

Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1



Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja
suunnitteluperusteet – NCCI 1

22.12.2011

Liikenneviraston ohjeita 20/2011

Kannen kuva: Joonas Tulonen

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-733-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Voimassa
22.12.2011 alkaen toistaiseksi

Korvaa
Eurokoodin sovellusohje - Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet,
Liikenneviraston ohjeita 23/2010

Asiasanat
ohjeet, sillat, sillansuunnittelu, siltojen kuormat, eurokoodi

Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1

Tätä sovellusohjetta käytetään yleisten teiden siltojen ja rautatiesiltojen suunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään niiden yksityistiesiltojen suunnittelussa, jotka saavat valtion avustusta sillan rakentamiseen. Siltojen kantavuuden määrittämisestä annetaan ohjeet erikseen. Eurokoodeja ja niihin liittyviä Liikenneviraston sovellusohjeita voidaan soveltaa myös korjauskohteissa, mikäli se on tarkoituksenmukaista.

Tämä sovellusohje on tarkoitettu pienten ja keskisuurten tavanomaisten siltojen (sillan kokonaismitta < 200 m) eurokoodin mukaiseen suunnitteluun. Erikoissilloille (Esim. köysisillat) ja pidemmille silloille voidaan tätä sovellusohjetta käyttää Liikenneviraston hankekohtaisten lisämäärysten kanssa.

Suunnittelussa käytetty kuormitus esitetään siltanimiössä seuraavasti:

Tieliikenteen sillat:

- **LM1 / 1.6.2010**,
- **LM1, LM3 / 1.6.2010** (odotettavissa erityisen raskasta liikennettä)
- **LM1 (Y) / 1.6.2010** (yksitystien sillat)

Kevyen liikenteen sillat:

- **KL / 1.6.2010**

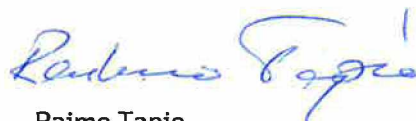
Rautatieliikenteen sillat

- **LM71-35 / 1.6.2010** (akselipaino 35 tonnia)

Kutakin siltoihin liittyvää eurokoodin osaa on käsitelty omassa kappaleessaan A...G. Lisäksi kappaleessa H on esitetty eräitä eurokoodin soveltamisalan ulkopuolelle jääviä asioita sekä Suomessa käytettyjä vakiintuneen käytännön mukaisia menetelmiä.

Liitteessä 1 on esitetty siltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt eri rajatiloissa suunnittelua helpottamaan.

Ylijohtaja



Raimo Tapio

Tekninen johtaja



Markku Nummelin

LISÄTIETOJA
Heikki Lilja
Liikennevirasto
puh. 020 637 3560

Esipuhe

Eurokoodit ovat korvanneet aiemmat siltojen kantavien rakenteiden suunnittelussa käytetyt ohjeet 1.6.2010 lähtien. Tämä soveltamisohje antaa ohjeita sillan suunnittelijalle eurokoodien tulkintaan sekä esittää menetelmiä, joilla eurokoodien vaatimustaso täytetään.

Soveltamisohjeesta on tehty tarkoituksellisesti mahdollisimman pelkistetty eikä kaikkia eurokoodin esittämiä kuormia ole käsitelty, joten tätä ohjetta pitää käyttää rinnakkain eurokoodin standardien SFS-EN 1990/A1, SFS-EN 1991-2 ja SFS-EN 1991-1-1...7 sekä niiden siltoja koskevien kansallisten liitteiden kanssa. Lisäksi tätä soveltamisohjetta kirjoitettaessa on oletettu, että käyttäjä hallitsee kuormien sijoittelun peruseräatteen. Siltoja koskevat kansalliset liitteet on julkaistu liikenne- ja viestintäministeriön ohjeina mm. Liikenneviraston internet-sivuilla

Tämä on soveltamisohjeen NCCI 1 toinen 22.12.2011 versio. Verrattuna 1. versioon (5.11.2010) muutoksia ja tarkistuksia on tehty mm. seuraaviin kohtiin:

- taulukko B.9 lisätty (siirtymärajatilat rautatiesilloille)
- Väsytytkuormakaaviosta FLM 3 poistettu toinen väsyttävä ajoneuvo (B.4.6.4)
- Suistumiskuormien käsittelyä täsmennetty (B.6.7.1)
- Täsmennyksiä käyttörajatilan käytöstä (G.4)
- Värähtelykappaleen alkuun on lisätty yleistä tekstiä (G.4.3.2)
- Lisätty kappale H.13 ”Suomalaiset junatyypit väsymismitoituksessa”
- Kuormitusyhdistelyjä on päivitetty mm.
 - o Murtorajatilan EQU-yhdistelyn osavarmuusluku pysyvien kuormien osalta (1,1/0,9 → 1,15/0,9)
 - o Onnettomuusmitoitustilanteen osalta (sillan kannella oleva liikennekuorma onnettomuustilanteessa)

Lisäksi muihin kohtiin ja liitteisiin on tehty lukuisia joukko pienehköjä muutoksia ja tarkistuksia.

Tämä soveltamisohje on laadittu Liikenneviraston Taitorakentaminen-yksikössä pohjautuen Eurokoodeihin ja niiden kansallisiin liitteisiin. Rautatiesiltojen kuormia koskien konsulttina on toiminut VR Track Oy.

Helsingissä joulukuussa 2011

Liikennevirasto/Investointi
Taitorakentaminen-yksikkö

Sisällysluettelo

A	OMAPAINO (SFS-EN 1991-1-1)	8
A.4	Rakennusmateriaalien ja varastoitavien tuotteiden tilavuuspainot	8
B	SILTOJEN LIIKENNEKUORMAT (SFS-EN 1991-2)	10
B.1	Yleistä	10
B.4	Tieliikennekuormat ja tiesiltoja koskevat kuormat	10
B.4.2	Yleistä	10
B.4.3	Pystykuormat	10
B.4.4	Vaakakuormat	12
B.4.5	Kuormaryhmät	13
B.4.6	Väsytytkuormat	15
B.4.7	Onnettomuuskuormat	18
B.4.8	Siltöjen maatumien ja niihin liittyvien maumien kuormat	18
B.5	Kevyen liikenteen siltöjen kuormat	19
B.5.3	Pystysuorien kuormien staattiset arvot	19
B.5.4	Vaakasuorien kuormien staattiset arvot	19
B.5.5	Kuormaryhmät	19
B.5.6	Onnettomuuskuormat	20
B.5.7	Kevyen liikenteen dynaamiset mallit	20
B.5.9	Siltöjen maatumien ja niihin liittyvien maumien kuormat	20
B.6	Rautatieliikennekuormat ja muut erityisesti rautatiesiltoja koskevat kuormat	20
B.6.1	Soveltamisala	20
B.6.2	Rautatieliikennekuormien erittely syntytapansa mukaan	21
B.6.3	Pystykuormien ominaisarvot (staattiset vaikutukset) sekä kuormituksen epäkeskisyys ja jakautuminen	21
B.6.4	Dynaamiset vaikutukset (resonanssi mukaan luettuna)	24
B.6.5	Vaakasuuntaisten kuormien ominaisarvot	28
B.6.7	Suistumiskuormat ja muut rautatiesiltöjen kuormat	31
B.6.8	Rautatiesiltöjen kuormittaminen liikennekuormilla	32
B.6.9	Väsyttävät liikennekuormat	37
C	TUULIKUORMAT (SFS-EN 1991-1-4)	38
D	LÄMPÖTILAKUORMAT (SFS-EN 1991-1-5)	40
D.6.1	Siltöjen päällysrakenteet	40
E	TYÖNAIKAISET KUORMAT (SFS-EN 1991-1-6)	44
F	ONNETTOMUUSKUORMAT (SFS-EN 1991-1-7)	45
F.3	Mitoitustilanteet	45
F.4	Törmäyskuormat	46
F.4.5	Suistuneen junan aiheuttamat onnettomuuskuormat	49
F.4.8	Laivaliikenteen aiheuttamat onnettomuuskuormat	50
G	KUORMIEN YHDISTELY (SFS-EN 1990/A1 LIITE A2)	51
G.1	Käyttötarkoitus	51
G.2	Kuormien yhdistely	51
G.2.1	Yleistä	51
G.2.2	Yhdistelykertoimien Ψ arvot	51

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)**

G.3	Murtorajatila	53
	G.3.1 Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet	53
	G.3.2 Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteet	55
G.4	Käyttörajatila	56
H	EUROKOODIN SOVELTAMISALAN ULKOPUOLELLE JÄÄVÄT KUORMAT JA MUUT LISÄOHJEET	62
H.1	Jääkuormat	62
H.2	Tukipainuman ottaminen huomioon	63
H.3	Laakerikitka	63
H.4	Maanpaineen käsittely	64
H.5	Vedenpinnan aseman huomioonottaminen	64
H.6	Betonin kutistuminen ja viruminen	64
H.7	Jännevoima	64
H.8	Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarojen määrittäminen	65
H.9	Liikuntasaumalaitteet	66
H.10	Siltalaakerit	66
	H.10.1 Yleistä	66
	H.10.2 Mitoituskuormien määrittäminen	67
	H.10.3 Laakerialusta	70
	H.10.4 Laakerin aluslevyn minimikoon määrääminen	72
	H.10.5 Laskentaesimerkki	73
H.11	Pintarakenteet	76
	H.11.1 Yleistä	76
	H.11.2 Kannen pintarakenteen valinta ja esittäminen suunnitelmassa	76
	H.11.3 Eristysalustan käsittelyjen valinta	77
	H.11.4 Eristysmateriaalin ja eristyksen suojakerroksen valinta	77
	H.11.5 Päällyste ja sen saumat	79
	H.11.6 Vaihtoehtoisen rakenneratkaisun esittäminen ja hyväksyminen rakennusvaiheessa	80
	H.11.7 Täydentävä aineisto	81
	H.11.8 Reunapalkin ja asfaltin välinen sauma	89
H.12	Muut lisäohjeet	90
	H.12.1 Yleistä	90
	H.12.2 Rautatiealue	90
	H.12.3 Ulokesillat	91
	H.12.4 Sillan kuivatus	91
	H.12.5 Varausputket	91
	H.12.6 Siirtymälaatat	92
	H.12.7 Rautateiden varikkojen ja purkukuoppien kuormat	92
H.13	Suomalaiset junatyypit väsymismitoituksessa	93

LIITTEET

Liite 1A – Tiesiltojen kuormien yhdistelytaulukot

Liite 1B – Rautatiesiltojen kuormien yhdistelytaulukot

Liite 1C – Kevyen liikenteen siltojen kuormien yhdistelytaulukot

A Omapaino (SFS-EN 1991-1-1)

A.4 Rakennusmateriaalien ja varastoitavien tuotteiden tilavuuspainot

Pysyviksi kuormiksi katsotaan rakenneosien paino ja muu rakenteeseen vaikuttava muuttumaton kuorma kuten täytteet ja päällysteet, maanpaine sekä kuorma, joka aiheutuu alivedenkorkeudella olevasta vedestä.

Materiaalien tilavuuspainoja esitetään standardissa SFS-EN 1991-1-1 (liitteen A taulukot). Standardin kappaleessa 5.2.3 on esitetty siltoja koskevia lisäsääntöjä. Ellei hankekohtaisesti muuten määrätä, voidaan rakenneosien painoa laskettaessa käyttää seuraavia standardin SFS-EN 1991-1-1 liitteen A taulukoihin perustuvia tilavuuspainoja (yleensä käytetään yläraja-arvoja):

Taulukko A.1 Sillanrakennusmateriaalien tilavuuspainoja

Materiaali	Tilavuuspaino
Betoni	24 kN/m ³
- kovettumaton betoni	25 kN/m ³
- raudoitettu betoni	25 kN/m ³
Sementtilaasti	19...23 kN/m ³
Rakenneteräs	77..78,5 kN/m ³
Valurauta	71...72,5 kN/m ³
Alumiini	27 kN/m ³
Puu (EN338)	
- C14 / C30 / D50 / D70	3,5 / 4,6 / 7,8 / 10,8 kN/m ³
Liimapuu (EN 1194)	
- GL24h / GL36h / GL24c / GL36c	3,7 / 4,4 / 3,5 / 4,2 kN/m ³
Kreosoottikyllästetty puu	6 kN/m ³
Puiset muotit ja telineet	6 kN/m ³
Valuasfaltti ja asfalttibetoni	24..25 kN/m ³
Asfalttimastiksi	18..22 kN/m ³
Jyräasfaltti	23 kN/m ³
Hiekka, kuiva	15..16 kN/m ³
Sepeli ja sora, irtonainen	15..16 kN/m ³
Maabetoni	18,5..19,5 kN/m ³
Murskattu masuunikuona	13,5..14,5 kN/m ³
Sullottu kivimurske	20,5..21,5 kN/m ³

Tiivistyssavi	18,5..19,5 kN/m ³
Rautatiesiltöjen päällyskerros:	
- Betoninen suojakerros	25 kN/m ³
- Normaali sepelikerros	18 kN/m ³
- Basalttisepelikerros	26 kN/m ³
- Pengertäyte	20 kN/m ³
-Suojakiskot	1,5 kN/m
-Yhden raiteen päällysrakenne suoralla radalla (sepeli, pölkkyt ja kiskot)	46 kN/m/raide

Päällysteen painoa laskettaessa varaudutaan lisäpäällystekerrokseen, jonka paino on 1 kN/m².

Tukikerroksen painoa laskettaessa varaudutaan 200 mm lisätukikerrokseen.

A.4.3.1 Siltoja koskevat lisäsäännöt

Standardin SFS-EN 1991-1-1 kappaleessa 5.2.3 esitettyjä eri materiaalien ylä- ja alaraja-arvoja ei tarvitse ottaa huomioon ellei hankekohtaisesti toisin määrätä.

B Siltojen liikennekuormat (SFS-EN 1991-2)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-2 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

B.1 Yleistä

B.4 Tieliikennekuormat ja tiesiltoja koskevat kuormat

B.4.2 Yleistä

B.4.2.1 Kaistajako

Ajoneuvokuorma (dynaaminen suurennusvaikutus mukaan luettuna) määritetään käyttäen kuormakaavioita LM1...LM4. Rakenteen jokainen osa mitoitetaan sille kaaviolle, joka antaa määräävän vaikutuksen. Kuormakaavio LM4 edustaa tungoskuormaa, jonka käyttö voidaan määritellä hankekohtaisesti.

Kuormakaavioiden LM1...LM4 oletetaan kuormittavan sillan pituussuuntaista pintaa, kuormakaistaa, jonka leveys on 3,0 m. Kuormakaistojen lukumäärä ja sijoittelu sillan poikkisuunnassa valitaan siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Kuormakaistojen lukumäärä on enintään se määrä, mikä mahtuu alueelle, minne ajoneuvoilla on pääsy (ajorata ja pientareet). Erityistapauksissa (esim. ajorampit tienristeyksien läheisyydessä, leveät yksiajokaistaisten teiden sillat jne.) määritellään kuormakaistojen lukumäärä hankekohtaisesti.

Sillan kansi (yleensä hyödyllinen leveys) jaetaan 3 metrin kuormakaistoihin. Mikäli hyödyllinen leveys on 5,4...6 metriä asetetaan kannelle kaksi yhtä leveää kuormakaistaa. Kun hyödyllinen leveys on vähemmän kuin 5,4 metriä kannelle asetetaan yksi 3 metrin kuormakaista.

Kuormakaavioiden pystykuormat voidaan jakaa murskekerroksessa suhteessa 2:1 ja pintarakenteissa suhteessa 1:1.

Lisätietoja ks. SFS-EN 1991-2 kohdat 4.2.3, 4.2.4 ja 4.2.5.

B.4.3 Pystykuormat

B.4.3.2 Kuormakaavio LM1

Kuormakaavio LM1 koostuu kuormakaistoille sijoitettavista tasaisesti jakautuneista kuormista $\alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ sekä kahden akselikuorman $\alpha_{QI} \times Q_{ik}$ muodostamista telikuormista. Telikuormien akseliväli on 1,2 m ja ne sijoitetaan sillalle siten, että saadaan mahdollisimman epäedullinen vaikutus. Akseli koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä toisistaan

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)**

sijaitsevasta pyöräkuormasta, jonka kosketuspintana on 0,4x0,4 m neliö (ks. SFS-EN 1991-2 kuvat 4.2a ja 4.2b).

Telit sijoitetaan päällysrakenteita tarkasteltaessa kuormakaistan keskelle. Kannen yksityiskohtia tarkasteltaessa vierekkäisten kuormakaistojen telien pyöräkuormien keskinäinen etäisyys sillan poikkisuunnassa voi kuitenkin olla 0,5 m (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.2b).

Suomessa käytetään yleisillä teillä kertoimien arvoina $\alpha_{qi} = \alpha_{Qi} = 1$. Valtionapua saavien yksityisteiden siltojen mitoituksessa voidaan käyttää kertoimia $\alpha_{qi} = \alpha_{Qi} = 0,8$ (vrt. standardin SFS-EN 1991-2 kohta 4.1(2)).

Edellisillä sovituskertoimilla kerrotut telikuorman ja tasan jakautuneen kuorman ominaisarvot on esitetty taulukossa B1 (vrt. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.2):

Taulukko B.1 Kuormakaavion LM1 kuormien ominaisarvot

Sijainti	Yleiset tied		Valtionapua saavat yksityistiet	
	Telikuorma $2 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ (kN)	UDL q_{ik}/q_{rk} (kN/m ²)	Telikuorma $2 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ (kN)	UDL q_{ik}/q_{rk} (kN/m ²)
Kaista nro 1	2x300	9	2x240	7,2
Kaista nro 2	2x200	2,5	2x160	2
Kaista nro 3	2x100	2,5	2x80	2
Muut kaistat	-	2,5	-	2
Kaistojen ulkopuolinen alue (q_{rk})	-	2,5*	-	2

* kaistojen ulkopuolisen alueen tasainen kuorma voidaan jättää huomioimatta

B.4.3.3 Kuormakaavio LM2

Kuormakaavio LM2 koostuu kuormakaistoille sijoitettavasta akselikuormasta $\beta_Q \times Q_{ak}$, jossa Q_{ak} on 400 kN. Rakennetta voidaan kuormittaa vain akselin toisella pyöräkuormalla ($\beta_Q \times 200$ kN), jos koko akseli ei mahdu ko. rakenteen kohtaan.

Akseli koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevasta pyöräkuormasta, jonka kosketuspintana on 0,35x0,6 m suorakulmio. Kuormakaavion leveys on 3 metriä. Pyöräkuorma voi sijaita reunakiven vieressä. (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.3). Globaaleja vaikutuksia tutkittaessa voidaan kosketuspinta-alaksi olettaa sama 0,4x0,4 m neliö kuin kuormakaaviolla LM1. Liikuntasaumalaitteiden vieressä käytetään dynaamista lisäsuurennuskerrointa standardin SFS-EN 1991-2 kohdan 4.6.1 (6) mukaisesti.

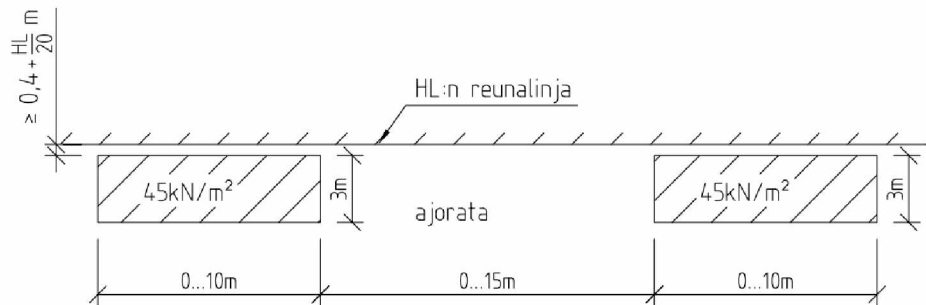
Suomessa käytetään yleisillä teillä kertoimen arvona $\beta_Q = 1$. Valtionapua saavien yksityisteiden siltojen mitoituksessa voidaan käyttää kerrointa $\beta_Q = 0,8$ (vrt. B.4.1 ja standardin SFS-EN 1991-2 kohta 4.1(2)).

Kansallisessa liitteessä valitulla sovituskertoimella β_Q kerrotut akselikuorman ominaisarvot ovat:

- 400 kN: yleisillä teillä
- 320 kN: valtionapua saavilla yksityisteillä

B.4.3.4 Kuormakaavio LM3

Kuvassa B1 esitettyä kuormakaaviota LM3 käytetään, jos silta sijaitsee suurten kuljetusten reitillä tai asianomainen viranomainen on määrännyt sen käytöstä hankekohdaisesti. Kuormakaaviolla mitoitetaan rakenteet murtorajatilassa sekä alusrakenteiden kantavuus. Kuormakaavio sijaitsee yhdellä kaistalla. Muiden kuin suurten kuljetusten reitillä sijaitsevien siltöjen (mukaan lukien valtionapua saavien yksityisteiden sillat) kohdalla kuormakaavion LM3 käytöstä voidaan määrätä hankekohdaisesti.



Kuva B.1 Kuormakaavio LM3

Asianomainen viranomainen voi määrittää täydentäviä käyttöehtoja myös hankekohdaisesti (esim. voidaan sopia standardin SFS-EN 1991-2 liitteessä A esitettyjen vakio-kaavioiden käytöstä)

B.4.3.5 Kuormakaavio LM4

Kuormakaavio LM4 edustaa tungoskuormaa ja sen käytöstä määrätään hankekohdaisesti. Kuormakaaviossa kuormana on tasaisesti jakautunut kuorma 5 kN/m^2 , joka jaetaan sillalle niin, että siitä syntyy määräävä vaikutus. Kuorma voidaan sijoittaa tarvittaessa myös keskialueelle.

B.4.4 Vaakakuormat

B.4.4.1 Jarrutus- ja kiihdytyskuormat

Ajoneuvon jarrutuksen ja kiihdytyksen aiheuttaman vaakasuora jarrukuorma Q_{lk} vaikuttaa pituussuuntaisesti ajoradan pinnan tasolla. Kuorman voi olettaa jakaantuvan tasaisesti koko ajoradan leveydelle. Kuorman ominaisarvo Q_{lk} lasketaan kaavalla:

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{q1}(2Q_{1k}) + 0,10\alpha_{q1}q_{1k}w_1L \quad (\text{B.1})$$

Edellisissä kappaleissa esitetyin sovituskertoimin Suomessa käytettävät jarrukuorman arvot ovat:

- $360 + 2,7 \times L$ [kN] : yleisillä teillä
- $288 + 2,16 \times L$ [kN] : valtionapua saavilla yksityisteillä

Määriteltäessä jarrukuormaa tarkoitetaan siltakannen pituudella todellista yhtenäisen sillan osan pituutta, ts. pituutta, joka vastaa etäisyyttä kahden sellaisen ylimenolaitteen välillä, jotka eivät siirrä vaakakuormia.

Rakenteet, jotka voidaan kuormittaa kahdesta tai useammasta sillan osasta aiheutuvalla jarrukuormalla, mitoitetaan yhdelle (määrävälle) jarrukuormalle Q_{lk} .

Suomessa käytetään jarrukuorman ylärajana 500 kN.

Liikuntasaumoihin ja yhden akselin kuormittamiin rakenneosiin vaikuttava vaakasuuntainen kuorma saadaan kaavalla

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{Q1}Q_{1k} \quad (\text{B.2})$$

Edellisissä kappaleissa esitetyin sovituskertoimin liikuntasaumoihin ja yhden akselin kuormittamiin rakenneosiin vaikuttavat vaakasuuntaiset kuormat ovat:

- 180 kN : yleisillä teillä
- 144 kN : valtionapua saavilla yksityisteillä

Jarrukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään 20 mm.

B.4.4.2 Keskipakokuorma ja muut vaakasuuntaisesti vaikuttavat kuormat

Keskipakokuorma Q_{tk} vaikuttaa valmiin ajoradan pinnan korkeudella ajoradan säteen suunnassa pistekuormana missä tahansa kannen poikkileikkauksessa, joka sijaitsee säteen r alueella. Voiman Q_{tk} ominaisarvo, jossa dynaamiset vaikutukset ovat mukana, saadaan taulukosta B2.

Taulukko B.2 Keskipakokuorman ominaisarvo

Q_{tk} [kN]	r [m]
$0,2Q_v$	200
$40Q_v/r$	200..1500
0	1500

r = ajoradan keskiviivan vaakasäde

Q_v = kuormakaavion LM1 telien pystysuuntaisten pistekuormien summa

Suomen kansallisilla valinnoilla $Q_v = 600$ kN mikäli siltakannelle mahtuu vain yksi kaista, 1000 kN kun sillalle mahtuu 2 kaistaa ja 1200 kN kun sillalle mahtuu > 2 kaistaa.

Vinosta jarrutuksesta tai sivuluisusta aiheutuva poikittainen kuorma Q_{trk} on 25 % pituussuuntaisesta jarru- tai kiihdytyskuormasta Q_{lk} . Kyseinen kuorma vaikuttaa samanaikaisesti kuorman Q_{lk} kanssa.

Valtionapua saavilla yksityisteiden silloilla voidaan käyttää sovituserrointa 0,8.

Sivukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään 20 mm.

B.4.5 Kuormaryhmät

Eurokoodissa liikennekuormia ei yhdistellä sellaisenaan muiden kuormien kanssa (kuten aiemmissa Tiehallinnon ohjeissa). Eurokoodissa muodostetaan liikennekuor-

Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)

mista (pysty- ja vaakakuormista) ns. kuormaryhmiä, joita käsitellään yksittäisinä kuormina kuormitusyhdistelyissä. Tieliikenteen silloilla kuormaryhmiä on yhteensä kuusi kappaletta, eivätkä ne voi esiintyä samanaikaisesti kuormitusyhdistelyssä. Tieliikenteen siltojen kuormaryhmät on esitetty taulukossa B3.

Taulukko B.3 Tieliikenteen siltojen kuormaryhmät

Taulukko 4.4a (F) - Liikennekuormaryhmien määrittäminen (useasta komponentista muodostuvien kuormitusten ominaisarvot)

AJORATA PIENTARENEEN								Kevyen liikenteen väylä
Pystykuormat				Vaakakuormat			Vain Pystykuorma [EN 1991-2_5.3.2.1]	
LM1	LM2	LM3	LM4	Jarru- ja kiihdytyskuormat	Keskipakokuorma ja sivukuorma			Yhdistelyarvo 3 kN/m ²
Teli [EN 1991-2_4.3.2]	Yksittäinen akseli [EN 1991-2_4.3.3]	Erikoiskuorma [EN 1991-2_4.3.4]	Ruuhkakuormitus [EN 1991-2_4.3.5]	[EN 1991-2_4.4.1]	[EN 1991-2_4.4.2]			
gr1a	Ominaisarvo 1	1						
gr1b		Ominaisarvo 1						
gr2	Tavallinen arvo (ψ_1) 0,75	0,4			Ominaisarvo 1	Ominaisarvo 1		
gr3							Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr4				Ominaisarvo 1			Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr5			Ominaisarvo 1					

Taulukkoon on kirjoitettu sisään (eurokoodin alkuperäisestä taulukosta poiketen, ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.4a) käytettävät yhdistelykertoimet sekä Suomen kansalliset valinnat.

Tiesiltojen yhdistelykertoimet (Ψ_0 , Ψ_1 ja Ψ_2) esitetään taulukossa G1 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G4...G8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillasuunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

Eri kuormaryhmillä on selvä käyttötarkoituksensa (mitoittavat eri asioita) ja kaikkia kuormaryhmiä ei tarvitse aina muodostaa. Alla on eritelty kunkin kuormaryhmän sisältö (sulkuihin on kirjoitettu mahdollinen käyttötarkoitus ko. kuormaryhmälle).

gr1a:

- Pystysuora liikennekuorma LM1 ominaisarvolla
- mahdollisen kevyen liikenteen kaistan kuorma 3 kN/m²
- Mitoittaa usein pääkannattimet ja kansilaatan poikittain
- Yleensä aina mitoitettava, aina laskettava

gr1b:

- Pystysuoran liikennekuorma LM2 ominaisarvolla
- Mitoittaa mahdollisesti ortotrooppikannen, ulokkeen yms.
- Yleensä ei mitoitettava, yleensä kuitenkin laskettava

gr2:

- Pystysuora liikennekuorma LM1 tavallisella arvolla (telikuormat kerrottuna arvolla 0,75 ja tasaiset kuormat arvolla 0,40)
- Liikenteestä aiheutuvat vaakakuormat ominaisarvolla
- Mitoittaa usein alusrakenteet
- Usein mitoitettava, aina laskettava

gr3:

- Pelkästään kevyen liikenteen kaistat kuormitettuna pintakuormalla 5 kN/m²
- Harvoin mitoittava

gr4:

- Kevyen liikenteen kaistat kuormitettuna pintakuormalla 5 kN/m²
- Muut kaistat kuormitettuna ruuhkakuormalla 5 kN/m²
- Harvoin mitoittava

gr5:

- Yliraskaan erikoiskuorman kuormakaavio LM3 ominaisarvolla
- Mitoittaa mahdollisesti rakenteita murtorajatilassa
- Usein mitoittava ja aina laskettava
- ks. käyttöehdot kohdasta B.4.3.4

Ajoneuvoliikenteen silta mitoitetaan kauttaaltaan ajoneuvoliikenteen kuormakaavioille riippumatta suunnitellusta käyttötarkoituksesta.

B.4.6 Väsytkuormat

B.4.6.1 Yleistä

Eurokoodissa (SFS-EN 1991-2 kappale 4.6) esitetään viisi erilaista väsytkuormakaaviota. Väsytkuormakaavioita FLM1, FLM2 sekä FLM3 käytetään kuormakaavioiden aiheuttamien maksimi- ja minimijännitysten määrittämiseen ja kaavioita FLM4 sekä FLM5 jännitysvaihteluvälin spektrin määrittämiseen.

Ensisijaisesti suositellaan käytettäväksi väsytkuormakaavioita FLM3. Lisäksi väsytkuormakaaviota FLM1 voidaan käyttää tarkistettaessa voidaanko väsymisikää pitää rajattomana. Muiden kuormakaavioiden käytöstä tulee sopia asianomaisen viranomaisen kanssa hankekohtaisesti.

Mikäli väsyttävän kuorman sijainnilla (poikittain) kaistalla on merkittävää vaikutusta mitoitukseen (esim. paikallisia voimasuureita määritettäessä), otetaan poikittaisen sijainnin jakauma huomioon standardin SFS-EN 1991-2 kuvan 4.6 mukaan.

Liikuntasaumalaitteiden läheisyydessä otetaan huomioon dynaaminen lisäsuurenuskerroin, joka saadaan kaavalla:

$$\Delta\varphi_{fat} = 1,30 \cdot (1 - D/26) \geq 1,0 \quad (B.3)$$

, missä D on etäisyys (m) liikuntasaumalaitteesta. Kyseistä lisäsuurenuskerrointa voidaan käyttää myös muiden mahdollisten epäjatkuvuuskohtien kohdalla (esim. SFS-EN 1993-1 kohta 7.8.2 (2), ks. myös tämän soveltamisohjeen kohta B.4.3.3).

Tarkempi väsymismitoitussuunnittelu esitetään materiaalikohtaisissa soveltamisohjeissa. On huomattava, että esimerkiksi betonisiltöjen tietyissä väsytystarkasteluissa ei käytetä välttämättä standardin SFS-EN 1991-2 väsytyssajoneuvoja.

B.4.6.2 VäsytySKUORMAKAAVIO FLM1

VäsytySKUORMAKAAVIO FLM1 on rakenteeltaan samanlainen kuin kohdassa B.4.3.2 määriteltö kuormakAAVIO LM1, siten, että akselikuormien arvot ovat $0,7 \times Q_{ik}$ ja tasaisesti jakautuneiden kuormien arvot $0,3 \times q_{ik}$.

VäsytySKUORMAKAAVION aiheuttamat maksimi- ja minimijännitykset $\sigma_{FLM,max}$ ja $\sigma_{FLM,min}$ määritetään sijoittamalla kaavion kuormat sillalle siten, että ääriarvot saavutetaan. Saatuja jännityksiä verrataan keStävyySarvoihin materiaalikohtaisissa soveltamisohjeessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

B.4.6.3 VäsytySKUORMAKAAVIO FLM2

VäsytySKUORMAKAAVION FLM2 käyttö on sallittu vain, mikäli sillalla on yksi ajokaista (asianomaisen viranomaisen hankekohtaisesti antamalla suostumuksella).

VäsytySKUORMAKAAVIOSSA FLM2 kuormitetaan siltaa yhdellä idealisoidulla kuorma-autolla (ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.6). Maksimi- ja minimijännitykset saadaan kaaviosta tarkastelemalla erillisten kuorma-autojen aiheuttamia äärimmäisiä vaikutuksia. Saatuja jännityksiä verrataan keStävyySarvoihin materiaalikohtaisissa soveltamisohjeessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

B.4.6.4 VäsytySKUORMAKAAVIO FLM3

VäsytySKUORMAKAAVIOSSA FLM3 suositellaan käytettäväksi väsymismitoituksessa.

