

Mäntsälän jkpp-tiet katu- ja rakentamissuunnittelu, RS

Kaakkumäenraitin kevyen liikenteen silta, Mäntsälä

Puinen liimattu palkkisilta (Plp)

Jm = 22,0 m

HI = 3,5 m

Vinous = 0 gon

Kuormitus: KL/6.12.2017

Rakennelaskelmat, osa A

Rakennelaskelmista on laadittu osa A.

Rakennelaskelmat koskevat vain sillan alusrakenteita.

SUUNNITTELU / Destia Oy

Laatinut: 24.1.2023 / DI Kimmo Kuusela

Sisäinen tarkastus: 24.1.2023 / DI Kimmo Julku

TARKASTAMINEN / HYVÄKSYMINEEN

Tarkastusluokka: 1 (tyyppisuunnitelma Versowood)

Hyväksynyt: - / -, ELY-keskus

Destia Oy

Infrasuunnittelu, Siltasuunnittelu

Hatanpään valtatie 30

PL 382

33101 TAMPERE

020 444 11

etunimi.sukunimi@destia.fi

www.destia.fi

SISÄLLYSLUETTELO

A Laskelmien yhteenveto	3
A.1 Siltapaikka	3
A.2 Luokitukset	4
A.2.1 Seuraamusluokan CC3 rakenteet	5
A.3 Kuvaus suunniteltavasta rakenteesta	6
A.4 Mitoitusperusteet	11
A.4.1 Ohjeet ja ohjelmistot	11
A.4.2 Päärakennusaineiden materiaaliominaisuudet	12
A.4.3 Kuormat	13
A.5 Rakenneanalyysit	14
A.5.1 Rakennemallit	14
A.5.1.1 Laskentamallit	14
A.5.1.2 Poikkileikkaukset	17
A.5.1.3 Laipan toimiva leveys	17
A.5.1.4 Pääkannattajat	17
A.5.1.5 Poikkikannattajat	17
A.5.1.6 Maan mallinnus jousina	18
A.5.2 Kuormien sijoittelu	25
A.5.2.1 Pysyvät kuormat	25
A.5.2.2 Liikennekuorma	38
A.5.2.3 Muut muuttuvat kuormat	42
A.5.3 Kuormien yhdistely	45
A.5.4 Määrävimmit voimasuureet ja siirtymät	46
A.5.5 Suuruusluokkatarkastelu	51
A.6 Rakenneosien mitoituksen tiivistelmä	52
A.6.1 Päällysrakenne	52
A.6.1.1 Betoninen päällysrakenne	52
A.6.1.2 Liittorakenteinen päällysrakenne	52
A.6.1.3 Puinen päällysrakenne	52
A.6.1.4 Muut päällysrakenteet	52
A.6.2 Alusrakenne	53
A.6.2.1 Kallion- tai maanvaraiset perustukset	53
A.6.2.2 Suurpaaluperustukset	53
A.6.2.3 Paaluryhmäperustukset	53
A.6.3 Erillistarkastelut	59
A.6.3.1 Peruslaatan mitoitus	59
A.6.3.2 Etumuurin mitoitus	77
A.6.3.3 Otsamuurin mitoitus	91
A.6.3.4 Siipimuurin mitoitus	97
A.7 Varusteet ja laitteet	112
A.8 Rakentamiseen liittyvät tarkastelut	112

A Laskelmien yhteenveto

A.1 Siltapaikka

Kaakkumäenraitin kevyen liikenteen silta on puinen liimattu palkkisilta (Versowood-tyyppisilta), joka on suunniteltu osana Mäntsälän jkpp-tiet katu- ja rakentamissuunnitelmaa. Silta sijaitsee Kaakkumäentiellä paikassa, jossa tie ylittää alitse virtaavan Mäntsälänjoen.

Sillan ylittää kevyen liikenteen väylä ja alittaa joki.

Mitattu vedenkorkeus on tasolla +65,90.

Sillan teräsbetoniset maatuet perustetaan teräsbetonisille paaluille.

Puinen päällysrakenne suunnitellaan 50 vuoden käyttöiälle ja teräsbetoniset maatuet 100 vuoden käyttöiälle.

Maaperä ei ole aggressiivista / geosuunnittelu 30.11.2022

Huom!

Sillan pätyihin lisättiin loppuvaiheessa kevennysrakenteet. Näitä ei ole huomioitu laskelmissa. Kevennysrakenteet pienentävät sillalle tulevia vaakakuormia.

A.2 Luokitukset

Seuraamusluokka: CC2

Rakennusmateriaalikohtaiset luokat on esitetty kappaleessa A.4.2.

Väsytyksmitoitus: Betonirakenteiden osalta tarkastetaan, ettei raudoitteiden jännitys ylitä ominaisyhdistelyllä arvoa 300 MPa. Tarvittaessa tarkastetaan, ettei FLM1 kuorma aiheuta teräksiin yli 180 MPa jännitysvaihtelua. (NCCI 2, 6.8 Väsyminen)

Geotekninen luokka: GL2

Paalutustyöluokka: PTL2

Siltapaikkaluokka: IV

Talvihoitoluokka: Ei ole tiedossa

Siltapaikkaluokka IV

- Sijainti tavanomaisessa luonnonympäristössä
- Vähäiset vesiuomien ylitykset.

