



# VERTAILULASKENTACASE LÖVÖN SILTA

SILTAEUROKOODIEN KOULUTUS  
TERÄS-, LIITTO- JA PUUSILLAT

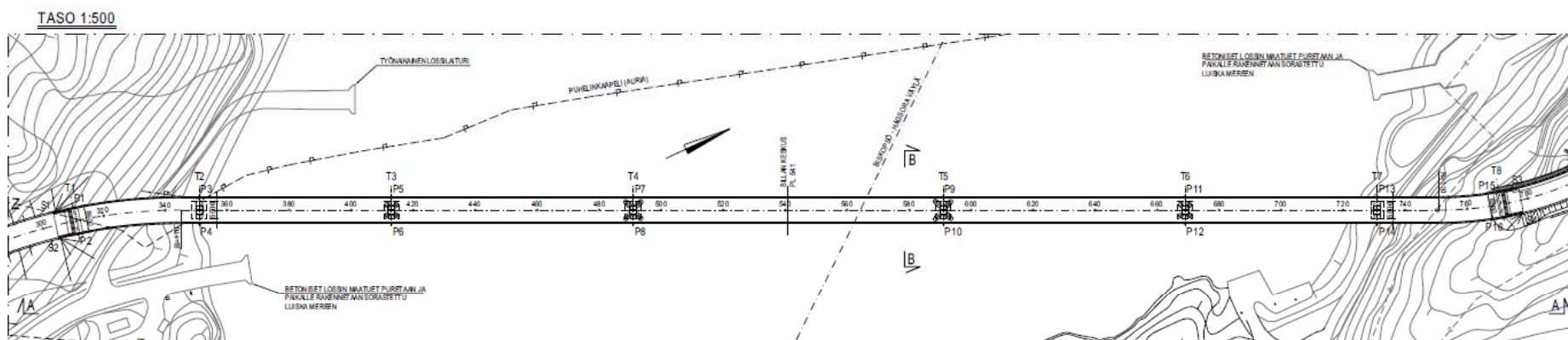
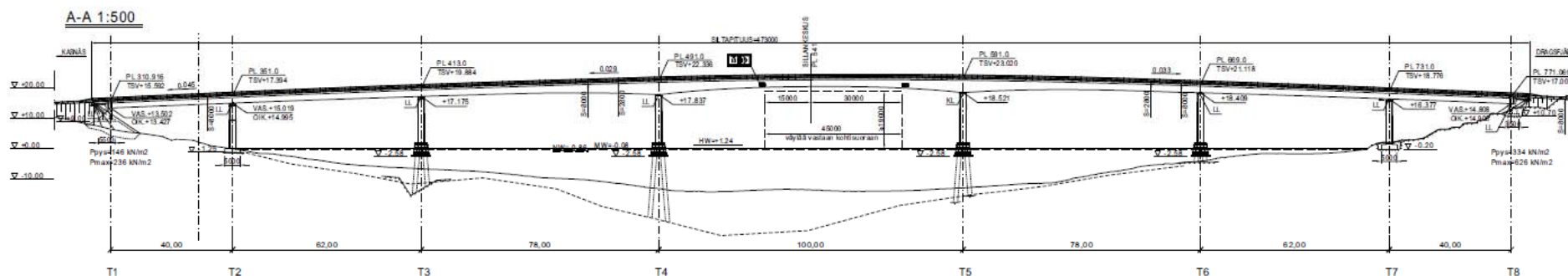
JOUNI TIAINEN JA RAIMO KARHUMAA

# VERTAILULASKENTACASE, LÖVÖN SILTA

## ESITELMÄN SISÄLTÖ

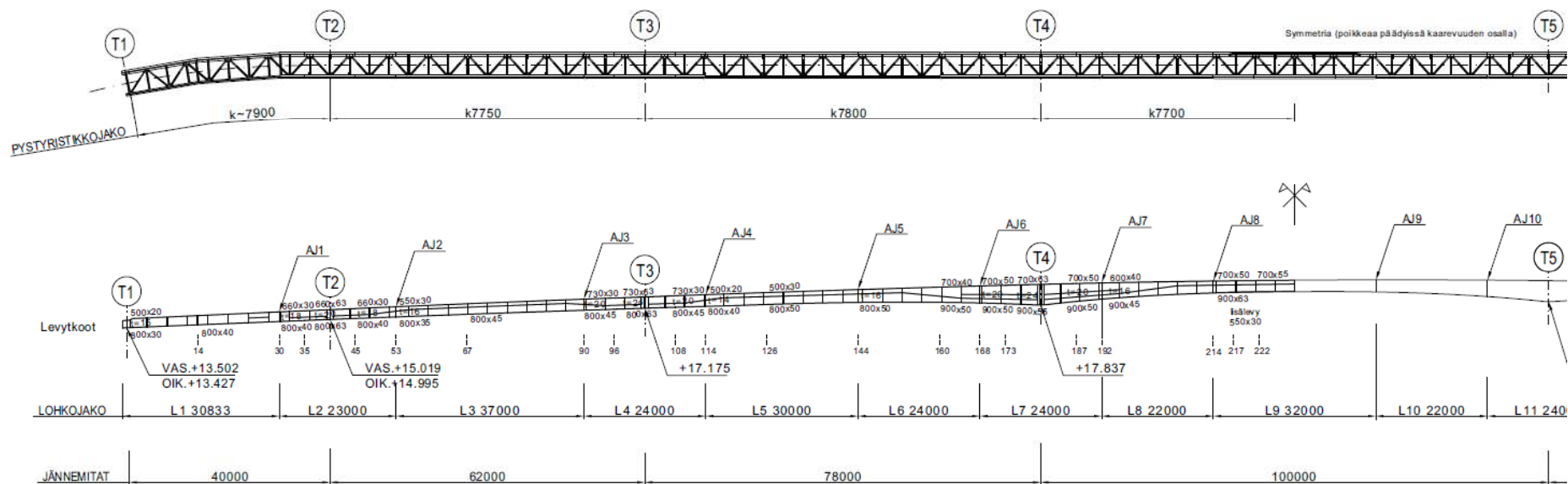
1. Lövön silta
2. Päälysrakenteen rakennemalli (pääpalkkien mitoitus)
3. Liikennekuormat
4. Voimasuure- ja jännitysvertailu
5. Väsytyksimitoitus
6. Poikkileikkausohjelma ja uuman mitoitus (Raimo Karhumaa)

# LÖVÖN SILLAN YLEISPIIRUSTUS



- Siltatyyppi: Betonikantinen jatkuva liittopalkkisilta
- Jännemitat:  $40+62+78+100+78+62+40 = 460$  m
- Hyödyllinen leveys: 8,0 m
- Vapaa-aukko:  $b \times h = 45$  m x 19 m

# TERÄSRAKENTEEN YLEISPIIRUSTUS LÖVÖN SILTA

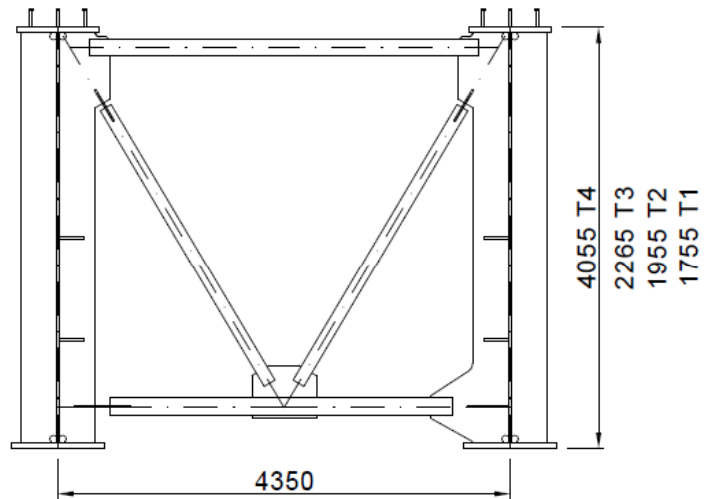


## Teräslaadut:

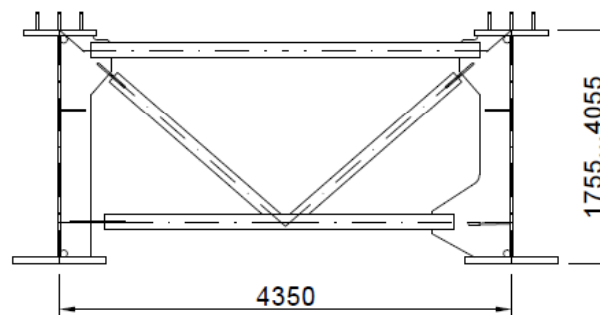
Pääpalkit	S420ML
Varustelu	S355K2+N
Putkipalkit	S355J2H
Vaarnat	S235J2+C450 d22x175