VäsytySKUORMAKAAVIOSSA FLM3 koostuu neljästä akselistä (akselipaino 120 kN), joista jokaisessa on kaksi samanlaista pyörää (kosketuspinta on neliö, jonka sivumitat ovat 0,4 m). Akselivälit ovat 1,2 + 6 + 1,2 metriä ja akselien rengasväli on 2,0 metriä (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.8). Hankekohtaisesti voidaan määrätä toisen ajoneuvon käytöstä eurokoodin mukaisesti (akselipaino 36kN).

VäsytySKUORMAKAAVION aiheuttamat maksimi- ja minimijännitykset $\sigma_{FLM,max}$ ja $\sigma_{FLM,min}$ määritetään sijoittamalla kaavion kuormat sillalle siten, että ääriarvot saavutetaan. Saatuja jännityksiä verrataan keStävyySarvoihin materiaalikohtaisissa soveltamisohjeessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Kun käytetään väsytySKUORMAKAAVIOSSA FLM3, saadaan ajoneuvojen lukumäärä taulukosta B4 (SFS-EN 1991-2 kansallinen liite, taulukko 4.5n(FI)). Taulukon oikeanpuolisen sarakkeen liikennemäärien arvot ovat laskennallisia arvoja, joiden avulla määritetyt λ_2 -arvot vastaavat todellisen liikenteen aiheuttamia väsyttäviä vaikutuksia kyseisessä liikenteen luokassa.

Tässä tapauksessa hitaan liikenteen kaistalla tarkoitetaan väsytyksen kannalta määrävää kuormakaistaa.

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)****Taulukko B.4 Ajoneuvojen lukumäärä väsytkuormakaavioille FLM3**

Liikenteen luokat (suluisissa on esitetty kriteerit liikenteen luokan valinnalle: raskaiden ajoneuvojen määrä/vrk/suunta sillan käyttöiän alussa)		N _{obs} vuotta ja hitaan liikenteen kais- taa kohti (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 × 10 ⁶
2	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on keskimääräinen (200...1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	0,5 × 10 ⁶
3	Päätiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (50...200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	0,125 × 10 ⁶
4	Paikallistiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (< 50 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	0,05 × 10 ⁶

Raskaan liikenteen jakauma saadaan standardin SFS-EN 1991-2 taulukosta 4.7, jossa oletetaan liikenteen tyyppiä ”Keskipitkä liikenne”, ellei hankekohtaisesti toisin määrätä.

Taulukkojen B4 ja 4.7 (standardissa SFS-EN 1991-2) avulla voidaan määrittää väsymismitoituksessa tarvittava ekvivalentti vauriokerroin λ_2 teräs- ja liittosilloille (ks. SFS-EN 1993-2 kappale 9.5.2) sekä $\lambda_{s,2}$ betonisilloille (ks. SFS-EN 1992-2, liite NN). Kyseisten taulukoiden kansalliset valinnat on valittu siten, että mitoitus vastaa todellista suomalaista raskasta liikennettä.

Tarkempi väsymismitoitusmenettely sekä valmiiksi lasketut λ_2 – kertoimet eri liikenteen luokille ja tyypeille esitetään materiaaliakohtaisissa soveltamisohjeissa.

B.4.6.5 Väsytkuormakaavio FLM4

Väsytkuormakaaviossa FLM4 kuormitetaan siltaa sarjalla ekvivalentteja kuorma-autoja, jotka yhdessä tuottavat Euroopan teillä tyypillisen liikenteen kaltaiset vaikutukset (ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.7). Yksittäisten kuorma-autojen siltaa ylittäessään aiheuttamasta jännityksen vaihtelusta syntyvän jännitysvaihteluvälin spektrin ja vastaavan jaksojen lukumäärän määrittämiseen käytetään rainflow-menetelmää tai vesisäiliöanalogiaa.

Väsytkuormakaavion FLM4 käyttö on sallittu vain asianomaisen viranomaisen suosituksella. Väsytkuormakaavion FLM4 käyttö on perusteltua kansirakenteen yksityiskohtien väsymismitoituksessa (esim. teräksinen ortotrooppikansi). Asianomainen viranomainen voi tarvittaessa määrittää standardin SFS-EN 1991-2 taulukon 4.7 liikenteen tyyppin sekä laskennassa käytetyt ekvivalentit akselikuormat myös hankekohtaisesti.

B.4.6.6 Väsytkuormakaavio FLM₅

Väsytkuormakaavion FLM₅ käyttö on sallittu vain asianomaisen viranomaisen suosituksella. Väsytkuormakaavio FLM₅ muodostuu suoraan mitatusta liikennetiedosta ja asianomainen viranomainen voi määrittää liikenteen jakauman sekä lopulliset ekvivalentit akselikuormat hankekohtaisesti.

B.4.7 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen osiossa F. Standardin SFS-EN 1991-2 kappaleessa 4.7 esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava.

B.4.8 Siltojen maatumien ja niihin liittyvien muurien kuormat

Laskettaessa liikennekuorman aiheuttamaa maanpainetta voidaan pystysuoran liikennekuorman arvoksi penkereellä sillan takana otaksua 20 kN/m², joka vaikuttaa koko hyödyllisellä leveydellä. Siipimuurien mitoituksessa käytetään kuormakaavioiden LM1 ja LM2 pyöräkuormia, mikäli ne ovat määräävämpiä kuin em. 20 kN/m².

Liikennekuorman maanpaine lasketaan aina lepopainekertoimella.

Valtionapua saavien yksityisteiden siltojen mitoituksessa edellä mainitut kuormien arvot kerrotaan tämän julkaisun kohdassa B.4.3.2 esitetyllä sovituskertoimella 0,80.

Siirtymälaatan tukireaktio siltaan lasketaan seuraavilla otaksumilla:

- Siirtymälaatta on yksinkertainen palkki, jonka jännemitta on 60 % siirtymälaatan pituudesta. Loppuosa siirtymälaatasta tukeutuu suoraan penkereeseen.
- Tukireaktio otetaan huomioon päällysrakenteen kuormana vain jos se vaikuttaa mitoituskuormaa lisäävästi (siirtymälaatan päällä otaksutaan olevan tasainen liikennekuorma 20 kN/m²)

Maatuen otsamuureihin (otsamuurin mitoituksessa) vaikuttaa sillan pituussuuntainen jarrukuorma, jonka suuruus on esitetty tämän soveltamisohjeen kappaleessa B.4.4.1 (180 kN yleisten teiden silloilla, 144 kN valtionapua saavien yksityisteiden silloilla), jonka kanssa otsamuriin vaikuttaa samanaikaisesti myös pystysuuntainen kuorma 300 kN (= $\alpha \times Q_{1k}$) (valtionapua saavien yksityisteiden silloilla 240 kN) sekä täytemaan maanpaine. Penkereellä sillan takana sijaitsevasta liikenteestä johtuvia vaakasuuntaisia kuormia ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti (ks. standardin SFS-EN 1991-2 kuva 4.11).

Maatuen siipimuurin mitoituksessa tarkastetaan lisäksi tilanne, jossa hyötykuormana on liikennekuorman (20 kN/m²) aiheuttama maanpaine ja pyöräkuorma (LM2 = 200 kN) siipimuurin päällä. Siiven päällä olevaa pyöräkuormaa ei tarvitse ottaa huomioon halkeilulaskennassa.

B.5 Kevyen liikenteen siltojen kuormat

B.5.3 Pystysuorien kuormien staattiset arvot

Kevyen liikenteen sillan suunnittelussa otetaan huomioon kolme eriaikaisesti vaikuttavaa kaaviota:

- tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk}
- pistekuorma Q_{fwk}
- huoltoajoneuvo Q_{serv}

Tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk} asetetaan vaikuttamaan vaikutuspinnan pitkittäis- ja poikittaissuunnassa epäedullisilla osilla (shakkilautakuormitus). Kuorma määritetään kaavalla:

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(L + 30), 2,5 \leq q_{fk} \leq 5,0 [kN/m^2] \quad (B.4)$$

, jossa L on kuormituspituus.

Jos sillalla on odotettavissa jatkuvan tiiviin tungoksen mahdollisuus, käytetään asianomaisen viranomaisen niin määrätessä mitoituskuormana tämän soveltamisohjeen kappaleen B.4.3.5 tungoskuormaa (5 kN/m²).

Pistekuorman Q_{fwk} ominaisarvo on 20 kN, ja sen vaikutuspinta-ala on 0,2×0,2 m². Pistekuormaa käytetään, jos huoltoajoneuvon pääsy sillalle on estetty.

Huoltoajoneuvon kuormakaaviona käytetään standardin SFS-EN 1991-2 kuvassa 5.2 esitettyä onnettomuuskuormakaaviota. Kuormakaaviossa on kaksi akselia (akseliväli 3,0 m) kokonaispainoltaan 80 kN + 40 kN. Akselin rengaskuormien kosketuspinta-ala on 0,2×0,2 m² ja rengasväli 1,30 m. Suomen kansallisessa liitteessä on määritetty ajoneuvon leveydeksi 2,0 m.

B.5.4 Vaakasuorien kuormien staattiset arvot

Kevyen liikenteen sillan pituussuuntaisen kuorman arvo on $Q_{flk} = 72$ kN. Mikäli huoltoajoneuvo ei pääse sillalle rakenteellisista syistä johtuen (esim. portaat sillan päissä), käytetään pituussuuntaiselle kuormalle arvoa 20 kN.

Sivukuorman suuruus on 25 % edellä esitetyistä pituussuuntaisen kuorman arvoista.

B.5.5 Kuormaryhmät

Eurokoodissa siltojen liikennekuormia ei yhdistellä sellaisenaan muiden kuormien kanssa (kuten aiemmissa Tiehallinnon ohjeissa). Eurokoodissa muodostetaan kevyen liikenteen siltojen liikennekuormista (pysty- ja vaakakuormista) ns. kuormaryhmiä, joita käsitellään yksittäisinä kuormina kuormitusyhdistelyissä. Kevyen liikenteen silloilla kuormaryhmiä on yhteensä kaksi kappaletta, eivätkä ne voi esiintyä samanaikaisesti kuormitusyhdistelyssä. Kevyen liikenteen siltojen kuormaryhmät on esitetty taulukossa B5.

Taulukko B.5 Kevyen liikenteen siltojen kuormaryhmät

		Pystykuormat		Vaakakuormat
		Tasainen kuorma q _{fk}	Huoltoajoneuvo Q _{serv} tai Pistekuorma Q _{fwk}	Q _{flk}
		[EN 1991-2 5.3.2.1]	[EN 1991-2 5.3.2.3]	[EN 1991-2 5.4]
gr1	Ominaisarvo			Ominaisarvo
	1			1
gr2			Ominaisarvo	Ominaisarvo
			1	1

Taulukkoon on kirjoitettu sisään (eurokoodin alkuperäisestä taulukosta poiketen, ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 5.1) käytettävät yhdistelykertoimet.

Kevyen liikenteen siltojen yhdistelykertoimet (Ψ_0 , Ψ_1 ja Ψ_2) esitetään taulukossa G2 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G4...G8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillasuunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

B.5.6 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän kansallisen liitteen osiossa F. Standardin SFS-EN 1991-2 kappaleessa 5.6 esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava.

B.5.7 Kevyen liikenteen dynaamiset mallit

Ks. kappale G.4.3.2. Lisäohjeita voidaan antaa myös materiaaliikohtaisissa soveltamisohjeissa. Asianomainen viranomainen voi antaa hankekohtaisesti lisäohjeita mukavuuskriteerejä koskien.

B.5.9 Siltojen maatumien ja niihin liittyvien muurien kuormat

Kevyen liikenteen väylillä maanpainetta aiheuttavana pystykuorman arvona käytetään 10 kN/m². Kuorma vaikuttaa koko hyödyllisellä leveydellä. Ks. myös kohtaa B.4.9.

B.6 Rautatieliikennekuormat ja muut erityisesti rautatiesiltoja koskevat kuormat

B.6.1 Soveltamisala

Tilapäiset sillat mitoitetaan kuten pysyvät sillat.

α -kerroin voidaan valita vastaamaan tilapäisen rakenteen käytön aikana esiintyvää suurinta rautatieliikennekuormaa.

Suunnitteluperusteissa voidaan hankekohtaisesti esittää tilapäissiltoja koskevia ja siltojen käyttöolosuhteista riippuvia erityisvaatimuksia (esim. vinoja siltoja koskevat erityisvaatimukset).

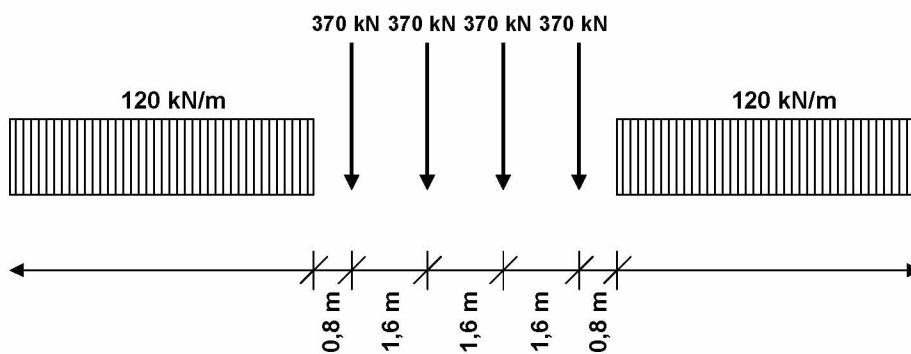
B.6.2 Rautatieliikennekuormien erittely syntytapansa mukaan**B.6.3 Pystykuormien ominaisarvot (staattiset vaikutukset) sekä kuormituksen epäkeskisyys ja jakautuminen****B.6.3.1 Yleistä**

Junakuorma koostuu junan staattisia kuormia kuvaavasta kuormakaaviosta, junan dynaamisia kuormia kuvaavista pysty- ja vaakasuuntaisista lisäkuormista sekä keskipakokuormasta.

B.6.3.2 Kuormakaavio LM71

Kuormakaavio LM71 kuvaa levossa olevan normaalin rautatieliikenteen, jonka kaluston sallittu akselipaino on 22,5 tonnia, aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia. Kuormakaavio LM71 muodostuu neljästä ominaisakselikuormasta Q_{vk} ja ominaisnauhakuormasta q_{vk} . Akselikuormat ja nauhakuorma sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. Nauhakuorma voi olla epäjatkuva ja vaikuttaa kuinka monella osapituudella tahansa. Peräkkäisten akselikuormien lukumäärä voi vaihdella välillä 0...4 raidetta kohti.

Suomessa uudet rautatieliikenteen rasittamat rakenteet mitoitetaan kalustolle, jonka sallittu akselipaino on 35 tonnia. Kuormakaavio LM71 muutetaan vastaamaan tätä kuormitusta kertomalla se 35 tonnin kalustoa vastaavalla kertoimella $\alpha = 1,46$. Näin saatua luokiteltua kuormakaaviota merkitään tunnuksella LM71-35.



Kuva B.2 Luokiteltu kuormakaavio LM71-35

Taulukossa on esitetty kerroin α ja kuormakaavion LM71 ominaisarvojen luokitellut arvot (akselikuormat ja nauhakuormat) kaluston sallitun akselipainon funktiona.

Taulukko B.6 Kaluston sallittua akselipainoa vastaavan luokitellun kuormakaavion tunnukset sekä vastaavat staattiset nauhakuormien ja akselikuormien arvot.

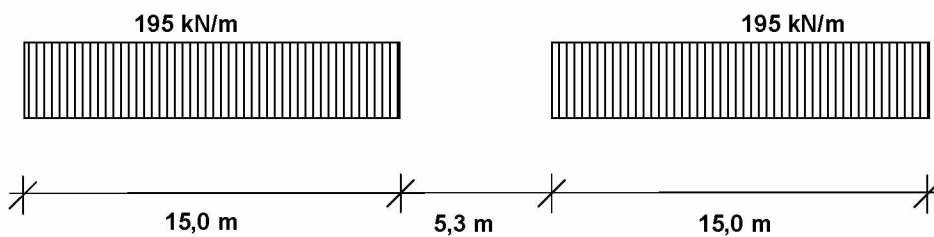
Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Luokitellun kuormakaavion tunnus	Kerroin α	Luokitellun kuormakaavion akseli-kuorma Q_v [kN]	Luokitellun kuorma-kaavion nauha-kuorma q_v [kN/m]
350	LM71-35	1,46	370	120
300	LM71-30	1,33	330	106
275	LM71-27,5	1,21	300	96
250	LM71-25	1,10	275	88
225	LM71-22,5	1,00	250	80
170	LM71-17	0,75	188	60

Käyttörajan taipumatarkastelu tehdään käyttäen luokiteltuja kuormakaavioita, paitsi matkustusmukavuutta tarkasteltaessa, jolloin käytetään luokittelematonta kuormakaaviota ($\alpha = 1,00$).

B.6.3.3 Kuormakaaviot SW/0 ja SW/2

Kuormakaavio SW/0 kuvaa levossa olevan normaalin rautatieliikenteen, jonka kaluston sallittu akselipaino on 22,5 tonnia, aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia jatkuville rakenteille. Kuormakaavio SW/0 muodostuu kahdesta erillisestä ominaisnauhakuormasta q_{vk} . Kuormakaavio sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Jatkuvat rakenteet mitoitetaan sekä kuormakaavioille LM71 että kuormakaavioille SW/0. Kuormakaavio SW/0 luokitellaan kuten LM71. Näin saatua luokiteltua kuormakaaviota merkitään tunnuksella SW/0-35.



Kuva B.3 Luokiteltu kuormakaavio SW/0-35

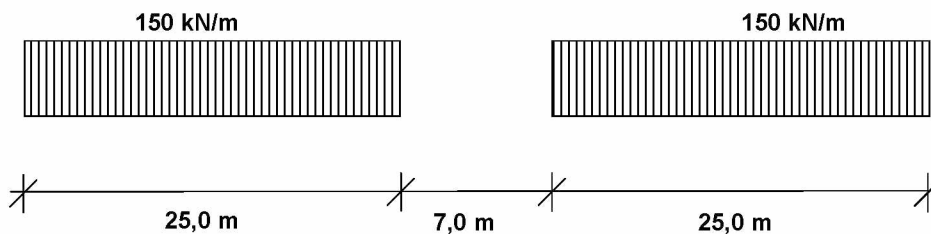
Taulukko B.7 Kaluston sallittua akselipainoa vastaavan luokitellun kuormakaavion tunnuksat jatkuville rakenteille sekä vastaavat staattiset nauhakuormien arvot.

Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Luokitellun kuormakaavion tunnus	Kerroin α	Luokitellun kuormakaavion nauha-kuorma q_v [kN/m]
350	SW/0-35	1,46	195
300	SW/0-30	1,33	177
275	SW/0-27,5	1,21	161
250	SW/0-25	1,10	146
225	SW/0-22,5	1,00	133
170	SW/0-17	0,75	100

Kuormakaavio SW/2 kuvaa levossa olevan raskaan rautatieliikenteen aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia. Kuormakaavio SW/2 muodostuu kahdesta erillisestä ominaisnauhakuormasta. Kuormakaavio sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Kuormakaaviota SW/2 ei luokitella.

Kuormakaaviota SW/2 käytetään raskaan liikenteen radoilla ja sen käyttötarve ja ne rataosat, joissa kuormakaaviota SW/2 sovelletaan, ilmoitetaan hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.



Kuva B.4 Kuormakaavio SW/2

B.6.3.4 Kuormakaavio "kuormittamaton juna"

Kuormakaavio "kuormittamaton juna" koostuu tasaisesti jakautuneesta kuormasta, jonka ominaisarvo q_{vk} on 10,0 kN/m ja joka voi vaikuttaa kuinka monella raiteen osapituudella tahansa.

Kuormakaaviota "kuormittamaton juna" tulee yleensä tarkastella vain mitoitettaessa rakenteita, joiden varassa on yksi raide.

Kuormakaaviota "kuormittamaton juna" ei luokitella.

B.6.3.5 Pystykuormien epäkeskisyys (kuormakaaviot 71 ja SW/0)

Kuormakaavion epäkeskisyys raiteen keskiviivaan nähden millä tahansa yhdellä raiteella on ± 88 mm. Väsyysmitoituksessa tätä epäkeskisyttä ei tarvitse ottaa huomioon.

Raiteen sijainnin toleranssiksi oletetaan ± 120 mm. Useamman raiteen sillalla raiteet sijoitetaan epäedullisimmalla tavalla.

Hankekohtaisesti määrättäessä ratapiha-alueilla ja muualla, missä on varauduttava raiteiston aseman muutoksiin, rautatiesillat tulee suunnitella niin, että muutos on mahdollinen ja että rautatiekuorma voi sijaita sillan myöhemmällä levennyksellä ja vanhan ja uuden rakenteen välisellä saumaosalla.

B.6.3.6 Akselikuormien jakautuminen kiskojen, ratapölkkyjen ja tukikerroksen välityksellä

Akselikuormasta oletetaan 50 % kuormittavan sen alla olevaa pölkkyä ja 25 % kohdistuu kummallekin tämän pölkyn viereiselle pölkylle.

Paikallisia vaikutuksia mitoitettaessa (esim. kansilaatan läpileikkautuminen) oletetaan kuormien jakaantuvan tukikerroksessa pölkyn alapinnasta alaspäin kaltevuudessa 4:1 pituus- ja poikkisuuntaan, muuten käytetään kaltevuutta 2:1 (RATO3.8).

Rakenteen päällä olevassa, yli 1,4 m korkeassa, pengertäytteisessä junakuorman voidaan olettaa jakautuvan ”Ratatekniset ohjeet” (RATO) osassa 3 ”Radan rakenne” esitetyllä tavalla.

Pengertä tukevien ja lähellä rataa sijaitsevien rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon rautatieliikenteen pituus-, poikki- ja pystysuuntaiset kuormat.

Maarakenteita mitoitettaessa luokitellun junakuorman voidaan olettaa jakautuvan 3,0 m leveäksi tasaiseksi kuormaksi 500 mm syvyydellä korkeusviivasta. Tällöin ei kuorman dynaamista suurennuskerrointa tarvitse ottaa huomioon.

B.6.3.7 Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat

Huoltokäytävät mitoitetaan erikseen tasan jakautuneelle pystysuuntaiselle kuormalle, jonka ominaisarvo on 5 kN/m², ja pistekuormalle 2,0 kN, joka on jakautunut tasan 200*200 mm² alueelle.

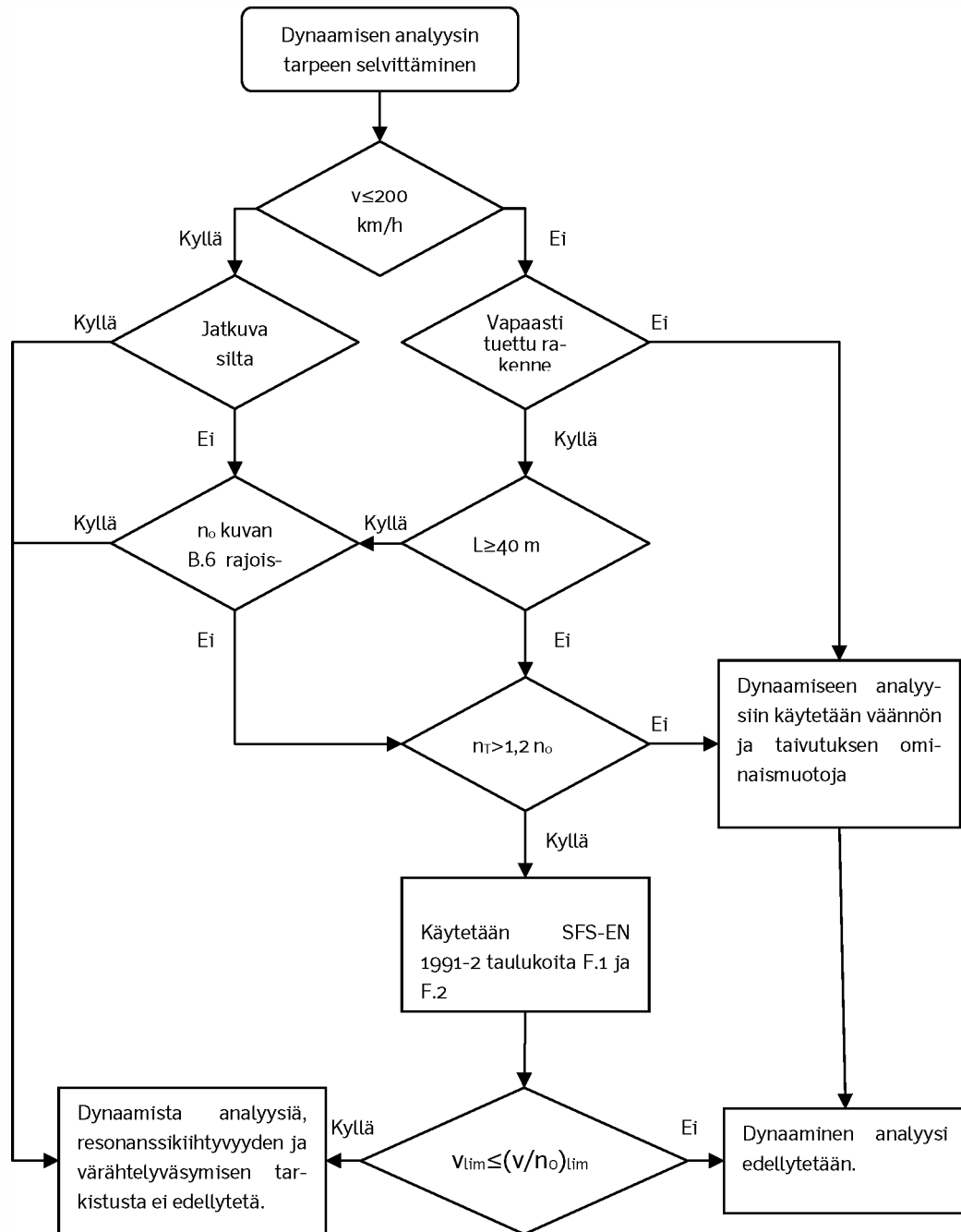
B.6.4 Dynaamiset vaikutukset (resonanssi mukaan luettuna)

Kuorman liikkumisen vaikutukset rautatieliikenteen kuormanvaikutuksiin (jännitykset, taipumat, sillan kannen kiihtyvyys jne.) tulee ottaa huomioon.

Dynaamisiin ominaisuuksiin vaikuttaa mm.:

- liikenteen nopeus
- rakenneosan jännemitta L
- rakenteen massa
- rakenteen ominaistaajuudet ja ominaismuodot
- akseleiden lukumäärä, akselikuormat ja akselivälit
- rakenteen vaimennus
- raiteen epäsäännöllisyydet
- liikennevälineen massa ja ripustusominaisuudet
- kansirakenne tai radan päällysrakenne
- liikennevälineen epätarkkuudet

Vaatimukset, joiden perusteella selvitetään, edellytetäänkö staattinen vai dynaaminen analyysi, esitetään alla olevassa kuvassa.



Kuva B.5 Dynaamisen analyysin tarpeen määrittäminen

Tavanomaiset rautatiesillat tulee suunnitella siten, ettei dynaamista analyysia eikä resonanssikiihtyvyyden ja värähtelystä johtuvaa väsymisen tarkistusta tarvita. Tavanomaisista poikkeavissa silloissa suunnitteluperusteet tulee hankekohtaisesti sopia Liikenneviraston kanssa.

Kaaviossa

- V on suurin sillan kohdalla sallittu nopeus [km/h]
 L on jännemitta [m]
 n_0 on pysyvien kuormien kuormittaman sillan alin ominaistajuus taivutuksessa [Hz]
 n_T on pysyvien kuormien kuormittaman sillan alin ominaistajuus väännössä [Hz]
 v_{lim} on suurin nimellinopeus [m/s]
 $(v/n_0)_{\text{lim}}$ esitetään SFS-EN 1991-2 liitteessä F.

Ominaistajuuden n_0 ylärajan määräävät raiteen epäsäännöllisyyksistä johtuvat dynaamiset lisävaikutukset, ja se saadaan kaavasta:

$$n_0 = 94,76 \cdot L^{-0,748} \quad (\text{B.5})$$

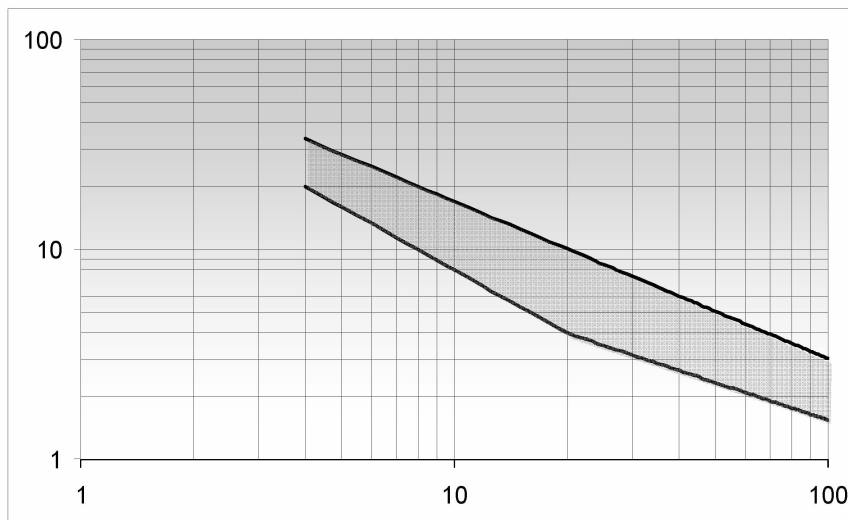
Ominaistajuuden n_0 alarajan määräävät dynaamiset sysäyskriteerit, ja se saadaan kaavasta:

$$n_0 = \begin{cases} 80/L & , \text{ kun } 4 \text{ m} \leq L \leq 20 \text{ m} \\ 23,58 \cdot L^{-0,592} & , \text{ kun } 20 \text{ m} \leq L \leq 100 \text{ m} \end{cases} \quad (\text{B.6})$$

missä:

n_0 on sillan alin ominaistajuus, kun otetaan huomioon pysyviä kuormia vastaava massa ja

L on vapaasti tuetun sillan jännemitta tai L_ϕ muuntotyypisillä silloilla.



Kuva B.6 Sillan ominaistajuuden n_0 [Hz] (pystyakseli) rajat jännemitan L [m] (vaaka-akseli) funktiona. Tummennettuna alue, jolla ei tarvitse suorittaa dynaamista analyysia.

B.6.4.5 Dynaaminen suurennuskerroin Φ (Φ_2 , Φ_3)

Junakuorman dynaaminen suurennuskerroin kuvaa liikkuvan junan sysäysten aiheuttamia pystysuoran ominaiskuorman lisäyksiä. Sysäysten vaikutus kuormakaavioihin LM71, SW/0 ja SW/2 saadaan kertomalla kuormakaavio dynaamisella suurennuskerroimella Φ_2 tai Φ_3 .

Uudet sillat mitoitetaan huolellisesti kunnossapidetyn radan dynaamiselle suurennuskertoimelle Φ_2 .

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad (\text{B.7})$$

Sysäyskerroimen raja-arvot ovat:

$$1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

Sysäyskerroimen laskennassa käytettävä jännemitta L_Φ on esitetty SFS-EN 1991-2 taulukossa 6.2.

SFS-EN 1991-2 taulukon 6.2 tapauksissa 1.4, 2.3, 3.4, ja 4.6 voidaan käyttää suositusarvosta poiketen arvoa Φ_2 . Hankekohtaisesti voidaan määrätä Φ_3 käytettäväksi.

Kerroin Φ_3 saadaan kaavasta:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73 \quad (\text{B.8})$$

Sysäyskerroimen raja-arvot ovat:

$$1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Kansilaatan pituussuuntaiset enintään 0,5 m pituiset ja siirtymälaatalle jatkettua enintään 2,5 m pituiset rautatieliikenteen kuormittamat ulokkeet mitoitetaan dynaamiselle suurennuskertoimelle $\Phi_3 = 2,00$.

Yli 0,50 m pitkät ja yli 2,5 m pitkät kansilaatan pituussuuntaiset siirtymälaatalle jatkettua rautatieliikenteen kuormittamat ulokkeet edellyttävät erityistarkastelua SFS-EN 1991-2 kohdan 6.4.6 mukaisesti käyttäen kuormia, joista on sovittu asianomaisen viranomaisen kanssa.

Kun siltarakenteen päällä on peitettä h (rakenteen yläpinnan ja pölkyn yläpinnan välinen mitta) enemmän kuin 1 m, sysäyskerrointa voidaan pienentää seuraavalla kaavalla.

$$\Phi_r = \Phi_2 - \frac{h-1,00}{10} \geq 1,0 \quad (\text{B.9})$$

Teräsputkisilloilla voidaan L_{Φ} :n arvona käyttää putkisillan vapaata aukkoa.