A.2.1 Seuraamusluokan CC3 rakenteet

Silta kuuluu seuraamusluokkaan CC2. Ei erityishuomioita.

A.3 Kuvaus suunniteltavasta rakenteesta

Siltatyypit: Liimattu puinen palkkisilta (Plp)

Päällysrakenne

Sillan päällysrakenne on Versowoodin tyyppisilta, poikittain jännitetty liimapuinen palkkisilta. Kansi on poikkikalteva 2,5 %. Kannessa ei ole pystykaarevuutta. Kannessa on 38 mm kulutuslankutus.

Sillan molemmissa päädyissä on paaluille perustettavat maatuet.

Jännevälit $jm_1 = 22m$

$jm_2 = 0m$

$jm_3 = 0m$

$jm_4 = 0m$

$jm_5 = 0m$

$jm_6 = 0m$

Kokonaispituus $L_{\text{silta}} = (jm_1 + jm_2 + jm_3 + jm_4 + jm_5 + jm_6) + 0.6m = 22.6m$

Palkin rakennekorkeus:

Rakennekorkeus $h_{\text{palkki}} = 990mm$

Hoikkuus

Suurin jännemitta $jm_{\text{max}} = \max(jm_1 + jm_2 + jm_3 + jm_4 + jm_5 + jm_6) = 22m$

Aukot $\frac{jm_{\text{max}}}{h_{\text{palkki}}} = 22.222$

Hyödyllinen leveys $HL = 3.5m$

Kokonaisleveys $B = HL + 2 \cdot 350mm = 4.2m$ (maatuen leveys)

Siipimuurin paksuus: $h_{\text{siipim}} = 300mm$

Siipimuurien sisäpintojen välinen etäisyys: $B_{\text{päät}} = B = 4.2m$

Vinous $\varphi_{\text{silta}} = 0gon$

Alusrakenne

Sillassa on kaksi (2) tukilinjaa. Tukilinjat ovat suorat.

Paalut kiinnitetään peruslaattaan nivel-liitoksina.

Maatuissa on poikkikaltevuutta, joka toteutetaan etumuurin korkeutta muuttamalla. Sillalle tulevat kuormat on laskettu keskimääräisenä sillan keskilinjan mittojen mukaan.

Mitat

Paalun sivumitta

$$T1 \quad d_{\text{paalu.1}} = 300 \text{ mm}$$

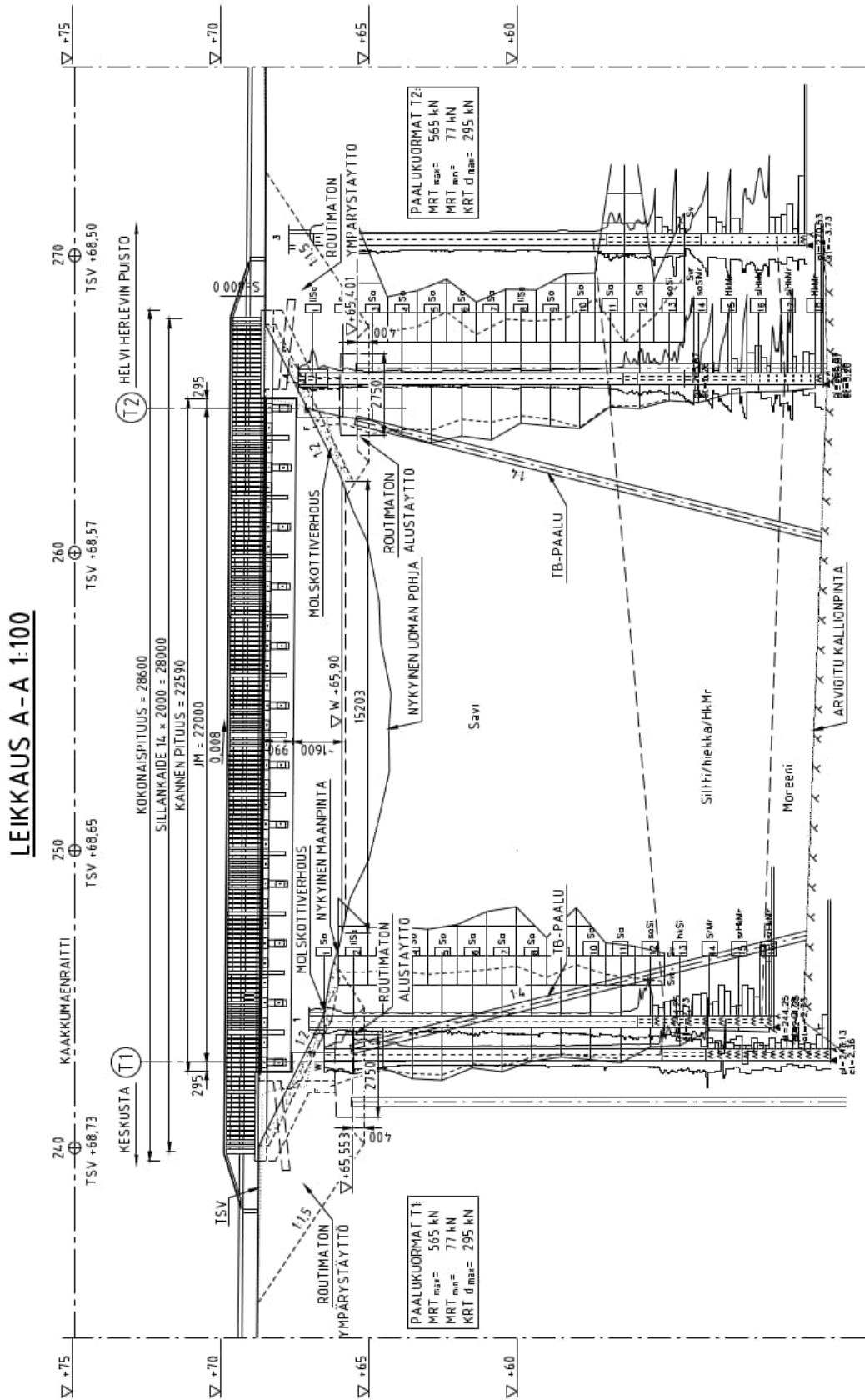
$$T2 \quad d_{\text{paalu.2}} = 300 \text{ mm}$$

