

TIESILTOJEN VÄSYTYSKUORMAT

Siltaeurokoodien koulutus – Teräs-, liitto- ja puusillat

29-30.3.2010

Heikki Lilja
Liikennevirasto

MILLE RAKENNEOSILLE TEHDÄÄN VÄSYTYSMITOITUS (TERÄS- JA LIITTOSILLAT)

9.1.2 Design of road bridges for fatigue

EN1993-2

- (1) Fatigue assessments should be carried out for **all bridge components** unless the structural detailing complies with standard requirements for durable structures established through testing.

9.1.1 Requirements for fatigue assessment

- (1) Fatigue assessments should be carried out for all critical areas in accordance with EN 1993-1-9.

The components to be checked under fatigue load in a composite bridge are:

- the structural steel part and its shear connectors,
- the reinforcing steel bars in the concrete slab,
- the concrete of the slab.

SÉTRA

-Tarkastetaan vain määräävät kohdat

- Sovellusohjeessa annettaneen lisäohjeistusta (mm. betonin väsymismitoituksen tarpeesta → tiesilloilla tehdään mahdollisesti vain hankekohtaisesti)**

MITÄ VÄSYTYSKUORMAKAAVIOTA KÄYTETÄÄN?

(2) Seuraavassa määritellään viisi pystysuuntaisten kuormien väsytySKUORMAKAAVIOTA ja ne esitetään kohdissa 4.6.2...4.6.6.

EN1991-2 – 4.6.1

- a) VäsytySKUORMAKAAVIOT 1, 2 ja 3 on tarkoitettu käytettäväksi minkä tahansa kaavion aiheuttamien maksimi- ja minimijännitysten määrittämiseen; monissa tapauksissa vain näiden jännitysten erotusta käytetään standardeissa EN 1992...EN 1999.
- b) VäsytySKUORMAKAAVIOT 4 ja 5 on tarkoitettu käytettäväksi sillan ylittävien kuorma-autojen aiheuttaman jännitysvaihteluvälien spektrin määrittämiseen.
- c) VäsytySKUORMAKAAVIOT 1 ja 2 on tarkoitettu käytettäväksi sen tarkistamiseen, voidaanko väsymiskäyttäjä rajattomana, kun vakioamplitudinen väsymisraja tunnetaan. Ne ovat siksi asianmukaisia teräsrakenteiden kannalta, mutta voivat olla epäasianmukaisia muiden materiaalien kannalta. VäsytySKUORMAKAAVIO 1 on yleensä konservatiivinen ja kattaa usean kaistan vaikutukset automaattisesti. VäsytySKUORMAKAAVIO 2 on täsmällisempi kuin väsytySKUORMAKAAVIO 1, kun useiden kuorma-autojen samanaikaista olemassaoloa sillalla ei tarvitse ottaa huomioon väsymistä tarkasteltaessa. Jos näin ei ole, väsytySKUORMAKAAVIOTA 2 on syytä käyttää vain, jos sen tueksi on käytettävissä tarkempia tietoja. Kansallisessa liitteessä voidaan esittää väsytySKUORMAKAAVIOTEN 1 ja 2 käyttöehdot.
- d) VäsytySKUORMAKAAVIOT 3, 4 ja 5 on tarkoitettu käytettäväksi väsymisiän arviointiin, kun on tarkoitus käyttää hyväksi standardeissa EN 1992...EN 1999 määriteltyjä väsymislujuuden käyriä. Niitä ei pidä käyttää sen tarkistamiseen, voidaanko väsymiskäyttäjä rajattomana. Tästä syystä ne eivät ole numeerisesti vertailukelpoisia väsytySKUORMAKAAVIOTEN 1 ja 2 kanssa. VäsytySKUORMAKAAVIOTA 3 voidaan myös käyttää yksinkertaistetuilla menetelmillä suoritettavaan siltojen mitoituksen kelpoisuuden osoittamiseen, jolloin vuotuisen liikennemäärän ja sillan tiettyjen mittojen vaikutus otetaan huomioon materiaalista riippuvalla sovituskertoimella λ_s .
- e) VäsytySKUORMAKAAVIO 4 on täsmällisempi kuin väsytySKUORMAKAAVIO 3 monentyyppisille silloille ja monentyyppiselle liikenteelle, kun useiden kuorma-autojen olemassaoloa sillalla ei tarvitse ottaa huomioon. Jos näin ei ole, väsytySKUORMAKAAVIOTA 4 on syytä käyttää vain kansallisessa liitteessä määritellyllä tavalla tai jos sen tueksi on käytettävissä kansallisessa liitteessä edellytetyt tarkempia tietoja.
- f) VäsytySKUORMAKAAVIO 5 on yleisluontoisin kaavio, jossa käytetään todellisia liikennettä koskevia tietoja.

