

Eksisterende broers bæreevne Forsøg

Arne Henriksen

Oversigt

Beregning og Brotyper

Partialkoefficienter

Kantbjælkens bæreevne

Vosnæsvej

Holstebro

Silkeborg

Planlagte

Brotyper

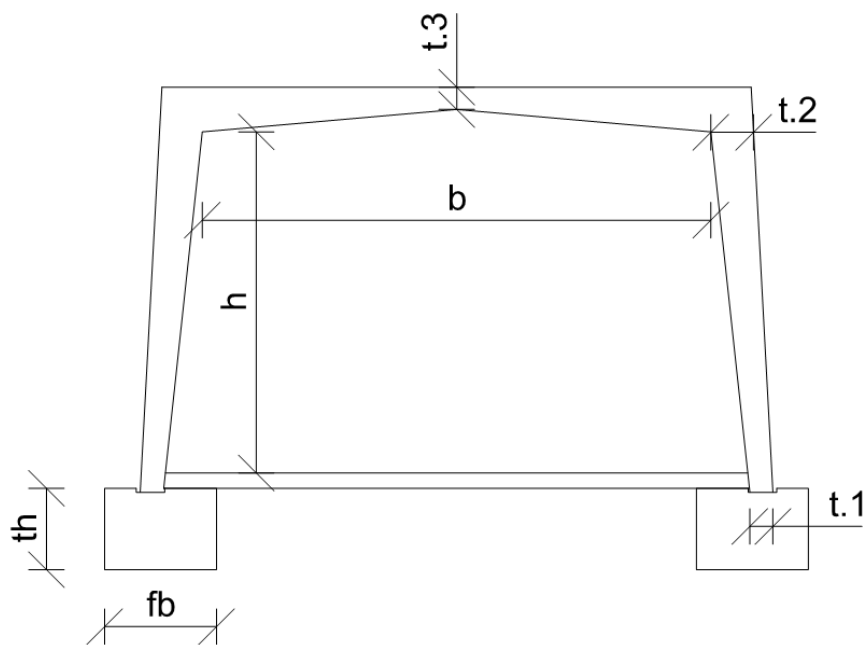
OL elementtunneler



OT bjælker



Tværsnit



Beregneede broklasser

Brotype	Jorddække udover belægning [m]	Broklasse			
		Normal passage	Betinget 1	Betinget 2	Betinget 3
		Klasse	Klasse	Klasse	Klasse
R3	0,50	200*	200*	200*	200*
	1,00	200*	200*	200*	200*
	1,50	100	100	100	100
	2,00	100	100	100	100
R4	0,50	50	50	50	50
	1,00	150	150	150	150
	1,50	200	200	200	200
	2,00	200	200	200	200
R5	0,50	50	50	50	50
	1,00	175	175	175	175
	1,50	175	175	200	200
	2,00	175	175	200	200
R6	0,50	200	200	200	200
	1,00	200	200	200	200
	1,50	200	200	200	200
	2,00	200	200	200	200

Tabel 2. Beregnede broklasser. * Tunnelens indvendige højde må ikke overskride 2,45 m.

Beregningerne er udført på basis af en række antagelser, som det skal sikres er opfyldt for den enkelte bro for at ovenstående skema med broklasser kan benyttes.

R≈SPÆNDVIDDE

Forslag til kalibrering af partialkoefficienter

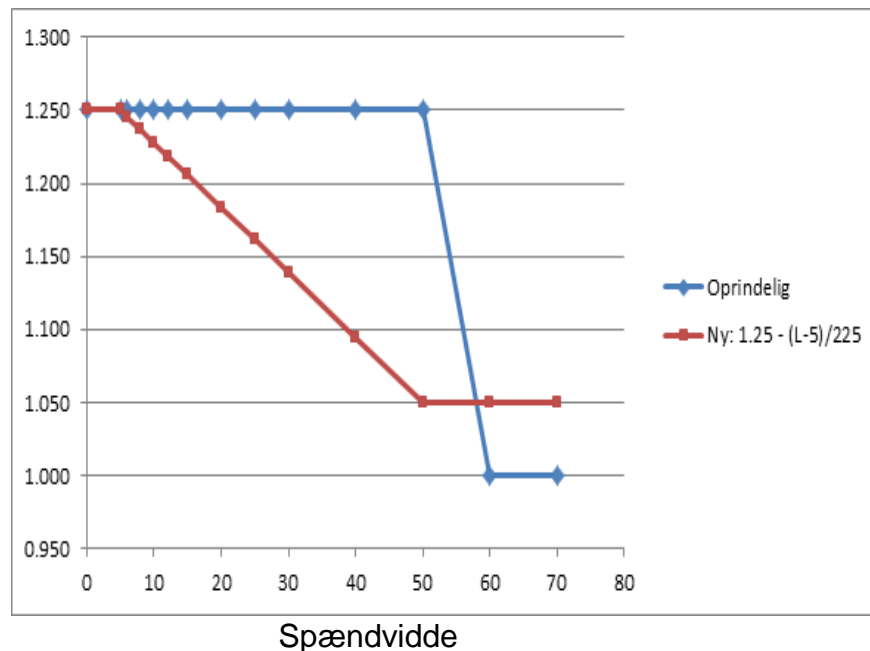
Stødfaktor

- $\varphi = 1,25$ for $L < 5$ m
- $\varphi = 1,25 - (L-5) / 225 \geq 1,05$ for $L > 5$ m

Last

- 1,40 til 1,25

Partialkoefficient



Det forudsættes, at det eksisterende Annex A erstattes af en helt ny udgave, som forsynes med en ny og mere fyldestgørende titel:

DS/EN 1991-2 DK NA, Annex A: 2016 (Normativ) Lastmodeller for klassificering og bæreevne vurdering

Ændringer i Annex A

A1.1:

I (3) erstattes "48t" med "56t".

