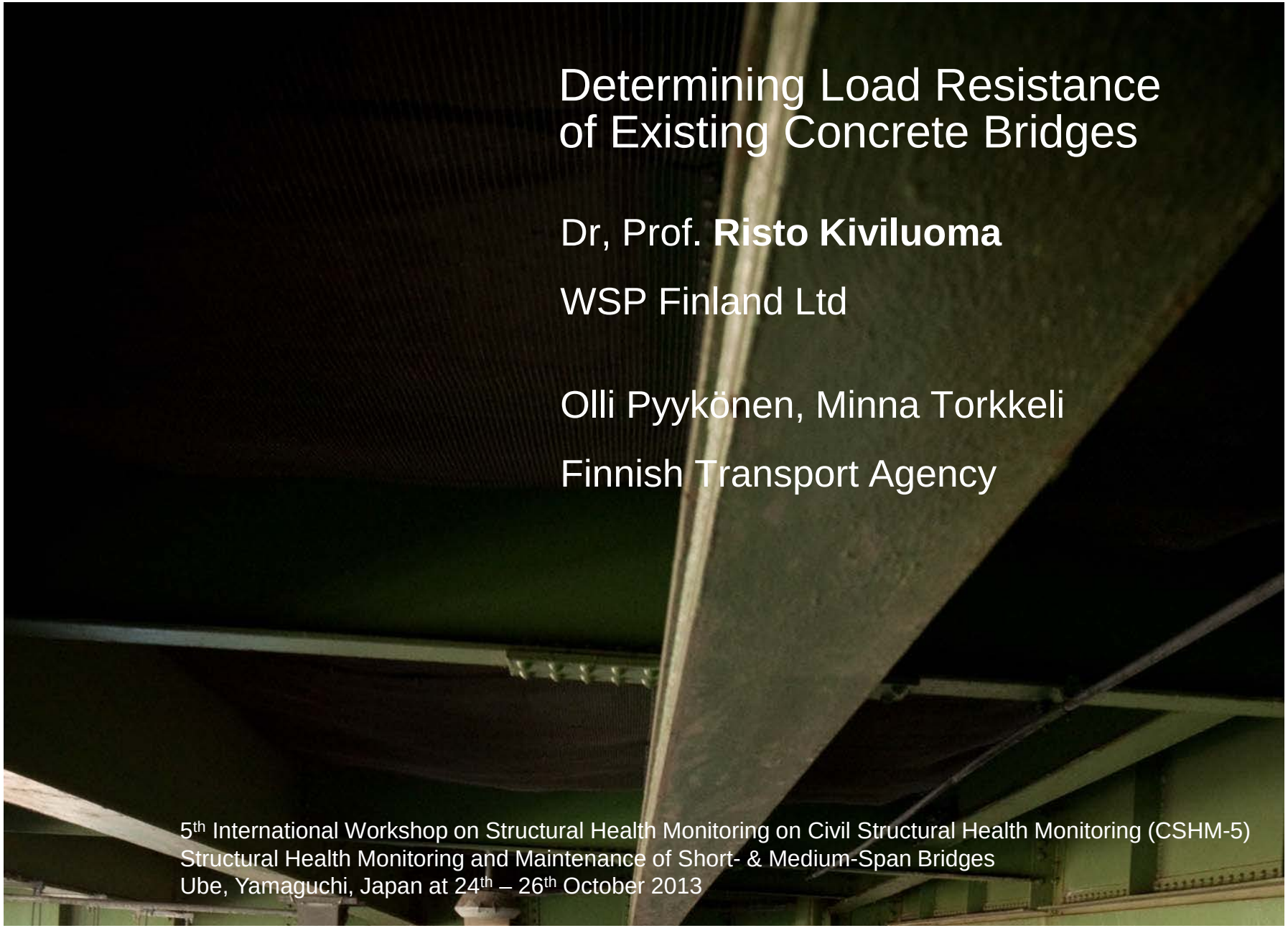


Determining Load Resistance of Existing Concrete Bridges

Dr, Prof. **Risto Kiviluoma**

WSP Finland Ltd

Olli Pyykönen, Minna Torkkeli

Finnish Transport Agency

5th International Workshop on Structural Health Monitoring on Civil Structural Health Monitoring (CSHM-5)
Structural Health Monitoring and Maintenance of Short- & Medium-Span Bridges
Ube, Yamaguchi, Japan at 24th – 26th October 2013

Index

Introduction

Case Study of the Sundom Bridge

Conclusion

Introduction

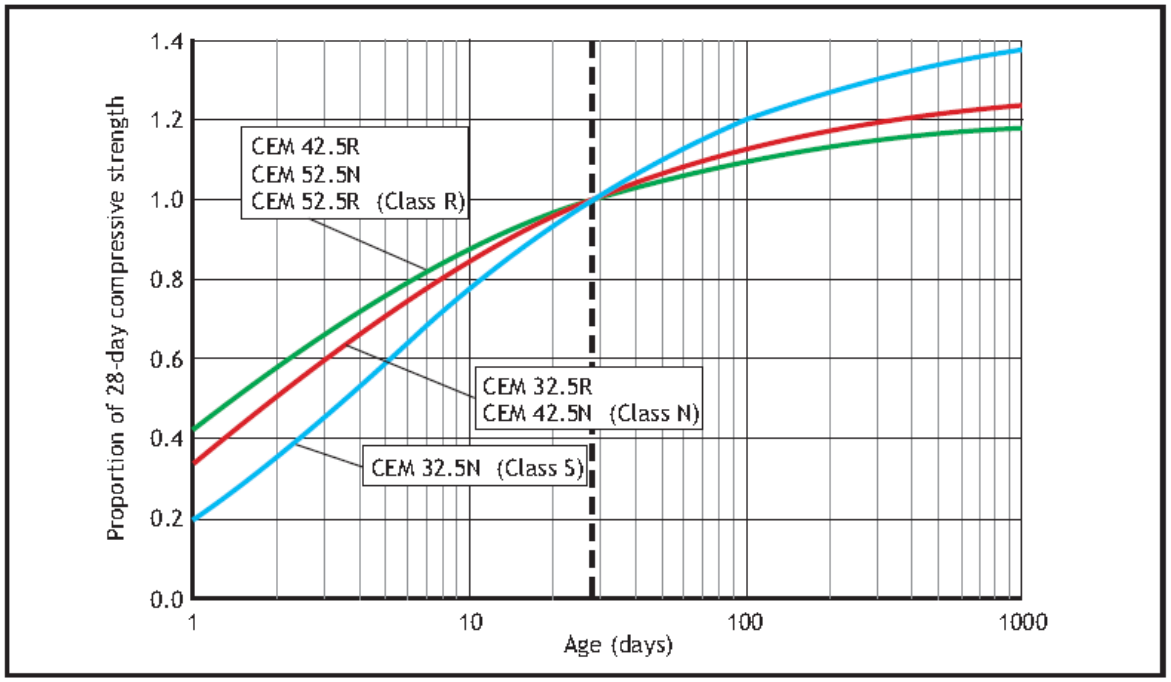
- Bridges are structures designed and build for extended service life of 100 years and more
- during the service life, notable changes may occur in transport needs, traffic volume and vehicles
- the design traffic loads of bridges, as well as maximum weight of permitted vehicle on roads, have a tendency to increase over time
- industry wants to have bigger and bigger special heavy transports on the roads

=> the bridge owners have on obvious need to estimate the true load resistance of the bridges to avoid weight limitations, unnecessary replacement and strengthening of the structures

- enhanced assessment methods are of interest of the bridge owners like
  - advanced Finite-Element simulation (calibrated structural models)
  - load testing
  - structural monitoring
- when true behaviour of bridges is intended to be assessed, concrete bridges appear to be challenging

- issues to be considered in the physical phenomenon (concrete bridges)
  - effect of cracking on stiffness and rebar stresses
  - effect of surface structures and edge beams to stiffness and rebar stresses
  - gain or loose of material strengths in aging
  - strength in structure vs. strength of laboratory test specimens
  - gain or loose of modulus of elasticity (E_c) in aging
  - effect of aggregate on E_c
  - short term (dynamic) and true E_c vs. E_c used to static assessments of cross-sections
  - effect of surface problems in the bonding between the rebar and concrete
  - non-uniform ageing and defects in concrete in various locations on the bridge structures
  - etc.

Figure 2
Rate of compressive strength development at 20°C for different cement strength classes.



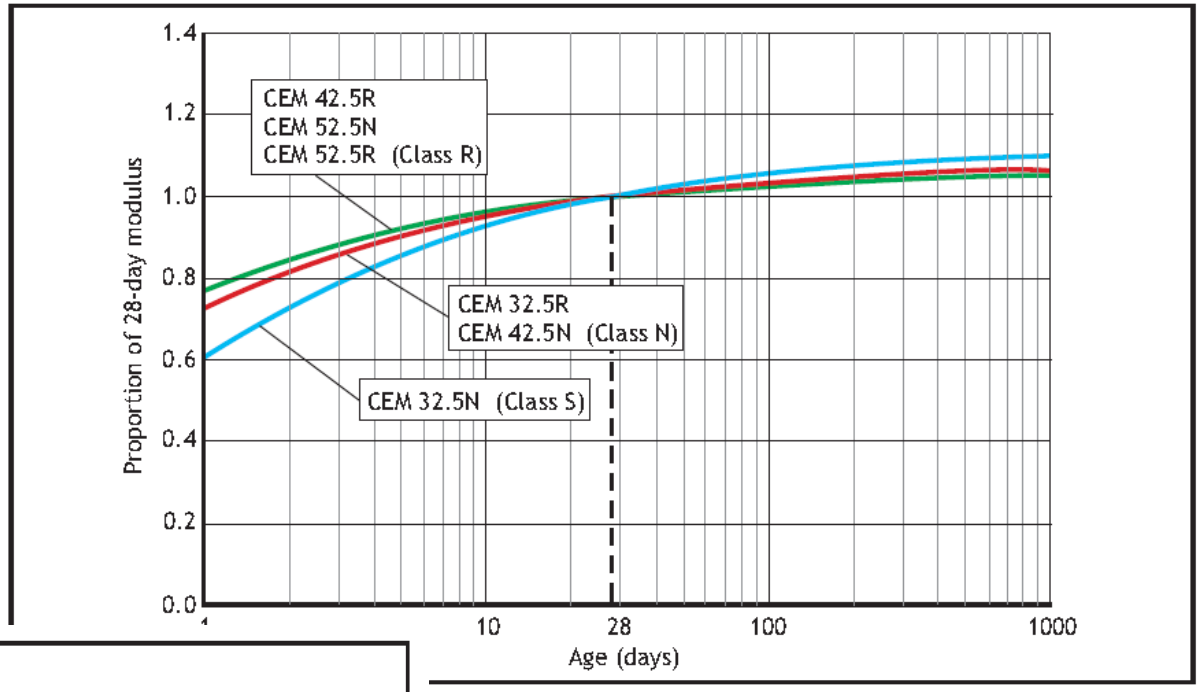
Properties of Concrete for use in Eurocode 2