Alusrakenteiden pituudet:

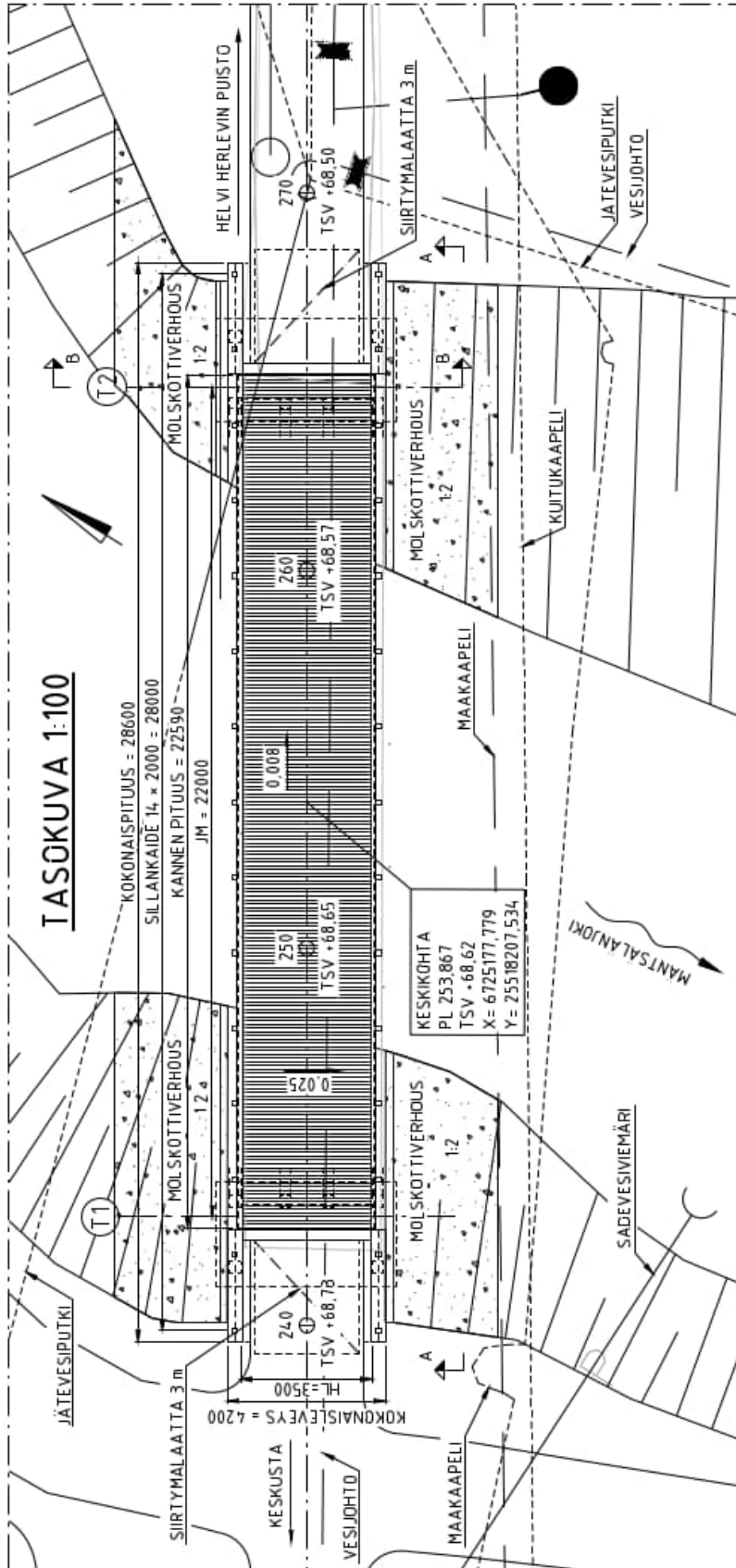
Pituudet ilmoitettu arvioituun ulottumatasoon