A2.2.3

I (1)P erstattes "se afsnit A2.3.1.4" med "se afsnit A2.3.3"

A2.3.2

Nummeret "(4)P" erstattes af "(1)P"

A2.3.3

Nummeret "(5)P" erstattes af "(1)P"

I første sætning erstattes "Som belastning..." med "Som eneste belastning..."

A2.3.5 Stødtillæg

I (2) erstattes den nuværende tekst med:

(2) Stødfaktoren φ fastsættes som funktion af influenslængden L_{inf} i henhold til følgende beregningsudtryk:

$$\begin{array}{ll} \varphi = 1,25 & L_{inf} \leq 5 \text{ m} \\ \varphi = 1,25 - (L_{inf} - 5) / 225 & 5 \text{ m} < L_{inf} \leq 50 \text{ m} \\ \varphi = 1,05 & L_{inf} > 50 \text{ m} \end{array}$$

For lokale konstruktionselementer fx udkragninger og tværbjælker mm. benyttes en influenslængde L_{inf} , som svarer til lastoplandet for den betragtede snitkraftkomponent. For de globale snitkræfter i de langsgående hovedbærende konstruktionselementer fx moment, forskydningskraft og vridning samt lejereaktion kan influenslængden L_{inf} sættes lig den aktuelle spændvidde.

I (4) erstattes den nuværende tekst med:

(4) For betingede passager, hvor hastigheden er reduceret til $v = 10$ km/h sættes $\varphi = 1,00$. For hastighed mellem 10 km/h og 45 km/h interpoleres retlinet mellem $\varphi = 1,00$ og φ (φ_{red} for jordfyldte konstruktionsdele).

A.3

I noten under (3) tilføjes efter "... af 1. juli 2011": "og 1. august 2014."

Annex A relaterer sig udelukkende til DS/EN 1991-2

Kan vi finde et mere præcist ord?

Rettelsesblad til i "Vejledning til belastnings- og beregningsgrundlag for broer, April 2015"

Afsnit 1.1.1 Eksisterende broer

I tekstboksen tilføjes følgende tekst umiddelbart i forlængelse af 1. sætning:

"En bro kan betegnes som en eksisterende bro i det øjeblik, at broen er ibrugtaget og al dokumentation vedrørende projektering og udførelse af broen er godkendt og arkiveret."

Afsnit 5.3.1 Lastkombinationer

I tekstboksen erstattes den nuværende tekst af: Jeg mener ikke der er behov for ændringer. Noten knytter sig til anvendelsen af sandsynlighedsbaserede metoder.

Lastkombinationer for klassificering og bæreevnevurdering af eksisterende broer er anført i Bilag 3.

Ved klassificering og bæreevnevurdering af eksisterende broer, se afsnit 1.1.1, benyttes en reduceret partialkoefficient $\gamma_Q = 1,25$ for standardkøretøj A i grænsetilstand STR/GEO, Ligning 6.10b, lastkombination 1 jf. Bilag 3, Figur B3.1.

Note 5.3.1-2:

Lastkombinationer for brudgrænsetilstanden i forbindelse med bæreevnevurdering og klassificering følger de samme principper som for nye broer.

Afsnit 5.4.2 Lastkombinationer

I tekstboksen erstattes teksten: "Ved eftervisning af krav i anvendelsesgrænsetilstanden kan stødtillægget reduceres til 1,10 for standardkøretøjerne."

af

"Ved eftervisning af krav i anvendelsesgrænsetilstanden kan stødtillægget reduceres til $\varphi_{SLS} = 1 + (\varphi_{ULS} - 1)/2$ for standardkøretøjerne, hvor φ_{ULS} er stødfaktoren beregnet i henhold til A2.3.5 i Annex A til DS/EN 1991-2 DK NA."