MITÄ VÄSYTYSKUORMAKAAVIOTA KÄYTETÄÄN?

4.6 VäsytySKUORMAKAAVIOT

4.6.1 Yleistä

EN1991-2

(1) Silloilla kulkeva liikenne tuottaa jännitysspektrin, joka voi aiheuttaa väsymistä. Jännitysspektri riippuu ajoneuvojen geometriasta, akselikuormista, ajoneuvojen keskinäisistä välimatkoista, liikenteen rakenteesta ja sen dynaamisista vaikutuksista.

(2) Seuraavassa määritellään viisi pystysuuntaisten kuormien väsytySKUORMAKAAVIOTA ja ne esitetään kohdissa 4.6.2...4.6.6.

Liittosillalle FLM3

~~FLM1~~ ~~FLM2~~ **FLM3** ~~FLM4~~ ~~FLM5~~

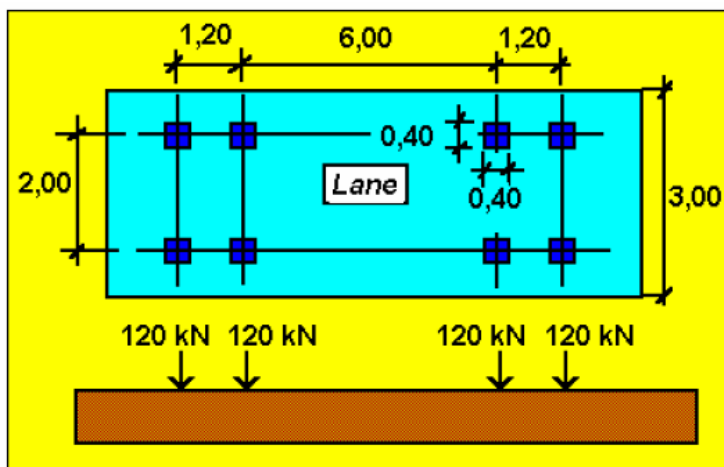
4.6.1 (2) HUOM 2 - Yleistä (kansallisesta liitteestä NA-EN1991-2)

Yksityiskohtien mitoittamisessa (esim. ortotrooppikansi) FLM4

Ensisijaisesti suositellaan käytettäväksi väsytySKUORMAKAAVIOTA FLM 3. VäsytySKUORMAKAAVIOITA FLM 1 ja FLM 2 voidaan käyttää sen tarkastamiseen, voidaanko väsymisikää pitää rajattomana, väsytySKUORMAKAAVION FLM 2 käyttö on sallittua vain, jos sillalla on ainoastaan yksi ajokaista. Asianomainen viranomainen voi antaa hankekohtaisesti lisäohjeita väsytySKUORMAKAAVIOIDEN FLM 4 ja FLM 5 käytöstä.