B.6.5 Vaakasuuntaisten kuormien ominaisarvot

B.6.5.1 Keskipakokuormat

Junakuorman keskipakokuorma kuvaa kaarteessa liikkuvan junan aiheuttamia ominaiskuormia. Keskipakokuorma vaikuttaa 2 m korkeudella kiskon selästä. Keskipakokuorma F on rakennetta kuormittavan, luokitellusta kuormakaaviosta LM71 lasketun, pystykuorman P (kN) (ilman sysäyslisää Φ_2), kaarresäteen R (m) ja rataosan tavoitenopeuden v (m/s) funktio.

$$F = P \cdot \frac{v^2}{9,81 \cdot R} \quad (\text{B.10})$$

Kaluston sallittu akselipaino ja sitä vastaava tavoitenopeus annetaan suunnitteluperusteissa.

B.6.5.2 Sivusysäyskuorma

Junakuorman sivusuuntainen lisäkuorma kuvaa liikkuvan junan sivusuuntaisten sysäysten aiheuttamat ominaiskuormat. Sivusysäyskuorman ominaiskuorman suuruus on 100 kN.

Sivusysäyskuorma luokitellaan. Luokiteltu sivusysäyskuorma on 146 kN ($\alpha = 1,46$).

Sivusysäyskuorman oletetaan vaikuttavan siltaan missä kohtaa tahansa korkeusviivan tasolla.

B.6.5.3 Vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvat kuormat

Veto- ja jarrutuskuormat vaikuttavat kiskon selän korkeudella ja kuvaavat liikkuvan kaluston aiheuttamia pituussuuntaisia ominaiskuormia.

Ominaisvetokuorma:

$$Q_{lak} = 33[kN/m] \cdot L_{a,b}[m] \leq 1000kN \quad (\text{B.11})$$

Ominaisjarrukuorma:

$$Q_{lbk} = 20[kN/m] \cdot L_{a,b}[m] \leq 6000kN \quad (\text{B.8})$$

Silloilla, joilla on vähintään kaksi raidetta, joilla on sama sallittu kulkusuunta, voidaan veto- ja jarrukuorma ottaa huomioon vain kahdella raiteella ja siten, että toisen raitteen ominaisjarrukuorma voidaan rajoittaa arvoon 1000 kN.

Sillan veto- ja jarrukuormat luokitellaan. Luokiteltujen veto- ja jarrukuormien suurimmat arvot, kun $\alpha = 1,46$, ovat $Q_{la,max} = 1460$ [kN] ja $Q_{lb,max} = 8760$ [kN].

Suunnitteluperusteissa voidaan hankekohtaisesti määrittellä lisävaatimukset henkilöliikenne- ja rautatieille, yli 300 m pitkille silloille.

Veto- ja jarrukuormat voidaan jättää ottamatta huomioon kuormakaavion "kuormittamaton juna" yhteydessä.

Sillan ja raiteen yhteistoiminnan kautta osa veto- ja jarrukuormista kulkeutuu penkereeseen sillan ulkopuolelle riippuen sillan rakenteesta, kiskotuksesta (jatkuvakiskoraide, pitkäkiskoraide, lyhytkiskoraide, kiskonliikuntalaite) ja liikkuvasta kalustosta.

Veto- ja jarrutuskuormien jakautuminen raiteen ja rakenteiden kesken lasketaan sillan ja raiteen yhteistoiminnan avulla (ks. B.6.5.4 ja SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4).

Veto- ja jarrutuskuormien jakautuminen raiteen ja rakenteiden kesken voidaan laskea myös oheisella yksinkertaistetulla tavalla (tällöin $L_{a,b}$ = sillan pituus):

Sillalla, jossa on tukikerros ja jatkuvakiskoraide, voidaan vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvien kuormien ominaisarvoja vähentää 50 %, kuitenkin enintään 600 kN. Sillalla, jonka vain toisessa päässä on kiskonliikuntalaite, voidaan näiden kuormien ominaisarvoja vähentää vastaavasti 25 %, kuitenkin enintään 300 kN. Tällöin sillan ominaisveto- ja ominaisjarrukuormat vähennyksineen kerrotaan kertoimella α .

Vapaasti tuetulla sillalla, jossa on tukikerros ja jatkuvakiskoraide ja jonka siltakannen pituus on alle 10,0 m, ei veto- ja jarrukuormia tarvitse ottaa sillan päällysrakenteen laskelmissa huomioon.

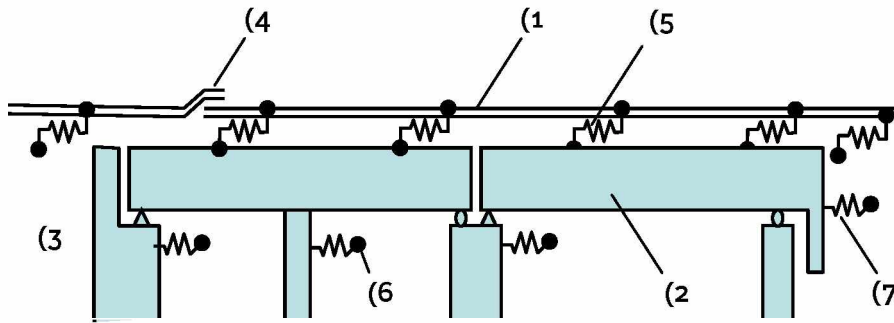
Standardin EN1991-2 kohdan 6.5.4.5.1 (1) mukaisissa raiteen sallituissa lisäjännityksissä ei tarvitse ottaa huomioon lämpötilakuormia, mikäli jatkuvakiskoraiteet ovat tukikerroksisella sillalla ankkuroitu asianmukaisesti.

Siltajonon yksittäisen siltalohkon pituussuuntainen veto- ja jarrutuskuorma voidaan määrittää prosenttiosuutena koko siltajonolle tulevas-ta veto- ja jarrutuskuormasta.

Radoilla, jotka välittävät erikoisliikennettä (esim. henkilöliikenneradat), veto- ja jarrukuormina voidaan käyttää 25 % "todellisen junan" niiden akselikuormien summasta, jotka vaikuttavat kussakin tarkasteltavassa kuormitustapauksessa, ominaisvetokuorman enimmäisarvon ollessa 1000 kN ja ominaisjarrukuorman enimmäisarvon ollessa 6000 kN. Luokitellut veto- ja jarrukuormat saadaan käyttämällä kaluston sallittua akselipainoa vastaavaa α -kerrointa ($\alpha \geq 1$). Erikoisliikennettä välittävät radat ja niihin liittyvät kuormituksen yksityiskohdat mukaan lukien muu radalle sallittu liikenne, esim. raiteen kunnossapitoon ym. käytettävät junat, määritellään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

B.6.5.4 Muuttuvista kuormista syntyvä raiteen ja siltarakenteen yhteisvaste muuttuville kuormille

Sillan ja raiteen välinen yhteistoiminta voidaan mallintaa alla olevaa kuvaa soveltaen kuormanvaikutusten määrittämiseksi.

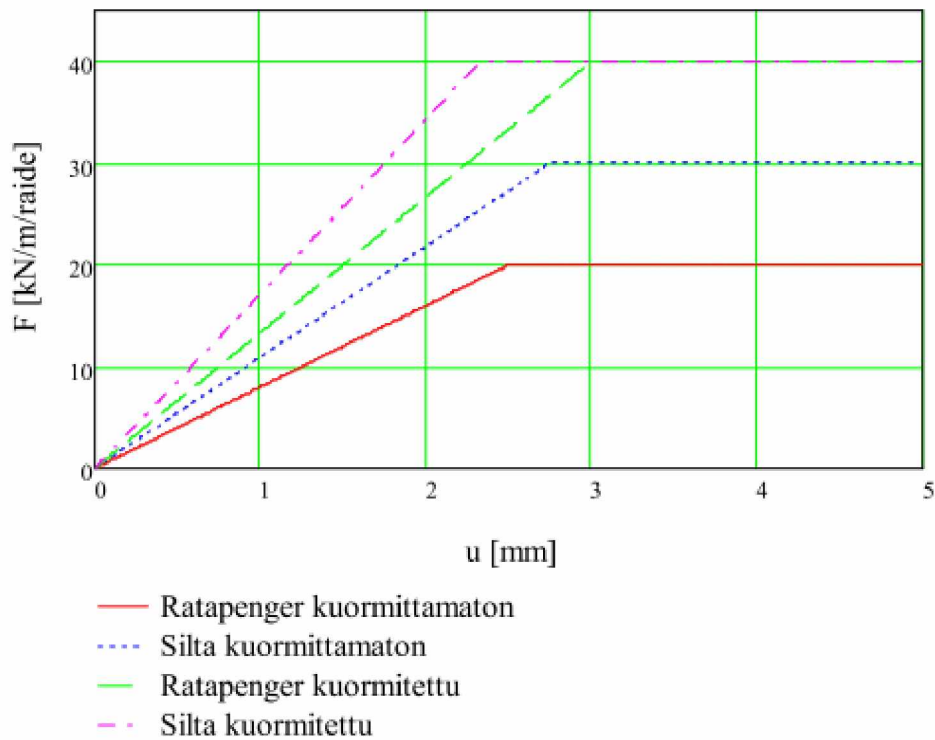


- (1) raide
- (2) päällysrakenne (koostuen kahdesta lohkoista)
- (3) penkere
- (4) mahdollinen kiskontiikuntalaite
- (5) pituussuuntainen bi-lineaarinen jousi, joka kuvaa kiskoon vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä
- (6) pituussuuntainen jousi, joka kuvaa sillan alusrakenteeseen vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä
- (7) pituussuuntainen bi-lineaarinen jousi, joka kuvaa siltakannen päähän vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä

Kuva B.7

Jousilla voidaan kuvata myös pysty- ja poikkisuuntaisten kuormien ja siirtymien välistä yhteyttä, mikäli ne ovat merkittäviä.

Alla olevassa kuvassa on esitetty kiskon ja maan välisen pituussuuntaisen yhteistoiminnan bi-lineaarinen siirtymän ja voiman välinen yhteys.



Kuva B.8 Kiskon ja maan välinen pituussuuntainen yhteistoiminta

B.6.7 Suistumiskuormat ja muut rautatiesiltöjen kuormat

B.6.7.1 Rautatiesiltaan kohdistuvat junan suistumiskuormat

Rautatiesillat mitoitetaan seuraaville suistumistilanteille:

- juna suistuu, mutta viereinen kisko tai kannen rakenne estää junaa etäännyttästä raiteesta (mitoitustilanne I).

Mitoitustilanteessa I mitoituskorma onnettomuusmitoitustilanteessa on $2 \times \alpha \times 0,7 \times LM 71$ (sisältäen pistekuormat ja tasaisesti jakautuneen kuorman), joka sijoitetaan raiteen suuntaisesti siten, että ulompi pistekuorma voi olla enintään 2,3 m raiteen keskiviivan kummalla tahansa puolella. Tukikerroksellisessa sillassa pistekuorma voidaan kohdistaa kannella 450x450 mm² alueelle ja tasaisesti jakautunut kuorma 450 mm leveydelle. Silta ei saa sortua, mutta paikallinen vaurio sallitaan.

- juna suistuu ja kuormittaa sillan reunaa, ei kuitenkaan sekundaarisia rakenteita kuten huoltokäytäviä (mitoitustilanne II).

Mitoitustilanteessa II mitoituskorma onnettomuusmitoitustilanteessa on $\alpha \times 1,4 \times LM71$ (vain nauhakuorma), joka on jakautunut tasaisesti 20 m kokonaispituudelle. Tukikerroksellisessa sillassa kuorma voidaan kohdistaa kannella 450 mm levyiselle alueelle. Mitoitustilannetta II käytetään tarkasteltaessa rakenteen murtolujuutta tai vakavuutta jäykkänä rakenteena:

- silta ei saa kaatua kokonaisena
- ⊖ silta ei saa sortua, mutta paikallinen vaurio sallitaan

Mitoitustilanteet I ja II eivät vaikuta samanaikaisesti.

Kiskoilta suistunut juna voidaan pysäyttää rakenneosilla, jotka mitoitetaan onnettomuusmitoitustilanteessa vallitsevalle vaakakuormalle ja jotka ovat riittävän korkeita pysäyttämään junan.

Vaakakuorman suuruudeksi voidaan olettaa 20 % onnettomuusmitoitustilanteen pystykuormasta.

B.6.7.2 Junan suistuessa rakenteen alapuolella tai vieressä ja muut onnettomuusmitoitustilanteissa syntyvät kuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen osiossa F.

B.6.7.3 Muut kuormat

Lämpötilavaihtelun vaikutus kiskoissa tulee ottaa huomioon sillalla, joka on kaarteessa ja jossa on jatkuvakiskoraide ilman kiskonliikuntalaitteita. Tämän kuorman voidaan olettaa olevan ± 1000 kN/raide ja vaikuttavan raiteen suunnassa.

Raiteen ankkuroinnin aiheuttamat kuormitukset tulee ottaa huomioon.

Rakenteisiin kohdistuvat varusteiden ja laitteiden (mm. sähköradan rakenteet) aiheuttamat kuormitukset tulee ottaa huomioon.

B.6.8 Rautatiesiltöjen kuormittaminen liikennekuormilla

Rakenne tulee suunnitella vaadittavan raiteiden määrän ja sijainnin perusteella ottaen huomioon sijaintitoleranssit. Raiteiden sijainti ja toleranssit voidaan määrittellä myös hankekohtaisesti suunnitteluperusteissa. Pystykuormien epäkeskisyys käsitellään kappaleen B.6.3.5 mukaan.

Kuormakaavio LM-71 vaikuttaa täydellä arvolla korkeintaan kahdella raiteella. Mikäli rakenteen varassa on enemmän kuin kaksi raidetta, tarkastetaan rakenne myös tapaukselle, jossa kaikki raiteet on kuormitettu $0,75 \cdot LM-71$.

Jatkuvat sillat tulee kuormakaavion LM71 lisäksi tarkistaa käyttäen kuormakaaviota SW/o.

Kuormakaavio SW/o vaikuttaa täydellä arvolla korkeintaan kahdella raiteella. Mikäli rakenteen varassa on enemmän kuin kaksi raidetta, tarkastetaan rakenne myös tapaukselle, jossa kaikki raiteet on kuormitettu $0,75 \cdot SW/o$.

Kuormakaaviosta SW/2 aiheutuvien epäedullisimpien kuormanvaikutusten määrittämistä varten tulee rakenteen kuormaksi asettaa:

- SW/2 vaikuttamaan yhdelle raiteelle, kun rakenteen varassa on vain yksi raide
- SW/2 vaikuttamaan yhdelle raiteelle ja LM71 tai SW/o toiselle raiteelle, kun rakenteen varassa on vähintään kaksi raidetta.

Jos dynaaminen analyysi edellytetään, tulee siltöjen mitoitus tarkistaa tarvittaessa myös kuormakaavion "todellinen juna" ja kuormakaavion HSLM aiheuttamaa kuormitusta käyttäen.

Siirtymätilaa ja värähtelyä tarkistettaessa tulee pystykuormituksena käyttää kuormakaavioita:

- LM71 ja lisäksi jatkuvilla rakenteilla SW/o

sekä hankekohtaisesti niin määrättäessä

- SW/2
- HSLM
- "todellinen juna"

Sillan kannen siirtymä- ja värähtelyrajoja tarkistettaessa raiteita kuormitetaan siten, että kaikki raiteisiin liittyvät asianmukaiset liikennekuormat otetaan mukaan luokiteltuna.

Taulukko B.8 Siirtymä- ja värähtelyrajojen tarkistusta varten kuormitettavien raiteiden lukumäärä

Rajatilakriteerit ja muut hyväksyntäkriteerit	Raiteiden määrä sillalla		
	1	2	≥ 3
Liikenteen turvallisuuden tarkistukset:			
Kannen vääntö (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.2)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Kannen pystytaipuma (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.3)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Kannen poikittaissiirtymä (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.4)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Sillan ja raiteen yhteisvaste muuttuvien kuormien vaikuttaessa, mukaan lukien kannen pään pystysuuntainen ja pituus-suuntainen siirtymä (SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 ^{a)}
Kannen pystysuuntainen kiihtyvyys (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.6 ja SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.1)	1	1	1
Käyttörajatilatarkistukset:			
Matkustajamukavuuskriteerit (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.3)	1	1	1
Murtorajatilatarkastelut			
Nousu laakereilta (EN1990 kohta A2.4.4.1(2)P)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}

^{a)} valitaan epäedullisin^{b)} kuormitettavien raiteiden määrä valitaan taulukon B.10 mukaan

Taulukko B.9 Siirtymä- ja värähtelyrajojen mitoituskuormat ja sallitut arvot

Rajatilakriteerit ja muut hyväksyntäkriteerit	Mitoituskuormitus (KRT ominaisyhdistelmä)	≤ 200 km/h	>200 km/h
Liikenteen turvallisuuden tarkistukset:			
Kannen vääntö (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.2) 3 m matkalla raideleveydellä 1,524 m	LM71, SW/0, SW/2, HSLM, CF [Φ , $\alpha = 1,46$]	3,2 mm	1,6 mm
Kannen pystytaipuma (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.3)	LM71, SW/0, SW/2 [Φ , $\alpha = 1,46$]	L/600	L/600
Kannen poikittainen muodonmuutos (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.4) -kannen poikittainen kiertymä (kansiulokkeen päässä) -kansiulokkeen pään taipuma	LM71, SW/0 tai tod. juna sysäyslisineen, NF, CF, F_{wk} , sillan poikittainen lämpötilaero [Φ , $\alpha = 1,46$]	0,0020 $L^2/48000^a)$	0,0015 $L^2/112000^a)$
"Sillan ja raiteen yhteisvaste vaihteleville kuormitusyhdistelyille, mukaan lukien kannen pään pystysuuntainen ja pituus-suuntainen siirtymä (SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4)"	LM71, SW/0, SW/2, ULT, T&B, NF, CF [$\Phi = 1,0$, $\alpha = 1,46$]		
• -kannen pään vaakasiirtymä veto-/jarrukuormasta (yksinkertaistetulla laskentamallilla tarkasteltaessa, ks. B 6.5.3)	gr 13, gr16, gr23, gr26	10 mm ^{b)} (5 mm suhteessa maatu-keen tai toisen kanteen)	10 mm ^{b)} (5 mm suhteessa maatu-keen tai toisen kanteen)
• -kannen pään vaakasiirtymä pystysuorasta junakuormasta	gr 11, gr16, gr21, gr26	8 mm ^{c)}	8 mm ^{c)}
• -kannen pään pystysuuntainen viereisen tuen tai kannen pään suhteen	gr 11, gr16, gr21, gr26	3 mm	2 mm
Kannen pystysuuntainen kiihtyvyys (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.6 ja SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.1)		3,5 m/s ²	3,5 m/s ²
Käyttörajatitarkistukset:			
Matkustajamukavuuskriteerit (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.3.2)	$\Phi \times \alpha \times LM71$, $\alpha = 1$ [Φ , $\alpha = 1$] Yksi raide kuormitettuna	L/1000, $L \leq 15m^d)$ L/1525, $L = 37m^d)$ L/600, $L \geq 90m^d)$ väliarvot interpoloidaan	L/1400, $L \leq 25m^d)$ L/2300, $L = 56m^d)$ L/1150, $L = 120m^d)$ väliarvot interpoloidaan
Nousu laakereilta:			
Murtorajatitarkastelut (EN1990 kohta A2.4.4.1(2)P)	Murtorajatilyhdistelyt 6.10a ja 6.10b	Rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.

Käyttörajatilatarkastelut	Ominaisyhdistelyt 6.14	Laakeri ei saa mennä vedolle.	Laakeri ei saa mennä vedolle.
Onnettomuusrajatilatarkastelut	Onnettomuusrajatilyhdistelyt 6.11	Rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.

a) moniaukkoisilla ei-jatkuvilla silloilla taipuman raja-arvot ovat $L^2/76000$, kun $v \leq 200 \text{ km/h}$ ja $L^2/140000$, kun $v > 200 \text{ km/h}$. Jännemitan L yksikkönä käytetään metriä.

b) 30 mm yksinkertaistetulla laskentamallilla tarkasteltaessa, kun kansirakenteen molemmissa päissä on kiskonliikuntalaite ja tukikerros on jatkuva kannen päissä. 30 mm ylittävät siirtymät tulee sallia vain, kun käytetään tukikerroksen katkaisulaitetta ja kiskonliikuntalaitetta.

c) annettu arvo on voimassa, kun raiteen ja siltarakenteen yhteistoiminta otetaan huomioon (ja kansirakennetta kohti on korkeintaan yksi kiskonliikuntalaite). Arvo on 10 mm, kun raiteen ja siltarakenteen yhteistoiminta jätetään huomiotta.

b) + c) Yhteenlaskettu arvo ei saa ylittää 13 mm, kun ei käytetä kiskonliikuntalaitetta.

d) annetut arvot ovat ei-jatkuvalla 3- tai useampijänteiselle sillalle (Taipumarajat vastaavat kannen pysty- kiihtyvyyden 1 m/s^2 mukavuustasoa, hankekohtaisesti voidaan käyttää alemmaa mukavuustasoa),

1- tai 2-jänteisellä ei-jatkuvalla sillalla tai jatkuvalla 2-jänteisellä sillalla taipuman raja-arvot voidaan jakaa 0,7:llä (esim. $L/1000 \rightarrow L/700$)

3- tai useampijänteisellä jatkuvalla sillalla taipuman sallitut raja-arvot voidaan jakaa 0,9:llä, yli 120m pitkillä jännemitoilla on tehtävä erillinen analyysi

Ratapihoilla ja paikoissa, joissa liikkuva kalusto voi olla pysäköitynä rakenteelle pidemmän aikaa, tulee kuormituksen vaikutus rakenteen kuivatukseen ottaa huomioon.

Radan ylittävän sillan, tai muun vastaavan rakenteen, tulee täyttää aukean tilan ulottuman vaatimukset myös siirtyneessä tilassaan.

Taulukossa B.10 on esitetty rautatieliikenteen kuormien (pystykuormat ja rautatieliikenteestä aiheutuvat vaakakuormat) mahdollisesti mitoittavat kombinaatiot (ns. kuormaryhmät).

Taulukossa B.10 esitetyillä kuormaryhmäkohtaisilla kertoimilla kerrotaan kuormaryhmän osakuormien ominaisarvot.

Rautatieliikenteen kuormat (kuormaryhmät) yhdistellään muiden kuormien kanssa. Rautatiesiltöjen yhdistelykertoimet (Ψ_0 , Ψ_1 ja Ψ_2) esitetään taulukossa G3 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G4...G8. Tämän sovellusohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

Taulukko B.10 Rautatieliikenteen kuormaryhmät

Sillalla olevien raiteiden määrä			Kuormaryhmät		Pystykuormat			Vaakakuormat			Huomautus			
1	2	≥ 3	Viittaus tässä osassa SFS-EN 1991-2	Kuormaryhmä (7)	6.3.2 / 6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2				
			Kuormitettujen raiteiden määrä	Kuormitettujen raiteiden määrä (7)	Kuormitettu raide	LM 71, SW/o (1),(2) HSLM (6)	SW/2 (1),(3)	Kuormittamaton juna	Veto, jarrutus (1)	Keskipako kuorma (1)	Sivusäysäskuorma (1)			
			1	gr 11	T ₁	1			1 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin pitkittäinen kuorma		
			1	gr 12	T ₁	1			0,5 (5)	1 (5)	1 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin poikittainen kuorma		
			1	gr 13	T ₁	1 (4)				1	0,5 (5)	0,5 (5)	Suurin pitkittäinen kuorma	
			1	gr 14	T ₁	1 (4)				0,5 (5)	1	1	Suurin poikittainen kuorma	
			1	gr 15	T ₁			1			1 (5)	1 (5)	Poikittaisvakavuus ja "kuormittamaton juna"	
			1	gr 16	T ₁			1			1 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	SW/2 ja suurin pitkittäinen kuorma
			1	gr 17	T ₁			1			0,5 (5)	1 (5)	1 (5)	SW/2 ja suurin poikittainen kuorma
			2	gr 21	T ₁ T ₂	1 1					1 (5) 1 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	Suurin pysty- ja suurin pitkittäinen kuorma
			2	gr 22	T ₁ T ₂	1 1					0,5 (5) 0,5 (5)	1 (5) 1 (5)	1 (5) 1 (5)	Suurin pysty- ja suurin poikittainen kuorma
			2	gr 23	T ₁ T ₂	1 (4) 1 (4)					1 1	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	Suurin pitkittäinen kuorma
			2	gr 24	T ₁ T ₂	1 (4) 1 (4)					0,5 (5) 0,5 (5)	1 1	1 1	Suurin poikittainen kuorma
			2	gr 26	T ₁ T ₂	1 1			1		1 (5) 1 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	SW/2 ja suurin pitkittäinen kuorma
			2	gr 27	T ₁ T ₂	1 1			1		0,5 (5) 0,5 (5)	1 (5) 1 (5)	1 (5) 1 (5)	SW/2 ja suurin poikittainen kuorma
			≥ 3	gr 31	T ₁	0,75					0,75 (5)	0,75 (5)	0,75 (5)	Lisäkuormitustapaus

- (1) Kaikki asianomaiset kertoimet (α , Φ , f , ...) tulee ottaa huomioon.
(2) SW/o tulee ottaa huomioon vain jatkuvissa palkkirakenteissa.
(3) SW/2 otetaan huomioon hankekohtaisesti niin määrättäessä.
(4) Kerroin pienennetään arvoon 0,5, jos vaikutus on edullinen.
(5) Edullisissa tapauksissa kuormien kertoimille tulee antaa arvo 0.
(6) HSLM ja "todelliset junat" otetaan huomioon hankekohtaisesti niin määrättäessä.
(7) Ks. myös standardin SFS-EN 1990 taulukkoa A2.3.

	Ryhmän määräävä osakuorma
	Yhtä raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät
	Kahta raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät
	Vähintään kolmea raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

Liikennekuormien pitkäaikaisarvona käytetään arvoa nolla.

Rautatieliikennettä tukevat tilapäiset rakenteet mitoitetaan kuten pysyvät rakenteet. Tilapäiset rakenteet voidaan mitoittaa käyttäen niitä kuormittavaa "todellista junaa" vastaavia kuormia.

B.6.9 Väsyttävät liikennekuormat

Väsymistarkastelu tulee suorittaa kaikille kantaville osille, joissa jännitys vaihtelee.

Väsyminen selvitetään normaalin liikenteen tapauksessa, joka perustuu kuormakaa-vion LM71 ominaisarvoihin, dynaaminen suurennuskerroin Φ_2 mukaan luettuna, käytämällä perusteena sekaliikennetyyppejä "vakioliikenne", "liikenne 250 kN akselein" tai "kevyt sekaliikenne" siitä riippuen, kuormittaako rakennetta sekaliikenne, ensisijaisesti raskas tavaraliikenne vai kevyt henkilöliikenne rakenteelle määriteltyjen vaatimusten mukaisesti. SFS-EN 1991-2 liitteessä D esitetään tarkastelussa käytettyjä junia ja sekaliikennetyyppejä sekä käytettävää dynaamista lisävaikutusta koskevia tietoja. Vaatimukset voidaan määritellä hankekohtaisesti suunnitteluperusteissa.

SFS-EN 1991-2 liite D tullaan korvaamaan erityisellä sekaliikennetyypillä.

Jokainen oletettu sekaliikennetyyppi perustuu sillan jokaisen raiteen vuodessa ylittävään liikenteen määrään 25×10^6 tonnia.

Rakenteille, joiden varassa on usea raide, väsyttävä kuormitus tulee asettaa vaikuttamaan enintään kahdelle raiteelle epäedullisimpiin paikkoihin.

Väsymisen aiheuttama vaurioituminen määritetään rakenteen suunnitellun käyttöajan ajaksi.

Dynaamisen analyysin edellyttämässä kohteissa tulee värähtelyn vaikutus ottaa huomioon väsytystarkastelussa.

Väsymistarkastelussa otetaan huomioon rautatieliikenteen aiheuttamat pystykuormat dynaamisine vaikutuksineen sekä keskipakokuormat. Yleensä sivusysäyskuormat ja pituussuuntaiset liikennekuormat voidaan väsymistarkastelussa jättää huomiotta.

Joissakin erityistilanteissa, esim. sillan tukiessa pääteasemien raiteita, pituussuuntaisten kuormien vaikutus otetaan erikseen huomioon väsymistarkastelussa.

C Tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-4 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

Tässä soveltamisohjeessa esitetyt tuulenpaineen arvot on laskettu standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti olettaen tuulennopeuden modifioimattomalle perusarvolle $v_{b,0}$ arvo 23 m/s.

[Huom.: Tässä soveltamisohjeessa on tuulenpaineen laskennassa käytetty (eurokoodin eräistä tulkinnoista poiketen) liikennekuorman kanssa samaan aikaan esiintyvälle tuulennopeuden modifioimattomalle perusarvolle ($v_{b,0}^*$) samaa arvoa 23 m/s.]

Esitettyjä tuulenpaineen arvoja voidaan soveltaa pienten ja keskisuurten tavanomaisten siltojen suunnittelussa, kun silta on tyypiltään standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan 8.1 mukainen. Mikäli tuulikuorma on merkittävä sillan suunnittelun kannalta, voidaan sillalle tehdä tarkempi tuulianalyysi. Tämän soveltamisohjeen menettelyä voidaan soveltaa myös muihin kuin standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan 8.1 siltatyyppeihin hankekohtaisesti niin sovittaessa. Edelleen hankekohtaisesti saatetaan vaatia erillinen dynaaminen analyysi.

Siltaan kohdistuvan poikittaisen tuulenpaineen arvo saadaan taulukosta C1 (sama taulukko on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-4 kansallisessa liitteessä kohdassa 8.3.2(1)).

Taulukko C.1 Siltaan kohdistuva tuulen paine

Taulukko 8.2(FI). Siltaan kohdistuva tuulen paine [kN/m^2] kun tuulen nopeus on 23 m/s.

Maasto- luokka	0		I		II		III		IV	
	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$
$b/d_{\text{tot}} \leq 0,5$	3,58	4,18	2,54	3,02	2,23	2,75	1,73	2,28	1,30	1,86
$\geq 4^a$	1,94	2,26	1,37	1,64	1,21	1,49	0,94	1,24	0,71	1,01
$> 5^b$	1,49	1,74	1,06	1,26	0,93	1,15	0,72	0,95	0,54	0,77

^a Koskee siltaa, jossa kaiteet ovat avoimet, ts. kaiteen projektiopinta-alasta yli 50 % on avointa.

^b Koskee siltaa, jossa on yhtä aikaan esiintyvä liikennekuorma tai kaiteet ovat suljetut (kysymyksessä on umpikaide tai kaide, jonka projektiopinta-alasta vähemmän kuin 50 % on avointa).

jossa b = siltakannen leveys
 d_{tot} = siltakannen korkeus
 z_e = siltakannen painopisteen etäisyys maan pinnasta

Siltakannella olevan tieliikenteen korkeudeksi oletetaan $d^* = 2,0$ metriä ja rautatieliikenteen korkeudeksi $d^* = 4,0$ metriä jotka lasketaan mukaan mittaan d_{tot} . Kun kaiteen projektiopinta-alasta on alle 50 % avointa lasketaan kaiteen korkeus mukaan mittaan d_{tot} .

Väliarvot voidaan interpoloida taulukoista. Yleensä voidaan käyttää maastoluokan II arvoja, ellei asianomainen viranomaisesta hankekohtaisesti toisin määrää. Suurilla silloilla ja erikoissilloilla voidaan käyttää myös muita arvoja asianomaisen viranomaisen hankekohtaisesti niin määrätessä. Tuulikuormat vinoköysi- ja riippusiltojen sekä kaari- ja vastaavien siltojen eri rakenneosiin on määriteltävä hankekohtaisesti.

Sillan pituussuuntaiset tuulikuormat ovat palkki- ja laattasilloilla 25 % poikittaisista tuulikuormista ja ristikkosilloilla 50 % poikittaisista tuulikuormista ellei hankekohdaisesti muuten määrätä.

Pystysuuntaiset tuulikuormat voidaan määrittellä standardin SFS-EN 1991-1-4 kohdan 8.3.3 mukaan

Mikäli tuulikuorma sillan pilareihin on merkittävä sillan suunnittelun kannalta, otetaan kuorma huomioon standardin SFS-EN 1991-1-4 kappaleen 8.4 ja siihen liittyvän kansallisen liitteen mukaisesti (tuulenpaine saadaan kansallisen liitteen taulukoista 8.4a(FI) ja 8.4b(FI) ellei hankekohtaisesti sovita muuta menettelyä).

Poikittaisen tuulikuorman vaikutusala $A_{ref,x}$ laskettaessa käytettävä siltakannen korkeus saadaan taulukosta C2 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-4 kuva 8.5 ja taulukko 8.1).