Bilag 3, Figur B3-1

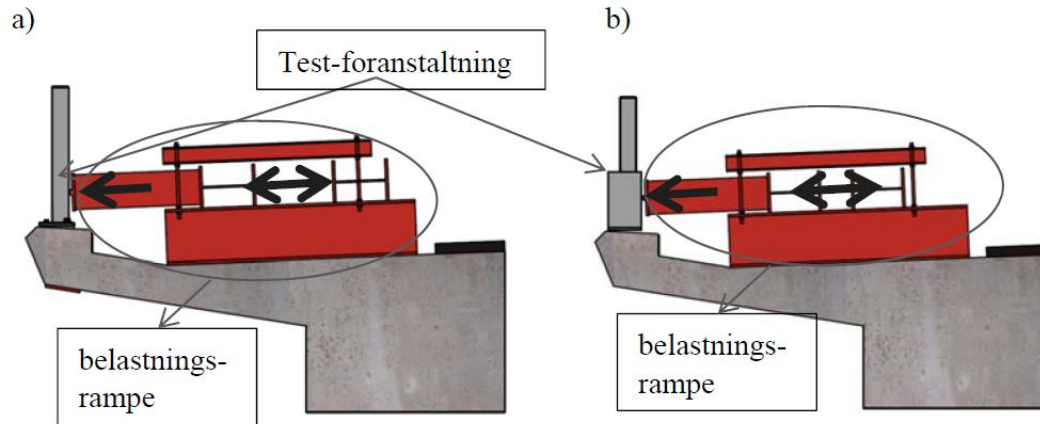
I boksen for Standardkøretøj A i grænsetilstand STR/GEO, Ligning 6.10b, lastkombination 1 erstattes

1,40 med 1,25
(1,25)⁹)

og der tilføjes en ny note 9):

9) Ved klassificering og bæreevnevurdering af eksisterende broer kan partialkoefficienten for Standardkøretøj A nedsættes til 1,25 jf. afsnit 5.3.1.

Kantbjælkers bæreevne



Figur 3: Testopstillingen a) Test af sceptrets bæreevne b) Test af fastgørelsen.

Afstand fra fodplade til last [mm]	Last på S100 autoværn [kN]	Last på S20 autoværn [kN]
300	117,0	32,5
400	89,0	24,6
500	71,4	19,7
600	59,7	16,4
700	51,2	14,1
800	44,9	12,4

Tabel 1: Størrelse af last ved test af scepter.

Vosnæsvej 2013

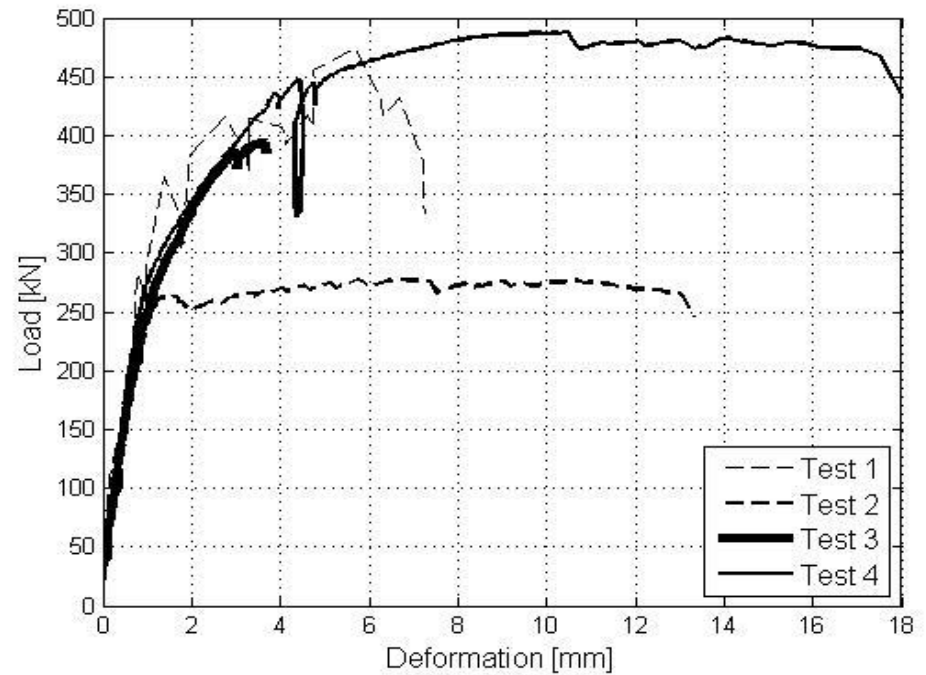
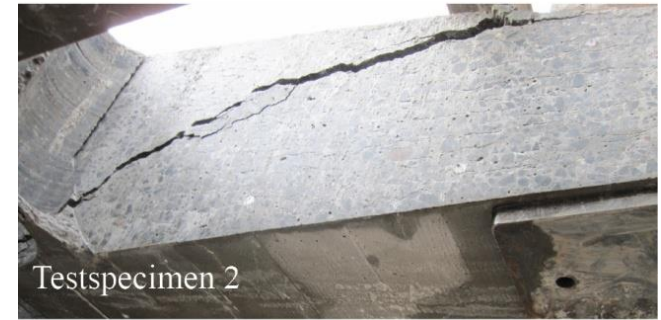


