

MAANVARAINEN PERUSTUS

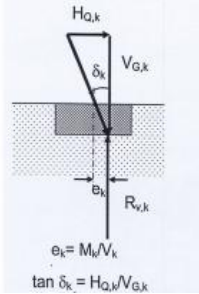
3.12.2009 Siltaeurokoodien koulutus

Heikki Lilja

Tiehallinto

VARMUUSKERTOIMET / KUORMITUSYHDISTELMÄT:

EUROKOODI: DA2*



- **Menettelytapa DA2*:**
- osavarmuusluvuilla kerrotaan vasta kuormien vaikutukset (pohjapaineet) laskennan lopussa
- johtaa pienempiin laskennallisiin epäkeskisyyksiin ja siis myös pohjapaineisiin, koska vasta vaikutukset (pohjapaineet) kerrotaan osavarmuusluvuilla
- johtaa pienempiin perustuksiin kuin menettelytapa DA2
- epäkeskisyyden tulee olla pienempi kuin $b/3$.

- KÄYTETÄÄN **KÄYTTÖRAJATILAN OMINAISYHDISTELMÄÄ** KANTOKESTÄVYYSLASKENNASSA

- TEHOKKAASEEN KITKAKULMAAN EI KOHDISTETA OSAVARMUUTTA

-LASKETAAN KANTOKESTÄVYYSKAAVALLA (EN1991-7, liite D) → KANTOKESTÄVYYDEN OMINAISARVO

-SAATU KANTOKESTÄVYYYS JAETAAN KANTOKESTÄVYYDEN VARMUUSKERTOIMELLA (1,55) → KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,b}$	1,1

- KERROTAAN SAATU KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO KUORMAYHDISTELMÄÄ VASTAAVALLA TEHOKKAALLA PINTA-ALALLA → KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO KUORMANA

-LASKETAAN **MURTORAJATILAN (STR/GEO – Set B) YHDISTELYLLÄ** → KUORMAN PYSTYSUUNTAINEN MITOITUSARVO

NYKYKÄYTÄNTÖ:

- Maanvaraisen peruslaatan geotekninen kantavuus mitoitetaan osavarmuuslukumenetelmällä (murtorajatilatarkastelu). Kuormina käytetään ominaiskuormia. Kuormayhdistelmissä otetaan ominaiskuorman suuruus huomioon kaikki pysyvät kuormat, pystysuora liikennekuorma ja vaikutukseltaan määräävä yksi muuttuva kuorma. Muut muuttuvat kuormat otaksutaan vaikuttavaksi puolella ominaiskuorman arvolla.

[Sillan geotekniset suunnitteluperusteet]

- KÄYTETÄÄN YLLÄ ESITETTYÄ KUORMITUSYHDISTELYÄ (OMINAISKUORMAT) KANTAVUUSLASKENNASSA.

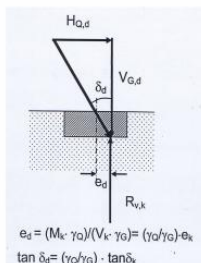
- MATERIAALIOSAVARMUUS KOHDISTETAAN TEHOKKAASEEN KITKAKULMAAN $\tan \varphi_n = \frac{\tan \varphi_k}{1,25}$

-LASKETAAN KANTAVUUSKAAVALLA (Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, liite 7)

-KUORMITUSYHDISTELYN TEHOKASTA POHJAPAINETTA VERRATAAN SAATUUN KANTAVUUTEEN

VARMUUSKERTOIMET / KUORMITUSYHDISTELMÄT:

EUROKOODI: DA2



- **Menettelytapa DA2:**
- osavarmuusluvuilla kerrotaan kuormat laskennan alussa
- johtaa suurempiin laskennollisiin epäkeskisyyksiin ja siis myös pohjapaineisiin, koska jo kuormat kerrotaan osavarmuusluvuilla
- johtaa laajempiin perustuksiin kuin menettelytapa DA2*

- KÄYTETÄÄN **MURTORAJATILAN (STR/GEO – Set B) YHDISTELMÄÄ** KANTOKESTÄVYYSLASKENNASSA

- TEHOKKAASEEN KITKAKULMAAN EI KOHDISTETA OSAVARMUUTTA

LASKETAAN KANTOKESTÄVYYSKAAVALLA (EN1991-7, liite D)

→ KANTOKESTÄVYYDEN OMINAISARVO

SAATU KANTOKESTÄVYYS JAETAAN KANTOKESTÄVYYDEN VARMUUSKERTOIMELLA (1,55) → KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,b}$	1,1

- KERROTAAN SAATU KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO KUORMAYHDISTELMÄÄ VASTAAVALLA TEHOKKAALLA PINTA-ALALLA → KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO KUORMANA

-LASKETAAN **MURTORAJATILAN (STR/GEO – Set B) YHDISTELLYLLÄ** → KUORMAN PYSTYSUUNTAINEN MITOITUSARVO

DA2 JA DA2* EROT:

SUOSITELLAAN KÄYTETTÄVÄKSI DA2* YHDISTELMÄÄ (VRT. HYVÖSEN LUENTO):

- TALOUDELLISEMPI (ETENKIN JOS MERKITTÄVIÄ VAAKAKUORMIA)

- JOS VAAKAKUORMAT MALTILLISIA EROT EIVÄT OLE SUURIA

- TÄSSÄ ESITELMÄSSÄ ON ESITETTY TARKEMMIN VAIN DA2* MENETELMÄ

KANTAVUUSKAAVAT (kitkamaa):

EUROKOODI:

[EN 1997-1, liite D]

(1) Kantokestävyyden mitoitusarvo voidaan laskea kaavasta:

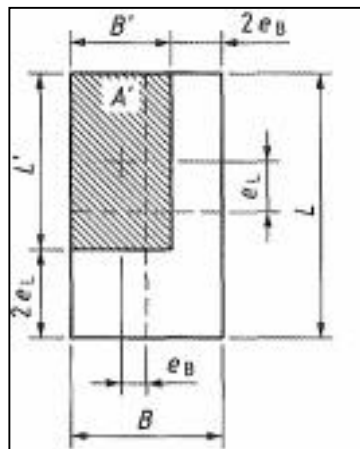
$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

NYKYKÄYTÄNTÖ:

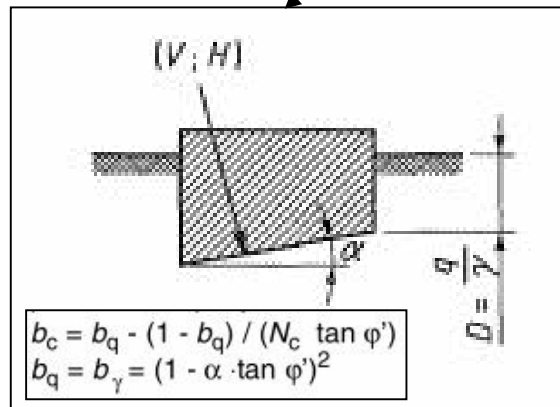
[Sillan geoteknisen suunnitteluperusteet, liite 7]

$$\sigma_{of} = \gamma'_1 \cdot D \cdot N_D \cdot s_D \cdot i_D + \gamma'_2 \cdot B_t \cdot N_B \cdot s_B \cdot i_B$$

- eurokoodin kaavassa on yksi termi enemmän: b ottaa huomioon perustuksen pohjan kaltevuuden (tasainen pohja $\rightarrow b = 1$)
- Kantavuuskertoimien kaavoissa eroja



Kuva D.1 Merkinnät



$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \varphi')^2$$

$$N_q = e^{\delta \tan \varphi'} \tan^2 (45^\circ + \varphi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi', \text{ missä } \delta \geq \varphi'/2 \text{ (karhea pohja)}$$

- perustuksen muodolle:
 $s_q = 1 + (B'/L') \sin \varphi'$, suorakaiteelle
 $s_q = 1 + \sin \varphi'$, neliölle tai ympyrälle
- $s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L')$, suorakaiteelle
 $s_\gamma = 0,7$, neliölle tai ympyrälle
- $s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$ suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle
- vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:
 $i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \varphi')$
 $i_q = [1 - H / (V + A'c' \cot \varphi')]^m$
 $i_\gamma = [1 - H / (V + A'c' \cot \varphi')]^{m+1}$

$$m = m_B = [2 + (B'/L')][1 + (B'/L')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B\text{:n suunnassa}$$

$$m = m_L = [2 + (L'/B')][1 + (L'/B')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L\text{:n suunnassa.}$$

$$N_D = e^{\pi \tan \varphi_n} \cdot \tan^2 (45^\circ + \varphi_n/2)$$

$$N_B = (N_D - 1) \tan \varphi_n$$

$$s_D = 1 + \sin \varphi_n \cdot \frac{B_t}{L_t}$$

$$s_B = 1 - 0,3 \cdot \frac{B_t}{L_t}, \text{ joissa } B_t \leq L_t$$

$$i_D = (1 - 0,7 \cdot \frac{H}{V})^3$$

$$i_B = (1 - \frac{H}{V})^3$$

EUROKOODIN KANTAVUUSKAAVA:

[EN 1997-1]

Liite D

(opastava)

Esimerkki analyttisestä menetelmästä kantokestävyyden laskemiseksi

D.1 Liitteessä D käytetyt merkinnät

(1) Seuraavia merkintöjä käytetään liitteessä D.

$A' = B \times L'$ perustuksen tehokas mitoituspinta-ala

b pohjan kaltevuuskertoimien mitoitusarvot, alaindeksit c , q ja γ

B perustuksen leveys

B' tehokas perustuksen leveys

D perustamissyvyys

e resultanttivoiman epäkeskisyyden alaindeksit B and L

i kuorman kaltevuuskerroin, alaindeksit koheesio c , pintakuorma q ja tilavuuspaino γ

L perustuksen pituus

L' perustuksen tehokas pituus

m eksponentti kaltevuuskertoimen i kaavassa

N kantavuuskertoimet, alaindeksit c , q ja γ

q yläpuolisten maakerrosten tai lisäkuormien paine perustuksen pohjan tasolla

q' yläpuolisten maakerrosten aiheuttama tehokas mitoituspaine perustuksen pohjan tasolla

s perustuksen pohjan muotokertoimet, alaindeksit c , q ja γ

V pystykuorma

α perustuksen pohjan kaltevuus vaakatason suhteen

γ' perustustason alapuolella olevan maan tehokkaan tilavuuspainon mitoitusarvo

θ H :n suuntakulma

D.4 Avoimet olosuhteet

(1) Kantokestävyyden mitoitusarvo voidaan laskea kaavasta:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (D.2)$$

jolloin yksiköttömät kertoimet ovat:

— kantokestävyydelle:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi' \tan^2 (45 + \phi'/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi', \text{ missä } \delta \geq \phi'/2 \text{ (karhea pohja)}$$

perustuksen pohjan kaltevuudelle:

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \phi')^2$$

— perustuksen muodolle:

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \phi', \text{ suorakaiteelle}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi', \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

— $s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L')$, suorakaiteelle

$$s_\gamma = 0,7, \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

— $s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$ suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle

— vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$i_q = [1 - H/(V + A'c' \cot \phi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H/(V + A'c' \cot \phi')]^{m+1}$$