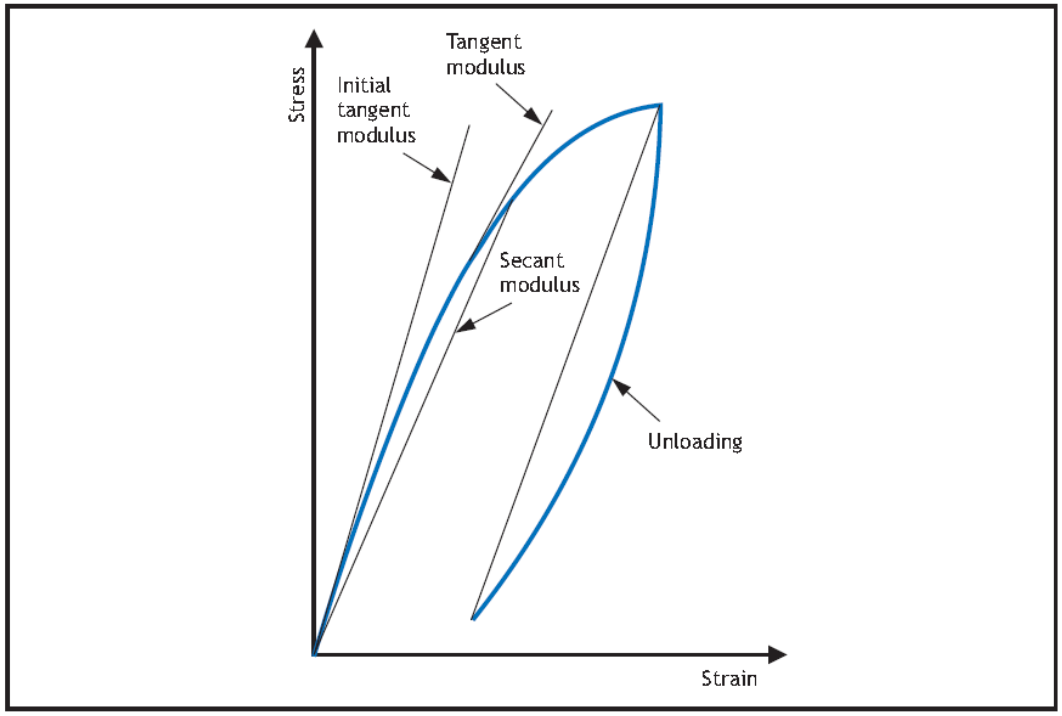
How to optimise the engineering properties of concrete in design to Eurocode 2

WSP

Figure 9

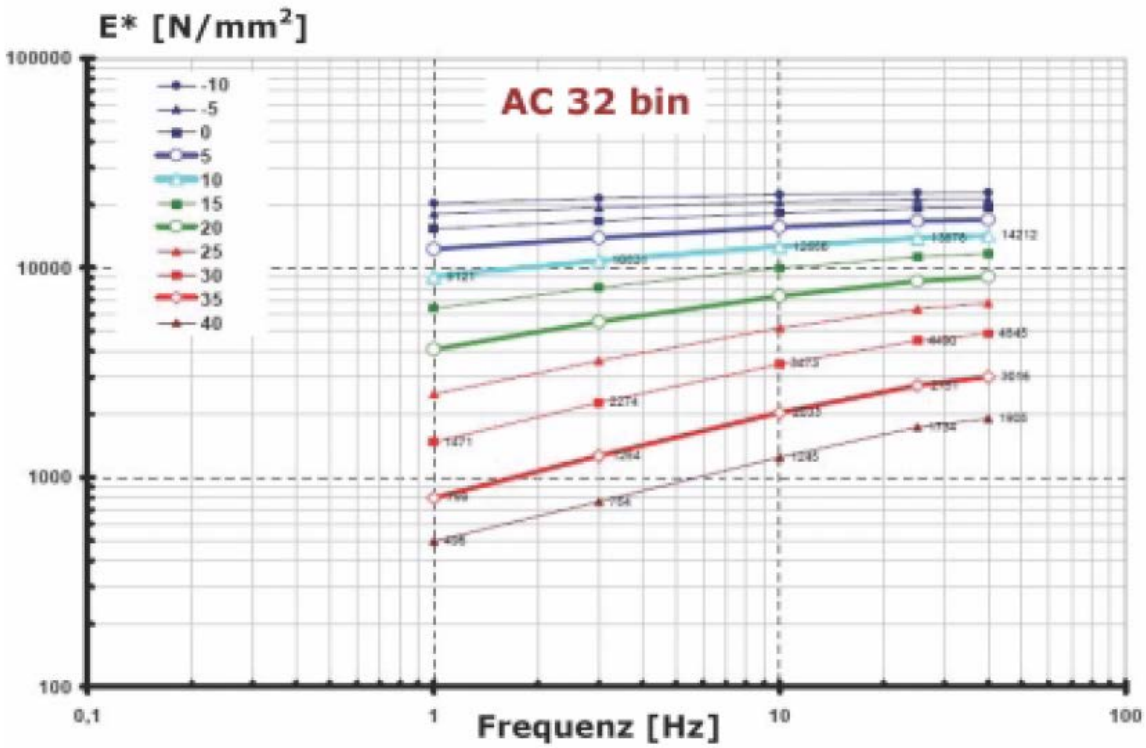
Rate of development of modulus of elasticity at 20°C for different cement strength classes.





- modulus of elasticity/stiffness of asphalt layer*

Abbildung 6: *Ergebnis der Steifigkeitsprüfungen an einem AC 32 bin bei sechs Frequenzen (1 bis 40 Hz) und elf Temperaturen (-10 bis +40°C)*

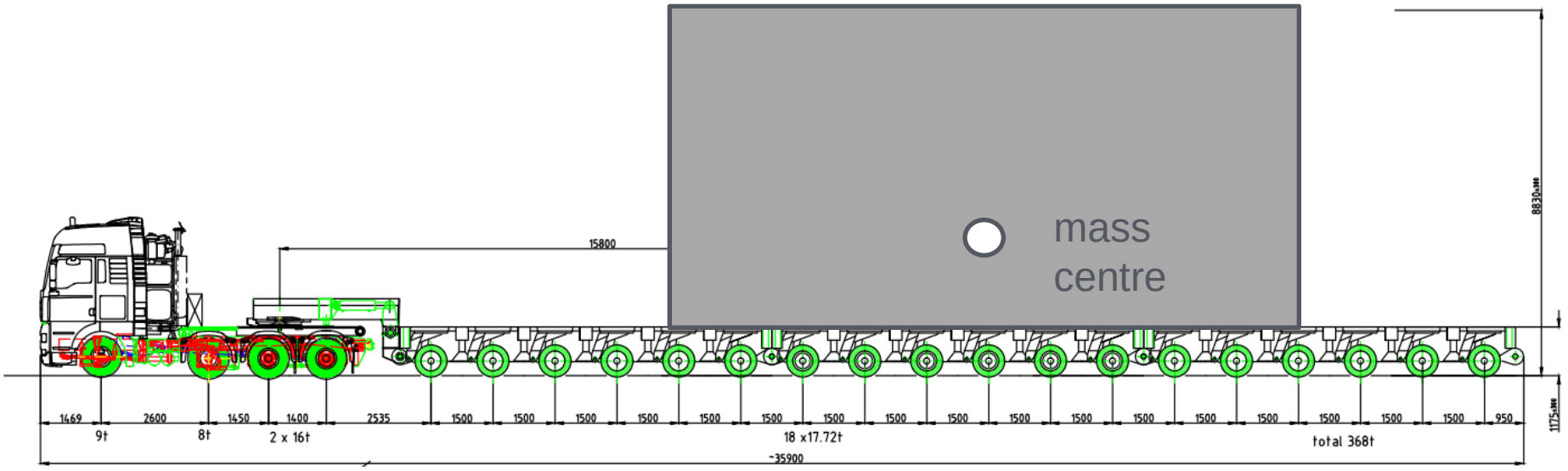


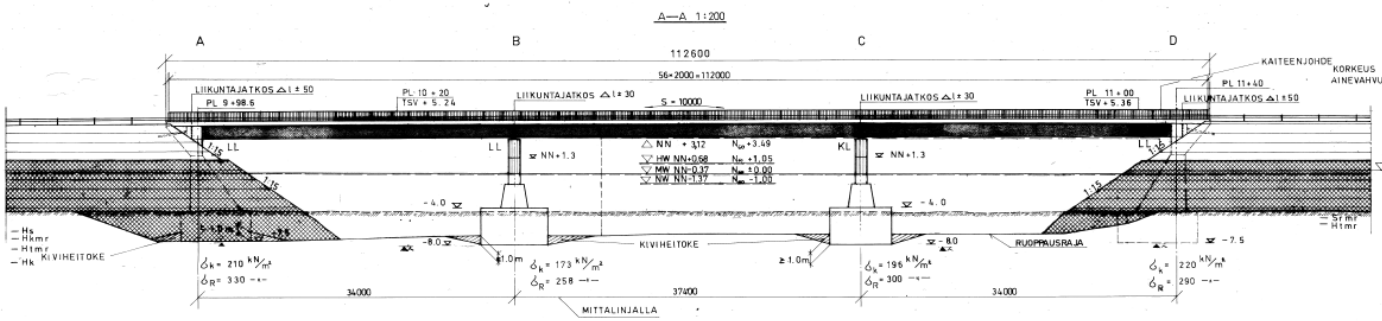
* Ronald Blab, Das Asphalt Magazine April 2006, Folge 112