4 forsøg

Mindste brudlast:
277 kn på 1,0 m ~
388 kn på 1,4 m

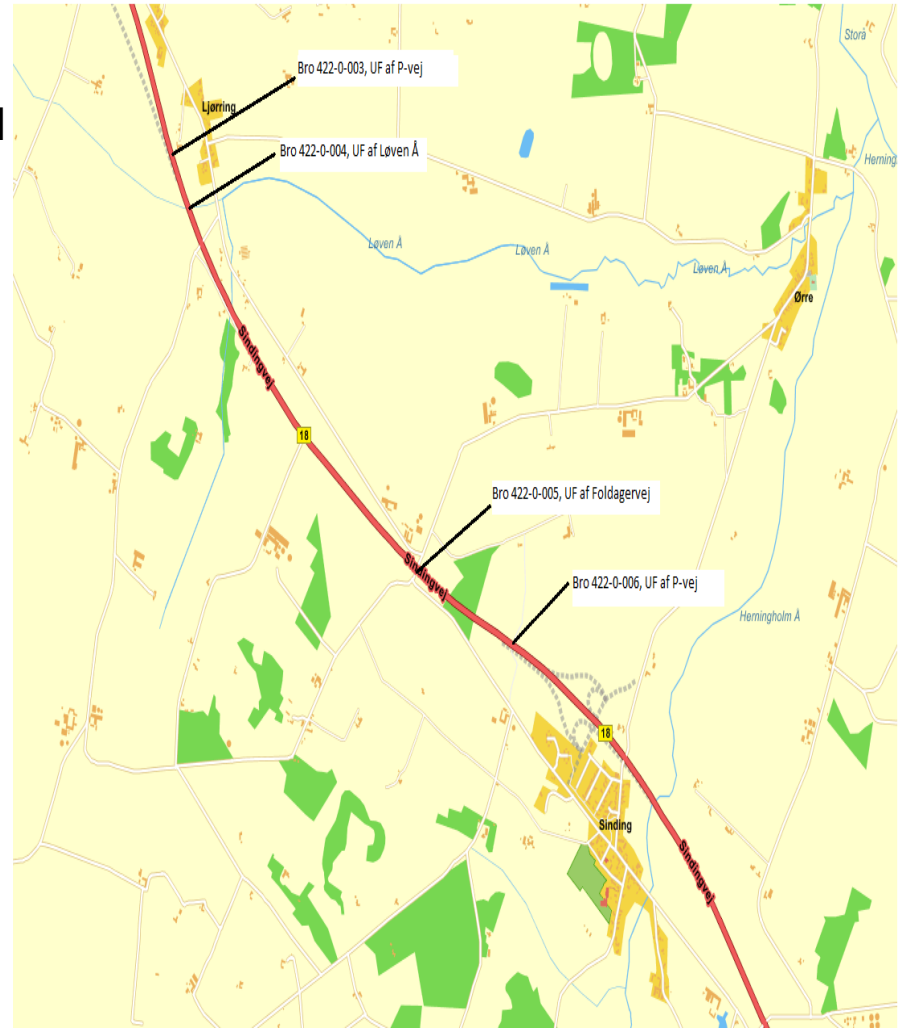
hvilket svarer til:
39 t hjultryk
78 t akseltryk
39 t nyttelast. / Aksel

Vosnæsvej Resultater



Valg af broer

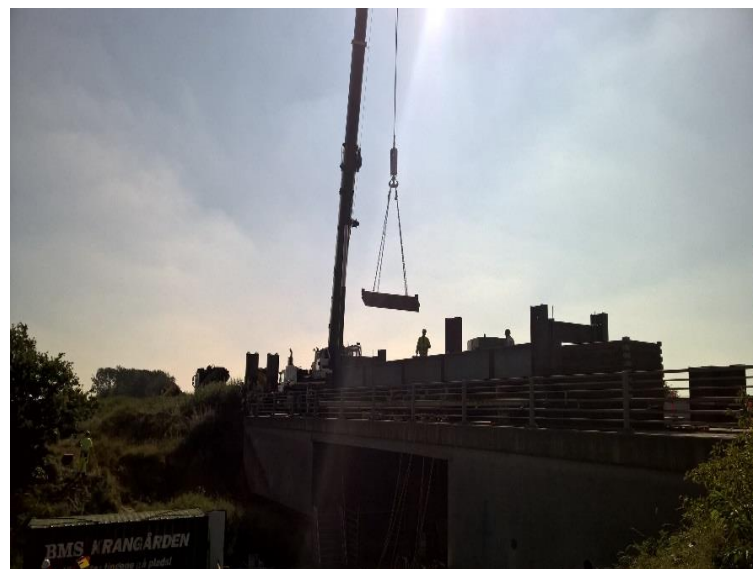
- > Broer på Herning – Holstebro som skal rives ned i forbindelse med etablering af motorvejen
- > Bro 422-0-003, UF af P-vej
- > Bro 422-0-004, UF af Løven Å
- > Bro 422-0-005, UF af Foldagervej
- > Bro 442-0-006, UF af P-vej



Formål

- > At fastlægge broernes faktiske bæreevne
- > Udvikle metodik til hurtig og billig fastlæggelse af broernes faktiske bæreevne
- > Udvikle beregningsmetoder der er i overensstemmelse med forsøgsresultater