Taulukko C.2 Siltakannen korkeuden määrittely

	toisella puolella	molemmilla puolin
Avoin kaide (> 50% avoin):	$d + 0,3$ [m]	$d + 0,6$ [m]
Umpikaide:	$d + d_1$ [m]	$d + 2 \times d_1$ [m]
Liikenteen kanssa:	$d + d^*$ [m]	

d = siltakannen korkeus, d_1 = umpikaiteen korkeus, d^* = liikenteen korkeus

Silloissa, joissa pääkannattimet ovat pinnaltaan yhtenäisiä, huomioidaan tuulen vaikutusalaan valmiissa rakenteessa sillan sivuprojektioala ja rakentamisen aikana kahden pääkannattimen sivuprojektioala. Ristikkorakenteilla tuulen vaikutusalaan huomioidaan jokaisen peräkkäisen ristikon umpinaisten osien sivuprojektioala.

Tuulikuorman yhdistelykertoimet (Ψ_0 , Ψ_1 ja Ψ_2) esitetään tämän soveltamisohjeen taulukoissa G1 (tieliikenteen silloille), G2 (kevyen liikenteen silloille) ja G3 (rautatietuoliikenteen silloille).

Tuulikuorma yhdistellään muiden kuormien kanssa taulukoiden G4...G8 mukaisesti.

D Lämpötilakuormat (SFS-EN 1991-1-5)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-5 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

D.6.1 Siltojen päällysrakenteet

Siltojen päällysrakenteet ryhmitellään kolmeen ryhmään seuraavasti:

Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne

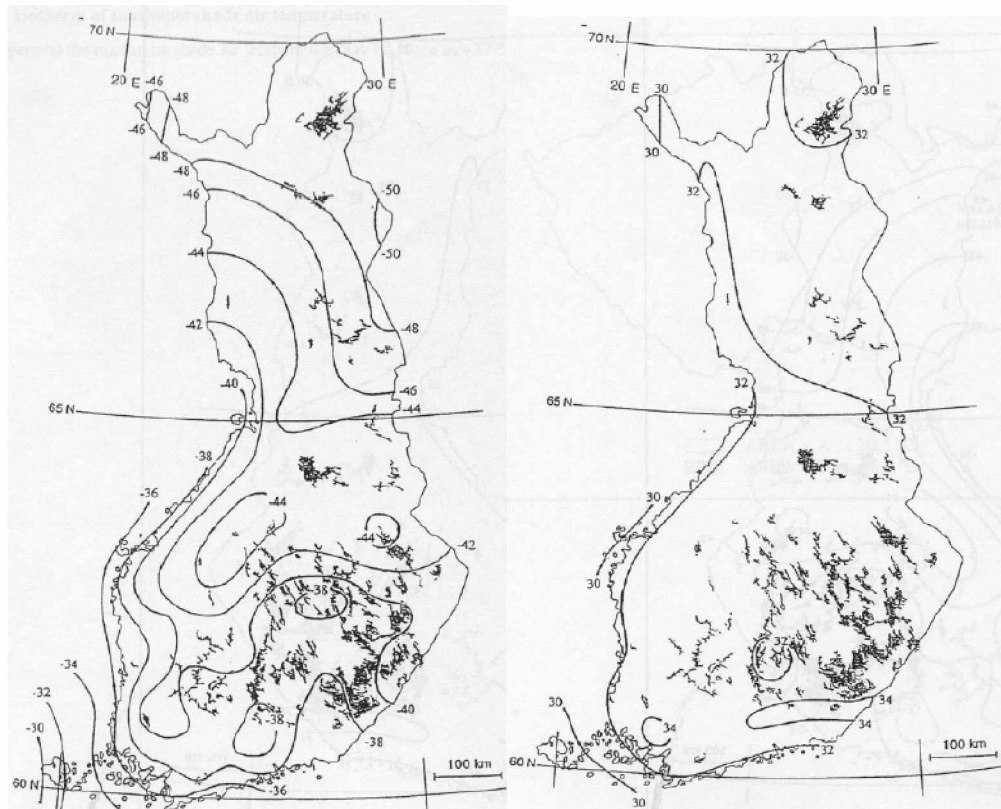
Tyyppi 2: Liittopäällysrakenne

Tyyppi 3: Betonipäällysrakenne

Eri siltatyyppien poikkileikkauksia on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-5 kuvissa 6.2a...6.2c.

Siltojen maksimilämpötiloina pidetään lämpötiloja, jotka ovat terässilloilla 16 °C, liittopalkkisilloilla 4 °C, ja betonisilloilla 2 °C lämpimämmät kuin varjossa mitatut ilman maksimilämpötilat. Vastaavasti siltojen minimilämpötilat ovat terässilloilla 3 °C alemmat ja liittopalkkisilloilla 4 °C ja betonisilloilla 8 °C ylemmät kuin ilman minimilämpötilat. Vastaava asia on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-5 kuvassa 6.1.

Lämpötilan ääriarvot Suomessa on esitetty kuvassa D1. (samat kuvat ovat standardin SFS-EN 1991-1-5 kansallisessa liitteessä, 6.1a(FI) ja 6.1b(FI)).



Kuva D.1 Lämpötilan ääriarvot Suomessa

Sillan alkulämpötilaksi T_0 voidaan olettaa standardin SFS-EN 1991-1-5 liitteen A suositusarvo (10°C) kun alkulämpötila ei ole ennakoitavissa, muuten valitaan arvioitu alkulämpötila.

Mikäli betonin todellinen sitoutumislämpötila aiheuttaa rakenteeseen merkittäviä siirtymiä ja/tai jännityksiä (verrattuna alkulämpötilaan T_0), tulee vaikutukset ottaa huomioon yleisesti hyväksytyillä menetelmillä.

Kun määritetään laakerien ja liikuntasaumalaitteiden liikevaroja, oletetaan liikevaroihin ylimääräistä varmuutta $\pm 20^\circ\text{C}$ lämpötilanmuutosta vastaava siirtymä, kun laakerien ja liikuntasaumalaitteiden asennuslämpötilaa ei ole määritelty ja $\pm 10^\circ\text{C}$ lämpötilanmuutosta vastaava siirtymä kun laakerien ja liikuntasaumalaitteiden asennuslämpötila on määritelty.

Yleensä lämpötilaero täytyy ottaa huomioon vain pystysuunnassa. Standardissa SFS-EN 1991-1-5 esitetään pystysuuntaiselle lämpötilaerolle kaksi eri menetelmää; lineaarinen lämpötilaero sekä epälineaarinen lämpötilaero.

Yleensä voidaan käyttää lineaarisesta lämpötilaeroa. Standardin kuvien 6.2a...6.2c mukaisissa teräskantisissa terässilloissa, teräksisissä liittopalkkisilloissa ja vastaavan poikkileikkauksen betonisilloissa (kotelo), lineaarisen lämpötilaeron lisäksi rakenne on tarkistettava hyppäykselliselle lämpötilaerolle eri rakenneosien välillä (mitoitussarvot on esitetty jäljempänä tässä kappaleessa), ellei tarkastelua tehdä em. kuvien mukaan epälineaarisesti. Mikäli lasketaan epälineaarisen menetelmän mukaisesti, käytetään standardin SFS-EN 1991-1-5 suositusarvoja.

Lineaarinen pystysuuntainen lämpötilaero voidaan määrittää taulukosta D1 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 taulukko 6.1).

Taulukko D.1 Lineaariset pystysuuntaiset lämpötilaerot

Päällysrakennetyyppi:	Yläpinta lämpimämpi $\Delta T_{M,heat}$ (°C)	Alapinta lämpimämpi $\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne	18	13
Tyyppi 2: Liittöpäällysrakenne	15	18
Tyyppi 3: Betoni-päällysrakenne		
betonikotelo	10	5
betonipalkki	15	8
betonilaatta	15	8

Taulukossa D1 esitetyt arvot perustuvat 50 mm päällystepaksuuteen. Taulukossa D2 on esitetty lämpötilaeron korjauskerroin k_{sur} eri päällystepaksuuksille. Väliarvot voidaan interpoloida. (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 taulukko 6.2).

Taulukko D.2 Lämpötilaeron korjauskerroin

Tiesillat, kevyen liikenteen sillat ja rautatiesillat: korjauskerroin k_{sur}						
Päällysteen paksuus [mm]:	Tyyppi 1		Tyyppi 2		Tyyppi 3	
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
päällystämätön:	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vesieristetty:	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
750 (tukikerros)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

Betonikotelokannattimien seinämissä oletetaan lineaarinen lämpötilaero $\pm 15^\circ\text{C}$.

Kuten päällysrakenteissa, myös välitukipilareissa käytetään yleensä lineaarista lämpötilaeroa. Vastakkaisten ulkopintojen välinen lämpötilaero on 5°C ja seinämien sisä- ja ulkopintojen välinen lämpötilaero on 15°C .

Eri rakenneosien välille syntyvän lämpötilaeron vaikutukset otetaan huomioon seuraavasti:

- $\pm 15^\circ\text{C}$ vetotangon ja kaaren välillä
- $\pm 10^\circ\text{C}$ vaaleiden riippu-/vinoköysien ja muun rakenteen välillä
- $\pm 20^\circ\text{C}$ tummien riippu-/vinoköysien ja muun rakenteen välillä
- $+20 / -5^\circ\text{C}$ terässilloilla kannen ja palkkien/kotelon välillä
- $\pm 10^\circ\text{C}$ liittopalkkisilloilla kannen ja palkkien välillä
- $\pm 5^\circ\text{C}$ betonisilloilla kannen ja palkkien/kotelon välillä

Eri rakenneosien välille syntyvän lämpötilaeron vaikutukset lisätään lämpötilan muutoksesta aiheutuviin vaikutuksiin (kuitenkin siten, että yksittäisen rakenneosan kuvan D1 avulla määritettyä maksimi-/minimilämpötilaa ei ylitetä)

Lämpötilan muutos ja epälineaarinen lämpötilaero yhdistetään lopullista mitoitusvarten standardin SFS-EN 1991-1-5 kaavojen 6.3 ja 6.4 mukaisesti. Tätä laskettua

lämpötilakuormien vaikutusta (T_k) käytetään tämän soveltamisohjeen taulukoissa G4...G8 ja liitteessä 1 esitettyissä kuormitusyhdistelyissä.

$$\Delta TM_{,heat} \text{ (tai } \Delta TM_{,cool}) + 0,35 \times \Delta TM_{,exp} \text{ (tai } \Delta TM_{,con}) \quad (D.1)$$

$$0,75 \times \Delta TM_{,heat} \text{ (tai } \Delta TM_{,cool}) + \Delta TM_{,exp} \text{ (tai } \Delta TM_{,con}) \quad (D.2)$$

E Työnaikaiset kuormat (SFS-EN 1991-1-6)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-6 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

Ellei standardissa SFS-EN 1991-1-6 tai sen siltoja koskevassa kansallisessa liitteessä ole toisin määrätty, sovelletaan seuraavia kansallisia soveltamisohjeita:

- RIL 147-2006 Tukitelineet ja muotit
- RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohjeet
- Työnaikaisten ratakaivantojen tukeminen (Ratahallintokeskuksen julkaisu A10/2001)
- TIEH 2000023-v-08 Siltojen tukitelineet - 2007

F Onnettomuuskuormat (SFS-EN 1991-1-7)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-7 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

F.3 Mitoitustilanteet

Standardissa SFS-EN 1990 rakenteet on jaettu kolmeen seuraamusluokkaan CC1, CC2 ja CC3 (CC = Consequence Class) alla olevan taulukon mukaisesti.

Taulukko F.1 Seuraamusluokat

Seuraamusluokka	Kuvaus
CC3	Suuret seuraamukset
CC2	Keskisuuret seuraamukset
CC1	Pienet seuraamukset

(vrt. täydellinen taulukko B1 standardissa SFS-EN 1990)

Seuraamusluokkiin CC1, CC2 ja CC3 on edelleen liitetty (ks. kappale B3.2 standardissa SFS-EN 1990) kolme luotettavuusluokkaa RC1, RC2 ja RC3 (RC = Reliability Class). Kullekin luotettavuusluokalle on standardissa suositeltu tietty vähimmäisluotettavuus (käyttäen luotettavuusindeksiä β).

Taulukko F.2 Luotettavuusluokat

Luotettavuusluokka	Indeksin β vähimmäisarvot 50 vuoden tarkastelujakso
RC1	4,3
RC2	3,8
RC3	3,3

(vrt. täydellinen taulukko B2 standardissa SFS-EN 1990)

Eräs yksinkertainen keino, jolla luotettavuuden tasoluokitus voidaan käytännössä tehdä, on käyttää kuormalle erilaista osavarmuuslukua γ_F . Esimerkiksi mitoituksen valvonnan ja toteuttamisen tarkastustasojen säilyessä samoina kansallisessa liitteessä annetut osavarmuusluvut voidaan kertoa alla olevan taulukon mukaisella kertoimella K_{FI} .

Taulukko F.3

	Luotettavuusluokka		
	RC1	RC2	RC3
Kuormakerroin K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Lähtökohtaisesti sillat sijoitetaan seuraamusluokkaan CC2. Tästä johtuen silloilla ei ole otettu Suomessa lainkaan käyttöön kuormakerrointa K_{FI} (joka on 1,0 seuraamusluokassa CC2).

Tilapäiset sillat ja sillat, joissa vaurioseuraamukset ovat lievät, voidaan asianomaisen viranomaisen päätöksellä sijoittaa hankekohtaisesti seuraamusluokkaan CC1.

Tällöin yhtenä mahdollisuutena seuraamusluokan CC1 rakenteissa on kuormakertoimen $K_{FI} = 0,9$ käyttö murtorajatilan kuormitusyhdistelyissä ja/tai yksittäisten rakenteosien kantokyvyn menettämisen salliminen (ks. standardin SFS-EN 1991-1-7 siltoja koskeva kansallinen liite, kohta 3.3 (2))

Mikäli mahdollisella onnettomuudella on oletettavissa suuret vaurion seuraukset eli ollaan seuraamusluokassa CC3, tehdään erillinen riskianalyysi ja mahdollisista toimenpiteistä päätetään hankekohtaisesti. Riskinarvioinnissa voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1991-1-7 opastavaa liitettä B.

Yhtenä mahdollisuutena seuraamusluokan CC3 rakenteissa on kuormakertoimen $K_{FI} = 1,1$ käyttö ja/tai rakenteelliset toimenpiteet mahdollisen onnettomuuden todennäköisyyden tai onnettomuudesta seuraavien vaurioiden pienentämiseksi. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kappaleen 3.3 esittämät toimintaperiaatteet, joiden mukaan rajoitetaan paikallisen vaurion laajuutta, määritellään hankekohtaisesti seuraamusluokan CC3 rakenteille.

Tämän soveltamisohjeen esittämät onnettomuusmitoitustilanteet soveltuvat sellaisenaan seuraamusluokkien CC1 ja CC2 rakenteiden mitoitukseen. Seuraamusluokan CC3 rakenteille onnettomuuskuormat määritellään riskianalyysin perusteella.

F.4 Törmäyskuormat

Silloissa otetaan yleensä huomioon ainoastaan kantaviin rakenteisiin kohdistuvat törmäykset. Muihin rakenteisiin kohdistuvat törmäykset otetaan huomioon ainoastaan, jos niistä on vaaraa sillan kantavuudelle tai sillan käyttäjille.

Kevytrakenteisien siltarakenteiden, kuten jännitettyjen elementtisiltöjen, puusiltöjen ja teräsiltojen ml. teräksisten putkisiltöjen, päällysrakenne on sijoitettava vähintään 1 m alitse kulkevalle ajoneuvoliikenteen tielle määritellyn vapaan korkeuden yläpuolelle ajoneuvon törmäysvaaran välttämiseksi.

Ellei rakenteen haurasmurtuminen aseta rajoituksia rakenteen käyttäytymiselle, törmäystilanteessa rakenteen ja maan rajapinnan yhteistoimintaa voidaan pitää plastisena ja kestävyuden ylärajana maan murtumista tai passiivipainetta.

Sillan reunan tulee kestää kaikissa tilanteissa onnettomuuskuorma, joka koostuu reunapalkin ulkoreunaan sijoitetusta pyöräkuormasta (LM2) ja samanaikaisesti kaiteeseen vaikuttavasta törmäyskuormasta samassa kohdassa.

TieH H2 sillankaiteen onnettomuusrajatilan törmäyskuorma kaidepylvästä kohden reunapalkin yläpinnan korkeudella on 64 kN sillan poikkisuuntaisena vaakakuormana ja 8,5 kNm samanaikaisesti vaikuttavana pylvästä sillan poikkisuuntaan taivuttavana momenttina. Tiehallinnon betonisillankaiteen onnettomuuskuormat on määritetty kaiteiden tyyppi- ja rakenteissa. Betonikaiteen kohtisuoran törmäyskuorman korkeus ajoradan pinnasta on $\leq 0,8$ m.

F.4.3.1 Törmäys tukena toimiviin alusrakenteisiin

Törmäyskuormat alusrakenteisiin saadaan taulukosta F4, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. (sama taulukko on standardin SFS-EN 1991-1-7 siltoja koskevassa kansallisessa liitteessä, 4.1(FI)).

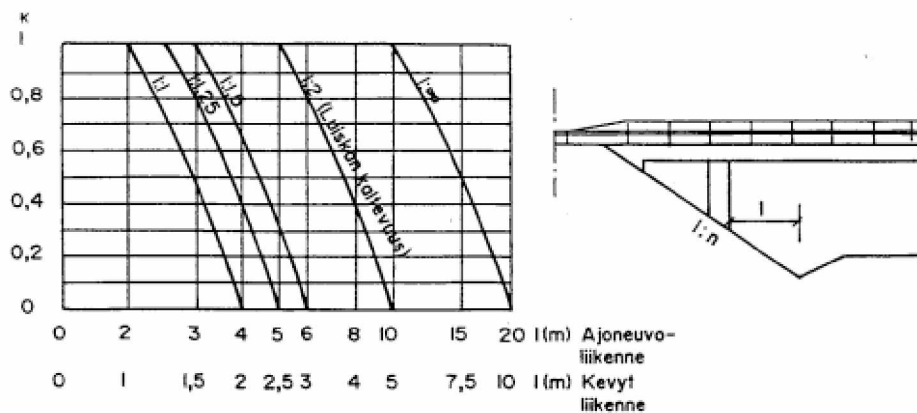
Taulukko F.4 Alittavan tieliikenteen törmäyskuormat siltojen alusrakenteisiin

Taulukko 4.1(FI) – Ajoväylän yläpuolella tai vieressä olevia rakenteita tukeviin rakennuksiin ajoneuvon törmäyksestä aiheutuvat ohjeelliset ekvivalentit staattiset mitoituskuormat.

Liikenteen luokka	Kuorma F_{dx}^a [kN]	Kuorma F_{dy}^a [kN]
Moottoritiet sekä muut ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80$ km/h	1000	500
Ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $50 \text{ km/h} \leq v < 80 \text{ km/h}$	750	375
Ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v < 50 \text{ km/h}$	500	250
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autohallit, joiden kunnossapito hoidetaan koneellisesti tai joissa kuorma-autojen ^b kulku ei ole rakentein estetty	150	75
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autohallit, joiden kunnossapito hoidetaan manuaalisesti tai enintään 3,5 tonnin kalustolla ja joissa kuorma-autojen ^b kulku on rakentein estetty ^c	50	25

^a x = normaali liikenteen suunta, y = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan.
^b Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.
^c Rakenne-esteellä tarkoitetaan sitä, että kulkuväylä on kaiteilla tai sitä järeämmillä rakenteilla rajattu siten, että leveys on $\leq 2,4$ m tai kulkuväylän korkeus yläpuolisilla kantavilla rakenteilla rajattu siten, että korkeus on $\leq 2,2$ m.

Taulukossa F4 esitetyt kuormat F_{dx} ja F_{dy} eivät vaikuta törmäystilanteessa samanaikaisesti. Sillan alusrakenteen etäisyys ajoradan reunasta tai ylöspäin viettävä luiska otetaan huomioon pienentämällä taulukon F4 törmäyskuormia kertoimella k, jonka suuruus saadaan kuvasta F1.



Kuva F.1 Kertoimen k määrittäminen

Mikäli luiskan ja päällysrakenteen alapinnan välinen tila törmäyskohdassa on $< 1,2$ m, törmäyskuormaa ko. alusrakenteeseen ei tarvitse ottaa huomioon.

Törmäyskuormasta otetaan huomioon vain puolet kun rakennetta suojaa > 1000 mm korkea asianomaisen viranomaisen hyväksymä H2 luokan kaide ja rakenteen ja kaiteen välissä on vähintään 1,2 m leveä tyhjä tila.

Törmäyskuormaa ei tarvitse ottaa lainkaan huomioon, mikäli rakenteen ja kaiteen välissä on vähintään 5 m leveä tyhjä tila.

Väliarvot voidaan interpoloida yllä esitettyistä arvoista. Jos tiekaiteen korkeus on välillä 650...1000 mm, kerrotaan yllä olevat etäisyydet kahdella.

Mikäli rakenne sijaitsee alaspäin viettävässä luiskassa, eikä rakennetta ole suojattu asianomaisen viranomaisen hyväksymällä kaiteella, törmäyskuorma vaikuttaa täysmääräisenä taulukon 4.1(FI) mukaan 20 m etäisyydelle tien reunasta. Mikäli rakenne on suojattu kaiteella, yllä annetut kaiteen ja rakenteen välisten tyhjien tilojen leveydet kerrotaan kahdella.

Törmäyskuorma jaetaan korkeussuunnassa alueelle 0,5-1,0 m ajoradan/luiskan pinnasta mitattuna ja leveydelle 1,50 m tai rakenneosan leveydelle sen mukaan, kumpi on pienempi.

F.4.3.2 Päälysrakenteisiin kohdistuva törmäys

Törmäyskuormat päälysrakenteisiin saadaan taulukosta F5, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. (sama taulukko on standardin SFS-EN 1991-1-7 siltöjen koskevassa kansallisessa liitteessä, 4.2(FI)).

Taulukko F.5 Alittavan tieliikenteen törmäyskuorma siltöjen päälysrakenteisiin

Taulukko 4.2(FI) – Päälysrakenteeseen kohdistuvan törmäyksen aiheuttamat ekvivalentit staattiset mitoituskuormat

Liikenteen luokka	Ekvivalentti staattinen mitoituskuorma F_{dk}^a [kN]	Törmäyskuorman kohteena olevan rakenteen alarajakorkeus h_o [m]
Mootoritiet sekä muut ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, missä suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80$ km/h	500	5,2
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, missä suurin sallittu ajonopeus on $50 \text{ km/h} \leq v < 80$ km/h	375	5,2
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, missä suurin sallittu ajonopeus on $v < 50$ km/h	250	5,2
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autohallit, joiden kunnossapito hoidetaan koneellisesti tai joissa kuorma-autojen ^b kulku ei ole rakentein estetty	75	4,6
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autohallit, joiden kunnossapito hoidetaan manuaalisesti tai enintään 3,5 tonnin kalustolla ja joissa kuorma-autojen ^b kulku on rakentein estetty ^c	25	3,5

^a x = normaali liikenteen suunta.

^b Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.

^c Rakenteellisella esteellä tarkoitetaan sitä, että kulkuväylän leveys on < 2,4 m tai kulkuväylän korkeus < 2,2 m.

Taulukossa F5 päällysrakenteeseen kohdistuvan törmäyskuorman suuruus on täysimääräinen kun törmäyskohteena olevan rakenteen korkeus tien pinnasta on yhtä suuri tai pienempi kuin taulukossa F5 annettu alarajakorkeus h_0 . Törmäyskuormaa ei tarvitse ottaa huomioon kun korkeus ylittää alarajakorkeuden $h_1 = h_0 + 1$ m. Väliarvot voidaan interpoloida.

Tarvittaessa otetaan huomioon myös liikenteen suuntaa vastaan kohtisuora kuorma F_{dy} (taulukon F5 arvot voidaan puolittaa). Kuormat F_{dx} ja F_{dy} eivät vaikuta törmäystilanteessa samanaikaisesti.

Sillan päällysrakenteen alapintaan kohdistuvissa törmäyksissä tulee ottaa huomioon myös taulukon F.5 mitoituskuorma F_{dx} käännettynä 10° ylöspäin (ks. SFS-EN 1991-1-7 4.3.2 (1) huom. 4).

Törmäyskuorman vaikutusalue on neliö, jonka sivunpituus on 0,25 m.

Betonisilloissa on käytettävä kolhaisusuoja tieliikenteen ajoradan kohdalla kun alikulkukorkeus on $< 5,0$ m. Kevytrakenteisen sillan kantavien rakenteiden (esim. ristikko- tai liittopalkkisilta jossa ei ole varauduttu mahdolliseen törmäykseen erityistimenpitein) kohdalla alikulkukorkeuden tulee olla $\geq 5,6$ m.

F.4.5 Suistuneen junan aiheuttamat onnettomuuskuormat

Sillat kuuluvat yleensä standardin SFS-EN 1991-1-7 luokkaan B: Massiivinen rakenne, joka ylittää käytössä olevan rautatien ja jossa ei oleskella pysyvästi.

Junien törmäyskuormat alusrakenteisiin saadaan taulukosta F6, ellei hankekohtaisesti tosin määrätä.

Taulukko F.6 Alittavan rata liikenteen törmäyskuorma siltojen alusrakenteisiin

Vaakasuora etäisyys rakenteen pinnasta lähimmän raiteen keskilinjaan [m]		Raiteen suuntainen voima [kN]		Raidetta vastaan kohtisuora voima [kN]	
vaihteeton alue	vaihtealue	≤ 120 km/h	200 km/h	≤ 120 km/h	200 km/h
$d < 3,1$ m	$d < 5$ m	8000	10000	3000	3750
$d = 3,1 - 5$ m	$d = 5 - 7$ m	4000	6000	1500	2250
$d = 5 - 7$ m	$d = 7 - 10$ m	2000	4000	750	1500
$d = 7-10$ m		0	1000	0	375

- Voimat voidaan interpoloida lineaarisesti nopeuden suhteen, kun $120 < V < 200$ [km/h].
- Kuormia voidaan vähentää 50 %, jos kaluston nopeus on alle 50 km/h.
- Kuormia voidaan vähentää 50 %, jos tukirakenteet on suojattu vähintään 0,55 m korkeilla massiivisilla laiturirakenteilla, tai jos yksittäiset tukirakenteet on yhdistetty korkeilla massiivisilla jalustoilla.
- Yksittäiseen rakenneosaan kohdistuvia kuormia voidaan vähentää 50 %, jos rakenneosa ei sijaitse rakenneosarivin ulommaisena rakenneosana.
- Kuormia voidaan vähentää 25 %, jos tukirakenteet on suojattu suojakiskoin. Suojakiskojen pituuden tulee olla $\geq V^2/80$ [m], mutta vähintään 30 m. (V = junan nopeus [km/h].) Suojakiskojen käytölle tulee olla Liikenneviraston lupa ja niiden tarve esitetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

Edellä mainittuja vähennyksiä voidaan yhdistellä.

Onnettomuuskuormat vaikuttavat 1,8 m:n korkeudella raiteen korkeusviivan tasosta. Törmäyspinnan leveydeksi voidaan olettaa enintään 2 m ja korkeudeksi enintään 1 m.

F.4.8 Laivaliikenteen aiheuttamat onnettomuuskuormat

Standardin SFS-EN 1991-1-7 opastavassa liitteessä C esitettyjä alustyyppöjä ei voi sellaisenaan käyttää suunnittelussa, vaan paikalliset olosuhteet on otettava huomioon. Muut standardissa SFS-EN 1991-1-7 esitetyt laivan törmäyksiä koskevat vaatimukset ovat voimassa, elleivät paikalliset olosuhteet eroa merkittävästi standardin oletuksista.

Käytettävät törmäyskuormat määritellään hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen toimesta perustuen väyläkohtaisiin tietoihin. Mahdollinen riskianalyysi ja siihen liittyvä laivojen törmäysten tilastollinen mallintaminen tehdään tarvittaessa yleisesti tunnustettuja menetelmiä käyttäen.

Eriyistä huomiota on kiinnitettävä laivaväylän viereisten tukien suunnitteluun riittävän vaurionsietokyvyn (robustness) varmistamiseksi.

G Kuormien yhdistely (SFS-EN 1990/A1 Liite A2)

Kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990:2002/A1 – liite A2) sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetaakaan kantaa.

G.1 Käyttötarkoitus

Standardin SFS-EN 1990 liitteessä A2 esitetään tiesiltojen, kevyen liikenteen siltojen ja rautatiesiltojen suunnitteluun käytettäviä, kuormien yhdistelyä koskevia sääntöjä ja menetelmiä käyttörajatila- ja murtorajatilatarkasteluihin (lukuun ottamatta varmuuden osoittamista väsymisen suhteen) sekä pysyvien, muuttuvien ja onnettomuuskuormien ja yhdistelykertoimien Ψ_i suositeltavia mitoitusarvoja.

Tässä soveltamisohjeessa esitetään tärkeimmät standardin vaatimukset sekä standardin antamat kuormien yhdistelykertoimet ja -kaavat. Lisäksi tässä soveltamisohjeessa (liite 1) esitetään kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelyt siten, että kaikki standardin vaatimukset tulevat otetuiksi huomioon.

Eri materiaaleista valmistettujen rakenneosien viitteellinen käyttöikä on esitetty materiaalistandardeja koskevissa soveltamisohjeissa.

G.2 Kuormien yhdistely

G.2.1 Yleistä

Kuormia, jotka ei fysikaalisista tai toiminnallisista syistä voi esiintyä samanaikaisesti, ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti kuormien yhdistelmissä, joista voimasuureet lasketaan.

Murtoraja- ja käyttörajatilan kuormitusyhdistelyt muodostetaan taulukoiden G4-G8 avulla (vastaavat taulukot standardissa ovat A2.4...A2.6). Yhdistelyssä käytettävät yhdistelykertoimet (Ψ_i) on esitetty taulukoissa G1-G3 (vastaavat taulukot standardissa ovat A2.1...A2.3). Kuormitusyhdistelmiä tehtäessä on otettava huomioon kaikki standardissa esitetyt erityisehdot (näitä erityisehtoja on mm. kappaleissa A2.2.2...A2.2.4)

Liitteessä 1 on esitetty kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelmät murto- ja käyttörajatiloissa kun otetaan huomioon edellä esitetyt standardin vaatimukset ja erityisehdot. Liitteen 1 käyttö on suositeltavaa kuormitusyhdistelmiä muodostettaessa.

G.2.2 Yhdistelykertoimien Ψ arvot

Tässä kappaleessa esitetyt taulukot G1...G3 sisältävät yhdistelykertoimet tieliikenteen silloille (G1), kevyen liikenteen silloille (G2) sekä rautatiesilloille (G3). Kyseiset

Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)

taulukot vastaavat liitteen A2:n taulukoita A2.1...A2.3 ja niihin on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat sekä kansalliset lisäykset.

Taulukko G.1 Tiesiltojen yhdistelykertoimet

Kuorma			ψ_0	ψ_1	ψ_2	
			Yhdistelyarvo (combination)	Tavallinen arvo (frequent)	Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)	
gr1a	LIIKENNEKUORMAT	gr1a	Teli (LM1)	0,75	0,75	-
		gr1a	UDL (LM1) ⁽²⁾	0,4	0,4	- 0,3
			Keveyen liikenteenkuorma (3kN/m ²)	0,4	0,4	-
		gr1b	Akselikuorma (LM2)	-	0,75	-
		gr2	LM1 +Vaakakuormat	-	-	-
gr3		gr3	Keveyen liikenteen väylän kuorma	-	-	-
gr4		gr4	Ruuhkakuorma	-	0,75	-
gr5		gr5	Erikoiskuorma (LM3)	-	-	-
F _{wk}	TUULIKUORMAT	-F _{wk}	Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0,6	0,2	-
T _k	LÄMPÖTILATKUORMAT ⁽³⁾	TK (ks. kappale D)	- 0,6	0,6	0,5	
BF	LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0,6	0,5	0,4	
IL	JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0,7	0,5	0,2	
S	TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma			
TLEF	LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA ⁽¹⁾	(ks. EN 1991-2 NA 4.9.1 (1))	0,75	0,75	-	

1) Liikennekuorman maanpaine:

-Kun sillakannella ei ole telikuormaa, käytetään gr1a:n telikuorman psi-arvoa (0,75/0,75/0)

-Kun sillakannella on telikuormaa, käytetään gr1a:n tasaisen kuorman psi-arvoa (0,4/0,4/0,3)

2) gr1a:n tasaisen kuorman pitkäaikaisarvo (ψ_2) on yleisillä teillä sijaitsevilla silloilla 0,3, ja valtionapua saavilla yksityisteiden silloilla 0.