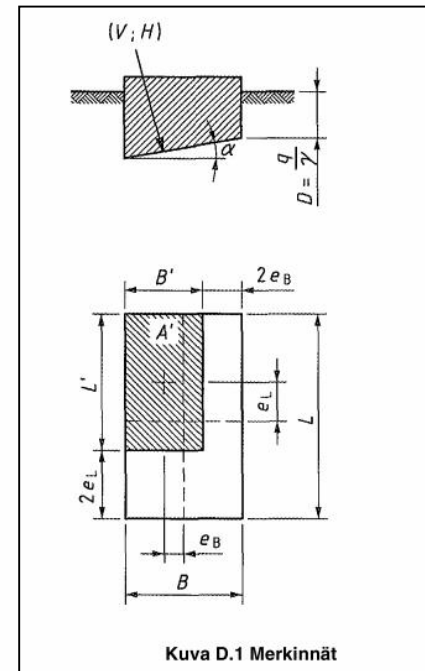
missä:

$$m = m_B = [2 + (B'/L')][1 + (B'/L')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B'\text{:n suunnassa}$$

$$m = m_L = [2 + (L'/B')][1 + (L'/B')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L'\text{:n suunnassa.}$$

Tapauksissa, joissa kuorman vaakakomponentti vaikuttaa suunnassa, joka muodostaa kulman θ perustuksen tehokkaan pituuden L' :n suunnan kanssa, m voidaan laskea kaavalla:

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta.$$



Kuva D.1 Merkinnät

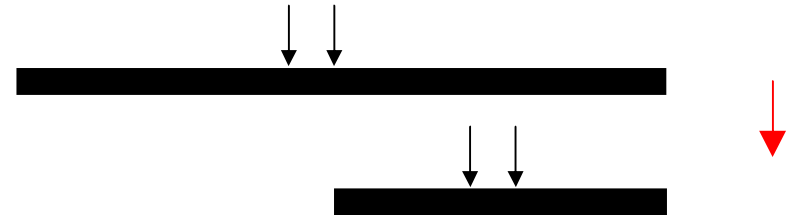
YLEISTÄ LIIKENNEKUORMISTA:

**YLEENSÄ
MITOITTAVAT
(LIIKENNE) KUORMA-
RYHMÄT:**

gr1a (= LM1)

V_{\max}

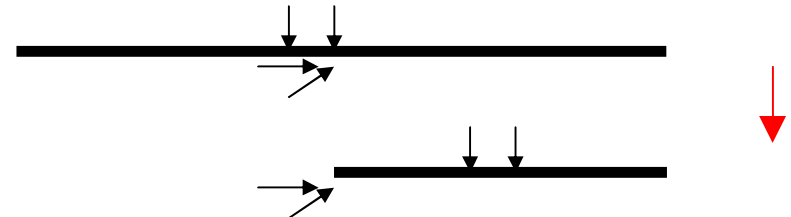
M_{\max}



gr2 (= LM1 (frequent) + vaakakuormat

V_{\max}

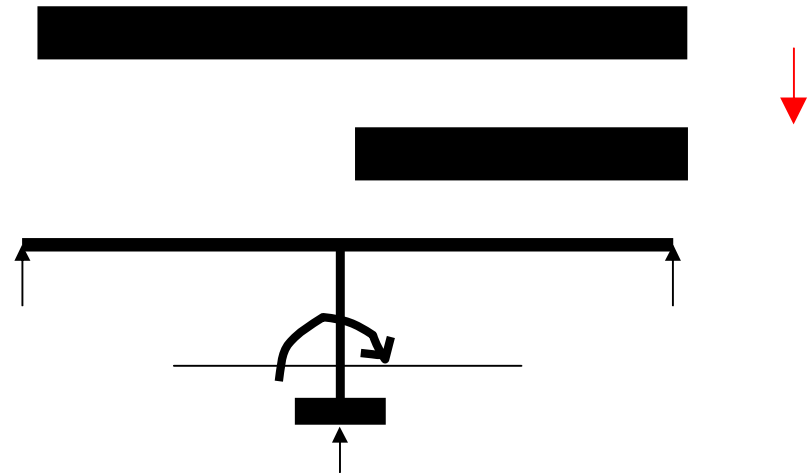
M_{\max}



gr5 (= LM3)

V_{\max}

M_{\max}



**LISÄKSI OTETAAN
LUONNOLLISET
HUOMIOON MUUTKIN
MUUTTUVAT KUORMAT
(YHDISTELYTAULUKOIDEN
MUKAAN):**

LASKELMIEN KULKU MENETTELYTAVAN DA2* MUKAAN

1) KÄYTETÄÄN KÄYTTÖRAJATILAN OMINAISYHDISTELMÄÄ KANTOKESTÄVYYSLASKENNASSA

TIESILLAT - KAYTTORAJATIL - Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16)																							
(6.14)														(6.15)							(6.16)		
KUORMITUSYHDISTELYN MAARAAVA MUUTTUVA KUORMA																							
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	1b	2b	5b	7b	8b	10b	12b	14b	c
	gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1a	gr1b	gr4	F _{wk}	T	BF	IL	TLEP				
Oma paino	1														1							1	
Esijännitys	1														1							1	
gr1a	1	-	-	-	-	-	-	0,75	-	0,75	-	0,75	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
gr1b	-	1	-	-	-	-	-	0,4	-	0,4	-	0,4	-	-	0,4	-	-	-	0,3	0,3	0,3	-	0,3
gr2	-	-	1	-	-	-	-	0,4	-	0,4	-	0,4	-	-	0,4	0,75	-	-	-	-	-	-	-
gr3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-
gr4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-
gr5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F _{wk} 1)	0,6	-	-	-	-	-	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
F _{wk} 1)	<	-	-	-	-	-	-	<	-	<	-	<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F _{wk} 1)	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T _k	0,6	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	-	0,5	-	0,6	0,5	-	0,5	0,5
BF	0,6	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	0,6	0,6	1	1	0,6	0,6	0,6	0,4	-	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4
IL	0,7	-	0,7	0,7	0,7	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1	1	0,7	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2
S 2)																							
W 2)																							
dW 2)																							
TLEP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	0,4	0,4	0,75	0,4	0,75	0,4	0,75	0,75	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-
SL1																							
SL2	0,8	-	0,8	0,8	0,8	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Qc																							