Der betragtes broer uden nedbrydningskader



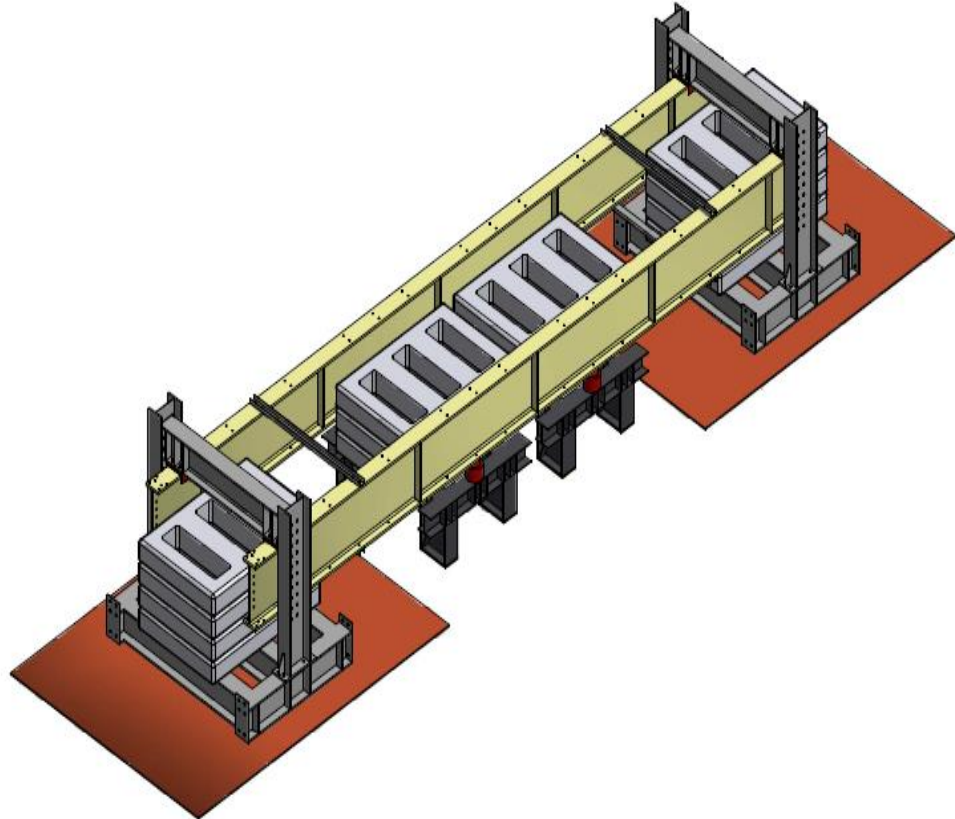
Klassificering af broer

OT-Bjælker

Bro nr./navn	Beregnet broklasse	Udnyttelsesgrad, permanente laster		Udnyttelsesgrad, broklasse 100	
		Moment	Forskydning	Moment	Forskydning
422-0-004 UF af Løven Å	30-40	Ca. 40%	Ca. 80%	Ca. 80%	Ca. 180%
422-0-005 UF af Foldagervej	30-40	Ca. 60%	Ca. 60%	Ca. 150%	Ca. 170%
422-0-007 UF af Herningsholm Å	30-40	Ca. 60%	Ca. 90%	Ca. 120%	Ca. 180%
422-0-009 UF af Rosmosevej	50	Ca. 40%	Ca. 50%	Ca. 100%	Ca. 160%

Design af forsøgsopstilling

- > Vugger
- > Lastrammer
- > Bjælker
- > Lastelementer
- > Donkrafte



Forsøgsopstilling

- > Bro 422-0-004, UF af Foldagervej



Belastning

- > Bro 422-0-003 og Bro 422-0-006



Design af forsøgsopstilling

- > Relativt billig
- > Hurtig af opstille og nedtage
- > Skal repræsentere de faktisk forekommende laster og den lastmodel der regnes med i klassificeringen
- > Består af et klasse 50 køretøj og et klasseficeringskøretøj placeret i kørespor med bredde på 3 m.