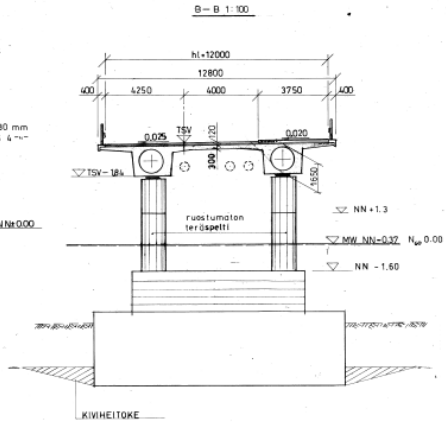
Case Study of the Sundom Bridge

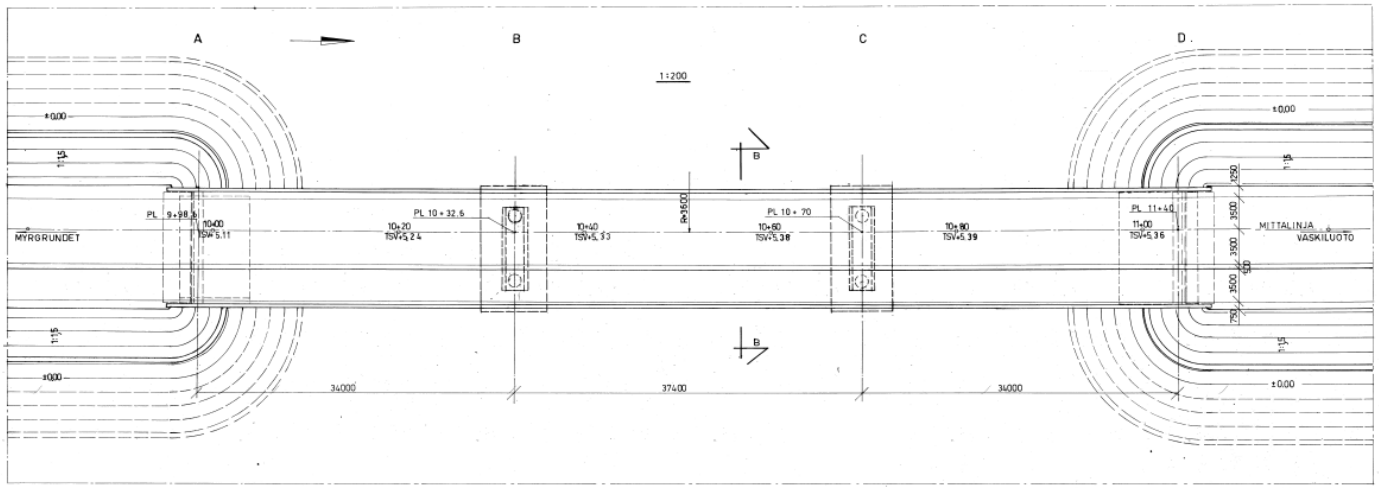
- situated in Vaasa, Finland
- Prestress concrete slab girder bridge
- build 1975
- spans 34 + 37 + 34 m

- could a special heavy transport of order 400 t be accepted on the bridge?
- one of the biggest load ever considered in Finland