$$T1: \quad h_{\text{tuki.1}} = 16 \text{ m}$$

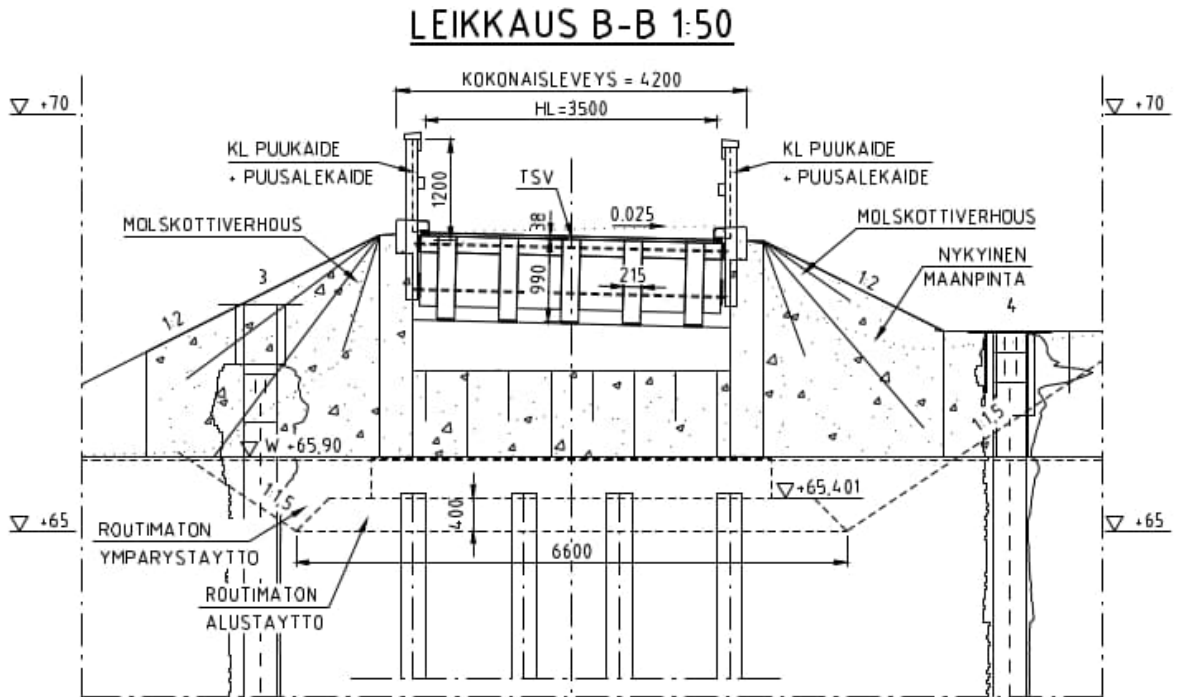
$$T2: \quad h_{\text{tuki.2}} = 16 \text{ m}$$



Sillan sivukuva (viimeistely versio esitetty yleispiirustuksessa a-1)



Sillan tasokuva (viimeistely versio esitetty yleispiirustuksessa a-1)



Sillan poikkileikkaus (viimeistely versio esitetty yleispiirustuksessa a-1)

A.4 Mitoitusperusteet

A.4.1 Ohjeet ja ohjelmistot

Suunnitteluohjeet

- [1] Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Betonisillat. Mitoittaminen ja yksityiskohtien suunnittelu, SFS-EN 1992-2+AC
- [2] Väylävirasto, Eurokoodin sovellusohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet NCCI-1, LO 24/2017
- [3] Väylävirasto, Eurokoodin sovellusohje Betonirakenteiden suunnittelu NCCI-2, VO 5/2022
- [4] Väylävirasto, Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu NCCI-7, LO 13/2017
- [5] Paalutusohje, PO-2016
- [6] Väylävirasto, Liikuntasaumattoman sillan suunnitteluohje - VO 9/2021
- [7] Väylävirasto, Eurokoodin soveltamisohje, Puurakenteiden suunnittelu - NCCI 5 25/2013

Mitoitusohjelmat

- Lusas Modeller 19
- Microsoft Excel
- Mathcad 15

A.4.2 Päärakennusaineiden materiaaliominaisuudet

Materiaali- ja laskentaluudet rakenneosittain:

Ylittävää väylää ei suolata (talvihoitoluokka II).