# TERÄSRAKENTEEN POIKKILEIKKAUKSET

Tuet



Aukot



# LÖVÖN SILLAN 3D-MALLI

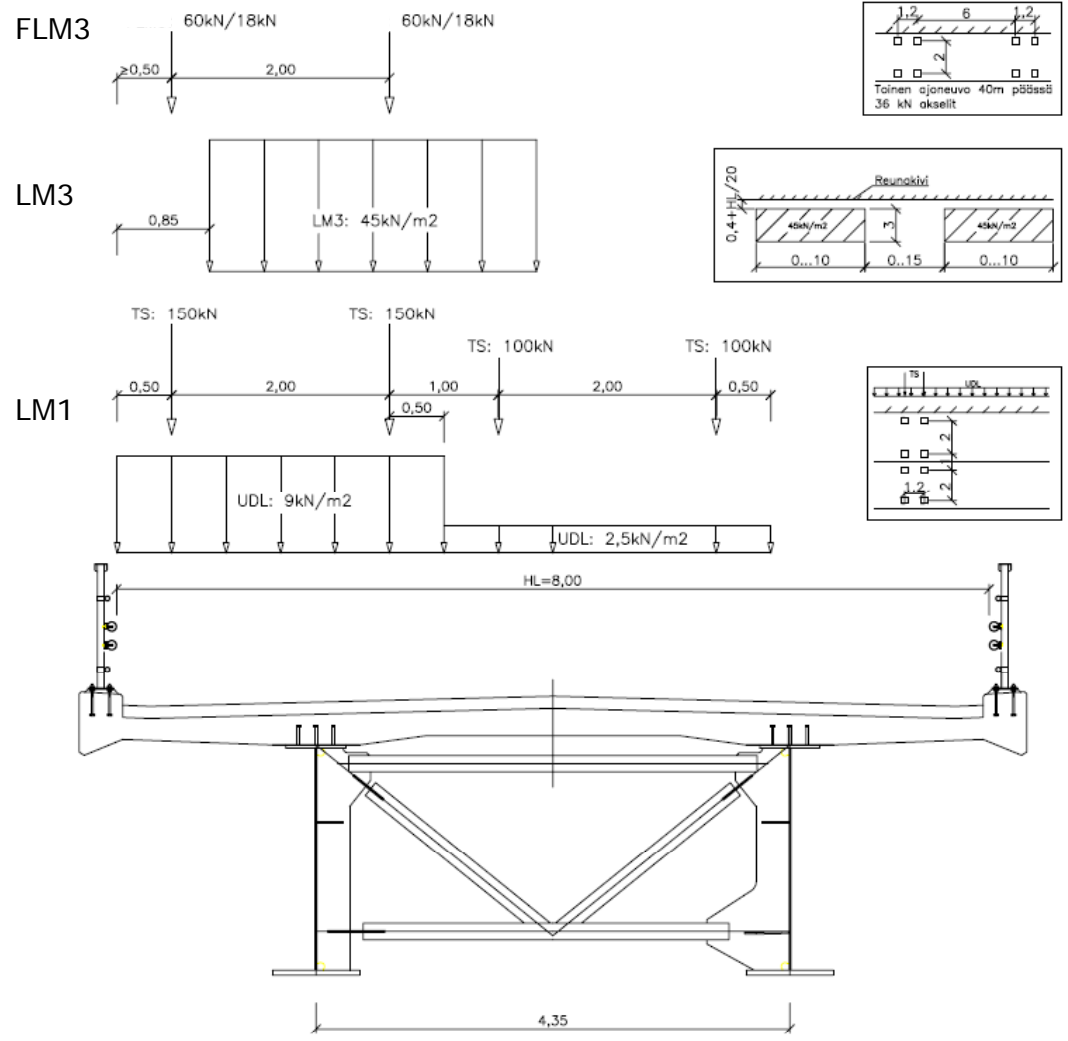


# TERÄSRAKENTEEN ASENNUS NOSTOASENNUKSENA VIIDESSÄ OSASSA



Kuva: Ruukki Oy

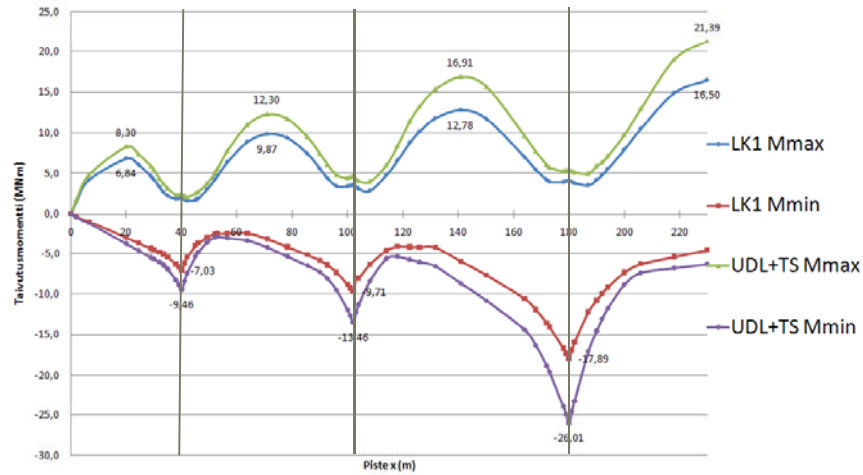
# LIIKENNEKUORMAT LM1, LM3 JA FLM3



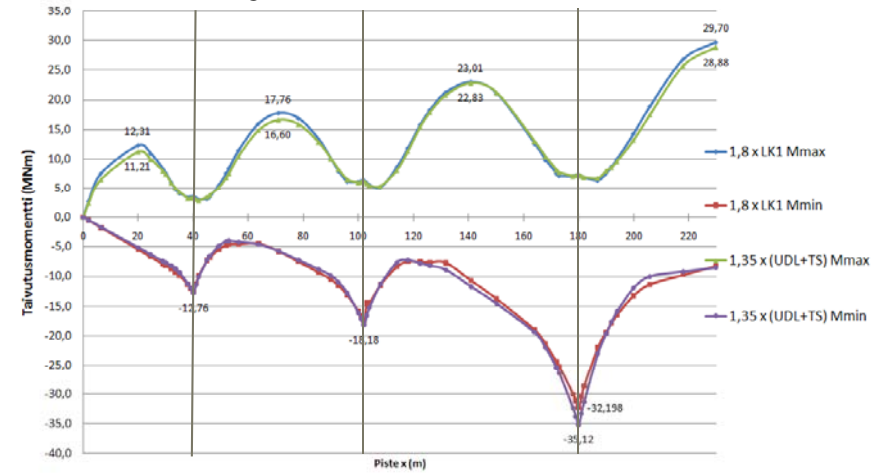


# LIIKENNEKUORMIEN VOIMASUUREVERTAILU

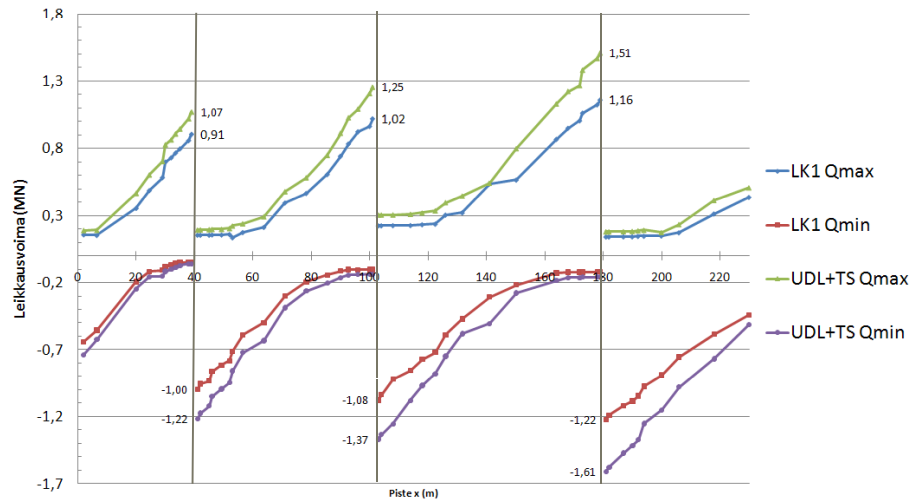
Momentin ominaisarvot