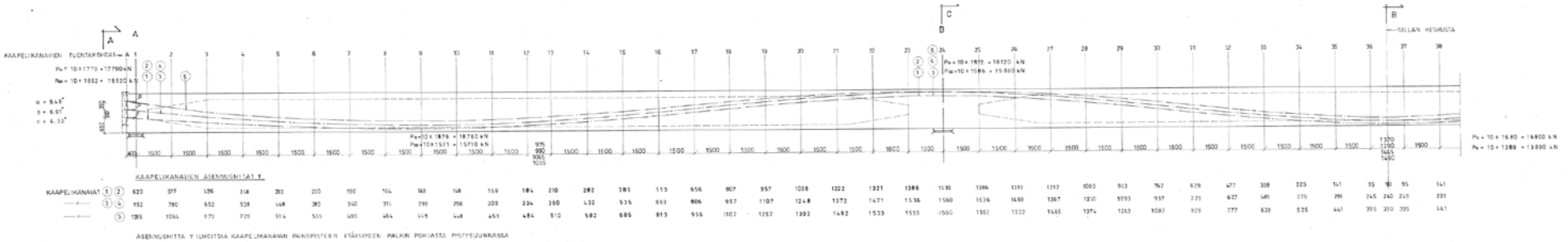


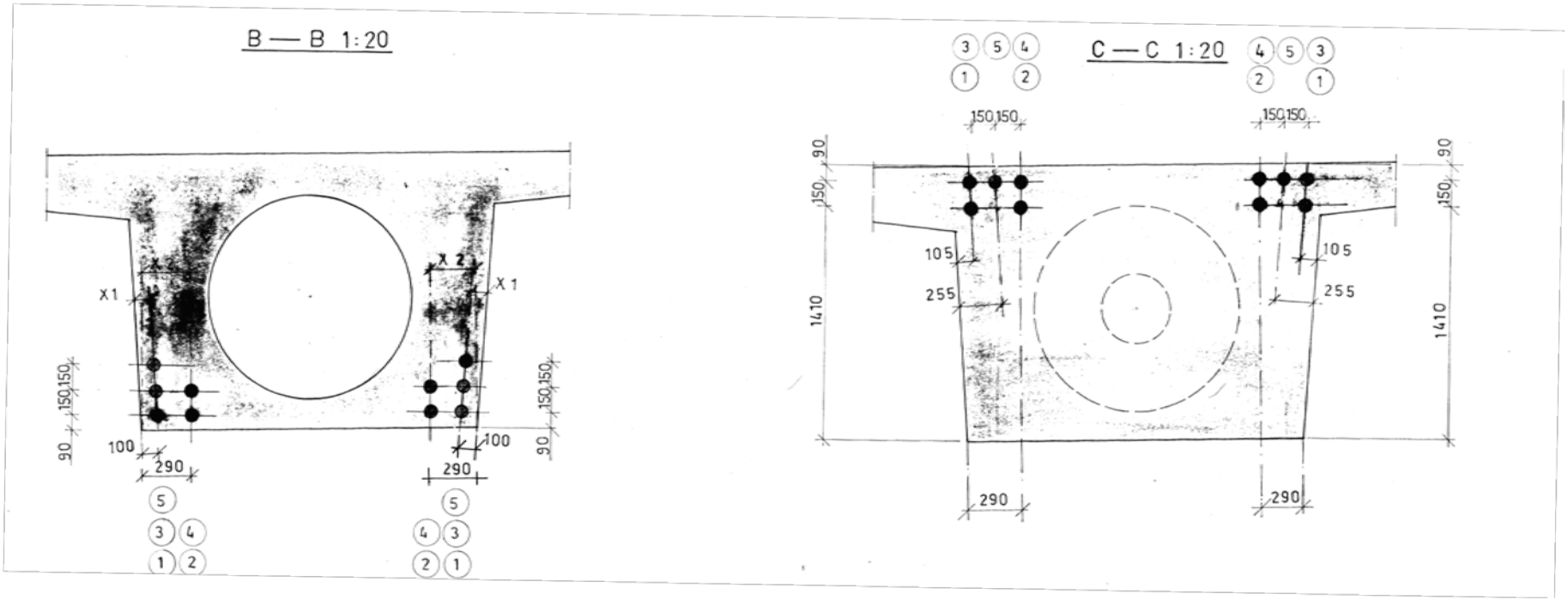


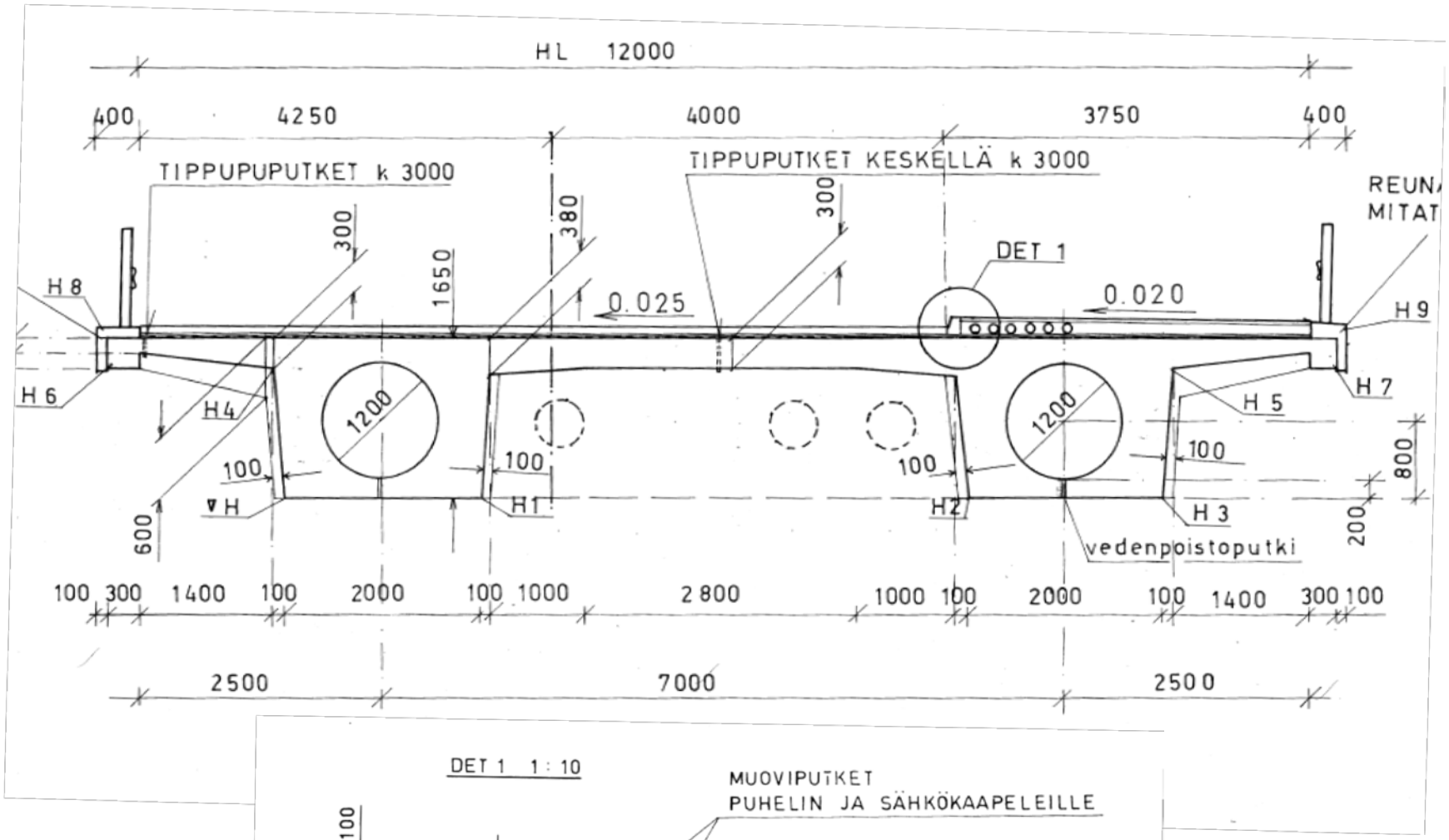


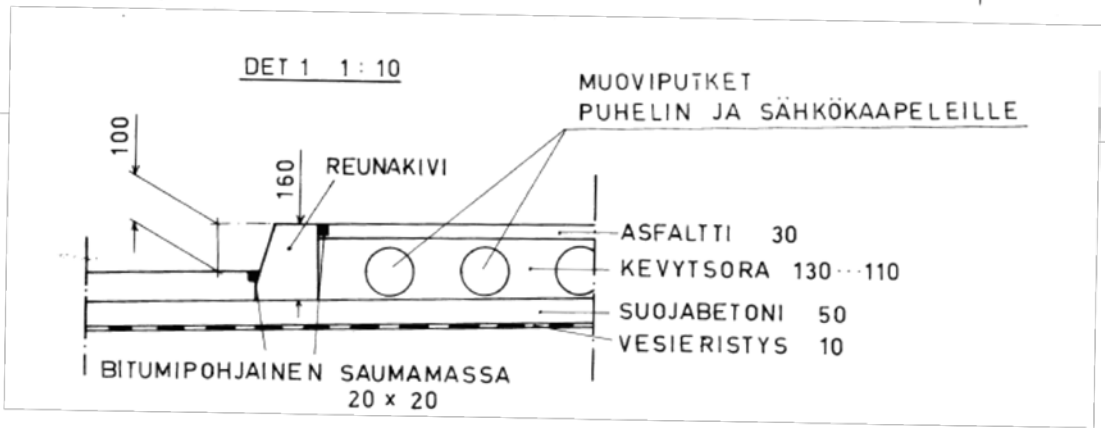


N:O	PIIRUSTUSLUETTELO
7212 - 1	YLEISPIIRROS
2	MAATUET MITAT
3	MAATUET RAUDOITUS
4	VÄLITUET MITAT
5	VÄLITUET RAUDOITUS
6	PÄÄLLYSRAKENNE MITAT
7	MITTALINJAN PAALUTUSMITAT JA POIKKILEIKKAUKSIEN KORKEUDET
8	PÄÄLLYSRAKENNE JÄNNEPIIRROS
9	PÄÄLLYSRAKENNE RAUDOITUS 1
10	PÄÄLLYSRAKENNE RAUDOITUS 2
11	REUNAPALKIN MITAT JA RAUDOITUS
12	SIIRTYMÄLAATTA MITAT JA RAUDOITUS
13	TIPPUPUTKET
14	KEVENNYSPUTKIEN ASENNUS
15	LAAKERIEN MITOITUSARVOT
	DK/16-5 SILLAN SÄLEKAIDE
	VALAISTUSSUUNNITELMA
	SILTAKOHTAINEN TYÖSELITYS

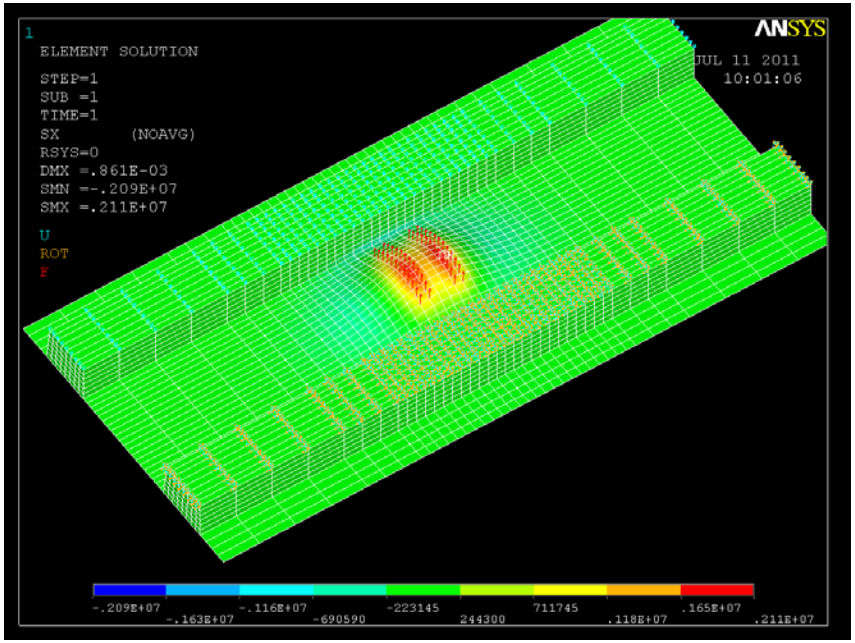

KAAPELIKANAVIEN TUENTAKOHDAT
KAAPELIKANAVIEN ASENNUSMITAT Y
KAAPELIKANAVAT
SILLAN KESKIUSTA

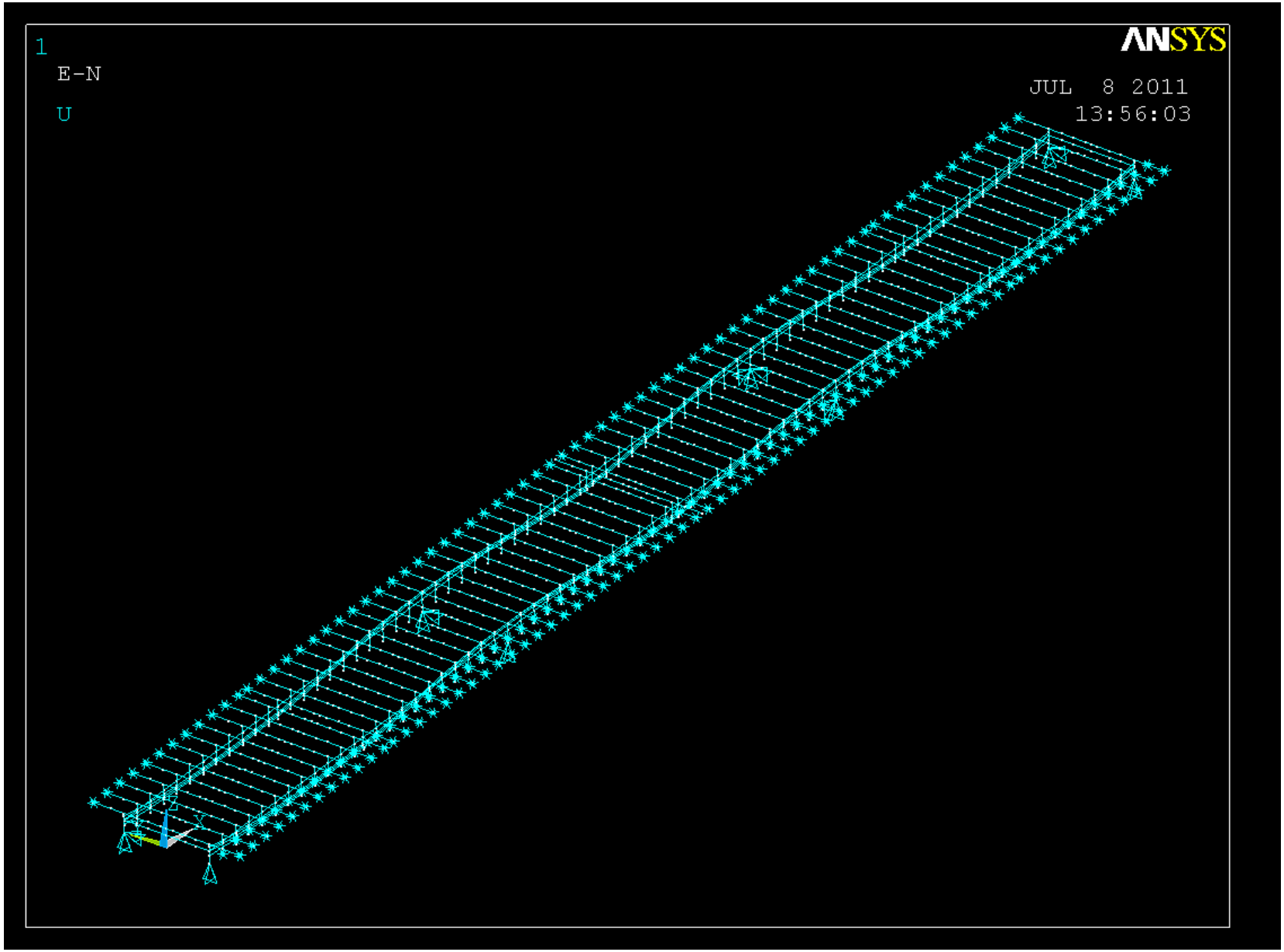

B — B 1:20
C — C 1:20
X1
X2
150
90
100
290
105
255
1410

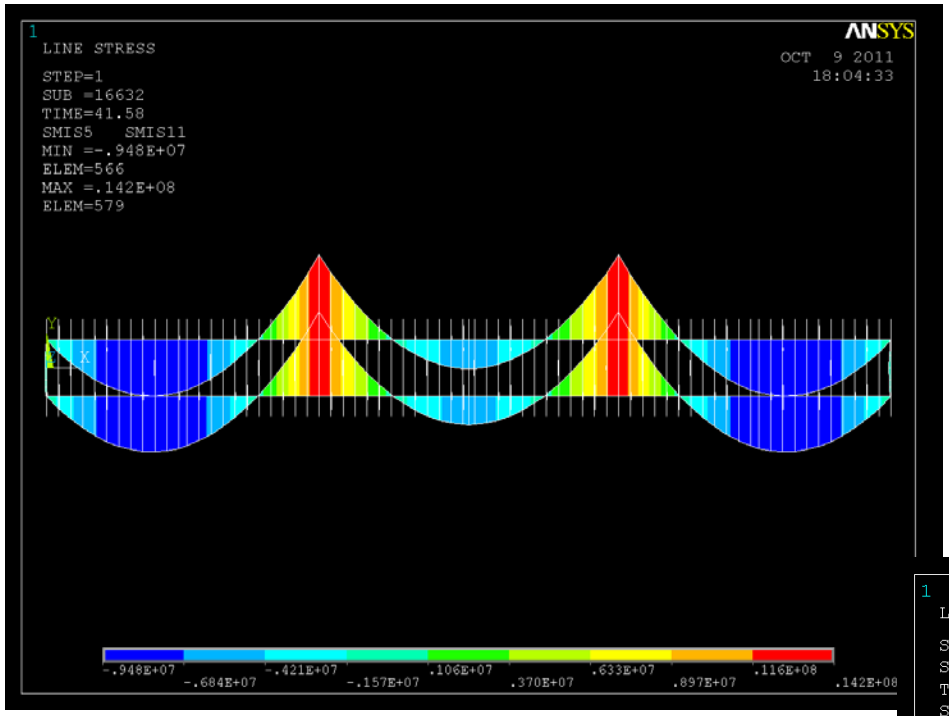

HL 12000
400
4250
4000
3750
400
TIPPUPUTKET k 3000
TIPPUPUTKET KESKELLÄ k 3000
300
380
300
1650
DET 1
0.025
0.020
H 8
H 6
H4
H 9
H 7
H 5
1200
1200
100
100
100
100
H
H1
H2
H 3
600
800
200
vedenpoistoputki
100 300 1400 100 2000 100 1000 2 800 1000 100 2000 100 1400 300 100
2500
7000
2500

