

# CHALMERS



## Brolaster enligt Eurocode

En jämförelse av dimensionerande brolasters påverkan enligt Bro 2002 och Eurocode

ANDERSSON MIKAEL  
KARLSSON ERIK

### EXAMENSARBETE

*Högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör*  
*Institutionen för bygg- och miljöteknik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2006  
Examensarbete 2006:49

**EXAMENSARBETE 2006:49**

# **BROLASTER ENLIGT EUROCODE**

**EN JÄMFÖRELSE AV DIMENSIONERANDE BROLASTERS PÅVERKAN ENLIGT BRO  
2002 OCH EUROCODE**

**MIKAEL ANDERSSON**

**ERIK KARLSSON**

*Institutionen för bygg- och miljöteknik*  
**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Göteborg 2006

**LOADS ON BRIDGES ACCORDING TO EUROCODE**

**A COMPARISON OF DESIGNING LOADS ON BRIDGES ACCORDING TO BRO 2002  
AND EUROCODE**

**MIKAEL ANDERSSON, 1977**

**ERIK KARLSSON, 1982**

**THESIS ASSIGNMENT 2006:49**

**© MIKAEL ANDERSSON, ERIK KARLSSON**

**DEPARTMENT OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**SE-412 96 GÖTEBORG**

**SWEDEN**

**TELEPHONE + 46 (0)31-772 1000**

Omslag:

Bilden visar ett långsgående snitt av referensbron, bilden återfinns i kap. 4.2. Grundlastfall.

Chalmers

Göteborg, Sweden 2006

## Sammandrag

Inom ett par år kommer en övergång att ske från den nuvarande standarden Bro 2004 till den gemensamma europeiska standarden Eurocode. Då övergången medför vissa förändringar inom bland annat laster och lastkombinationer är det intressant att ta reda på vad det gör för skillnad.

Syftet med examensarbetet är att skapa en överblick om olikheterna i hur brolaster enligt Eurocode respektive Bro 2002 påverkar de snittkrafter och deformationer som är relevanta vid dimensionering av en motsvarande typ av bro.

För att komma fram till skillnaderna har vi använt oss av en redan, enligt Bro 2002, beräknad bro som vår referensbro. Vi har jämfört de resultat som vi kommit fram till vid beräkningar med hjälp av Eurocode med referensbrons beräkningar. Eftersom snittkrafterna och brons deformationer för referensbron är framtagna genom användning av beräkningsprogrammet "Strip step" har även vi använt oss av det här programmet vid beräkning av snittkrafter och deformationer enligt Eurocode. De indata som "Strip step" har krävt, i form av till exempel egentyngder, jordtryck, överlaster och trafiklaster är då även behandlad på motsvarande sätt vid beräkning enligt Bro 2002 och Eurocode.

Undersökningen bestod av att studera Eurocode för att hitta de metoder som krävs för att kunna beräkna brons laster. Undersökningen bestod även av att hitta vilka laster och hur de är kombinerade för att kunna dra slutsatser om varför till exempel den ena standardens laster resulterar i större reaktioner än den andra.

Överlag anger Eurocode större laster och efter beräkning därmed större snittkrafter och deformationer än Broreglerna. Då nationella appendix inte är färdigutvecklade behöver inte de skillnader som redovisas i det här arbetet vara av samma storlek som vid en beräkning då de nationella appendixen är färdigutvecklade.

## Abstract

This thesis assignment aims to create a general view of how the variation in loads, between Eurocode and the Swedish code Bro 2002, influence forces and deformations in bridges. To pay attention to the differences between Eurocode and Bro 2002 has comparisons been made between a bridge used as a reference, calculated by Bro 2002, and the same bridge recalculated according to Eurocode. Since the forces and the deformations of the reference bridge is calculated by using the computer program “strip step” is the forces and the deformations according to Eurocode calculated with “strip step” as well. In general is Eurocode giving larger loads, and by that larger forces and deformations, than loads according to Bro 2002. As the national annex according to Eurocode are under construction, might the results in this thesis assignment and the results of a calculation when the national annex is finished differ.

Keywords: Comparison, Loads, Bro 2002 and Eurocode

## Förord

Vi vill passa på att tacka ett par nyckel personer som har hjälpt oss under vägen. Vi börjar med att tacka FB Engineering AB och avdelningen bro för att ni gav oss en plats att sitta och skriva på och för att ni backat upp med material och kunskap. Framförallt vill vi tacka Hristo Sokolov som med både tålamod och suverän pedagogik har tagit sig tid med vårt arbete när det kärvat. Men sist och absolut inte minst vill vi ge ett tack till vår examinator Sören Lindgren. Tack för att du gav oss klartecken att köra igång med vår idé och för den hjälp du bistått med.

Göteborg maj 2006

Mikael Andersson, Erik Karlsson

# Innehållsförteckning

Sammandrag.....	I
Abstract.....	I
Abstract.....	II
Förord.....	III
Innehållsförteckning.....	IV
1. Inledning.....	1
1.1. Bakgrund.....	1
1.1.1. Syfte, avgränsningar.....	1
1.1.2. Metod.....	1
1.2. Teckenförklaring.....	2
2. Teknisk bakgrund.....	3
2.1. Beräkning av Jordtryckskoefficient ( $K_0$ ).....	4
3. Laster i systemberäkning.....	5
3.1. Grundlastfall.....	5
3.1.1. Egentyngd.....	5
3.1.2. Vilojordtryck mot ramben.....	7
3.1.3. Stödförskjutning.....	8
3.1.4. Betongens krympning.....	8
3.2. Variabla laster.....	9
3.2.1. Trafiklast.....	9
3.2.2. Utmattningslaster.....	11
3.2.3. Typfordon.....	14
3.2.4. Temperaturändring.....	15
3.2.5. Ökat jordtryck på grund av temperaturändring.....	15
3.2.6. Bromskraft.....	15
3.2.7. Ökat jordtryck på grund av bromskraft.....	16
3.2.8. Överlast.....	17
3.2.9. Ökat jordtryck på grund av överlast.....	17
4. Lastkombinering.....	18
5. Strip step beräkning.....	23
6. Resultat.....	25
6.1. Brottgränstillstånd.....	25
6.2. Bruksgränstillstånd sprickor.....	28
6.3. Bruksgränstillstånd nedböjning.....	31
6.4. Utmattning.....	32
6.5. Överhöjning.....	37
7. Avslutning.....	38
8. Referenser.....	1
8.1. Litteratur.....	1
8.2. Muntliga källor.....	1
Bilagor	

# **1. Inledning**

## **1.1. Bakgrund**

År 2008 kommer vägverkets allmänna tekniska beskrivningar om broar, Bro 2004, att ersättas av Eurocode som är en gemensam Europeisk standard. Eurocode och Bro 2004 är normer som används vid dimensionering av broar.

### **1.1.1. Syfte, avgränsningar**

Syftet med undersökningen är att ta reda på skillnaden i resultat på en bro som är beräknad med hjälp av Bro 2002 jämfört med Eurocode. Det är ingen för vårt fall vesäntlig skillnad mellan Bro 2002 och Bro 2004. Undersökningen avgränsas till att jämföra resultatet för beaktade laster/lastkombinationer. Vår förhoppning är att ge förståelse för hur den nya standarden kommer att påverka våra Svenska broar.

### **1.1.2. Metod**

För att nå ett resultat kommer vi att använda oss av en referensbro, bron över väg 49 i Skövde Södra och väg 48. På grund av att den svenska anpassningen av Eurocode inte är slutförd kommer vi i de fall då svenskt appendix saknas att använda oss av Eurocodes grundvärde. Då vi använder oss av en referensbro kommer vi att använda oss av en befintlig systembeskrivning. Vi tar fram indata för hand som vi sedan kör i ett beräkningsprogram som heter Strip Step.

## 1.2. Teckenförklaring

$q$ =vertikal utbredd last [kN/m]

$Q$ =vertikal koncentrerad last [kN]

$p$ =horisontell utbredd last [kN/m]

$P$ =horisontell koncentrerad last [kN]

$g$ =egenvikt [kN/m]

$L$ =Längd [m]

$A$ =Area [m<sup>2</sup>]

$h$ =höjd [m]

$\delta_k$ =Jordens friktionsvinkel

$K_0$ =Viljordtryckskoefficient

$K_a$ =Aktivt jordtryckskoefficient

$K_p$ =Passivt jordtryckskoefficient

$\gamma$ =Tungheten [kN/m<sup>3</sup>]

$\gamma_{sp}$ =Jordens tunghet [kN/m<sup>3</sup>]

$z$ =Höjd på knutpunkt i systemet

$\alpha$ =Längdutvidgningskoefficient

$\epsilon_{cs}$ = Slutkrympningens medelvärde [‰]

$\epsilon_{ca}$  [‰]

$\epsilon_{cd}$  [‰]

$T$ =Temperatur [°C]

$t$  [°C]

$f$ =Reduceringsfaktor vid beräkning av betongens krympning

$E_{ck}$ =Betongens karakteristiska elasticitetsmodul [GPa]

$f_{ck}$ =Betongens karakteristiska värde för tryckhållfasthet [MPa]

$f_{ctk}$ =Betongens karakteristiska värde för draghållfasthet [MPa]

$f_{cc}$ =Betongens värde för tryckhållfasthet [MPa]

$f_{ct}$ =Betongens värde för draghållfasthet [MPa]

$\delta$ = Förskjutning [mm]

## 2. Teknisk bakgrund

Den bro som vi utgår från vid vår jämförelse är placerad över väg 49 i Skövde södra och väg 48. Den är dimensionerad och konstruerad med Bro 2002.

Bron är en slakarmerad platttribro. Spännvidden på bron varierar, eftersom rambenen är krökta, mellan 20.0 m och 21.5 m, men den teoretiska spännvidd vi kommer att räkna med är 20,5 m. Brons totala bredd är 17,2 m och den fria höjden på bron är  $\geq 5,0$  m. Brons undersida är formad som en parabelvot, konstruktionshöjden varierar därför från 1,32 m vid ramben och 0,82 m i fält.

Bron anses vara symmetrisk och beräkningar kan göras på enskilda delar. För att förhindra sättningar grundläggs båda stöden på stödpålar av betong.

Fyllning mot bron som motsvarar egenskaperna:

$$\gamma_{sp}=20/13 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi_k=32^\circ$$

$$K_0=0,36$$

$$K_a=0,22$$

$$K_p=4,60$$

Betong i hela bron:

$$C40/50, v_{ct} \leq 0,40$$

$$E_{ck}=35,0 \text{ GPa}$$

$$f_{ck}=38,0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk}=2,40 \text{ MPa}$$

$$f_{cc}=21,1 \text{ MPa}$$

$$f_{ct}=1,33 \text{ MPa}$$

Säkerhetsklass:

Sk3

Sk2 - för pålningens geotekniska bärförmåga

Livslängdsklass:

L50 (80år) för över- och underbyggnad

Utmattning:

$$\kappa=1,0, \eta=400\ 000$$

Miljöklass, TB

Bottenplattor ök: XC2/XF3,

TB50,  $w_k$ -max 0,45,  $\zeta=0,9$

Bottenplattor uk: XC2/XF3,

TB50,  $w_k$ -max 0,45,  $\zeta=0,9$

Ramben mot väg: XC4/XF3,

TB50,  $w_k$ -max 0,40,  $\zeta=1,0$

Ramben mot väg (delvis): XD3/XF4,

TB50,  $w_k$ -max 0,20,  $\zeta=1,5$

Ramben mot fyllning: XC4/XF3,  
TB50,  $w_k$ -max 0,40,  $\zeta=1,0$

Vingar mot väg: XD1/XF4,  
TB50,  $w_k$ -max 0,30,  $\zeta=1,2$

Vingar mot fyllning: XD1/XF4,  
TB50,  $w_k$ -max 0,30,  $\zeta=1,2$

Brobanaplatta uk: XD3/XF4,  
TB50,  $w_k$ -max 0,20,  $\zeta=1,5$

Brobanaplatta ök: XD3/XF4,  
TB50,  $w_k$ -max 0,30,  $\zeta=1,2$

Kantbalk: XD3/XF4,  
TB50

## 2.1. Beräkning av Jordtryckskoefficient ( $K_0$ )

Formeln för jordtryckskoefficienten är tagen från referensobjektets beräkningar.  
Jordtryckskoefficientberäkningarna är i sin tur hänvisade från EN 1997-1.

$$K_0 = K_{0gh} \cdot f \cdot (1 + \tan\alpha_1 \cdot \tan\beta) / (1 + \tan\alpha_1 \cdot \tan\delta)$$

$$\tan\alpha_1 = \sqrt{(K_{0gh} / (1 + K_{0gh} \cdot \tan^2\beta))}$$

$$K_{0gh} = 1 - \sin\Phi$$

$$f = 1 - |\tan\alpha \cdot \tan\beta|$$

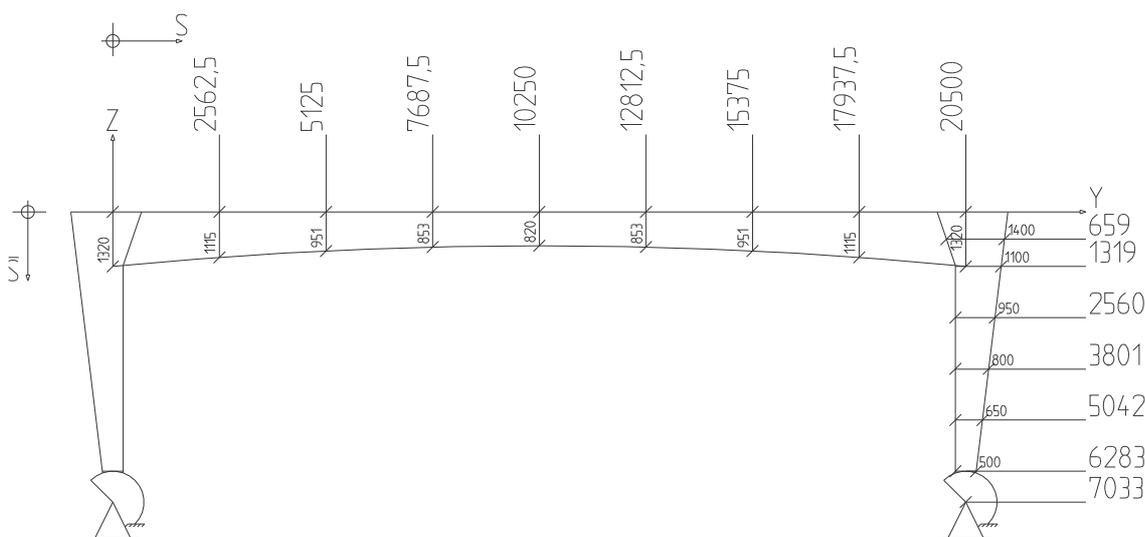
### 3. Laster i systemberäkning

För att med hjälp av beräkningsprogrammet "Strip step" kunna beräkna de krafter och reaktioner som fordras vid dimensionering av bron krävs viss indata i form av laster på den aktuella bron.

Här nedan följer de laster och lastkombinationer som är beaktade i systemberäkningen.

#### 3.1. Grundlastfall

Vertikal last är positiv i positiv z-riktning och horisontell last är positiv i positiv y-riktning



Figur 1: Längdsnitt av bron med mått på konstruktionens tjocklek

#### 3.1.1. Egentyngd

Egentyngden beräknas med betongens tunghet och beläggningens tunghet separat.

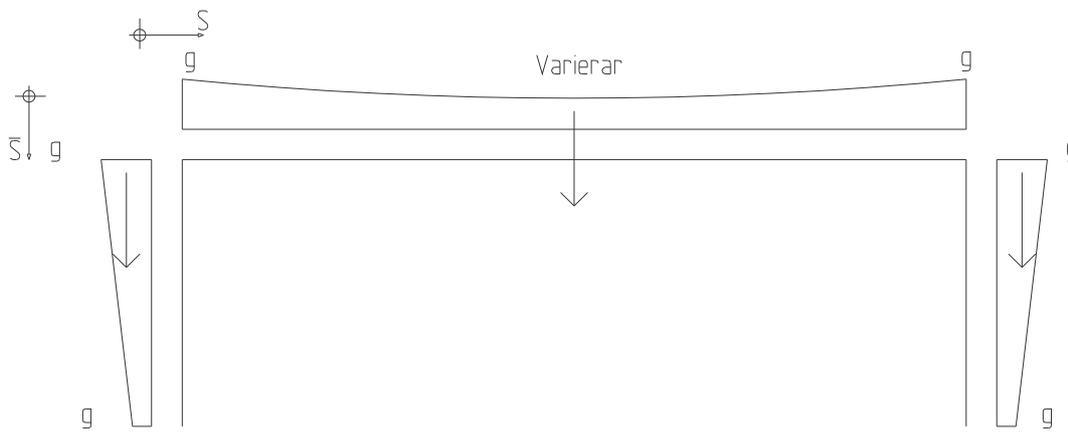
För att beräkna egentyngden delas bron upp i 4 element. Element 1 innefattar brobanepattan, element 2 och 3 innefattar rambenen och element 4 innefattar vingen. Elementen delas upp i snitt för att förenkla beräkningen.