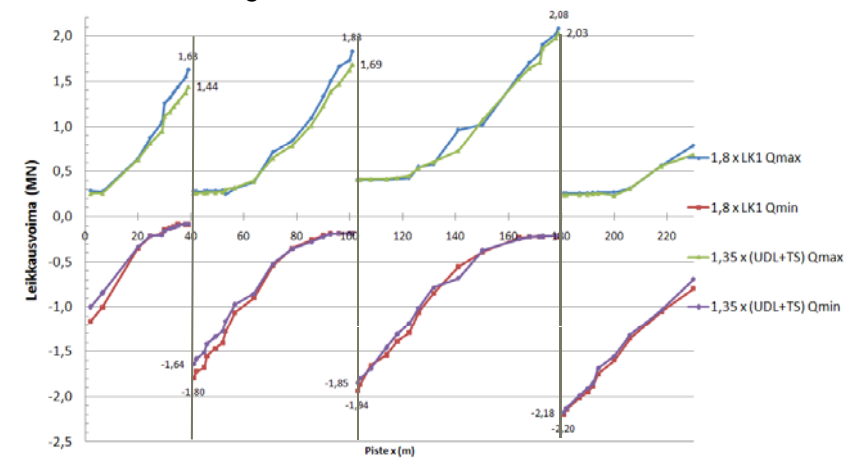
Momentti kerrottuna murtorajatilan varmuusluvulla



Leikkausvoiman ominaisarvot

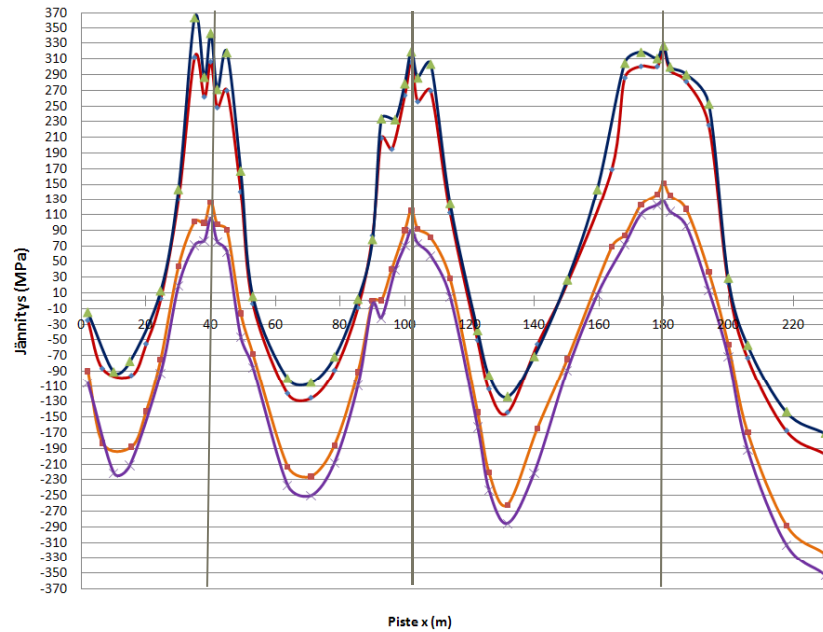


Leikkausvoima kerrottuna murtorajatilan varmuusluvulla

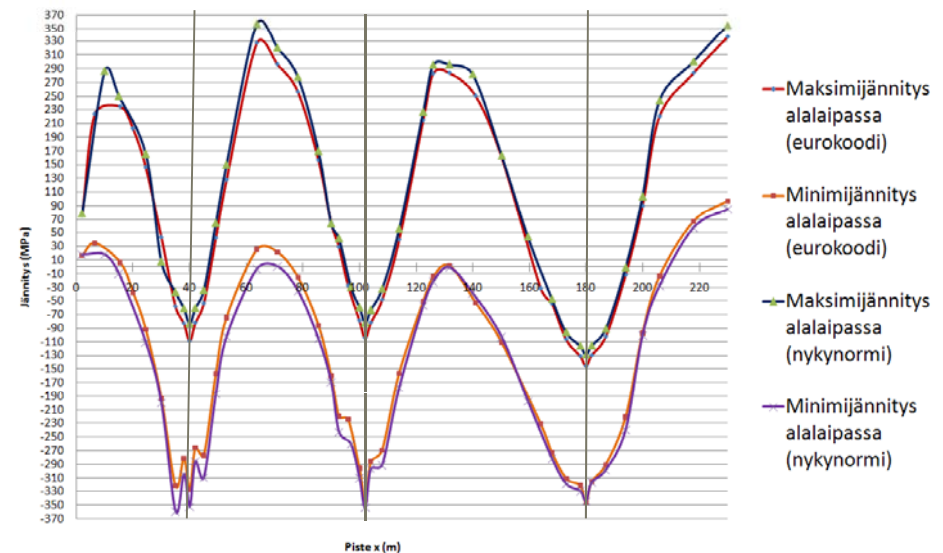


# LAIPPAJÄNNITYSTEN VERTAILU MURTORAJATILASSA

## Ylälaippa (tuilla halkeillut pl)



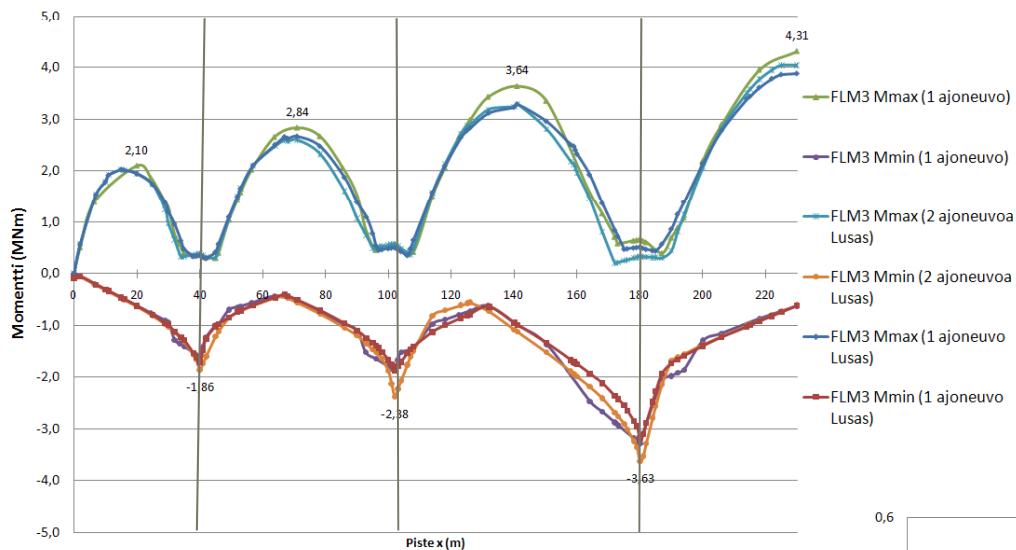
## Alalaippa (tuilla halkeillut pl)