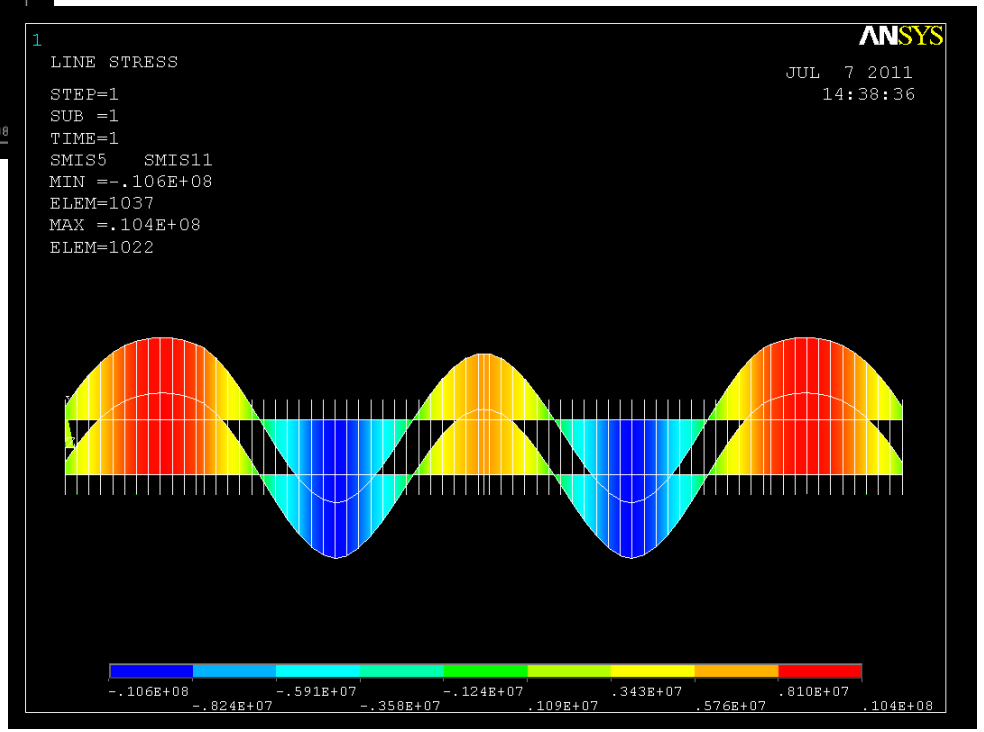

DET 1 1 : 10
MUOVIPUTKET
PUHELIN JA SÄHKÖKAAPELEILLE
100
160
REUNAKIVI
ASFALTTI 30
KEVYTSORA 130 ··· 110
SUOJABETONI 50
VESIERISTYS 10
BITUMIPOHJAINEN SAUMAMASSA
20 x 20

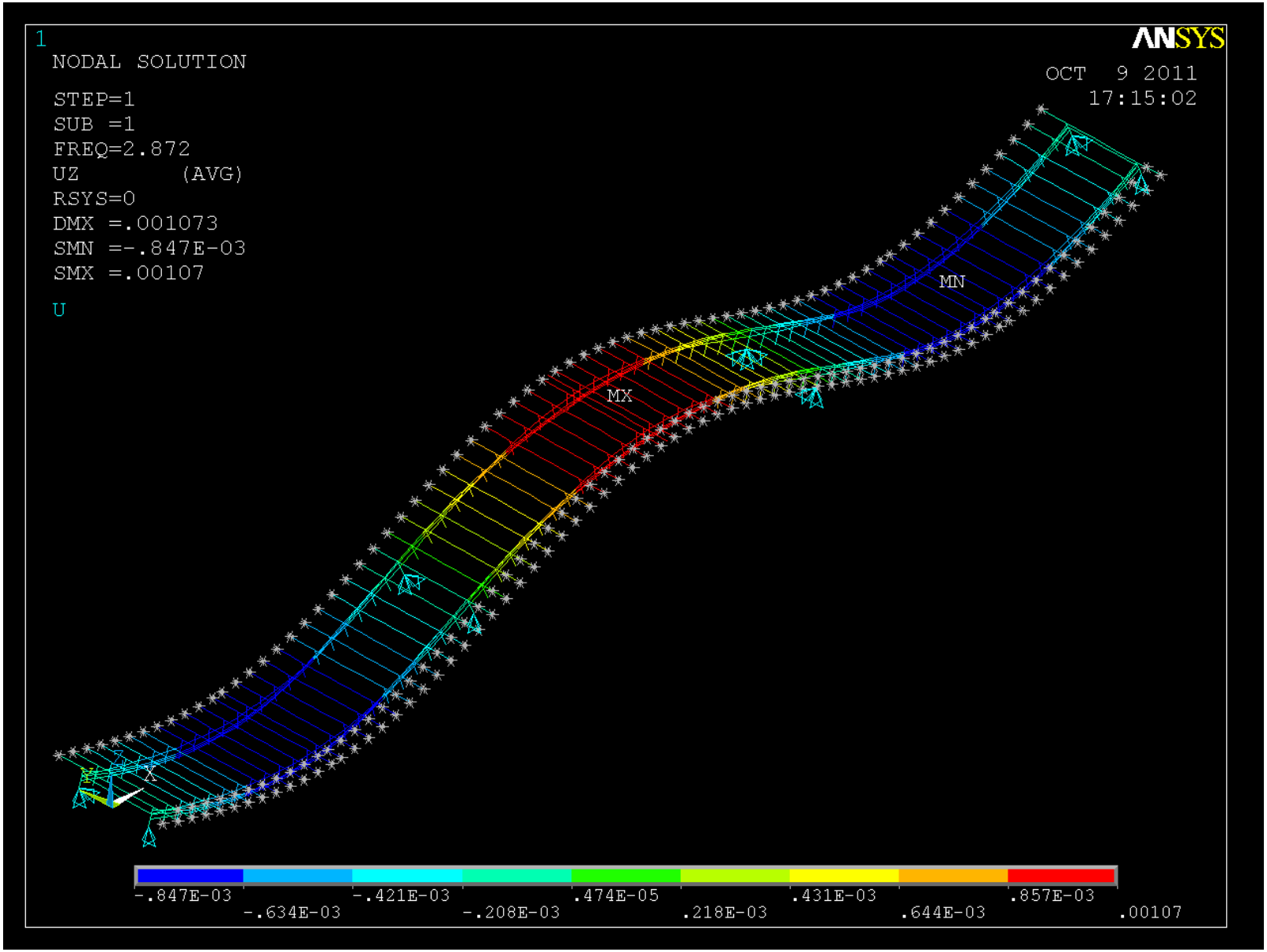
- approach by
  - conventional & advanced load-bearing assessments
  - extra dynamic simulations for dynamic excitation factor and vibration
  - material testing (strength of concrete), check of type/dimensions of actual surface structures
  - proof loading, assisted by structural monitoring for dynamic actions
  - design options for use of temporal support systems




1
E-N
U
ANSYS
JUL 8 2011
13:56:03

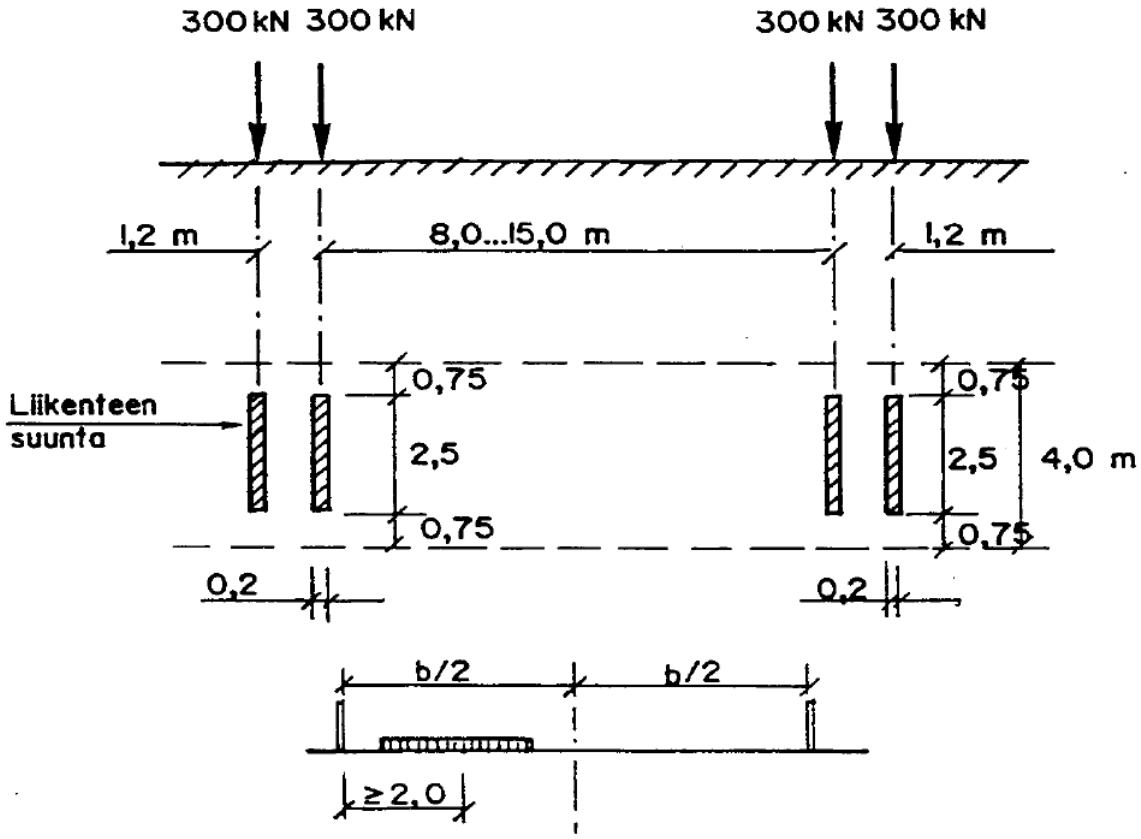

1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =16632
TIME=41.58
SMIS5 SMIS11
MIN =-.948E+07
ELEM=566
MAX =.142E+08
ELEM=579
ANSYS
OCT 9 2011
18:04:33
-.948E+07
-.684E+07
-.421E+07
-.157E+07
.106E+07
.370E+07
.633E+07
.897E+07
.116E+08
.142E+08