Eurocode anger en lägre densitet på betongen än Bro 2002 vilket leder till att egentyngden blir lägre. Värdet på egentyngden enligt Eurocode är hämtat ur EN 1991-1-1 kap 6:4 tabell A1 och i Bro 2002 ur kap. 21.12. Resultatet av beräkningen för egentyngd redovisas i bilaga 1.

Bro 2002:  
 $\gamma_{bet}=25 \text{ kN/m}^3$

Eurocode:  
 $\gamma_{bet}=24 \text{ kN/m}^3$

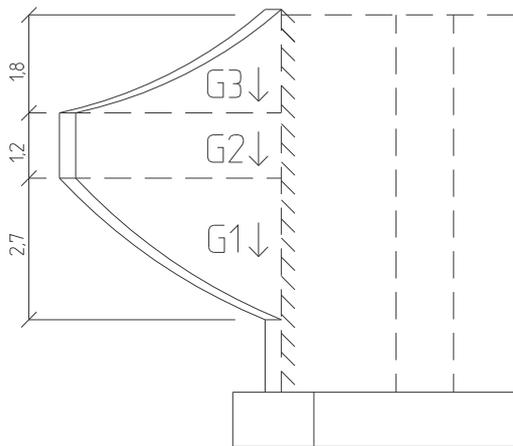
$$g=\gamma \cdot h$$



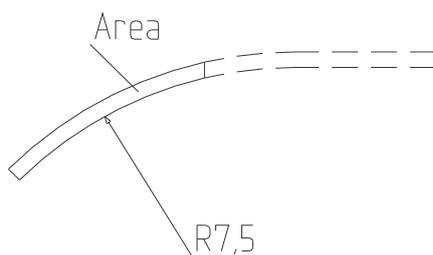
Figur 2: Brobanans och rambenens egentyngd

Element 4 (Vingen):

$$\Sigma g = A \cdot h \cdot \gamma$$



Figur 3: Modell av brons vinge



Figur 4: Vinge sedd ovanifrån

Egentyngd för beläggning:

Asfaltbetong (h=0,04m):  
 Gjutasfalt (h=0,05m):  
 Isoleringmatta (h=0,005m):

Bro2002:

$\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$   
 $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$   
 $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

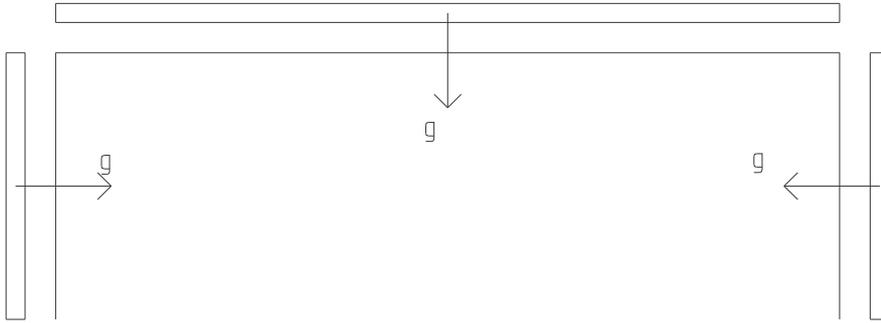
Eurocode:

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$   
 $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$   
 $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

$$g_{bel} = \sum(\gamma \cdot h)$$

$$g_{belh} = K_0 \cdot g_{bel}$$

$$g_{belv} = -K_0 \cdot g_{bel}$$



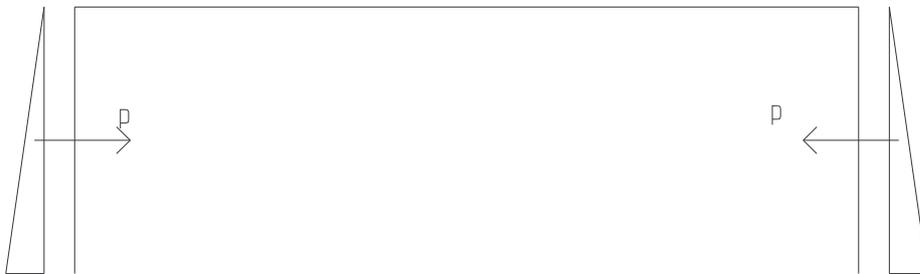
Figur 5: Belägningens egentyngd

### 3.1.2. Vilojordtryck mot ramben

Vilojordtrycket mot rambenen beräknas för båda stöden med positiv riktning i positiv z-led. För varje stöd beräknas jordtrycket vid knutpunkten mellan ramben och brobana samt vid rambenens nedre kant. Jordtrycket ökar linjärt längs med rambenen. Resultatet av beräkningen för vilojordtryck mot ramben redovisas i bilaga 2.

Jordtryck beräknas för vattennivå under bottenplattorna.

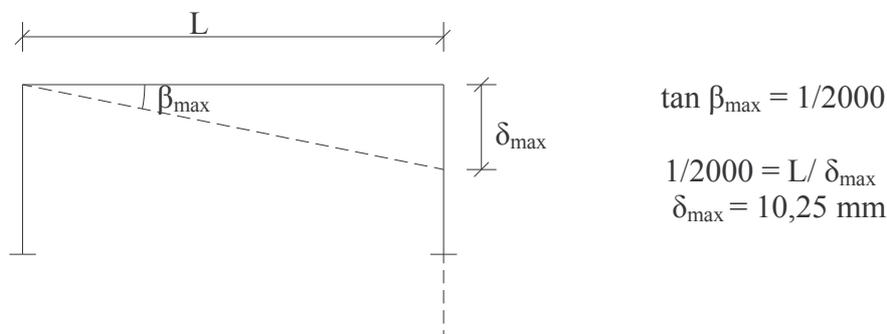
$$p = K_0 \cdot \gamma_{sp} \cdot z$$



Figur 6: Vilojordtryck mot ramben

### 3.1.3. Stödförskjutning

Enligt praktiska exempel antas 10 mm för pågrundläggning vid stödförskjutning i både horisontal och vertikal led. Men i Eurocode 1997-1 Appendix H står det att den relativa rotationen för olika konstruktioner kan hamna mellan 1/300 och 1/2000 där 1/2000 ger i det här fallet ett resultat som är nära till svensk praxis.



Figur 9: Stödförskjutning

De här beräkningarna för stödförskjutningar är generella riktlinjer och kan komma att se annorlunda ut i nationella appendix. Då resultatet från Eurocode hamnar i närheten av resultatet i referensobjektet antas 10 mm i vertikal led och +/- 10 mm i horisontal led.

### 3.1.4. Betongens krympning

Enligt Eurocode sätts ett högre värde på den relativa fuktigheten, RH, vid konstruktioner utomhus. Det medför att den totala krympspänningen får ett högre värde med Eurocode än Bro 2002. Längdutvidgningskoefficienten,  $\alpha$ , är samma enligt båda standarderna. Betongen når, beräknat enligt Eurocode, slutkrympningen vid en lägre temperatur än Bro 2002. Betongens krympning beaktas som en temperaturlast i systemberäkningen vilket innebär att betongens krympning inträffar tidigt i konstruktionen och därför är E-modulen lägre jämfört med  $E_{ck}$ . Vägverket har bestämt att  $E_{ck}$  vid beräkning av betongens krympning därför skall multipliceras med  $f=1/3$ . Resultatet av beräkningen för betongens krympning redovisas i bilaga 4.

Jämn krympning ansätts som en jämn temperaturlast i systemberäkningen:

Bro 2002 kap 21.16:

Slutkrympningen vid 75 % RH enligt BBK 2.4.6: I systemberäkningen är  $E_c=E_{ck}$ . Värden för krympning multipliceras med  $f= 1/3,0$ .

$$t \cdot f = T \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t = \varepsilon_{cs} / \alpha \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\varepsilon_{cs} = 0,25 \text{ ‰}$$

Eurocode 1992-1-1 kap 3.1.4:

Slutkrympningen vid 80 % RH enligt Eurocode 1992-1-1. I systemberäkningen är  $E_c = E_{ck}$ . Värderna för krympning multipliceras enligt vägverket med  $f = 1/3,0$ .

$$t \cdot f = T \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t = -\varepsilon_{cs} / \alpha_T \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \text{ [}\text{‰}\text{]}$$

$$\varepsilon_{cs} = 0,29 \text{ ‰}$$

RH=80% och C40/50 ger  $\varepsilon_{cd}$

$$\varepsilon_{ca} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

C40/50 ger  $f_{ck}$  [MPa] ( EN 1992-1-1 kap 3.1.3 tabell 3.1)

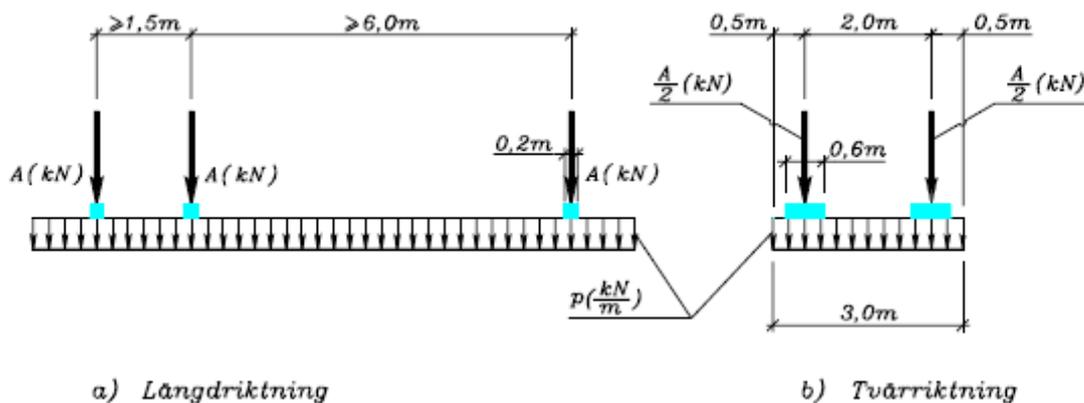
## 3.2. Variabla laster

Variabla laster är de laster som inte är fasta utan som kan belasta konstruktionen i olika långa perioder.

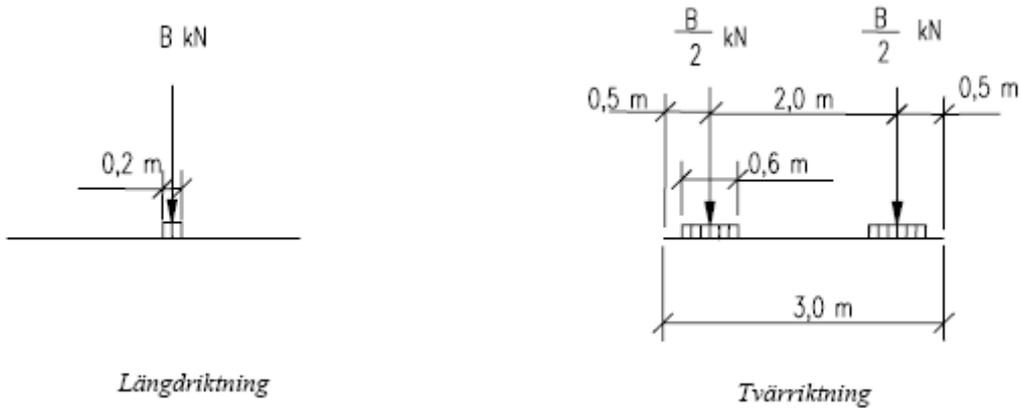
### 3.2.1. Trafiklast

Trafiklasten är trafikens påverkan på bron i vertikal och horisontell riktning. Trafiklasterna skall placeras där de är mest ogynnsamma och det ogynnsammaste fallet skall användas.

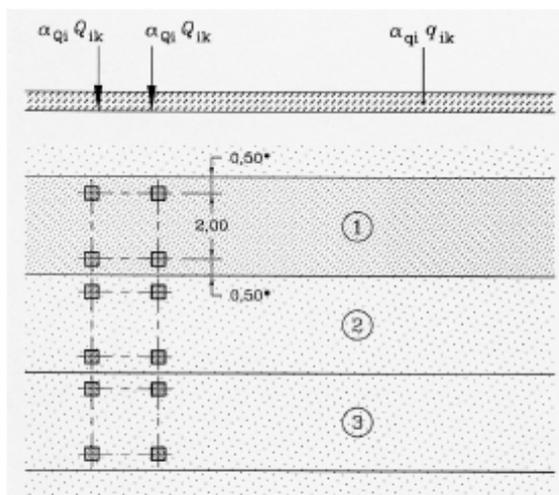
Enligt eventuella nationella appendix kan man reducera lasterna med en faktor,  $\alpha_{q1} \geq 0,8$ . Men då det nu saknas ett nationellt appendix så kommer vi att bortse från reduceringsfaktorn enligt EN 1991-2 4.3.2 Lastmodell 1 (Load model 1). Resultatet av beräkningen för trafiklast redovisas i bilaga 5.



Figur 10: Ekvivalentlast typ 1, Bro 2002 kap 21.22



Figur 11: Ekvilasentlast typ 2, Bro 2002 kap 21.22

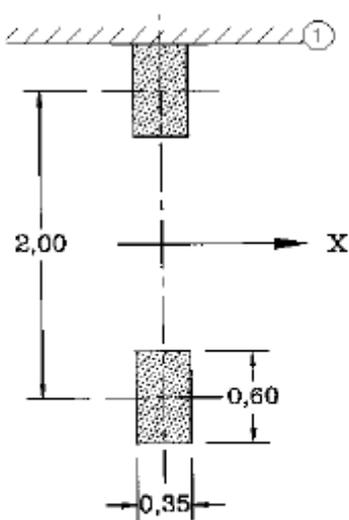


**Key**

- (1) Lane Nr. 1 :  $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$  ;  $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$
- (2) Lane Nr. 2 :  $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$  ;  $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- (3) Lane Nr. 3 :  $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$  ;  $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

\* For  $w_j = 3,00 \text{ m}$

Figur 12: Lastmodell 1, EN 1991-2 kap 4.3



**Key**

- X Bridge longitudinal axis direction
- 1 Kerb

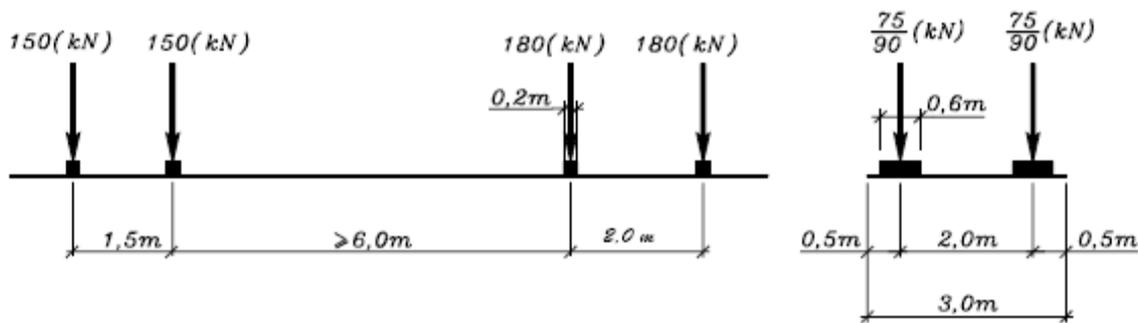
Figur 13: Lastmodell 2, EN 1991-2 kap 4.3

### 3.2.2. Utmattningslaster

Då en bro utsätts för upprepade belastningar uppkommer försvagningar i betongen. Det leder i sin tur till sprickbildning och i ett senare skede även utmattningsbrott. För att undvika uppkomsten av utmattningsbrott har både Bro 2002 och Eurocode satt upp ett antal lastkombinationer som kan användas vid dimensionering av broar. Då utmattningsbrott uppkommer vid en upprepad belastning antas lasten vara mindre än belastningen som används för att dimensionera i brottgränstillstånd. Resultat av beräkningar och kompletterande figurer för utmattningslaster redovisas i bilaga 6.

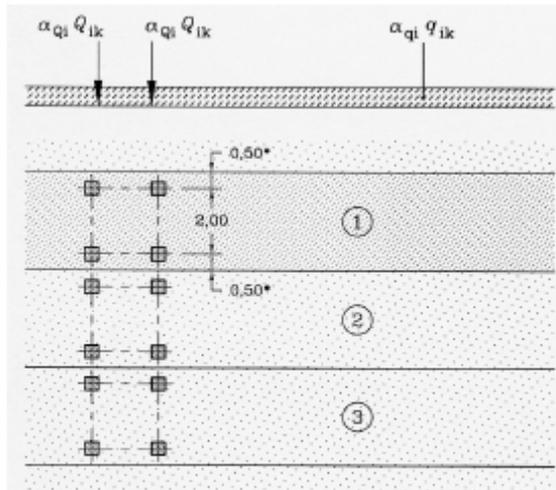
Nedan följer de lastkombinationer som Bro 2002 och Eurocode anger vid dimensionering av utmattningsbrott.