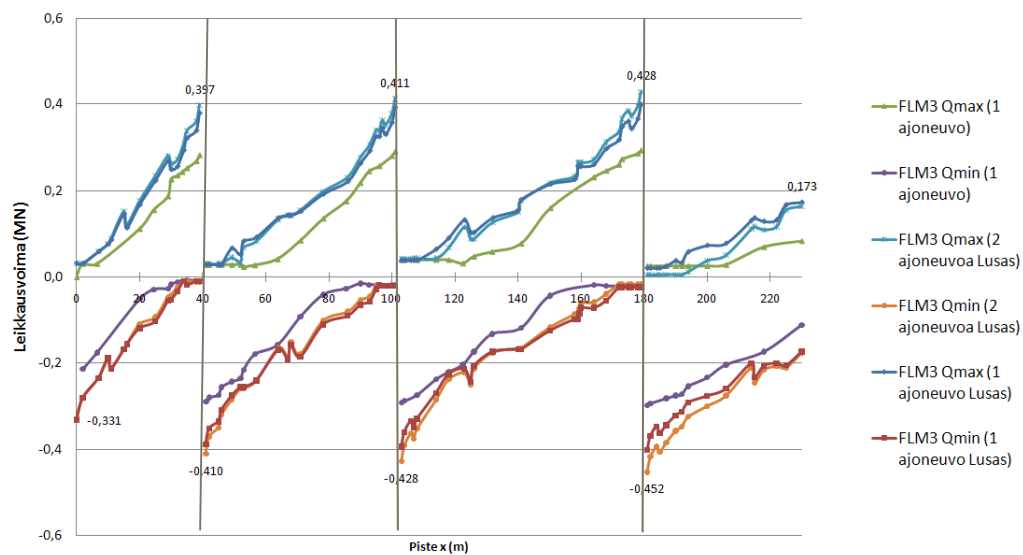
# VÄSYTYSMITOITUS

## FLM3:N VOIMASUUREET, OMINAISARVOT

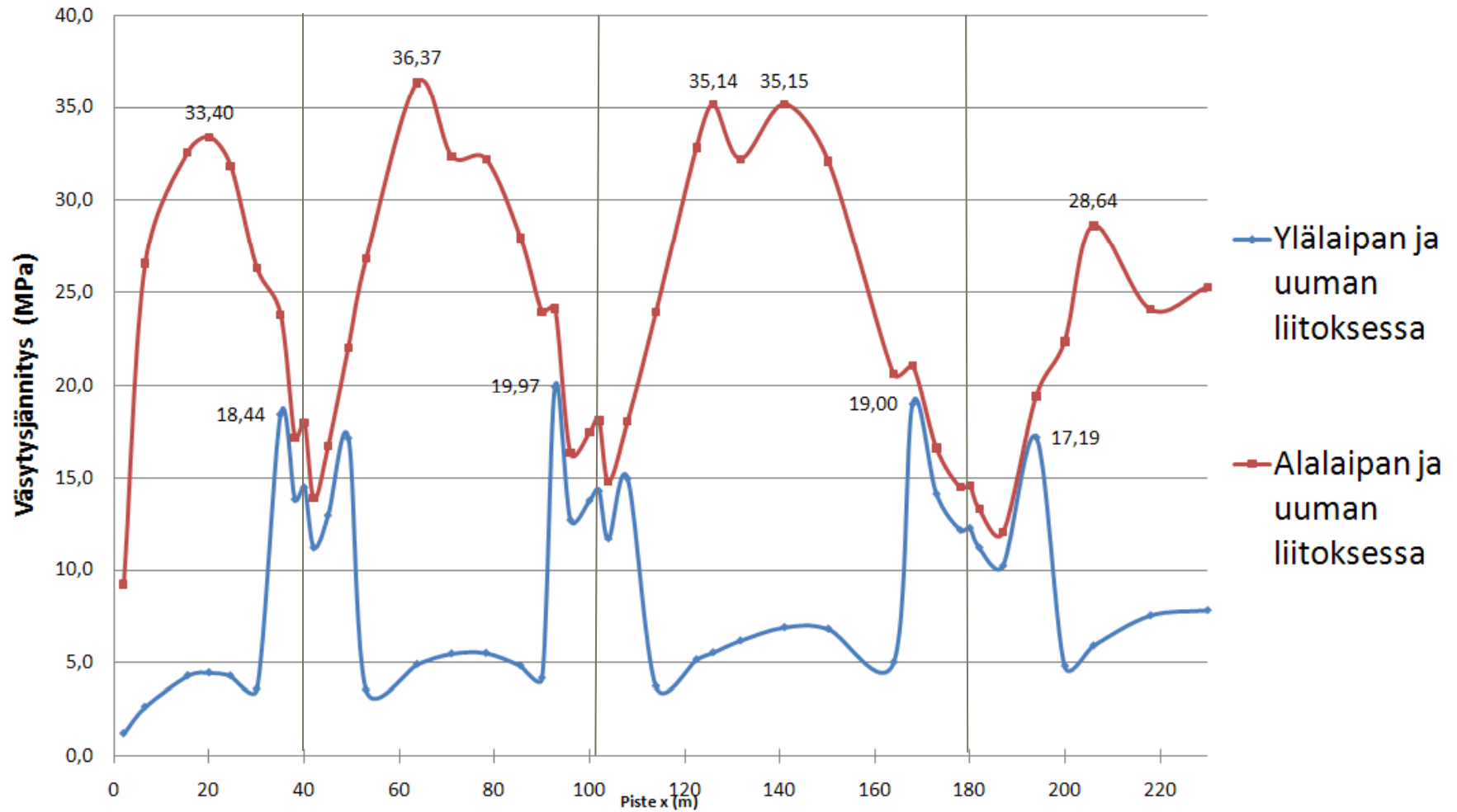
Momentit



Leikkausvoima



# JÄNNITYSVAIHTELU, FLM3



## Rakenneteräs/ vauriokerroin $\lambda$

$$\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4 \leq l_{max}, \text{ kun } L < 80 \text{ m}$$

### Vauriokerroin $\lambda_1$ on liikenteen aiheuttama vauriokerroin

riippuu tarkasteltavan poikkileikkauksen sijainnista

momenteille

sijainti	$L_i$	$\lambda_1$ EN 1993-2 Fig 9.5
T1-2	$L=40 \text{ m}$	$2.55-0.7 \times (40-10)/70 = 2.25$
Tuki T2	$L=(40+62)/2=51 \text{ m}$	$1.70+0.5 \times (51-30)/50=1.91$
T2-3	$L=62 \text{ m}$	2,03
Tuki T3	$L=(62+78)/2=70 \text{ m}$	2,10
T3-4	$L=78 \text{ m}$	1,87
Tuki T4	$L=(78+100)/2=89 \text{ m}$	$2,29 > 2,20$
T4-5	$L=100 \text{ m}$	1,85

### Vauriokerroin $\lambda_2$ on kerroin, joka ottaa huomioon liikenteen määrän

$$\lambda_2 = Q_{m1}/Q_0(N_{obs}/N_0)^{1/5}$$

$Q_{m1}$  = hitaan liikenteen kaistalla olevien kuorma-autojen bruttopainojen keskiarvo

$Q_0$  = 480 kN (FLM3 ajoneuvon paino)

$N_{obs}$  = raskaiden ajoneuvojen lkm vuodessa/suunta taulukosta NA-EN 1991-2, taul. 4.5(FI)

=> käytetään liikenteen luokaa 4, Lövn sillalla raskaita ajoneuvoja 20 kpl/vrk.