LIITTOSILLAN VÄSYMISMITOITUS

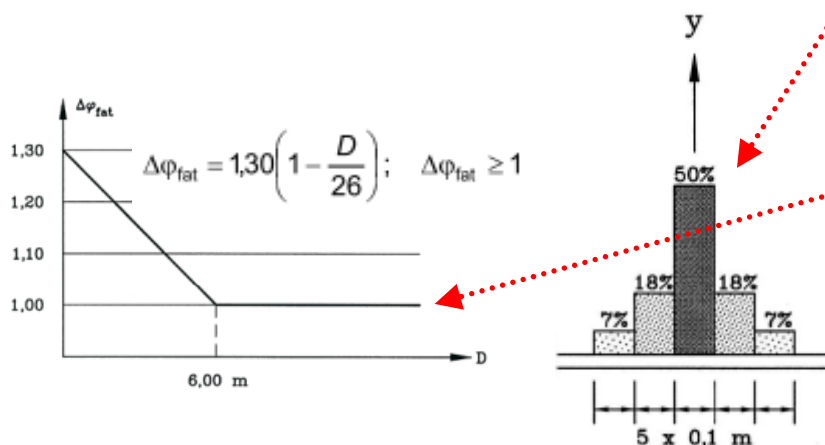
Fatigue Load Model Nr.3 (FLM3)



FLM3

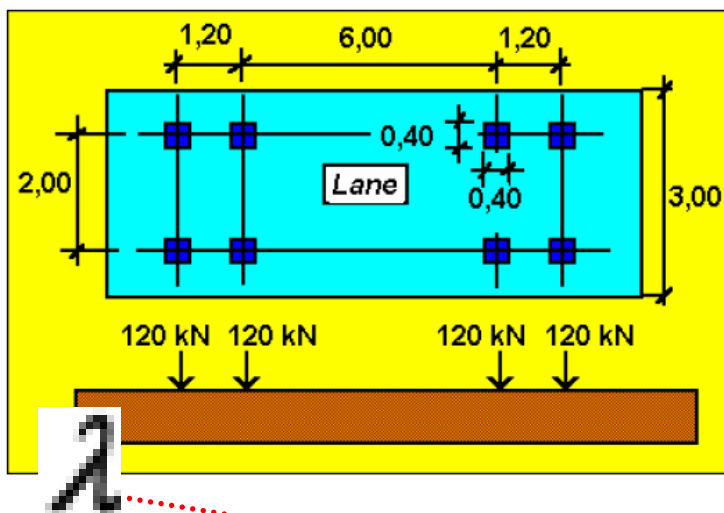
EN1991-2 – 4.6

- Kuormakaaviota FLM3 käytetään yleensä (~aina) liittosillan väsymismitoituksessa Kuormakaavio ajetaan sillan yli (määräävän) kuormakaistan keskellä
- Jos kaavion sijainnilla (poikkisuunnassa) on merkitystä kaavion sijainnin jakauma saadaan kuvasta 4.6 (yleensä merkitys vähäinen liittosillan mitoituksessa)
- Liikuntasaumalaitteiden (ja muiden epäjatkuvuuskohtien) lähellä käytetään dynaamista kerrointa kuvan 4.7 mukaan
- Kun jännemitat ovat >40m käytetään toista samanmuotoista kaaviota jonka akselikuormat ovat 36kN (ajoneuvojen väli k/k 40m)



LIITTOSILLAN VÄSYMISMITOITUS

Fatigue Load Model Nr.3 (FLM3)



FLM3

EN1993-2 - 9.4

- Määritetään kuormakaavion FLM3 aiheuttamat jännitysvaihtelu (ottaen huomioon mahdollisen poikittaisen jakauman vaikutukset edellisen sivun mukaan)

$$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$$

- Saadaan laskennassa käytetty jännitysvaihtelu jota verrataan sallittuun arvoon (tarkemmin seuraavassa esitelmässä)