- Bro 2002 anger en lastgrupp med fyra axellaster, som redovisas i figur nedan, där varje axellast består av två punktlaster. Punktlasterna är symmetriskt placerade i lastfältet med 2 meters mellanrum och en rektangulär lastyta på 0,6x0,2 meter. Lastgruppen ska placeras så att det största och värsta fallet av spänningsvidden.



Figur 14: Utmattningslastmodell i längdriktning och tvärriktning, Bro 2002 kap 21.22

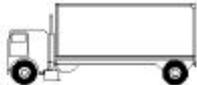
- EN 1991-2 redovisar fem utmattningslastmodeller där hänsyn har tagits till konstruktionsmaterial och vilken typ av trafik som bron ska dimensioneras efter. De olika lastmodellerna visar olika typer av fall som används vid dimensionering av utmattning i konstruktionen. I vårt fall är endast utmattningslastmodell 1 och 2 tillämpningsbar och värsta fallet används vid dimensioneringen.



**Key**

- (1) Lane Nr. 1 :  $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$  ;  $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$   
 (2) Lane Nr. 2 :  $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$  ;  $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$   
 (3) Lane Nr. 3 :  $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$  ;  $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$   
 \* For  $w_j = 3,00 \text{ m}$

Figur 15: Utmattningslastmodell 1, EN 1991-2 kap 4.6. Utmattningslastmodell 1 är uppbyggt på samma sätt som lastmodell 1 där axellastvärdena reduceras med 30% och den utbredda lasten med 70%.

1		2	3	4
LORRY SILHOUETTE		Axle spacing (m)	Frequent axle loads (kN)	Wheel type (see Table 4.8)
		4,5	90 190	A B
		4,20 1,30	80 140 140	A B B
		3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120 120	A B C C C
		3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
		4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

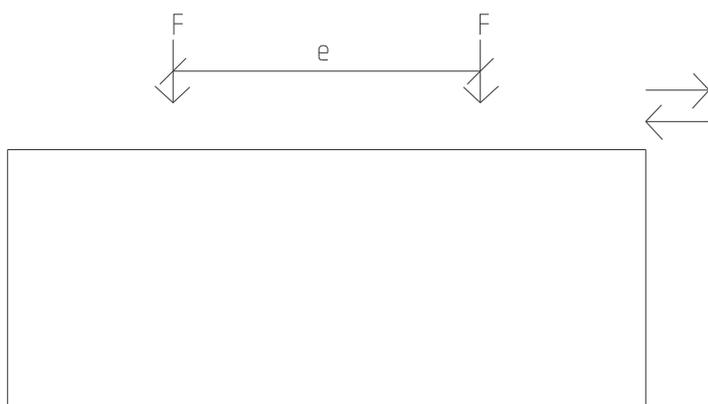
Figurl 16: Utmattningslastmodell 2, EN 1991-2 tabell 4.6. Utmattningslastmodell 2 består av en uppsättning ofta förekommande standardlastbilar. Varje lastbil är definierad enligt, antalet axlar, axlarnas mellanrum, axellaster, hjulens kontaktområde och hjulparens mellanrum.

### 3.2.3. Typfordon

Bro 2002 och Eurocode definierar fordonsparken med ett antal typfordon, vilka valts så att de täcker dimensionerande egenskaper hos vanliga personbilar, bussar, lastbilar och lastbilskombinationer. Kompletterande figurer för hur typfordonen är utformade enligt Eurocode och Bro 2002 redovisas i bilaga 11 och 12.

	<b>Axle-lines of 150 kN</b>	<b>Axle-lines of 200 kN</b>	<b>Axle-lines of 240 kN</b>
600 kN	$n = 4 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$		
900 kN	$n = 6 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$		
1200 kN	$n = 8 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 6 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	
1500 kN	$n = 10 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 1 \times 100 + 7 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	
1800 kN	$n = 12 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 9 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	
2400 kN		$n = 12 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$  $n = 6 \times 200 + 6 \times 200$ $e = 5 \times 1,5 + 12 + 5 \times 1,5$	$N = 10 \times 240$ $e = 1,50 \text{ m}$
3000 kN		$n = 15 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$  $n = 8 \times 200 + 7 \times 200$ $e = 7 \times 1,5 + 12 + 6 \times 1,5$	$N = 1 \times 120 + 12 \times 240$ $e = 1,50 \text{ m}$
3600 kN		$n = 18 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	$N = 15 \times 240$ $e = 1,50 \text{ m}$  $n = 8 \times 240 + 7 \times 240$ $e = 7 \times 1,5 + 12 + 6 \times 1,5$
<b>NOTE</b>			
$n$ number of axles multiplied by the weight (kN) of each axle in each group			
$e$ axle spacing (m) within and between each group.			

Figur 17: Eurocode 1991-2, Appendix A, Tabell A2



Figur 18:  $n$ =Antal axlar multiplicerat med  $F$  (kN) av varje axel i varje grupp,  $e$ =Axellavstånd (m) i och mellan varje grupp

### 3.2.4. Temperaturändring

På grund av nationella variationer förutsätts ingen skillnad av max och min temperatur mellan Eurocode och Bro 2002. Högsta temperatur förutsätts vara  $+34^{\circ}\text{C}$  och lägsta temperatur  $-36+10^{\circ}\text{C}$ . En jämn temperaturändring antas vara  $+10^{\circ}\text{C}$ . Temperaturgradienterna är  $+10^{\circ}\text{C}$  och  $-5^{\circ}\text{C}$ . Resultat av beräkningar för temperatur ändring är redovisade i bilaga 7.

### 3.2.5. Ökat jordtryck på grund av temperaturändring

När temperaturen ökar på vägbanan expanderar betongen vilket medför att rambenen trycks utåt, vilket ger upphov till ett ökat jordtryck.



Figur 23: Ökat jordtryck på grund av temperaturändring

### 3.2.6. Bromskraft

När ett fordon färdas på bron och bromsar eller accelererar uppkommer en horisontell bromskraft.

Enligt Bro 2002 kap. 21.223 är inverkan av fordons bromsning och acceleration motsvarande en horisontalkraft på 200 kN vid en brolängd på högst 10 m, 500 kN vid en brolängd på högst 40 m och 800 kN vid en brolängd större eller lika med 170 m. För mellanliggande värde på brolängden godtas att bromskraften bestäms genom rätlinjig interpolering. Resultat av beräkningar för bromskraft är redovisade i bilaga 8.

EN 1991-2 kap 4.4

Enligt EN 1991-2 kap 4.4 bör den horisontella bromskraften,  $Q_{Ik}$ , beräknas som en del av den totala maximala lasten motsvarande lastmodell 1 lämpligast placerad på lastfält 1. Bromskraftens värde

bör hamna inom 180 multiplicerat med  $\alpha_{Q1}$  och 900 kN. Justeringsfaktorerna kommer med stor säkerhet att anpassas enligt nationella appendix, bromskraften kan i detta fall anses, enligt Eurocode, som orimligt stor.

$$Q_{ik} = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot 2Q_{ik} + 0,1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{ik} \cdot w_1 \cdot L$$

$\alpha_{Q1}, \alpha_{q1} = 1$  (Justeringsfaktor som kan komma att ändras i Svenskt appendix)

$Q_{ik} = 300$  kN,  $q_{ik} = 9$  kN/m<sup>2</sup> (Axellaster enligt Lastmodell 1, Lastfält 1)

$L = 20,5$  m (Brobanan)

$w_1 = 17,25$  m (Brobredd)

Kontroll:

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{ik} \leq 900 \text{ kN}$$

### 3.2.7. Ökat jordtryck på grund av bromskraft:

Det ökade jordtrycket är skillnaden mellan vilojordtrycket och det tryck som rambenen genererar mot jorden vid bromskraft på brobanan. För att beräkna värdet av det ökade jordtrycket antas en förskjutning som uppkommer på grund av bromskraften. Förskjutningarna kontrolleras sedan med hjälp av Strip-step. Man passeräknar tills det antagna värdet och det med hjälp av Strip step beräknade värdet överensstämmer.

Bro 2002:

$$\Delta p_{br} = 300 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta_{br}/2$$

$$\Delta p_{br} = 600 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta_{br}/2$$

EN 1997-1 Appendix C:

$$V / V_p$$

$$V = \delta_{br}$$

$$V_p = 10\% \cdot h$$

$$\Delta p_{br} = (\gamma \cdot h \cdot k_p \cdot \sigma_p - \gamma \cdot h \cdot k_0) / 2$$



Figur 24: Ökat jordtryck på grund av rörelse mot fyllning av bromskraft.

### 3.2.8. Överlast

Överlast är den last som uppkommer när ett eller flera fordon belastar vägbanan före eller efter bron. Den kraft som då uppstår på vägbanan medför en horisontell kraft som uppkommer på brons ramben.

Bro 2002 kap. 21.224:

$$p = k_0 \cdot p_t \text{ kPa}$$

EN 1991-2 kap. 4.9.1:

$$p = k_0 \cdot (q_{ik} + q_{eq})$$

$$q_{eq} = Q_{ik} / (b \cdot l) \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_{ik} = \text{Utbredd last [kN/m}^2\text{]}$$

$$Q_{ik} = \text{Punktlast [kN]}$$

För att bestämma överlast enligt Eurocode, använder man sig av lasterna från lastmodell 1. Man fördelar punktlasten genom att dela den med "lämplig yta" som det står i Eurocode. Som lämplig yta väljs 3x2.2m vilket anges i EN 1991-2 kap. 4.9.1 punkt 2. Genom att multiplicera jordtryckscoefficienten med lasten på vägbanken fås den kraft som uppkommer på brons ramben.

Bronormerna anger 20 kN/m<sup>2</sup> för överlastens intensitet,  $p_t$ . Samtidigt som man i Eurocode använder sig av lasterna från lastmodell 1. Detta medför en skillnad i resultatet mellan Eurocode och Bro -02. Resultat av beräkningar för överlast redovisas i bilaga 9.



Figur 25: Överlast

### 3.2.9. Ökat jordtryck på grund av överlast

Det ökade jordtrycket är skillnaden mellan vilojordtrycket och det tryck som rambenen genererar mot jorden vid överlast på vägbanan innan eller efter bron. För att beräkna värdet av det ökade jordtrycket antas en förskjutning som uppkommer på grund av överlasten. Förskjutningarna kontrolleras sedan med Strip-step. Man passräknar tills det antagna värdet och det med hjälp av Strip step beräknade värdet överensstämmer.

Bro 2002:

$$\Delta p_{\delta H1} = 300 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta_{\delta H1} / 2$$

$$\Delta p_{\delta H2} = 600 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta_{\delta H2} / 2$$

Eurocode (1997-1):

$$V / V_p$$

$$V = \delta$$

$$V_p = 10\% \cdot h$$

$$\Delta p_{\delta H} = (\gamma \cdot h \cdot k_p \cdot \sigma_p - \gamma \cdot h \cdot k_0) / 2$$



Figur 26: Ökat jordtryck på grund av rörelse av överlast

Skillnaden mellan de två normerna i ökat jordtryck på grund av överlast, beror på att Eurocode anger att den horisontella förskjutning som beror av att det passiva jordtrycket är 10 % av konstruktionens höjd. Kvoten av den uppskattade förskjutningen och förskjutningen som beror på det passiva jordtrycket blir i detta fall ytterst lite. Detta medför att  $k_p \cdot \sigma_p$  sätts till samma värde som  $k_0$ . Det ökade jordtrycket blir därmed i det här fallet enligt Eurocode noll. Resultat av beräkningar för ökat jordtryck på grund av överlast är redovisade i bilaga 9.

## 4. Lastkombinering

Vid beräkning av lasters inverkan på en bro använder både Eurocode och Bro 2002 sig av lastkoefficienter.

Eurocode och Bro 2002 redovisar lastkoefficienterna på olika sätt. Närmast nedan klargörs en förklaring av Eurocodesystemet och därefter en förklaring av det systemet som tillämpas i Bro 2002.

Kombinationsvärden enligt Eurocode (EN 1990 kap 1.5.3):

När man kombinerar de variabla lasterna i en lastkombination används  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  eller  $\psi_2$  beroende på vilka laster som ska kombineras i lastkombinationen.

- Kombinationsvärde för variabla laster ( $\psi_0 Q_k$ ):

Värdet är valt:

- Så att det så exakt som möjligt är bestämt på statistiska grunder.
- Så att möjligheten till överskridande av effekter grundade på lastkombinationen är ungefär samma som det karakteristiska värdet av en enskild last. Det kan uttryckas som en bestämd del av lastens karakteristiska värde, genom att använda faktorn  $\psi_0 \leq 1$ .

- Kombinationsvärde i en ofta förekommande variabel last ( $\psi_1 Q_k$ ):

Värdet är bestämt:

- Så att det är så exakt som möjligt bestämt på statistiska grunder.
- Så att antingen den totala tiden, inom referensperioden, är överskriden av en last under en kort period av referensperioden, eller att frekvenser av den totala tiden överskrider och gränsar till ett givet värde. Det kan uttryckas som en bestämd del av lastens karakteristiska värde, genom att använda faktorn  $\psi_1 \leq 1$ .

- Kombinationsvärde i en halvpermanent variabel last ( $\psi_2 Q_k$ ):

Värdet är bestämt så att den totala tiden som lasten kommer att överskridas är en stor del av referensperioden. Det kan uttryckas som en bestämd del av lastens karakteristiska värde, genom att använda faktorn  $\psi_2 \leq 1$ .

Action	Symbol	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	
Traffic loads (see EN 1991-2, Table 4.4)	gr1a (LM1+pedestrian or cycle-track loads) <sup>1)</sup>	TS	0,75	0,75	0
		UDL	0,40	0,40	0
		Pedestrian+cycle-track loads <sup>2)</sup>	0,40	0,40	0
	gr1b (Single axle)		0	0,75	0
	gr2 (Horizontal Forces)		0	0	0
	gr3 (Pedestrian loads)		0	0	0
	gr4 (LM4 – Crowd loading)) gr5 (LM3 – Special vehicles))		0	0,75	0
Wind forces	$F_{w_k}$				
	- Persistent design situations	0,6	0,2	0	
	- Execution	0,8	-	0	
	$F_{w}^*$	1,0	-	-	
Thermal actions	$T_k$	0,6 <sup>3)</sup>	0,6	0,5	
Snow loads	$Q_{Sn,k}$ (during execution)	0,8	-	-	
Construction loads	$Q_c$	1,0		1,0	

1) The recommended values of  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  for gr1a and gr1b are given for roads with traffic corresponding to adjusting factors  $\alpha_{Qi}$ ,  $\alpha_{qi}$ ,  $\alpha_{qr}$  and  $\beta_Q$  equal to 1. Those relating to UDL correspond to the most common traffic scenarios, in which an accumulation of lorries can occur, but not frequently. Other values may be envisaged for other classes of routes, or of expected traffic, related to the choice of the corresponding  $\alpha$  factors. For example, a value of  $\psi_2$  other than zero may be envisaged for the UDL system of LM1 only, for bridges supporting a severe continuous traffic. See also EN 1998.

2) The combination value of the pedestrian and cycle-track load, mentioned in Table 4.4a of EN 1991-2, is a "reduced" value.  $\psi_0$  and  $\psi_1$  factors are applicable to this value.

3) The recommended  $\psi_0$  value for thermal actions may in most cases be reduced to 0 for ultimate limit states EQU, STR and GEO. See also the design Eurocodes.

Figur 19: Kombinationskoefficienter, EN 1990 Appendix A kap. A2.2.6

Vid beräkning av lastkombinationer i bruksgränstillstånd beror värdet av  $\psi$  på om vilken av de variabla lasterna som är huvudlast och om lasten är karakteristisk (*characteristic*), ofta förekommande (*frequent*) eller halvt permanent (*quasi-permanent*). Frequent används vid beräkning av nedböjning och Quasi-permanent används vid beräkning av sprickvidd. Huvudlasten multipliceras med det  $\psi$ -värdet som är anggett under rubriken "leading" och de andra variabla lasterna multipliceras med  $\psi$ -värdet som är anggett under "others". De variabla lasterna läggs sedan ihop med de permanenta lasterna.

Combination	Permanent actions $G_d$		Prestress	Variable actions $Q_d$	
	Unfavourable	Favourable		Leading	Others
Characteristic	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Frequent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Quasi-permanent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Figur 20: Lastkombinationer i bruksgränstillstånd, EN 1990 Appendix A kap A2.4.1.

Vid bräkning av lastkombinationer i brottgränstillstånd multipliceras huvudlasten med  $\gamma_Q$ , som är justeringsvärdet för variabla laster i brottgränstillstånd, övriga variabla laster multipliceras med  $\gamma_Q$  och  $\psi_0$ .