- Dragsfjärdin-Käsnäsin maantie on toiminnalliselta luokaltaan yhdystie

- Raskaan liikenteen osuus on noin 5%

$N_0 = 0,5 \times 10^8$

raskaiden ajon.lkm/a	Keskipitkä liikenne	
	$\lambda_2$	
2000000	1,119	
500000	0,848	
125000	0,643	
50000	0,535	(Lövn silta)

=>  $\lambda_2 = 0.535$ , taulukon mukaan keskipitkälle liikenteelle, 50000 raskasta ajoneuvoa/vuosi

### Vauriokerroin $\lambda_3$ huomioi sillan suunnitellun käyttöiän

$$\lambda_3 = (t_{Ld}/100)^{1/5} \quad \Rightarrow \lambda_3 = 1,00 \quad , \text{ kun sillan käyttöikä 100 vuotta}$$

### Vauriokerroin $\lambda_4$ huomioi sillan muilla kaistoilla olevan kuormituksen

$$\lambda_4 = (1 + N_2/N_1(n_2Q_{m2}/n_1Q_{m1})^5)^{1/5}$$

$$n = 1/2 - e/b$$

e = FLM3 kuorman epäkeskisyys sillan kannen keskilinjasta

e1 = 1.75 m , e2 = -1.75 m

b = 4.35 m pääkannattajien väli

$$\Rightarrow n_1 = 0.902 \text{ ja } n_2 = 0.098$$

Qm1 = Qm2 (Samantyyppiset ajoneuvot)

N1 = N2 (Raskaita ajoneuvoja yhtäpaljon molemmilla kaistoilla)

$$\Rightarrow \lambda_4 = 1.0 \quad (\text{määritetty kansallisessa liitteessä})$$

### Vauriokerroin $\lambda$

momenteille

$$\lambda_2 = 0,535 \quad \lambda_2 = 0,643 \quad \lambda_2 = 0,848 \quad \lambda_2 = 1,119$$

sijainti	vaikutusalue	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda_{\max}$
T1-2	x = 0...34 m	<b>1,21</b>	1,45	1,918	2,53	2,00
Tuki T2	x = 34...49.3 m	<b>1,03</b>	1,24	1,633	2,15	2,18
T2-3	x = 49.3...92.7 m	<b>1,09</b>	1,31	1,728	2,28	2,00
Tuki T3	x = 92.7... 113.7 m	<b>1,13</b>	1,36	1,791	2,36	2,52
T3-4	x = 113.7... 168.3 m	<b>1,00</b>	1,20	1,585	2,09	2,00
Tuki T4	x = 168.3... 195 m	<b>1,18</b>	1,42	1,870	2,47	2,70
T4-5	x = 195...265 m	<b>0,99</b>	1,19	1,569	2,07	2,00

## Muut väsytyksmitoituksessa käytetyt kertoimet

### Sysäyskerroin

Sysäyskerroinena väsytykslaskennassa käytetään maantiesilloilla  $\phi_2 = 1.0$ , koska kuormat sisältävät jo valmiiksi sysäyksen vaikutuksen.

### Levyn paksuuden vaikutus väsymislujuteen (Käytetään joissain väsytyksluokissa)

$$k_s = (25/t)^{1/5} \quad t \geq 25 \text{ mm}$$

t = tarkasteltavan levyn paksuus

t	$k_s$
30	0,946
35	0,935
40	0,910
50	0,871
55	0,854
60	0,839

### Aineosavarmuusluvut $\gamma_{MF}$ :

EN 1993-1-9 Table 3.1

Luotettavuustarkastelu	Vaurion seuraukset		
	Pienet	Suuret	Huom
Vaurionsietoperiaate	1,00	1,15	
Varman kestämisen periaate	1,15	1,35	

**Väsymiskestävyyden** määrittämisessä käytetään osavarmuuslukua  $\gamma_{Ff}$ , joka on väsytykskuormien osavarmuusluku, suositusarvo on 1,0

## Väsytystarkastelu

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E,2} < \Delta\sigma_d / \gamma_{Mf}$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \phi_2 \Delta\sigma_p$$

- 1) Ylälaippaan hitsatut vaarnat, väsytyluokka 80, laippaan syntyvä särö, tukialueet (suluissa  $\lambda_2$  vastaavat jännitykset raskaiden ajoneuvojen suuremmilla määrillä)

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \phi_2 \Delta\sigma_p = 1.18 \times 1.0 \times 22 = 26 \text{ MPa (32, 42, 55 MPa)} \quad \text{halkeillut pl}$$

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E,2} < \Delta\sigma_d / \gamma_{Mf} = 80 / 1.35 = 59.3 \text{ MPa}$$

ok

- 2) Alalaippaan hitsattu pystyjäykiste, väsytyluokka 80

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \phi_2 \Delta\sigma_p = 1.00 \times 1.0 \times 35 = 35 \text{ MPa (41, 54, 68 MPa)}$$

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E,2} < \Delta\sigma_d / \gamma_{Mf} = 80 / 1.35 = 59.3 \text{ MPa}$$

ok

- 3) Muutos laipan paksuudessa  $h = 45 \rightarrow 63 \text{ mm}$ ,  $x = 214 \text{ m}$ , väsytyluokka 90

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \phi_2 \Delta\sigma_p = 0.99 \times 1.0 \times 29 = 29 \text{ MPa (35, 46, 58 MPa)}$$

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E,2} < \Delta\sigma_d / \gamma_{Mf} \times (25/t)^{0.2} = 90 / 1.35 \times (25/45)^{0.2} = 59 \text{ MPa}$$

ok

- 4) Lisälevyn päättäminen, Alalaippa  $x = 217 \text{ m}$ , väsytyluokka 56

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \phi_2 \Delta\sigma_p = 0.99 \times 1.0 \times 24 = 24 \text{ MPa (29, 38, 48 MPa)}$$

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E,2} < \Delta\sigma_d / \gamma_{Mf} \times (25/t)^{0.2} = 56 / 1.35 \times (25/63)^{0.2} = 34 \text{ MPa}$$

ok



# Vaarnojen väsytsmitoitus

## Ekvivalentin vauriokerroimen määrittäminen vaarnojen mitoituksessa

$$\lambda_v = \lambda_{v,1} \times \lambda_{v,2} \times \lambda_{v,3} \times \lambda_{v,4}, \text{ kun } L < 80 \text{ m}$$

Vauriokerroin  $\lambda_{v,1}$  on liikenteen aiheuttama vauriokerroin

$$\lambda_{v,1} = 1,55 \text{ kun } L \leq 100 \text{ m}$$

Vauriokerroin  $\lambda_{v,2}$  on kerroin, joka ottaa huomioon liikenteen määrän

$$\lambda_{v,2} = 0,672$$

Vauriokerroin  $\lambda_{v,3}$  huomioi sillan suunnitellun käyttöiän

$$\lambda_{v,3} = 1,0$$

Vauriokerroin  $\lambda_{v,4}$  huomioi sillan muilla kaistoilla olevan kuormituksen

$$\lambda_{v,4} = 1,0$$

$$\lambda_v = \lambda_{v,1} \times \lambda_{v,2} \times \lambda_{v,3} \times \lambda_{v,4} = 1,55 \times 0,672 \times 1,0 \times 1,0 = 1,042 \text{ , ylärajaa ei ole määritetty}$$

## Väsytyksmitoitus vaarnan leikkaukselle; kuormitus FLM3

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\tau_{E,2} \leq \Delta\tau_d / \gamma_{Mf,s}$$

$$; \gamma_{Ff} = 1.0$$

$$; \gamma_{Mf,s} = 1.25 \text{ (Kansallinen parametri)}$$

$$; \lambda_v = 1,042 \text{ , Lövön silta}$$

$$; \Delta\tau_o = 90 \text{ MPa} \text{ ; Vaarnan leikkauskestävyyden väsytyksluokka}$$

$$; \Delta\tau_{E,2} = \lambda_v \Delta\tau_p$$

$$\Delta\tau_p = \Delta V_{L,FLM3} / ((\pi d^2/4) \times (N_i/l_i))$$

d = vaarnan halkaisija = 22 mm

N<sub>i</sub> = vaarnojen lkm matkalla l<sub>i</sub>

ΔV<sub>L,FLM3</sub> = FLM3 aiheuttama työntövoiman vaihtelu

$$\gamma_{Ff} \times \lambda_v \times (\Delta V_{L,FLM3} / ((\pi d^2/4) \times (N_i/l_i))) \leq \Delta\tau_d / \gamma_{Mf,s}$$

$$\Rightarrow N_i/l_i \geq \Delta V_{L,FLM3} \times 38,1 \quad (\text{Lövön sillassa vaarnojen määrä väsytykskuormalle/m})$$

# UUMAN LOMMAHDUSTARKASTELU

Lommahdustarkastelun vaiheet:

- Normaalijännitysten aiheuttamat lommahdusvaikutukset:

Määritetään poikkileikkausluokka

PL1 tai PL2 => Käytetään plastisuusteorian mukaista taivutuskestävyyttä

PL3 => Käytetään kimmoteorian mukaista taivutuskestävyyttä

PL4 => Käytetään tehollisia poikkileikkausarvoja poikkileikkauksen kestävyyksien määrittämisessä

- Leikkauslommahduskestävyys
- M, V –yhteisvaikutus

# Liittopalkkisillan poikkileikkausohjelma

Liittopalkkisillan poikkileikkausohjelma ver 1.0/Jouni Tiainen

Poikkileikkaus piste  x= 182,00 m

Mitat (m):	Laatta	b	h	n1 (Ec/Es)	n2	halk %	raud%/yl	raud%al
Laatta	4,350	0,250		6	18	100	1,00	1,00
Laatan kor	1,000	0,030						
YL 1	0,700	0,063					0,070	0,070
YL2	0,000	0,000						
YL3	0,000	0,000						
Uuma	0,024	3,838						
AL3	0,000	0,000						
AL2	0,000	0,000						
AL1	0,900	0,055						
hpalk		3,956						

et. Pinn

fy/γ

teräs fy= 390 ylälaippa 390  
400 uuma 400  
390 alalaippa 390

Poikkileikkausarvot:

**Halkeillut poikkileikkaus**

	teräspl	n1	n2	
ei = ∑e		2,1889	2,1889	[m]
Ai = Ae + Ao/α + At	0,1857	0,2081	0,2081	[m2]
es = ((Ac/α + At)/Ai)*ei		0,2351	0,2351	[m]
ec = (As/Ai)*ei		1,9537	1,9538	[m]
ey =	1,9184	2,1535	2,1535	[m]
Iz = Is+As*es2+(Ic+Ac*ec2)/α e+At*ec2	0,4678	0,5634	0,5634	[m4]

Kuormat:

	Eps(E-3)	N(MN)	M(MNm)	V(MN)	∅y	∅ty	∅ta	τ	Työntövoima	k
Omap g1	0,00	0,000	-29,343	-1,800	0,00	127,80	-120,32	-19,54	0,000	1,15
Omap g2	0,00	0,000	-10,209	-0,636	2,10	32,66	-39,02	-6,90	0,000	1,15
1.15xPysyvä					2,41	184,53	-183,24	-30,41	0,000	1,15
1.0xPysyvä					2,10	160,46	-159,34	-26,45	0,000	1,0

Jännitykset:

	∅y	∅ty	∅ta	τ	k
Kutist	0,25	0,000	-1,457	0,000	2,43
LM max	0,00	0,000	5,141	0,180	-3,17
LM min	0,00	0,000	-23,188	-1,576	14,28
dT -5C H	0,06	0,000	-0,397	0,000	1,78
dT +5C H	-0,06	0,000	0,397	0,000	-1,78
dT -5C L	0,00	0,000	0,983	0,000	-0,61
dT +10C L	0,00	0,000	-1,966	0,000	1,21
Tuki pain.	0,00	0,000	-0,010	0,000	0,00

Ved σd

	max	min
σd	-2,19	26,10
τ	295,73	-129,43
∅kmax	149,98	-146,81
∅tkmax	235,94	-249,52
τ	-23,81	-43,56

Työntövoima

	Tdmax	0,00 MN/m	Tkmax	0,00 MN/m
	Tdmin	0,00 MN/m	Tkmin	0,00 MN/m

Kuormitusyhdistelyt:

	∅tamax/vast	∅tamin/vast	∅tymax/vast	∅tymin/vast	τmax/vast	τmin/vast
∅tamax/vast	∅vert= 132,4		131,24	-125,79	-23,81	-2,193
∅tamin/vast	∅vert= 321,2		285,99	-307,59	-53,51	-4,929
∅tymax/vast	∅vert= 300,6		285,99	-307,59	-53,51	-4,929
∅tymin/vast	∅vert= 137,6		131,24	-125,79	-23,81	-2,193
τmax/vast	∅vert= 141,2		135,08	-130,42	-23,81	-2,193
τmin/vast	∅vert= 310,3		276,46	-296,09	-53,51	-4,929

Vvast

OK OK

Väsytyssännitys

	N	M	V	Ylä/uuma	Ala/uuma
FLM max	0,000	0,605	0,026	11,21	13,32
FLM min	0,000	-2,889	-0,293		

OK



# LOMMAHDUSTARKASTELU

## PISTE X=182, LÄHTÖARVOT

Poikkileikkaus piste	69		x= 182,00 m				$\gamma_{Mo} =$	1,00					
							$\gamma_{M1} =$	1,10					
							$\eta =$	1,2					
Mitat (m):	Laatta	4,350	0,250	n1 (Ec/Es)	6	n2	18	halk %	100	raud%yl	1,00	raud%al	1,00
	Laatan kor	1,000	0,030			Pituusjäykiste				teras fy=	400 uuma		
	YL 1	0,700	0,063			b (m)		t (m)		390 ylälaippa			
	YL2	0,000	0,000			0,170		0,016		390 alalaippa			
	YL3	0,000	0,000							355 jäykiste			
	Uuma	0,024	3,838			pystyjäyk. väli		m		$\epsilon = v(235/fy)$	0,8 uuma		
	AL3	0,000	0,000			a =		3,850		0,8 ylälaippa			
	AL2	0,000	0,000							0,8 alalaippa			
	AL1	0,900	0,055			Pituusjäykisteitä puristetulla alueella (N=0-2):				0,8 jäykiste			
	hpalk	0,900	0,055			N =		2		betoni f <sub>ck</sub> =			
		3,956				jäyk. yhteensä N <sub>yh</sub> =		2		f <sub>od</sub> =			
Jännitykset uumassa: (puristus posit.)							Jäykisteiden korkeus palkin alapinnasta				raudoitus f <sub>sk</sub> =		
$\sigma_{y\text{lä}}$ =	-286,0		MPa				h <sub>jäyk.1</sub> =		1,015		500		
$\sigma_{u\text{ala}}$ =	308,0		MPa				h <sub>jäyk.2</sub> =		1,974		MPa		
$\sigma_{jäyk.1}$ =	155,7		MPa								$\gamma_s =$		
$\sigma_{jäyk.2}$ =	11,6		MPa								1,15		
uuman puristetun osan korkeus													
h <sub>wc</sub> =	1,990		m										
Taivutusmomentti							Leikkausvoiman mitoitusarvo						
M <sub>Ed</sub> =	91,01		MNm				V <sub>Ed</sub> =		4,93		MN		

# POIKKILEIKKAUSLUOKKA

## PISTE X=182

### Uuma

Negatiivinen taivutus, halkeillut poikkileikkaus

kimmoteorian mukainen

$$\begin{aligned}
 F_s &= 9,717 \text{ MN} & (A_s \cdot f_{sk} / \gamma_s) \\
 F_{a,top} &= 17,199 \text{ MN} & (A_{ts} \cdot f_{yt} / \gamma_{Mo}) \\
 F_{a,web} &= 36,845 \text{ MN} & (A_w \cdot f_{yw} / \gamma_{Mo}) \\
 F_{a,bot} &= 19,305 \text{ MN} & (A_{ti} \cdot f_{yt} / \gamma_{Mo})
 \end{aligned}$$

Jännityssuhde  
 $\psi = \sigma_v / \sigma_p = -0,93$

JOS  $F_s + F_{a,top} < F_{a,web} + F_{a,bot}$  ja  $F_s + F_{a,top} + F_{a,web} > F_{a,bot}$  niin PNA sijaitsee uumassa

PNA sijaitsee Uumassa

PNA sijainti uuman yläpinnasta  $x = 1,523 \text{ m}$

uuman puristetun osan korkeus

$$h_{wc} = 2,315 \text{ m}$$

Suhteellinen puristusosan korkeus uuman plastisen jännitysjakautuman perusteella

$$\alpha = h_{wc} / h_w = 0,60$$

Puristetulla alueella olevan vaakajäykisteen poikkileikkausluokka

Poikkileikkausluokka

PL	tas. puristus
1	
2	
3	OK
4	

Uuman poikkileikkausluokka EN 1993-1-1 taulukko 5.2

PL	$\alpha=0,5$	$\alpha=1$	$0 \leq \alpha < 0,5$	$0,5 < \alpha < 1$
1				
2				
3				
4				OK