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda\Phi_2\Delta\sigma_p$$

- Lisäksi otetaan huomioon edellisellä sivulla esitetty sysäyskerroin

$$\Delta\varphi_{sur}$$

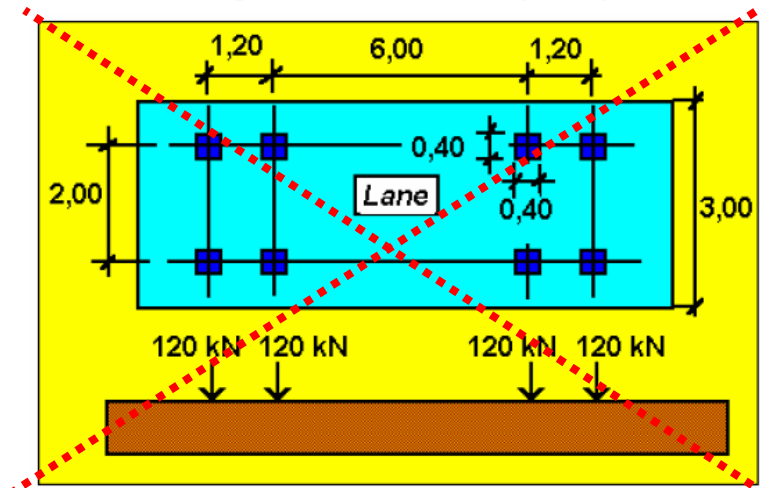
Lamdan määrittäminen → seuraava sivu

”2” → Jännitysvaihteluvälin kertymän vauriovaikutukset esitetään vaurion suhteen ekvivalenttina jännitysvaihteluvälinä, joka vastaa kuormanvaihtelukua $2 \cdot 10^6$

Φ_2 = vaurion suhteen ekvivalentti sysäysluku (tiesilloilla 1,0, sysäys sisältyy väsytySKUORMAN malliin)

LIITTOSILLAN VÄSYMIMITOITUS

Fatigue Load Model Nr.3 (FLM3)



FLM3



Lamdan määrittäminen:

EN1993-2

- Maantiesilloille ekvivalentti vauriokerroin määritetään tulona $\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4$, $\lambda \leq \lambda_{\max}$
- λ_2 on ainoa kerroin joka riippuu liikennekuormista (liikennemäärästä ja painojakaumasta)
- Tässä esityksessä keskitytään λ_2 :een, muut kertoimet esitetään seuraavassa esitelmässä

Huom! Kuormakaaviota FLM3 ei käytetä lainkaan λ_2 :n laskennassa!!!

λ_2 lasketaan:

EN1991-2

- käyttäen raskaan liikenteen määriä jotka löytyvät standardin EN1991-2 taulukosta 4.5(n) (huom. kansallisessa liitteessä taulukkoa on muutettu \rightarrow 4.5(FI))
- raskaan liikenteen jakaumaa joka löytyy standardin EN1991-2 taulukosta 4.7. Lähtökohtaisesti käytetään "Keskipitkän matkan liikennettä". Taulukosta käytetään λ_2 :n laskennassa vain ajoneuvojen kokonaispainoja sekä ajoneuvojen %-jakaumaa (Huom! taulukko 4.7 on itse asiassa väsytySKUORMAKAAVIO FLM4)

LIITTOSILLAN VÄSYMISMITOITUS

λ_2 :n laskentakaava

FLM3



EN1993-2 – 9.5.2

(9.10)

(3) λ_2 lasketaan kaavasta:

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5}$$

missä: Q_{m1} on hitaan liikenteen kaistalla olevien kuorma-autojen bruttopainojen (kN) keskiarvo. Q_{m1} lasketaan kaavasta:

$$Q_{m1} = \left(\frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5}$$

Vaarnoja tutkittaessa eksponentti 5 → 8

SAADAAN TAULUKOISTA 4.5(FI) & 4.7

$$Q_0 = 480 \text{ kN}$$

$$N_0 = 0,5 \times 10^6$$

N_{Obs} on hitaalla kaistalla olevien kuorma-autojen kokonaislukumäärä vuotta kohti, ks. **Virhe**

Q_i on hitaan liikenteen kaistalla olevan kuorman-auton i bruttopaino (kN), jonka toimivaltainen viranomaisen määrittää;

n_i on kuorma-autojen, joiden bruttopaino on Q_i , lukumäärä hitaalla kaistalla toimivaltaisen viranomaisen määrittämisen mukaan.