1) Tuulikuormasta: Kun yhdistellään tuulta liikennekuorman kanssa valitaan yhdistelyyn arvo 0, mutta ei kuitenkaan suurempaa arvoa kuin $1 \cdot F_{wk}$

2) tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa

TEHDÄÄN (MÄÄRÄÄVÄT) KÄYTTÖRAJATILAN OMINAISYHDISTELMÄN KUORMITUSYHDISTELYT
(V_{max} + M_{vast}, M_{max} + V_{vast}, JNE) [KUORMIEN SOVELLUSOHJEEN TAULUKKO LIITTEESSÄ 1]

LASKELMIEN KULKU MENETTELYTAVAN DA2* MUKAAN

2) LASKETAAN KANTOKESTÄVYYS EUROKOODIN MUKAAN (EN1991-7, liite D)

→ kantavuuskaavalla saadaan kantokestävyyden ominaisarvo (huom! maaparametreihin ei kohdisteta varmuuskertoimia)

→ laskelman lopussa kohdistetaan saatuun kantokestävyyteen varmuuskertoimen (1,55), saadaan kantokestävyyden mitoitusarvo

→ KERROTAAN SAATU KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO KUORMAYHDISTELMÄÄ VASTAAVALLA TEHOKKAALLA PINTA-ALALLA → KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVO KUORMANA

D.1 Liitteessä D käytetyt merkinnät

(1) Seuraavia merkintöjä käytetään liitteessä D.

$A' = B \times L'$ perustuksen tehokas mitoituspinta-ala

b pohjan kaltevuuskertoimien mitoitusarvot, alaindeksit c , q ja γ

B perustuksen leveys

B' tehokas perustuksen leveys

D perustamissyvyys

e resultanttivoiman epäkeskisyyden, alaindeksit B and L

i kuorman kaltevuuskertoimen, alaindeksit koheesio c , pintakuorma q ja tilavuuspaino γ

L perustuksen pituus

L' perustuksen tehokas pituus

m eksponentti kaltevuuskertoimen i kaavassa

N kantavuuskertoimet, alaindeksit c , q ja γ

q yläpuolisten maakerrosten tai lisäkuormien paine perustuksen pohjan tasolla

q' yläpuolisten maakerrosten aiheuttama tehokas mitoituspaine perustuksen pohjan tasolla

s perustuksen pohjan muotokertoimet, alaindeksit c , q ja γ

V pystykuorma

α perustuksen pohjan kaltevuus vaakatason suhteen

γ' perustustason alapuolella olevan maan tehokkaan tilavuuspainon mitoitusarvo

θ H :n suuntakulma

D.4 Avoimet olosuhteet

(1) Kantokestävyyden mitoitusarvo voidaan laskea kaavasta:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (D.2)$$

jolloin yksiköttömät kertoimet ovat::

— kantokestävyydelle:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 (45 + \varphi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi', \text{ missä } \delta \geq \varphi'/2 \text{ (karhea pohja)}$$

perustuksen pohjan kaltevuudelle:

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_q = b_\gamma - (1 - \alpha \tan \varphi')^2$$

— perustuksen muodolle:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi', \text{ suorakaiteelle}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi', \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

— $s_\gamma = 1 - 0,3 (B' / L')$, suorakaiteelle

$$s_\gamma = 0,7, \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

— $s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$ suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle

— vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$i_q = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^{m+1}$$

missä:

$$m = m_B = [2 + (B' / L')][1 + (B' / L')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B':\text{n suunnassa}$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')][1 + (L' / B')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L':\text{n suunnassa.}$$

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyiden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,h}$	1,31

LASKELMIEN KULKU MENETTELYTAVAN DA2* MUKAAN

3) LASKETAAN MURTORAJATILAN (STR/GEO – Set B) YHDISTELYLLÄ → KUORMAN PYSTYSUUNTAINEN MITOITUSARVO

TIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)