De permanenta lasterna justeras med hjälp av  $\gamma_{G,sup}$  eller  $\gamma_{G,inf}$  beroende på om förhållandena är ogynnsamma eller gynnsamma.

Persistent and Transient Design Situation	Permanent actions		Prestress	Leading variable action (*)	Accompanying variable actions (*)	
	Unfavourable	Favourable			Main (if any)	Others
(Eq. 6.10)	$\gamma_{G,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(\*) Variable actions are those considered in Tables A2.1 to A2.3.

NOTE 1 The  $\gamma$  values for the persistent and transient design situations may be set by the National Annex.

For persistent design situations, the recommended set of values for  $\gamma$  are :

$\gamma_{G,sup} = 1,05$   
 $\gamma_{G,inf} = 0,95^{(1)}$   
 $\gamma_Q = 1,35$  for road and pedestrian traffic actions, where unfavourable (0 where favourable)  
 $\gamma_Q = 1,45$  for rail traffic actions, where unfavourable (0 where favourable)  
 $\gamma_Q = 1,50$  for all other variable actions for persistent design situations, where unfavourable (0 where favourable).  
 $\gamma_P =$  recommended values defined in the relevant design Eurocode.

For transient design situations during which there is a risk of loss of static equilibrium,  $Q_{k,1}$  represents the dominant destabilising variable action and  $Q_{k,i}$  represents the relevant accompanying destabilising variable actions.

During execution, if the construction process is adequately controlled, the recommended set of values for  $\gamma$  are :

$\gamma_{G,sup} = 1,05$   
 $\gamma_{G,inf} = 0,95^{(1)}$   
 $\gamma_Q = 1,35$  for construction loads (0 where favourable)  
 $\gamma_Q = 1,50$  for all other variable actions, where unfavourable (0 where favourable)

<sup>(1)</sup> Where a counterweight is used, the variability of its characteristics may be taken into account, for example, by one or both of the following recommended rules :

- applying a partial factor  $\gamma_{G,inf} = 0,8$  where the self-weight is not well defined (e.g. containers) ;
- by considering a variation of its project-defined location, with a value to be specified proportionately to the dimensions of the bridge, where the magnitude of the counterweight is well defined. For steel bridges during launching, the variation of the counterweight location is often taken equal to  $\pm 1$  m.

NOTE 2 In cases where the verification of static equilibrium also involves the resistance of structural elements (for example where loss of static equilibrium is prevented by stabilising systems or devices e.g. anchors, stays or auxiliary columns), as an alternative to two separate verifications based on Tables A2.4(A) and A2.4(B), a combined verification, based on Table A2.4(A), may be adopted with the following set of recommended values, which may be altered by the National Annex.

$\gamma_{G,sup} = 1,35$   
 $\gamma_{G,inf} = 1,15$   
 $\gamma_Q = 1,35$  for road and pedestrian traffic actions, where unfavourable (0 where favourable)  
 $\gamma_Q = 1,45$  for rail traffic actions, where unfavourable (0 where favourable)  
 $\gamma_Q = 1,50$  for all other variable actions for persistent design situations, where unfavourable (0 where favourable)  
 $\gamma_Q = 1,35$  for all other variable actions, where unfavourable (0 where favourable)  
provided that applying  $\gamma_{G,inf} = 1,00$  both to the favourable part and to the unfavourable part of permanent actions does not give a more unfavourable effect.

Figur 21: lastkombinationer i brottgränstillstånd, EN 1990 Appendix A kap A 2.3.1

$\gamma_{Q,q}$  är partialkoefficienter som används vid beräkning av ogynnsamma variabla laster.

De laster som ska ingå i lastkombinationen för utmattingsberäkning framgår i kap. 3.2.2. Lasterna ska kombineras så som det redovisas i kap. 3.2.2.

I Bro 2002 kombineras lasterna med hjälp av de lastkoefficienter som anges i tabellen på sidan 21.

Lastkombinering i brottgränstillstånd delas upp i två dellastkombinationer.

I lastkombination IV:A godtas att antalet variabla laster som medräknas begränsas till de fyra variabla laster som tillsammans ger den ogynnsammaste inverkan. Vid broar som trafikeras i mer än ett plan, t.ex. slutna plattramboar, ska antalet variabla laster vara minst fem.

Ogynnsammaste variabla last ska ges det högre värdet på lastkoefficienten  $\psi\gamma$ . Övriga variabla laster ges det lägre värdet. Trafiklast i ett ytterligare plan, t.ex. i slutna plattramboar, ska i sådana fall ha det lägre värdet på lastkoefficienten lika med 1,0.

Lastkombination IV:B utgör grund för beräkning av inverkan dominerande permanenta laster i brottgränstillstånd.

Lastkombinering i bruksgränstillstånd delas upp i tre dellastkombinationer. En där huvudbelastningsfall i bruksgränstillstånd beaktas (V:A), en där lastkombinationen utgör grund för beräkning av sprickbredd i bruksgränstillstånd (V:B) och en där lastkombinationen utgör grund för beräkning av nedböjning i bruksgränstillstånd (V:C). Endast V:B och V:C är relevanta vid vår bro.

De laster som ska ingå för utmattingsberäkning framgår i kap. 3.2.2. Lasterna kombineras med hjälp av lastkoefficienterna som redovisas i tabellen nedan.

Laster	Lastkombination												
	I	II	II I	IV:A	IV:B	V:A	V:B	V:C	VI	VII	VIII	IX	
<u>Permanenta laster</u>													
Egentyngd (21.11)	max			1	1,15	1,05							
	min	1	1	1	0,9 <sup>b)</sup>	0,95	1		1	1	1	1	
Beläggning (21.121)	max			1	1	1,15	1,2						
	min			1	0,8	0,8	1		1	1	1	1	
Överfyllnad (21.122)	max			1	1	1,15	1,1						
	min			1	0,9	0,9	1		1	1	1	1	
Jordtryck (21.13)	max	a)	a)	a)	a)	a)	a)						1,1
	min	a)	a)	1	a)	a)	1		1		1	1	0,8
Vattentryck (21.14)		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
Stödför- skjutning (21.15)	max				1	1	1	1					
	min				0	0	0	0					
Krympning (21.16)	max				1	1	1	1					
	min			1	0	0	0	0					
Spännkraft (21.17)	t=0	1	1										1
	t=t <sub>1</sub>				1	1	1	1	1	1	1	1	1
	t=t <sub>2</sub>			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Påhängslast på påle (21.18)					0	1	0	1					
<u>Variabla laster</u>													
Ekv last 1 (21.2221)					0,7/1,5	0,7	1		0,8			0,3	1
Ekv last 2 (21.2222)					0,7/1,5	0,7	1						1
Ekv last 3 (21.2223)					0,7/1,5	0,7	1						1
Ekv last 4 (21.2224)					0,7/1,5	0,7	1						1
Ekv last 5 (21.2225)					0,7/1,5	0,7	1		0,8			0,3	1
Utmattningslast (21.2226)										1			
Ytlast (21.222 B, C och D)					0,7/1,5	0,7	1		1			0,3	1
Renhållningsfordon (21.2227)					0,7/1,5	0,7	1		1				1
Typfordon (21.2229)					0,7/1,3	0,7	1		1				1
Utryckningsfordon (21.2228)					0,7/1,5	0,7	1						1
Bromskraft (21.2231)					0,7/1,5	0,7	0,7						
Sidokraft (21.2232)					0,7/1,5	0,7	0,7						
Last på vägbank (21.224)					0,7/1,5	0,7	1		1	1			1
Snölast (21.251)			0,6/1,3		0,6/1,3	0,6	0,6	0,2					
Snösprut vid plogning (21.252)					0,7/1,5		0,7						
Temperaturändring (21.262+21.263)					0,6/1,3 <sup>c)</sup>		0,6	0,6					1
Temperaturändring (21.262+21.264)					0,6/1,3 <sup>c)</sup>		0,6	0,6					1
Temperaturändring (21.262+21.265)					0,6/1,3 <sup>c)</sup>		0,6	0,6					1
Vindlast (21.27)			0,6/1,3		0,6/1,3	0,6	0,6			1			1
Is- och strömtryck (21.28)			0,4/1		0,6/1,3	0,6	0,6						
Last på insp brygga (21.291)					0,7/1,5	0,7	0,7						
Arbetsfordon etc. (21.292)	1		1/1,3										
Last från övergångskonstr (21.293)					0,4/1,3		0,4						
Olikformig last (21.294)													1
Last på räcke (21.295)					0,7/1,5		0,7						
Vattentryck (21.296)			0,6/1		0,8/1,3	0,8	0,8						
Last på lådbotten (21.297)					0,7/1,5	0,7	0,7						
Fuktrörelser i trä (21.298)							0,6						1
<u>Olyckslaster</u>													
Påkörningskraft (21.31)													1
Påseglingskraft (21.32)													1
Brott i kabel (21.33)													1
Avslagen hängare (21.34)													1
Avslagen påle (21.35)													1
Ofrivillig uppkörning (21.36)													1
Brott i spännkabel (21.37)													1
a) Aktivt jordtryck	(ψγ) <sub>min</sub> = 0,9	(ψγ) <sub>max</sub> = 1,1		Viljordtryck			(ψγ) <sub>min</sub> = 0	(ψγ) <sub>max</sub> = 1					
Viljordtryck	(ψγ) <sub>min</sub> = 0,9	(ψγ) <sub>max</sub> = 1,1		(cellplast)									
Passivt jordtryck	(ψγ) <sub>min</sub> = 0,9	(ψγ) <sub>max</sub> = 1											
b)	Vid beräkning för hydrauliskt upplyft ska detta värde sättas till 0,85.												
c)	Lastkoefficienten ska endast användas vid beräkning av lager.												

Figur 22: Lastkoefficienten  $\psi\gamma$  för respektive lastkombination, Bro 2002 kap. 22

Tröghetsmomentet i ett av böjmoment uppsprucket betongtvärsnitt antas vara 60 % av de ospruckna tvärsnittets tröghetsmoment. Vid beräkning av överhöjning multipliceras därför de laster som påverkas av överhöjning med 3,33 i systemberäkningen.

$$EI = (E_c \cdot I_0) / (1+1) \cdot 0,6 \rightarrow f=3,33$$

## 5. Strip step beräkning

Här följer några exempel ur Strip Step 2 beräkningarna med förklaringar. Det första som görs är att fylla i all indata.

De laster som ska användas beskrivs enskilt enligt bestämda indatatabeller. Yttre utbredda och koncentrerade laster anges som standardlastfall. Det finns också specifika datatabeller för temperaturlastfall, stödförskjutningar, samt trafiklaster och förspänningslastfall. Resultat ges inte för lastfall utan för lastkombinationer.

Här nedan ser du en beskrivning av beläggningsens egenvikt. Lasten döps till "BEL". Därefter följer en beskrivning av koordinater, att den är utbredd och storleken på lasten. YZ anger att koncentrerade laster beskrivs med  $P_y$ ,  $P_z$  och utbredda laster med  $p_{y/z}$ ,  $p_z/y$ .

Beteckning	Koordinater		Mått	Lasttyp	Lastvärde	
2050 BEL	1	2	-1.010	UTBR	2.26	
2050			21.510		2.26	
2050	1	11	0.	UTBR	0.81	YZ
2050			7.033		0.81	YZ
2050	2		21 0.	UTBR	-0.81	YZ
2050			7.033		-0.81	YZ

Här nedan är en beskrivning av trafiklastfall 1 enligt Eurocode. Lastfallet delas här upp i en punktlast och en utbredd last. Precis som tidigare anges koordinater och storleken på lasterna enligt datatabeller.

Beteckning	Mått	Punktlast		Utbredd last	
2090 LM1-F	0.0	300.0	0.0		
2090	1.2	300.0	0.0		
2090 LM1-Q9				27	0.

Och så avslutningsvis kombineras de tidigare angivna lasterna i olika lastkombinationer. Här nedan följer fallet brottgränstillstånd enligt eurocode som exempel. Lastkombinationen ges först ett namn, här EN-ULS, som är en förkortning för Eurocode-ultimate limit state. Sedan anges artbeteckningar som visar rätt önskat resultat. M innebär att de ingående lastfallen kombineras till maximi- och minimimoment och Q till maximala och minimala tvärkrafter. Det värsta fallet av de lastfall som följs av "ALTER" väljs.

Beteckning		Beteckning	Lasttid	Partialkoefficient
2140 EN-ULS	M	EG	STAND	0.95
2140	Q	EG	TILLF	0.1
2140		BEL	STAND	0.95
2140		BEL	TILLF	0.1
2140		JORDO	STAND	0.95
2140		JORDO	TILLF	0.1
2140		KRYMP	TILLF	0.95
2140		KRYMP	STAND	0.1
2140		STODF	TILLF	0.95
2140		STODF	STAND	0.1
2140		VAR-4-1	TILLF	1.0 ALTER
2140		VAR-4-2	TILLF	1.0 ALTER
2140		VAR-4-3	TILLF	1.0 ALTER
2140		VAR-4-4	TILLF	1.0 ALTER
2140		LM3	TILLF	1.35 ALTER

När all indata för objektet är införd så körs det genom beräkningsprogrammet. Resultatet fås som visat i tabellen nedan. Det är de här resultaten som vi sammanställer i diagram och jämför i kapitel 6. Resultatet visar moment, normal- och tvärkraft för alla valda lastkombinationerna samt tillhörande snittkrafter.

FORMRETAG AB      S T R I P    STEP 2 PC-05-041001 PLATTRAM      SIDA :  
 KONSTRUKTIONSTYP RAM      R 842      36 :  
 RESULTAT      Systemberäkning

0      PROJEKT IDENT      KONSTR.IDENT      NR      DATUM  
 06-05-31

0

S N I T T K R A F T E R

I I I I	EN-ULS MAX-M				EN-ULS MIN-M				EN-ULS MAX-Q			
	I	M	I	N	I	Q	I	M	I	N	I	Q
1.000	-167.07	-111.00	330.38	-3519.75	-771.45	904.02	-3083.54	-619.93	1035.04			
.012	-106.72	-113.82	330.71	-3328.28	-771.43	887.74	-2884.15	-625.46	1018.81			
.125	516.61	-132.11	170.41	-1663.75	-716.80	599.91	-1133.54	-644.24	801.53			
.250	1199.01	-302.47	269.53	-563.11	-558.87	304.18	216.64	-607.78	578.17			
.375	1856.81	-488.41	167.68	-169.89	-406.82	97.12	945.99	-542.92	380.98			
.500	2137.57	-512.00	-48.90	-68.40	-417.31		1132.60	-444.29	209.62			
.625	1856.74	-475.82	-262.34	-169.95	-407.96	-97.86	990.82	-355.22	68.81			
.750	1202.93	-308.75	-371.03	-563.22	-555.48	-300.50	663.24	-307.12	-36.31			
.875	515.70	-135.32	-303.11	-1663.85	-714.43	-594.59	118.46	-271.74	-135.38			
.988	-103.17	-113.24	-329.92	-3327.10	-771.45	-884.60	-472.91	-244.30	-221.64			
2.000	-167.07	-111.00	-330.28	-3517.60	-771.43	-900.87	-519.87	-243.15	-223.26			
1.000	4205.13	-906.42	-771.45	286.26	-231.27	-111.10	378.51	-242.90	-49.48			
.094	3758.31	-942.33	-768.41	232.74	-249.61	-91.67	360.66	-261.23	-47.49			
.188	3319.97	-961.30	-757.83	194.38	-266.77	-74.33	348.44	-278.39	-42.52			
.364	2315.97	-1009.04	-738.96	111.65	-295.78	-22.36	203.69	-299.80	-16.92			
.540	1400.79	-1042.25	-578.88	36.21	-314.71	-90.79	109.59	-320.83	41.88			
.717	718.34	-1090.40	-414.32	-154.25	-360.07	-184.00	171.62	-341.35	116.60			
.893	346.83	-541.06	137.55	-501.53	-805.01	-556.02	342.75	-357.62	203.48			
11.000	516.90	-357.62	261.63	-948.31	-998.74	-588.88	516.90	-357.62	261.63			
2.000	-286.26	-231.27	111.10	-4203.51	-918.93	770.94	-4198.28	-887.59	771.45			
.094	-232.74	-249.60	91.67	-3757.30	-939.19	768.74	-3749.55	-907.85	769.25			
.188	-194.38	-266.77	74.33	-3318.63	-973.83	756.84	-3306.32	-926.82	763.76			
.364	-111.65	-295.78	22.36	-2314.45	-1005.89	739.33	-2298.03	-958.89	744.52			
.540	-36.21	-314.70	90.79	-1399.06	-1039.11	579.25	-1318.79	-986.26	713.65			
.717	154.25	-360.07	184.00	-716.78	-1087.26	415.00	-391.46	-1008.94	674.57			
.893	501.47	-799.69	553.29	-346.87	-541.84	-138.51	492.72	-1026.92	625.48			
21.000	950.02	-995.59	588.52	-516.90	-357.62	-261.63	949.04	-1026.92	590.71			

1

## 6. Resultat

Resultatet är presenterat i diagram där snittkrafterna och reaktionerna för Eurocode och Bro 2002 är redovisade. Detta är ett tydligt sätt att visa skillnaderna. De olika laster som ingår i lastkombinationerna är redovisade både för Bro 2002 och Eurocode för att peka på möjliga orsaker till skillnader.

