbro

Jämfört med samverkansbroar så tillkommer det för enbalksbroar en lasteffektfaktor för M_t . Det gör också att överdimensioneringarna riskerar att öka ytterligare vid användning av gemensam lasteffektfaktor.

För enspannsbroar tycks V ha störst lasteffektfaktor för smala, korta broar. Ju längre och bredare broarna blir, desto fler broar får istället M_t som störst lasteffektfaktor.

För flerspannsbroar har generellt M_- störst lasteffektfaktor och den kan i vissa fall bli mycket stor. Faktorn för M_t får dock liksom för enbalksbroar i 1 spann större betydelse ju bredare bron blir och är dimensionerande vid ett par av de längre och bredare broarna. Faktorn för M_+ är liksom för samverkansbroar aldrig dimensionerande.

Precis som för samverkansbroar så uppstår för många av enbalksbroarna stor lasteffektfaktor i punkter där inte lasteffekten är dimensionerande. Nära stöd för M_+ och mitt i spann för V , M_- och M_t .

Vid vissa längder på broarna beroende på antalet spann och lasteffekt så uppstår störst faktor mellan lastmodellerna i punkter där också stor lasteffekt uppstår. Trenden är liknande för samtliga bredder med undantag för M_t för korta smala broar där inga undantag för faktorn finns.

4 Diskussion och slutsatser

4.1 Slutsatser

Viktigaste slutsatser för denna rapport:

- Typfordonsmodellen gav i de flesta fall högre lasteffekt än Lastmodell 1.
- Lasteffektfaktorn kunde variera kraftigt vid mindre variationer av spannlängd.
- För enbalksbroar var sambandet mellan brobredd och lasteffektfaktor nästintill linjärt, vilket dock inte gällde för samverkansbroar.
- Att ersätta Typfordonsmodellen med en justerad Lastmodell 1 behöver inte alltid vara ekonomiskt effektivt. Analysen kan bli komplicerad eller ge stora överdimensioneringar.

4.2 Diskussion

Att TFM i de flesta fall gav högre lasteffekter än LM1 beror dels på att maximalt antal axellaster är större i TFM och dels på att avståndet mellan TFMs axellaster kan variera. TFM är uppbyggd mer kring verkliga fordon jämfört med LM1. Båda modellerna är dock förenklingar av verkligheten. Precis som med allt annat ingenjörsarbete gäller det att kunna bedöma vilka antaganden och förenklingar som kan göras för att göra en säker men samtidigt effektiv dimensionering. Med tanke på att trafiksammanställningen inte skiljer sig nämnvärt mellan olika europeiska länder kan det diskuteras varför Sverige har en egen trafiklastmodell som komplement till Eurokodens LM1.

Spannlängdens inverkan på lasteffektfaktorn har visat sig vara stor, framförallt beroende på TFMs ojämna lastökning med avseende på längden. Det finns en del kritiska längdintervall där storleken på lasteffektfaktorn kan variera kraftigt och det bör man vara medveten om vid utvärdering av resultaten.

Antagandet om att samverkansbroar saknar vridstyvhet i tvärled kan ge stora skillnader mellan olika brobredder. Användning av filfaktorer, vilka beror på avståndet mellan huvudbalkarna, har stor inverkan på resultatet. I verkligheten finns självklart en viss

vridstyvhet i tvärled, vilket ger en mer jämn lastfördelning mellan balkarna. Detta gör att resultaten i det avseendet kan anses vara på säkra sidan.

Alla finita elementmodeller innehåller mindre osäkerheter i form av upplagsvillkor, elementindelning med mera. De variabla avstånden mellan lasterna i TFM är numeriskt komplicerade och då antal iterationer är begränsat i programmet har asymmetrier uppstått med avseende på lasteffekter för broar i 3-4 spann. Skillnaden i lasteffekt för TFM för två symmetriska punkter har ibland uppgått till 10 %. Vid asymmetri har alltid det största värdet använts då det lägre värdet anses vara resultatet av numeriska begränsningar. Liknande asymmetrier uppstår generellt i SOFiSTiK och beror inte på programmeringsfel i koden för detta examensarbete. Trots asymmetribeteendet anses resultaten vara tillförlitliga då enbart de största värdena har använts och att verifiering har skett med Strip Step 2.

Det är viktigt att alltid vara kritisk till resultaten som erhålls. Både med avseende på numeriska beräkningar och relaterat till de förenklingar och antaganden som görs.

Syftet med examensarbetet har uppnåtts. Det kan dock diskuteras hur användbara lasteffektfaktorerna är. Förhållandet mellan LM1 och TFM kan variera mycket längs en bro och justering med en lasteffektfaktor kan ge stora överdimensioneringar och därmed en oekonomisk konstruktion. Effektivisering i beräkningstid får relateras till produktionskostnader med mera.

Störst lasteffektfaktor kan uppstå i punkter där aktuell lasteffekt inte är dimensionerande. Lägre relativa värden på lasteffekterna ökar risken för att faktorn blir avvikande, och därmed riskeras större överdimensioneringar. Exempelvis kan störst lasteffektfaktor inträffa i en punkt där faktisk lasteffekt är så pass låg att det kan spekuleras i om kravet på minimiarmering gör att aktuell lasteffekt inte ens blir dimensionerande i den punkten. Vidare jämförelse med minimiarmeringskrav har inte skett i denna rapport.

Då gemensam lasteffektfaktor tillämpas kan överdimensioneringarna bli stora. Vid användning av separata lasteffektfaktorer kan den effekten dämpas. Modellen blir bättre anpassad för olika lasteffekter, dock så måste LM1 då definieras separat för varje lasteffektanalys, alternativt så kan data efterbehandlas.

Oavsett om gemensam lasteffektfaktor eller separata lasteffektfaktorer används så inses att dimensioneringsmetoden med justering av LM1 har vissa brister. Det är upp till konstruktören att göra en bedömning utifrån de kvantitativa tabeller som presenteras i denna rapport.

4.3 Framtida studier

Av de broar som har analyserats i detta arbete kan ett fåtal väljas ut för noggrannare analys. De broar som väljs är då med fördel av en typ som är vanligt förekommande, liksom i detta examensarbete, så att resultaten kan användas praktiskt. Förutom att behandla separata och gemensamma faktorer kan olika faktorer gälla för olika punkter längs bron, alltså att en sektionsindelning görs. Fördelen är att justeringen av LM1 kan trimmas och att mindre överdimensioneringar görs. När en, eller eventuellt ett fåtal, lasteffektfaktorer används kan LM1 justeras innan beräkningarna och resultaten användas direkt. När fler faktorer ingår i analysen är det endast praktiskt möjligt att efterbehandla data vilket kan innebära extra arbete.

Det kan vara intressant är att behandla fler brotyper, bland annat T-balkbroar och plattbroar. T-balkbroar består av två eller fler balkar och lastfördelningen blir inte lika lätt att förutse. Korta plattbroar i 1 spann är av stort intresse. Analys av balkbroar i 1 spann har påvisat att skillnaden mellan TFM och LM1 är mindre än för flera spann. Samma beteende kan därför förväntas för plattor i ett spann, och därför kan eventuellt metoden bli praktiskt användbar. För plattbroar får axelbredd betydelse vilket gör analyserna mer komplicerade. Beräkningarna är mycket tidskrävande vilket innebär att variationen av antalet analyserade objekt kan behöva begränsas.

Ytterligare förslag till framtida studie är att undersöka huruvida en utökning av LM1 är en god idé. Ett förslag är att införa ytterligare en axel, som har ett variabelt avstånd till övriga axellaster. Detta skulle ge LM1 ett utseende mer likt TFM men endast bestå av en variant, till skillnad från TFMs 14. Det variabla avståndet skulle dessutom kunna väljas till multiplar av hela metrar för att minska beräkningstiden.

Referenser

Publikationer

Calgaro, J-A. 1998. *Loads on Bridges*. Frankrike: Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA).

Carlsson, Fredrik. 2006. *Modelling of Traffic Loads on Bridges, report TVBK-1032*. Diss., Lunds Universitet.

SFS 1998:1276. *Trafikförordning*. Stockholm: Näringsdepartementet.

SS-EN 1991-2:2003. *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*. Stockholm: SIS Förlag AB.

TRVFS 2011:12. *Trafikverkets författningssamling*. Borlänge: Trafikverket.

VV Publ. 1996:63. *Broprojektering – En handbok*. Borlänge: Vägverkets tryckeri.

VV Publ. 2009:61. *Metodbeskrivning 802 Bärighetsutredning av byggnadsverk*. Vägverket.

TRV Publ. 2011:85. *TRVK Bro 11*. Trafikverket.

Muntliga källor

Bengtsson, Ola; Brokonstruktör på Centerlöf & Holmberg. 2013. Assisterande handledare under examensarbetet.

Kamrad, Thomas; Brokonstruktör på Centerlöf & Holmberg. 2013. Handledare under examensarbetet.

Ronnebrant, Robert; Specialist Bro på Trafikverket. 2013. Intervju via telefon gjord av Ola Bengtsson, Centerlöf & Holmberg 2013-02-07 samt kommunikation via e-post januari 2013.

Programvaror

SOFiSTiK AG (2004-2012). *SSD – SOFiSTiK Structural Desktop* (Version 13.08 – 27)

NordCad AB. *Strip Step 2* (Version PC-05)

Microsoft Corporation (2008). *Microsoft Office Excel 2007* (Version 12.0.6665.5003)

Bilagor

- Bilaga 1 – Kritiska lasteffekter. Samverkansbroar.
- Bilaga 2 – Kritiska lasteffekter. Enbalksbroar.
- Bilaga 3 – Användning av lasteffektfaktorer. Samverkansbroar.
- Bilaga 4 – Användning av lasteffektfaktorer. Enbalksbroar.
- Bilaga 5 – Flödesscheman.
- Bilaga 6 – Definition av typfordon.

Bilaga 1 – Kritiska lasteffekter. Samverkansbroar.

Förklaring till Bilaga 1 finns i avsnitt 3.2.

Innehåll

Samverkansbroar, 1 spann.....	1
Samverkansbroar, 2 spann.....	2
Samverkansbroar, 3 spann.....	3
Samverkansbroar, 4 spann.....	4

Bilaga 2 – Kritiska lasteffekter. Enbalksbroar.

Förklaring till Bilaga 2 finns i avsnitt 3.2.

Innehåll

Enbalksbroar, 1 spann.....	1
Enbalksbroar, 2 spann.....	2
Enbalksbroar, 3 spann.....	3
Enbalksbroar, 4 spann.....	4

Bilaga 3 – Användning av lasteffektfaktorer. Samverkansbroar.