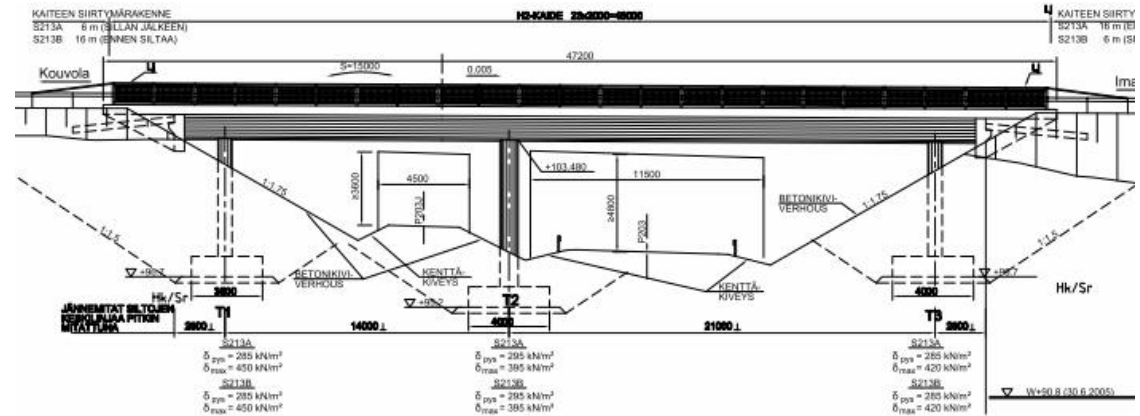
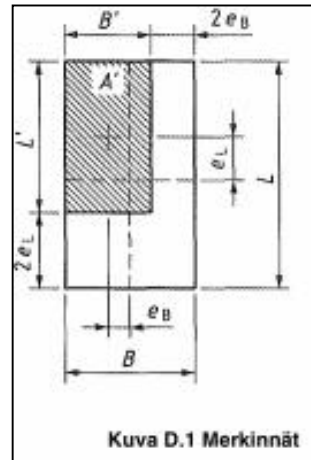
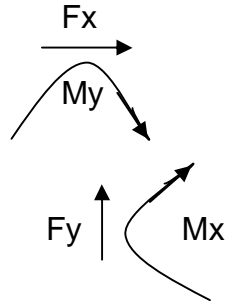
		KUORMITUSYHDISTELYN MAARAAVA MUUTTUVA KUORMA																		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
		6.10a	gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP							
SET A (EQU)	Oma paino	-	1,1 / 0,9																	
	Esiännitys	-	1,1 / 0,9 ⁴⁾																	
SET B (STR/EQU)	Ompaino	1,35	1,15 / 0,9																	
	Esiännitys	1	1,10 / 0,90 ⁵⁾																	
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	gr1a	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	x 0,75	-	-	x 0,75	-	-	x 0,75	-	-	-
											1,35 x 0,4	-	-	1,35 x 0,4	-	-	1,35 x 0,4	-	-	-
											x 0,4	-	-	x 0,4	-	-	x 0,4	-	-	-
	gr1b	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr2	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr3	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr4	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr5	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F _{wk 1)}	-	1,5	0,6	-	-	-	-	-	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	F _{wk 1)}	-	1,5	<	-	-	-	-	-	-	1,5 x 1	-	-	1,5 x 1	-	-	1,5 x 1	-	-	-
	T _{k 2)}	-	1,5 x 0,6	-	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	-	1,5 x 0,6	1,5	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	BF	-	1,5 x 0,6	-	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	IL	-	1,5 x 0,7	-	-	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	-	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5	1,5	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
	S ₂₎	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	W ₃₎																			
dW ₃₎																				
TLEP	-	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	-	1,5 x 0,75	1,5 x 0,4	1,5 x 0,75	1,5 x 0,4	1,5 x 0,75	1,5 x 0,4	1,5 x 0,75	1,5 x 0,4	1,5 x 0,75	1,5 x 0,4	1,5	
SL1	-	1,5 x 0,8	-	-	-	-	-	-	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	
SL2	-	1,5 x 0,8	-	-	-	-	-	-	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	
Qc																				

- 1) Tuulikuormasta: Kun yhdistellään tuulta liikennekuorman kanssa valitaan yhdistelyyn arvo $0,6 \cdot F_{wk}$, mutta ei kuitenkaan suurempaa arvoa kuin $1 \cdot F_{wk}$
- 2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaaliakohtaiset sovellusohjeet)
- 3) vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa (varmuusluku pysyvän kuorman varmuusluku)
- 4) stabiileetti 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]
- 5) paikalliset vaikutukset 1,20 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]

4) VERRATAAN KOHDASTA 3) SAATUA KUORMAN PYSTYSUUNTAISTA MITOITUSARVOA KOHDASSA 2) SAATUUN KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVOON

LASKENTAESIMERKKI

SILLAN NIMI JA KUNTA	S213 JÄNHIÄLÄN RISTEYSSILTA, Joutseno	
TYYPPI	TERÄSBETONINEN JATKUVA ULOKEPALKKISILTA (Bjup)	
	YLEISPIIRUSTUS	
JM VA II	(2.50) + 14.0+21.0 + (2.50) m	HL 13.50m + 13.50m
KUORMA	Lkl, Ek1 / TIEH 99	VINDUS 0...1 gon



1) KÄYTETÄÄN KÄYTTÖRAJATILAN OMAINIS-YHDISTELMÄÄ KANTOKESTÄVYYSLASKENNASSA

	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	
KRT (Max) Fx* +	209	9	3730	-89	657	1	
KRT (Max) Fy* +	84	95	3470	-410	224	-2	
KRT (Max) Fz* +	69	-26	5000	75	191	0	1) Vmax
KRT (Max) Mx* +	33	-102	3950	439	72	2	2) Mxmax
KRT (Max) My* +	199	2	3690	-63	684	1	3) Mymax
KRT (Max) Mz* +	60	-10	2380	65	140	12	
KRT (Min) Fx* -	-81	-30	2730	171	-369	-12	
KRT (Min) Fy* -	33	-102	3950	439	72	2	
KRT (Min) Fz* -	62	-6	1910	35	159	0	4) Vmin
KRT (Min) Mx* -	77	95	3430	-411	197	-2	
KRT (Min) My* -	-74	-29	2580	171	-391	-12	
KRT (Min) Mz* -	-74	-29	2580	171	-391	-12	

4) VERRATAAN MURTORAJATILAN (STR/GEO - Set B) YHDISTELYN KUORMAN PYSTYSUUNTAISTA MITOITUSARVOA SAATUUN KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVOON

MRT (Max) Fx* +	267	14	4510	-136	847	2	
MRT (Max) Fy* +	103	130	4160	-568	278	-2	
MRT (Max) Fz* +	66	-48	6370	171	190	-1	1) Vmax
MRT (Max) Mx* +	19	-143	4040	620	24	3	2) Mxmax
MRT (Max) My* +	255	5	4430	-101	880	2	3) Mymax
MRT (Max) Mz* +	53	-17	1970	105	115	15	
MRT (Min) Fx* -	-130	-44	2390	248	-556	-16	
MRT (Min) Fy* -	19	-143	4040	620	24	3	
MRT (Min) Fz* -	59	-11	1320	61	148	0	4) Vmin
MRT (Min) Mx* -	93	130	4120	-570	242	-3	
MRT (Min) My* -	-122	-43	2210	247	-581	-16	
MRT (Min) Mz* -	-122	-43	2210	247	-581	-16	