### 6.1. Brottgränstillstånd

I lastkombinationen för brottgränstillstånd (EN-ULS) ingår för Eurocode:

- Egenvikt
- Beläggning
- Vilojordtryck mot ramben
- Krympning
- Stödförskjutning
- VAR-4-1
  - Broms (Huvudlast)
  - Överlast
  
- VAR-4-2
  - Lastmodell 1 (Huvudlast)
  - Överlast
- VAR-4-3
  - Lastmodell 2 (Huvudlast)
  - Överlast
- VAR-4-4
  - Lastmodell 1
  - Överlast (Huvudlast)
- Lastmodell 3

Beräkningsprogrammet väljer ut vilken av VAR-4-1, VAR-4-2, VAR-4-3, VAR-4-4 och lastmodell 3 som påverkar konstruktionen mest. Programmet använder sedan den lasten för att få ut snittkrafterna.

I lastkombinationen för brottgränstillstånd (BN-IV) ingår för Bro 2002:

- 4A1
  - Egenvikt
  - Beläggning
  - Vilojordtryck
  - Krympning
  - Stödförskjutning
  - Trafiklast
  - Bromskraft
  - Överlast
  - Tillskott 1

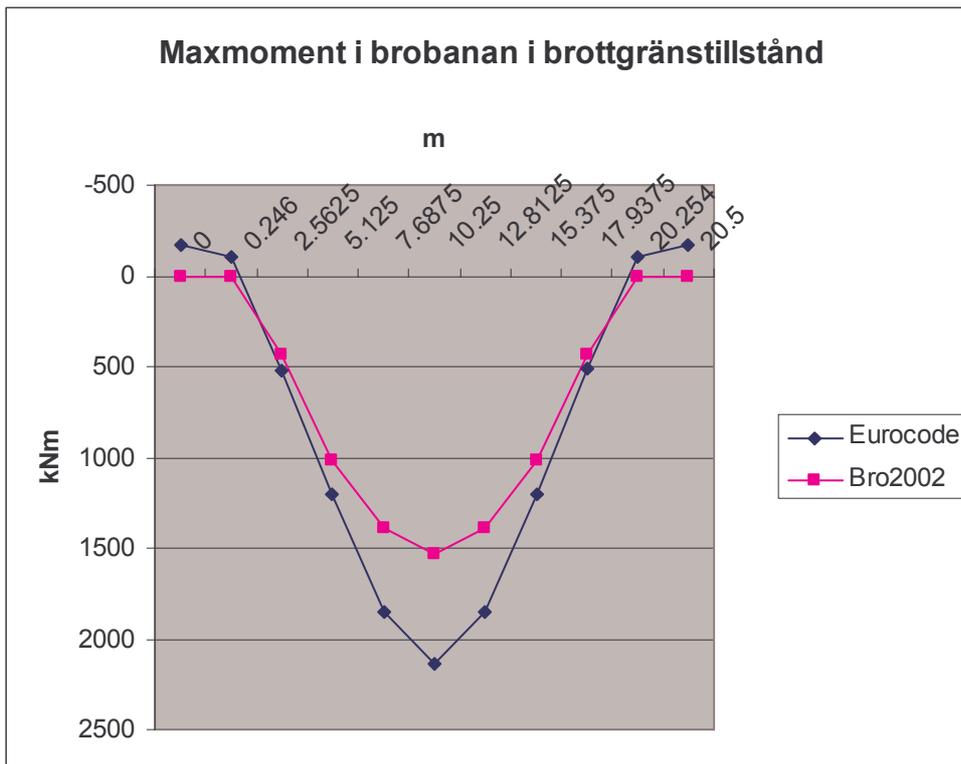
- 4A2

- Egenvikt
- Beläggning
- Vilojordtryck
- Krympning
- Stödförskjutning
- Typfordon
- Bromskraft
- Överlast
- Tillskott 2

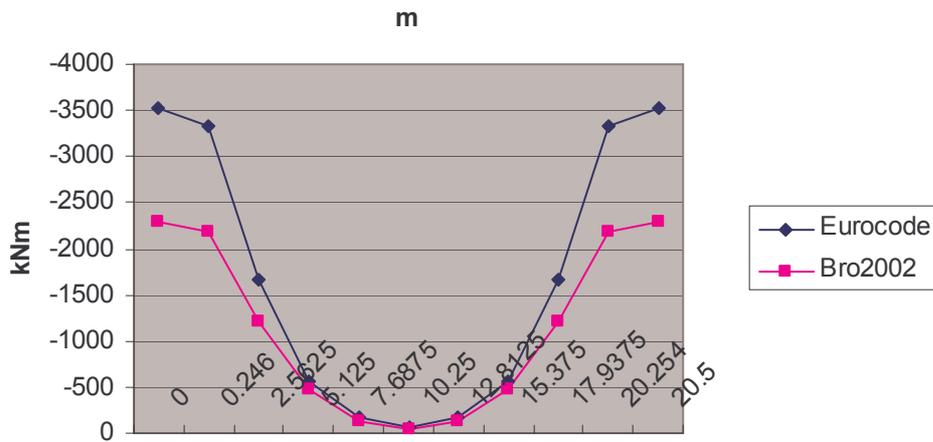
Tillskott 1 och 2 är ett tillskott på den värsta variabla lasten i lastkombinationerna. Programmet väljer värsta variabla lasten.

Beräkningsprogrammet väljer ut vilken av 4A1 och 4A2 som är det värsta fallet. Programmet använder sedan den lastkombinationen för att få ut snittkrafterna.

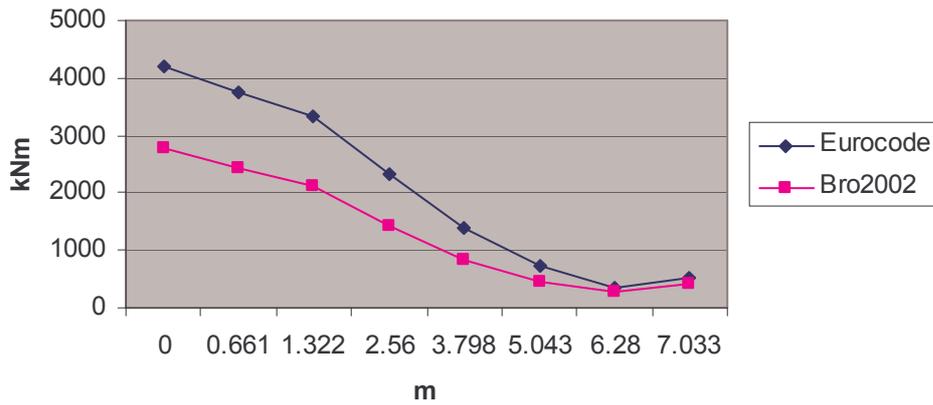
Då värsta fallet enligt Eurocode är VAR-4-2. Detta är en av de största anledningarna till den stora skillnaden mellan Eurocode och Bro 2002. Överlasten enligt Eurocode är här tre gånger större än enligt Bro 2002.



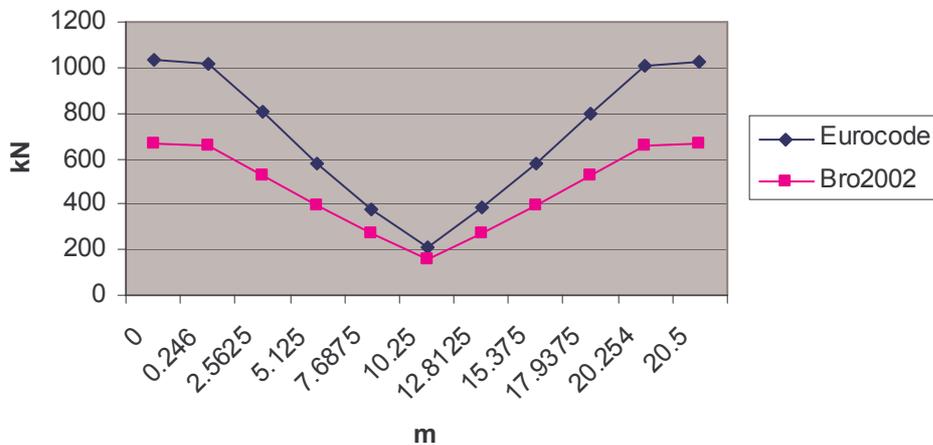
### Minmoment i brobanan i brottgränstillstånd

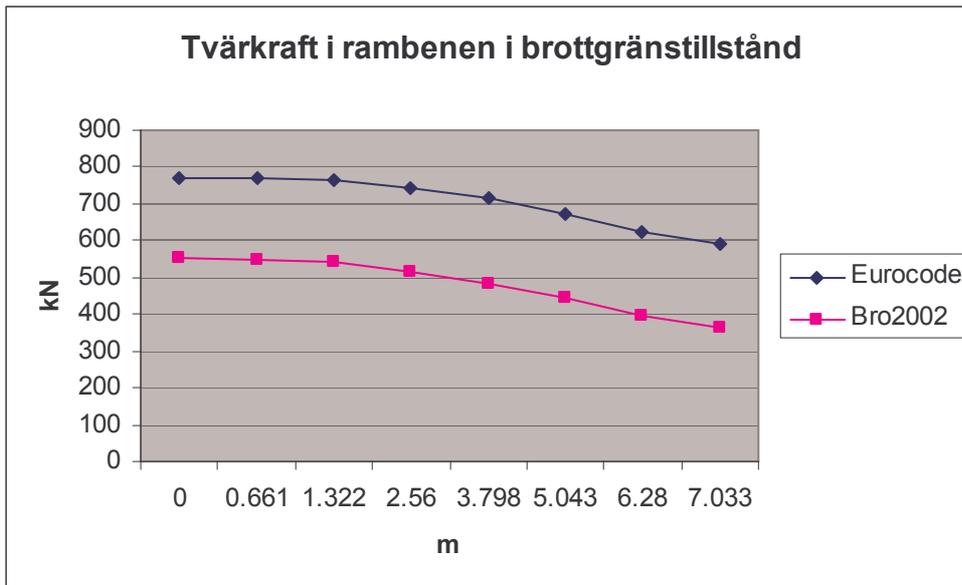


### Moment i rambenen i brottgränstillstånd



### Tvärkraft i brobanan i brottgränstillstånd





## 6.2. Bruksgränstillstånd sprickor

I lastkombinationen EN-SCR ingår för Eurocode:

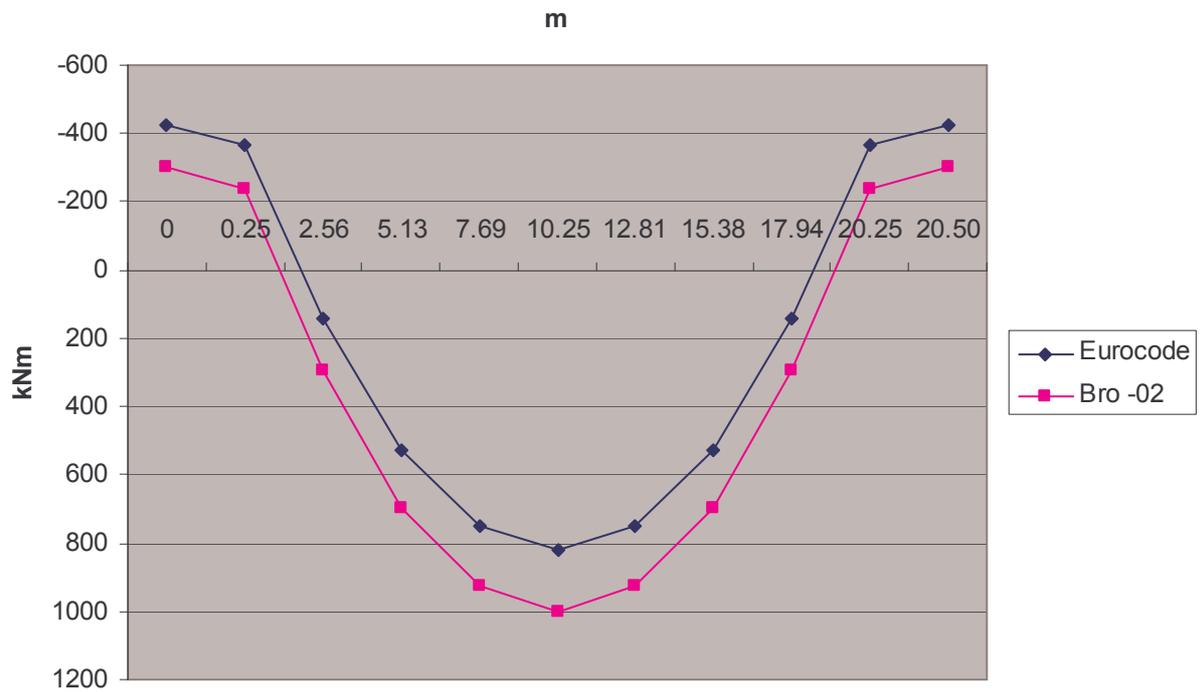
- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot ramben
- Krympning
- Stödförskjutning
- Ökat jordtryck pga. temperaturändringar

I lastkombinationen BN-V:B ingår för Bro 2002:

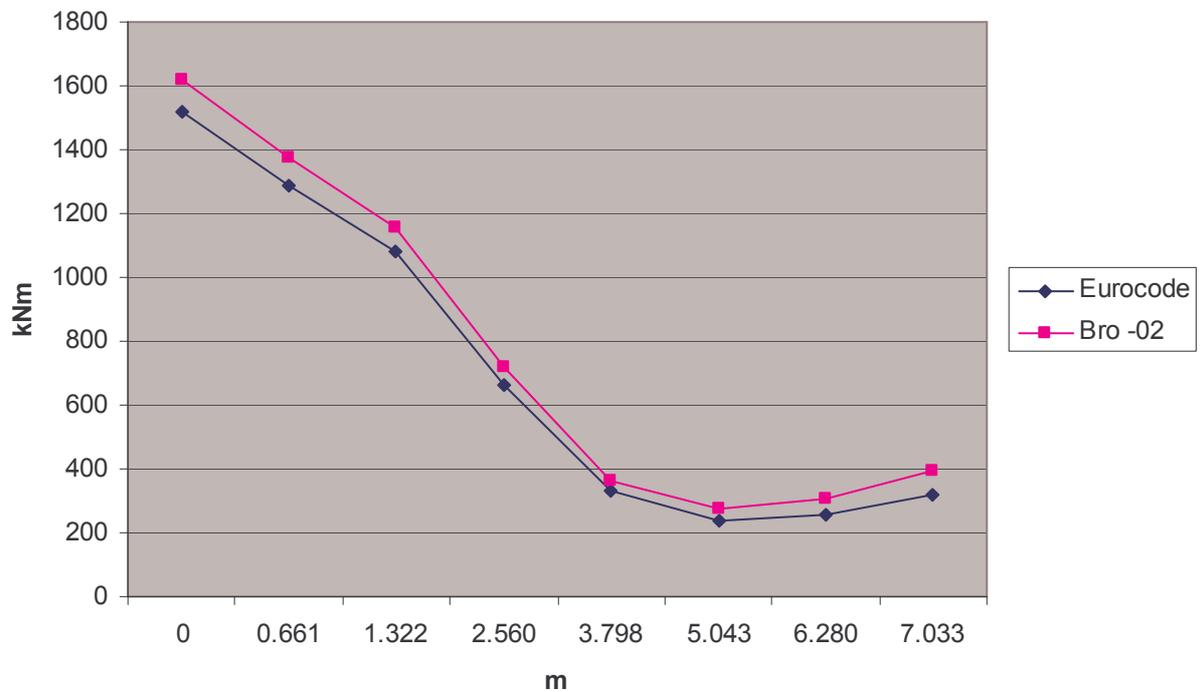
- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot ramben
- Krympning
- Stödförskjutning
- Ökat jordtryck pga. temperaturändringar

Anledningen till att momentet enligt Bro 2002 är större beror på att lastkoefficienten för ökat jordtryck på grund av temperaturändring är satt till 0,6 för Bro -02 och, i det här fallet, 0,5 enligt Eurocode.