Förklaring till Bilaga 3 finns i avsnitt 3.3.

Innehåll

Samverkansbroar, 1 spann.....	1
Samverkansbroar, 2 spann.....	3
Samverkansbroar, 3 spann.....	5
Samverkansbroar, 4 spann.....	7

Tabell 9. Separata lasteffektfaktorer, b 6 m, 1 spann.

L	M+				V			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D
10	0,91	-	-	-	0,96	-	-	-
15	0,95	-	-	-	1,00	-	-	-
20	0,99	-	-	-	1,05	0/8	30	3/8
25	1,05	3/8	35	1/8	1,09	0/8	34	4/8
30	1,07	3/8	35	1/8	1,11	0/8	34	4/8
35	1,08	3/8	35	1/8	1,11	0/8	27	4/8
40	1,07	3/8	35	1/8	1,11	0/8	19	4/8
45	1,05	3/8	23	4/8	1,11	1/8	16	4/8
50	1,04	1/8	117	4/8	1,11	2/8	24	0/8
60	1,02	1/8	328	4/8	1,11	3/8	65	0/8
70	0,98	-	-	-	1,11	4/8	115	0/8
80	0,95	-	-	-	1,11	4/8	135	0/8
90	0,96	-	-	-	1,10	4/8	112	1/8
100	0,99	-	-	-	1,08	4/8	86	2/8

Tabell 10. Gemensam lasteffektfaktor, b 6 m, 1 spann.

L	F	M+		V	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D
10	0,96	-	-	-	-
15	1,00	-	-	-	-
20	1,05	299	4/8	30	3/8
25	1,09	204	4/8	34	4/8
30	1,11	218	4/8	34	4/8
35	1,11	255	4/8	27	4/8
40	1,11	375	4/8	19	4/8
45	1,11	595	4/8	16	4/8
50	1,11	917	4/8	24	0/8
60	1,11	1832	4/8	65	0/8
70	1,11	3101	4/8	115	0/8
80	1,11	4787	4/8	135	0/8
90	1,10	6582	4/8	112	1/8
100	1,08	8398	4/8	86	2/8

Tabell 11. Separata lasteffektfaktorer, b 9 m, 1 spann.

L	M+				V			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D
10	0,96	-	-	-	1,01	0/8	86	4/8
15	1,01	1/8	124	3/8	1,06	0/8	49	4/8
20	1,06	1/8	147	4/8	1,12	0/8	49	3/8
25	1,12	3/8	53	1/8	1,16	0/8	56	4/8
30	1,15	3/8	54	1/8	1,18	0/8	58	4/8
35	1,16	3/8	54	1/8	1,19	0/8	48	4/8
40	1,15	3/8	54	1/8	1,19	0/8	37	4/8
45	1,14	3/8	33	4/8	1,19	1/8	30	4/8
50	1,13	1/8	174	4/8	1,19	2/8	27	0/8
60	1,10	1/8	493	4/8	1,19	3/8	82	0/8
70	1,07	1/8	814	4/8	1,19	4/8	146	0/8
80	1,03	1/8	1134	4/8	1,19	4/8	174	0/8
90	1,05	1/8	3523	4/8	1,19	4/8	148	1/8
100	1,08	1/8	7494	4/8	1,17	4/8	118	2/8

Tabell 12. Gemensam lasteffektfaktor, b 9 m, 1 spann.

L	F	M+		V	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D
10	1,01	212	3/8	86	4/8
15	1,06	284	3/8	49	4/8
20	1,12	451	4/8	49	3/8
25	1,16	307	4/8	56	4/8
30	1,18	327	4/8	58	4/8
35	1,19	384	4/8	48	4/8
40	1,19	565	4/8	37	4/8
45	1,19	852	4/8	30	4/8
50	1,19	1268	4/8	27	0/8
60	1,19	2518	4/8	82	0/8
70	1,19	4221	4/8	146	0/8
80	1,19	6664	4/8	174	0/8
90	1,19	9270	4/8	148	1/8
100	1,17	11911	4/8	118	2/8

Tabell 13. Separata lasteffektfaktorer, b 12 m, 1 spann.

L	M+				V			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D
10	0,97	-	-	-	1,02	0/8	101	4/8
15	1,02	1/8	145	3/8	1,07	0/8	57	4/8
20	1,07	1/8	172	4/8	1,13	0/8	57	3/8
25	1,13	3/8	62	1/8	1,17	0/8	66	4/8
30	1,16	3/8	63	1/8	1,19	0/8	68	4/8
35	1,17	3/8	63	1/8	1,20	0/8	55	4/8
40	1,16	3/8	63	1/8	1,20	0/8	42	4/8
45	1,15	3/8	39	4/8	1,20	1/8	35	4/8
50	1,14	1/8	204	4/8	1,20	2/8	33	0/8
60	1,11	1/8	578	4/8	1,20	3/8	97	0/8
70	1,08	1/8	953	4/8	1,20	4/8	174	0/8
80	1,05	1/8	1328	4/8	1,20	4/8	206	0/8
90	1,06	1/8	4125	4/8	1,20	4/8	176	1/8
100	1,10	1/8	8776	4/8	1,18	4/8	140	2/8

Tabell 14. Gemensam lasteffektfaktor, b 12 m, 1 spann.

L	F	M+		V	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D
10	1,02	248	3/8	101	4/8
15	1,07	332	3/8	57	4/8
20	1,13	529	4/8	57	3/8
25	1,17	359	4/8	66	4/8
30	1,19	383	4/8	68	4/8
35	1,20	450	4/8	55	4/8
40	1,20	662	4/8	42	4/8
45	1,20	1002	4/8	35	4/8
50	1,20	1495	4/8	33	0/8
60	1,20	2972	4/8	97	0/8
70	1,20	4984	4/8	174	0/8
80	1,20	7857	4/8	206	0/8
90	1,20	10917	4/8	176	1/8
100	1,18	14014	4/8	140	2/8

Tabell 15. Separata lasteffektfaktorer, b 15 m, 1 spann.

L	M+				V			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D
10	0,98	-	-	-	1,02	0/8	110	4/8
15	1,02	1/8	158	3/8	1,07	0/8	61	4/8
20	1,07	1/8	188	4/8	1,13	0/8	61	3/8
25	1,13	3/8	68	1/8	1,17	0/8	70	4/8
30	1,16	3/8	68	1/8	1,19	0/8	71	4/8
35	1,16	3/8	68	1/8	1,20	0/8	58	4/8
40	1,16	3/8	68	1/8	1,20	0/8	43	4/8
45	1,14	3/8	43	4/8	1,20	1/8	35	4/8
50	1,13	1/8	223	4/8	1,20	2/8	39	0/8
60	1,11	1/8	630	4/8	1,20	3/8	112	0/8
70	1,08	1/8	1038	4/8	1,20	4/8	199	0/8
80	1,04	1/8	1446	4/8	1,20	4/8	236	0/8
90	1,06	1/8	4488	4/8	1,19	4/8	199	1/8
100	1,09	1/8	9546	4/8	1,18	4/8	156	2/8

Tabell 16. Gemensam lasteffektfaktor, b 15 m, 1 spann.

L	F	M+		V	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D
10	1,02	270	3/8	110	4/8
15	1,07	361	3/8	61	4/8
20	1,13	576	4/8	61	3/8
25	1,17	392	4/8	70	4/8
30	1,19	418	4/8	71	4/8
35	1,20	491	4/8	58	4/8
40	1,20	722	4/8	43	4/8
45	1,20	1109	4/8	35	4/8
50	1,20	1672	4/8	39	0/8
60	1,20	3329	4/8	112	0/8
70	1,20	5599	4/8	199	0/8
80	1,20	8767	4/8	236	0/8
90	1,19	12136	4/8	199	1/8
100	1,18	15542	4/8	156	2/8

Tabell 17. Separata lasteffektfaktorer, b 6 m, 2 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
20	0,87	-	-	-	0,97	-	-	-	1,22	0/8(2)	136	7/8(1)
30	0,93	-	-	-	1,02	0/8(2)	45	5/8(1)	1,30	0/8(2)	250	7/8(1)
40	0,95	-	-	-	1,08	0/8(2)	66	5/8(1)	1,24	0/8(2)	191	7/8(1)
50	1,02	3/8(1)	195	7/8(1)	1,11	0/8(2)	70	4/8(1)	1,17	4/8(1)	65	7/8(1)
60	1,05	3/8(1)	234	7/8(1)	1,12	0/8(2)	74	4/8(1)	1,17	4/8(1)	345	0/8(2)
70	1,06	3/8(1)	263	7/8(1)	1,10	0/8(2)	57	4/8(1)	1,15	1/8(1)	629	0/8(2)
80	1,06	3/8(1)	285	7/8(1)	1,10	0/8(2)	30	4/8(1)	1,12	1/8(1)	917	0/8(2)
90	1,05	3/8(1)	301	7/8(1)	1,09	0/8(1)	13	3/8(1)	1,08	3/8(1)	581	0/8(2)
100	1,04	3/8(1)	286	7/8(1)	1,15	4/8(1)	97	0/8(2)	1,11	0/8(2)	158	6/8(1)
120	1,02	1/8(1)	201	5/8(1)	1,18	4/8(1)	205	0/8(2)	1,17	0/8(2)	780	6/8(1)
140	1,01	7/8(1)	642	4/8(1)	1,16	4/8(1)	251	0/8(2)	1,15	0/8(2)	1141	6/8(1)
160	1,03	7/8(1)	1954	4/8(1)	1,14	4/8(1)	257	0/8(2)	1,09	0/8(2)	1378	6/8(1)
180	1,04	7/8(1)	3431	4/8(1)	1,11	4/8(1)	183	7/8(1)	1,03	0/8(2)	1462	6/8(1)
200	1,04	7/8(1)	5055	4/8(1)	1,09	4/8(1)	154	7/8(1)	0,97	-	-	-

Tabell 18. Gemensam lasteffektfaktor, b 6 m, 2 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
20	1,22	448	3/8(1)	170	0/8(1)	136	7/8(1)
30	1,30	763	3/8(1)	212	0/8(1)	250	7/8(1)
40	1,24	841	4/8(1)	149	0/8(1)	191	7/8(1)
50	1,17	579	4/8(1)	98	5/8(1)	65	7/8(1)
60	1,17	577	4/8(1)	96	4/8(1)	345	0/8(2)
70	1,15	516	4/8(1)	77	4/8(1)	629	0/8(2)
80	1,12	414	4/8(1)	40	4/8(1)	917	0/8(2)
90	1,09	371	7/8(1)	13	3/8(1)	626	0/8(2)
100	1,15	1082	4/8(1)	97	0/8(2)	320	0/8(2)
120	1,18	2294	4/8(1)	205	0/8(2)	827	6/8(1)
140	1,16	3179	4/8(1)	251	0/8(2)	1253	6/8(1)
160	1,14	4059	4/8(1)	257	0/8(2)	1703	6/8(1)
180	1,11	5119	4/8(1)	183	7/8(1)	2244	6/8(1)
200	1,09	6218	4/8(1)	154	7/8(1)	2919	0/8(2)