LASKENTAESIMERKKI: LÄHTÖTIEDOT + LOPULLISET KUORMITUSYHDISTELYT

MUUT LÄHTÖTIEDOT:

f' = tehokas kitkakulma

g = pohjamaan tilavuuspaino

g'_1 = perustuksen päällä tulevan täyttömateriaalin tilavuuspaino

g'_2 = perustamistason alapuolisen maan tehokas tilavuuspaino

c' = tehokas koheesio

d = anturan korkeus

D = anturan perustamissyvyys

B = anturan sivumitta sillan suunnassa

L = anturan sivumitta sillan poikkisuunnassa

α = pohjan kaltevuus vaakatason suhteen asteina

β_1 Kalteva maanpinta laskentatapa 1, asteina

β_2 Kalteva maanpinta laskentatapa 2, asteina

35
20
20
18
0
1
2
2,04
2,04
0
0
0

Haetaan anturan mitat siten, että kantavuus riittää

LOPULLISET TARKASTETTAVAT KUORMITUSYHDISTELYT (DA2*)

1	2	3	4
V_{\max} $V = 5000$	Mx_{\max} $V = 3950$	My_{\max} $V = 3690$	V_{\min} $V = 1910$
$Hx(H_b) = 69$	$Hx(H_b) = 33$	$Hx(H_b) = 199$	$Hx(H_b) = 62$
$My(M_L) = 191$	$My(M_L) = 72$	$My(M_L) = 684$	$My(M_L) = 159$
$Hy(H_L) = 26$	$Hy(H_L) = 102$	$Hy(H_L) = 2$	$Hy(H_L) = 6$
$Mx(M_B) = 75$	$Mx(M_B) = 439$	$Mx(M_B) = 63$	$Mx(M_B) = 35$

1) KÄYTETÄÄN KÄYTTÖRAJATILAN
OMINAIS-YHDISTELMÄÄ
KANTOKESTÄVYYSLASKENNASSA

LOPULLISET TARKASTETTAVAT KUORMITUSYHDISTELYT (DA2)

1	2	3	4
V_{\max} $V = 6370$	Mx_{\max} $V = 4040$	My_{\max} $V = 4430$	V_{\min} $V = 1320$
$Hx(H_b) = 66$	$Hx(H_b) = 19$	$Hx(H_b) = 255$	$Hx(H_b) = 59$
$My(M_L) = 190$	$My(M_L) = 24$	$My(M_L) = 880$	$My(M_L) = 148$
$Hy(H_L) = 48$	$Hy(H_L) = 143$	$Hy(H_L) = 5$	$Hy(H_L) = 11$
$Mx(M_B) = 171$	$Mx(M_B) = 620$	$Mx(M_B) = 101$	$Mx(M_B) = 61$

4) VERRATAAN MURTORAJATILAN
(STR/GEO – Set B) YHDISTELYN
KUORMAN PYSTYSUUNTAISTA
MITOITUSARVOA SAATUUN
KANTOKESTÄVYYDEN
MITOITUSARVOON

LASKENTAESIMERKKI: LÄHTÖTIEDOT + LOPULLISET KUORMITUSYHDISTELYT

ANTURAN JA ANTURAN PÄÄLLÄ
OLEVAN MAAN PAINO MUKAAN →

anturan paino
maan paino

	1	2	3	4
V_{\max}		Mx_{\max}	My_{\max}	V_{\min}
$q_a =$	104	104	104	104
$q_p =$	83	83	83	83
$V =$	5187	$V = 4137$	$V = 3877$	$V = 2097$
$H_x(H_b) =$	69	$H_x(H_b) = 33$	$H_x(H_b) = 199$	$H_x(H_b) = 62$
$My(M_L) =$	191	$My(M_L) = 72$	$My(M_L) = 684$	$My(M_L) = 159$
$Hy(H_L) =$	26	$Hy(H_L) = 102$	$Hy(H_L) = 2$	$Hy(H_L) = 6$
$Mx(M_B) =$	75	$Mx(M_B) = 439$	$Mx(M_B) = 63$	$Mx(M_B) = 35$

**1) KÄYTETÄÄN KÄYTTÖRAJATILAN
OMINAIS-YHDISTELMÄÄ
KANTOKESTÄVYYSLASKENNASSA**

anturan paino
maan paino

	1	2	3	4
V_{\max}		Mx_{\max}	My_{\max}	V_{\min}
$q_a =$	104	104	104	104
$q_p =$	83	83	83	83
$V =$	6585	$V = 4255$	$V = 4645$	$V = 1535$
$H_x(H_b) =$	66	$H_x(H_b) = 19$	$H_x(H_b) = 255$	$H_x(H_b) = 59$
$My(M_L) =$	190	$My(M_L) = 24$	$My(M_L) = 880$	$My(M_L) = 148$
$Hy(H_L) =$	48	$Hy(H_L) = 143$	$Hy(H_L) = 5$	$Hy(H_L) = 11$
$Mx(M_B) =$	171	$Mx(M_B) = 620$	$Mx(M_B) = 101$	$Mx(M_B) = 61$

**4) VERRATAAN MURTORAJATILAN
(STR/GEO – Set B) YHDISTELYN
KUORMAN PYSTYSUUNTAISTA
MITOITUSARVOA SAATUUN
KANTOKESTÄVYYDEN
MITOITUSARVOON**

LASKENTAESIMERKKI: KANTOKESTÄVYYDEN LASKENTA

2) LASKETAAN KANTOKESTÄVYYS EUROKOODIN MUKAAN (EN1991-7, liite D)