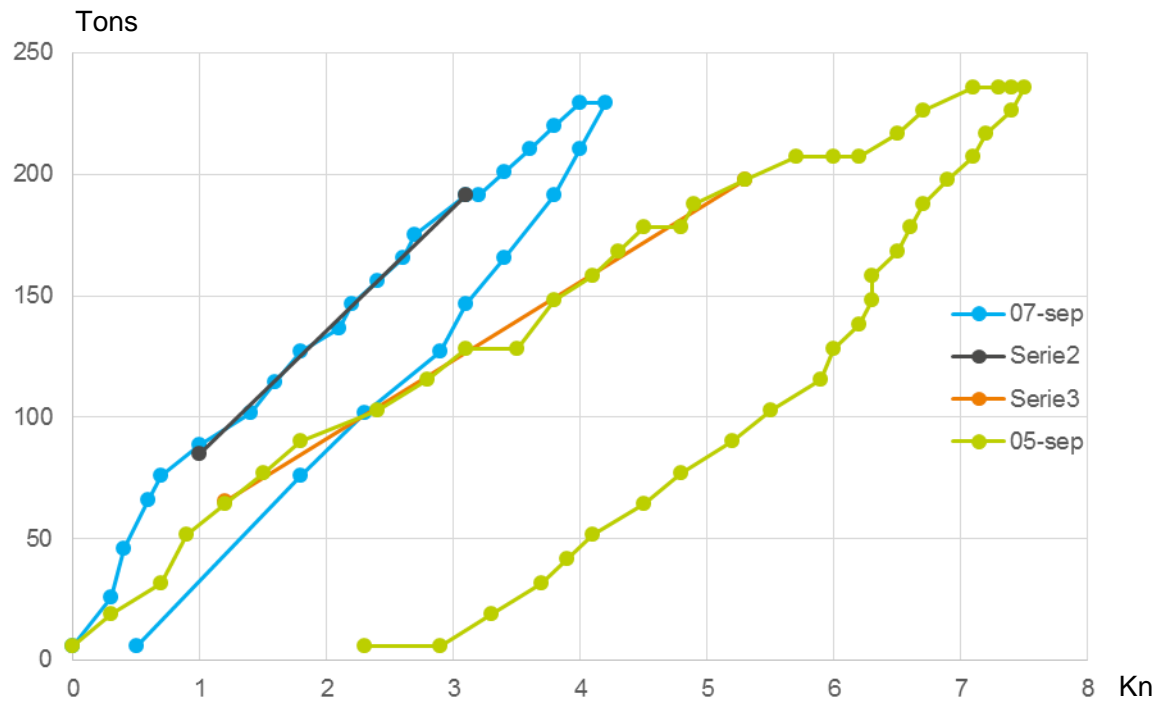
Gennemførelse af bæreevneforsøg

- > Måling af nedbøjning v. landmåler
- > Deformationsmålinger med laser
- > Fotoregistrering til ARAMIS
- > Deformationsmålinger med sensorer
- > Lastmåling med styring af donkrafte



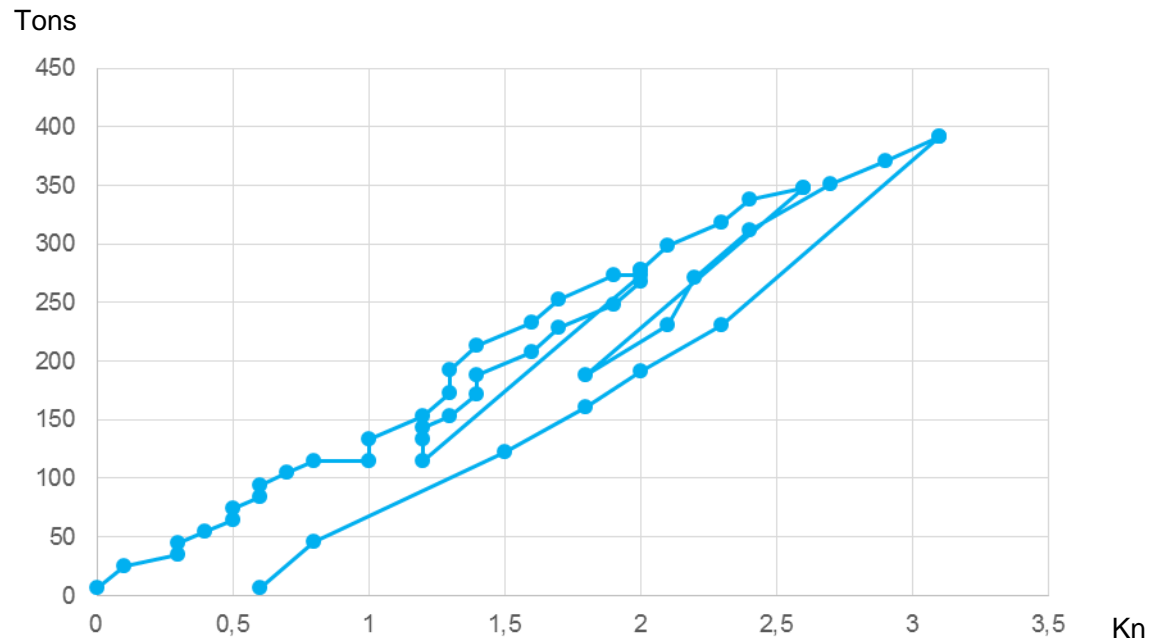
Resultater bronavn

- > Bro 422-0-003 Spændvidde = 6,9 m
- > Bro 422-0-006 Spændvidde = 7,0 m
- > Bæreevne større end klasse 200
- > Omvendt L