Tabell 19. Separata lasteffektfaktorer, b 9 m, 2 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
20	0,92	-	-	-	1,03	0/8(2)	97	5/8(1)	1,30	0/8(2)	215	7/8(1)
30	0,98	-	-	-	1,09	0/8(2)	72	5/8(1)	1,40	0/8(2)	398	7/8(1)
40	1,01	1/8(1)	245	7/8(1)	1,15	0/8(2)	105	5/8(1)	1,34	0/8(2)	317	7/8(1)
50	1,08	3/8(1)	314	7/8(1)	1,19	0/8(2)	112	4/8(1)	1,25	1/8(1)	92	7/8(1)
60	1,13	3/8(1)	380	7/8(1)	1,20	0/8(2)	119	4/8(1)	1,26	3/8(1)	441	0/8(2)
70	1,14	3/8(1)	433	7/8(1)	1,19	0/8(2)	95	4/8(1)	1,24	4/8(1)	850	0/8(2)
80	1,14	3/8(1)	476	7/8(1)	1,18	0/8(2)	54	4/8(1)	1,21	1/8(1)	1267	0/8(2)
90	1,14	3/8(1)	509	7/8(1)	1,17	0/8(1)	26	3/8(1)	1,18	1/8(1)	736	0/8(2)
100	1,12	3/8(1)	495	7/8(1)	1,23	4/8(1)	126	0/8(2)	1,22	0/8(2)	328	6/8(1)
120	1,10	1/8(1)	300	5/8(1)	1,27	4/8(1)	287	0/8(2)	1,30	0/8(2)	1302	6/8(1)
140	1,08	1/8(1)	609	4/8(1)	1,26	4/8(1)	355	0/8(2)	1,27	0/8(2)	1873	6/8(1)
160	1,10	7/8(1)	2347	4/8(1)	1,23	4/8(1)	363	0/8(2)	1,21	0/8(2)	2252	6/8(1)
180	1,12	7/8(1)	4445	4/8(1)	1,21	4/8(1)	260	7/8(1)	1,14	0/8(2)	2393	6/8(1)
200	1,12	7/8(1)	6761	4/8(1)	1,18	4/8(1)	215	7/8(1)	1,08	0/8(2)	1871	7/8(1)

Tabell 20. Gemensam lasteffektfaktor, b 9 m, 2 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
20	1,30	709	3/8(1)	273	0/8(1)	215	7/8(1)
30	1,40	1223	3/8(1)	344	0/8(1)	398	7/8(1)
40	1,34	1375	4/8(1)	252	0/8(1)	317	7/8(1)
50	1,25	916	4/8(1)	157	5/8(1)	92	7/8(1)
60	1,26	927	4/8(1)	154	4/8(1)	441	0/8(2)
70	1,24	849	4/8(1)	125	4/8(1)	850	0/8(2)
80	1,21	707	4/8(1)	70	4/8(1)	1267	0/8(2)
90	1,18	617	7/8(1)	26	3/8(1)	736	0/8(2)
100	1,23	1548	4/8(1)	126	0/8(2)	399	6/8(1)
120	1,30	3765	4/8(1)	326	0/8(2)	1302	6/8(1)
140	1,27	4948	4/8(1)	378	0/8(2)	1873	6/8(1)
160	1,23	5968	4/8(1)	363	0/8(2)	2421	6/8(1)
180	1,21	7546	4/8(1)	260	7/8(1)	3215	6/8(1)
200	1,18	9183	4/8(1)	215	7/8(1)	3843	7/8(1)

Tabell 21. Separata lasteffektfaktorer, b 12 m, 2 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
20	0,93	-	-	-	1,04	0/8(2)	114	5/8(1)	1,31	0/8(2)	250	7/8(1)
30	1,00	-	-	-	1,10	0/8(2)	84	5/8(1)	1,41	0/8(2)	463	7/8(1)
40	1,02	1/8(1)	288	7/8(1)	1,17	0/8(2)	123	5/8(1)	1,35	0/8(2)	367	7/8(1)
50	1,10	3/8(1)	368	7/8(1)	1,20	0/8(2)	131	4/8(1)	1,26	2/8(1)	109	7/8(1)
60	1,14	3/8(1)	444	7/8(1)	1,21	0/8(2)	139	4/8(1)	1,27	2/8(1)	526	0/8(2)
70	1,15	3/8(1)	505	7/8(1)	1,20	0/8(2)	110	4/8(1)	1,25	3/8(1)	1007	0/8(2)
80	1,15	3/8(1)	554	7/8(1)	1,19	0/8(2)	63	4/8(1)	1,22	3/8(1)	1495	0/8(2)
90	1,15	3/8(1)	593	7/8(1)	1,18	0/8(1)	30	3/8(1)	1,19	2/8(1)	873	0/8(2)
100	1,13	3/8(1)	577	7/8(1)	1,24	4/8(1)	150	0/8(2)	1,23	0/8(2)	375	6/8(1)
120	1,11	1/8(1)	351	5/8(1)	1,28	4/8(1)	340	0/8(2)	1,30	0/8(2)	1510	6/8(1)
140	1,09	1/8(1)	714	4/8(1)	1,27	4/8(1)	419	0/8(2)	1,28	0/8(2)	2177	6/8(1)
160	1,11	7/8(1)	2774	4/8(1)	1,24	4/8(1)	427	0/8(2)	1,22	0/8(2)	2622	6/8(1)
180	1,13	7/8(1)	5244	4/8(1)	1,22	4/8(1)	306	7/8(1)	1,15	0/8(2)	2791	6/8(1)
200	1,13	7/8(1)	7965	4/8(1)	1,19	4/8(1)	253	7/8(1)	1,09	0/8(2)	2185	7/8(1)

Tabell 22. Gemensam lasteffektfaktor, b 12 m, 2 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
20	1,31	827	3/8(1)	318	0/8(1)	250	7/8(1)
30	1,41	1422	3/8(1)	399	0/8(1)	463	7/8(1)
40	1,35	1596	4/8(1)	291	0/8(1)	367	7/8(1)
50	1,26	1069	4/8(1)	183	5/8(1)	109	7/8(1)
60	1,27	1080	4/8(1)	180	4/8(1)	526	0/8(2)
70	1,25	987	4/8(1)	146	4/8(1)	1007	0/8(2)
80	1,22	821	4/8(1)	81	4/8(1)	1495	0/8(2)
90	1,19	716	7/8(1)	30	3/8(1)	873	0/8(2)
100	1,24	1822	4/8(1)	150	0/8(2)	476	6/8(1)
120	1,30	4348	4/8(1)	377	0/8(2)	1510	6/8(1)
140	1,28	5727	4/8(1)	439	0/8(2)	2177	6/8(1)
160	1,24	7010	4/8(1)	427	0/8(2)	2852	6/8(1)
180	1,22	8858	4/8(1)	306	7/8(1)	3783	6/8(1)
200	1,19	10775	4/8(1)	253	7/8(1)	4528	7/8(1)

Tabell 23. Separata lasteffektfaktorer, b 15 m, 2 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
20	0,93	-	-	-	1,04	0/8(2)	123	5/8(1)	1,31	0/8(2)	269	7/8(1)
30	1,00	-	-	-	1,10	0/8(2)	90	5/8(1)	1,40	0/8(2)	496	7/8(1)
40	1,02	1/8(1)	310	7/8(1)	1,16	0/8(2)	132	5/8(1)	1,34	0/8(2)	388	7/8(1)
50	1,10	3/8(1)	395	7/8(1)	1,19	0/8(2)	140	4/8(1)	1,26	1/8(1)	121	7/8(1)
60	1,13	3/8(1)	474	7/8(1)	1,20	0/8(2)	148	4/8(1)	1,26	3/8(1)	605	0/8(2)
70	1,15	3/8(1)	538	7/8(1)	1,20	0/8(2)	117	4/8(1)	1,24	4/8(1)	1136	0/8(2)
80	1,15	3/8(1)	589	7/8(1)	1,19	0/8(2)	65	4/8(1)	1,21	3/8(1)	1673	0/8(2)
90	1,14	3/8(1)	628	7/8(1)	1,18	0/8(1)	30	3/8(1)	1,18	1/8(1)	1002	0/8(2)
100	1,13	3/8(1)	608	7/8(1)	1,24	4/8(1)	171	0/8(2)	1,21	0/8(2)	376	6/8(1)
120	1,11	1/8(1)	384	5/8(1)	1,28	4/8(1)	379	0/8(2)	1,28	0/8(2)	1594	6/8(1)
140	1,09	7/8(1)	783	4/8(1)	1,26	4/8(1)	466	0/8(2)	1,26	0/8(2)	2312	6/8(1)
160	1,11	7/8(1)	3211	4/8(1)	1,23	4/8(1)	475	0/8(2)	1,21	0/8(2)	2794	6/8(1)
180	1,12	7/8(1)	5949	4/8(1)	1,21	4/8(1)	340	7/8(1)	1,14	0/8(2)	2979	6/8(1)
200	1,13	7/8(1)	8960	4/8(1)	1,18	4/8(1)	282	7/8(1)	1,08	0/8(2)	2322	7/8(1)

Tabell 24. Gemensam lasteffektfaktor, b 15 m, 2 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
20	1,31	887	3/8(1)	339	0/8(1)	269	7/8(1)
30	1,40	1517	3/8(1)	424	0/8(1)	496	7/8(1)
40	1,34	1695	4/8(1)	306	0/8(1)	388	7/8(1)
50	1,26	1149	4/8(1)	196	5/8(1)	121	7/8(1)
60	1,26	1155	4/8(1)	193	4/8(1)	605	0/8(2)
70	1,24	1049	4/8(1)	155	4/8(1)	1136	0/8(2)
80	1,21	864	4/8(1)	85	4/8(1)	1673	0/8(2)
90	1,18	759	7/8(1)	30	3/8(1)	1021	0/8(2)
100	1,24	2019	4/8(1)	171	0/8(2)	548	6/8(1)
120	1,28	4539	4/8(1)	398	0/8(2)	1594	6/8(1)
140	1,26	6027	4/8(1)	466	0/8(2)	2319	6/8(1)
160	1,23	7700	4/8(1)	475	0/8(2)	3165	6/8(1)
180	1,21	9721	4/8(1)	340	7/8(1)	4186	6/8(1)
200	1,18	11815	4/8(1)	282	7/8(1)	5043	7/8(1)

