

# Kevyen liikenteen siltojen mukavuuskriteerit

Vertailulaskelmat – Ville Leskinen

# Kevyen liikenteen siltojen mukavuuskriteerit

---

- ▶ **Kansainväliset ohjeet**
  - ▶ Sétra
  - ▶ JRC
  - ▶ Brittien NA
  - ▶ Eurokoodi 5
- ▶ **Esimerkkisillat ja laskenta**
- ▶ **Tulokset**
- ▶ **Uuden ehdotuksen kehittäminen**



# Ohjeet - Sétra

---

## ▶ Siltaluokat

### ▶ Luokka 4

- ▶ Ei tarvitse tarkistaa värähtelylle

### ▶ Luokka 3

- ▶ Heräte tasaisesti jakautunut kuorma, jonka tiheys  $0,5 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ Luokka 2

- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma  $0,8 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ Luokka 1

- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma  $1,0 \text{ hlö/m}^2$

## ▶ Mukavuusluokat

### ▶ Kolme luokkaa

- ▶ Rajat pystysuuntaiselle värähtelylle

- $0 - 0,5 \text{ m/s}^2$

- $0,5 - 1 \text{ m/s}^2$

- $1 - 2,5 \text{ m/s}^2$



# Ohjeet - JRC

---

## ▶ Silta luokat

### ▶ TC 1

- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma, jossa 15 hlö koko sillan alalla

### ▶ TC 2

- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma, jonka tiheys  $0,2 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ TC 3

- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma, jonka tiheys  $0,5 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ TC 4

- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma, jonka tiheys  $1,0 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ TC 5





- ▶ Tasaisesti jakautunut kuorma, jonka tiheys  $1,5 \text{ hlö/m}^2$




## ▶ Mukavuuskriteerit

- ▶ Samat kuin Sétralla
- 



# Ohjeet - JRC

	<p><b>Individual pedestrians and small groups</b></p> <p>Number of pedestrians: 11</p> <p>Group size: 1-2 P</p> <p>Density: 0,02 P/m<sup>2</sup></p> <p>Note: P = pedestrian</p>
	<p><b>Very weak traffic</b></p> <p>Number of pedestrians: 25</p> <p>Group size: 1-6 P</p> <p>Density: 0,1 P/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Weak traffic</b></p> <p>Here: event traffic</p> <p>Number of pedestrians: 60</p> <p>Group size: 2-4 P</p> <p>Density: 0,2 P/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Exceptionally dense traffic</b></p> <p>Here: opening ceremony traffic</p> <p>Density: &gt; 1,5 P/m<sup>2</sup></p>

Traffic Class	Density $d$ (P = pedestrian)	Description	Characteristics
TC 1*)	group of 15 P; $d=15 P / (BL)$	Very weak traffic	( $B$ =width of deck; $L$ =length of deck)
TC 2	$d = 0,2 P/m^2$	Weak traffic 	Comfortable and free walking Overtaking is possible Single pedestrians can freely choose pace
TC 3	$d = 0,5 P/m^2$	Dense traffic 	Still unrestricted walking Overtaking can intermittently be inhibited
TC 4	$d = 1,0 P/m^2$	Very dense traffic 	Freedom of movement is restricted Obstructed walking Overtaking is no longer possible
TC 5	$d = 1,5 P/m^2$	Exceptionally dense traffic	Unpleasant walking Crowding begins One can no longer freely choose pace



# Ohjeet – Brittien NA

---

## ▶ Silta luokat

### ▶ Luokka A

- ▶ 2 kävelijää

### ▶ Luokka B

- ▶ 4 kävelijää, 1 juoksija tai tasaisesti jakautunut kuorma  $0,4 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ Luokka C

- ▶ 8 kävelijää, 2 juoksijaa tai tasaisesti jakautunut kuorma  $0,8 \text{ hlö/m}^2$

### ▶ Luokka D

- ▶ 16 kävelijää, 4 juoksijaa tai tasaisesti jakautunut kuorma  $1,5 \text{ hlö/m}^2$

## ▶ Eurokoodin mukavuuskriteerit

- ▶  $0,7 \text{ m/s}^2$

- ▶  $0,4 \text{ m/s}^2$  tiheillä väkijoukoilla
- 



# Ohjeet – Eurokoodi 5 (opastava)

---

- ▶ Kiihtyvyyksien kaavat annettu suoraan

- ▶ Kävelyheräte

$$a_{\text{vert},1} = \begin{cases} \frac{200}{M \zeta} & \text{for } f_{\text{vert}} \leq 2,5 \text{ Hz} \\ \frac{100}{M \zeta} & \text{for } 2,5 \text{ Hz} < f_{\text{vert}} \leq 5,0 \text{ Hz} \end{cases}$$

where:

$M$  is the total mass of the bridge in kg, given by  $M = m \ell$  ;

$\ell$  is the span of the bridge;

$m$  is the mass per unit length (self-weight) of the bridge in kg/m;

$\zeta$  is the damping ratio;

$f_{\text{vert}}$  is the fundamental natural frequency for vertical deformation of the bridge.