1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SMIS5 SMIS11
MIN =-.106E+08
ELEM=1037
MAX =.104E+08
ELEM=1022
ANSYS
JUL 7 2011
14:38:36
-.106E+08
-.824E+07
-.591E+07
-.358E+07
-.124E+07
.109E+07
.343E+07
.576E+07
.810E+07
.104E+08


1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
FREQ=2.872
UZ (AVG)
RSYS=0
DMX =.001073
SMN =-.847E-03
SMX =.00107
U
ANSYS
OCT 9 2011
17:15:02
MN
MX
-.847E-03
-.634E-03
-.421E-03
-.208E-03
.474E-05
.218E-03
.431E-03
.644E-03
.857E-03
.00107

- design load patter (the 1970's) for special heavy transport

  + dynamic amplification factor 1,4
- total 168 t (small comparing to present need of 400 t, but much bigger axle loads)



- Contribution of loads for bending moment of main girder at support

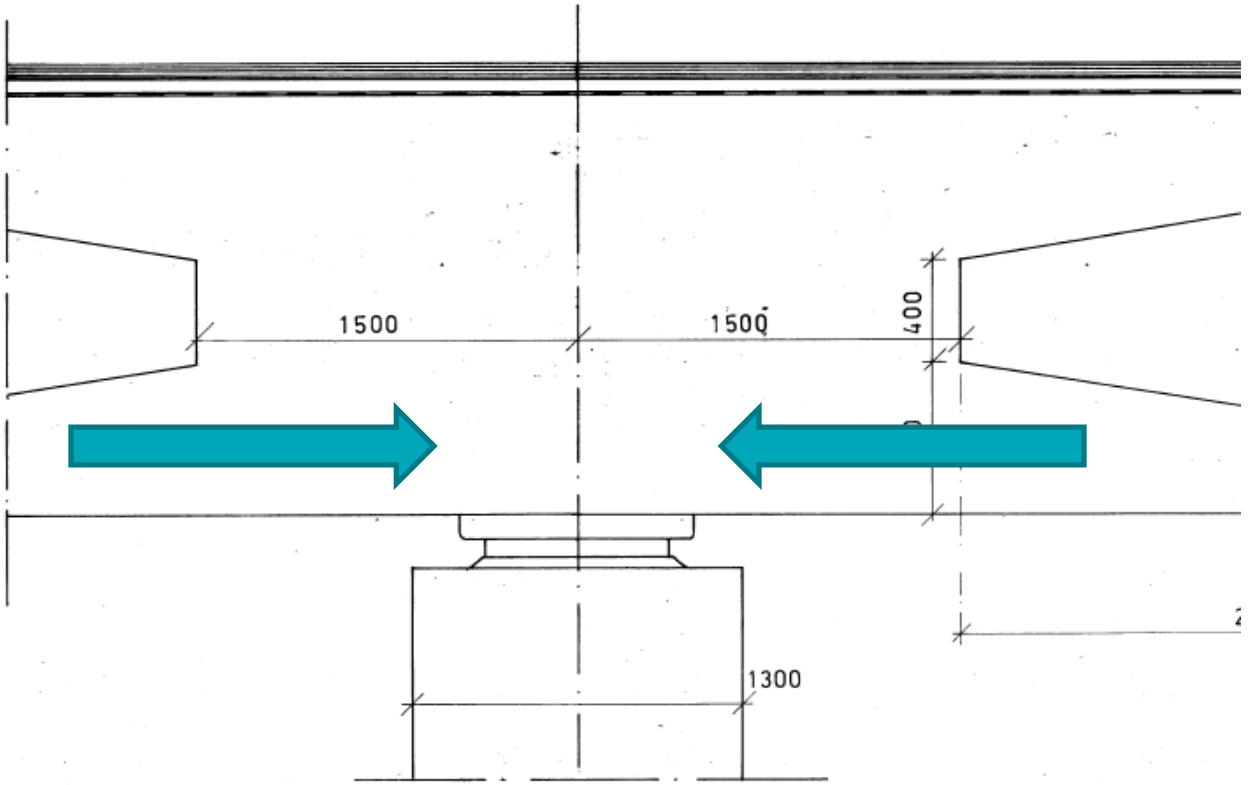
	SLS	ULS	
Dead load	-14.2	-17	MNm
Superimposed dead load	-0.8	-1	MNm
Temperature difference	-1.2	0	MNm
Support settlement (10 mm)	.-0.2	0	MNm
Vertical design load	-3.0	-5	MNm
Studied heavy transport	-6.3	-8	MMm

SLS = service limit state

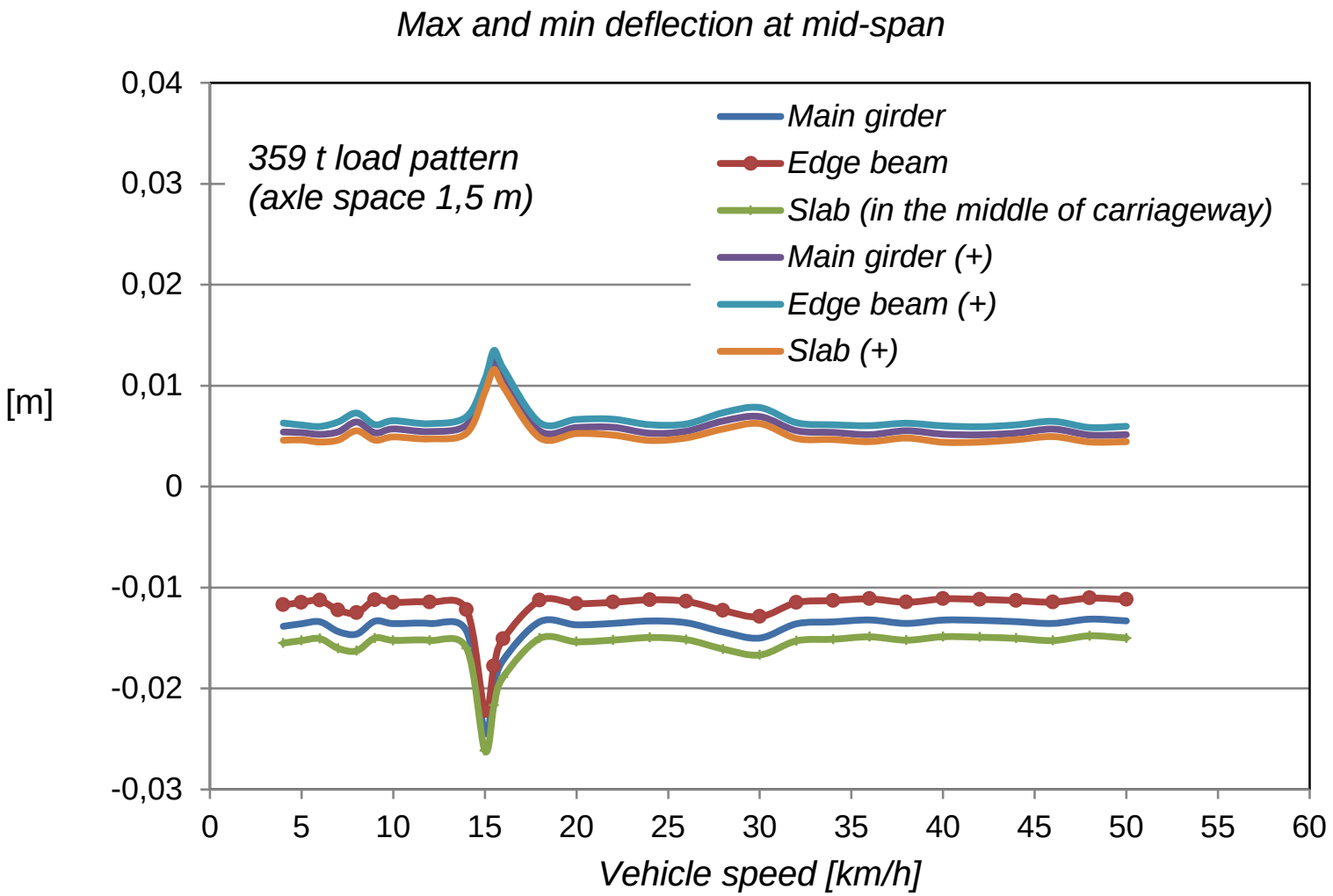
ULS = ultimate limit state

- result of conventional static assessments: not enough capacity
- limiting criteria for the studied load pattern:

“for the service limit state load combinations, compression in concrete should not exceed the value 0.7 f_{ck} (f_{ck} = nominal compression strength of concrete)”



- computational resonant amplification due to the repeated axle loads



- Proof loading by the biggest load in Finland so far; 265 t
- bridge was temporally closed for traffic, which attracted the local media and observers

Hoppa över navigationen
fredag 19 augusti 2011

VASABLADET

Bild: Linda Forth

Skakigt när bron testas

Publicerad 19 augusti 2011 kl. 00:49. Senast ändrad 18 augusti 2011 kl. 23:07

VASA. En långtradare lastad med 120 ton kör på Myrgrundsbron. Hela bron skakar. På datorn skjuter graferna i höjden.

I går följde Risto Kiviluoma och Pentti Ervo uppmärksamt med vad datorn visade när brons bärkraft mättes.

Nu väntar en noggrann analys för att se hur tung trafik bron klarar.

Läs mera i dagens tidning eller i e-tidningen här

linda forth linda.forth@vasabladet.fi

Suosittele Yksi suositus. Rekisteröidy ja näe, mitä kaverisi suosittelevat.

VASABLADET

nyheter

LOKALT, INRIKES, SAMHÄLLE, POLITIK, EKONOMI, UTRIKES

HAR DU EN NYHET? RING 7848 203 ELLER MEJLA PÅ NYHETER@VASABLADET.FI

Här testas brons bärkraft

Myrgrundsbron stängdes av för trafik för att testa om bron klarar av riktigt tung trafik.