Tabell 25. Separata lasteffektfaktorer, b 6 m, 3 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
30	0,95	-	-	-	0,96	-	-	-	1,34	4/8(2)	207	7/8(1)
45	1,01	0/8(2)	217	5/8(1)	1,03	0/8(2)	46	6/8(1)	1,36	4/8(2)	301	7/8(1)
60	1,07	0/8(2)	434	4/8(1)	1,07	0/8(2)	68	6/8(1)	1,27	4/8(2)	253	1/8(2)
75	1,16	0/8(2)	574	4/8(1)	1,10	0/8(2)	80	5/8(1)	1,18	4/8(2)	248	0/8(2)
90	1,17	0/8(2)	651	4/8(2)	1,10	0/8(2)	72	4/8(1)	1,58	4/8(2)	1940	0/8(2)
105	1,16	0/8(2)	693	4/8(2)	1,10	0/8(1)	66	4/8(1)	1,63	4/8(2)	2950	0/8(2)
120	1,14	0/8(2)	689	4/8(2)	1,10	0/8(1)	42	5/8(1)	1,56	4/8(2)	3555	0/8(2)
135	1,11	6/8(1)	690	4/8(2)	1,10	1/8(1)	40	0/8(2)	1,49	4/8(2)	3552	0/8(2)
150	1,12	7/8(1)	1016	4/8(2)	1,15	4/8(2)	114	0/8(2)	1,42	4/8(2)	2880	0/8(2)
180	1,14	7/8(1)	2041	4/8(2)	1,18	4/8(2)	218	0/8(2)	1,31	4/8(2)	1966	0/8(2)
210	1,14	7/8(1)	3165	4/8(2)	1,16	4/8(1)	257	0/8(2)	1,22	4/8(2)	2179	7/8(1)
240	1,13	7/8(1)	4372	4/8(2)	1,14	4/8(1)	204	0/8(2)	1,14	4/8(2)	2404	7/8(1)
270	1,11	7/8(1)	5652	4/8(2)	1,11	4/8(1)	164	1/8(2)	1,07	4/8(2)	2616	7/8(1)
300	1,09	7/8(1)	6960	4/8(2)	1,08	4/8(1)	169	7/8(1)	1,01	4/8(2)	1969	7/8(1)

Tabell 26. Gemensam lasteffektfaktor, b 6 m, 3 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
30	1,34	575	3/8(1)	251	0/8(1)	207	7/8(1)
45	1,36	847	4/8(2)	250	0/8(1)	301	7/8(1)
60	1,27	937	4/8(1)	182	0/8(1)	253	1/8(2)
75	1,18	643	4/8(1)	120	5/8(1)	248	0/8(2)
90	1,58	2569	4/8(2)	419	0/8(2)	1940	0/8(2)
105	1,63	3433	4/8(2)	503	0/8(2)	2950	0/8(2)
120	1,56	3680	4/8(2)	474	0/8(2)	3555	0/8(2)
135	1,49	3857	4/8(2)	445	0/8(2)	3552	0/8(2)
150	1,42	3983	4/8(2)	418	0/8(2)	2880	0/8(2)
180	1,31	4154	4/8(2)	374	0/8(2)	1966	0/8(2)
210	1,22	4439	4/8(2)	333	0/8(2)	2179	7/8(1)
240	1,14	4623	4/8(2)	213	0/8(2)	2404	7/8(1)
270	1,11	5652	4/8(2)	168	1/8(2)	3123	7/8(1)
300	1,09	6960	4/8(2)	179	7/8(1)	3894	0/8(2)

Tabell 27. Separata lasteffektfaktorer, b 9 m, 3 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
30	1,00	-	-	-	1,02	0/8(2)	102	5/8(1)	1,43	4/8(2)	322	7/8(1)
45	1,07	0/8(2)	335	5/8(1)	1,09	0/8(2)	73	3/8(1)	1,46	4/8(2)	474	7/8(1)
60	1,14	0/8(2)	673	4/8(1)	1,14	0/8(2)	108	6/8(1)	1,37	4/8(2)	405	1/8(2)
75	1,24	0/8(2)	896	4/8(1)	1,18	0/8(2)	128	5/8(1)	1,28	4/8(2)	376	0/8(2)
90	1,26	0/8(2)	1017	4/8(2)	1,19	0/8(2)	117	4/8(1)	1,72	4/8(2)	2948	0/8(2)
105	1,25	0/8(2)	1089	4/8(2)	1,18	0/8(2)	102	4/8(1)	1,79	4/8(2)	4483	0/8(2)
120	1,23	0/8(2)	1092	4/8(2)	1,19	0/8(1)	65	5/8(1)	1,71	4/8(2)	5403	0/8(2)
135	1,20	0/8(2)	1047	4/8(2)	1,18	1/8(1)	46	2/8(2)	1,64	4/8(2)	5398	0/8(2)
150	1,20	7/8(1)	1427	4/8(2)	1,23	4/8(2)	152	0/8(2)	1,57	4/8(2)	4376	0/8(2)
180	1,23	7/8(1)	2939	4/8(2)	1,27	4/8(2)	307	0/8(2)	1,44	4/8(2)	3085	7/8(1)
210	1,23	7/8(1)	4599	4/8(2)	1,26	4/8(1)	364	0/8(2)	1,35	4/8(2)	3445	7/8(1)
240	1,22	7/8(1)	6385	4/8(2)	1,23	4/8(1)	282	0/8(2)	1,27	4/8(2)	3801	7/8(1)
270	1,21	7/8(1)	8281	4/8(2)	1,21	4/8(1)	232	1/8(2)	1,19	4/8(2)	4136	7/8(1)
300	1,19	7/8(1)	10220	4/8(2)	1,18	4/8(1)	242	7/8(1)	1,13	4/8(2)	3164	7/8(1)

Tabell 28. Gemensam lasteffektfaktor, b 9 m, 3 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
30	1,43	900	3/8(1)	396	0/8(1)	322	7/8(1)
45	1,46	1342	4/8(2)	401	0/8(1)	474	7/8(1)
60	1,37	1509	4/8(1)	301	0/8(1)	405	1/8(2)
75	1,28	1090	4/8(1)	200	5/8(1)	376	0/8(2)
90	1,72	4106	4/8(2)	665	0/8(2)	2948	0/8(2)
105	1,79	5481	4/8(2)	796	0/8(2)	4483	0/8(2)
120	1,71	5899	4/8(2)	752	0/8(2)	5403	0/8(2)
135	1,64	6208	4/8(2)	709	0/8(2)	5398	0/8(2)
150	1,57	6438	4/8(2)	668	0/8(2)	4376	0/8(2)
180	1,44	6765	4/8(2)	599	0/8(2)	3085	7/8(1)
210	1,35	7263	4/8(2)	537	0/8(2)	3445	7/8(1)
240	1,27	7602	4/8(2)	353	0/8(2)	3801	7/8(1)
270	1,21	8281	4/8(2)	235	1/8(2)	4384	7/8(1)
300	1,19	10220	4/8(2)	253	7/8(1)	4949	0/8(2)

Tabell 29. Separata lasteffektfaktorer, b 12 m, 3 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D	F	D	$\Delta M-$	D
30	1,01	0/8(2)	280	3/8(1)	1,03	0/8(2)	120	5/8(1)	1,44	4/8(2)	376	7/8(1)
45	1,08	0/8(2)	393	5/8(1)	1,10	0/8(2)	86	3/8(1)	1,47	4/8(2)	552	7/8(1)
60	1,15	0/8(2)	788	4/8(1)	1,16	0/8(2)	126	6/8(1)	1,38	4/8(2)	471	1/8(2)
75	1,25	0/8(2)	1047	4/8(1)	1,19	0/8(2)	150	5/8(1)	1,29	4/8(2)	441	0/8(2)
90	1,27	0/8(2)	1187	4/8(2)	1,20	0/8(2)	136	4/8(1)	1,73	4/8(2)	3452	0/8(2)
105	1,26	0/8(2)	1271	4/8(2)	1,19	0/8(1)	120	4/8(1)	1,79	4/8(2)	5249	0/8(2)
120	1,24	0/8(2)	1274	4/8(2)	1,20	0/8(1)	75	5/8(1)	1,71	4/8(2)	6327	0/8(2)
135	1,21	0/8(2)	1221	4/8(2)	1,20	1/8(1)	55	2/8(2)	1,64	4/8(2)	6321	0/8(2)
150	1,21	7/8(1)	1681	4/8(2)	1,24	4/8(2)	181	0/8(2)	1,57	4/8(2)	5124	0/8(2)
180	1,24	7/8(1)	3458	4/8(2)	1,28	4/8(2)	363	0/8(2)	1,45	4/8(2)	3591	7/8(1)
210	1,24	7/8(1)	5407	4/8(2)	1,27	4/8(1)	429	0/8(2)	1,35	4/8(2)	4014	7/8(1)
240	1,23	7/8(1)	7503	4/8(2)	1,24	4/8(1)	333	0/8(2)	1,27	4/8(2)	4433	7/8(1)
270	1,22	7/8(1)	9726	4/8(2)	1,21	4/8(1)	273	1/8(2)	1,20	4/8(2)	4829	7/8(1)
300	1,20	7/8(1)	11998	4/8(2)	1,19	4/8(1)	284	7/8(1)	1,14	4/8(2)	3695	7/8(1)

Tabell 30. Gemensam lasteffektfaktor, b 12 m, 3 spann.