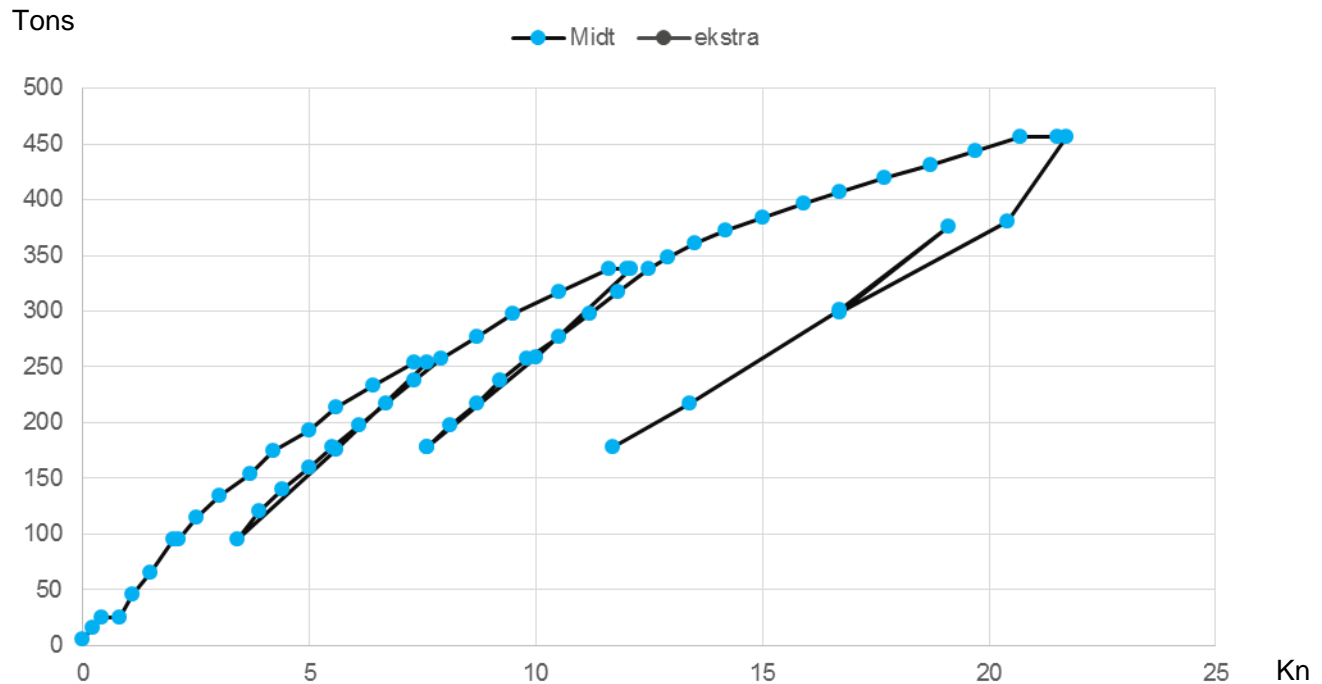
Resultater

- > Bro 422-0-004, UF af Løven Å
- > Bæreevne større end klasse 500
- > Omvendt T
- > Spændvidde = 7,3 m



Resultater

- > Bro 422-0-005 UF af Foldagervej
- > Bæreevne større end klasse 500
- > Omvendt T
- > Spændvidde = 12,4 m



Opskæring til forsøg med og uden overbygning (asfalt og grus)



Belastning



Silkeborg resultater

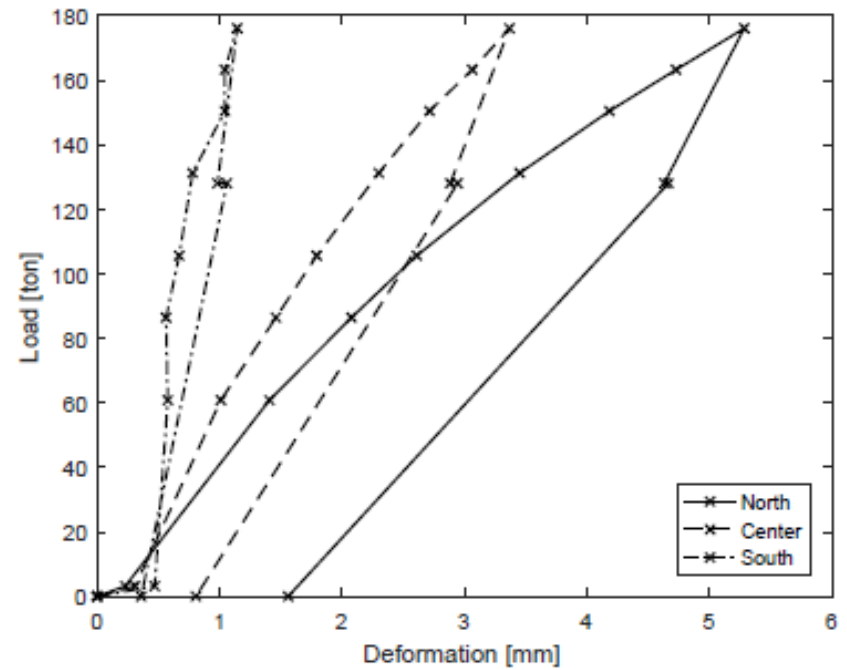


Figure 2: Deformation at midspan

Belastning

Load	M1	M2	M3	Time	Location
0	0.38523	0.38522	0.38522	09:25	North
0	0.32978	0.32979	0.32978	09:27	Center
0	0.36472	0.36472	0.3647	09:29	South
3.2*	0.38546	0.38545	0.38545	10:26	North
3.2*	0.33008	0.3301	0.3301	10:27	Center
3.2*	0.36519	0.36517	0.36519	10:28	South
60.8	0.38663	0.38663	0.38663	10:41	North
60.8	0.3308	0.33079	0.33079	10:42	Center
60.8	0.3653	0.36529	0.36528	10:43	South
86.4	0.38729	0.3873	0.38731	10:53	North
86.4	0.33123	0.33125	0.33125	10:54	Center
86.4	0.36528	0.36529	0.36526	10:55	South
105.6	0.38783	0.38783	0.38784	11:00	North
105.6	0.33158	0.33158	0.33157	11:01	Center
105.6	0.36538	0.36538	0.36539	11:03	South
131.2	0.38866	0.38868	0.38868	11:14	North
131.2	0.33209	0.33208	0.33208	11:15	Center
131.2	0.36549	0.36549	0.3655	11:17	South