En långtradare lastad med 120 ton passerar. Hela Myrgrundsbron skakar och vibrerar. Och det här är bara början.

VASA

Bilisterna får snällt vänta. En tungt lastad långtradare accelererar. Det piper till i en rad mätinstrument. Nitton män i neongula reflexvästar riktar blickarna mot ekipaget. Samtidigt registrerar nio mätpunkter hur stor vibrationen, påfrestningen och sänkningen är när långtradaren passerar.

Det är Myrgrundsbrons bärkraft som testas.

Lasten väger 120 ton och det skakar rejält när långtradaren passerar. På dataskärmarna visar graferna tvära kast i 68 sekunder.

När det åter är bilisternas tur att köra över Myrgrundsbron förvandlas graferna till raka streck. Under tiden lastas långtradaren med fler vikter.

Så fortsätter det. Gång på gång kör långtradaren över bron. Som mest med en last på 250 ton.

Ibland kör en annan långtradare strax bakom det tungt lastade ekipaget. Det är för att räkna ut vilken påfrestningen är om en långtradare i verkligheten skulle råka köra strax bakom en specialtransport.

Men några personbilar tillåts inte vara på Myrgrundsbron när mätningarna görs. Då blir resultatet inte tillräckligt exakt.

– Jag tror att bron är i bra skick och att inga åtgärder behövs. Den här bron är ändå förhållandevis ny, säger Jari Mansikka-aho, projektchef på NTM-centralen.

Sedan Myrgrundsbron byggdes 1975 har inga större åtgärder gjorts.

Anledningen till att bärkraften testas är att andelen tung trafik till och från Vasklot beräknas öka. Då är ett alternativ att långtradarchaufförerna kör via Sundom i stället för genom centrum. Men det förutsätter att Myrgrundsbron är i gott skick.

Att graferna skjuter i höjden och att det skakar och vibrerar avslöjar inget om brons bärkraft.

När torsdagskvällens mätning är klar görs en grundlig analys. Först efter det står det klart om bron behöver förstärkas eller om den redan nu är i tillräckligt bra skick för att klara tunga transporter.

LINDA FORTH
linda.forth@vasabladet.fi

Som mest är långtradaren lastad med 250 ton. När den kör över Myrgrundsbron registreras vilken påfrestningen och vibrationen är. Liksom hur mycket bron sänks.

FOTO: LISEN JULIN

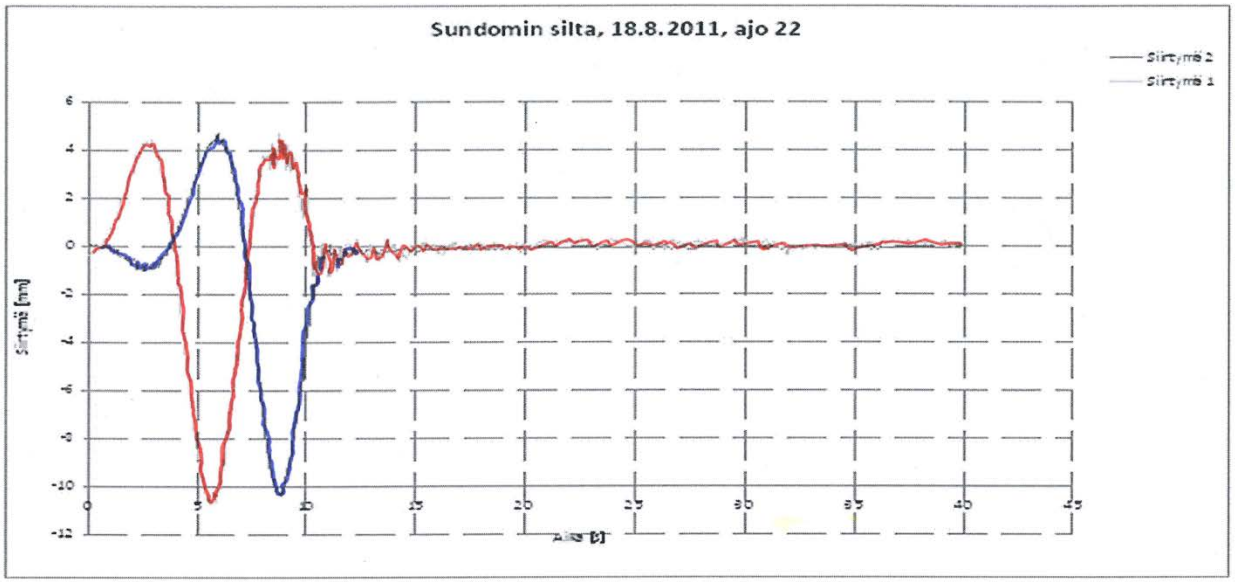
Därför ökar tunga trafiken över Myrgrundsbron

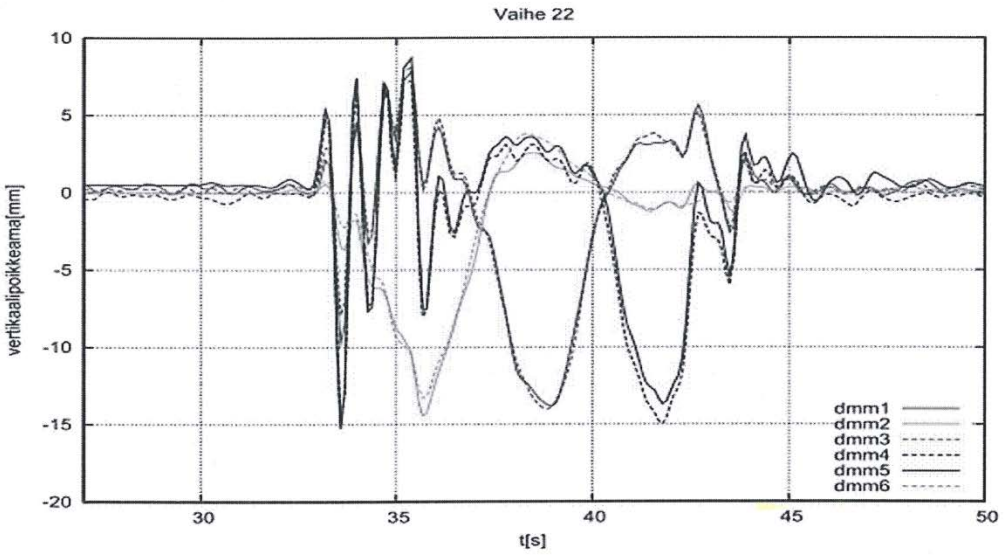
- Vaskiluodon Voimas kolkraftverk förses med en bioförgasanläggning. Följden blir att stora mängder energived, torv och flis ska transporteras.
- När Vasklotbron förstärks och byggs om beräknas det gå åt omkring 19 000 kubikmeter krossgrus för att fylla upp vägbanan. Största delen av gruset körs från grustaget i Sundom.
- Transporter till Sundom i och med att Mervento bygger ett vindkraftverk i Öjen. Tornet blir 125 meter högt och rotordiametern är 118 meter.

Mätningen görs vid nio olika mätpunkter. På datorerna visar grafer hur bron belastas när tunga fordon passerar.

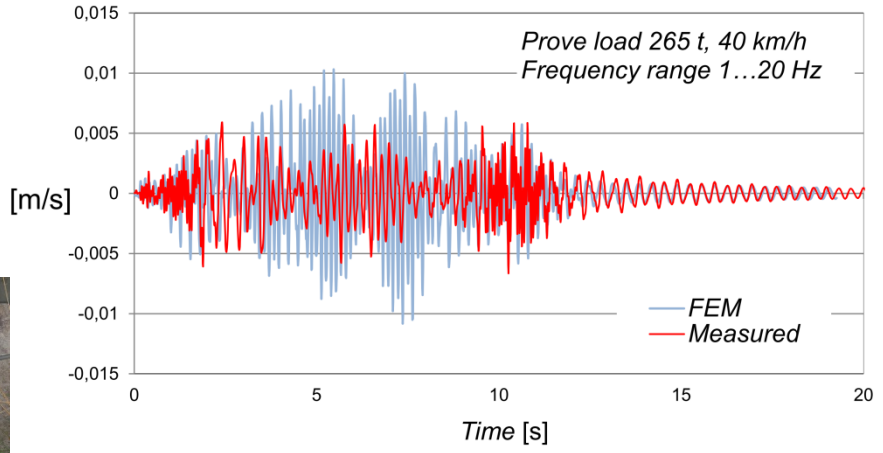
FOTO: LISEN JULIN

HAVATOR
HAVATOR
VOLVO
FH 16
EXX-394

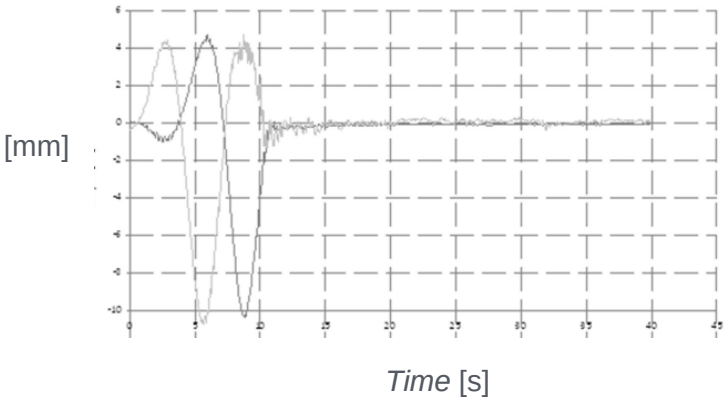

Sundomin silta, 18.8.2011, ajo 22
Siirtymä 2
Siirtymä 1
Siirtymä [mm]
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45


Vaihe 22
vertikaalipoikkeama[mm]
10
5
0
-5
-10
-15
-20
30
35
40
45
50
t[s]
dmm1
dmm2
dmm3
dmm4
dmm5
dmm6