L	F	M+		V		M-	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D	$\Delta M-$	D
30	1,44	1049	3/8(1)	462	0/8(1)	376	7/8(1)
45	1,47	1561	4/8(2)	466	0/8(1)	552	7/8(1)
60	1,38	1754	4/8(1)	349	0/8(1)	471	1/8(2)
75	1,29	1263	4/8(1)	232	5/8(1)	441	0/8(2)
90	1,73	4758	4/8(2)	772	0/8(2)	3452	0/8(2)
105	1,79	6348	4/8(2)	924	0/8(2)	5249	0/8(2)
120	1,71	6831	4/8(2)	873	0/8(2)	6327	0/8(2)
135	1,64	7189	4/8(2)	822	0/8(2)	6321	0/8(2)
150	1,57	7456	4/8(2)	775	0/8(2)	5124	0/8(2)
180	1,45	7840	4/8(2)	696	0/8(2)	3591	7/8(1)
210	1,35	8427	4/8(2)	624	0/8(2)	4014	7/8(1)
240	1,27	8833	4/8(2)	410	0/8(2)	4433	7/8(1)
270	1,22	9726	4/8(2)	277	1/8(2)	5168	7/8(1)
300	1,20	11998	4/8(2)	298	7/8(1)	5878	0/8(2)

Tabell 31. Separata lasteffektfaktorer, b 15 m, 3 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	$\Delta M+$	D	F	D	ΔV	D	F	D	$\Delta M-$	D
30	1,01	0/8(2)	304	3/8(1)	1,03	0/8(2)	130	5/8(1)	1,44	4/8(2)	405	7/8(1)
45	1,08	0/8(2)	425	5/8(1)	1,10	0/8(2)	92	3/8(1)	1,46	4/8(2)	593	7/8(1)
60	1,15	0/8(2)	852	4/8(1)	1,15	0/8(2)	135	6/8(1)	1,37	4/8(2)	504	1/8(2)
75	1,25	0/8(2)	1129	4/8(1)	1,18	0/8(2)	161	5/8(1)	1,28	4/8(2)	479	0/8(2)
90	1,27	0/8(2)	1281	4/8(2)	1,19	0/8(2)	145	4/8(1)	1,70	4/8(2)	3755	0/8(2)
105	1,26	0/8(2)	1368	4/8(2)	1,19	0/8(1)	129	4/8(1)	1,76	4/8(2)	5710	0/8(2)
120	1,23	0/8(2)	1369	4/8(2)	1,19	0/8(1)	82	5/8(1)	1,68	4/8(2)	6882	0/8(2)
135	1,20	6/8(1)	1313	4/8(2)	1,19	1/8(1)	63	0/8(2)	1,61	4/8(2)	6875	0/8(2)
150	1,21	7/8(1)	1872	4/8(2)	1,24	4/8(2)	205	0/8(2)	1,54	4/8(2)	5574	0/8(2)
180	1,23	7/8(1)	3824	4/8(2)	1,27	4/8(2)	404	0/8(2)	1,42	4/8(2)	3852	7/8(1)
210	1,23	7/8(1)	5962	4/8(2)	1,26	4/8(1)	477	0/8(2)	1,33	4/8(2)	4309	7/8(1)
240	1,22	7/8(1)	8259	4/8(2)	1,23	4/8(1)	373	0/8(2)	1,25	4/8(2)	4764	7/8(1)
270	1,21	7/8(1)	10692	4/8(2)	1,21	4/8(1)	304	1/8(2)	1,19	4/8(2)	5196	7/8(1)
300	1,19	7/8(1)	13178	4/8(2)	1,18	4/8(1)	315	7/8(1)	1,13	4/8(2)	3964	7/8(1)

Tabell 32. Gemensam lasteffektfaktor, b 15 m, 3 spann.

L	F	M+		V		M-	
		$\Delta M+$	D	ΔV	D	$\Delta M-$	D
30	1,44	1129	3/8(1)	495	0/8(1)	405	7/8(1)
45	1,46	1672	4/8(2)	496	0/8(1)	593	7/8(1)
60	1,37	1870	4/8(1)	368	0/8(1)	504	1/8(2)
75	1,28	1328	4/8(1)	245	5/8(1)	479	0/8(2)
90	1,70	5063	4/8(2)	824	0/8(2)	3755	0/8(2)
105	1,76	6756	4/8(2)	987	0/8(2)	5710	0/8(2)
120	1,68	7262	4/8(2)	932	0/8(2)	6882	0/8(2)
135	1,61	7637	4/8(2)	878	0/8(2)	6875	0/8(2)
150	1,54	7916	4/8(2)	827	0/8(2)	5574	0/8(2)
180	1,42	8318	4/8(2)	743	0/8(2)	3852	7/8(1)
210	1,33	8945	4/8(2)	666	0/8(2)	4309	7/8(1)
240	1,25	9382	4/8(2)	435	0/8(2)	4764	7/8(1)
270	1,21	10692	4/8(2)	309	1/8(2)	5754	7/8(1)
300	1,19	13178	4/8(2)	331	7/8(1)	6740	0/8(2)

Tabell 33. Separata lasteffektfaktorer, b 6 m, 4 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
40	0,98	-	-	-	0,96	-	-	-	1,32	4/8(2)	195	7/8(1)
60	1,04	0/8(2)	281	5/8(2)	1,01	0/8(2)	55	5/8(1)	1,29	0/8(3)	242	7/8(1)
80	1,13	0/8(2)	564	4/8(1)	1,07	0/8(2)	70	6/8(1)	1,21	0/8(3)	194	1/8(2)
100	1,17	0/8(2)	613	4/8(1)	1,10	0/8(2)	86	5/8(1)	1,17	1/8(1)	215	0/8(2)
120	1,16	0/8(2)	487	2/8(2)	1,12	0/8(2)	78	4/8(1)	1,50	4/8(2)	1600	0/8(2)
140	1,13	0/8(2)	441	1/8(2)	1,11	0/8(2)	79	4/8(1)	1,55	4/8(2)	2489	0/8(3)
160	1,12	6/8(1)	418	1/8(2)	1,11	0/8(1)	52	5/8(1)	1,48	4/8(2)	3033	0/8(3)
180	1,12	6/8(1)	524	4/8(2)	1,11	1/8(1)	48	0/8(3)	1,41	4/8(2)	3223	0/8(2)
200	1,12	7/8(1)	706	4/8(2)	1,15	4/8(2)	125	0/8(3)	1,35	4/8(2)	2541	0/8(2)
240	1,13	7/8(1)	1525	4/8(2)	1,17	4/8(2)	215	0/8(3)	1,24	4/8(2)	1549	7/8(1)
280	1,12	7/8(1)	2415	4/8(2)	1,16	4/8(1)	265	0/8(2)	1,16	4/8(2)	1674	7/8(1)
320	1,11	7/8(1)	3367	4/8(2)	1,14	4/8(1)	235	0/8(3)	1,09	4/8(2)	1811	7/8(1)
360	1,08	7/8(1)	4367	4/8(2)	1,11	4/8(1)	185	1/8(2)	1,02	4/8(2)	1939	7/8(1)
400	1,06	7/8(1)	5414	4/8(2)	1,09	4/8(1)	157	7/8(2)	0,97	-	-	-

Tabell 34. Gemensam lasteffektfaktor, b 6 m, 4 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
40	1,32	536	3/8(1)	241	0/8(1)	195	7/8(1)
60	1,29	706	4/8(2)	205	0/8(1)	242	7/8(1)
80	1,21	772	4/8(1)	151	0/8(1)	194	1/8(2)
100	1,17	620	4/8(1)	118	5/8(1)	215	0/8(2)
120	1,50	2017	4/8(2)	356	0/8(3)	1600	0/8(2)
140	1,55	2711	4/8(2)	434	0/8(3)	2489	0/8(3)
160	1,48	2834	4/8(2)	401	0/8(3)	3033	0/8(3)
180	1,41	2925	4/8(2)	369	0/8(3)	3223	0/8(2)
200	1,35	2918	4/8(2)	340	0/8(3)	2541	0/8(2)
240	1,24	2939	4/8(2)	298	0/8(3)	1549	7/8(1)
280	1,16	3031	4/8(2)	265	0/8(2)	1687	7/8(1)
320	1,14	3969	4/8(2)	235	0/8(3)	2350	7/8(1)
360	1,11	4953	4/8(2)	185	1/8(2)	3074	7/8(1)
400	1,09	6118	4/8(2)	157	7/8(2)	3932	0/8(3)

Tabell 35. Separata lasteffektfaktorer, b 9 m, 4 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
40	1,03	0/8(2)	292	3/8(1)	1,01	0/8(2)	99	5/8(1)	1,41	4/8(2)	303	7/8(1)
60	1,11	0/8(2)	438	5/8(2)	1,08	0/8(2)	87	5/8(1)	1,39	0/8(3)	387	7/8(1)
80	1,20	0/8(2)	882	4/8(1)	1,14	0/8(2)	111	6/8(1)	1,31	0/8(3)	319	1/8(2)
100	1,25	0/8(2)	971	4/8(1)	1,18	0/8(2)	137	5/8(1)	1,25	1/8(1)	282	0/8(2)
120	1,25	0/8(2)	790	2/8(2)	1,20	0/8(2)	126	4/8(1)	1,64	4/8(2)	2432	0/8(2)
140	1,22	0/8(2)	715	1/8(2)	1,20	0/8(2)	128	4/8(1)	1,69	4/8(2)	3751	0/8(3)
160	1,20	6/8(1)	665	1/8(2)	1,19	0/8(1)	80	5/8(1)	1,62	4/8(2)	4574	0/8(3)
180	1,20	6/8(1)	779	3/8(2)	1,19	0/8(1)	57	7/8(2)	1,55	4/8(2)	4900	0/8(2)
200	1,20	7/8(1)	1004	4/8(2)	1,24	4/8(2)	170	0/8(3)	1,49	4/8(2)	3863	0/8(2)
240	1,22	7/8(1)	2221	4/8(2)	1,27	4/8(2)	306	0/8(3)	1,37	4/8(2)	2460	7/8(1)
280	1,22	7/8(1)	3546	4/8(2)	1,26	4/8(1)	376	0/8(2)	1,28	4/8(2)	2663	7/8(1)
320	1,20	7/8(1)	4964	4/8(2)	1,23	4/8(1)	330	0/8(3)	1,21	4/8(2)	2884	7/8(1)
360	1,18	7/8(1)	6456	4/8(2)	1,21	4/8(1)	263	1/8(2)	1,14	4/8(2)	3092	7/8(1)
400	1,16	7/8(1)	8020	4/8(2)	1,18	4/8(1)	222	7/8(1)	1,08	4/8(2)	2519	7/8(1)

Tabell 36. Gemensam lasteffektfaktor, b 9 m, 4 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
40	1,41	840	3/8(1)	382	0/8(1)	303	7/8(1)
60	1,39	1132	4/8(2)	336	0/8(1)	387	7/8(1)
80	1,31	1265	4/8(1)	256	0/8(1)	319	1/8(2)
100	1,25	988	4/8(1)	189	5/8(1)	282	0/8(2)
120	1,64	3247	4/8(2)	568	0/8(3)	2432	0/8(2)
140	1,69	4358	4/8(2)	689	0/8(3)	3751	0/8(3)
160	1,62	4584	4/8(2)	639	0/8(3)	4574	0/8(3)
180	1,55	4759	4/8(2)	591	0/8(3)	4900	0/8(2)
200	1,49	4781	4/8(2)	547	0/8(3)	3863	0/8(2)
240	1,37	4876	4/8(2)	482	0/8(3)	2460	7/8(1)
280	1,28	5037	4/8(2)	428	0/8(2)	2663	7/8(1)
320	1,23	5801	4/8(2)	330	0/8(3)	3287	7/8(1)
360	1,21	7258	4/8(2)	263	1/8(2)	4340	7/8(1)
400	1,18	8989	4/8(2)	222	7/8(1)	4953	0/8(3)