3) Lämpötilakuorman yhdistelyarvon (ψ_0) valinta: ks. materiaalkohtaiset sovellusohjeet

Taulukko G.2 Keveyen liikenteen siltojen yhdistelykertoimet

Kuorma			ψ_0	ψ_1	ψ_2	
			Yhdistelyarvo (combination)	Tavallinen arvo (frequent)	Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)	
gr1	LIIKENNEKUORMAT	gr1	Tasainen kuorma	0,4	0,4	-
			Pistekuorma	-	-	-
gr2	LIIKENNEKUORMAT	gr2	Huoltoajoneuvo	-	-	-
				-	-	-
F _{wk}	TUULIKUORMAT	-F _{wk}	Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0,3	0,2	-
T _k	LÄMPÖTILATKUORMAT ⁽¹⁾	TK (ks. kappale D)	- 0,6	0,6	0,5	
BF	LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0,6	0,5	0,4	
IL	JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0,7	0,5	0,2	
S	TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma			
TLEF	LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA	(ks. EN 1991-2 NA 4.9.1 (1))	0,4	0,4	-	

1) Lämpötilakuorman yhdistelyarvon (ψ_0) valinta: ks. materiaalkohtaiset sovellusohjeet

Taulukko G.3 Rautatiesiltojen yhdistelykertoimet

Kuorma			ψ_0	ψ_1	ψ_2
			Yhdistelyarvo (combination)	Tavallinen arvo (frequent)	Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
Liikennekuormien yksittäiset komponentit ⁽²⁾	LM71		0,8	1 ⁽¹⁾	0
	SW/0		0,8	1 ⁽¹⁾	0
	SW/2		0	1,0	0
	ULT	Kuormittamaton juna	1,0	-	-
	HSLM		1,0	1,0	0
	T&B Veto- ja jarrukuormat		Liikennekuorman yksittäisille komponenteille käytetään mitoitusilanteissa, joissa liikennekuormia pidetään yksittäisenä (usean komponentin sisältävänä) määräävänä kuormana eikä kuormaryhminä, samoja yhdistelykertoimen ψ arvoja kuin asianomaisille pystykuormille		
	CF Keskipakokuormat				
		Pystysuuntaisten liikennekuormien aiheuttamien muodonmuutosten synnyttämät kuormat			
	NF Sivusysäyskuormat				
	ML	Yleiseltä käytöltä suljettujen kulkukäytävien	0,8	0,5	0
		Todelliset junat	1,0	1,0	0
	TLEP	Liikennekuormasta johtuva vaakasuuntaisen maanpaineen lisäys	0,8	1 ⁽¹⁾	0
	AE	Aerodynaamiset vaikutukset	0,8	0,5	0
	TUULIKUORMAT	-F _{wk}	Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0,75	0,5
LÄMPÖTILATKUORMAT ⁽³⁾	TK (ks. kappale D)	0,6	0,6	0,5	
LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0,6	0,5	0,4	
JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0,7	0,5	0,2	
TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma			

1) Kerroin riippuu kuormitettujen raiteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun i=1, 0,7 kun i=2 ja 0,6 kun i≥3

2) Pienin samanaikaisesti raideliikennekuormien yksittäisten komponenttien (esim. keski-, veto- tai jarrukuormakomponenttien) kanssa esiintyvä edullinen pystykuorma on 0,5 LM71 jne.

G.3 Murtorajatila

G.3.1 Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet

Normaalisti vallitsevissa mitoitusilanteissa murtorajatilan kuormien mitoitusarvot saadaan tässä kappaleessa esitetyistä taulukoista G4...G6. Kyseiset taulukot vastaavat liitteen A2:n taulukoita A2.4(A)...A2.4(C) ja niihin on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat sekä kansalliset lisäykset.

Siltöjen staattinen tasapaino tarkastetaan taulukon G4 avulla (standardin taulukko A2.4(A) – Set A – EQU).

Rakenneseien kestävyys tarkastetaan taulukon G5 avulla (standardin taulukko A2.4(B) – Set B – STR/GEO). Myös anturoiden ja paalujen suunnittelu tehdään taulukon G5 avulla (menettelytapa 2 standardin kohdan A2.3.1 (5) mukaan, ks. siltöjen geotekniikkaa käsittelevä soveltamisohje).

Taulukkoa G6 ei käytetä siltöjen suunnittelussa luiskien vakavuustarkasteluja lukuun ottamatta.

Taulukko G.4 SET A – EQU staattinen tasapaino

Taulukko A2.4(A) (FI) – Kuormien mitoitusarvot (EQU eli staattinen tasapaino)		(Sarja A)				
Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat	
Yhtälö 6.10	$1,15 / 0,9$	<i>G</i>	$1,1 / 0,9$	<i>P</i>	$1,35 \cdot$ (tieliikennekuorma) $1,35 \cdot$ (kevyen liikenteen kuorma) $1,45 \cdot$ (raide liikennekuorma)	$1,50 \cdot \Psi_{0,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	$1,15 / 0,9$	<i>G</i>	$1,1 / 0,9$	<i>P</i>	$1,50 \cdot$ (muu määrävä muuttuva kuorma)	$1,35 \cdot \Psi_{0,i} \cdot$ (tieliikennekuorma) $1,35 \cdot \Psi_{0,i} \cdot$ (kevyen liikenteen kuorma) $1,45 \cdot \Psi_{0,i} \cdot$ (raide liikennekuorma) } $+ 1,50 \cdot \Psi_{0,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja (pysyvän kuorman osavarmuuslukua lukuun ottamatta)
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema NW-tasossa rinnastetaan pysyvään kuormaan
- Esijännityksen osavarmuusluku 1,30, kun tarkistetaan ulkoisen jännevoiman yhteydessä esiintyvää stabiilisuusrajaa ja jännevoiman arvon kasvu voi olla epäedullinen (ks. SFS-EN 1992-1-1 kohta 2.4.2.2 (2))
- Erikoistapaukset (vastapainon käyttö, laakereiden nousu tms.) ks. standardin suositukset
- Siirtymillä aikaansaadun esijännityksen (tukien nosto/lasku) osavarmuusluku 1,0 mikäli mitataan siirtymät ja tukireaktiot, 1,1/0,9 mikäli mitataan vain siirtymät.
- Yhdistelykertoimet (Ψ_i) ks. taulukot G1...G3.

- Mitoituskaava:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot G_{kj,sup} + 0,9 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

Taulukko G.5 SET B – STR/GEO rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus

Taulukko A2.4(B) (FI) – Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO eli rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus) (Sarja B)

	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määrävyä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10a	1,35 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P		
<i>tai</i>						
6.10b	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · (raideliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,50 · (muu määrävyä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Suomessa käytetään lausekkeitä 6.10a ja 6.10b
- Lauseke 6.10a sisältää vain pysyvät kuormat
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema NW-tasossa rinnastetaan pysyvään kuormaan
- Liikennekuorman maanpaineen osavarmuusluku on 1,50 / 0
- Tukipainuman osavarmuusluku lineaarisessa analyysissä 1,20 / 0 ja epälineaarissa analyysissä 1,35 / 0
- Esijännityksen osavarmuusluku 1,20 kun tarkistetaan jännitysvoiman paikallisia vaikutuksia (esim. ankkurointialue), ks. SFS-EN 1992-1-1 kohta 2.4.2.2(3).
- Yhdistelykertoimet (ψ_i) ks. taulukot G1...G3.
- Mitoituskaava a: $E_d = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot G_{kj,sup} + 0,90 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P$
- Mitoituskaava b:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot G_{kj,sup} + 0,90 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

Taulukko G.6 SET C – STR/GEO

Taulukko A2.4(C) (FI) – Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO) (Sarja C)

	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat	
	1,00	G	1,00	P	1,15 · (tieliikennekuorma) 1,15 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · (raideliikennekuorma)	1,30 · $\Psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)	
6.10	tai						$1,15 \cdot \Psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) $1,15 \cdot \Psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) $1,25 \cdot \Psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma) + $1,30 \cdot \Psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	1,00	G	1,00	P	1,30 · (muut muuttuvat kuormat)		

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema NW-tasossa rinnastetaan pysyvään kuormaan
- Liikennekuorman osavarmuusluku on 1,30 / 0
- Yhdistelykertoimet (Ψ_i) ks. taulukot G1...G3.
- Mitoituskaava:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

G.3.2 Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteet

Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteissa murtorajatilan kuormien mitoitusarvot saadaan tässä kappaleessa esitetystä taulukosta G7. Kyseinen taulukko vastaa liitteen A2:n taulukkoa A2.5 ja siihen on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset verrat.

Taulukko G.7 Onnettomuusmitoitussyhdistely

Mitoitustilanne	6.11 a/b	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Onnettomuus- tai maanjäristyskuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
		1,00	G	1,00	P		
Onnettomuus-kuorma	6.11 a/b	1,00	G	1,00	P	A_d (onnettomuuskuorma)	$\Psi_{1,i}$ · (liikennekuorma), $\Psi_{2,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
Maanjäristys-kuorma	6.12 a/b	1,00	G	1,00	P	A_{Ed} (Maanjäristyskuorma)	$\Psi_{2,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Onnettomuusmitoitussyhdistelmissä määrävälle muuttuvalle kuormalle annetaan sen tavallinen arvo (Ψ_1) mikäli kyseessä on liikennekuorma, muuten pitkäaikaisarvo (Ψ_2). Muille muuttuville kuormille annetaan pitkäaikaisarvo (Ψ_2).
- Tiesilloilla liikennekuorma sijaitsee vain yhdellä kaistalla.
- Mikäli hankekohtaisesti ei muuta päätetä (esim. ratapihalla), voi onnettomuusyhdistelmissä rautatiesillä olevan liikennekuorman puolittaa

- Kansallinen viranomaisen voi määrätä erikseen mahdolliset maanjäristystilanteet.
- Onnettomuuskuorman mitoituskaava:

$$E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + A + (\psi_{1,1} \vee \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

G.4 Käyttörajatila

Käyttörajatiloiissa kuormien mitoitusarvoina käytetään taulukon G8 arvoja. Kyseinen taulukko vastaa liitteen A2:n taulukkoa A2.6 ja siihen on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat.

Taulukko G.8 Käyttörajatilayhdistelyt

	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
<i>Ominaisyhdistelmä 6.14</i>	1,00	G	1,00	P	(määrävä muuttuva kuorma)	$\Psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
<i>Tavallinen yhdistelmä 6.15</i>	1,00	G	1,00	P	$\Psi_{1,1}$ · (määrävä muuttuva kuorma)	$\Psi_{2,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
<i>Pitkäaikaisyhdistelmä 6.16</i>	1,00	G	1,00	P	$\Psi_{2,1}$ · (määrävä muuttuva kuorma)	$\Psi_{2,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Eri käyttörajatiloiissa tehtävät tarkastelut on määritetty materiaaliakohtaisissa soveltamisohjeissa
- Mitoituskaava 6.14: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + Q_{k,1} + \sum (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$
- Mitoituskaava 6.15: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$
- Mitoituskaava 6.16: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$

Eurokoodeista on tulkittavissa seuraava peruseräite eri käyttörajatilojen käytölle:

- Käyttörajatilan ominaisyhdistelmällä tarkastetaan ”palautumattomia” muodonmuutoksia, mm.:
 - betonirakenteen jännitysrajat (NCCI 2 kpl 7.2)
 - teräsrakenteen jännitysrajat (NCCI 4 kpl 7.1.1)
 - Vaarujen jännitysraja (NCCI 4 kpl 3.6)
 - rautatieliikenteen siltojen taipumarajat¹⁾ (NCCI 1 taulukko B.9)
 - Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarat (NCCI 1 kpl H.8)

- Käyttörajan tavallisella yhdistelmällä tarkastetaan ”palautuvia” muodonmuutoksia, mm.:
 - tieliikenteen siltojen ja kevyen liikenteen siltojen taipumarajatilat NCCI 2 kpl 7.4, NCCI 5 kpl 7.2, NCCI 4 kpl 7.1.3)
 - lyhytaikaisen tilanteen halkeamarajatila (NCCI 2 kpl 7.3)
 - teräsrakenteen uuman hengittäminen (NCCI 4 kpl 7.1.2)
- Pitkäaikaisella yhdistelmällä tarkastetaan mm.
 - betonin jännitysraja $0,45 \cdot f_{ck}$ (NCCI 2 kpl 7.2)
 - jännitetyn rakenteen pysyminen puristettuna (NCCI 2 kpl 7.3)
 - pitkäaikaisen tilanteen halkeamarajatila (NCCI 2 kpl 7.3)

¹⁾ Rautatieliikenteen silloilla siirtymäraajat käsitetään turvallisuuteen liittyviksi rajatiloiksi ja tarkastelu tehdään ominaisyhdistelmällä

Yllä olevasta listasta on jätetty pois eräät erikoistapaukset väsymiseen ja geotekniikkaan liittyen.

G.4.3.2 Kevyen liikenteen mukavuuskriteerit

Kevyen liikenteen siltojen värähtelystä aiheutuu yleensä haittaa vain sillan käyttäjille koettuna epämiellyttävyytenä, eikä se vaurioita siltaa. Periaatteena on, että vähemmän liikennöidyillä silloilla voidaan sallia enemmän värähtelyä kuin vilkkaasti liikennöidyillä.

Siltojen suunnittelussa tulisi aina harkita laskennassa käytetty heräte, laskentamenetelmä ja kiihtyvyyserajat (mukavuustaso) tapauskohtaisesti. Tätä tarkoitusta varten on tehty siltojen jako neljään luokkaan liikennemäärän suhteen. Tätä luokkajakoa on herätteiden valinnan suhteen suositeltavaa noudattaa.

Seuraavassa kappaleessa esitetty mitoitusmenetelmä on kuitenkin melko konservatiivinen varsinkin herätteiden huomioon ottamisen osalta (herätteen paikallaan pysyvyys). Jotta välttyttäisiin liialliselta ylimitoitukselta värähtelyn suhteen, voidaan laskentamallissa käyttää herätteiden osalta tarkempia menetelmiä perustuen liikkuvaan herätteeseen. Mahdolliset muutokset mitoituskriteereihin ja laskentamenetelmiin harkitaan hankekohtaisesti suunnittelijan ja Tilaajan kesken.

Jos mitoituskriteereitä selvästi helpotetaan, on suositeltavaa tehdä sillan valmistuttua sille värähtelymittaus sekä mahdollisesti varautua jo suunnitteluvaiheessa mahdollisten värähtelyn vaimentimien asentamiseen.

Keuyen liikenteen silloilla värähtelystä aiheutuvat kiihtyvyydet on tarkistettava kun sillan jokin ominaistaajuus on pystysuuntaiselle värähtelylle alle 5,0 Hz ja poikittaiselle värähtelylle sekä vääntövärähtelylle alle 2,5 Hz. Pystysuuntaisena herätteenä käytetään kävelyherätettä tarkasteltavan ominaistaajuuden ollessa alle 2,3 Hz ja muuten juoksuherätettä. Poikittaissuuntaisena herätteenä käytetään ainoastaan kävelyherätettä. Kiihtyvyys ei saa ylittää pystysuuntaisilla värähtelyillä arvoa 0,7 m/s² ja vaakasuuntaisilla värähtelyillä arvoa 0,2 m/s².

Keuyen liikenteen siltöjen värähtelytarkastelussa sillat jaetaan niiden sijainnin perusteella neljään eri siltaluokkaan. Käytettävä heräte valitaan siltaluokan perusteella. Siltaluokat on esitetty taulukossa G.9.

Taulukko G.9 Keuyen liikenteen siltöjen siltaluokat

Luokka	Kuvaus	Heräte
1	Erittäin vilkkaasti liikennöidyt keuyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat urheilustadionien läheisyydessä.	Heräte määritellään hankekohtaisesti.
2	Vilkkaasti liikennöidyt keuyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat kaupunkien keskustoissa.	Jalankulkijavirta $d = 0,5$ hlö/m ² tai kaksi juoksijaa.
3	Normaalisti liikennöidyt keuyen liikenteen sillat.	Neljä kävelijää tai yksi juoksija.
4	Vähäisesti liikennöidyt keuyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat metsäpolkujen varrella.	Yksi kävelijä. Hankekohtaisesti tarkastelu voidaan jättää tekemättä.

Kävelijä- sekä juoksijaryhmillä käytettävän herätteen pystysuuntainen amplitudi saadaan lausekkeesta

$$F = k \cdot \alpha \cdot \rho \quad (\text{G.1})$$

missä

- k on määräkerroin, $k = n^{0,5}$ (jalankulkijat epätahdissa)
n on jalankulkijoiden määrä
 α on kuormakerroin
P on yhden kävelijän paino (700 N)

Kuormakerroin lasketaan kaavalla G.2 kävelyherätteelle ja kaavalla G.3 juoksuherätteelle.

$$\alpha = 0,83 \cdot e^{-0,35f} \leq 0,45 \quad (\text{G.2})$$

$$\alpha = 5,25 \cdot e^{-0,45f} \leq 1,5 \quad (\text{G.3})$$

, missä f on rakenteen ominaistaajuus. Vaakasuuntaisen herätteen amplitudi saadaan pystysuuntaisesta amplitudista kertomalla se kertoimella 0,125. Siltaluokassa 4 voi-

daan yksiaukkoisilla silloilla käyttää myös standardin SFS-EN 1995-2 liitteessä B esitettyä yksinkertaistettua menetelmää.

Jalankulkijavirrälle herätteenä käytetään koko kannen alalle tasaisesti jakautunutta kuormaa, jonka suunta valitaan niin, että sillä saadaan määräävä vaikutus tarkasteltavalla ominaisuudella. Kuorman suunta voi vaihdella sillan eri osissa. Kuorman amplitudi jalankulkijavirrälle saadaan kaavasta

$$F = a \cdot P \cdot n' \cdot \psi \quad (\text{G.4})$$

missä

- a on herätteen suunnasta riippuva kerroin (pystysuuntaiselle 0,4 ja poikittaiselle 0,05)
- P on yhden kävelijän paino (700 N)
- n' on ekvivalentti jalankulkijoiden määrä
- ψ on taajuudesta riippuva kuormakerroin

Ekvivalentti jalankulkijoiden määrä saadaan kaavasta

$$n' = \frac{10,8 \sqrt{\xi \times n}}{A} \quad (\text{G.5})$$

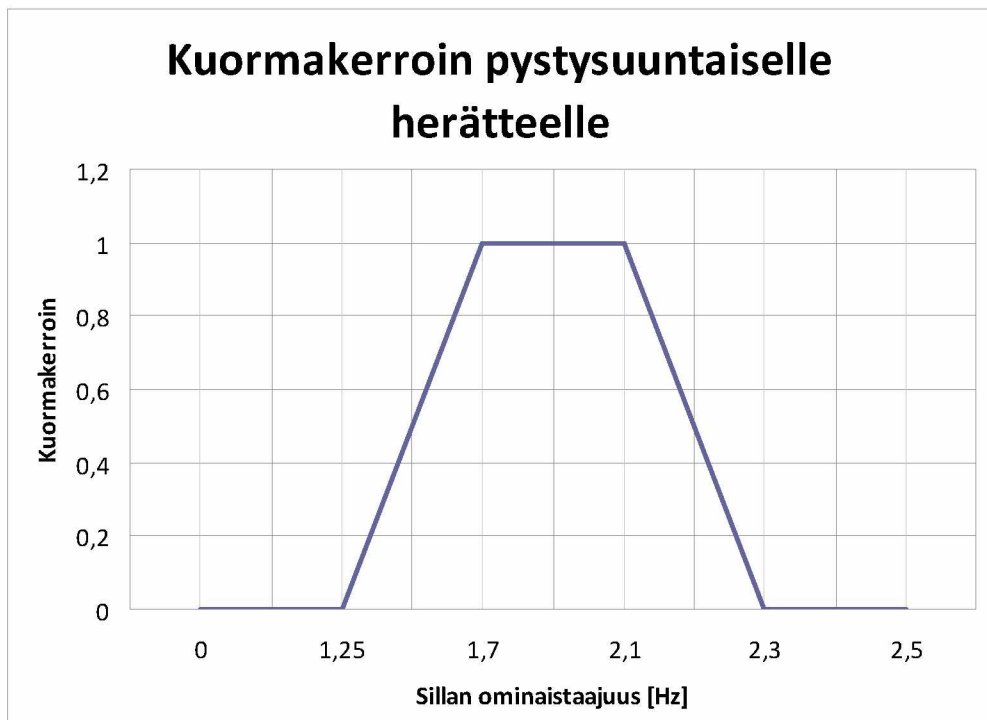
missä

- ξ on sillan vaimennussuhde
- n on jalankulkijoiden määrä sillalla ($n = d \times A$)
- A on sillan kannen pinta-ala

Kuormakertoimen ψ arvo on esitetty alla olevissa kuvissa.



Kuva G.1



Kuva G.2

Jalankulkijaherätteen aiheuttamia värähtelyjä tarkasteltaessa käytettävät vaimennussuhteen arvot eri materiaaleille on esitetty taulukossa G.10.

Taulukko G.10: Vaimennussuhteet

Materiaali	Pienin ξ	Keskimääräinen ξ
Teräsbetoni	0,80%	1,30%
Jännitetty betoni	0,50%	1,00%
Liittorakenne	0,30%	0,60%
Teräs	0,20%	0,40%
Puu	1,00%	1,50%

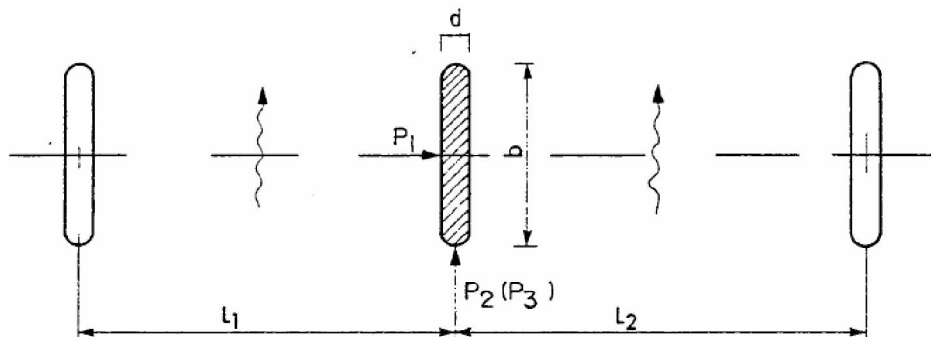
H Eurokoodin soveltamisalan ulkopuolelle jäävät kuormat ja muut lisäohjeet

H.1 Jääkuormat

Siltarakenne mitoitetaan jääkuormalle ottamalla huomioon paikalliset olosuhteet ja rakenteen muotoilu. Tavallisessa jokien jääolosuhteissa siltöjen jääkuormat voidaan määrittää seuraavassa esitetyllä tavalla. Näitä arvoja pienempiä arvoja voidaan käyttää helpoissa olosuhteissa, esim. jos siltapilarit ovat joka puolelta jääpeitteen ympäröimiä ja jää sulaa paikoilleen. Erityisen vaikeissa olosuhteissa käytetään suurempia jääkuorman arvoja.

Rakenteisiin kohdistuvien jääkuormien oletetaan vaikuttavan vedenpinnan tasossa vaakasuorassa suunnassa.

Siltapilariin kohdistuu jääkuorma P_1 , joka aiheutuu ensisijaisesti pysyvän jääpeitteen lämpötilan muutoksesta, ja jääkuorma P_2 , joka aiheutuu virran paineesta kiinteään jääpeitteeseen. Kuorman P_1 , otaksutaan vaikuttavan kohtisuoraan pilarin sivupintaa vastaan ja kuorman P_2 virran suunnassa. (Kuva H1). Jääkuormien P_1 ja P_2 ei oleteta vaikuttavan samanaikaisesti.



Kuva H.1 Sillan tukeen vaikuttavat jääkuormat

Jääkuorman P_1 suuruus määritetään kaavasta

$$P_1 = b \cdot i_1 \quad (\text{H.1})$$

jossa

- $b =$ siltapilarin leveys
- $i_1 =$ 100 kN/m linjan Kemi-Kajaani eteläpuolella
150 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Jos pilarin molemmin puolin on kiinteä jäänpeite, P_1 :n arvo voidaan pienentää.

Jos vesistön rannat siltapaikan alueella ovat niin jyrkät, että jääkenttä saa täyden tuen vastareunaltaan, (esim. kallioranta 1:1 tai jyrkempi) kerrotaan jääkuorman P_1 arvo kertoimella 1,5.

Jääkuorman P_2 suuruus määritetään kaavasta

$$P_2 = 0,5(l_1 + l_2)i_2 \quad (\text{H.2})$$

jossa

l_1 ja l_2 ovat etäisyydet tarkasteltavalta pilarilta viereisiin pilareihin
 $i_2 =$ 20 kN/m linja Kemi-Kajaani eteläpuolella
30 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Jos siltapaikan alueella esiintyy liikkuvaa jäätä, tarkistetaan siltapilarit lisäksi virran suunnassa vaikuttavalle kuormalle P_3 , joka määritetään kaavasta

$$P_3 = 1000 \cdot h \cdot d [\text{kN}] \quad (\text{H.3})$$

jossa

$h =$ jään paksuus tarkasteltavassa kohdassa (m)
Jään paksuudeksi ei kuitenkaan oleteta enempää kuin 1,0 m
 $d =$ siltapilarin paksuus (m)

H.2 Tukipainuman ottaminen huomioon

Jos pääty- ja välituet perustetaan siten, että on odotettavissa perustusten painumia, arvioidaan painumaerot geoteknisten laskelmien perusteella. Kalliolle perustetut tuet oletetaan painumattomiksi. Maanvaraisten tukien painumaeroksi oletetaan aina vähintään 10 mm. Kalliokuoppaan ohuen täytteen varaan perustetun tuen siirtymäksi oletetaan 10mm, vaikka kuoppaa ei kuivateta.

Tukipainuma otaksutaan pysyväksi kuormaksi.

Maanpaineen tai muiden vaakasuorien kuormien rasittamien maanvaraisten perustusten siirtymät arvioidaan erikseen. Kalliolle perustetut tuet oletetaan vaakasuunnassa siirtymättömiksi. Maanvaraisten tukien siirtymän vaakasuorassa suunnassa oletetaan olevan aina vähintään 10 mm (joka otetaan huomioon liikuntasaumalaitteiden ja laakereiden liikevaroissa).

H.3 Laakerikitka

Liikkuvan laakerin kitka määritetään valmistajan suositusten mukaisesti ottaen huomioon materiaaliominaisuuksien ajasta riippuvat muutokset sekä laakerin mahdollinen likaantuminen ja syöpyminen. Riittävien tietojen puuttuessa määritetään kitkavoima kokeilla.

Teräksisten rullalaakerien laakerikitkan otaksutaan olevan 6 % pysyvän kuorman tukireaktiosta. Liukulaakereissa, joissa kitkapinnat ovat polytetrafluoretyleniä (PTFE), laakerikitka vaihtelee riippuen mm. lämpötilasta ja pintapaineesta. Ellei tarkempia selvityksiä ole käytettävissä kitkan voidaan otaksua olevan niissä 6 % pysyvän kuor-

man tukireaktiosta kun keskimääräinen pintapaine laakerissa on 20 MN/m² ja 10 % kun pintapaine on 10 MN/m². Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.

Ks. myös standardin SFS-EN 1993-2 liite A.

H.4 Maanpaineen käsittely

Lepopaine katsotaan yleensä pysyväksi kuormaksi. Jos joku osa maaineksesta/maasta voidaan otaksua poistettavaksi rakenteen käyttöaikana, lasketaan poistamisen vaikutus pysyvän kuorman muutoksena.

Maanpaine, joka aiheutuu maan pintaan kohdistuvasta kuormasta, luokitellaan samalla tavalla kuin kuorma, joka sen aiheuttaa (yhdistelykerroin ja varmuuskerroin aiheuttavan kuorman mukaan).

Siltöjen maa- ja välituet mitoitetaan vähintään lepopaineen suuruiselle maanpaineelle ja tarkistetaan myös 0,7 kertaa lepopaineen suuruiselle paineelle.

Jos rakenne pakotetaan liikkumaan maata vastaan, mitoitetaan se suuremmalle maanpaineelle kuin lepopaine (passiivipaine). Passiivipaineen tapauksessa yhdistelykerroin määräytyy aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuuskerroin pysyvän kuorman mukaan.

H.5 Vedenpinnan aseman huomioonottaminen

Vedenpinnan raja-arvoina käytetään alivedenpintaa (NW) ja ylivedenpintaa (HW). Vedenpaine ja veden aiheuttama noste voidaan käsitellä pysyvänä kuormana alivedenpinnan NW -tasolla ja HW -tason ja NW -tason väliseltä osalta muuttuvana kuormana, joka otetaan huomioon koko arvolla kuormia yhdisteltäessä.

H.6 Betonin kutistuminen ja viruminen

Betonin kutistuminen ja viruminen voidaan yleensä ottaa huomioon suunnittelussa loppuarvolla. Tilanne, jossa vain osa kutistumisesta ja virumisesta on tapahtunut, tutkitaan tarvittaessa. Liikennekuorman kuormittaessa rakennetta voidaan otaksua vähintään 50 % kutistumasta ja virumasta tapahtuneeksi. Lisäohjeita esitetään Liikenneviraston betonisiltöjen soveltamisohjeessa.

Kuormayhdistelyissä kutistuminen ja viruminen otetaan huomioon pysyvänä kuormana.

H.7 Jännevoima

Jännevoiman vaikutus lasketaan välittömästi jännittämisen jälkeen hetkellä $t = 0$ ja kaikkien häviöiden tapahtuttua hetkellä $t = \infty$. Tarvittaessa tarkastellaan jännevoi-

man vaikutus ajanhetkellä $t = t_1$, jolloin silta kuormitetaan ja vasta osa häviöistä on tapahtunut.

H.8 Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarojen määrittäminen

Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarat mitoitetaan taulukon G8 ominaisyhdistelmälle. Liikevaroissa on huomioitava taulukossa H1 annettu lisävarmuus sekä tukien siirtymät. Liikuntasaumalaitteen ja laakereiden liikevaroja määrittäessä tulee huomioida kannen kiertymän vaikutus liikuntasaumalaitteeseen.

Taulukko H.1: Lisävarmuuden ΔT_o ominaisarvot

Tapaus	Asentaminen	ΔT_o [°C]
1	Asennus suoritetaan rakenteen ollessa ennalta määritetyssä lämpötilassa.	10
2	Asennus suoritetaan ilman, että rakenteen asennusaikaista lämpötilaa on ennalta määritetty tai jos kiinteän laakerin paikassa tapahtuu muutoksia.	20

Tukien siirtymiä laskettaessa otaksutaan:

- kalliolle perustettu tuki ei liiku
- maanvarainen tuki siirtyy ± 10 mm / tuki, päätytuki vain aukkoon päin
- paalutetut tuet laskelmien mukaan / ± 10 mm

Ellei tarkempaa tietoa ole saatavissa voidaan laakereita ja liikuntasaumalaitteita asennettaessa käyttää taulukon H2 mukaisia asennuslämpötiloja.

Taulukko H.2: Asennuslämpötilat T_o

Laakeria asennettaessa			Liikuntasaumalaitetta asennettaessa	
Vuodenaika	Paikalla valettu	Muut sillat	Vuodenaika	Kaikki sillat
Kesä	+30°C	+20°C	Kesä	+20°C
Talvi	+20°C	-10°C	Talvi	-10°C

Kutistuman ja viruman vaikutusta laskettaessa voidaan rakenteen iän otaksua olevan 14 vrk jännitettäessä ja 42 vrk liikuntasaumalaitetta asennettaessa.

Piirustukseen merkitään tarvittava kokonaisliikemäärä ja asennusennakko tai asennusväli muuttuvan asennuslämpötilan mukaan ($\Delta T = 5^\circ\text{C}$) taulukkona. Kumilevyllaakereille ei voida asettaa asennusennakkoa.

H.9 Liikuntasaumalaitteet

Maatukiin, joissa on useampikuminen liikuntasaumalaite, tehdään tarkastus- ja huoltotila laitteen alle. Tilan minimileveys on 600 mm ja siinä on oltava seisomakorkeus ja laitteeseen on yletyttävä tekemään käsin huoltotoimenpiteitä. Tarkastus- ja huoltotilan suunnittelussa käytetään Liikenneviraston julkaisun ”Siltojen hoito ja ylläpito, suunnitteluohje” ohjeita.

Silloissa käytetään vain Liikenneviraston hyväksymiä liikuntasaumalaitteita. Liikuntasaumalaitteille asetetaan siltsuunnitelmassa seuraavat vähimmäisvaatimukset:

Saumalaitteen liikemäärä saa olla yhtä kumielementtiä kohden enintään 60 mm moottori- ja moottoriliikennetien silloilla ja 80 mm muiden teiden sekä kevyen liikenteen väylien silloilla. Saumalaitteen liikemäärän raja- arvot määritetään sillan liikkeen suunnassa.

Puukantisissa silloissa käytetään puristetussa tilassa olevaa kumiprofiilia, jonka liikevara on 0...50 mm.

Teräskantisissa silloissa laite kiinnitetään joko hitsaamalla tai ruuveilla kansilevyn läpi.

Piirustuksissa on ilmoitettava laitevaatimus, todellinen tarvittava liikevara ja kumi-profiilien määrä.

Reunapalkin kohdalla saumalaite voidaan taittaa ylöspäin jotta vesi ei valu laitetta pitkin luiskaan kun sillan pituuskaltevuus on $\geq 2,0$ ‰.