- ▶ Kävelijäryhmä

$$a_{\text{vert},n} = 0,23 a_{\text{vert},1} n k_{\text{vert}}$$

- ▶ Juoksuheräte

$$a_{\text{vert},1} = \frac{600}{M \zeta} \quad \text{for } 2,5 \text{ Hz} < f_{\text{vert}} \leq 3,5 \text{ Hz}$$



# Esimerkkisillat

---

## Kävelyheräte

- ▶ Jänneväli 50 m
- ▶ Leveys 3 m
- ▶ Massa 2500 kg/m
- ▶ Jäykkyys  $EI = 2,05 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>
- ▶ Vaimennus 1,5 %
- ▶ Ensimmäinen ominaistaajuus 1,7 – 1,8 Hz
- ▶ Taipuma kuormalla 5 kN/m<sup>2</sup> L/850

## Juoksuheräte ja kävelyherätteen toinen kertaluku

- ▶ Jänneväli 37 m
  - ▶ Leveys 3 m
  - ▶ Massa 2500 kg/m
  - ▶ Jäykkyys  $EI = 2,05 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>
  - ▶ Vaimennus 1,5 %
  - ▶ Ensimmäinen ominaistaajuus 3,1 – 3,3 Hz
  - ▶ Taipuma kuormalla 5 kN/m<sup>2</sup> L/2000
- 
- ▶



# Laskenta

---

- ▶ Mallinettiin yhden vapausasteen vaimennettuna värähtelijänä
- ▶ Valmiit kaavat annettu JRC:n ohjeessa
- ▶ Tasaisesti jakautuneelle kuormalle käytettiin JRC:n ja Sétran herätteitä
  - ▶ Ottaa huomioon samaan aikaan astuvien kävelijöiden määrän, sekä todennäköisyyden sille, että kävelyn taajuus osuu sillan ominaistaajuuden kriittiselle alueelle
- ▶ Kävelijä- ja juoksijaryhmille herätteet laskettiin käyttäen Suomen nykyistä käytäntöä
  - ▶ Samat asiat otetaan huomioon kuin tasaisesti jakautuneella kuormalla
- ▶ Eurokoodi 5:n tapauksessa käytettiin suoraan annettuja kaavoja



# Tulokset - Kävelyheräte

	Sétra			JRC				
	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1	TC 1	TC 2	TC 3	TC 4	TC 5
Kävelijäryhmä								
Juoksijaryhmä								
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]	0,5	0,8	1	15/(BxL)				
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	1,05	1,63	2,25	0,48	0,68	1,05	2,25	2,34
	EC 5			Brittien NA				
	Kävelijä	13 kävelijää	UDL	A kävely	B kävely	B juoksu	B UDL	
Kävelijäryhmä	1	13		2	4			
Juoksijaryhmä						1		
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]			0,6				0,4	
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,11	0,32	2,2	0,15	0,21	0,36	0,94	
	Brittien NA			Nykyinen käytäntö				
	C kävely	C juoksu	C UDL	D kävely	D juoksu	D UDL	2 kävelijää	5 kävelijää
Kävelijäryhmä	8			16			2	5
Juoksijaryhmä		2			4			
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]			0,8			1,5		
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,3	0,5	1,29	0,42	0,71	2,34	0,15	0,24
	Ehdotus							
	Luokka 4	Luokka 3	Luokka 3	Luokka 2				
Kävelijäryhmä	1	4						
Juoksijaryhmä			1					
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]				0,5				
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,105	0,21	0,36	1,05				

# Tulokset – Juoksuheräte ja kävelyherätteen toinen kertaluku

	Sétra			JRC						
	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1	TC 1	TC 2	TC 3	TC 4	TC 5		
Kävelijäryhmä										
Juoksijaryhmä										
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]	0,5	0,8	1	15/(BxL)						
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,24	0,34	0,45	0,14	0,17	0,24	0,3	0,45		
	EC 5			Brittien NA						
	Kävelijä	13 kävelijää	UDL	Juoksija	A kävely	B kävely	B juoksu	B UDL		
Kävelijäryhmä	1	13			2	4				
Juoksijaryhmä				1			1			
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]			0,6					0,4		
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,07	0,22	1,1	0,43	0,12	0,17	0,38	0,23		
	Brittien NA			Nykyinen käytäntö						
	C kävely	C juoksu	C UDL	D kävely	D juoksu	D UDL	2 kävelijää	5 kävelijää	1 juoksija	
Kävelijäryhmä	8			16			2	5		
Juoksijaryhmä		2			4				1	
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]			0,8			1,5				
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,24	0,54	0,32	0,34	0,77	0,45	0,12	0,19	0,38	
	Ehdotus									
	Luokka 4	Luokka 3	Luokka 3	Luokka 2						
Kävelijäryhmä	1	4								
Juoksijaryhmä				1						
UDL [hlö/m <sup>2</sup> ]				0,5						
Kiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]	0,08	0,17	0,38	0,24						

# Kehittäminen

---

- ▶ Ehdotuksen kuormat ja luokitus
  - ▶ Juoksijaherätteet kaikkiin luokkiin
- ▶ Mukavuuskriteerit
  - ▶ Luokat (Sétran ja JRC:n tapa)
  - ▶ Yksi raja-arvo (Eurokoodin tapa)
- ▶ Isot herätteet kaupunkien keskustoissa voivat johtaa näyttävämmillä silloilla vaimentimien käyttöön