Tabell 37. Separata lasteffektfaktorer, b 12 m, 4 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
40	1,04	0/8(2)	342	3/8(1)	1,02	0/8(2)	116	5/8(1)	1,42	4/8(2)	354	7/8(1)
60	1,12	0/8(2)	512	5/8(2)	1,09	0/8(2)	102	5/8(1)	1,39	0/8(3)	450	7/8(1)
80	1,21	0/8(2)	1031	4/8(1)	1,15	0/8(2)	130	6/8(1)	1,32	0/8(3)	370	1/8(2)
100	1,26	0/8(2)	1132	4/8(1)	1,19	0/8(2)	160	5/8(1)	1,26	1/8(1)	335	0/8(2)
120	1,26	0/8(2)	920	2/8(2)	1,21	0/8(2)	147	4/8(1)	1,64	4/8(2)	2848	0/8(2)
140	1,23	0/8(2)	833	1/8(2)	1,21	0/8(2)	149	4/8(1)	1,70	4/8(2)	4401	0/8(3)
160	1,22	6/8(1)	776	1/8(2)	1,20	0/8(1)	93	5/8(1)	1,63	4/8(2)	5364	0/8(3)
180	1,21	6/8(1)	913	3/8(2)	1,20	1/8(1)	67	7/8(2)	1,56	4/8(2)	5738	0/8(2)
200	1,21	7/8(1)	1182	4/8(2)	1,25	4/8(2)	202	0/8(3)	1,49	4/8(2)	4524	0/8(2)
240	1,23	7/8(1)	2610	4/8(2)	1,28	4/8(2)	361	0/8(3)	1,38	4/8(2)	2864	7/8(1)
280	1,23	7/8(1)	4165	4/8(2)	1,27	4/8(1)	443	0/8(2)	1,29	4/8(2)	3103	7/8(1)
320	1,21	7/8(1)	5827	4/8(2)	1,24	4/8(1)	389	0/8(3)	1,21	4/8(2)	3365	7/8(1)
360	1,19	7/8(1)	7575	4/8(2)	1,22	4/8(1)	310	1/8(2)	1,15	4/8(2)	3612	7/8(1)
400	1,17	7/8(1)	9406	4/8(2)	1,19	4/8(1)	262	7/8(1)	1,09	4/8(2)	2945	7/8(1)

Tabell 38. Gemensam lasteffektfaktor, b 12 m, 4 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
40	1,42	979	3/8(1)	445	0/8(1)	354	7/8(1)
60	1,39	1316	4/8(2)	390	0/8(1)	450	7/8(1)
80	1,32	1469	4/8(1)	296	0/8(1)	370	1/8(2)
100	1,26	1151	4/8(1)	220	5/8(1)	335	0/8(2)
120	1,64	3760	4/8(2)	659	0/8(3)	2848	0/8(2)
140	1,70	5045	4/8(2)	799	0/8(3)	4401	0/8(3)
160	1,63	5304	4/8(2)	742	0/8(3)	5364	0/8(3)
180	1,56	5507	4/8(2)	686	0/8(3)	5738	0/8(2)
200	1,49	5531	4/8(2)	635	0/8(3)	4524	0/8(2)
240	1,38	5646	4/8(2)	560	0/8(3)	2864	7/8(1)
280	1,29	5839	4/8(2)	497	0/8(2)	3103	7/8(1)
320	1,24	6816	4/8(2)	389	0/8(3)	3878	7/8(1)
360	1,22	8525	4/8(2)	310	1/8(2)	5113	7/8(1)
400	1,19	10553	4/8(2)	262	7/8(1)	5885	0/8(3)

Tabell 39. Separata lasteffektfaktorer, b 15 m, 4 spann.

L	M+				V				M-			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔM-	D
40	1,04	0/8(2)	370	3/8(1)	1,03	0/8(2)	125	5/8(1)	1,41	4/8(2)	381	7/8(1)
60	1,12	0/8(2)	554	5/8(2)	1,09	0/8(2)	110	5/8(1)	1,38	0/8(3)	481	7/8(1)
80	1,21	0/8(2)	1112	4/8(1)	1,15	0/8(2)	140	6/8(1)	1,31	0/8(3)	393	1/8(2)
100	1,26	0/8(2)	1216	4/8(1)	1,19	0/8(2)	171	5/8(1)	1,26	1/8(1)	382	0/8(2)
120	1,25	0/8(2)	981	2/8(2)	1,21	0/8(2)	157	4/8(1)	1,62	4/8(2)	3097	0/8(2)
140	1,23	0/8(2)	889	1/8(2)	1,20	0/8(2)	160	4/8(1)	1,67	4/8(2)	4803	0/8(3)
160	1,21	6/8(1)	833	1/8(2)	1,19	0/8(1)	101	5/8(1)	1,60	4/8(2)	5853	0/8(3)
180	1,21	6/8(1)	996	4/8(2)	1,19	1/8(1)	78	0/8(3)	1,53	4/8(2)	6240	0/8(2)
200	1,21	7/8(1)	1311	4/8(2)	1,25	4/8(2)	228	0/8(3)	1,47	4/8(2)	4920	0/8(2)
240	1,22	7/8(1)	2875	4/8(2)	1,27	4/8(2)	400	0/8(3)	1,36	4/8(2)	3069	7/8(1)
280	1,22	7/8(1)	4576	4/8(2)	1,26	4/8(1)	492	0/8(2)	1,27	4/8(2)	3327	7/8(1)
320	1,20	7/8(1)	6393	4/8(2)	1,23	4/8(1)	434	0/8(3)	1,20	4/8(2)	3612	7/8(1)
360	1,18	7/8(1)	8303	4/8(2)	1,21	4/8(1)	344	1/8(2)	1,13	4/8(2)	3881	7/8(1)
400	1,16	7/8(1)	10301	4/8(2)	1,18	4/8(1)	290	7/8(1)	1,08	4/8(2)	3158	7/8(1)

Tabell 40. Gemensam lasteffektfaktor, b 15 m, 4 spann.

L	F	M+		V		M-	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔM-	D
40	1,41	1054	3/8(1)	476	0/8(1)	381	7/8(1)
60	1,38	1405	4/8(2)	413	0/8(1)	481	7/8(1)
80	1,31	1560	4/8(1)	311	0/8(1)	393	1/8(2)
100	1,26	1235	4/8(1)	235	5/8(1)	382	0/8(2)
120	1,62	3993	4/8(2)	703	0/8(3)	3097	0/8(2)
140	1,67	5358	4/8(2)	853	0/8(3)	4803	0/8(3)
160	1,60	5624	4/8(2)	791	0/8(3)	5853	0/8(3)
180	1,53	5832	4/8(2)	731	0/8(3)	6240	0/8(2)
200	1,47	5850	4/8(2)	676	0/8(3)	4920	0/8(2)
240	1,36	5961	4/8(2)	596	0/8(3)	3069	7/8(1)
280	1,27	6163	4/8(2)	529	0/8(2)	3327	7/8(1)
320	1,23	7502	4/8(2)	434	0/8(3)	4327	7/8(1)
360	1,21	9371	4/8(2)	344	1/8(2)	5683	7/8(1)
400	1,18	11587	4/8(2)	290	7/8(1)	6763	0/8(3)

Bilaga 4 – Användning av lasteffektfaktorer. Enbalksbroar.

Förklaring till Bilaga 4 finns i avsnitt 3.3.

Innehåll

Enbalksbroar, 1 spann.....	1
Enbalksbroar, 2 spann.....	3
Enbalksbroar, 3 spann.....	5
Enbalksbroar, 4 spann.....	7

Tabell 41. Separata lasteffektfaktorer, b 6 m, 1 spann.

L	M+				V				Mt			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔMt	D
10	1,00	1/8	150	3/8	1,05	0/8	105	4/8	0,95	-	-	-
15	1,06	1/8	147	3/8	1,11	0/8	62	4/8	0,99	-	-	-
20	1,11	1/8	173	4/8	1,18	0/8	63	3/8	1,05	4/8	62	2/8
25	1,18	3/8	64	1/8	1,22	0/8	73	4/8	1,08	4/8	42	1/8
30	1,21	3/8	65	1/8	1,25	0/8	76	4/8	1,11	4/8	44	1/8
35	1,23	3/8	65	1/8	1,26	0/8	64	4/8	1,14	4/8	71	1/8
40	1,22	3/8	65	1/8	1,27	0/8	52	4/8	1,18	4/8	110	0/8
45	1,21	3/8	38	4/8	1,27	1/8	43	4/8	1,19	4/8	156	0/8
50	1,20	1/8	203	4/8	1,27	2/8	27	4/8	1,22	4/8	224	0/8
60	1,18	1/8	585	4/8	1,27	3/8	79	0/8	1,25	4/8	355	0/8
70	1,15	1/8	967	4/8	1,27	3/8	153	0/8	1,26	4/8	474	0/8
80	1,11	1/8	1350	4/8	1,27	4/8	176	0/8	1,27	4/8	541	0/8
90	1,13	1/8	4205	4/8	1,26	4/8	155	1/8	1,26	4/8	496	0/8
100	1,17	1/8	8950	4/8	1,25	0/8	130	2/8	1,25	4/8	466	0/8

Tabell 42. Gemensam lasteffektfaktor, b 6 m, 1 spann.

L	F	M+		V		Mt	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔMt	D
10	1,05	253	3/8	105	4/8	160	3/8
15	1,11	338	3/8	62	4/8	137	2/8
20	1,18	537	4/8	63	3/8	171	2/8
25	1,22	363	4/8	73	4/8	187	1/8
30	1,25	387	4/8	76	4/8	198	1/8
35	1,26	454	4/8	64	4/8	213	0/8
40	1,27	671	4/8	52	4/8	235	0/8
45	1,27	962	4/8	43	4/8	260	0/8
50	1,27	1381	4/8	27	4/8	293	0/8
60	1,27	2725	4/8	79	0/8	380	0/8
70	1,27	4647	4/8	153	0/8	481	0/8
80	1,27	7311	4/8	176	0/8	541	0/8
90	1,26	10293	4/8	155	1/8	496	0/8
100	1,25	13412	4/8	130	2/8	470	0/8

Tabell 43. Separata lasteffektfaktorer, b 9 m, 1 spann.