LIITTOSILLAN VÄSYMISMITOITUS

λ_2 :liikennemäärät (N_{obs})

FLM3

4.6.1 (3) HUOM 1 - Yleistä

NA-EN1991-2, taul. 4.5(FI)

(3) λ_2 lasketaan kaavasta:

$$\lambda_2 = \frac{Q_{ml}}{Q_0} \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5}$$

Taulukko 4.5(FI) – Odotettavissa oleva raskaiden ajoneuvojen lukumäärä vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti

	Liikenteen luokat <i>(jäljossa on esitetty kriteerit liikenteen luokan välille: raskaiden ajoneuvojen määrä/vrk/suunta sillan käyttäjäalussa)</i>	N_{obs} vuotta ja hitaan liikenteen kaistan kohti <i>(Laskennassa käytetty raskaiden ajoneuvojen määrä/vuosi/suunta)</i>
1	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla suuntaa kohti on vähintään 2 kaistaa, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on suuri (> 1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$2,0 \times 10^6$
2	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on keskimääräinen (200...1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,5 \times 10^6$
3	Päätiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (50...200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,125 \times 10^6$
4	Paikallistiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (< 50 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,05 \times 10^6$

Mitoittavien ajoneuvojen lukumäärät taulukosta 4.5(FI) [NA EN1991-2]

Liikenteen luokan mukaan (riippuu raskaan liikenteen määrästä kpl/suunta/pv). Annetaan sillan tuotevaatimuksissa.

n_i on kuorma-autojen, joiden viranomaisen määrityksen

Liikenteen luokat ja arvot esitetään taulukossa 4.5(FI). Asianomainen viranomainen voi antaa hankekohtaisia lisäohjeita liikenteen luokkien ja arvojen määrittelystä.

LIITTOSILLAN VÄSYMISMITOITUS

λ_2 : liikenteen painojakauma

FLM3

λ

N_{Obs}

:n jakauma

EN1991-2, taul 4.7

(3) λ_2 lasketaan kaavasta:

$$\lambda_2 = \frac{Q_{ml}}{Q_0} \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5}$$

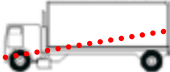




missä: Q_{ml} on hitaan liikenteen kaistalla c lasketaan kaavasta:

$$Q_{ml} = \left(\frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5}$$

Mitoittavien ajoneuvojen
painot ja jakauma taulukosta 4.7
[EN1991-2]

Lähtökohtaisesti käytetään
”Keskipitkää liikennettä”, ellei
sillan tuotevaatimuksissa
muuten määrätä

Taulukko 4.7 Ekvivalenttien kuorma-autojen sarja

AJONEUVOTYYPPI			LIIKENTEEN TYYPPI			
1	2	3	4	5	6	7
	Akseliväli (m)	Ekvivalentit aksellikuormat (kN)	Kauko-liikenne Kuorma- autojen osuus	Keskipitkä liikenne Kuorma- autojen osuus	Paikallis- liikenne Kuorma- autojen osuus	Pyörä- tyyppi
	4,5	70 130	20,0	40,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	10,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90	50,0	30,0	5,0	A B C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	15,0	15,0	5,0	A B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	5,0	5,0	A B C C

en kuor

a oleva

bruttoj
ukaan.

LIITTOSILLAN VÄSYMISMITOITUS

FLM3



λ_2 :n lopulliset arvot:

- kun käyteään taulukkoja 4.5(FI) ja 4.7 saadaan seuraavat (vakio)arvot

Käytetään lähtökohtaisesti keskipitkän matkan liikennettä

Rakenneteräs			
Liikenteen luokka	Kauko-liikenne	Keskipitkä liikenne	Paikallis-liikenne
1	1,22	1,12	0,87
2	0,93	0,85	0,66
3	0,70	0,64	0,50
4	0,59	0,53	0,42

RAKENNETERÄS

(väsytyksen leikkausvoiman jännitysvaihtelulle samalla logiikalla)

Vaarnat			
Liikenteen luokka	Kauko-liikenne	Keskipitkä liikenne	Paikallis-liikenne
1	1,13	1,07	0,89
2	0,95	0,90	0,75
3	0,80	0,75	0,63
4	0,71	0,67	0,56

VAARNAT

Vaarnoille tulee siis eri λ_2 -arvot kuin rakenneteräkselle, tämä johtuu siitä, että vaarnojen S-N-käyrän kaltevuus on 1/8 ja rakenneteräksellä 1/5 (→ laskentakaavassa eri eksponentti)

Loput lamdat Antti Silvennoisen esityksessä...