	1	2	3	4
	V_{max}	Mx_{max}	My_{max}	V_{min}
anturan paino	q _a = 104	104	104	104
maan paino	q _p = 83	83	83	83
	V = 5187	V = 4137	V = 3877	V = 2097
	Hx(H _b) = 69	Hx(H _b) = 33	Hx(H _b) = 199	Hx(H _b) = 62
	My (M _L) = 191	My (M _L) = 72	My (M _L) = 684	My (M _L) = 159
	Hy (H _L) = 26	Hy (H _L) = 102	Hy (H _L) = 2	Hy (H _L) = 6
	Mx (M _B) = 75	Mx (M _B) = 439	Mx (M _B) = 63	Mx (M _B) = 35
epäkeskisyys	e _L = 0,01	0,11	0,02	0,02
	e _B = 0,04	0,02	0,18	0,08
tehokkaat mitat	L' = 2,01	1,83	2,01	2,01
	B' = 1,97	2,01	1,69	1,89
	A' = 3,95	3,67	3,39	3,79
Kantavuuskertoimet	N _c = 46,12	46,12	46,12	46,12
	N _q = 33,30	33,30	33,30	33,30
	N _γ = 45,23	45,23	45,23	45,23
Kaltevuuskertoimet: (LISÄTTY)	b _c = 1,00	1,00	1,00	1,00
	b _q = 1,00	1,00	1,00	1,00
	b _γ = 1,00	1,00	1,00	1,00
Muotokertoimet L/B	s _c = 1,60	1,54	1,70	1,63
	s _q = 1,59	1,52	1,68	1,61
	s _γ = 0,69	0,73	0,64	0,68
Muotokertoimet B/L	s _c = 1,58	1,65	1,50	1,56
	s _q = 1,56	1,63	1,48	1,54
	s _γ = 0,71	0,67	0,75	0,72
Muotokertoimet (Q)	s _c = 1,58	1,55	1,50	1,56
	s _q = 1,56	1,53	1,48	1,54
	s _γ = 0,70	0,72	0,75	0,72
potenssi m	m _L = 1,49	1,52	1,46	1,48
	m _B = 1,51	1,48	1,54	1,52
H (sqrt(H _x ² +H _y ²))	H = 74	107	199	62
Vaakuormen Q	Q = 69,35	17,93	89,42	84,47
potenssi m	m = 1,50	1,52	1,54	1,51
Kuorman kaltevuus	i _c = 0,98	0,96	0,92	0,95
	i _q = 0,98	0,96	0,92	0,96
	i _γ = 0,96	0,94	0,87	0,93

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45^\circ + \phi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi', \text{ missä } \delta \geq \phi'/2 \text{ (karhea pohja)}$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \phi')^2$$

- perustuksen muodolle:
s_q = 1 + (B' / L') sin φ', suorakaiteelle
s_q = 1 + sin φ', neliölle tai ympyrälle
- s_γ = 1 - 0,3 (B' / L'), suorakaiteelle
s_γ = 0,7, neliölle tai ympyrälle
- s_c = (s_q · N_q - 1) / (N_q - 1) suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B\text{:n suunnassa}$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L\text{:n suunnassa.}$$

- vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:
i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c · tan φ')
- i_q = [1 - H / (V + A'c'cot φ')]^m
- i_γ = [1 - H / (V + A'c'cot φ')]^{m+1}.

LASKENTAESIMERKKI: KANTOKESTÄVYYDEN LASKENTA

2) LASKETAAN KANTOKESTÄVYYS EUROKOODIN MUKAAN (EN1991-7, liite D)

	1	2	3	4
	V_{max}	$M_{x_{max}}$	$M_{y_{max}}$	V_{min}
$c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c$	0	0	0	0
$g' \cdot D \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q$	2039	1962	1820	1960
$0,5 \cdot g' \cdot z \cdot B' \cdot N_g \cdot b_g \cdot s_g \cdot i_g$	547	554	452	514
$R_d \cdot G_R$ luiska laskentatapa 1	10329	9318	7781	9473
$R_d \cdot G_R$ luiska laskentatapa 2	2186	2051	1547	1967
$R_d \cdot G_R$ ei luiskaa	10329	9318	7781	9473
$R_d \cdot G_R$	10329	9318	7781	9473
$G_R =$	1,55			
$R_d =$	6664	6012	5020	6111
$R_d / A' =$	1668	1623	1466	1596

3)- 4) VERRATAAN MURTORAJATILAN (STR/GEO – Set B) YHDISTELYN KUORMAN PYSTYSUUNTAISTA MITOITUSARVOA KOHDASSA 1) SAATUUN KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVOON

	1	2	3	4
	V_{max}	$M_{x_{max}}$	$M_{y_{max}}$	V_{min}
anturan paino	$q_a =$ 105	105	105	105
maan paino	$q_p =$ 84	84	84	84
	$V/A' =$ 1385	$V/A' =$ 1187	$V/A' =$ 1386	$V/A' =$ 420
	$V =$ 6587	$V =$ 4257	$V =$ 4647	$V =$ 1537
	$H_x(H_b) =$ 60	$H_x(H_b) =$ 19	$H_x(H_b) =$ 255	$H_x(H_b) =$ 59
	$M_y(M_L) =$ 190	$M_y(M_L) =$ 24	$M_y(M_L) =$ 880	$M_y(M_L) =$ 148
	$H_y(H_L) =$ 48	$H_y(H_L) =$ 143	$H_y(H_L) =$ 5	$H_y(H_L) =$ 11
	$M_x(M_B) =$ 171	$M_x(M_B) =$ 620	$M_x(M_B) =$ 101	$M_x(M_B) =$ 61

LASKENTAESIMERKKI: KANTOKESTÄVYYDEN LASKENTA

LOPULLISET TULOKSET:

Kuormitusyhdistelyn nro		1	2	3	4
Anturan koko		L = 2,05 B = 2,05	L = 2,05 B = 2,05	L = 2,05 B = 2,05	L = 2,05 B = 2,05
DA2	Varmuus DA2 / S_{sall}	1,02 1682	1,33 1583	1,05 1449	3,72 1564
DA2*	Varmuus DA2* / S_{sall}	1,01 1668	1,37 1623	1,06 1466	3,80 1596
	Täyttykö $D < 2,5B'$	kyllä 1,0	kyllä 1,0	kyllä 1,2	kyllä 1,1
	Täyttykö $e_B < B/3$ (DA2*)	kyllä 53,7	kyllä 115,8	kyllä 9,6	kyllä 25,1
	Täyttykö $e_L < L/3$ (DA2*)	kyllä 139,8	kyllä 17,3	kyllä 124,2	kyllä 120,9