Load	M1	M2	M3	Time	Location
150.4	0.38939	0.38942	0.38941	11:28	North
150.4	0.3325	0.33249	0.3325	11:03	Center
150.4	0.36577	0.36575	0.36575	11:32	South
163.2	0.38993	0.38995	0.38997	11:43	North
163.2	0.33284	0.33285	0.33285	11:45	Center
163.2	0.36577	0.36575	0.36575	11:47	South
176	0.39049	0.39051	0.39052	11:55	North
176	0.33316	0.33314	0.33315	11:56	Center
176	0.36585	0.36586	0.36586	11:57	South
128	0.38986	0.38985	0.38985	12:13	North
128	0.33267	0.33265	0.33268	12:14	Center
128	0.3657	0.3657	0.36569	12:16	South
128	0.38988	0.3899	0.38988	12:44	North
128	0.33273	0.33273	0.33272	12:45	Center
128	0.36579	0.36574	0.36579	12:46	South
0	0.38679	0.38678	0.38678	13:35	North
0	0.33059	0.33059	0.33059	13:36	Center
0	0.36508	0.36507	0.36507	13:37	South

Measured after 70 tons were applied in the center of the bridge.

Vurdering af bæreevneforsøg

- > Broerne har betydeligt større bæreevne end beregnet
- > Der er ingen revnedannelse
- > Der sker kun en ubetydelig nedbøjning
- > Årsagerne til den betydelige forøgelse af bæreevnen skal fastlægges ved forsøg og beregninger

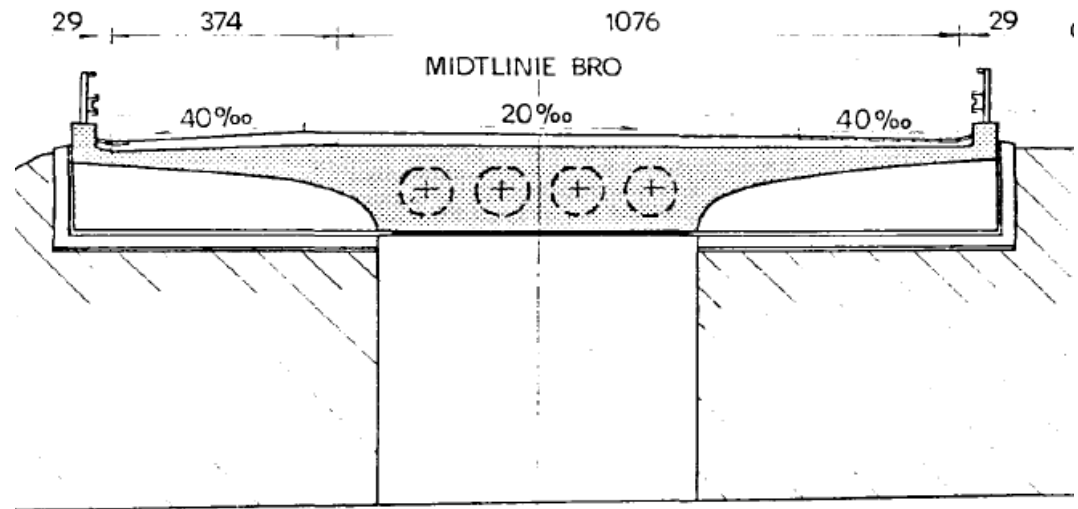
Brugbare erfaringer

- Meget stor sikkerhedsmargin
- Ringe risiko for brud når der testes for broklasser
- Mange millioner kan spares / anvendes til noget andet
- Nødvendigt med snarlige retningslinier for bæreeftervisning ved test

Kommende aktiviteter

- > Gennemførelse af yderligere forsøg i Februar måned
- > Gennemførelse af forsøg med bjælker i laboratorium
- > Gennemførelse af DTU-projekter ved studerende
- > Møde med bygværksejere, entreprenører, rådgivere og forskere
- > Fortsættelse af Post doc og Ph.D-arbejder

I støbeskeen brovingeforsøg Ryvejbroen



Fremtid

Mange broer kan uden risiko testes, så rimelig bæreevne kan påvis og skilte fjernes

Flere fuldskalaforsøg

Forfine metoder til at vurdere eksisterende broers bæreevne

Optimere økonomi, på reparationsprojekter og forsøg

Bidrage til forbedrede beregningsmodeller for eksisterende bygværker

Revurdering af stødtillæg,

Revurdere nationale og internationale beregningsstandarder.

Regler for vurdering af eksisterende broers bæreevne ved fuldskalaforsøg

Tak for opmærksomheden