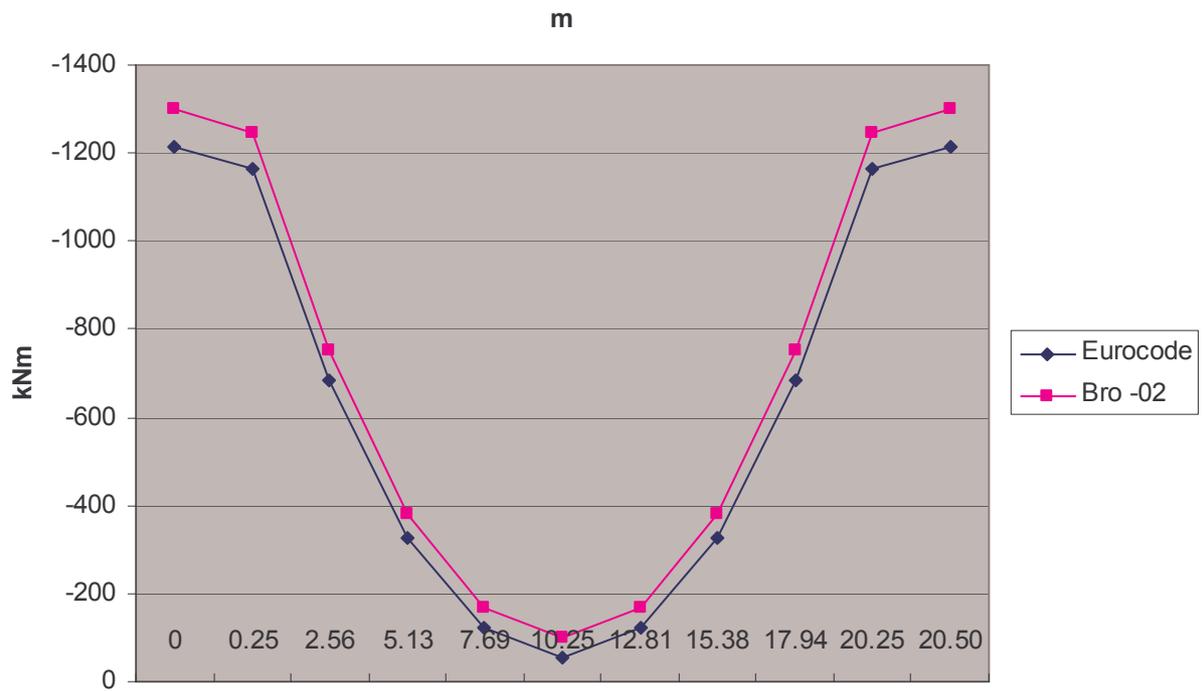
### Maxmoment för brobana i bruksgränstillstånd sprickvidd



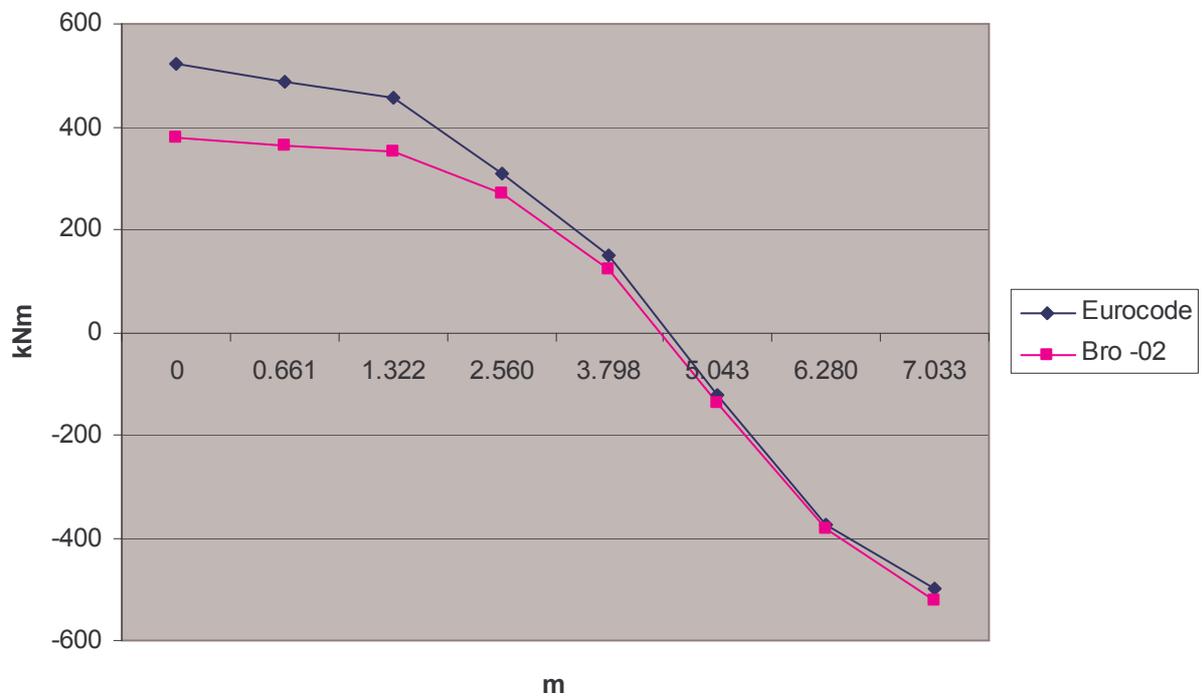
### Maxmoment för ramben i bruksgränstillstånd sprickvidd



### Minmoment för brobana i bruksgränstillstånd sprickvidd



### Minmoment för ramben i bruksgränstillstånd sprickor



### 6.3. Bruksgränstillstånd nedböjning

I lastkombinationen EN-SNB ingår för Eurocode:

- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot ramben
- Krympning
- Stödförskjutning
- Ökat jordtryck pga. temperaturändringar
- Överlast
- Lastmodell 1 (i sysetmberäkning VAR-5-1)
- Trafiklastmodell 2 (LM2)

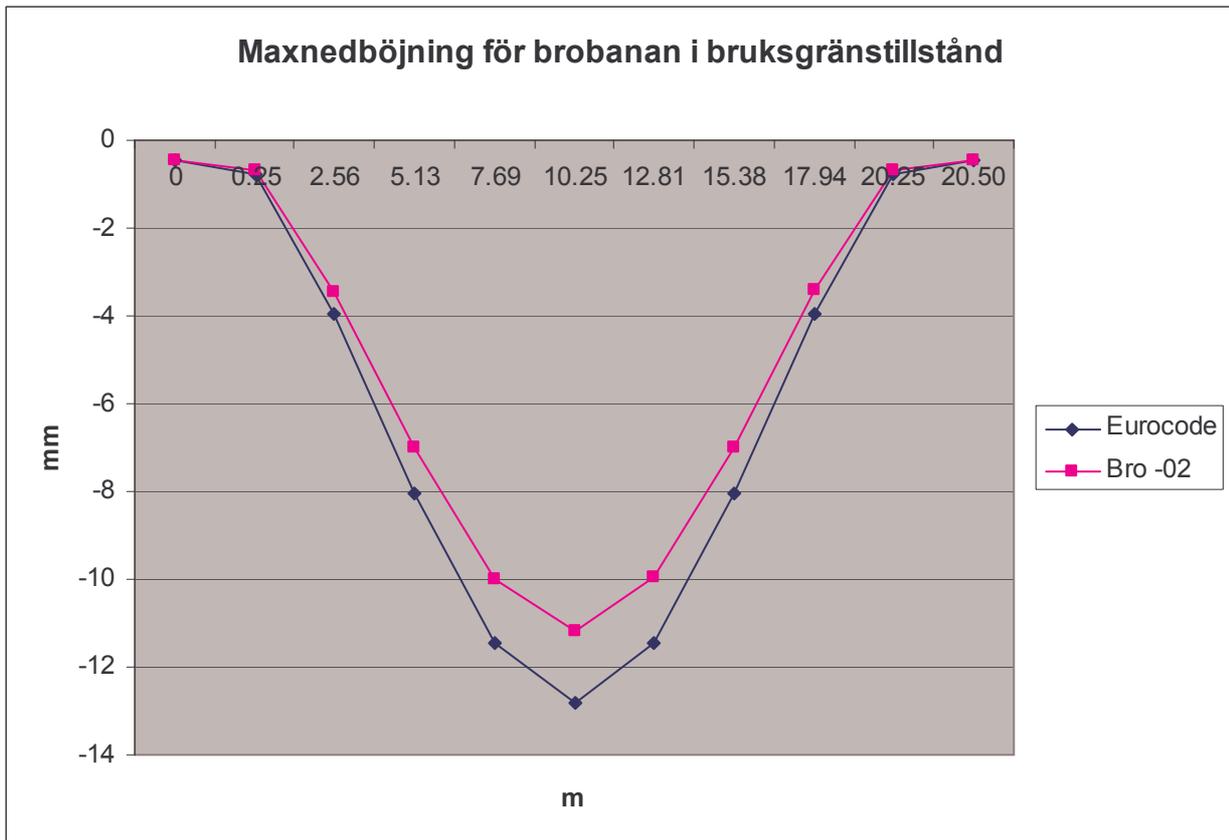
Beräkningsprogrammet väljer här ut det av överlast, lastmodell 1 och lastmodell 2 som i kombination med de övriga lasterna ger störst nedböjning.

I lastkombination BN-V:C ingår för Bro 2002:

- Trafiklast
- Typfordon
- Överlast

Beräkningsprogrammet väljer här ut det av trafiklast och typfordon som i kombination med överlast ger störst nedböjning.

Enligt Eurocode ingår egentyngden, beläggnings, vilojordtrycket mot rambenen, krympningen, stödförskjutningen och ökat jordtryck pga. temperaturändringar i lastkombinationen bruksgränstillstånd nedböjning. Detta ger en markant större nedböjning då beräkningen utförs enligt Eurocode jämfört med Bro 2002.



## 6.4. Utmattning

I lastkombinationen UTM ingår för Eurocode:

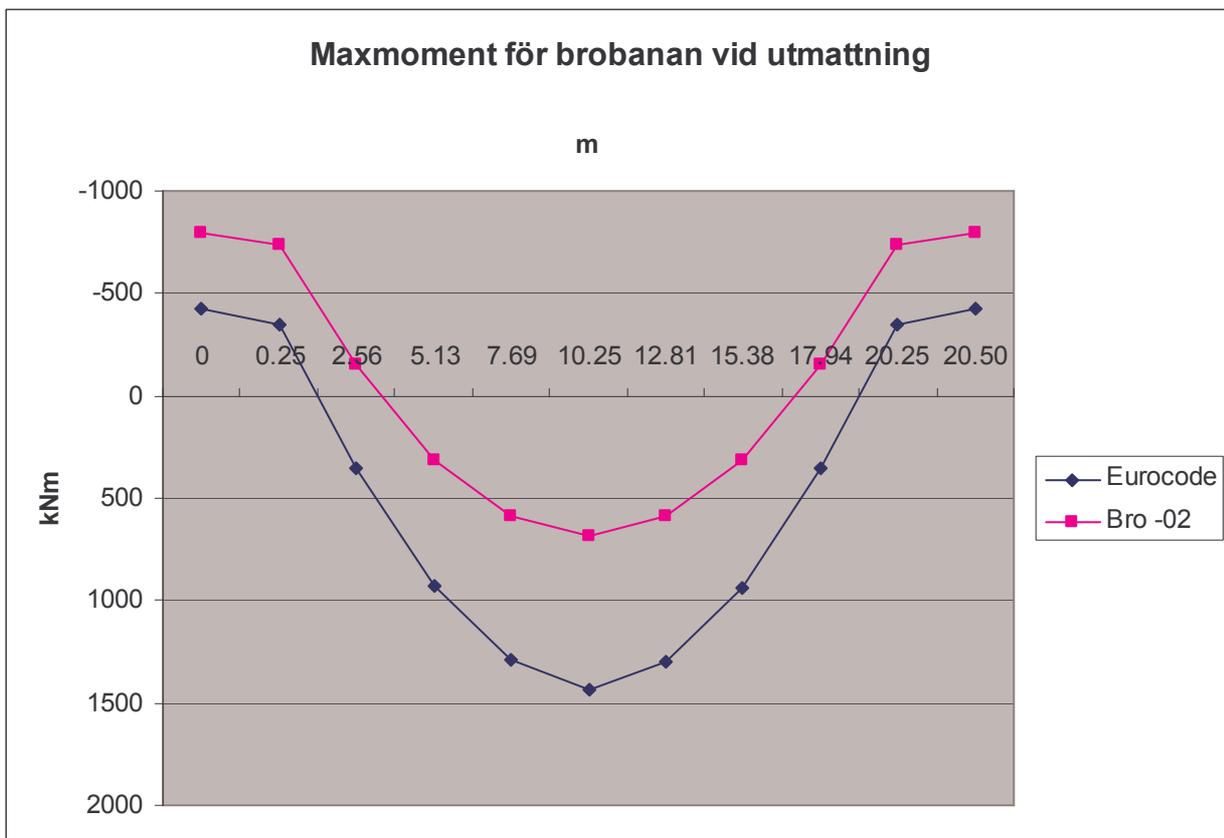
- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot ramben
- Krympning
- Stödförskjutning
- Utmattningslastmodell 1
- Ökat jordtryck pga. temperatur
- Utmattningslastmodell 2

Beräkningsprogrammet väljer här ut det av utmattningslastmodell 1, ökat jordtryck på grund av temperatur och utmattningslastmodell 2 som i kombination med de övriga lasterna ger det värsta fallet.

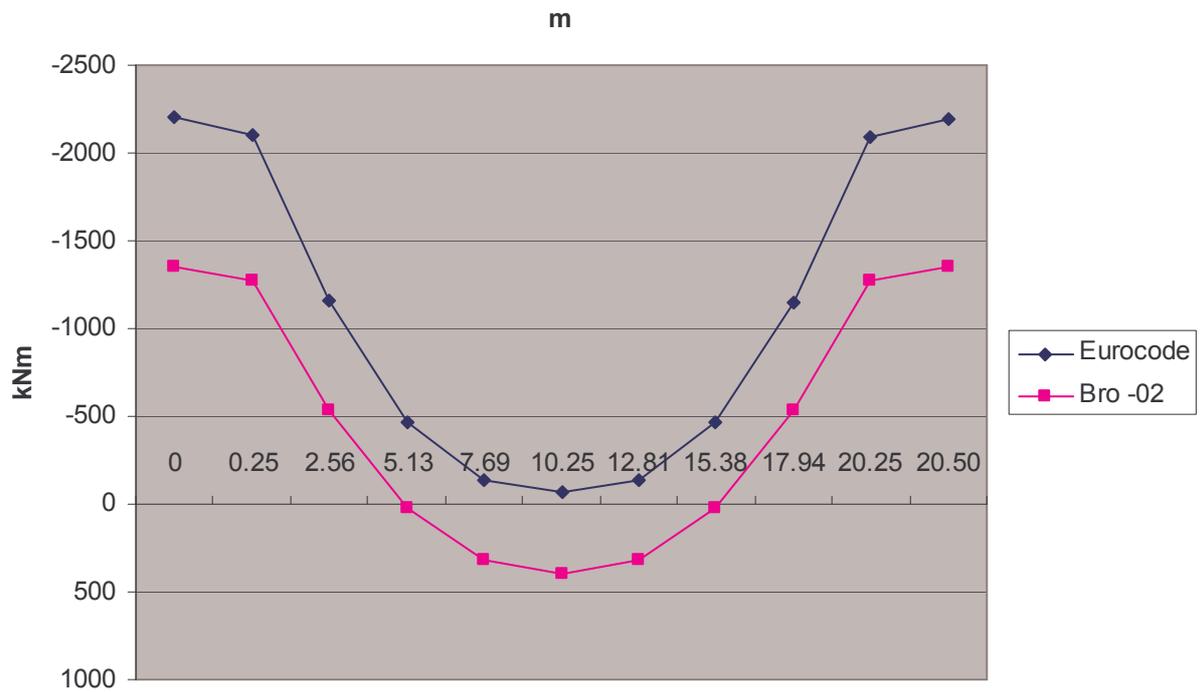
I lastkombinationen för BN-VI ingår för Bro 2002:

- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot ramben
- Utmattningslast
- Överlast

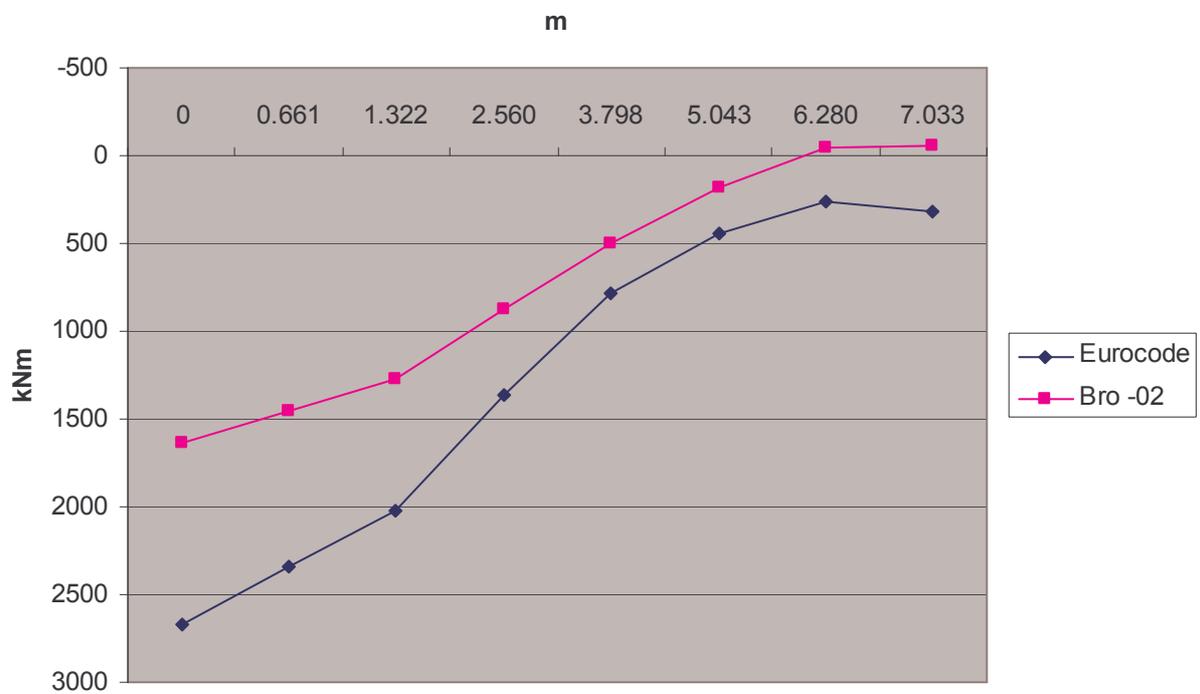
I Eurocodes modell för lastkombination enligt utmattning ingår stödförskjutning och krympning vilket inte ingår i Bro -02: s modell. Detta medför att Eurocode anger en större påverkan än Bro -02. Skillnaden beror även på att beräkning enligt Eurocode generellt ger större laster.