ORTOTROOPPIKANNEN MITOITUS

FLM4

EN1991-2

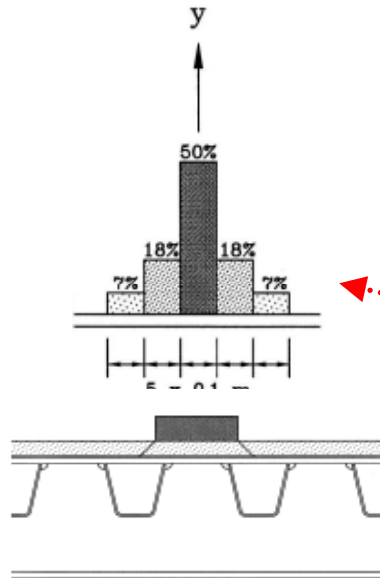
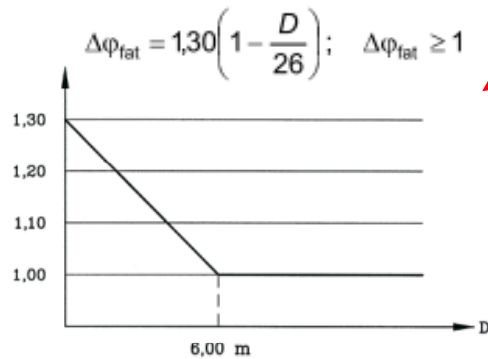


Figure 4.5 - Dispersal of concentrated loads through pavement and orthotropic decks



- ortotrooppikannella käytetään kaaviota FLM4
- Kuormakaavion esittämät (taulukko 4.7) ajoneuvot ajetaan sillan yli kuormakaistan keskellä
- kaavion sijainnin jakauma saadaan kuvasta 4.6 (yksityiskohtien mitoituksessa merkitys suurempi kuin FLM3:n tapauksessa)
- Liikuntasaumalaitteiden (ja muiden epäjatkuvuuskohtien) lähellä käytetään dynaamista kerrointa kuvan 4.7 mukaan
- raskaan liikenteen määrät löytyvät standardin EN1991-2 taulukosta 4.5(n) (huom. kansallisessa liitteessä taulukkoa on muutettu → 4.5(FI))
- raskaan liikenteen jakauma löytyy standardin EN1991-2 taulukosta 4.7. (hankekohtaisesti voidaan muuttaa taulukon 4.7 painoja/jakaumia)
- pyörien ja akselien muoto on esitetty EN 1991-2:n kuvassa 8.2

ORTOTROOPPIKANNEN MITOITUS

FLM4

4.6.1 (3) HUOM 1 - Yleistä

NA-EN1991-2, taul. 4.5(FI)

Taulukko 4.5(FI) – Odotettavissa oleva raskaiden ajoneuvojen lukumäärä vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti

Mitoittavien ajoneuvojen lukumäärät taulukosta 4.5(FI)

[NA EN1991-2]

Liikenteen luokan mukaan (riippuu raskaan liikenteen määrästä kpl/suunta/pv).
Annetaan sillan tuotevaatimuksissa.

Liikenteen luokat		N_{obs} vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti
(sallittuissa on esitetty kriteerit liikenteen luokan valinnalle: raskaiden ajoneuvojen määrä/vrk/suunta sillan käyttöiän alussa)		(Laskennassa käytetty raskaiden ajoneuvojen määrä/vuosi/suunta)
1	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla suuntaa kohti on vähintään 2 kaistaa, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on suuri (> 1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$2,0 \times 10^6$
2	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut liikennemäärä on keskimääräinen (200...1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,5 \times 10^6$
3	Päätiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (50...200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,125 \times 10^6$
4	Paikallistiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (< 50 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,05 \times 10^6$

Liikenteen luokat ja arvot esitetään taulukossa 4.5(FI). Asianomainen viranomainen voi antaa hankekohtaisia lisäohjeita liikenteen luokkien ja arvojen määrittelystä.