L	M+				V				Mt			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔMt	D
10	0,99	-	-	-	1,04	0/8	103	4/8	0,97	-	-	-
15	1,04	1/8	148	3/8	1,09	0/8	57	4/8	1,02	0/8	130	2/8
20	1,08	1/8	176	4/8	1,14	0/8	57	3/8	1,08	0/8	177	2/8
25	1,14	3/8	63	1/8	1,18	0/8	64	4/8	1,11	0/8	154	2/8
30	1,17	3/8	64	1/8	1,20	0/8	66	4/8	1,13	0/8	147	2/8
35	1,17	3/8	64	1/8	1,21	0/8	53	4/8	1,14	0/8	102	2/8
40	1,17	3/8	64	1/8	1,21	0/8	39	4/8	1,17	4/8	141	2/8
45	1,15	3/8	41	4/8	1,21	1/8	32	4/8	1,18	4/8	179	2/8
50	1,15	1/8	210	4/8	1,21	2/8	38	0/8	1,21	4/8	303	0/8
60	1,12	1/8	592	4/8	1,21	3/8	109	0/8	1,23	4/8	558	0/8
70	1,09	1/8	974	4/8	1,21	4/8	192	0/8	1,24	4/8	789	0/8
80	1,05	1/8	1357	4/8	1,21	4/8	227	0/8	1,25	4/8	902	0/8
90	1,07	1/8	4212	4/8	1,20	4/8	190	1/8	1,24	4/8	796	1/8
100	1,10	1/8	8959	4/8	1,19	4/8	149	2/8	1,23	4/8	690	2/8

Tabell 44. Gemensam lasteffektfaktor, b 9 m, 1 spann.

L	F	M+		V		Mt	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔMt	D
10	1,04	254	3/8	103	4/8	303	3/8
15	1,09	339	3/8	57	4/8	239	2/8
20	1,14	541	4/8	57	3/8	298	2/8
25	1,18	368	4/8	64	4/8	286	2/8
30	1,20	393	4/8	66	4/8	288	2/8
35	1,21	461	4/8	53	4/8	251	2/8
40	1,21	678	4/8	39	4/8	236	2/8
45	1,21	1052	4/8	32	4/8	255	0/8
50	1,21	1594	4/8	38	0/8	314	0/8
60	1,23	3867	4/8	155	0/8	558	0/8
70	1,24	6608	4/8	264	0/8	789	0/8
80	1,25	10041	4/8	312	0/8	902	0/8
90	1,24	13693	4/8	268	1/8	796	1/8
100	1,23	17402	4/8	216	2/8	690	2/8

Tabell 45. Separata lasteffektfaktorer, b 12 m, 1 spann.

L	M+				V				Mt			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔMt	D
10	0,98	-	-	-	1,02	0/8	100	4/8	0,99	-	-	-
15	1,02	1/8	149	3/8	1,06	0/8	53	4/8	1,04	0/8	228	3/8
20	1,06	1/8	179	4/8	1,12	0/8	51	3/8	1,10	0/8	256	3/8
25	1,11	3/8	63	1/8	1,15	0/8	57	4/8	1,14	0/8	263	3/8
30	1,13	3/8	63	1/8	1,16	0/8	57	4/8	1,16	0/8	252	3/8
35	1,13	3/8	63	1/8	1,16	1/8	43	4/8	1,17	0/8	229	3/8
40	1,12	3/8	62	1/8	1,16	1/8	30	4/8	1,17	0/8	181	3/8
45	1,11	3/8	43	4/8	1,16	1/8	23	4/8	1,17	4/8	133	3/8
50	1,10	1/8	215	4/8	1,16	2/8	52	0/8	1,19	4/8	228	0/8
60	1,07	1/8	597	4/8	1,16	3/8	133	0/8	1,22	4/8	599	0/8
70	1,04	1/8	980	4/8	1,16	4/8	232	0/8	1,22	4/8	934	0/8
80	1,01	1/8	1363	4/8	1,16	4/8	269	0/8	1,23	4/8	1072	0/8
90	1,02	1/8	4218	4/8	1,15	4/8	220	1/8	1,22	4/8	935	1/8
100	1,04	1/8	8965	4/8	1,14	4/8	166	2/8	1,21	4/8	819	2/8

Tabell 46. Gemensam lasteffektfaktor, b 12 m, 1 spann.

L	F	M+		V		Mt	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔMt	D
10	1,02	255	3/8	100	4/8	432	3/8
15	1,06	341	3/8	53	4/8	278	3/8
20	1,12	545	4/8	51	3/8	290	3/8
25	1,15	373	4/8	57	4/8	279	3/8
30	1,16	407	4/8	58	4/8	252	3/8
35	1,17	548	4/8	47	4/8	229	3/8
40	1,17	856	4/8	35	4/8	181	3/8
45	1,17	1298	4/8	35	0/8	133	3/8
50	1,19	2485	4/8	110	0/8	228	0/8
60	1,22	5305	4/8	251	0/8	599	0/8
70	1,22	8566	4/8	376	0/8	934	0/8
80	1,23	12589	4/8	439	0/8	1072	0/8
90	1,22	16852	4/8	374	1/8	935	1/8
100	1,21	21183	4/8	311	0/8	819	2/8

Tabell 47. Separata lasteffektfaktorer, b 15 m, 1 spann.

L	M+				V				Mt			
	F	D	ΔM+	D	F	D	ΔV	D	F	D	ΔMt	D
10	0,97	-	-	-	1,01	0/8	98	4/8	1,01	0/8	551	4/8
15	1,00	1/8	150	3/8	1,05	0/8	50	4/8	1,06	0/8	311	3/8
20	1,04	1/8	182	4/8	1,09	0/8	46	3/8	1,12	0/8	435	3/8
25	1,08	3/8	62	1/8	1,11	0/8	51	4/8	1,16	0/8	461	3/8
30	1,10	3/8	62	1/8	1,13	0/8	50	4/8	1,19	0/8	472	3/8
35	1,10	3/8	62	1/8	1,13	1/8	37	4/8	1,19	0/8	436	3/8
40	1,09	3/8	61	1/8	1,13	2/8	25	4/8	1,19	0/8	378	3/8
45	1,07	3/8	45	4/8	1,13	3/8	32	0/8	1,19	1/8	317	3/8
50	1,06	1/8	220	4/8	1,13	3/8	70	0/8	1,19	1/8	279	3/8
60	1,03	1/8	602	4/8	1,13	4/8	162	0/8	1,20	4/8	469	0/8
70	1,00	1/8	984	4/8	1,12	4/8	265	0/8	1,20	4/8	898	0/8
80	0,97	-	-	-	1,12	4/8	305	0/8	1,20	4/8	1037	0/8
90	0,98	-	-	-	1,11	4/8	244	1/8	1,19	4/8	899	1/8
100	1,00	-	-	-	1,09	4/8	180	2/8	1,18	4/8	805	2/8

Tabell 48. Gemensam lasteffektfaktor, b 15 m, 1 spann.

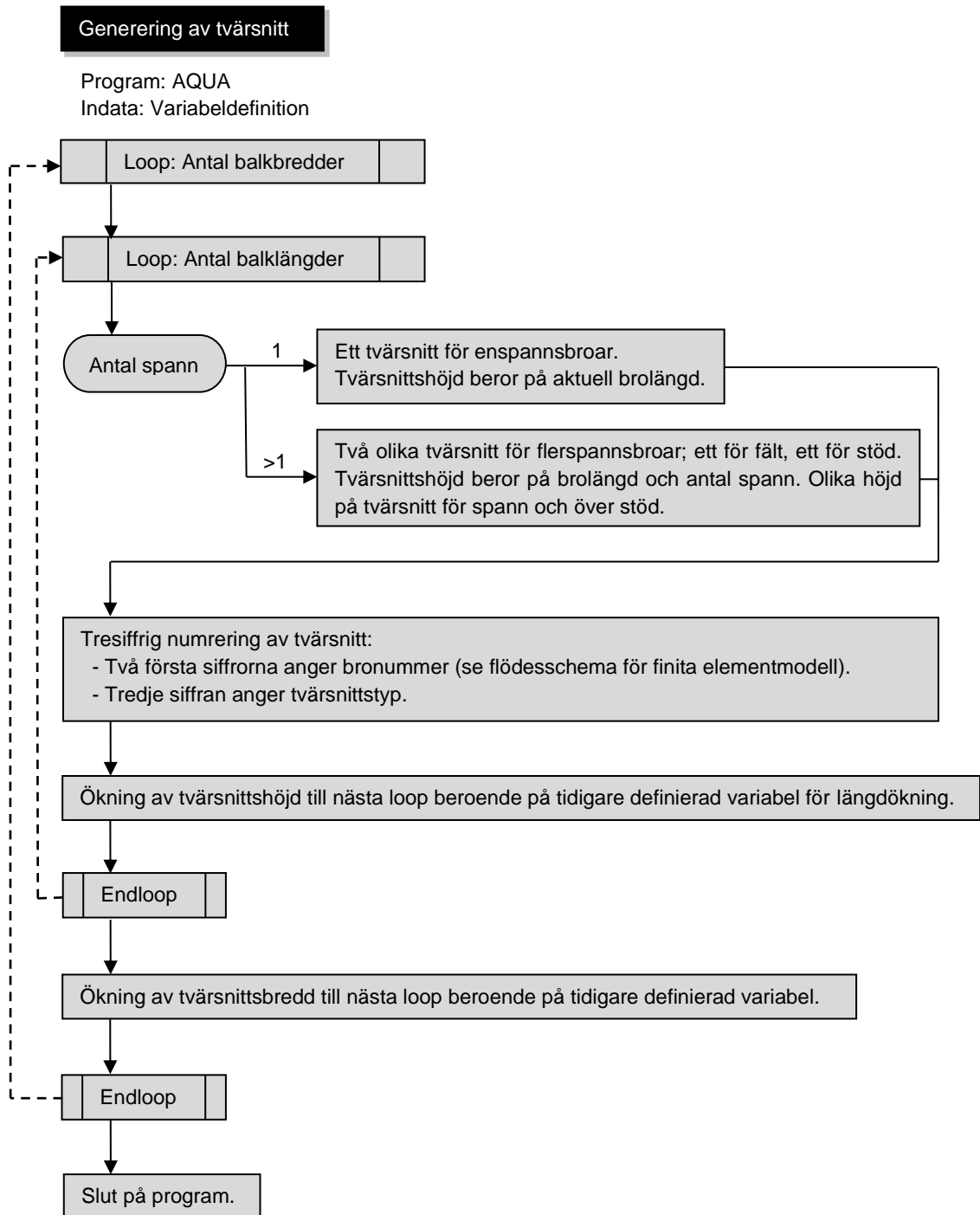
L	F	M+		V		Mt	
		ΔM+	D	ΔV	D	ΔMt	D
10	1,01	256	3/8	98	4/8	551	4/8
15	1,06	404	3/8	57	4/8	311	3/8
20	1,12	756	4/8	70	2/8	435	3/8
25	1,16	796	4/8	83	3/8	461	3/8
30	1,19	1100	4/8	94	0/8	472	3/8
35	1,19	1482	4/8	116	0/8	436	3/8
40	1,19	2065	4/8	138	0/8	378	3/8
45	1,19	2773	4/8	167	0/8	317	3/8
50	1,19	3604	4/8	199	0/8	279	3/8
60	1,20	6408	4/8	324	0/8	469	0/8
70	1,20	10043	4/8	460	0/8	898	0/8
80	1,20	14479	4/8	534	0/8	1037	0/8
90	1,19	19159	4/8	468	0/8	899	1/8
100	1,18	23907	4/8	419	0/8	805	2/8