Liikuntasaumalaitteen kumi- ja teräsprofiili ulotetaan 100 mm reunapalkin ulkopuolelle, mikäli liikuntasaumalaitteen korkoasema laskee reunapalkkia kohden. Teräsprofiilin alalaipat leikataan tältä osin pois. Käytettäessä matalaa reunapalkkia on saumalaite viistettävä kannen reuna-alueilla reunapalkin yläpinnan kaltevuuteen siten, ettei saumalaitteen yläreuna jää reunapalkin yläpintaa korkeammalle tasolle.

Useampikumisen liikuntasaumalaitteen poikkikannattajat (traverssit) on asennettava sillan liikkeen suuntaisiksi.

Massaliikuntasauaman tarve ja käyttömahdollisuus harkitaan erikseen. Massaliikuntasauama voidaan käyttää, kun liikuntasauaman kokonaisliikemäärä on enintään 30 mm, ellei Liikennevirasto ole hyväksynyt erikseen tätä suurempaa liikemäärää.

H.10 Siltalaakerit

H.10.1 Yleistä

Päällysrakenteen ja laakeritason välin on oltava kumilevyllaakereita käytettäessä vähintään 200 mm ja muita laakerityyppejä käytettäessä 250 mm. Tästä poiketen kaikille laakerityypeille hyväksytään vähimmäisväli 150 mm, jos pilarin yläpinnan pinta-alan pienuudesta johtuen laakerin kunto on helposti tarkastettavissa joka puolelta.

Laakerit on tehtävä betonisissa silloissa irrotettaviksi kiinnittämällä niiden ala- ja ylälevyt pulteilla. Laakerit on varustettava pölysuojuksin.

Vinoissa silloissa varataan laakeritasolle ja päällysrakenteen alapintaan riittävästi tilaa laakerivarausta varten.

Kumipesälaakerien tulee olla testattu -40°C :ssa InfaRYL kohdan 42420.01 vaatimusten mukaisesti.

Laskettaessa laakeritappien tai liikerajajatappien leikkausvoimakapasiteettia on otettava vähentävänä tekijänä huomioon vaakavoiman vaikutuspisteen todellinen etäisyys betonin pinnasta. Laskenta voidaan tehdä esim. teoksen Leonhardt, Vorlesungen über Massivbau, Zweiter Teil, 1975 kohdan 3.6 mukaisesti.

Kumilevy-laakeroiduissa silloissa, joiden päällysrakenteen pääty liikkuu penkereessä, liikerajajien käytössä noudatetaan seuraavia periaatteita:

Jos päällysrakenteen pääty on kohtisuora liikesuuntaa vastaan, poikittaisia liikkeenrajaajia ei tarvita, ellei rajaajien käyttämiseen ole erityisiä perusteita.

Jos päällysrakenteen pääty on vino, tarvitaan poikittaisia siirtymiä estävät liikkeenrajaajat, jotka mitoitetaan niihin kohdistuville rasituksille.

H.10.2 Mitoituskuormien määrittäminen

Laakereiden rakenteellinen mitoitus suoritetaan taulukon G5 mukaiselle murtorajatilan yhdistelmälle sekä taulukon G8 mukaiselle käyttörajatilan ominaisyhdistelmälle.

Laakeri ei saa mennä vedolle käyttörajatilan ominaisyhdistelmällä. Mikäli laakeri menee vedolle murtorajatilan kuormitusyhdistelmällä, on rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.

Yhteen suuntaan liikkuvien laakereiden suuntaus ja siitä aiheutuvat pakko-voimasuureet on tarkasteltava laskelmissa.

Laakerin toimittajaa varten esitetään taulukon H3 mukaiset lähtötiedot.

Taulukko H.3:

	N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	u_x [mm]	u_y [mm]	α_x [mrad]	α_y [mrad]
Murtorajatila							
Laakerikuormat taulukon G5 mukaiselle yhdistelmälle.							
max. N_{zd}							
min. N_{zd}							
max. $V_{x,Ed}$							
min. $V_{x,Ed}$							
max. $V_{y,Ed}$							
min. $V_{y,Ed}$							
Käyttörajatila							
Laakerikuormat taulukon G8 mukaiselle ominaisyhdistelmälle							
max. N_{zd}							
min. N_{zd}							
max. $V_{x,Ed}$							
min. $V_{x,Ed}$							
max. $V_{y,Ed}$							
min. $V_{y,Ed}$							
Laakerin siirtymät ja kiertymät taulukon G8 mukaiselle ominaisyhdistelmälle ¹⁾							
max. $u_{x,d}$							
max. $u_{y,d}$							
max. $\alpha_{x,d}$							
min. $\alpha_{x,d}$							
max. $\alpha_{y,d}$							
min. $\alpha_{y,d}$							

Vähintään taulukon tummennetut sarakkeet tulee täyttää.

1) Laakerien liikevara mitoitetaan kappaleen H8 mukaisesti.

Laakerointipiirustuksessa esitetään taulukon H4 mukaiset lähtötiedot.

Taulukko H.4:

KUMIPESÄLAAKERIT				
	T1		T2	
	L11	L12	L21	L22
PYSTYKUORMAT [MN]				
- Pysyvät				
- max				
- min				
VAAKAKUORMAT [MN]				
- Sillan pituussuuntaan				
- Sillan poikkisuuntaan				
LIIKEVARAT [mm] siirtymät				
- Sillan pituussuuntaan				
- Sillan poikkisuuntaan				
SUURIN KIERTYMÄ				
SILTALEVYLLE+LAAKERILLE+ALUSTAVALULLE VARATTU TILA h [mm]				
LAAKERIN ALALEVYN MINIMIKOOT [mm]				
- Halkaisija				
- Neliö/sivumitta				
ASENNUSENNAKKO [mm]				
t = -10°C				
t = 10°C				
t = 20°C				
Asennusennakko liikekeskustaan päin				
t = rakenteen lämpötila				
Jos asennettavan laakerin korkeus on suurempi tai laakerityyppi tai levyjen muoto poikkeaa oletetusta, on sillan pääsuunnittelijan on tarkastettava suunnitelma.				

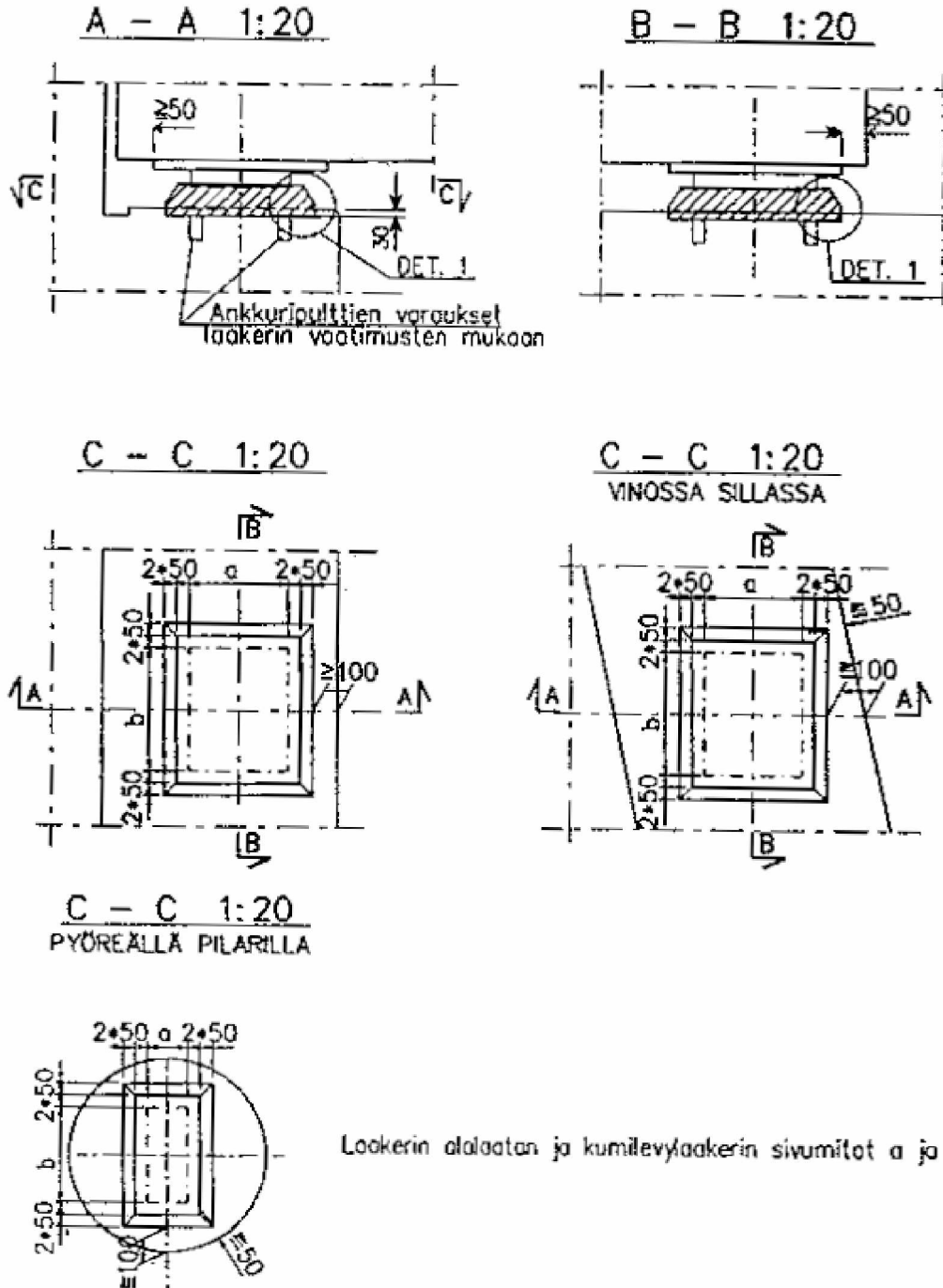
Taulukossa esitettävien kuormien ja liikkeiden arvot ovat taulukon G8 ominaisyhdistelmän mukaiset.

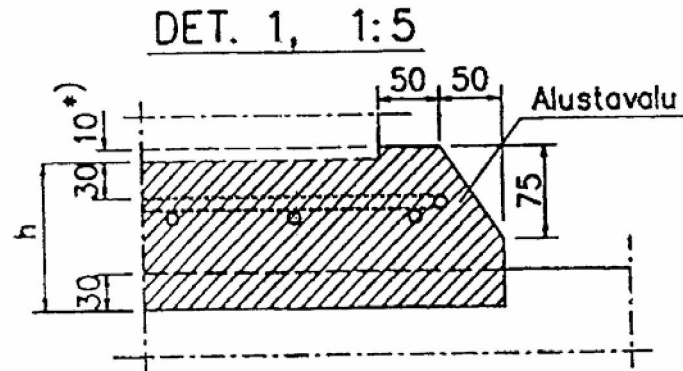
Kumilevylaakerit mitoitetaan standardin SFS-EN 1337-3 mukaisesti.

Kumilevylaakereilla suunnittelijan on huolehdittava siitä, että kustakin kuormitusyhdistelmästä annetaan vain joko siirtymä tai sitä vastaava voima. Jos yhdistelmä sisältää sekä siirtymiä että voimia on huolehdittava siitä, ettei samasta kuormituksesta anneta molempia.

H.10.3 Laakerialusta

Laakerialustan muoto, mitat, materiaalivaatimukset ja rauditusperiaate on esitettävä suunnitelmassa.



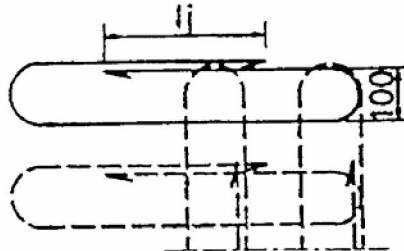


*) UPOTUS EI KOSKE KUMILEVYLAAKERIA

ALUSTAVALUN RAUDOITUSPERIAATE

1. JOS ALUSTAVALUN ALAPINTA ON KÄYTTÖRAJATILASSA PURISTETTU, MÄÄRÄTÄÄN ALUSTAVALUN TERÄSTYS SEURAAVASTI:

- Jos alustavalun korkeus $h < 70$ mm, raudoitusta ei tarvita
- Jos $70 < h \leq 170$, määritetään teräkset oheisen taulukon ja piirroksen mukaan.



N_{max} (MN)	Raudoitus	Jatkospituus l_j
2,5	♠ 8 # 100	250
5,0	♠ 10 # 100	300
7,5	♠ 12 # 100	350
Suuremmilla laakerikuormilla raudoitus määrätään tapauskohtaisesti.		

2. MUULLOIN MÄÄRÄTÄÄN ALUSTAVALUN TERÄKSET JA ANKKUROINTI ALUSRAKENTEESSEN TAPAUSKOHTAISESTI.

Laakerialustan laatuvaatimukset on esitettävä piirustuksessa.

Jos laakerin yläpuolelle joudutaan tekemään täytevalu, niin se on tehtävä samaan aikaan ja samasta betonista kuin kannen valu. Laakerilevyn reunaetäisyydet ja täytevalun reunaviisteet ovat samat kuin alustavalussa.

Jos täytevalun korkeus on yli 50 mm, niin se on raudoitettava. Raudoitus on muuten sama kuin alustavalussa, mutta raudoitteet on ankkuroitava kannen betoniin.

Yli 100 mm korkeaa laakerin yläpuolista täytevalua ei saa tehdä.

H.10.4 Laakerin aluslevyn minimikoon määrääminen

H.10.4.1 Sovellutusalue

Tätä ohjetta voidaan soveltaa kaikkiin teräsbetonialustalle asennettaviin laakereihin lukuun ottamatta kumilevy-laakereita. Niiden suunnittelu tehdään entiseen tapaan asianomaista ohjetta noudattaen.

H.10.4.2 Laskentaperusteet

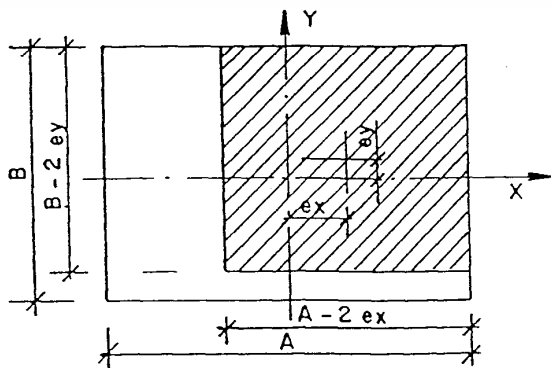
Betonin puristusjännitys laakerilevyn alla lasketaan paikallisena puristuksena ohjetta "Eurokoodin soveltamisohje: Betonisillat" noudattaen. Laskennan edellytyksenä on, että paikallisen puristuksen aiheuttama poikittaisjännitys on laskettu ja halkaisuvoima on tarvittaessa otettu raudoituksella.

Laatan läpileikkautuminen saattaa myös tulla määrääväksi, jolloin joudutaan käyttämään suurempaa levykokoa kuin paikallinen puristuskestävyys edellyttäisi.

H.10.4.3 Kuormituspinta-ala

Laskennassa kuormituspinta-alana käytetään ns. tehokasta pinta-alaa, jossa kuorman epäkeskisyyden ja laakerin liikevara on huomioitu pinta-alaa pienentävänä tekijänä.

Tehokas pinta-ala A_{eff} (A_{co})



$$e_x = \frac{\Delta L_x}{2} + \frac{H_x * h}{V}$$

$$e_y = \frac{\Delta L_y}{2} + \frac{H_y * h}{V}$$

ΔL_x = laakerin laskettu kokonaisliikevara pituussuunnassa.

ΔL_y = laakerin laskettu kokonaisliikevara poikkisuunnassa.

V = pystysuora laakerikuorma

H_x = laakerin vaakakuorma pituussuunnassa.

H_y = laakerin vaakakuorma poikkisuunnassa.

h = laakerin korkeus.

Vinossa sillassa kuormituspinnan A_{co} nurkka sijaitsee usein lähinnä pilarin tai rinta-muurin reunaa. Suure A_{c1} lasketaan tämän nurkan reunaetäisyyden perusteella. Ympyränmuotoisen alalevyn vaadittavaa minimikokoa laskettaessa reunaetäisyytenä käytetään pinta-alaltaan vastaavan suuruisen neliön reunaetäisyyttä.

Tavanomaisissa kumipesälaakereissa voidaan laakerin korkeusmitta h valita laskenta varten taulukosta H.5. Muun tyyppisissä laakereissa ja suurissa kumipesälaakereissa käytetään valmistajan ilmoittamaa korkeusmittaa.

Taulukko H.5 Laakerin korkeus

V (kN)	h (mm)
1000	100
3000	125
5000	150
7000	175
10000	200

H.10.5 Laskentaesimerkki

Tätä laskentaesimerkkiä voidaan käyttää soveltaen.

Laakerin korkeus $h = 135 \text{ mm}$ (Taulukossa)

Kokonaisliikevara $\Delta L = 200 \text{ mm}$

Laskentakuorma $V = 6,02 \text{ MN}$ ($1,15g + 1,35q_{k1}$)

Vaakakuorma pituussuunnassa $H_x = 0,14 \text{ MN}$

Vaakakuorma Poikkisuunnassa $H_y = 0,12 \text{ MN}$

Kansilaatan betoni C35/45 – 3, $f_{cd} = 25,9 \text{ MN/m}^2$

Tuen betoni C30/37 – 3, $f_{cd} = 22,2 \text{ MN/m}^2$

1. YLÄLAATTA

Ratkaistaan tehokas pinta-ala kaavasta

$$F_{Rdu} = A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} \quad F_{Rdu} = V$$

$$A_{co} = \frac{V^2}{f_{cd}^2 \times A_{c1}}$$

A_{c1} :n määrittämiseksi lasketaan kuormituksen epäkeskisyyden ja otaksutaan A_{co} :lle pienin mahdollinen arvo.

$$A_{co} = \frac{V}{3x f_{cd}} = \frac{6,02}{3x 25,9} = 0,077 \text{ m}^2$$

$$e_x = \frac{200}{2} + \frac{0,14x135}{6,02} = 103 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,12x135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$A_{e1} = 0,63 \text{ m}^2 \text{ (Ks : kuorman jakaantuminen)}$$

$$A_{co} = \frac{6,02^2}{25,9^2 x 0,63} = 0,086 \text{ m}^2$$

Pinta-ala on suurempi kuin minimiarvo joten ylälevyn tehokas pinta-ala

$$A_{eff} (A_{co}) \geq 0,086 \text{ m}^2$$

Ratkaistaan sivumitat yhtälöparista

$$(A - 2e_x)(B - 2e_y) = A_{eff}$$

$$A = B + \Delta L$$

$$B^2 + B(\Delta L - 2e_y - 2e_x) - 2 \Delta L e_y + 4e_x e_y - A_{eff} = 0$$

$$B^2 - 12 B - 85964 = 0$$

$$B = \frac{-(-12) + \sqrt{(-12)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-85964)}}{2}$$

$$B = 299 \text{ mm}$$

$$A = 299 + 200 = 499 \text{ mm}$$

2 ALALEVY

$$\text{Otaksutaan että } A_{co} = \frac{V}{3x f_{cd}} = \frac{6,02}{3x 22,2} = 0,090 \text{ m}^2$$

Lasketaan epäkeskeisyys

$$e_x = \frac{0,14x135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,12x135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$A_{e1} = 1,44 \text{ m}^2 \text{ (Ks : Kuormanjakaantuminen)}$$

$$A_{co} = \frac{6,02^2}{22,2^2 \times 0,090} = 0,081 \text{ m}^2$$

Laskettu pinta-ala on pienempi kuin minimivaatimus, joten alalevyn tehokas pinta-ala

$$A_{eff}(A_{co}) \geq 0,090 \text{ m}^2.$$

Oletetaan, että levy on neliö, jonka sivumitta on B.

Ratkaistaan sivumitta yhtälöstä

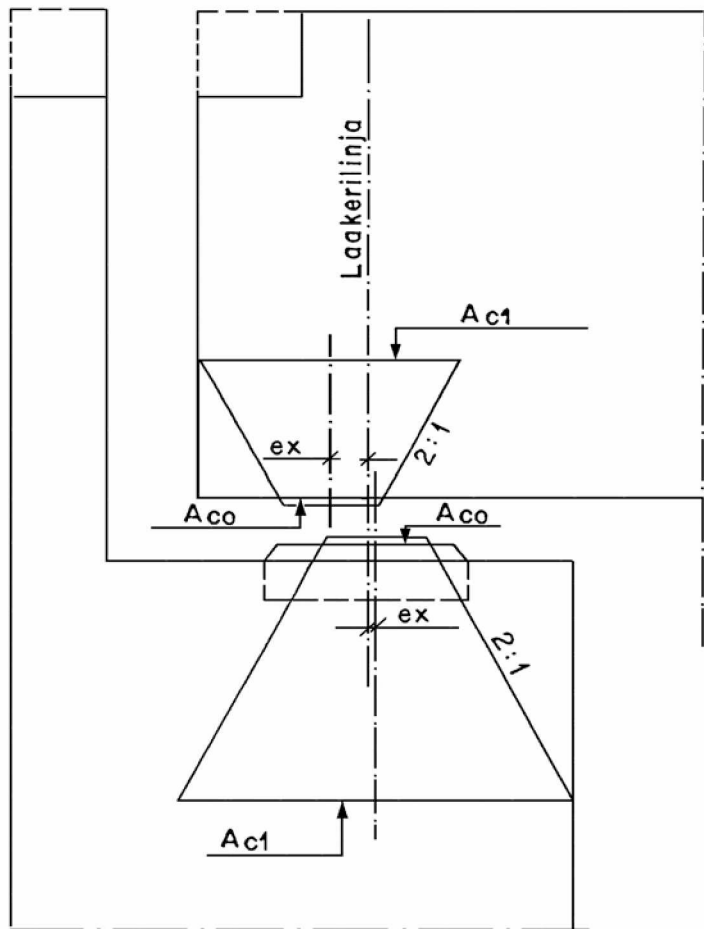
$$(B - 2e_x)(B - 2e_y) = A_{eff}$$

$$B^2 - B(2e_y + 2e_x) + 4e_x e_y - A_{eff} = 0$$

$$B^2 - 12B - 89964 = 0$$

$$B = 306 \text{ mm}$$

Kuorman jakaantuminen laakeritasossa ja päällysrakenteessa on esitetty kuvassa H.2.



Kuva H.2 Kuorman jakaantuminen

H.11 Pintarakenteet

H.11.1 Yleistä

Tässä kappaleessa esitetään kannen pintarakenteen valintaan liittyviä yleisperiaatteita. Lopullinen pintarakenteen valinta tehdään aina sillan tuote- ja laatuvaatimusten laadinnan yhteydessä yhteistyössä Liikenneviraston kanssa.

Siltöjen tavanomaiset pintarakennratkaisut on esitetty kohdassa H.11.7.

H.11.2 Kannen pintarakenteen valinta ja esittäminen suunnitelmassa

H.11.2.1 Pintarakenteen valinta eri vaihtoehtoista

Kermieristys on yleisimmin käytetty eristysmenetelmä. Sen haittana on ollut kupliminen hellekausina. Perussyitä kuplimiseen ovat kansirakennebetonissa oleva kosteus ennen eristystä ja työvirheet itse eristystyössä. Kermieristuksen kuplimisongelmat estetään valitsemalla ja merkitsemällä suunnitelmaan eristysalustan käsittelyksi epoksitiivistys tai valitsemalla aluskermiksi paineentasauskermi tai kermien suoja-kerrokseksi suojabetoni. Pääteiden silloilla eristysalustan epoksitiivistystä pidetään perusratkaisuna. Suojabetonia ei tulisi valita suolattavien teiden silloille.

Mastiksieristys ei aseta yhtä suuria vaatimuksia tasaisuuden suhteen eristettävälle pinnalle kuin kermieristys. Mastiksieristys on altis työvirheille ja sen vedenpitävyydestä pitkällä aikavälillä (>20 v.) ei olla täysin varmoja. Useissa Euroopan maissa sen käyttöä on vähennetty tai jopa kokonaan luovuttu siitä. Mastiksieristettä ei käytetä vilkkaasti liikennöidyillä silloilla (KVL < 1500 ajon/vrk) eikä liittopalkki- ja köysisilloilla. Mastiksieristystä tulee välttää silloissa, joissa pituuskaltevuus ylittää 4 %.

Nestemäisenä levitettävät eristykset ovat oikein tehtyinä luotettavia eristeitä. Ne soveltuvat kaikille silloille. Nestemäisenä levitettävät eristykset ovat siinä mielessä ideaalisia eristykksiä, että ne ulottuvat reunapalkin sisäreunasta toisen reunapalkin sisäreunaan ilman saumoja. Näiden eristysten haittana on ollut joissakin tapauksissa päällysteen huono tarttuvuus eristykseen. Vanhimmat nestemäisenä levitettävät eristykset (polyuretaanieristykset) Liikenneviraston silloilla ovat vuodelta 1985.

Suunnittelijan on ratkaistava millä materiaalilla silta eristetään. Ratkaisuun täytyy saada Liikenneviraston hyväksyntä. Perusratkaisuna pidetään kermieristystä. Kohdissa 3 ja 4 on esitetty tarkemmin eristysalustan käsittelyn ja eristyksen eri vaihtoehtoja.

Päällyste valitaan yhteistyössä tiesuunnittelijan kanssa. Siltapäällysteen tulee olla ajo-ominaisuuksiltaan vähintään yhtä hyvä kuin tiepäällyste sillan molemmin puolin. Asfalttibetonipäällyste soveltuu kaikille silloille. Valuasfaltti soveltuu vilkkaasti liikennöidyille silloille. Kumin käyttö molemmissa päällysteissä lisää päällysteen kimmoisia ominaisuuksia ja vähentää pinnan halkeilua ja deformatumista, mutta lisää päällysteen hintaa. Betonipäällysteen käyttö edellyttää, ettei tien liukkauden estoon käytetä suolaa.

Päällysteen valintaan vaikuttaa myös se, tehdäänkö sillan päällyste tien päällystämisen yhteydessä. Jos näin menetellään, valitaan päällyste tavallisesti samaksi kuin tiellä.

H.11.2.2 Pintarakenteen esittäminen suunnitelmassa

Sillan yleispiirustuksessa määritellään pintarakenteen eri kerrosten laatu ja paksuus käyttäen tässä ohjeessa ja InfraRYL kohdassa 42300.3, annettuja nimityksiä.

Kannen mittapiirustuksessa esitetään aina:

- pintarakennetyyppikuva /eristysmateriaali yksilöitynä (kohta H.11.7.1)
- ajoneuvomäärästä riippuva käyttöluokka (kohta H.11.7.3)
- eristysalustalle vaadittavat käsittelyt kohdan H.11.3 mukaisesti (epoksitiivistys, kumibitumiliuossively, jokin muu)
- paineentasauskermirakenne, jos sellainen on valittu, ja paineentasausputkien paikat (kohta H.11.7.3) sekä huomautus molemmille reunoille asennettavasta normaalista metrin levyisestä aluskermikaistasta
- eristyksen suojakerros (kohta H.11.7.3)
- päällystetyyppi (kohta H.11.5)
- päällysteen saumaus (kohta H.11.5)

H.11.3 Eristysalustan käsittelyjen valinta

H.11.3.1 Tiivistysaineet

Kermi- tai mastiksieristyksen eristysalustan tiivistysaineen ja nestemäisenä levitettävän eristyksen tulee täyttää InfraRYL kohdan 42310.1.4 vaatimukset. Tiivistysaineen käyttökohteet on esitetty tämän liitteen kohdissa H.11.4.1.1, 4.2 ja 4.3.

H.11.3.2 Kumibitumiliuossively

Kumibitumiliuoksen tulee täyttää InfraRYL kohdan 42310.1.3 vaatimukset. Kumibitumiliuossively tehdään betonikansilla niille osin, joille ei ole laitettu epoksitiivistystä. Kumibitumiliuossivelyn käyttökohteet on esitetty tämän liitteen kohdissa H.11.4.1.1, 4.1.3 ja 4.2.

H.11.3.3 Jokin muu tartunta-aine

Tuotekohtaisesti eristysalustan käsittelyyn on voitu eristysmateriaalin hyväksynnän yhteydessä hyväksyä edellä mainittujen tuotteitten lisäksi jokin muu materiaali, jota on käytettävä kyseisen eristysmateriaalin kanssa samanaikaisesti. Tällöin on noudatettava tuotekohtaista ohjetta. Tätä ei tarvitse mainita erikseen suunnitelmassa.

H.11.4 Eristysmateriaalin ja eristyksen suojakerroksen valinta

H.11.4.1 Kermieristys

H.11.4.1.1 Epoksitiivistys / Kumibitumiliuos

Eristettävä betoninen kansilaatta esikäsitellään aina vedeneristyksen hyvän tartunnan aikaansaamiseksi ja betonin sisältämän kosteuden aiheuttaman rasituksen vähentämiseksi tai sen aiheuttaman kuplimisen estämiseksi. Eristettävä betonikansi joko pohjustetaan kumibitumiliuoksella (ainemenekki 0,2...0,3 kg/m²) tai tiivistetään epoksilla kauttaaltaan koko kansilaatan alueelta (ks. InfraRYL kohta 42310.3.2.1). Kumibitumiliuos tai tiivistysepoksi valitaan seuraavin perustein.

Betonikantisten siltöjen yläpinta tiivistetään aina kauttaaltaan epoksilla kohdan 42310.3.2.1 alakohtien 4...6 mukaisesti.

Poikkeuksena sellaiset kansilaatat, joissa eristyksen suojakerroksena käytetään kohdan 42310.1.2 mukaista suojabetonia, jolloin kansilaatta pohjustetaan kumibitumiliuoksella.

Poikkeuksena edelliseen kohtaan voidaan vähäliikenteisten teiden (liikennemäärä (KVL) < 1500 ajoneuvoa/vrk) siltöjen betonikansilla, joiden rakennepaksuus on alle 400 mm, pohjustaa betonikansi vaihtoehtoisesti kumibitumiliuoksella. Teräs- tai betonipalkkisilloilla kuitenkin koko betoninen kansilaatta tiivistetään aina epoksilla.

H.11.4.1.2 Eristys kauttaaltaan kiinni alustassaan

Kermieristys asennetaan niin, että aluskermi (tyyppiä SL) tarttuu kauttaaltaan kiinni alustaansa. Asennus voidaan tehdä joko liimaamalla aluskermi sulalla kumibitumilla kannen yläpintaan tai käyttämällä ns. kuumentamalla kiinnitettäviä, hitsattuja, kermejä (tyyppiä SL hits.), jolloin kermin alapinnassa oleva tartuntabitumi sulatetaan rivipoltinta käyttäen puhalluslampulla kermiä auki rullattaessa. Varsinkin epätasaisille pinnoille eristettäessä liimaamalla kiinnitys on kokemusten mukaan varmempi tapa saada kermille riittävä tartunta alustaansa.

H.11.4.1.3 Paineentasauskermi aluskerminä

Paineentasauskermiä saa käyttää vain tilaajan erikseen antamalla luvalla.

Kun aluskerminä käytetään paineentasauskermiä, asennetaan sillan molemmille reunoille ensimmäinen kermikaista kauttaaltaan alustaan kiinnitettynä tavallisena aluskerminä ja vasta sitä seuraavat paineentasauskermeinä. Paineentasauskermit kiinnitetään alustaansa pisteliimaaten. Muilta osin kermi jää irti alustastaan. Paineentasauskermillisen sillan kansilaatta varustetaan kohdan H.11.7.3 mukaisesti paineentasausputkilla. Paineentasausputkien paikat esitetään aina suunnitelmassa.

H.11.4.2 Mastiksieristys

Suunnitelmassa on esitettävä paineentasausputkien sijainti kannella (kohta H.11.7.4).

Betoninen kansilaatta tiivistetään koko kansilaatan osalta epoksilla InfraRYL kohdan 42310.3.2.1 alakohtien 4...6 mukaisesti. Vaatimus koskee myös eristysalustan korjattuja kohtia.

Betonikansilla eristettävän alueen reunat jätetään reunapalkin sisäreunasta lukien 200 mm levyiselle alueelle ilman paineentasausverkkoa. Paineentasausverkko kiinnitetään pisteliimaten kumibitumilla siten, ettei se pääse massan levitysvaiheessa poimuuntumaan.

H.11.4.3 Nestemäisenä levitettävät eristykset

Betonikantisten siltöjen yläpinta tiivistetään aina kauttaaltaan epoksilla (tai tuotekohtaisesti hyväksytyllä muulla tiivistysaineella) kohdan 42310.3.2.1 alakohtien 4...6 mukaisesti.

Poikkeuksena edelliseen kohtaan voidaan vähäliikenteisten teiden (liikennemäärä (KVL) < 1500 ajoneuvoa/vrk) siltöjen betonikansilla, joiden rakenepaksuus on alle 400 mm, pohjustaa betonikansi tuotekohtaisesti hyväksytyllä pohjustusaineella. Teräs- tai betonipalkkisilloilla kuitenkin koko betoninen kansilaatta tiivistetään aina epoksilla.