ORTOTROOPPIKANNEN MITOITUS






FLM4

N_{Obs}

:n jakauma

EN1991-2, taul 4.7

Taulukko 4.7 Ekvivalenttien kuorma-autojen sarja

AJONEUVOTYYPPI			LIIKENTEEN TYYPI			
1	2	3	4	5	6	7
	Akseliväli (m)	Ekvivalentit aksellikuormat (kN)	Kauko-liikenne Kuorma- autojen osuus	Keskipitkä liikenne Kuorma- autojen osuus	Paikallis- liikenne Kuorma- autojen osuus	Pyöri- tyyppi
	4,5	70 130	20,0	40,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	10,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90	50,0	30,0	5,0	A B C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	15,0	15,0	5,0	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	5,0	5,0	A B C C C

Mitoittavien ajoneuvojen
painot ja jakauma taulukosta 4.7
[EN1991-2]

Lähtökohtaisesti käytetään
”Keskipitkää liikennettä”, ellei
sillan tuotevaatimuksissa
muuten määrätä.

ORTOTROOPPIKANNEN MITOITUS

FLM4

-Pyöräkuormien muoto taulukosta 4.8

MITOITUS:

- 1) Ajetaan taulukon 4.7 ajoneuvot (kokonaislukumäärä N_{obs} taulukosta 4.5(FI), painot ja jakauma taulukosta 4.7) sillan yli kaistan keskellä (huomioiden kuvan 4.6 mukainen poikittainen jakauma)
- 2) lasketaan sillan käyttöiän aikana (yleensä 100 vuotta) tapahtuvat jännitysvaihtelut tutkittavassa rakenneosassa/detaljissa
- 3) lasketaan Minerin säännöllä ”käyttöaste” (seuraavassa esitelmässä ’esimerkki’)

Taulukko 4.8 Pyörien ja akseleiden määrittely

PYÖRÄ-/AKSELI-TYYPPI	MITTOJEN MÄÄRITTELY
A	
B	
C	

MIKÄ ON LÄHTÖTILANNE (SILLAN JÄNNITYSTILA) MISTÄ LÄHDETÄÄN LASKEMAAN VÄSYTTÄVÄN KUORMAN AIHEUTTAMAA JÄNNITYSVAIHTELUA

Lähtötilanteena ns. "Tyhjä silta" = "Basic combination" =
pysyvät kuormat + tukipainuma (jos määräävä) + 0,6xLämpötilakuorma

Basic combination of non-cyclic actions		Fatigue loads
G_{\max} (or G_{\min}) + 1.0 (or 0.0)S + 0.6T _k	+	FLM3
In every section : M_{\max} (or M_{\min}) = M _{a,Ed} + M _{c,Ed}		M _{FLM3,max} and M _{FLM3,min}

ko kaavassa lämpötilakuorma ei ole väsyttävä kuormitus, vaan valitaan se (±) lämpötilakuorma joka on määräävä

(yleensä liittopalkissa:

tuella se lämpötilakuormayhdistely joka aiheuttaa vetoa ylälaippaan

Aukossa se lämpötilakuormayhdistely joka aiheuttaa vetoa alalaippaan)

Tällä on merkitystä etenkin kun tutkitaan betoniteräksen väsytystä. (kuva seuraavalla sivulla)

MIKÄ ON LÄHTÖTILANNE (SILLAN JÄNNITYSTILA) MISTÄ LÄHDETÄÄN LASKEMAAN VÄSYTTÄVÄN KUORMAN AIHEUTTAMA JÄNNITYSVAIHTELUA

Case 1	$\sigma_{c,Ed,max,f} > 0$ $\sigma_{c,Ed,min,f} > 0$
Case 2	$\sigma_{c,Ed,max,f} < 0$ $\sigma_{c,Ed,min,f} < 0$
Case 3	$\sigma_{c,Ed,max,f} > 0$ $\sigma_{c,Ed,min,f} < 0$

**Betoniteräksen
jännitysvaihtelut
(esimerkki)**

[Raoul, Davaine,
Brussels 18-
20.2.2008]