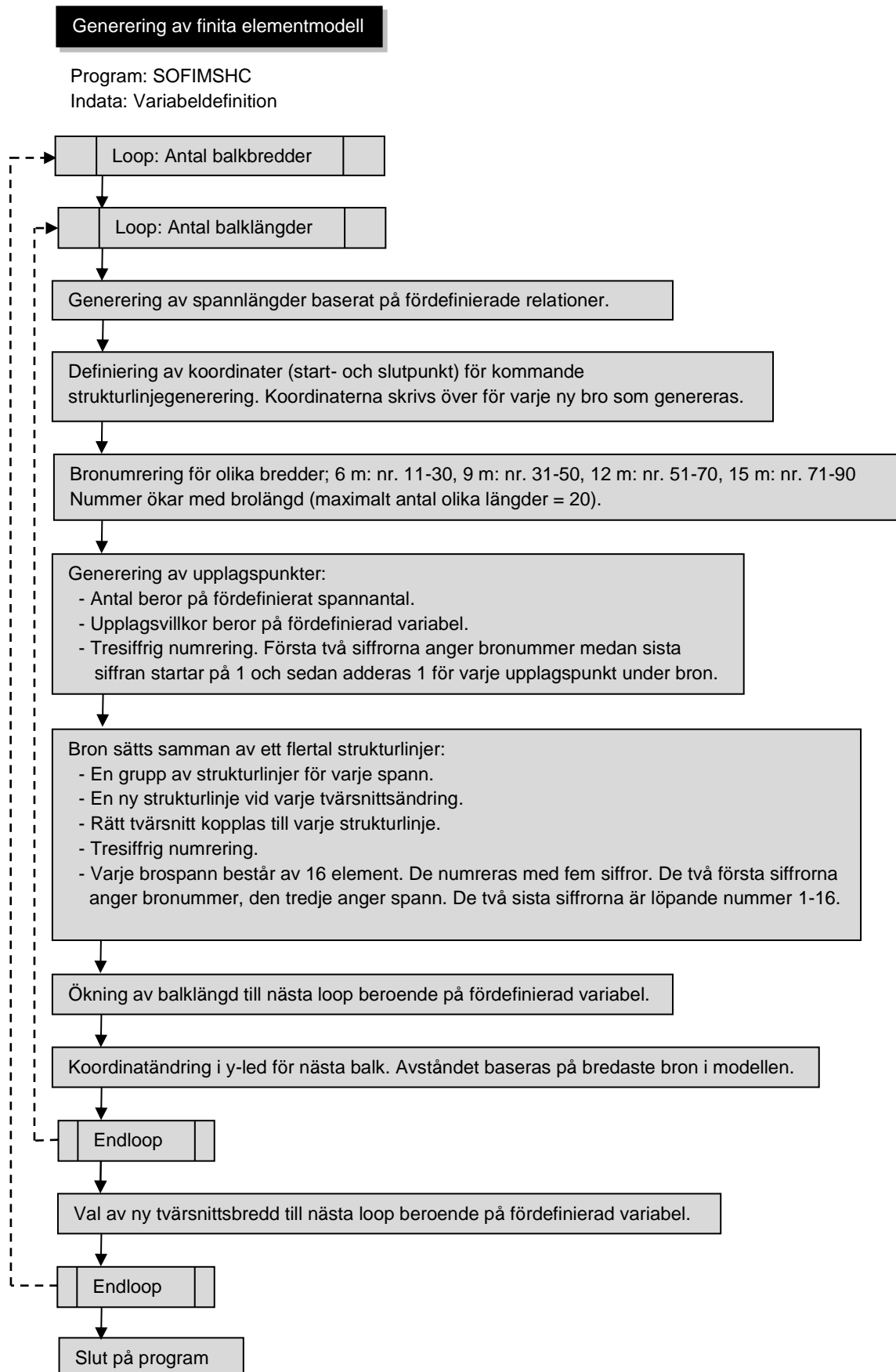
Bilaga 5 – Flödesscheman

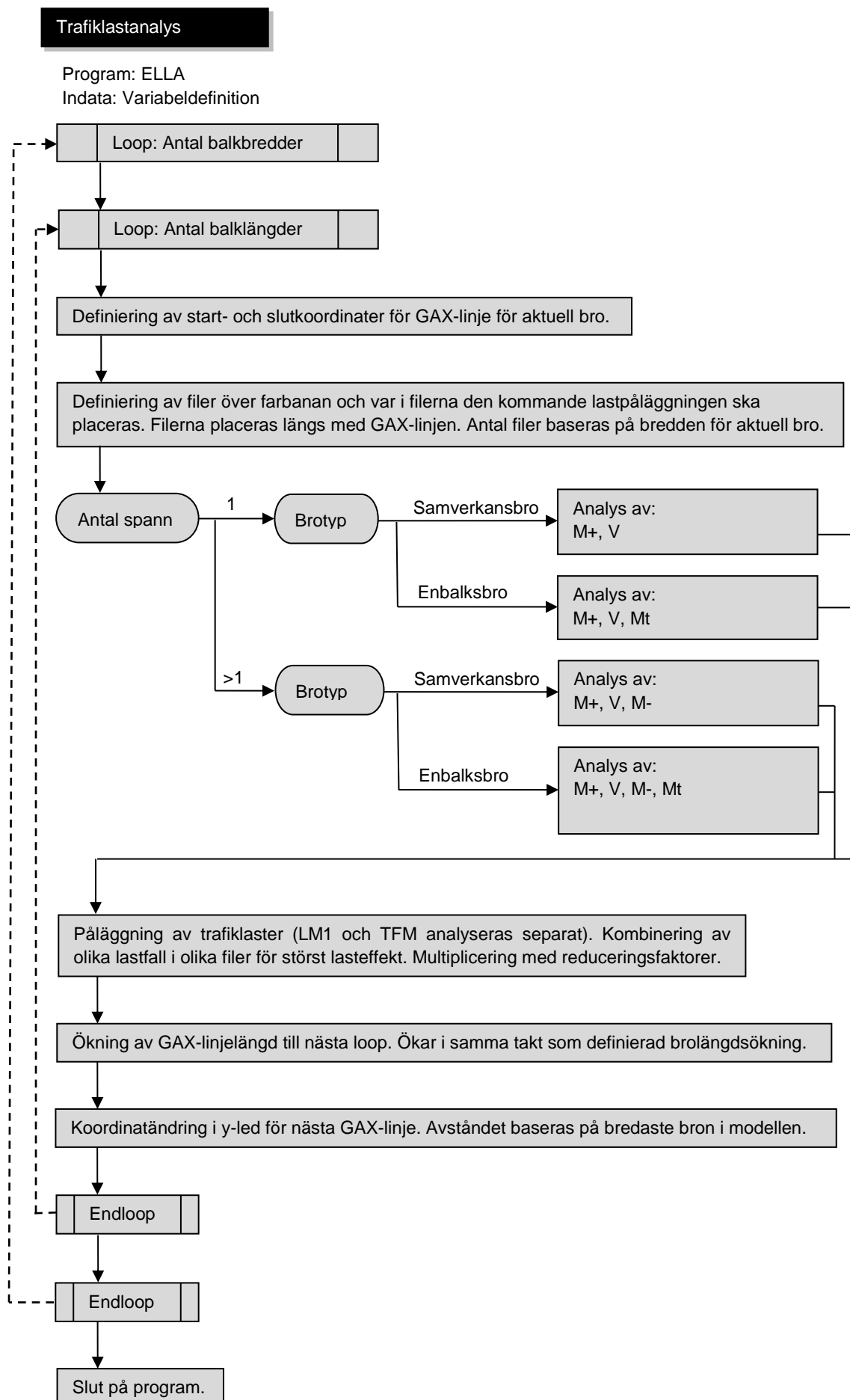
Förklaring till Bilaga 5 finns i avsnitt 2.6.

Innehåll

Generering av tvärsnitt.....	1
Generering av finita elementmodell.....	2
Trafiklastanalys.....	3







Bilaga 6 – Definition av Typfordon

Förklaring till Bilaga 6 finns i avsnitt 0.

Typfordonen är hämtade från TRVFS 2011:12 (Bilaga 3).

Innehåll

Typfordon <i>a-i</i>	1
Typfordon <i>j-n</i>	2

- a) \downarrow
A
- b) $\begin{matrix} \geq 1,0 \\ \downarrow \downarrow \\ 0,88B \end{matrix}$
- c) $\begin{matrix} \geq 1,3 \\ \downarrow \downarrow \\ 1,00B \end{matrix}$
- d) $\begin{matrix} \geq 1,8 \\ \downarrow \downarrow \\ 1,10B \end{matrix}$
- e) $\begin{matrix} 1,0 \geq 1,0 \\ \downarrow \downarrow \downarrow \\ 1,17B \end{matrix}$
- f) $\begin{matrix} 1,3 \geq 1,3 \\ \downarrow \downarrow \downarrow \\ 1,32B \end{matrix}$
- g) $\begin{matrix} \overline{q} & 2,5 & 2,4 & 1,3 & 1,3 & 2,5 & \geq 5,0 & 2,5 & 2,4 & 1,3 & 1,3 & 2,5 & \overline{q} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\ 0,44B & & 1,32B & & & & 0,44B & & 1,32B & & & & \end{matrix}$
- h) $\begin{matrix} \overline{q} & 2,5 & 3,0 & 1,3 & \geq 5,0 & 1,3 & 1,3 & 2,5 & \overline{q} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\ 0,55B & & 1,00B & & 1,32B & & & & \end{matrix}$
- i) $\begin{matrix} \overline{q} & 2,5 & 3,8 & 1,8 & \geq 4,0 & 1,8 & 3,6 & 1,0 & 2,5 & \overline{q} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\ 0,44B & & 1,10B & & 1,10B & & 0,66B & & & \end{matrix}$