Poikkileikkausluokka katsotaan OK-sarakkeen kohdalta

# TEHOLLINEN POIKKILEIKKAUS PISTE X=182

Teräspoikkileikkauksen bruttoarvot

$$A = 0,1857 \text{ m}^2, I = 0,4678 \text{ m}^4,$$

painopisteen paikka alareunasta  $z = 1,918 \text{ m}$

Teräspoikkileikkauksen teholliset arvot

Tehollinen pinta-ala

$$A_{\text{eff}} = 0,1757 \text{ m}^2$$

Tehollinen jäyhyysmomentti painopisteakselin suhteen

$$I_{\text{eff}} = 0,4595 \text{ m}^4$$

teräspl painopiste alar.

$$z_0 = 1,961 \text{ m}$$

Suurin jännitys ylä- ja alalaipassa laskettuna tehollisesta poikkileikkauksesta

Ylälaipassa

$$\sigma_y = 289,6 \text{ MPa}$$

$$\text{Käyttöaste: } 0,742$$

OK

Alalaipassa

$$\sigma_{\text{ta}} = -325,7 \text{ MPa}$$

$$\text{Käyttöaste: } 0,835$$

OK

# LEIKKAUSLOMMAHDUSKESTÄVYYS

## PISTE X=182

### Leikkauslommahduskestävyys

#### Leikkauslommahduskerroin

$$k_{c1} = 9,42$$

$$k_{c1} = 18,73$$

$$k_{c2} = 18,72$$

$$k_{c2} = 12,80$$

Levyille, joissa on yksi tai kaksi pituusjäykistettä  
 $k_{c1} = 12,80$  (1993-1-5 kaava A.6)

Jäykät poikittaiset jäykisteet, ei pituusjäykisteitä. Tai  $N_{j\text{äyk}} > 2$   
 $k_{c1} = 18,73$  (1993-1-5 kaava A.5)

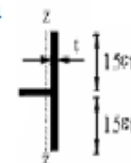
Valitaan  $k_{c1} = 12,80$

Sivusuhte

$$\alpha_1 = a/h_w = 1,00$$

Pituusjäykisteen jäyhyysmomentti (summa)

$$I_{st} = 0,000057 \text{ m}^4$$



#### Leikkauslommahduskestävyys pitää tarkistaa, jos seuraava ehto toteutuu:

$h_w/t \geq 31E\sqrt{k_{c1}/\eta}$  Jäykistetyille uumalle => Pitää tarkistaa!! (1993-1-5 luku 5.1 (2))

Poikittaisjäykisteet tuilla ja poikittaiset välijäykisteet tai pituusjäykisteet tai molemmat

$$\lambda_{w1} = 1,56 \text{ (1993-1-5 kaava 5.6)}$$

$h_{wi}$  ja  $k_{ci}$  tarkoittavat osakenttää,

Uumille, joissa on pituusjäykisteet muunnetun hoikkeuden arvoksi valitaan vähintään

$$\lambda_{w2} = 1,11 \text{ (1993-1-5 kaava 5.7)}$$

jonka muunnettu hoikkuus on suurin

$$h_{wi} = 1,919$$

$$\alpha = a/h_{wi} = 2,01$$

$$k_{ci} = 6,33$$

#### Muunnettu hoikkuus

$$\lambda_w = 1,56$$

Kerroin  $\chi_w$  (jäykkä päätyjäykiste)

$$\chi_w = 0,61 \text{ (1993-1-5 taulukko 5.1)}$$

#### Uuman osuus leikkauskestävyydestä

$$V_{b,Rd} = 11,73 \text{ MN} \text{ (1993-1-5 kaava 5.2)}$$

Laippojen osuus leikkauskestävyydestä (Jos halutaan käyttää hyödyksi. Tässä ei ole otettu laippojen osuutta mukaan kestävyuteen)

Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun vain teholliset laipat otetaan huomioon

$$M_{t,Rd} = 76,51 \text{ MNm}$$

$b_f$  ja  $t_f$  valitaan sen laipan mukaan,

$$b_f = 0,900 \text{ m}$$

$$V_{bt,Rd} = 0,00 \text{ MN} \text{ (1993-1-5 kaava 5.8)}$$

joka antaa pienimmänkestävyyden.

$$t_f = 0,055 \text{ m}$$

$$c = 1,009 \text{ m}$$

#### Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$V_{b,Rd} = 11,73 \text{ MN}$$

(1993-1-5 kaava 5.1)

#### Mitoitusehto leikkausvoiman suhteen

$$\eta^s = 0,420 \text{ OK! Kestää}$$



# M,V -YHTEISVAIKUTUS

## PISTE X=182

Yhteivaikutusehto

$$\eta_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) (2\eta_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{kun} \quad \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad \eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \geq 0,5 \quad (1993-1-5 \text{ kaava } 7.1)$$

Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo

$$M_{pl,Rd} = \boxed{125,70} \text{ MNm}$$

Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun vain teholliset laipat otetaan huomioon

$$M_{f,Rd} = \boxed{76,51} \text{ MNm}$$

Taivutusmomentin suhde taivutuskestävyyteen

$$\eta_1 = \boxed{0,72}$$

$$M_{f,Rd} / M_{pl,Rd} = \boxed{0,61}$$

**Ehdot yhteisvaikutuksen tarkistamiselle**

Jos molemmat ehdot ovat voimassa, niin yhteisvaikutus tulee tarkastaa

$$\eta_3 = \boxed{0,42} < 0,5 \Rightarrow \text{momentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutusta ei tarvitse tarkastaa}$$

$\eta_1 > M_{f,Rd} / M_{pl,Rd} \Rightarrow$  Yhteisvaikutus pitää tarkistaa, jos toinen ehto täyttyy

Yhteisvaikutusehto

EN 1993-1-5 (7.1) = **Ei tarvitse** tarkastaa, koska  $V_{Ed} / V_{bw,Rd} < 0,5$

# VERTAILUTULOKSIA

## PISTE X=182

Eurokoodin mukaan

Taivutuskestävyys

Käyttöaste 0,84

(1 vaakajäyk. =>0,86)

Leikkauslommahduskestävyys

Käyttöaste 0,42

(1 vaakajäyk. =>0,43)

Yhteisvaikutus

Ei yhteisvaikutusta

(1 vaakajäyk. =>Ei yhteisvaikutusta)

Nykynormien mukaan

Osakenttien lommahdus (käyttöasteet)

0,88, 0,42, 0,02

Osakenttien lommahdus (käyttöasteet)

0,25, 0,25, 0,35

Osakenttien lommahdus (käyttöasteet)

0,86, 0,45, 0,34

Lommahdus vaakajäykisteineen

$\nu_B = 1,885 > 1.35$  OK! 0,72

# LOMMAHDUSTARKASTELU

## PISTE X=230, LÄHTÖARVOT

Poikkileikkaus piste	83		x= 230,00 m				$\gamma_{Mo} =$	1,00		
Mitat (m):	b	h	n1 (Ec/Es)	n2	halk %	raud%yl	raud%al	$\gamma_{M1} =$	1,10	
Laatta	4,350	0,250	6	18	0	0,50	0,50	$\eta =$	1,2	
Laatan kor	1,000	0,030					Pituusjäykiste	teräs fy=	420 uuma	
YL 1	0,700	0,055					b (m)	t (m)	390 ylälaippa	
YL2	0,000	0,000					0,170	0,016	390 alalaippa	
YL3	0,000	0,000							355 jäykiste	
Uuma	0,016	2,107					pystyjäyk. väli	m	$\epsilon = v(235/fy)$	0,7 uuma
AL3	0,000	0,000					a =	3,850	0,8 ylälaippa	
AL2	0,550	0,030							0,8 alalaippa	
AL1	0,900	0,063							0,8 jäykiste	
hpalk		2,255								
Jännitykset uumassa: (puristus posit.)			Pituusjäykisteitä puristetulla alueella (N=0-2):						betoni f <sub>ck</sub> =	35 MPa
$\sigma_{y\tilde{a}} =$	309,0	MPa	N =				1	kpl	f <sub>cd</sub> =	19,83 MPa
$\sigma_{u\tilde{a}} =$	-299,0	MPa	jäyk. yhteensä N <sub>yht</sub> =				1	kpl		
$\sigma_{j\tilde{a}y\tilde{k}.1} =$	104,8	MPa	Jäykisteiden korkeus palkin alapinnasta						raudoitus f <sub>sk</sub> =	500 MPa
$\sigma_{j\tilde{a}y\tilde{k}.2} =$	0,0	MPa	h <sub>j\tilde{a}y\tilde{k}.1</sub> =				1,498	m	$\gamma_{s} =$	1,15 MPa
uuman puristetun osan korkeus			h <sub>j\tilde{a}y\tilde{k}.2</sub> =				0,000	m		
h <sub>wc</sub> =	1,071	m	Leikkausvoiman mitoitusarvo							
Taivutusmomentti			V <sub>Ed</sub> =				0,70	MN		
M <sub>Ed</sub> =	63,84	MNm								