H.11.4.4 Eristyksen suojakerrokset

Pääperiaatteena on, että eristys suojataan aina tavalla tai toisella. Poikkeuksen muodostavat kevyenliikenteen sillat, joilla käytetään kermieristystä. Eristyksen suojaustapa esitetään aina piirustuksessa. Eri suojaustavat on esitetty kohdassa H.11.7.3 ja InfraRYL taulukossa 42320:T1.

Suojaustavan lisäksi piirustukseen merkitään myös kannen sisäreunan ja eristyksen päälle 250 mm leveydeltä tehtävät tiivistyssivelyt InfraRYL kohdan 42310.3.2.1 mukaisesti.

H.11.5 Päällyste ja sen saumat

Päällystekerrokset valitaan tämän ohjeen ja InfraRYL kohdan 42330 mukaisesti. Suunnitelman laatuvaatimukseen merkitään aina myös eristyksen tai suojakerroksen päälle tulevan alimmaisen asfalttikerroksen minimipaksuus seuraavasti:

- AB 11/70 paksuus keskimäärin 30 mm ja joka kohdassa vähintään 20 mm
- AB 16/120 paksuus keskimäärin 50 mm ja joka kohdassa vähintään 40 mm

Päällysteen saumat ja saumausmassa esitetään aina suunnitelmassa.

Asfaltti- ja valuasfalttipäällysteen saumojä ovat:

- päällysteen kulutuskerroksen saumat (saumapinnat: asfaltti - asfaltti tai valuasfaltti - valuasfaltti)
- päällysteen ja reunapalkin välinen sauma (saumapinnat: päällyste - epoksiterä tai kumibitumi korkealla reunapalkilla ja päällyste - betoni matalalla reunapalkilla)
- päällysteen liikuntasaumalaitteen tukikaistan välinen sauma (saumapinnat: päällyste - kumibitumi)
- päällysteen ja jalkakäytäväkorokkeen välinen sauma (saumapinnat: päällyste - betoni tai kivi)
- päällysteen ja teräsosien, putkien yms. väliset saumat

Betonipäällysteen saumojä ovat:

- betonipäällysteen saumat (saumapinnat: betoni - betoni)
- betonipäällysteen ja reunapalkin sisäreunan välinen sauma (saumapinnat: betoni - kumibitumi tai epoksiterä)

Asfalttipäällysteeseen sauma tehdään reunapalkin reunoihin ja yli 8 m leveillä, kaksipuolisesti kaltevilla kansilla lisäksi sillan keskelle.

Valuasfalttipäällysteillä tehdään edellä mainitun lisäksi sauma sillan poikkisuunnassa tukien kohdille ja n. 5 m etäisyydelle tuen molemmin puolin sekä sen jälkeen n. 15 m välein.

Kumiasfaltti- ja kumivaluasfalttipäällysteillä tehdään saumat vain sillan reunoille, paitsi teräskantisilla tai puukantisilla silloilla, joissa tehdään myös poikkisaumat n. 20 m välein.

Betonipäällysteellä saumat tehdään sillan reunoille. Muita saumoja ei tehdä, jos masana on teräskuitubetoni. Muulloin sauma tehdään myös sillan keskelle ja n. 5 m välein sillan poikkisuunnassa.

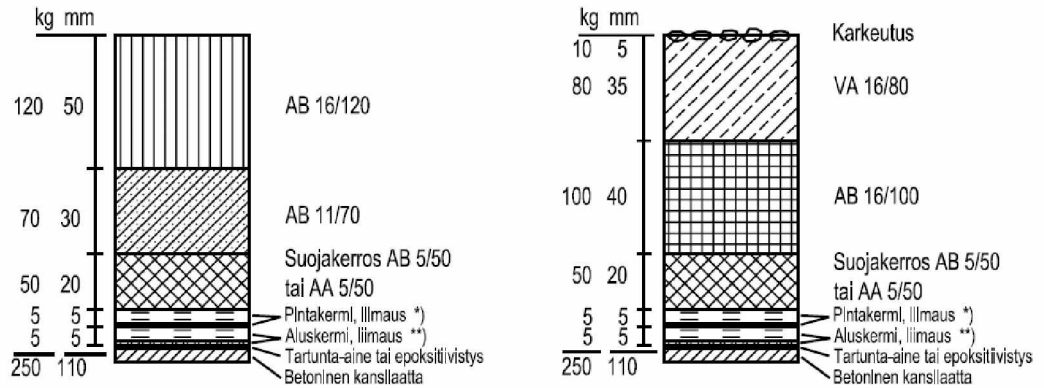
Suojabetonin ja betonipäällysteen rasitusluokat ovat julkaisun Eurokoodin soveltamisohje: Betonisillat taulukon 4.1 reunapalkkien (Ro22) mukaisia. Niiden lujuusluokka- ja pakkasenkestävyysvaatimukset ovat julkaisun InfraRYL kohtien 42320.1.2 ja 42332 mukaisia. Lisäksi on laatuvaatimuksissa edellytettävä, että betoni täyttää julkaisun Siltabetonien P-lukumenettely vähimmäisementsenttimäärää ja vesi-sementtisuhteen enimmäisarvoa koskevat vaatimukset.

H.11.6 Vaihtoehtoisen rakenneratkaisun esittäminen ja hyväksyminen rakennusvaiheessa

Jos urakoitsija esittää tarjouksessaan tai työn kuluessa suunnitelmassa esitetyn eristysratkaisun tilalle jotain muuta ratkaisua, on esitys käsiteltävä suunnitelman muutoksena ja asiassa meneteltävä kuten urakka-asiakirjoissa on määrätty muutostöistä. Jos urakoitsija esittää ST-suunnitelmassa tästä ohjeesta poikkeavia rakenneratkaisuja, on ratkaisuille saatava ensin Liikenneviraston hyväksyntä.

H.11.7 Täydentävä aineisto

H.11.7.1 Tiesillan pintarakenteet



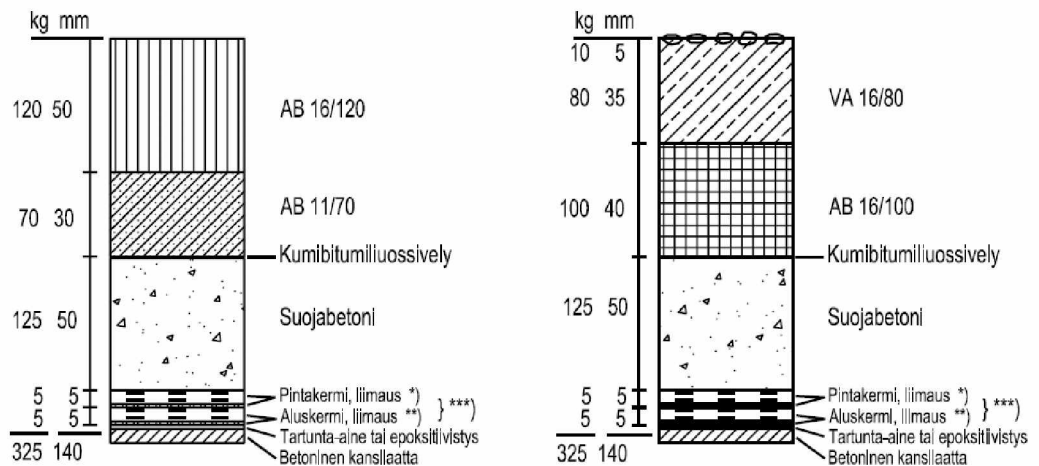
1a. Asfalttibetonipäällyste

1b. Valuasfalttipäällyste

*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi tai paineentasauskermi (jos suunnitelmassa on niin esitetty).

Kuva 1. Betonikantisen sillan ajorata. Kermieristeinen pintarakenne.



2a. Asfalttibetonipäällyste

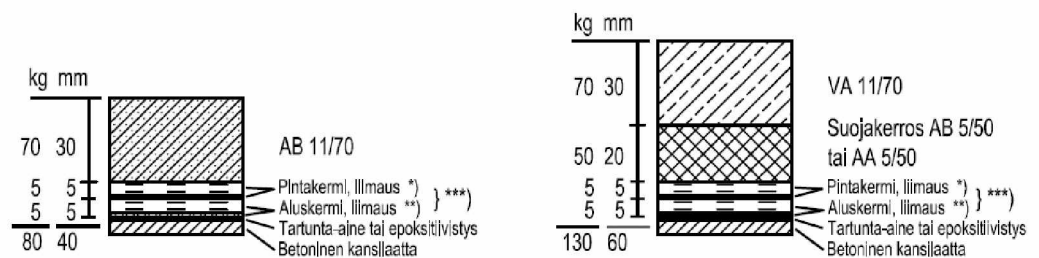
2b. Valuasfalttipäällyste

*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

***) tai yksinkertainen kermieristys (jos suunnitelmassa on niin esitetty).

Kuva 2. Betonikantisen sillan ajorata. Kermieristeinen pintarakenne.



3a. Asfalttibetonipäällyste

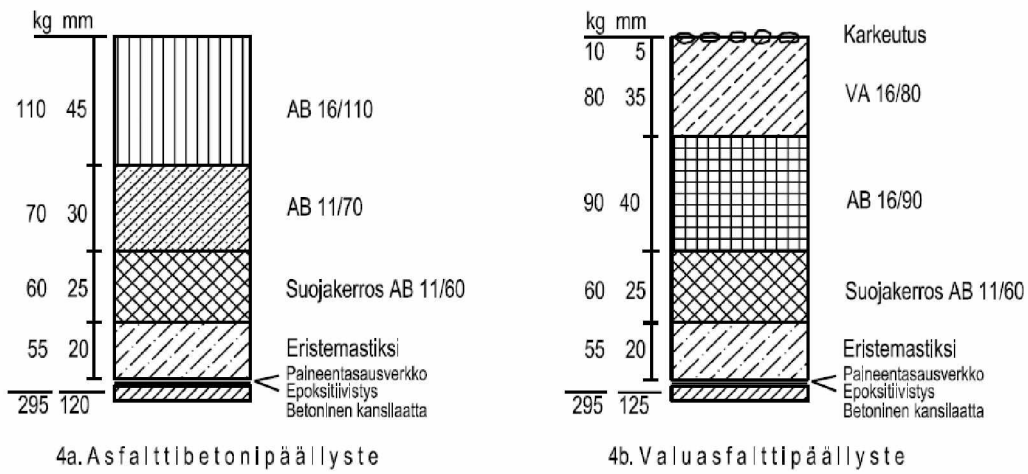
3b. Valuasfalttipäällyste

*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

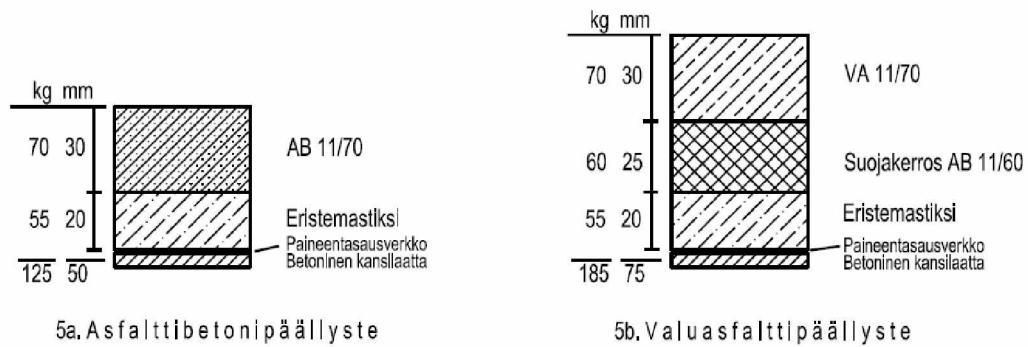
**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

***) tai yksinkertainen kermieristys (jos suunnitelmassa on niin esitetty).

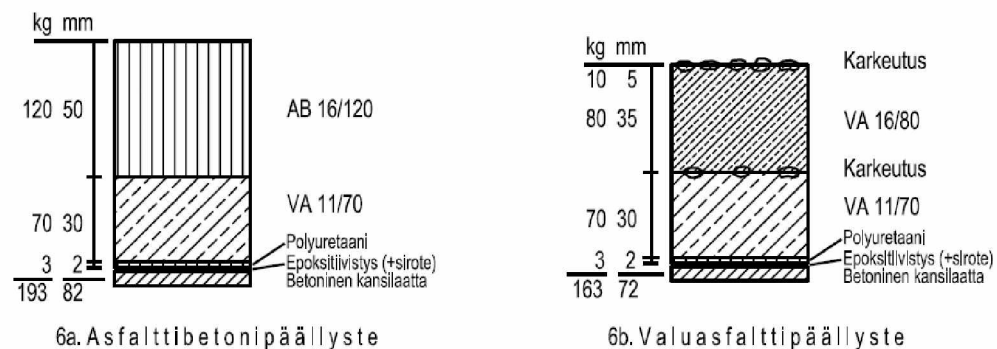
Kuva 3. Kevyen liikenteen betonikantiset sillat. Kermieristeinen pintarakenne.



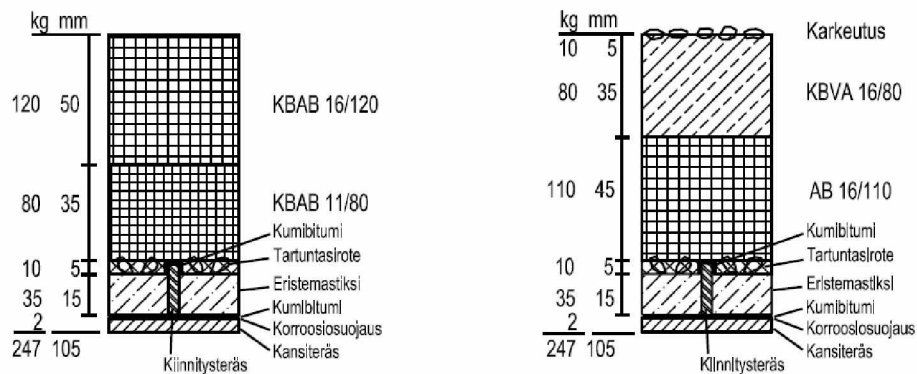
Kuva 4. Betonikantisen sillan ajorata. Mastiksieristeinen pintarakenne.



Kuva 5. Kevyen liikenteen betonikantiset sillat. Mastiksieristeinen pintarakenne.



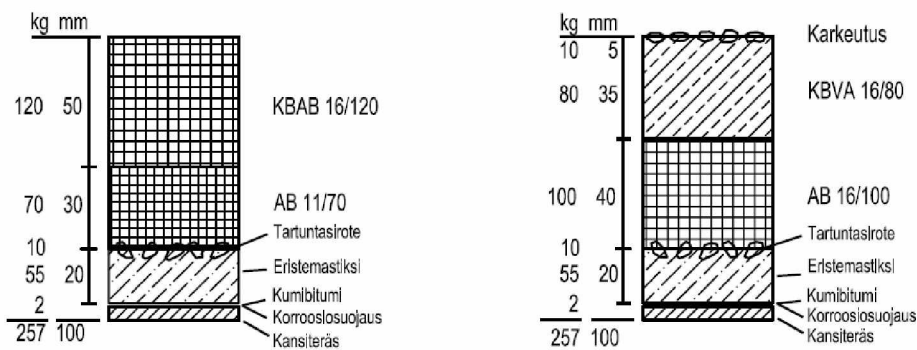
Kuva 6. Betonikantisen sillan ajorata. Polyuretaanieristeinen pintarakenne.



7a. Asfalttibetonipäällyste

7b. Valuasfalttipäällyste

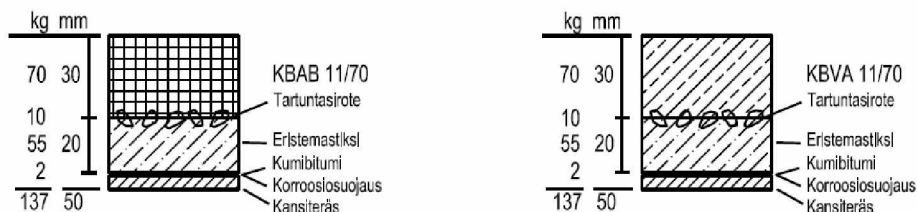
Kuva 7. Kiinnitysteräksillä varustetun teräskantisen sillan ajoradan pintarakenne.



8a. Asfalttibetonipäällyste

8b. Valuasfalttipäällyste

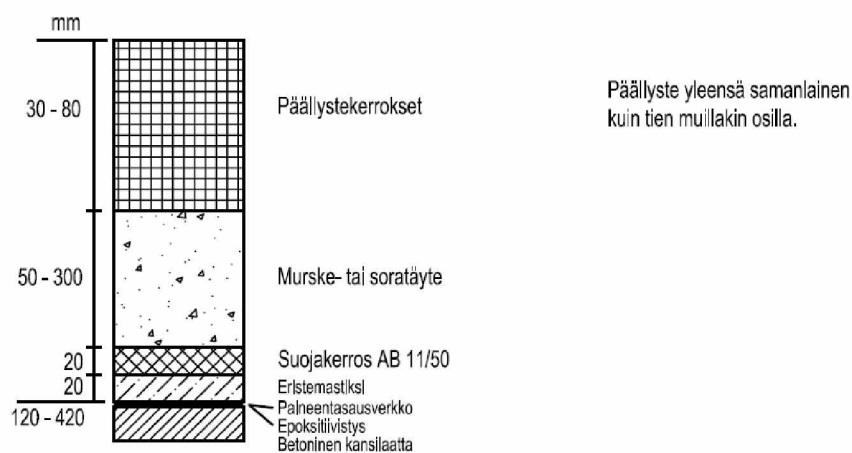
Kuva 8. Teräskantisen sillan ajoradan pintarakenne ilman kiinnitysteräksiä.



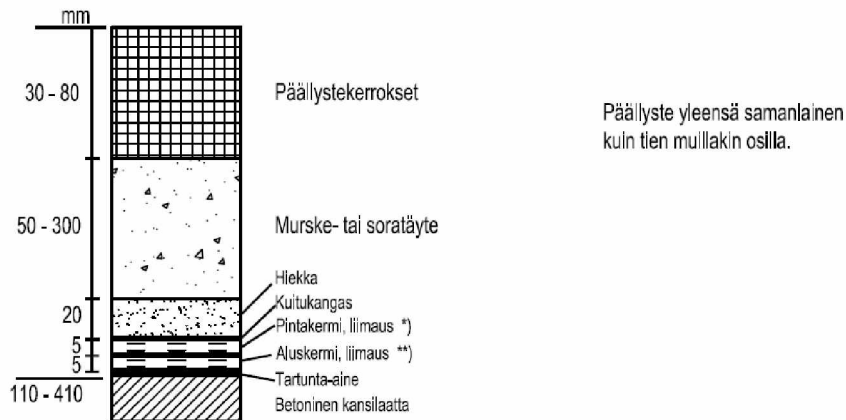
9a. Asfalttibetonipäällyste

9b. Valuasfalttipäällyste

Kuva 9. Teräskantisen kevyen liikenteen sillan pintarakenne ilman kiinnitysteräksiä.



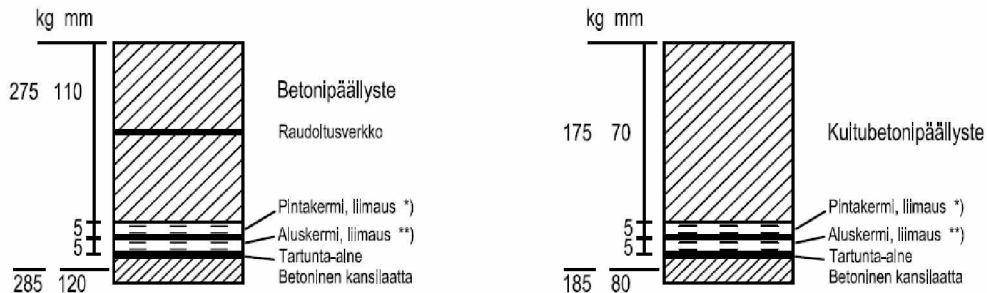
Kuva 10. Murske- tai soratäytteinen sillan mastiksieristeinen pintarakenne.



*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

***) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi tai paineentasaus kermi (jos suunnitelmassa niin on esitetty)

Kuva 11. Murske- tai soratäyteinen sillan kermieristeinen pintarakenne.



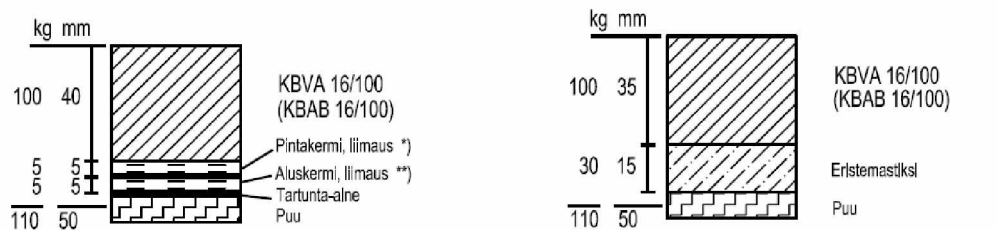
12a. Betoni-päälylyste

12b. Kuitubetonipäälylyste

*) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi

***) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai itsekiinnittyvä kermi tai paineentasaus kermi (jos suunnitelmassa niin on esitetty).

Kuva 12. Betoni-päälylysteisen sillan kermieristeinen pintarakenne.



13a. Kermieristeinen pintarakenne

13b. Mastiksieristeinen pintarakenne

Kuva 13. Puukantisen sillan ajorata.



Kuva 14. Betoni-, teräs- tai puukantisen sillan ohutkerospäälylyste.

H.11.7.2 Rautatiesillan pintarakenteet

Kermieristys (InfraRYL 42310.3.2.1)

- Kumibitumiliuos pohjustus
- Kaksikerroskermieristys käyttöluokan 2 mukaisilla kermieristysrakenteilla
- Suojabetoni 50 mm (kohdekohtaisesti hyväksyttäessä: suojahiekka 100 mm + N4 suodatinkangas tai pehmeä asfalttibetoni 50 mm)
- Raidesepeleitä väh. 550 mm

Nestemäisenä levitettävä eristys (InfraRYL 42310.3.2.3)

- Epoksiitiivistys
- Nestemäisenä levitettävä vedeneriste
- Pehmeä asfalttibetoni (PAB) 50 mm (kohdekohtaisesti hyväksyttäessä: suojahiekka 100 mm + N4 suodatinkangas)
- Raidesepeleitä väh. 550 mm

Kumimattoeristys (InfraRYL 42310.3.2.4.1)

- Epoksiitiivistys
- EPDM -kumimatto
- Rouhekumimatto 2x10 mm ristiin ladottuna (kohdekohtaisesti hyväksyttäessä: suojahiekka 100 mm + N4 suodatinkangas tai pehmeä asfalttibetoni 50 mm)
- Raidesepeleitä väh. 550 mm

H.11.7.3 Kermien käyttötilan mukainen luokittelu

Kermieristysrakenteiden jako käyttöluokkiin on esitetty ohjeen "Siltojen vedeneristytksen SILKO-hyväksyntätutkimusohje" (Tiehallinnon selvityksiä 33/2007) taulukoissa Liite 5 ja 6.

A. Ajoneuvoliikenteen sillat

KÄYTTÖLUOKKA 1.

(Kermieristysrakenteen luokan 1 laatuvaatimukset täyttävä)

Sillat joiden ajoneuvoliikenne > 3000 autoa/vrk:

Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.
Suojakerroksena asfalttibetoni AB 6/50 tai AA 5/50.

Maakantiset sillat:

Kaksikerroskermieristys suojakerroksella käyttöluokan 2 mukaisilla kermieristysrakenteilla. Suojakerroksena a) suodatinkangas ja hiekka tai b) suojabetoni.

KÄYTTÖLUOKKA 2

(Kermieristysrakenne vähintään luokan 2 laatuvaatimukset täyttävä)

Muut sillat joiden ajoneuvoliikenne < 3000 autoa/vrk:

Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.

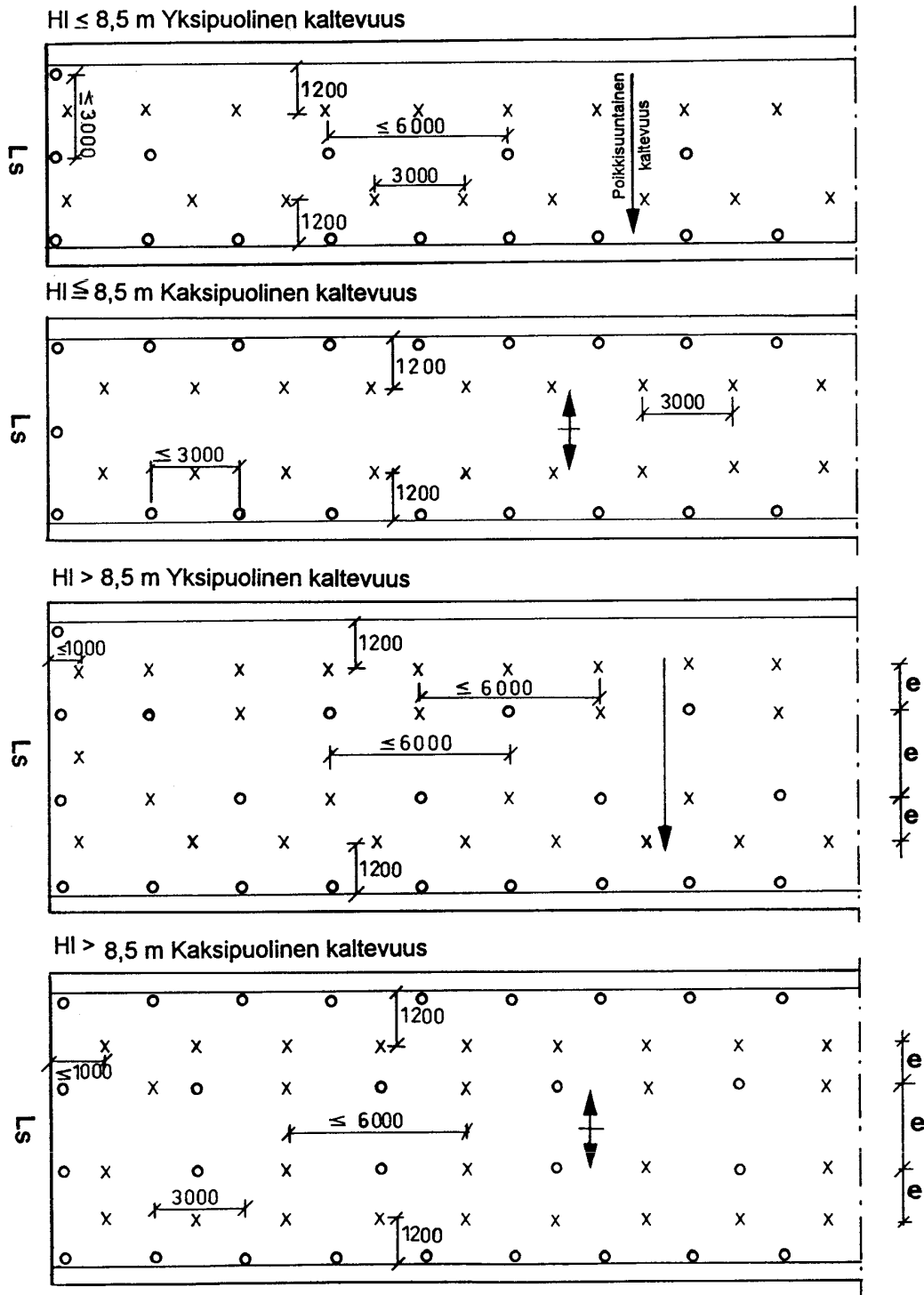
Suojakerroksena a) asfalttibetoni AB 5/50 tai AA 5/50 tai b) suojabetoni tai c) ei suojakerrosta (kevyen liikenteen sillat).

Maakantiset sillat:

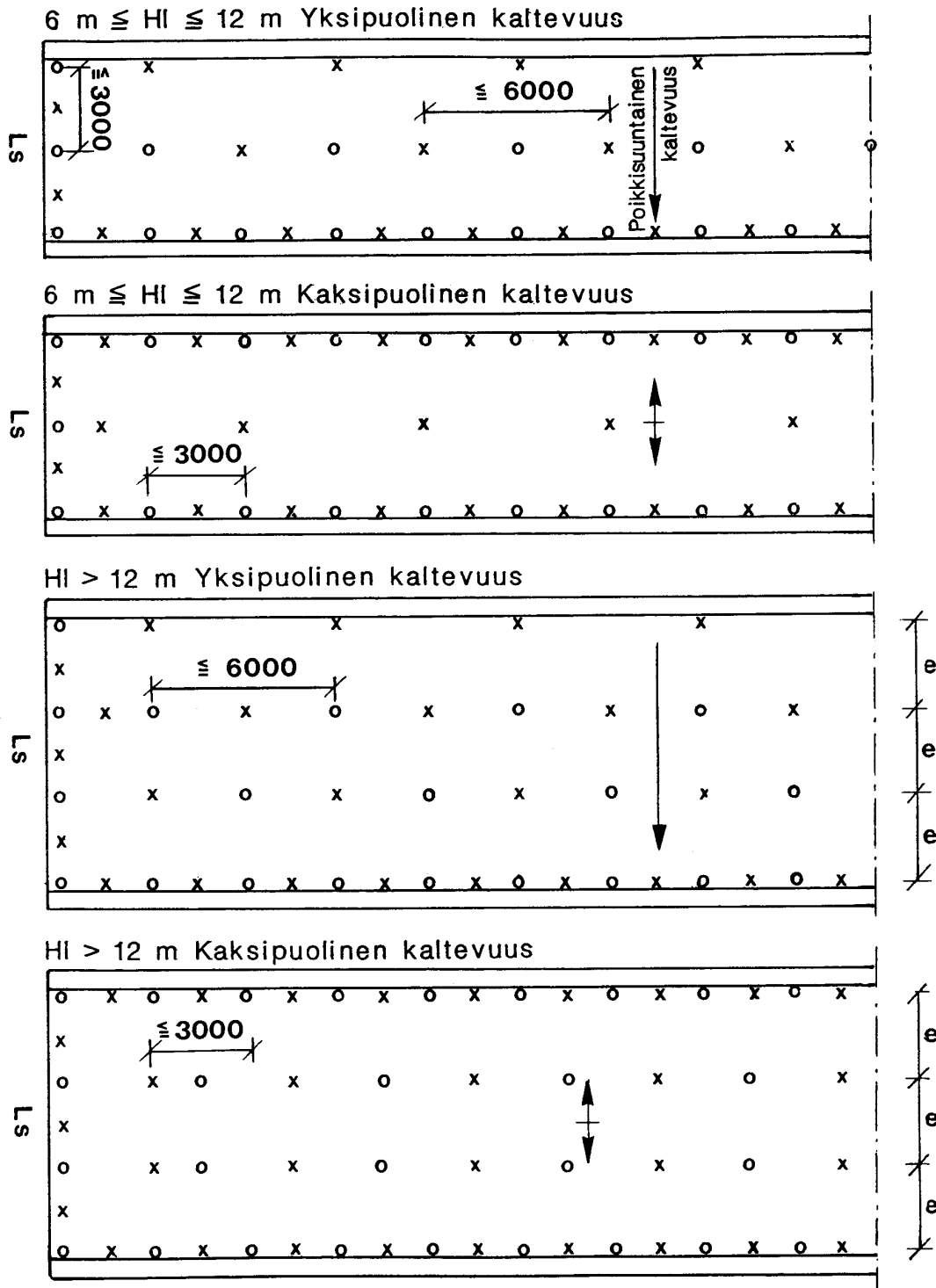
Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.

Suojakerroksena a) suodatinkangas ja hiekka tai b) suojabetoni.

H.11.7.4 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoitus, kermieristys



H.11.7.5 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoitus, mastiksieristys



x = paineentasausputki

o = tippuputki

Ls = liikuntasauama

H.11.8 Reunapalkin ja asfaltin välinen sauma

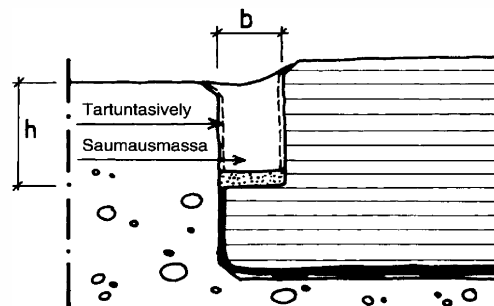
Siltaa päällystettäessä sauma tehdään mieluummin rimalla. Ura voidaan myös leikata. Päällyste ei saa ulottua reunapalkin päälle.

Sauman leveyden (b) ja korkeuden suhde on noin 1:1,5 (kuva 1), mutta mitoitus on tarkistettava tuotekohtaisesta ohjeesta.