Rasitusluokkaryhmä R4

Etu- ja otsamuuri, siipimuurit	
Betoniluokka:	C30/37 - 3
Osavarmuusluku	1,35
f_{ck}	30,0 MPa
f_{cd}	18,9 MPa
f_{ctm}	2,9 MPa
f_{ctd}	1,48 MPa
E_{cm}	33,0 GPa

Peruslaatat	
Betoniluokka:	C30/37 - 2
Osavarmuusluku	1,5
f_{ck}	30,0 MPa
f_{cd}	17,0 MPa
f_{ctm}	2,9 MPa
f_{ctd}	1,33 MPa
E_{cm}	33,0 GPa

Etu- ja otsamuuri, siipimuurit	
Betoniteräs:	A500HW-3
Osavarmuusluku	1,1
f_{yk}	500 MPa
f_{yd}	455 MPa
E_s	200 GPa
f_{yd}/E_s	2,3 ‰

Peruslaatat	
Betoniteräs:	A500HW-2
Osavarmuusluku	1,15
f_{yk}	500 MPa
f_{yd}	435 MPa
E_s	200 GPa
f_{yd}/E_s	2,3 ‰

$$E_c = 33\text{GPa}$$

C30/37

Betonin ja teräksen lämpölaajenemiskerroin:

$$\alpha_{\Delta T_c} = 10 \times 10^{-6}$$

Betonipeitteen nimellisarvo (myös työteräkset):

(Rakenteen alapintaan varataan tila 12 mm työteräksille ja pystypintoihin 10 mm työteräkselle)

Etu- ja otsamuuri, siipimuurit:	$C_{nom} = 40 \text{ mm}$
Peruslaatta:	$C_{nom} = 50/100 \text{ mm}$
Siirtymälaatta:	$C_{nom} = 40/50 \text{ mm}$

Paalut: Teräsbetoniset lyöntipaalut

Paalujen sivumitta:

$$\begin{pmatrix} d_{\text{paalu.1}} \\ d_{\text{paalu.2}} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \text{m}$$

Paalun sijainti toleranssi vaakatasossa:

$$e_{\max} = 200\text{mm}$$

RIL 254-2-2016 kappale 4.4.3

Paalun kaltevuuden toleranssi:

$$i_{\max} = 20 \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

RIL 254-2-2016 kappale 4.4.3

A.4.3 Kuormat

Laskennassa huomioidaan seuraavat kuormat. Kuormat ja niiden intensiteetit on esitelty tarkemmin kappaleessa A.5.2.

Pysyvät kuormat

rakenneosien oma paino
lepopaine sillan pätyyn (tarkistus myös $0,7 \times$ lepopaine)
betonin kutistuminen
noste

Muuttuvat kuormat

pystysuuntainen liikennekuorma
- tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk}
- huoltoajoneuvo Q_{serv}
- liikennekuorma penkereellä, pystysuora

vaakasuorat kuormat
- jarrukuorma
- jarrukuorman sivusysäys
- tuulikuorma
- liikennekuorma penkereellä, vaakasuora

A.5 Rakenneanalyysit

A.5.1 Rakennemallit

A.5.1.1 Laskentamallit

FEM-mallin laskenta perustuu lineaariseen kimboteorian mukaiseen materiaalimalliin.

FEM-mallissa käytetyt elementit ja niiden ominaisuudet ovat:

Rakennemalli:

Etumuuri ja peruslaatta

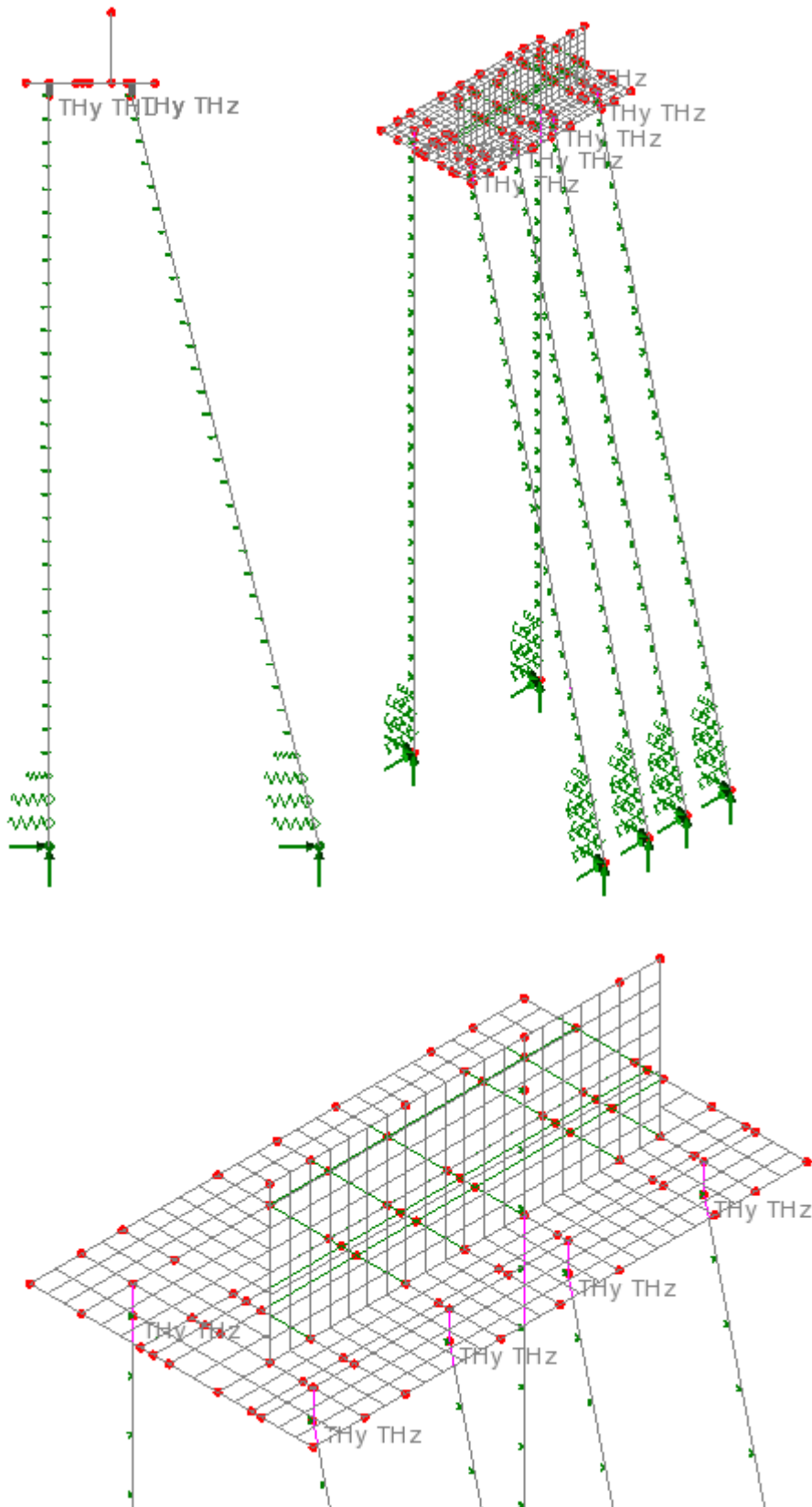
- Thick shell
- elementtikoko: noin 0,2 m