Tässä tapauksessa (maltillinen vaakakuorma) DA2 ja DA2* antavat lähes saman tuloksen -> anturan sivumitat (neliöantura) 2,05 m. Kun vaakakuormaa kasvatetaan tulee kuormitustapaus 3 määrääväksi ja ero menetelmien DA2 ja DA2* välillä kasvaa (ks. taulukko alla)

→ PIENILLÄ SILLOILLA VOITAIISIIN SUUNNITELLA DA2:N MUKAAN. SUURILLA SILLOILLA KANNATTAA SUUNNITELLA DA2*:N MUKAAN

Vaaka-kuormat	DA 2* varmuus	DA2 varmuus	Anturan koko	$e < B/3$ ehto
2x	1	0,98	2,36	-
3x	1	0,96	2,72	-
5x	1,01	0,94	3,44 ->	3,91
10x	1,01	0,87	5,13 ->	6,27

DA2*:n taloudellisuus kasvaa kun paljon vaakakuormaa

epäkeskisyysehto määrää kun paljon vaakakuormaa

MAANPINNAN KALTEVUUDEN HUOMIOONOTTO (VANHAT OHJEET):

Maanpinnan kaltevuus

Maanpinnan ollessa kalteva, on kantavuuskaavalla vaakasuoralle maanpinnalle lasketua kantokykyä pienennettävä lähteen (Brinch Hansen 1970) mukaan kertoimella (8).

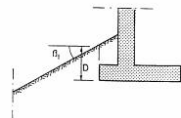
$$g = (1 - 0,5 \cdot \tan \beta)^5 \quad (8)$$

β = on luiskan kaltevuus vaakatason suhteen.

Kaltevuuskorjaus voidaan laskea seuraavien kuvien mukaisesti kahdella vaihtoehdoisella tavalla. Mitoituskantokykyksi valitaan suurempi näin saaduista arvoista.

Lasketatapa 1:

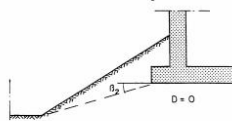
Perustusyyvyys D kantokykyä laskettaessa kuvan 4a mukaisesti, kun $\beta \leq \beta_c$



Kuva 3. Kalteva maanpinta, lasketatapa 1.

Lasketatapa 2:

Perustusyyvyys D = 0 kantokykyä laskettaessa $-\beta = \beta_c$



Kuva 4. Kalteva maanpinta, lasketatapa 2.

PAINUMALASKELMA (VANHAT OHJEET):

Pysyvät kuormat + määräävä pystysuora liikennekuorma, yleensä aina LM1 (LM3:a ei tarvitse tarkastella).

Painumatarkastelu tehdään nykykäytännön mukaisesti.

4.4.2.3 Maanvaraisen peruslaatan painuma

Painumalaskelma tarvitaan, jos pysyvästä kuormasta ja pystysuorasta liikennekuormasta anturan tehokkaalle pinta-alalle aiheutuva keskimääräinen pohjapaine σ_0 homogeenisissa pohjaolosuhteissa ja tasalaatuisella kitkamaalla, moreenilla tai tiivistetyllä täytöllä ylittää taulukon 3 arvot.

Painumalaskenta tehdään seuraavissa tapauksissa jokaisesta tuesta:

- tuki perustetaan hienorakeisen maan varaan
- pohjamaan painumaominaisuudet tai kerrospaksuudet vaihtelevat viereisten tukien välillä tai saman tuen kohdalla
- sillassa on pitkiä jänteitä (≥ 50 m) tai korkeita pilareita (≥ 15 m)

Taulukko 3. Pohjapaineen raja-arvo painumalaskennan tarpeellisuuden arviointia varten.

Maalaji		Painumalaskennan tarpeellisuus
Hiekka	löyhä...keskitiivis	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla
	tiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_0 > 50$ kPa
Sora	löyhä...keskitiivis	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla
	tiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_0 > 200$ kPa
Moreeni	hyvin löyhä ...löyhä	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla
	keskitiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_0 > 300$ kPa
	tiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_0 > 600$ kPa
Perustuksen alustäydytö	tiivisyysvaatimus SYL 2 mukaan	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_0 > 500$ kPa

Sillan tukien sallitut painumat, kiertymät tai painumaerot määrittää aina sillasuunnittelija.

Yleensä siltojen rakenteellisen suunnittelun lähtökohtana on, että päällysrakenteelle sallitaan tukien välillä 10 mm:n painumaero. Kokonaan maanvaraisesti perustettavalla sillalla voidaan tuelle sallia 20 mm:n arvioitu painuma.

Mitoitettavaa painumaa määritettäessä voidaan ottaa huomioon rakentamisen aikaiset painumat yksityiskohtaiseen suunnitelmaan perustuen.

LIUKUMISTARKASTELU (VANHAT OHJEET):

KÄYTETÄÄN MURTORAJATILAN (STR/GEO – Set B) YHDISTELYN VAAKAKUORMIA LIKUMISTARKASTELUSSA.

- kitkakulmana voidaan käyttää tehokasta kitkakulmaa

$$H_d \leq R_d$$

-liukumiskestävyuden osavarmuusluku 1,10

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyuden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,h}$	1,1

Lasketaan liukumiskestävyuden mitoitusarvo sijoittamalla osavarmuusluvut maapohjan kestävyteen, jolloin liukumiskestävyuden mitoitusarvoksi saadaan:

$$R_d = R_k / \gamma_{R,h}$$