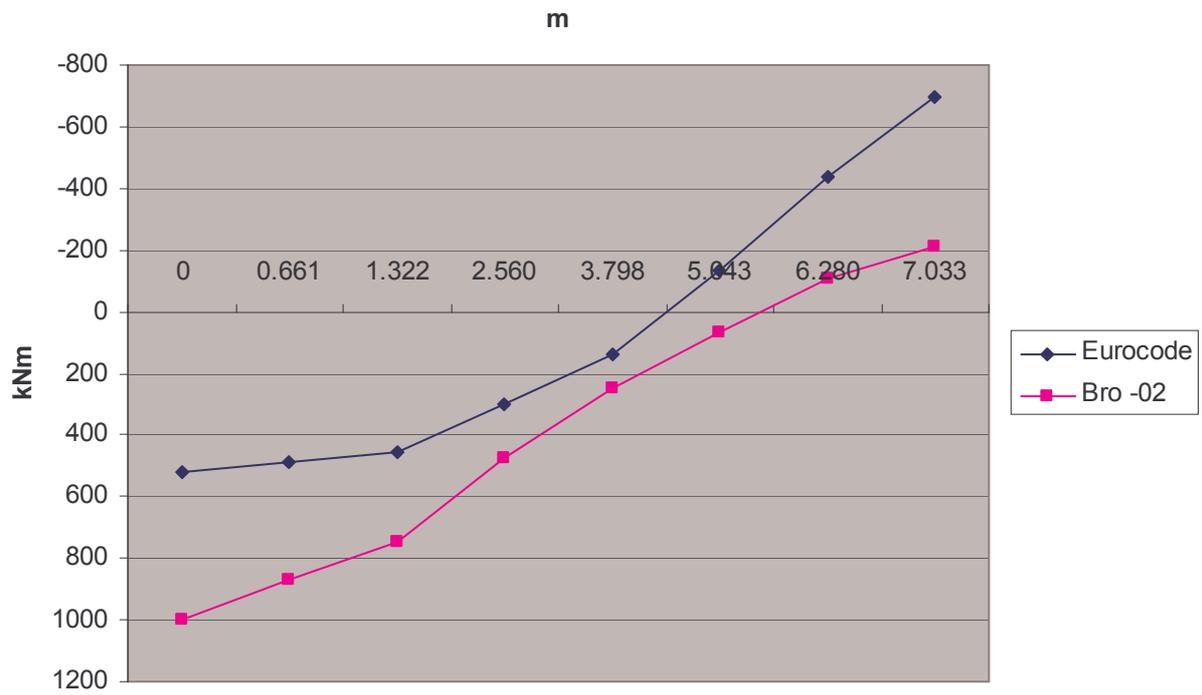
### Minmoment för brobanan vid utmattning



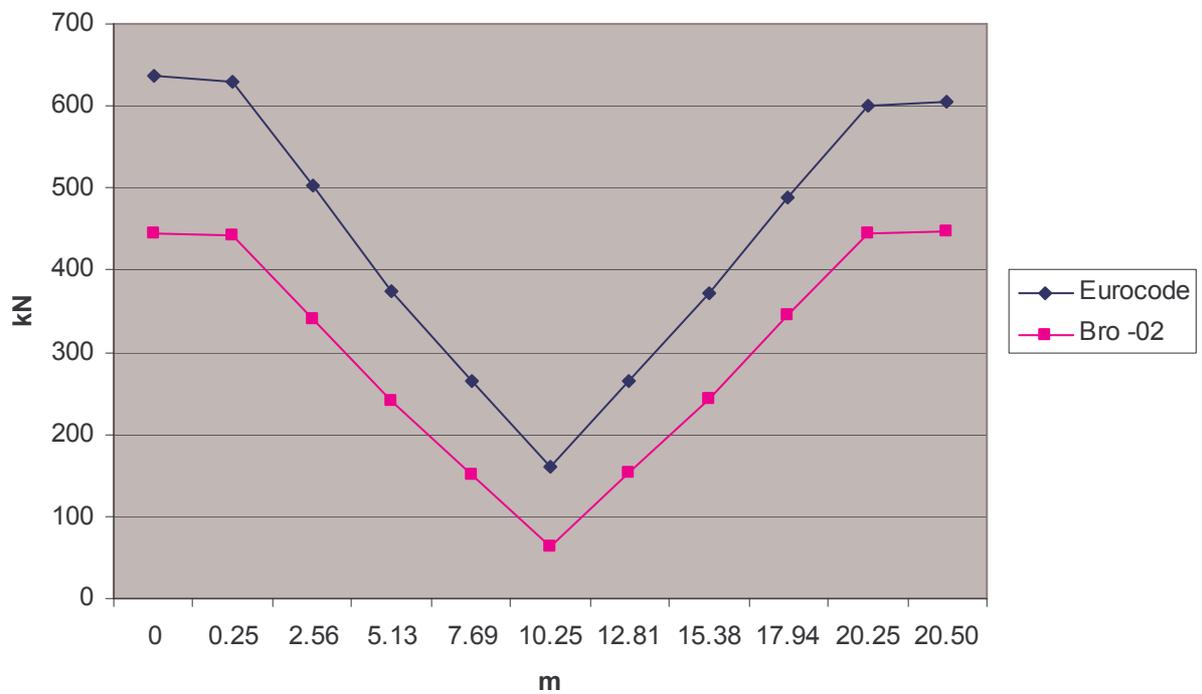
### Maxmoment för ramben vid utmattning



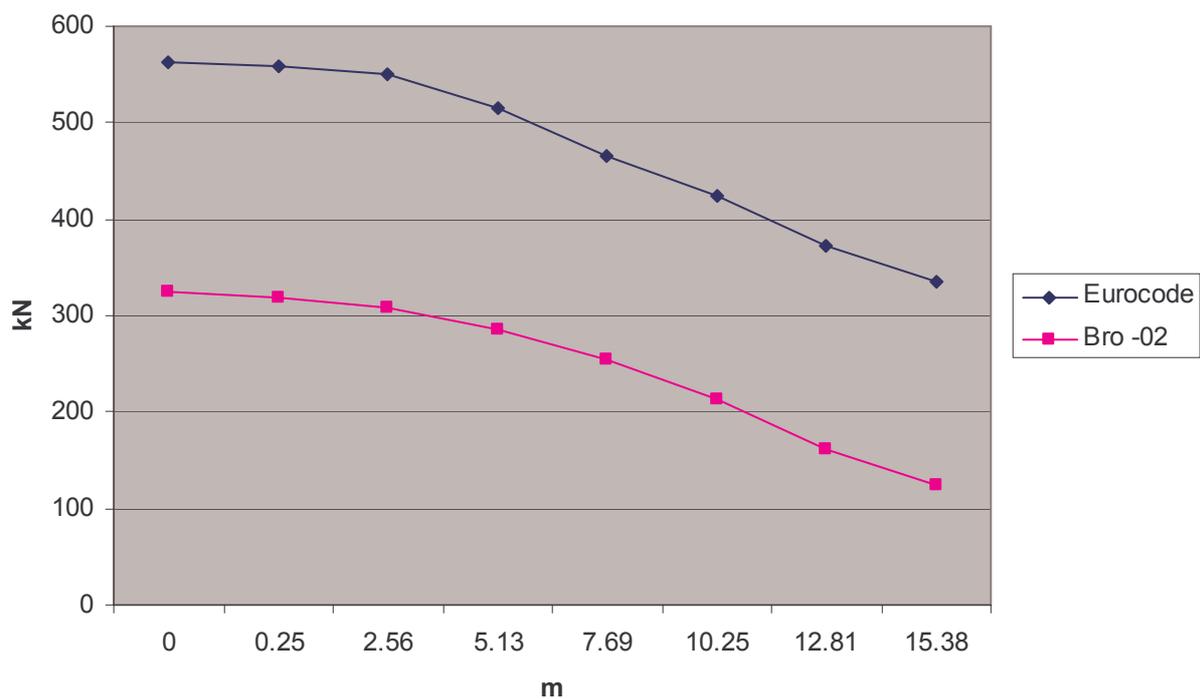
### Minmoment för ramben vid utmattning



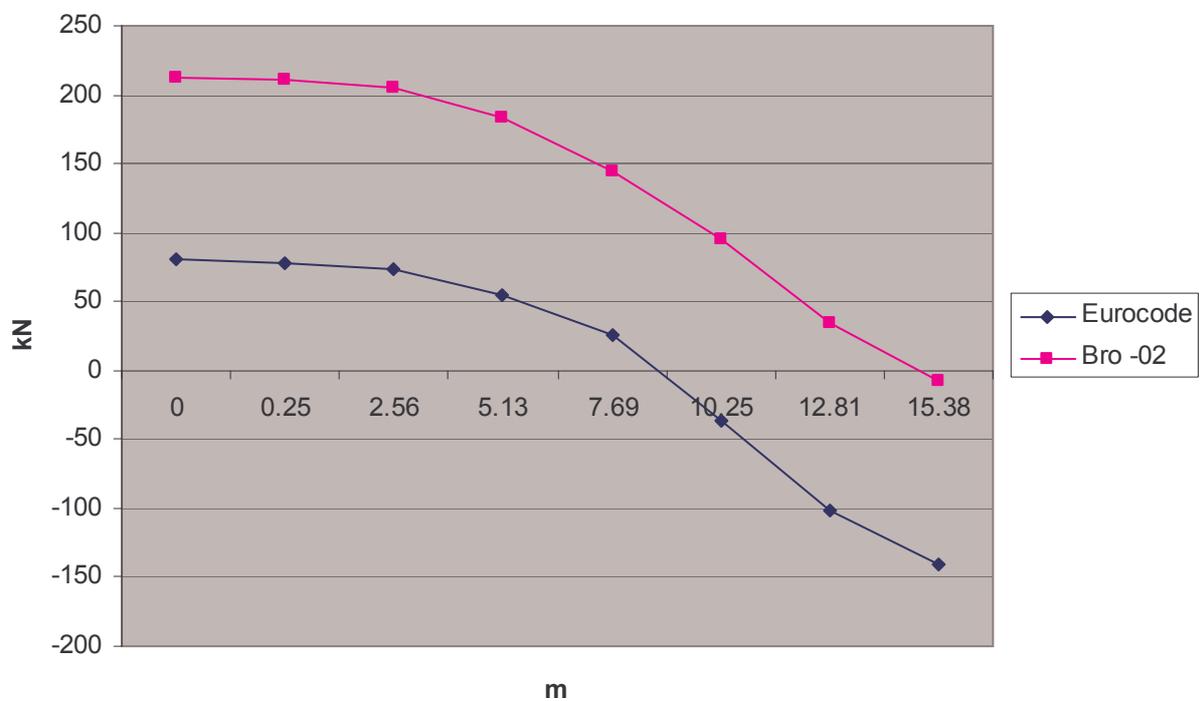
### Max tvärkraft för brobana vid utmattning



### Max tvärkraft för ramben vid utmattning



### Min tvärkraft för ramben vid utmattning



## 6.5. Överhöjning

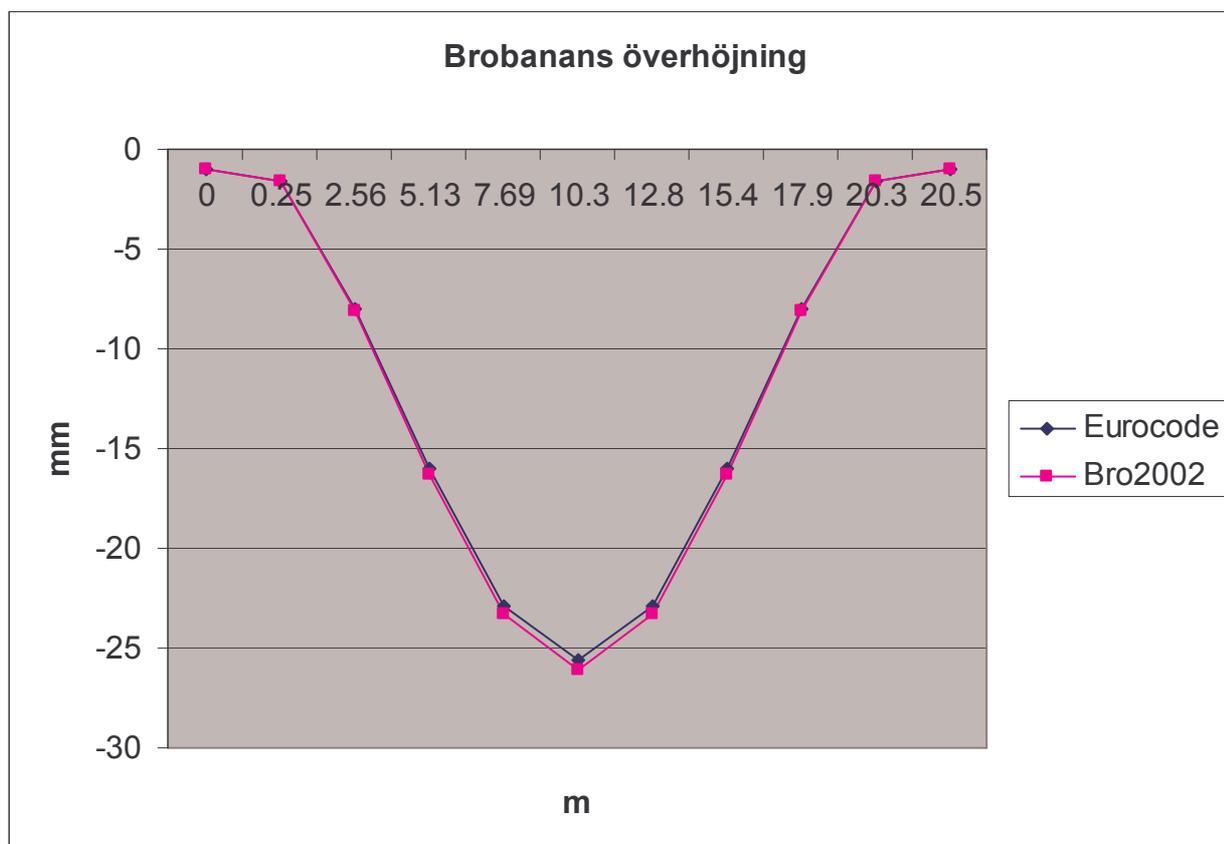
I lastkombinationen EN-III ingår för Eurocode:

- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot rambenen
- Krympning

I lastkombinationen BN-III ingår för Bro 2002:

- Egentyngd
- Beläggning
- Vilojordtryck mot rambenen
- Krympning

Lastkombinationerna är uppbyggda på samma sätt både enligt Eurocode och enligt Bro 2002. Det som utgör skillnaden är de enskilda lasternas olikheter.



## 7. Avslutning

Det har varit intressant att pröva våra kunskaper så här i slutet av utbildningen. Vi har fått insikt i hur projekteringsarbetet går till innan byggnation påbörjas och vilka svårigheter som kan uppkomma. Vi har även fått grundkunskaper i att beräkna med programmet Strip step.

Vi har stött på en del svårigheter under arbetet. Men med lite tålamod har det löst sig och vi är nöjda med resultatet.