# POIKKILEIKKAUSLUOKKA

## PISTE X=230

### Uuma

Positiivinen taivutus, halkeilematon poikkileikkaus

$F_{c,laatta} =$	21,569	MN	$(A_{c,laatta} \cdot f_{cd})$
$F_{c,kor} =$	0,595	MN	$(A_{c,kor} \cdot f_{cd})$
$F_{a,top} =$	15,015	MN	$(A_{ts} \cdot f_{yt} / \gamma_{Mo})$
$F_{a,web} =$	14,159	MN	$(A_w \cdot f_{yw} / \gamma_{Mo})$
$F_{a,bot} =$	28,548	MN	$(A_{ti} \cdot f_{yt} / \gamma_{Mo})$

Jos  $F_{c,laatta} + F_{c,kor} + F_{a,top} + F_{a,web} > F_{a,bot}$ , niin PNA sijaitsee uumassa

PNA sijaitsee Uumassa

PNA sijainti uuman yläpinnasta  $x = 0,411$  m

uuman puristetun osan korkeus

$h_{wc} = 0,411$  m

Suhteellinen puristusosan korkeus uuman plastisen jännitysjakautuman perusteella

$\alpha = h_{wc}/h_w = 0,195$

Uuman poikkileikkausluokka EN 1993-1-1 taulukko 5.2

PL	$\alpha=0,5$	$\alpha=1$	$0 \leq \alpha < 0,5$	$0,5 < \alpha < 1$
1			OK	
2				
3				
4				

Poikkileikkausluokka katsotaan OK-sarakkeen kohdalta

Poikkileikkaus kuuluu

luokkaan 1 => voidaan

käyttää plastisuusteorian

mukaista taivutuskestävyyttä

# LEIKKAUSLOMMAHDUSKESTÄVYYS

## PISTE X=230

### Leikkauslommahduskestävyys Leikkauslommahduskerroin

$$k_{r1} = 5,56$$

$$k_{r1} = 12,09$$

$$k_{r2} = 11,16$$

$$k_{r3} = 9,16$$

Levyille, joissa on yksi tai kaksi pituusjäykistettä

$$k_r = 9,16 \text{ (1993-1-5 kaava A.6)}$$

Jäykät poikittaiset jäykisteet, ei pituusjäykisteitä.  $I$  tai  $N_{j\ddot{a}yk} > 2$

$$k_r = 12,09 \text{ (1993-1-5 kaava A.5)}$$

Valitaan  $k_r = 9,16$

Sivusuhte

$$\alpha_1 = a/h_w = 1,83$$

Pituusjäykisteen jäyhyyshmomentti (summa)

$$I_{st} = 0,000023 \text{ m}^4$$



### Leikkauslommahduskestävyys pitää tarkistaa, jos seuraava ehto toteutuu:

$$h_w/t \geq 31s\sqrt{k_r/\eta} \text{ Jäykistetyille uumalle} \Rightarrow \text{Pitää tarkistaa!!} \text{ (1993-1-5 luku 5.1 (2))}$$

Poikittaisjäykisteet tuilla ja poikittaiset välijäykisteet tai pituusjäykisteet tai molemmat

$$\lambda_{w1} = 1,56 \text{ (1993-1-5 kaava 5.6)}$$

Uumille, joissa on pituusjäykisteet muunnetun hoikkeuden arvoksi valitaan vähintään

$$\lambda_{w2} = 1,29 \text{ (1993-1-5 kaava 5.7)}$$

$h_{wi}$  ja  $k_{ri}$  tarkoittavat osakenttää,

jonka muunnettu hoikkuus on suurin

$$h_{wi} = 1,405$$

$$\alpha = a/h_{wi} = 2,74$$

$$k_{ri} = 5,87$$

### Muunnettu hoikkuus

$$\lambda_w = 1,56$$

Kerroin  $\chi_w$  (jäykkä päätyjäykiste)

$$\chi_w = 0,61 \text{ (1993-1-5 taulukko 5.1)}$$

### Uuman osuus leikkauskestävyydestä

$$V_{bw,Rd} = 4,51 \text{ MN} \text{ (1993-1-5 kaava 5.2)}$$

**Laippojen osuus leikkauskestävyydestä** (Jos halutaan käyttää hyödyksi. Tässä ei ole otettu laippojen osuutta mukaan kestävyuteen)

Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun vain teholliset laipat otetaan huomioon

$$M_{t,Rd} = 65,73 \text{ MNm}$$

$$V_{bt,Rd} = 0,10 \text{ MN} \text{ (1993-1-5 kaava 5.8)}$$

$b_r$  ja  $t_r$  valitaan sen laipan mukaan, joka antaa pienimmänkestävyyden.

$$b_r = 0,900 \text{ m}$$

$$t_r = 0,093 \text{ m}$$

$$c = 1,589 \text{ m}$$

### Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$V_{b,Rd} = 4,51 \text{ MN} \text{ (1993-1-5 kaava 5.1)}$$

### Mitoitusehto leikkausvoiman suhteen

$$\eta_s = 0,154 \text{ OK! Kestää}$$

# M,V -YHTEISVAIKUTUS

## PISTE X=230

### Leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus

Jos  $V_{Ed} / V_{b,Rd} < 0,5 \Rightarrow$  Leikkausvoiman vaikutus taivutusmomenttikestävyyteen voidaan jättää huomioon ottamatta.

Jos  $V_{Ed} / V_{b,Rd} > 0,5 \Rightarrow$  taivutusmomenttikestävyyttä pienennetään käyttämällä leikkauspinta-alalle pienennettyä myötörajaa  $(1-\rho)f_y$

$V_{Ed} / V_{b,Rd} =$    $\Rightarrow$  momentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutusta ei tarvitse tarkastaa

$$\rho =$$
   $\rho = \left( \frac{2 V_{Ed}}{V_{t,Rd}} - 1 \right)^2$  (1994-2 kaava 6.5)

Leikkauspinta-alan (uuman) pienennetty myötöraja

$$f_{yw} =$$
   $\text{Mpa}$

Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo (uumalla pienennetty myötöraja)

$$M_{pl,Rd} =$$
   $\text{MNm}$

**Mitoitusehto taivutuksen suhteen**

$$\eta_1 =$$
  **OK**

# VERTAILUTULOKSIA

## PISTE X=230

Eurokoodin mukaan

Taivutuskestävyys

Käyttöaste 0,79

(Ei vaakajäyk. =>0,79)

Leikkauslommahduskestävyys

Käyttöaste 0,15

(Ei vaakajäyk. =>0,174)

Yhteisvaikutus

Ei yhteisvaikutusta

(Ei vaakajäyk. =>Ei yhteisvaikutusta)

Nykyntörmien mukaan

Osakenttien lommahdus (käyttöasteet)

0,55, 0,98

Osakenttien lommahdus (käyttöasteet)

0,18, 0,10

Osakenttien lommahdus (käyttöasteet)

0,53, 0,92

Lommahdus vaakajäykisteineen

$v_B = 1,370 > 1.35$  OK! 0,985