Paalut

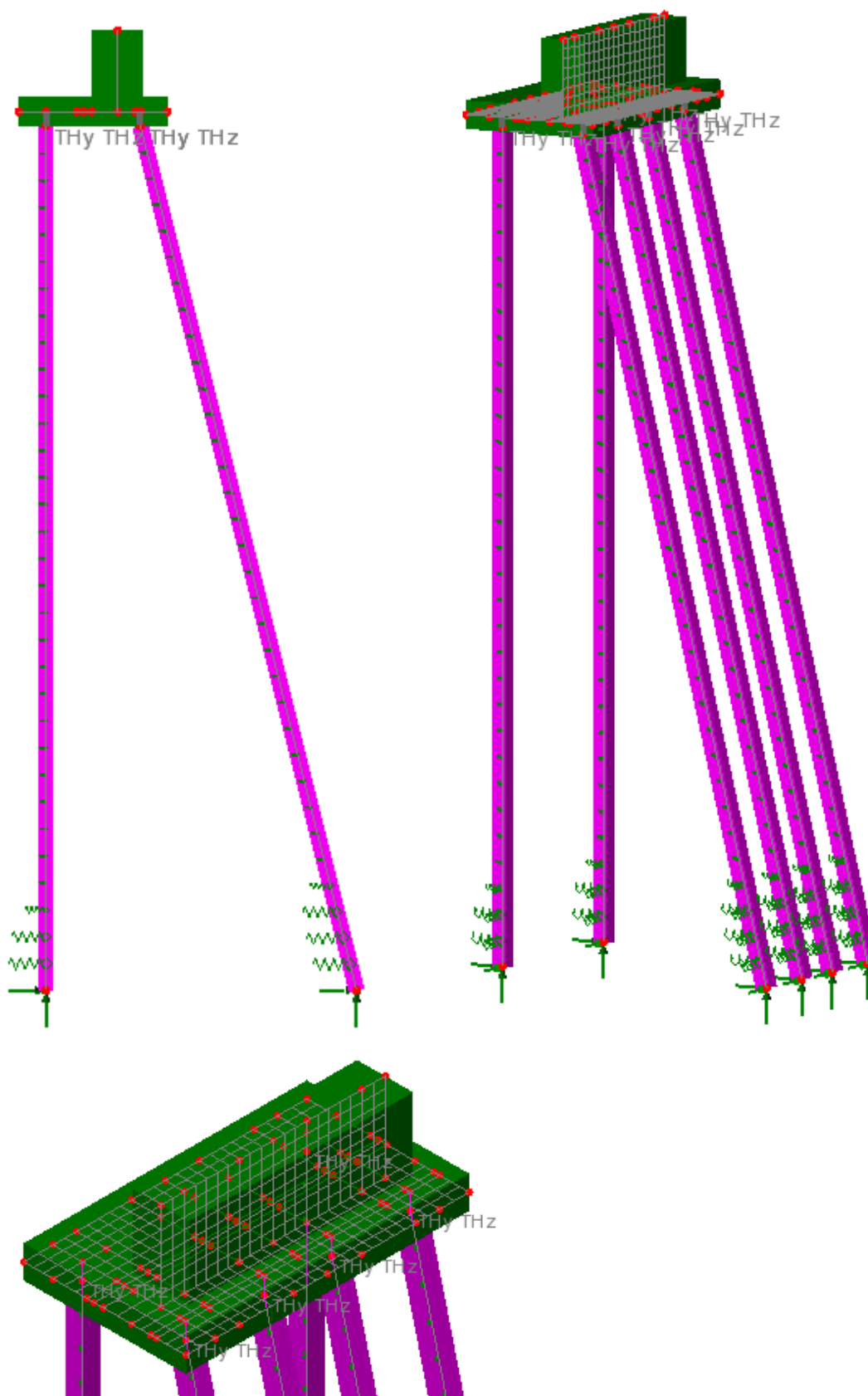
- Thick beam
- elementtikoko: 0,5 m

Tukiehdot:

- Paaluissa nivel-kiinnitys alapäässä (FX, FY, FZ)
- Paalujen yläpäästä vapautettu taivuttavat momentit pois
- Maan tukeva vaikutus on mallinnettu jousilla
- Paalujen liitos peruslaattaan elementtiverkon keskelle on tehty äärettömän jäykällä viivaelementillä (rigid)



Kuva. Rakennemalli



Kuva. Rakennemalli

Siltasuunnittelu

Suunnitteli: Kimmo Kuusela
Tarkasti: Kimmo Julku

30.12.2022
Kaakkumäenrasitin kls, Mäntsälä

A.5.1.2 Poikkileikkaukset

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.1.3 Laipan toimiva leveys

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.1.4 Pääkannattajat

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.1.5 Poikkikannattajat

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.1.6 Maan mallinnus jousina

Päätypalkin jousivakio on esitetty passiivipaineen laskennan yhteydessä luvussa A.5.2.3.2

Rakennemalliin on mallinnettu jouset Paalutusohjeen PO-2016 ja NCC17 LO 13/2017 mukaan.