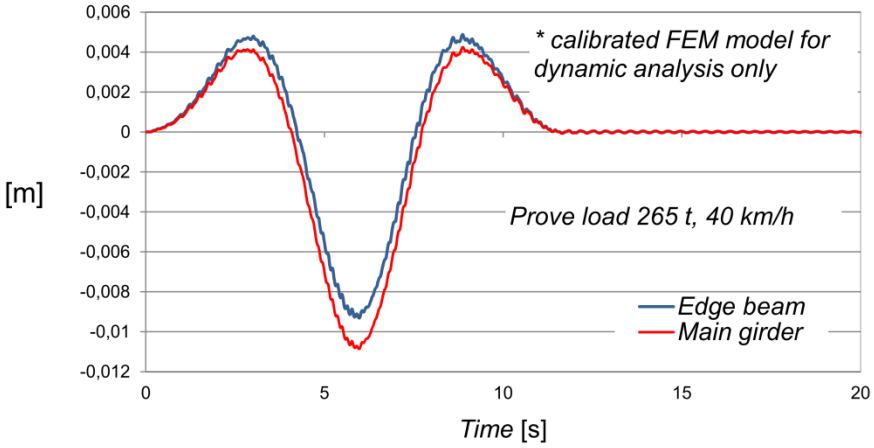
Velocity response at mid-span, vertical component



Measured mid-span and side-span deflections



Computational deflection at mid-span*



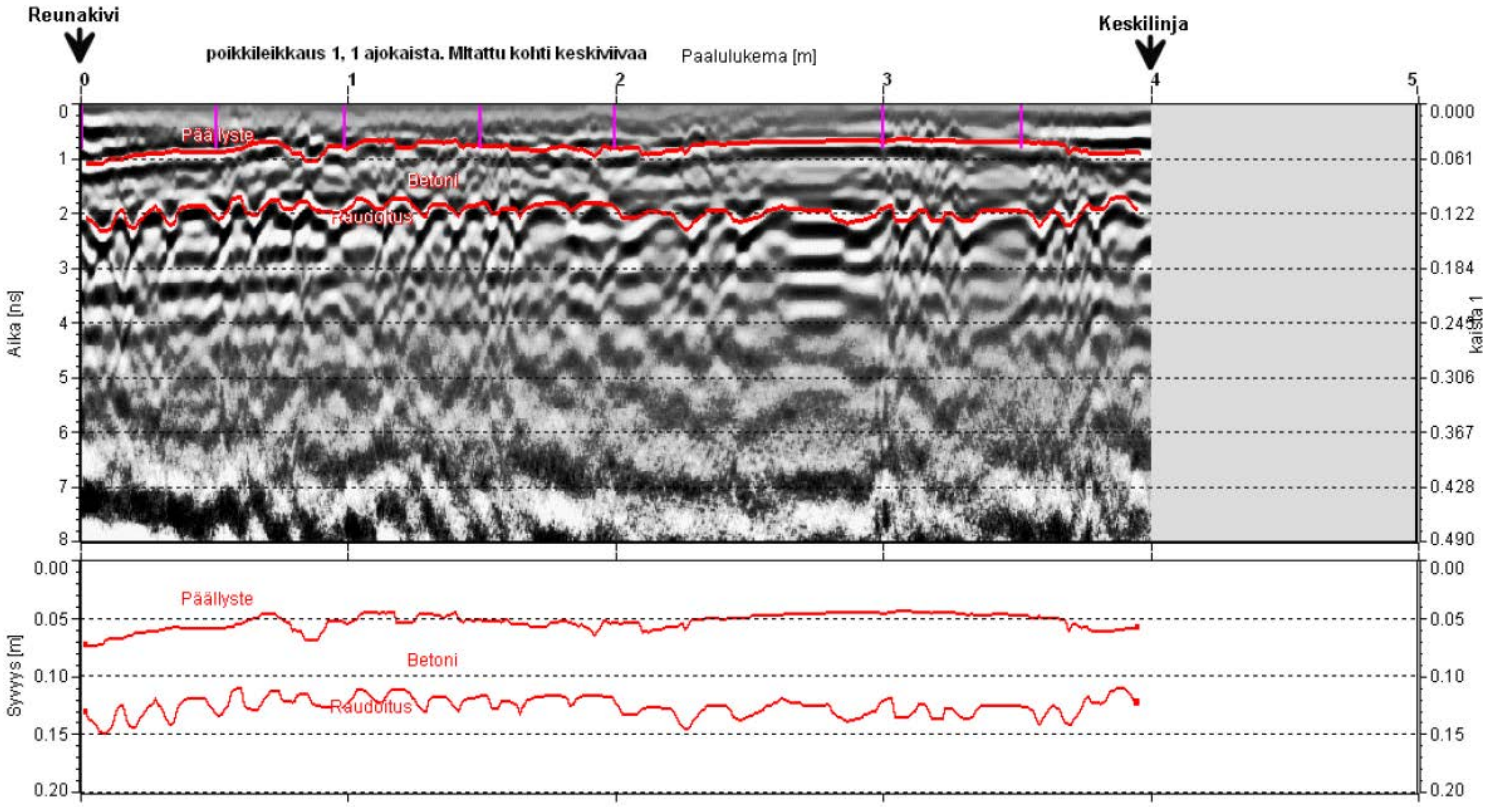
- Material testing results (three bored samples)
  - #1 82.5 MPa
  - #2 68 MPa
  - #3 80 MPa

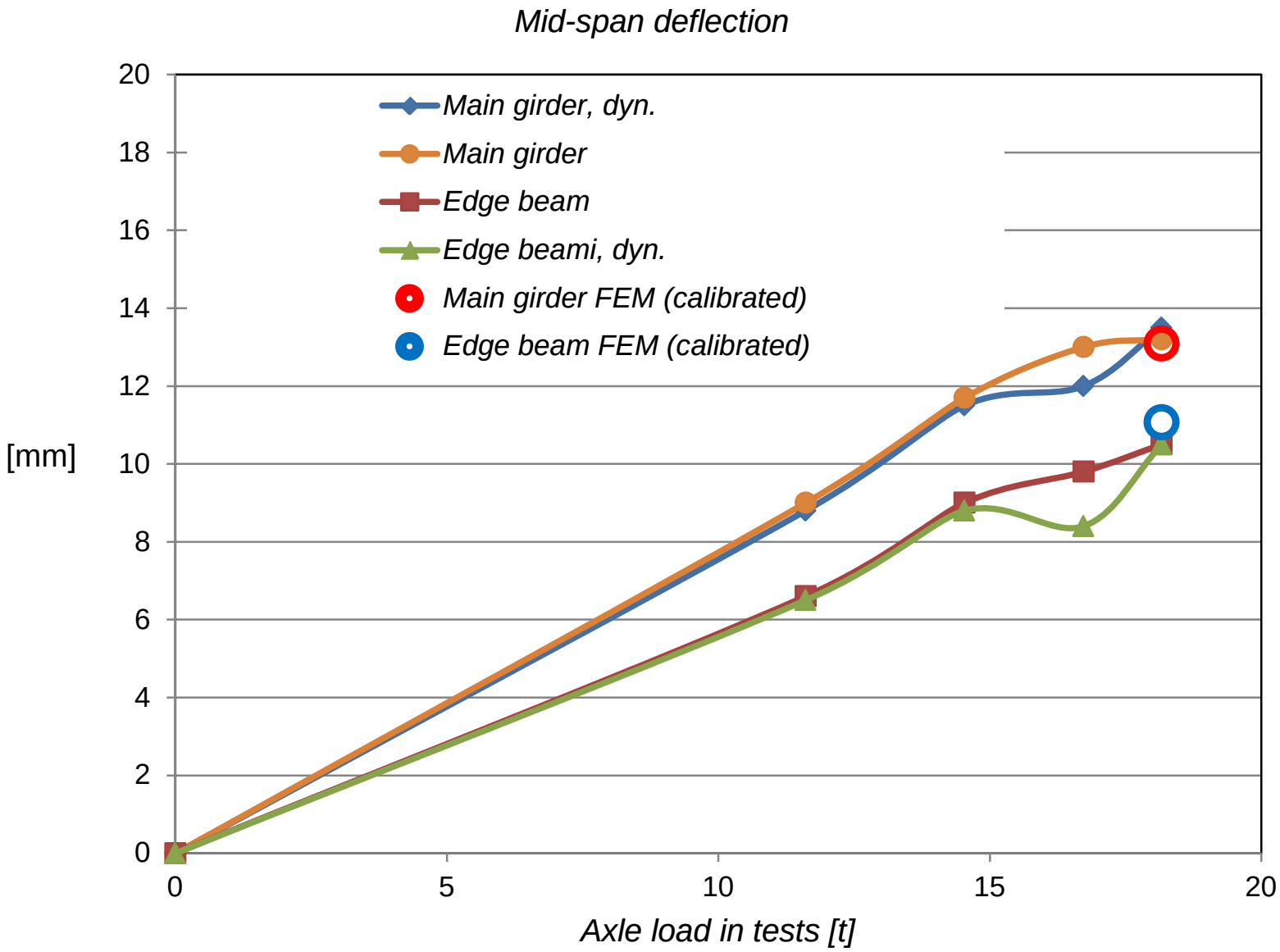
⇒ if assessed by rules for new structures, present strength of concrete = 71 MPa (design value = 40 Mpa)

Modulus of elasticity of concrete:

- 37’000 MPa (original design value)
- 39’000 MPa (improved estimate)
- 46’000 MPa (dynamic)

- depth of the deck surface layer was checked by the ground radar




Mid-span deflection
Main girder, dyn.
Main girder
Edge beam
Edge beami, dyn.
Main girder FEM (calibrated)
Edge beam FEM (calibrated)
[mm]
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
5
10
15
20
Axle load in tests [t]

- lessons learnt from Sundom Bridge
  - bridge deflection in prove testing was 50% of calculated through standard methods (rebar stresses were, however, almost as calculated)
  - non-structural deck elements take stresses. If they fail, dynamic impacts and waterproofing damage may occur
  - structural monitoring for vibrations was useful on understanding and approving the actual behaviour (actual dead load and stiffness)
  - erroneous measurement data should be ignored. Simulations can assist in this
  - in assessment, can one accept:
    - greater material strengths than characteristic design values?
    - greater modulus of elasticity than the nominal value?
    - reduced safety marginal?
  - what other modifications could be accepted to standard calculation methods?

- even if liabilities from potential bridge damage and risks are transferred to the permit holder, does the transport permit still cause liabilities to the bridge owner in the case of disputes?
- if permit will be given, then structural monitoring will be used (required) to detect possible damage

Conclusions

- Actual load resistance and stiffness of existing concrete bridges is complex to determine
  - load testing, structural monitoring and advanced FE-modelling are all useful on modelling the actual static and dynamic response
- successful load-bearing analysis is “90 % bridge engineering assessment, 10 % structural monitoring” (not vice versa!)
- without relevant guidelines for resistance assessments of existing aged bridges and proper background studies, the bridge owner have challenges to accept the use of specific measured design parameters in assessments
- more effort is needed internationally to develop widely accepted design guidelines and practices to use load testing, structural monitoring and material testing data on assessments of existing ageing bridges.