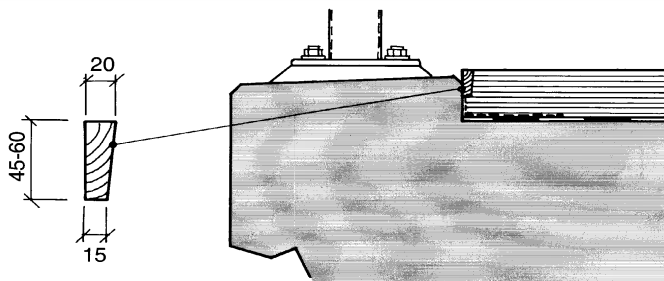
Jos sauma tehdään muotin avulla, käytetään alaspäin kapenevaa rimaa (kuva 2), jonka pintaan sivellään muottiöljy. Muottiöljyn sijasta rimoja voidaan liottaa vedessä vuorokauden ajan ennen päällystämistä, jolloin kuuma asfaltti kuivattaa riman, ja se on helposti poistettavissa. Sauman muotoon työstetty vanerisoiro on myös todettu käyttökelpoiseksi. Muotti poistetaan heti päällysteen jyräyksen jälkeen.

Valuasfaltilla päällystettäessä sauma tehdään levittimeen kiinnitettävällä urantekolistalla. Valuasfaltilla päällystettäessä voidaan käyttää myös betonipintaan liimattavaa kumibitumista saumausnauhaa. Betonipintaan sivellään tartunta-aine nauhan valmistajan ohjeen mukaan. Nauha liimataan välittömästi ennen päällystystöitä kuumentamalla nauhan tartuntapintaa kaasuliekillä.

Koska päällysteen reuna tulee hieman matalaa reunapalkkia korkeammalle, päällysteen särmää on pyrittävä viistämään, jotta se ei murru. Saumaus ei ilman erityistöitä tue päällysteen reunaa, vaan jää alempana olevan betonipinnan tasoon.



Kuva H.3 Sauman rakenne ja mitat



Kuva H.4 Sauman muotti

H.12 Muut lisäohjeet

H.12.1 Yleistä

Jos sillan päällysrakenne tukeutuu vapaasti seisoviin yksittäisiin suurpaaluihin tai suurpaalun jatkeena oleviin pilareihin, joiden sivuttaisvakavuus on ympäröivän maan sivuvastuksen varassa, on suurpaalut tai pilarit tuettava vaakasuuntaan kansirakenteeseen jäykällä kiinnityksellä, kiinteällä laakerilla tai liikerajaajalla.

Maasilloissa pohjaveden pinnan tasossa oleva jäätynyt maa voi estää tukien vaaka-liikkeen. Rakenne on tällöin mitoitettava myös vaakaliikkeen estäville kuormille. Samoin mitoitetaan myös vesistösiltojen välituet.

Suurehkoista sijainti- ja kaltevuuspoikkeamariskeistä johtuen ei teräspalkkipaaluja saa suunnitella suoraan päällysrakenteeseen liittyväksi, mikäli paalu on jäämässä näkyviin. Samaisista syistä paalua ei tule suunnitella mantteloitavaksi ohuin betonikuorin näkyviltä osiltaan. Rajaus ei koske porapaaluja, joiden mittapoikkeamavaatimukset ovat vähintään Paalutusohjeen 2011 (RIL 254-2-2011) kohdan 4.4.4 mukaiset. Mikäli toteutuneiden mittapoikkeamien seurauksena paalun betonimantteli on jäämässä jostain kohtaa alle 100 mm paksuksi, katkaistaan paalu ja yhdistetään se näkyviltä osiltaan betonipilarilla päällysrakenteeseen.

Sovellettaessa tyyppisiltojen tyyppiinrakenteita vinopäisiin siltoihin on aina varmistettava, että alusrakenne pystyy ottamaan päällysrakenteen päädyn ja penkereen vuorovaikutuksesta syntyvät voimat.

Siipimuurien alareuna sijoitetaan vähintään 0,5 m:ä alemmaksi kuin maan-pinta luis-kassa kyseisellä kohdalla.

Liikuntasaumalaitteetonta siltaa, jossa päällysrakenne jatkuu lippana maatuen otsa-muurin päälle, ei käytetä uudiskohteissa.

Sillan rakennusvuosi esitetään vesistö- ja risteysilloissa kaiteeseen kiinnitettävällä metallisella vuosilaatalla. Merkittäviin alikukukäytäviin tehdään valun yhteydessä vuosiluku. Ohjeita sijoituksesta siltaan on tyyppiinrakenteessa R15/DM 4-13.

Siltojen maatumien etuluisiin rakennetaan vähintään 0,5 m levyiset huoltotasanteet ja vesistösiltoihin 0,5 m levyiset jätkänpolut. Korkeissa penkereissä harkitaan erikseen välitasanteiden rakentamista.

Teräksisillä palkkisilloilla käytetään noususteitä estämään palkin alalaipan päälle nousemisen.

H.12.2 Rautatiealue

Rautatiealueelle rakennettaville pysyville tai tilapäisille rakenteille (sillat, tukimuurit, telineet ja työnaikaiset rakenteet) laaditaan maadoitussuunnitelma, jonka Liikennevirasto tai tämän valtuuttama organisaatio hyväksyy.

Sähköistetyn radan ylittävien tai sen lähellä sijaitsevien siltojen tai muiden rakenteiden reunoihin suunnitellaan kosketussuojaseinämät tai -lipat.

H.12.3 Ulokesillat

Ulokesilloja, joissa ulokkeen pituus on > 2,5 m, ei sallita moottoriteillä, moottoriliikenneteillä, valta- ja kantateillä eikä rautateillä. Ulokkeen pituudeksi otetaan tien keskilinjan suuntainen mitta tuelta sillan päätyyn (siirtymälaatan sillan puoleiseen reunaan). Tiesilloissa ulokesiltojen päädyn taipuma (kokonaisliike) suunnittelukuormasta rajoitetaan arvoon ± 10 mm. Rautatiesilloilla taipumaraja määräytyy kohdan B.6.8 matkustusmukavuuskriteerien mukaisesti. Jännemittana on mitta päätytuelta siirtymälaatan loppupään teoreettiseen tukipisteeseen kohdan B.4.8 mukaisesti.

Ulokkeen tulee kestää myös liikennekuorma otaksumalla, että ulokkeen pääty tukeutuu penkereeseen, mille otaksumalle tarkistetaan ulokkeen alapinnan kestävyys.

H.12.4 Sillan kuivatus

Sillan kuivatuslaitteet suunnitellaan Siltojen korjausohjeen (SILKO 1.601) mukaan.

Ellei hankekohtaisesti muuta sovita, suunnitellaan sillan päiden kuivatus tiesilloissa siten, että pintavedet kootaan pintavesikaivoon, josta vesi johdetaan umpiputkessa sivuojaan. Suojattavilla pohjavesialueilla tai muilla vastaavasti suojeltavilla alueilla on pintavesien käsittely suunniteltava hankekohtaisesti suojelutarve huomioonottaen ”Siltojen korjausohjeen” 1.601 mukaisesti.

Maatukien laakeritasoille kertyvät vedet kerätään kouruun laakeritason takareunaan ja johdetaan putkella maatuen sisällä maatuen eteen tai sivulle siten, että putki päättyy luiskan yläpuolella. Putken koko on > 50 mm.

Mattosalaojia ei käytetä sillan pintarakenteen salaojituksessa ajoratojen kohdalla.

Pintavesi- ja tippuputket on sijoitettava alla olevan ajoradan ulkopuolelle. Rautatien ylittävissä silloissa pintavesi- ja tippuputket on varustettava ulosheittäjillä, joiden etäisyys on paluu- ja vastajohtimista vähintään 600 mm, kun pylväsväli on 65 m, ja 900 mm, kun pylväsväli on 90 m.

H.12.5 Varausputket

Silloissa varaudutaan tarvittavien putkien ja kaapeleiden vientiin, joista on hankekohtaiset tiedot. Rautatiesilloissa kaapeleiden vientiä varten on sillan reunoille asennettava normaalipiirustuksen (RHK Tekniset toimitusehdot 1041/731/99 Kanavaelementit ja kansielementit) mukaiset 2 m:n tai 6 m:n mittaiset tb-kaapelikanavaelementit varustettuna tb-kansilla. Sillan yleispiirustuksessa ja tarvittaessa mittapiirustuksissa on esitettävä kaapelikanavaelementtien sijoittaminen sillan poikki- ja pituussuunnassa, elementtien pituudet sekä ”sukeltaminen” tukikerroksen sisään sillan päissä.

Betonin kanssa kosketuksiin joutuvat varausputket eivät saa olla alumiinia. Myöhemmin mahdollisesti suoritettavaa kaapelointia varten varaudutaan seuraavasti, ellei hankekohtaisesti ole tietoa suuremmasta määrästä:

Massiivisiin betonikansiin sijoitetaan kaksi varausputkea läpimitaltaan 110 mm, yksi kannen kummallekin reunalle.

Betonisiin laattapalkki- ja kotelopalkkisiltoihin ja betonikantisiin teräspalkkisiltoihin sijoitetaan kaksi varausputkea läpimitaltaan 110 mm sillan päihin. Päällysrakenteen

osalle vastaaville kohdille sijoitetaan sisäkierretartunnat tarvittavin välein siten, että kaapelihylly voidaan niihin kiinnittää. Myös poikkipalkeissa ja muissa rakenneosissa varaudutaan kaapelihyllyn rakentamiseen.

Kaksi- tai useampipalkkisissa silloissa käytetään aina kaapelihyllyä palkkien välissä.

Varausputket on sijoitettava sillan päissä lähtökohtaisesti siirtymälaatan alapuolelle ja putket johdetaan sähkökaivoon piir. R15/DV-4 mukaisesti.

H.12.6 Siirtymälaatat

Kevyen liikenteen silloissa ja yksityisten teiden silloissa voidaan käyttää 3m pitkää siirtymälaattaa. Muissa silloissa siirtymälaatan pituus on 5m. Siirtymälaatan päälle varataan tilaa tierakenteen sitomattomille ja sidotuille kerroksille sekä päällysteelle. Päällysrakenneluokassa 1 näiden paksuus on 400 mm käytettäessä sitomatonta kantavaa kerrosta ja 600 mm käytettäessä sidottua kantavaa kerrosta (esim. maabetonia). Päällysrakenneluokassa 3 vähimmäiskerros paksuus siirtymälaatan päällä on 300 mm. Siirtymälaatan pinnan etäisyys tien pinnasta saa olla enintään 700 mm.

Rautatiesilloilla siirtymälaatan pituus on 5 m. Vanhoilla silloilla voidaan tapauskohtaisin perustein käyttää lyhyempää siirtymälaattaa erityisesti silloin, kun halutaan rajoittaa sillalle aiheutuvia lisäkuormituksia.

Rautatiesillan 5 m:n siirtymälaatan normaalipiirustuksen numero on 4032 RSN 8137-1. Paikallavalettua siirtymälaattaa käytetään aina, kun se on rakentamisaikataulun kannalta mahdollista. Muutoin käytetään elementtirakenteista siirtymälaattaa.

H.12.7 Rautateiden varikkojen ja purkukuoppien kuormat

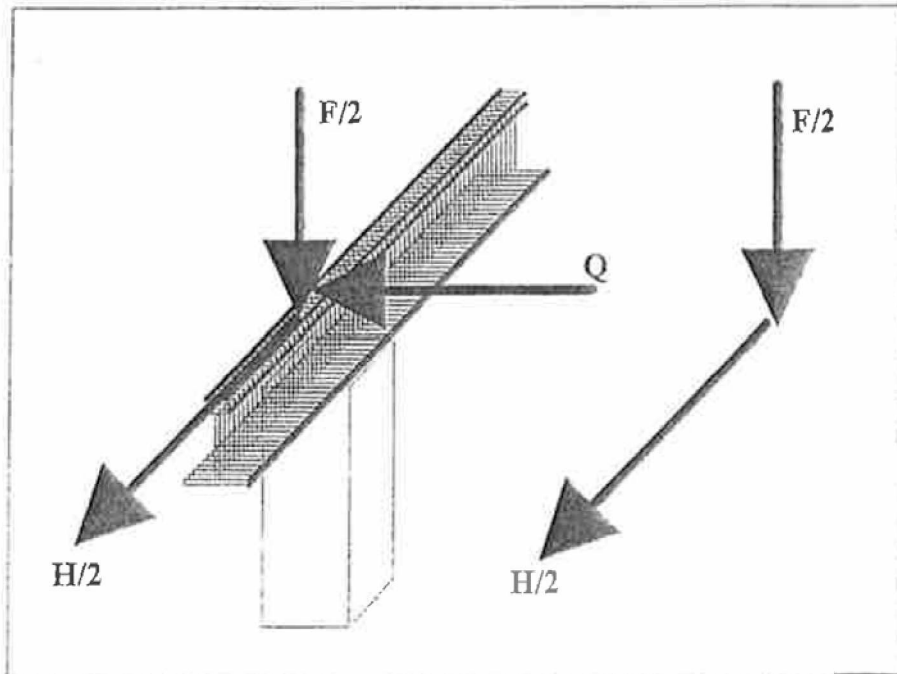
Varikoilla ja purkupaikoilla oletetaan nopeudeksi 20 km/h ja raide suoraksi. Rakenteet mitoitetaan akselikuormalle, jonka staattinen arvo on $F = 250$ kN. Sysäyskerroin on 1,2.

Sivusysäys toisen kiskon selkään on $Q = 0,125 * F = 32$ kN.

Hitauskuorma kiskon selkää pitkin raidetta kohden on $H = 0,15 * F = 38$ kN kuvan H.5 mukaisesti. Uudella kiskolla, jossa ei ole vapaasti riippuvia hitaus – eikä sidekiskojoitoksia, voidaan käyttää taulukon H.6 jännemittoja.

Taulukko H.6 Jännemitat

Kisko	54 E1	60 E1
Pilariväli L (m)	1,6	1,8

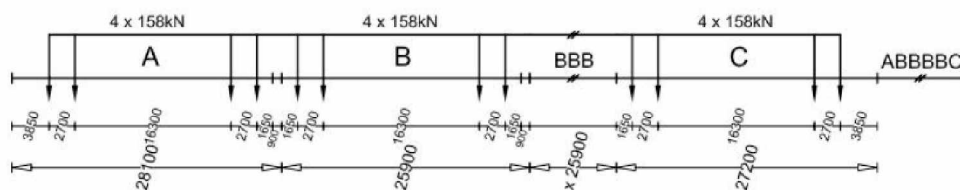


Kuva H.5 Varikkojen ja purkukoppien kuormat

H.13 Suomalaiset junatyypit väsymismitoituksessa

Pendolino

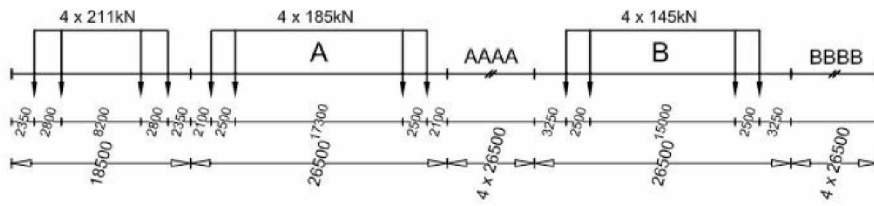
$$\Sigma Q = 7584 \text{ kN} \quad V = 220 \text{ km/h} \quad L = 317,8 \text{ m} \quad q = 23,9 \text{ kN/m}$$



Kuva H.6 Tyypin 1 – "Pendolino"

IC + IC²

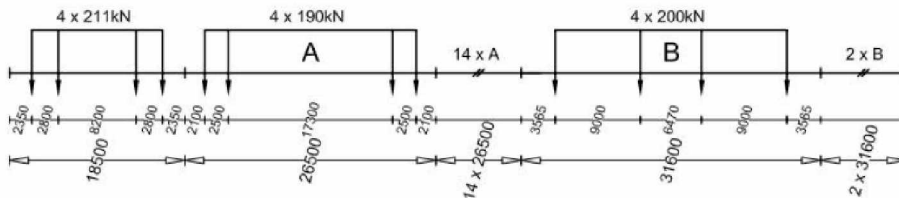
$$\Sigma Q = 7444 \text{ kN} \quad V = 200 \text{ km/h} \quad L = 283,5 \text{ m} \quad q = 26,3 \text{ kN/m}$$



Kuva H.7 Tyyppi 2 – "IC+IC2"

Yöpikajuna

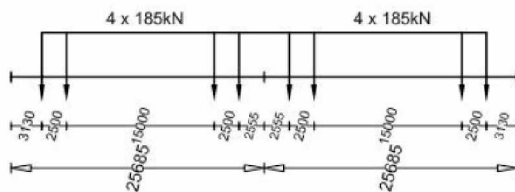
$$\Sigma Q = 14644 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 510,8 \text{ m} \quad q = 28,7 \text{ kN/m}$$



Kuva H.8 Tyyppi 3 – "Yöpikajuna"

Sm4

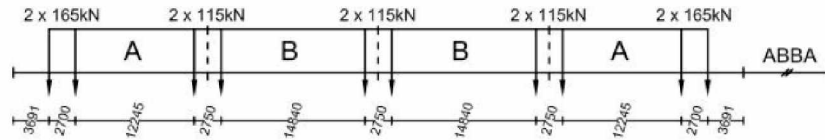
$$\Sigma Q = 1480 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 51,4 \text{ m} \quad q = 28,8 \text{ kN/m}$$



Kuva H.9 Tyyppi 4 – "Sm4"

Sm5

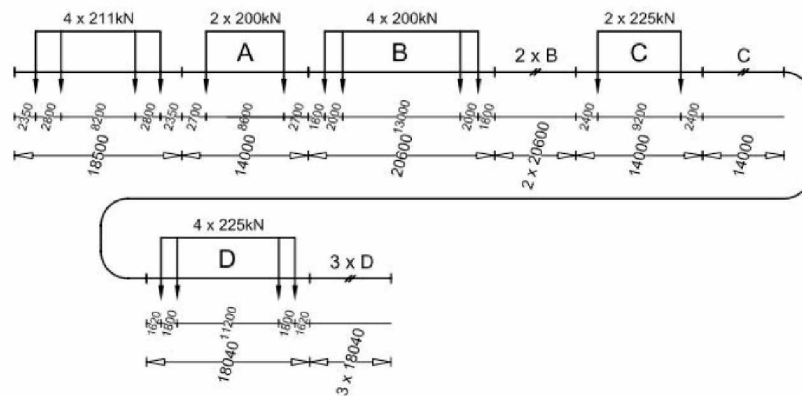
$$\Sigma Q = 2700 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 150,4 \text{ m} \quad q = 18,0 \text{ kN/m}$$



Kuva H.10 Tyyppi 5 – "Sm5"

Kevyt tavarajuna

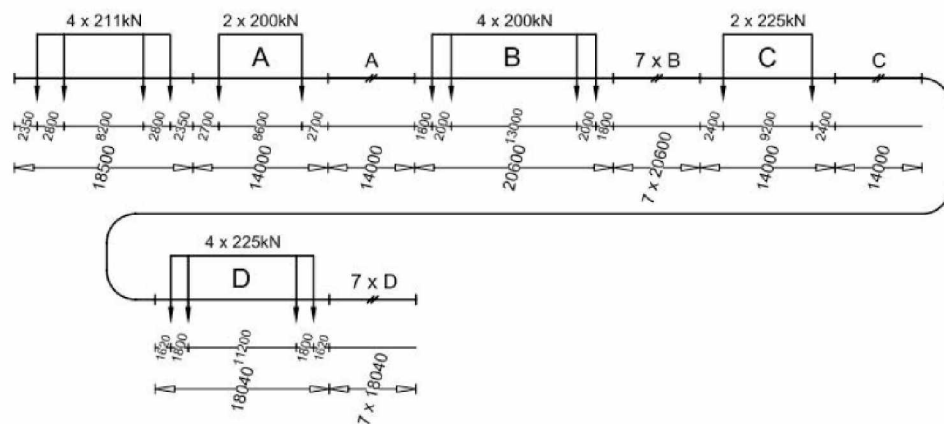
$$\Sigma Q = 8144 \text{ kN} \quad V = 80 \text{ km/h} \quad L = 194,5 \text{ m} \quad q = 41,9 \text{ kN/m}$$



Kuva H.11 Tyyppi 6 – "Kevyt tavarajuna"

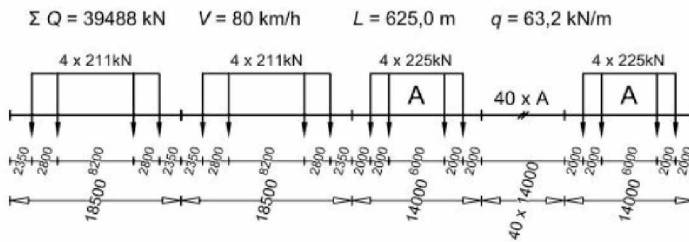
Tavarajuna

$$\Sigma Q = 16144 \text{ kN} \quad V = 80 \text{ km/h} \quad L = 383,6 \text{ m} \quad q = 42,1 \text{ kN/m}$$

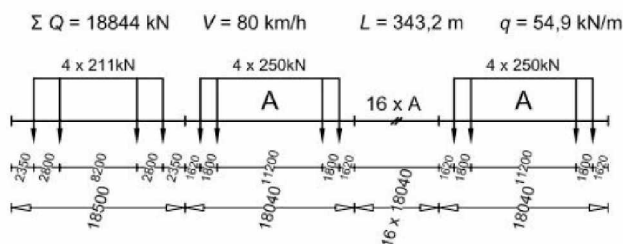


Kuva H.12 Tyyppi 7 – "Tavarajuna"

Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)

Raskas tavarajuna

Kuva H.13 Tyyppi 8 – ”Raskas tavarajuna”

Tavarajuna 25t

Kuva H.14 Tyyppi 9 – ”Tavarajuna 25t”

Taulukko H.7 Liikenteen koostumus kaupunkiradoilla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [10^6 t / vuosi]
5	320	265	30,95

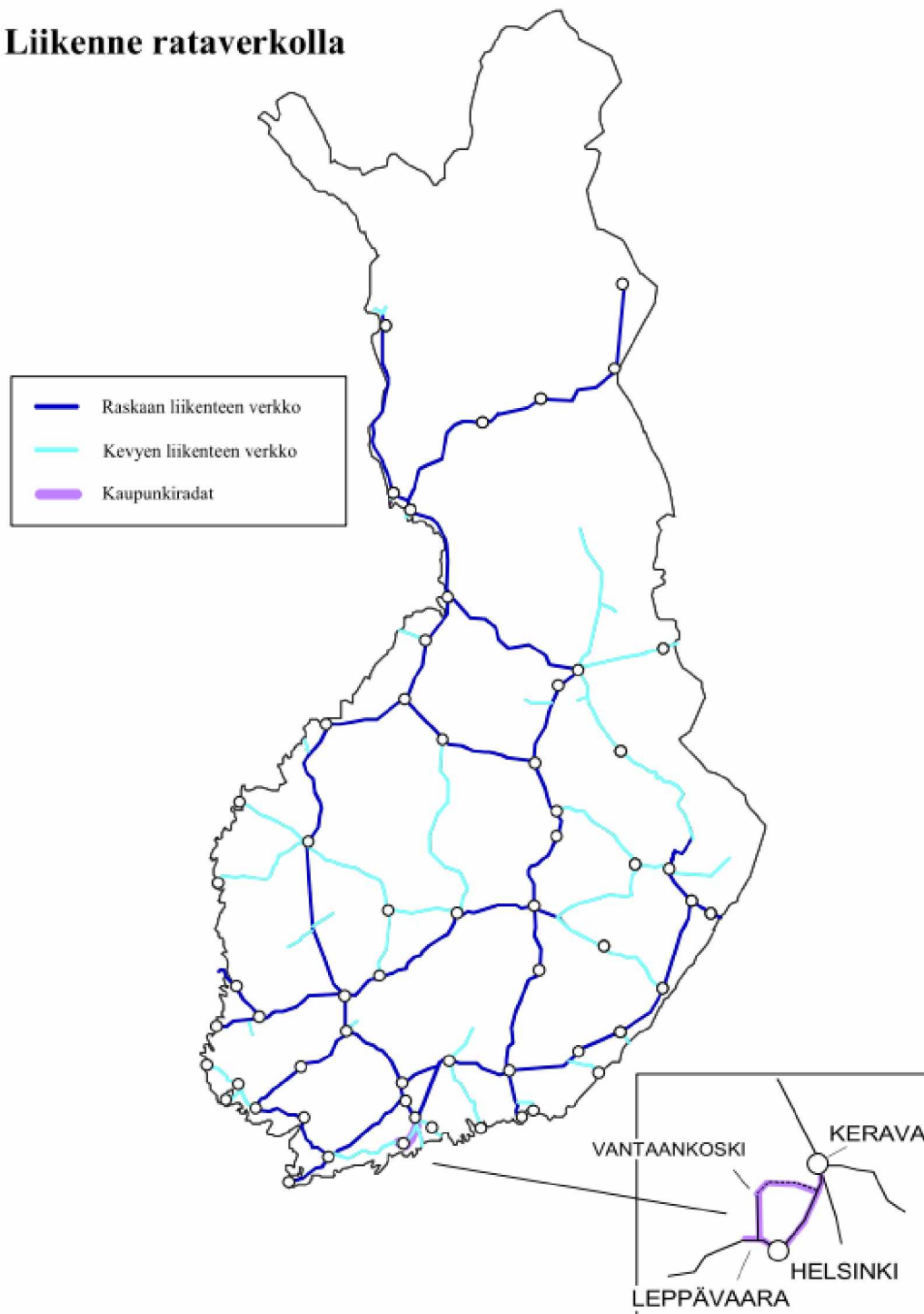
Taulukko H.8 Liikenteen koostumus kevyen liikenteen verkolla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [10^6 t / vuosi]
1	2	758	0,55
2	6	744	1,63
4	10	148	0,54
6	6	814	1,78
7	6	1614	3,53
	30		8,03

Taulukko H.9 Liikenteen koostumus raskaan liikenteen verkolla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [10^6 t / vuosi]
1	10	758	2,77
2	32	744	8,69
3	2	1464	1,07
4	30	148	1,62
6	16	814	4,75
7	16	1614	9,43
8	4	3949	5,77
9	2	1884	1,38
	112		35,48

Liikenne rataverkolla



Kuva H.15 Suomen raskaan ja kevyen liikenteen verkko

Tässä liitteessä on esitetty tiesiltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.1(FI)
 - Murto-rajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.2...A2.2.4)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimmit kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1...gr5	Kuormaryhmä
F_{wk}	Tuulikuorma
T_k	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murto-rajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Eurokoodin soveltamisohje
Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (22.12.2011)

Taulukko 1: Tiesillat – murtorajatila:

TIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)												
YHDISTELYKAAVAT MRT 1 - MRT 11												
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)												
MRT 0	MRT 1	MRT 2	MRT 3	MRT 4	MRT 5	MRT 6	MRT 7	MRT 8	MRT 9	MRT 10	MRT 11	
6.10a	gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F _{vak}	T _L	BF	IL	TL	
1,35	LM1	LM2	LM1+vaaka	kevyt	ruuhka	LM3	Tuuli	Lämpötila	Laakerikittika	Jääkuorma	Lk-maanp.	
1,1 / 0,9 ^{3),4)}	1,15 / 0,9											
1,1 / 0,9 ^{3),4)}												
SETA (EQU) & SETB (STR/EQU)	Omapaino	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Esijännitys	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Telit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UDL	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[Kevyt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr1b (LM2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr2 (LM1+Vaaka)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr3 (Kevyt)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr4 (Ruuhka)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr5 (LM3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F _{vak.1)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T _{L.2)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S ₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5 x 0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5

1) Tuuli kuormasta huomio: Tuuli kuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.
 2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaali kohtaiset sovellusohjeet)
 3) stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2)
 Huom])
 4) paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3)
 Huom])
 - passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan
 - vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

= Määräävä muuttuva kuorma

Tässä liitteessä on esitetty rautateiden siltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.3 ja siihen kansallisessa liitteessä annettu lisäys
 - Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.1....A2.2.5)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määrävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määrävimmät kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.
- Rautatieliikennekuormina ei käytetä standardissa SFS-EN 1991-2 6.8.2 taulukossa 6.11 määritettyjä kuormaryhmiä. Sen sijaan rautatieliikennekuormitusta pidetään yksittäisenä usean suuntakomponentin käsittävänä muuttuvana kuormana, jonka yksittäisinä rautatieliikenteestä aiheutuvina kuormakomponentteina pidetään suurinta epäedullisinta ja pienintä edullista arvoa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
LM7 ₁ / SW/o	Ratasiltojen yleiset kuormakaaviot
ULT	Kuormakaavio ”kuormittamaton juna”
T&B (Q _{lak} & Q _{lwk})	Vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvat kuormat
CF (Q _{tk} & q _{tk})	Keskipakoiskuorma
NF (Q _{sk})	Sivusysäyskuorma
AE	Junien aiheuttamat aerodynaamiset kuormat
ML	Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat
F _{wk}	Tuulikuorma
Tk	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 2: Ratasillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmät:

RAUTATIESILLAT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16)																	
(6.14)												(6.16)					
KUORMITUSYHDISTELYN MAARAVA MUUTTUVA KUORMA																	
YHDISTELYKAAVAT KRT_1a -KRT_9a						YHDISTELYKAAVAT KRT_1b -KRT_9b											
1a	2a	3a	4a	6a	7a	8a	9a	1b	2b	3b	4b	6b	7b	8b	9b	1c	
LM71 / / SW/0	AE	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP	LM71 / / SW/0	AE	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP		
1													1	1			
1													1	1			
Omapaino	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Esiännitys	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LM71 / SW/0 ³⁾	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
T&B (Q _{ak} & Q _{ak}) ⁴⁾	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CF (Q _{ak} & Q _{ak}) ⁴⁾⁵⁾	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NF (Q _{ak}) ⁴⁾⁵⁾	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ML	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fwk ¹⁾	0,75	0,75	0,75	1	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Tk	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
BF	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
IL	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
S ²⁾																	
TLEP	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1										

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.
- Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun pitkäaikaiset liikennekuormat (T&B) ovat yhdisteltyinä mukana täydellä arvoillaan (gr13 ja gr23 SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)

2) tukipainuma ja vedepinnan asema yhdistetään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

3) Kuormitettaessa kolmea tai useampaa raidetta, voidaan kuormat kertoa kertoimella 0,75

4) Tarkastele liikenteen suurimpien vaakakuormien epäedullisia vaikutuksia, täytyy vaikutusltaan edullinen pystykuorman osa kertoa kertoimella 0,5

5) Kuorma yhdistetään pystysuuntaisen liikennekuorman kanssa siten, että yhdistelmässä on aina mukana joko pitkäaikaiset (T&B) tai poikkittaiset (CF ja NF) liikennekuormat puolella arvoillaan (kuormaryhmit / SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)

6) Kerroin riippuu kuormitettujen raiteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun i=1, 0,7 kun i=2 ja 0,6 kun i≥3

7) Ad= Suistumiskuorma kappaleen B.6.7.1 mukaan. Yhdistelykertoimet koskevat muilla raiteilla olevaa liikennekuormaa.

8) Mikäli hankkeitaistisesti ei muuta päätetä (esim. rataphallia), voi onnettomuusyhdistelmissä sillalla olevan liikennekuorman puolittaa - passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

— Määräävä muuttuva kuorma

RAUTATIESILLAT - Onnettomuusyhdistelmät (6.11)	
Suistuminen sillalla ⁷⁾	Törmäys sillan alapuolella
Ad	1
Omapaino G	1
Esiännitys P	1
LM71 / SW/0 ³⁾	0,8
T&B ⁴⁾⁵⁾	0,8
CF ⁴⁾⁵⁾	0,8
NF ⁴⁾⁵⁾	0,8
AE	-
ML	-
Fwk ¹⁾	-
Tk	0,5
BF	0,4
IL	0,2
S ²⁾	-
TLEP	-

Tässä liitteessä on esitetty kevyen liikenteen siltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - o Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.2(FI)
 - o Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - o Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - o Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - o Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.2....A2.2.4)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määrävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määrävimmät kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1 ja gr2	Kuormaryhmät
F_{wk}	Tuulikuorma
T_k	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 2: Kevyen liikenteen sillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmä:

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - KAYTTORAJAJA TILA														
Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16)														
	(6.14)						(6.15)						(6.16)	
	KUORMITUSYHDISTELYN MAARAAVA MUUTTUVA KUORMA						KRT_1b - KRT_7b						KRT_1c	
	KRT_1a - KRT_7a						1b	3b	4b	5b	6b	7b	1c	
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	gr1	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	
Omapaino	1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1
Esijännitys	-	-	-	-	-	-	-	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1
gr1	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
gr2	-	1	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,6
F _{wk}	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,7
T _k	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
BF	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
IL	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2
S 1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TLEP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	0,4

1) tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdisteliään pysyvän kuorman kanssa:
- passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määrävä muuttuva kuorma

KVL-sillat		Onnettomuusyhdistelmä
Ad	1	
Omapaino	1	1
Esijännitys	1	1
gr1b	0,4	0,4
gr2	-	-
gr3	-	-
F _{wk}	-	-
T _k	0,5	0,5
BF	0,4	0,4
IL	0,2	0,2
S 1)	-	-
TLEP	-	-