## **8. Referenser**

### **8.1.Litteratur**

prEN 1990:2001 E

EN 1991-2:2003 E

prEN 1992-1:2001 E

prEN 1997-1:2004 E

Bro 2002, VV Publ 2002:47

Manual Strip step 2 Version PC-05

### **8.2.Muntliga källor**

Sokolov, H, civilingenjör, FB Engineering, mars-juni 2006

## Bilaga 1

### Kap, Egentyngd

Hänvisning till figur 1-4

Bro 2002

Eurocode

#### Element 1

s=0,25 m	g=-33 kN/m	g=-31,68 kN/m
s=2,5625 m	g=-27,9 kN/m	g=-26,76 kN/m
s=5,125 m	g=-23,8 kN/m	g=-22,824 kN/m
s=7,6875 m	g=-21,3 kN/m	g=-20,472 kN/m
s=10,250 m	g=-20,5 kN/m	g=-19,68 kN/m
s=12,8125 m	g=-21,3 kN/m	g=-20,472 kN/m
s=15,375 m	g=-23,8 kN/m	g=-22,824 kN/m
s=17,9375 m	g=-27,9 kN/m	g=-26,76 kN/m
s=20,250 m	g=-33 kN/m	g=-31,68 kN/m

#### Element 2 & 3

s=0,0 m	g=-31,5 kN/m	g=-30,24 kN/m
---------	--------------	---------------

$$s=6,283 \text{ m}$$

$$g=-12,5 \text{ kN/m}$$

$$g=-12 \text{ kN/m}$$

Vinge Bro 2002

Vinge Eurocode

$$G_2=3\text{m}^2 \cdot 1,2\text{m} \cdot 25\text{kN/m}^3=90\text{kN}$$

$$G_2=3\text{m}^2 \cdot 1,2\text{m} \cdot 24\text{kN/m}^3=86,4\text{kN}$$

$$G_1=3\text{m}^2 \cdot 2,7\text{m}/2 \cdot 25\text{kN/m}^3=101,3\text{kN}$$

$$G_1=3\text{m}^2 \cdot 2,7\text{m}/2 \cdot 24\text{kN/m}^3=97,2\text{kN}$$

$$G_3=3\text{m}^2 \cdot 1,8\text{m}/2 \cdot 25\text{kN/m}^3=67,5\text{kN}$$

$$G_3=3\text{m}^2 \cdot 1,8\text{m}/2 \cdot 24\text{kN/m}^3=64,8\text{kN}$$

$$\sum G_{\text{vinge}}=258,8\text{kN}$$

$$\sum G_{\text{vinge}}=248,4\text{kN}$$

Belägning Bro 2002

Belägning Eurocode

$$q_{\text{bel}}=-(0,005 \cdot 22+0,05 \cdot 24+0,04 \cdot 23)=-2,23 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{bel}}=-(0,005 \cdot 22+0,05 \cdot 23+0,04 \cdot 25)=-2,26 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{belh}}=0,36 \cdot (-2,23)=-0,8028 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{belh}}=0,36 \cdot (-2,26)=-0,8136 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{belv}}=-0,36 \cdot (-2,23)=0,8028 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{belv}}=-0,36 \cdot (-2,26)=0,8136 \text{ kN/m}^2$$

## Bilaga 2

### Kap, Vilojordtryck mot ramben

Bro 2002/Eurocode

#### Ramben 1-11

$$s=0 \text{ m} \quad z_1=0 \text{ m}$$

$$p_1=0,36 \cdot 20 \cdot 0=0,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s=7,033 \text{ m} \quad z_{11}=7,033 \text{ m}$$

$$p_{11}=0,36 \cdot 20 \cdot 7,033=50,6 \text{ kN/m}^2$$

#### Ramben 2-22

$$s=0 \text{ m} \quad z_2=0 \text{ m}$$

$$p_2=-0,36 \cdot 20 \cdot 0=-0,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s=0 \text{ m} \quad z_{22}=7,033 \text{ m}$$

$$p_{22}=-0,36 \cdot 20 \cdot 7,033=-50,6 \text{ kN/m}^2$$

## Bilaga 3

### Kap, Belastning på randstrimla av jordtryck på vinge

Bro 2002

Eurocode

Ramben 11-1:

Ramben 11-1:

$$P_{j1vinge}=314,2 \text{ kN}$$

$$P_{j1vinge}=279,3 \text{ kN}$$

$$p_{j1}=314,3/(5,6 \cdot 2,12)=26,5 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{j1}=279,3/(5,6 \cdot 2,12)=23,5 \text{ kN/m}^2$$

Ramben 21-2:

Ramben 21-2:

$$P_{j2vinge}=-314,2 \text{ kN}$$

$$P_{j2vinge}=-279,3 \text{ kN}$$

$$p_{j1}=-314,3/(5,6 \cdot 2,12)=-26,5 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{j1}=-279,3/(5,6 \cdot 2,12)=-23,5 \text{ kN/m}^2$$

## Bilaga 4

### Kap, Betongens krympning

Bro 2002

Eurocode

$$\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$$

$$RH = 80\%; C40/50 \text{ ger } \epsilon_{cd} = -0,29$$

$$\epsilon_{cs} = 0,25 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{ca} = -2,5 \cdot (40 - 10) \cdot 10^{-6}$$

$$t = 0,25 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-5} = -25 \text{ °C}$$

$$\epsilon_{cs} = -0,29 \text{ ‰}$$

$$-25 \cdot 1/3 = -8,33 \text{ °C}$$

$$t = 0,25 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-5} = -29 \text{ °C}$$

$$29 \cdot 1/3 = -9,67 \text{ °C}$$

## Bilaga 5

### Trafiklast

Bro 2002

Ekvivalentlast typ 1:

Lastfält 1

$$Q_1 = -250/3$$

$$Q_1 = -83,3 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = -12 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = -12/3 = -4 \text{ kN/m}^2$$

Lastfält 2

$$Q_2 = -170/3 \quad Q_1 = -56,7 \text{ kN/m} \quad q_1 = -3 \text{ kN/m}^2$$

Lastfält 3

$$q_1 = -2 \text{ kN/m}^2$$

Ekvivalentlast typ 2:

Lastfält 1

$$Q_1 = -310/3 \quad Q_1 = -103,3 \text{ kN/m}$$

Lastfält 2

$$Q_1 = -210/3 \quad Q_1 = -70 \text{ kN/m}$$

Eurocode

Lastfall 1 (Load model 1):

Lastfält 1

$$Q_1 = -300/3$$

$$Q_1 = -100 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = -27 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = -27/3 = -9 \text{ kN/m}^2$$

Lastfält 2

$$Q_2 = -200/3 \quad Q_2 = -66,67 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = -2,5 \text{ kN/m}^2$$

Lastfält 3

$$Q_3 = -100/3 \quad Q_3 = -33,3 \text{ kN/m}$$

$$q_3 = -2,5 \text{ kN/m}^2$$

Lastfall 2 (Load model 2):

I samtliga lastfält

$$Q_1 = -400/3 \quad Q_1 = -133,3 \text{ kN/m}$$

## Bilaga 6

### Utmattningslaster

Eurocode:

#### Utmattningslastmodell 1

Lastfält 1

$$Q_1 = -(300/3) \cdot 0,7 \quad Q_1 = -70 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = -9 \cdot 0,3 \text{ kPa} = 2,7 \text{ kPa}$$

Lastfält 2

$$Q_1 = -(200/3) \cdot 0,7 \quad Q_1 = -46,67 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = -2,5 \cdot 0,3 \text{ kPa} = 0,75 \text{ kPa}$$

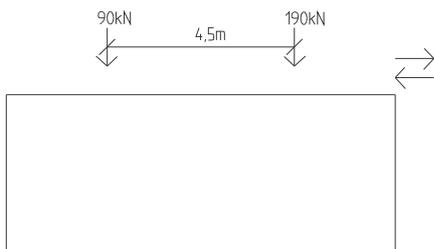
Lastfält 3

$$Q_1 = -(100/3) \cdot 0,7 \quad Q_1 = -23,33 \text{ kN/m}$$

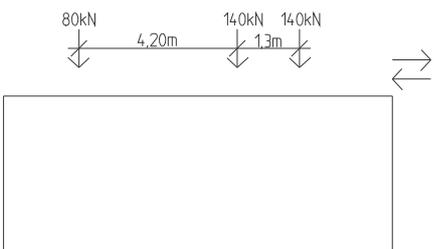
$$q_1 = -2,5 \cdot 0,3 \text{ kPa} = 0,75 \text{ kPa}$$

#### Utmattningslastmodell 2

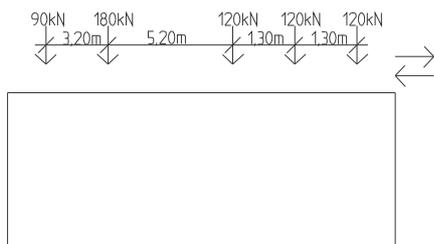
##### F LM 2.1



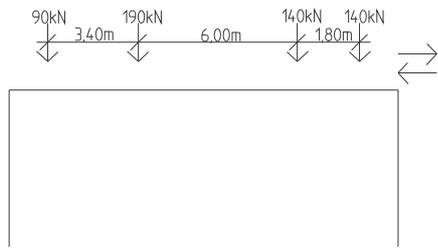
##### F LM 2.2



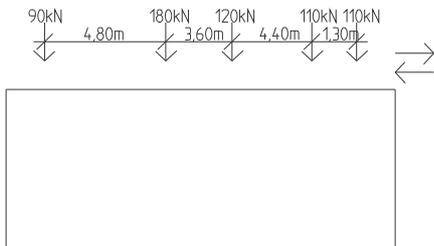
##### F LM 2.3



##### F LM 2.4



**F LM 2.5**



## Bilaga 7

### Temperaturändring

Jämn temperaturändring:

$$t_1=34-10 \quad t_1=24,0/1,3=18,462^\circ\text{C}$$

$$t_2=-36+10-10 \quad t_2=-36/1,3=27,692^\circ\text{C}$$

Temperaturgradient:

$$\Delta t_1=10/1,3=7,692^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2=-5/1,3=-3,846^\circ\text{C}$$

Ökat jordtryck pga. rörelse mot fyllning av temperatur:

$$t=34-(-36+10)=60,0^\circ\text{C}$$

$$\alpha=1 \cdot 10^{-5}$$

$$L=(2 \cdot 1,01+20,5)=22,52 \text{ m}$$

$$\delta=(\alpha \cdot L \cdot t/2)=6,8 \text{ mm}$$

Bro 2002

Eurocode (1997-1)

$$\Delta p_t=600 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta/2=40,6 \text{ kN/m}^2$$

$$V=\delta$$

$$V_p=10\% \cdot h=0,1 \cdot 7,033=0,7033 \text{ m}$$

$$V/V_p=0,97\% \rightarrow \text{enligt diagram C3 } \sigma_p \approx 22,92\%$$

$$\Delta p_t=(\gamma \cdot h \cdot k_p \cdot \sigma_p - \gamma \cdot h \cdot k_0)/2=36,97 \text{ kN/m}^2$$

## Bilaga 8

### Bromskraft

Bro 2002

EN 1991-2 kap 4.4

$$P_{\text{broms}} = (1/17,25) \cdot (200 + 300 \cdot ((L-10)/30))$$

$$Q_{\text{lk}} = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot 2Q_{\text{ik}} + 0,1 \cdot \alpha_{Q1} \cdot q_{\text{ik}} \cdot w_1 \cdot L$$

$$P_{\text{broms}} = 18,9 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{lk}} = 392,6 \text{ kN} \rightarrow P_{\text{broms}} = Q_{\text{lk}}/w_1 = 22,76 \text{ kN/m}$$

Kontroll:

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{\text{lk}} \leq 900 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Ökat jordtryck pga bromskraft:

Bro 2002

EN 1997-1 Appendix C

$$\delta_{\text{br1}} = 0,35 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{br1}} = 1,65 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{br2}} = 0,32 \text{ mm}$$

$$V = \delta_{\text{br}} \quad V_p = 10\% \cdot h = 0,1 \cdot 7,033 = 0,7033 \text{ m}$$

$$\Delta p_{\text{br1}} = 300 \cdot \gamma_{\text{sp}} \cdot \delta_{\text{br1}}/2 \quad \Delta p_r = 1,1 \text{ kN/m}^2$$

$$V/V_p \approx 2,3\text{‰} \rightarrow \text{enligt diagram C3} \rightarrow \sigma_p \cdot K_p \approx K_0$$

$$\Delta p_{\text{br2}} = 600 \cdot \gamma_{\text{sp}} \cdot \delta_{\text{br2}}/2 \quad \Delta p_r = 1,9 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p_{\text{br}} = (\gamma \cdot h \cdot k_p \cdot \sigma_p - \gamma \cdot h \cdot k_0)/2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

## Bilaga 9

### Överlast

Bro 2002 21.224

EN 1991-2 kap. 4.9.1

Ramben 11\_1

$$q_{ik} = 9 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{11\_1} = k_0 \cdot 20 \text{ kPa} \quad p_{11\_1} = 7,2 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{ik} = 300 \text{ kN} \rightarrow q_{eq} = 300 / (3 \cdot 2,2) = 45,45 \text{ kN/m}^2$$

Ramben 21\_2

Ramben 11\_1

$$p_{21\_2} = -k_0 \cdot 20 \text{ kPa} \quad p_{21\_2} = -7,2 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{11\_1} = k_0 \cdot (q_{ik} + q_{eq}) \quad p_{11\_1} = 19,60 \text{ kN/m}^2$$

Ramben 21\_2

$$p_{21\_2} = -k_0 \cdot (q_{ik} + q_{eq}) \quad p_{11\_1} = -19,60 \text{ kN/m}^2$$

### Ökat jordtryck pga. rörelse av överlast:

Bro 2002

Eurocode (1997-1)

$$\delta_{\delta H1} = 0,51 \text{ mm}$$

$$\delta_{\delta H} = 1,35 \text{ mm}$$

$$\delta_{\delta H2} = 0,45 \text{ mm}$$

$$V = \delta \quad V_p = 10\% \cdot h = 0,1 \cdot 7,033 = 0,7033 \text{ m}$$

$$\Delta p_{\delta H1} = 300 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta_{\delta H1} / 2 \quad \Delta p_t = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$V / V_p \approx 19\% \rightarrow \text{enligt diagram C3 } k_p \cdot \sigma_p \approx k_0$$

$$\Delta p_{\delta H2} = 600 \cdot \gamma_{sp} \cdot \delta_{\delta H2} / 2 \quad \Delta p_t = 2,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p_{br} = (\gamma \cdot h \cdot k_p \cdot \sigma_p - \gamma \cdot h \cdot k_0) / 2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

Typfordon Bro 2002

Typfordon-A/B  $\geq$  EG 12/18 ton

(mått i m)

a)



• DIMENSIONERING UTFÖRS FÖR:

$A = 180 \text{ kN}$   
 $B = 300 \text{ kN}$

b)



• DYNAMISKT TILLSKOTT  
 $E = 1,183$  (SE SIDA B:1)

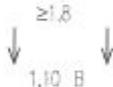
c)



$\Rightarrow A = 180 \cdot 1,183 = 213 \text{ kN}$

$B = 300 \cdot 1,183 = 355 \text{ kN}$

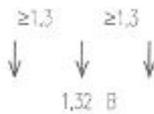
d)



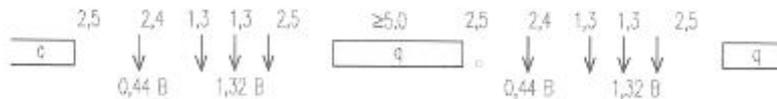
e)



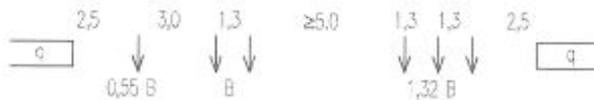
f)



g)



h)



i)

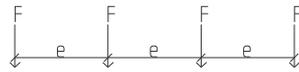


Bilaga 11

Typfordon Eurocode

$F=150\text{kN}$ ,  $e=1,50\text{m}$

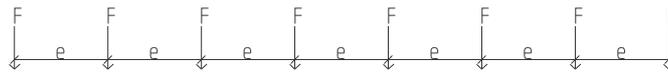
A



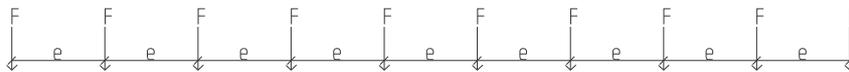
B



C



D



E



$F=200\text{kN}$ ,  $e=1,50\text{m}$

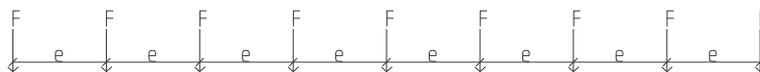
F



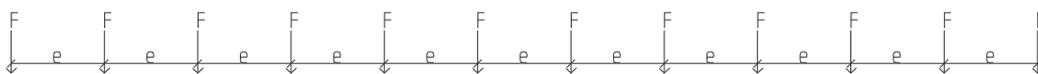
G



H



I



$F=240\text{kN}$ ,  $e=1,50\text{m}$

J



K