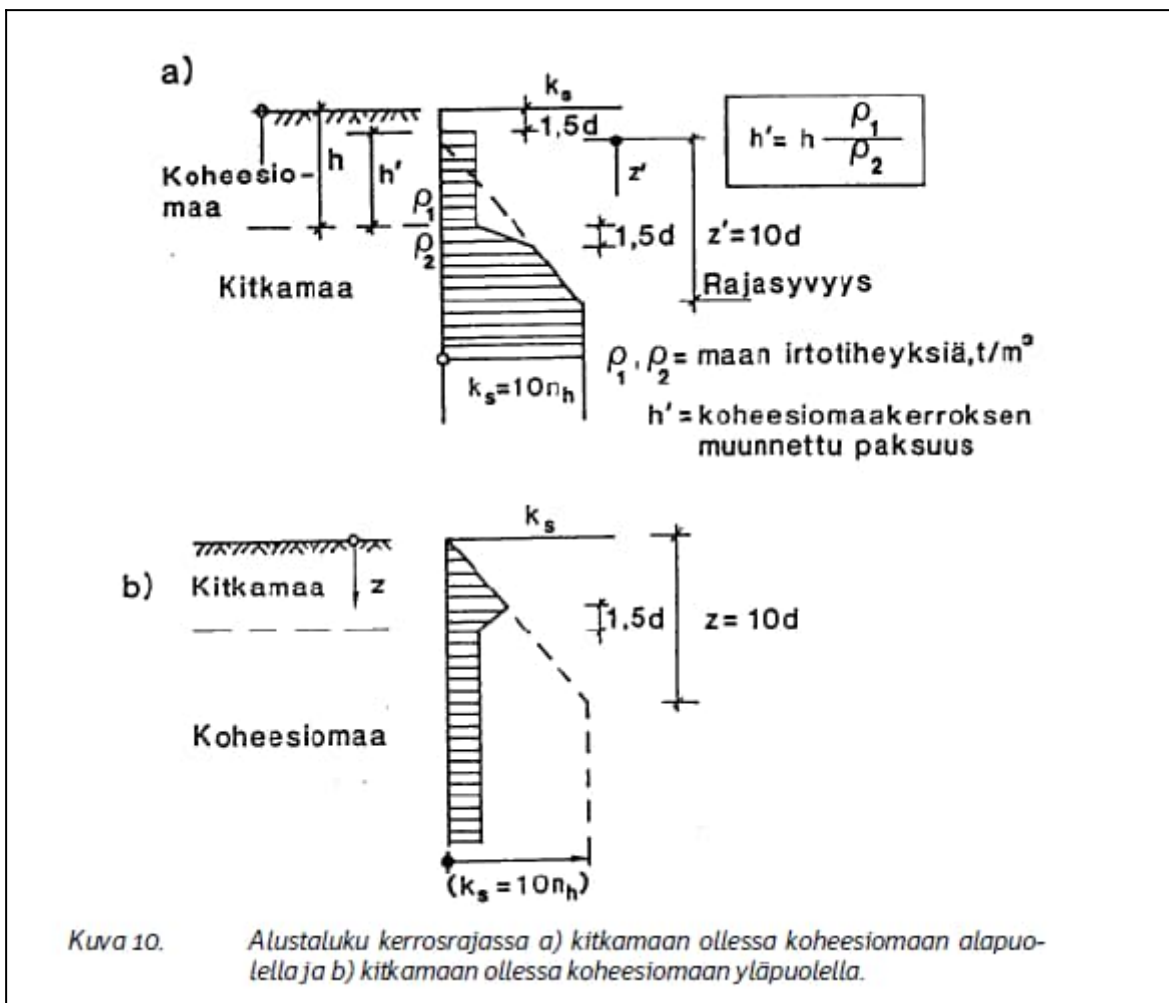
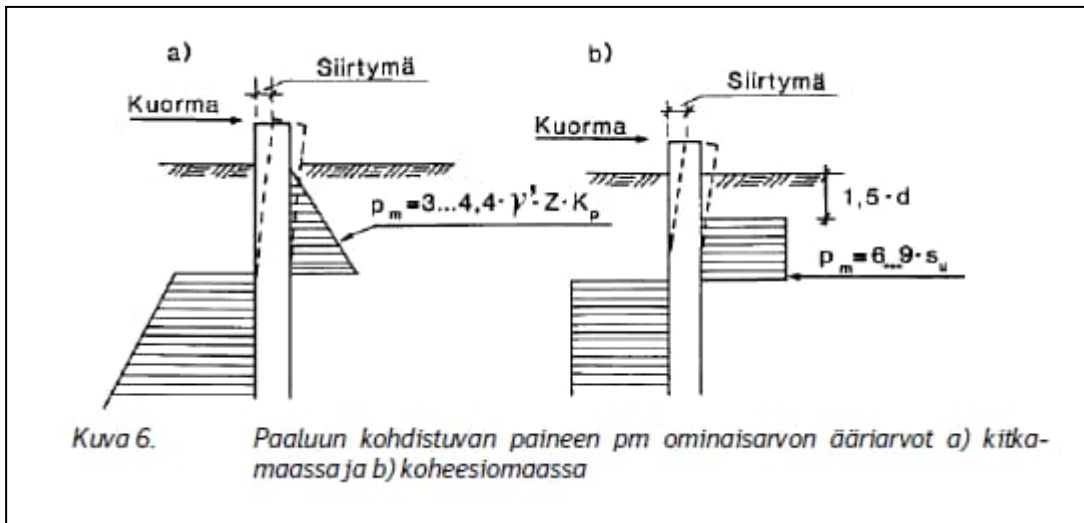
Koska ylimmät maakerrokset ovat koheesiomaata (pl. täytöt), ei sillan liikesuuntaa ole tarkemmin arvioitu (penkereeseen tai aukkoon päin).

Laskenta on suoritettu murtorajatilassa.

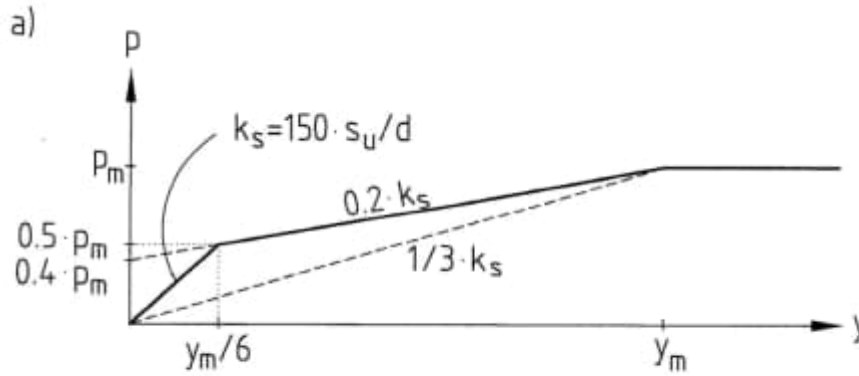
Laskennassa ei ole eroteltu hetkellisiä ja pitkäaikaisia kuormia, joten siirtymälaskenta on varmallalla puolella

Lopulliset jousivakiot on määritetty vaihtelemalla jousivakiota maakerroksissa siten, että kaikki jousivakiot ovat siirtymien mukaisissa rajoissa.

Kuormitusyhdistelminä on käytetty NCC1:n liitteen 1A mukaisia yhdistelmiä.



Koheesiomaan jousivakiot



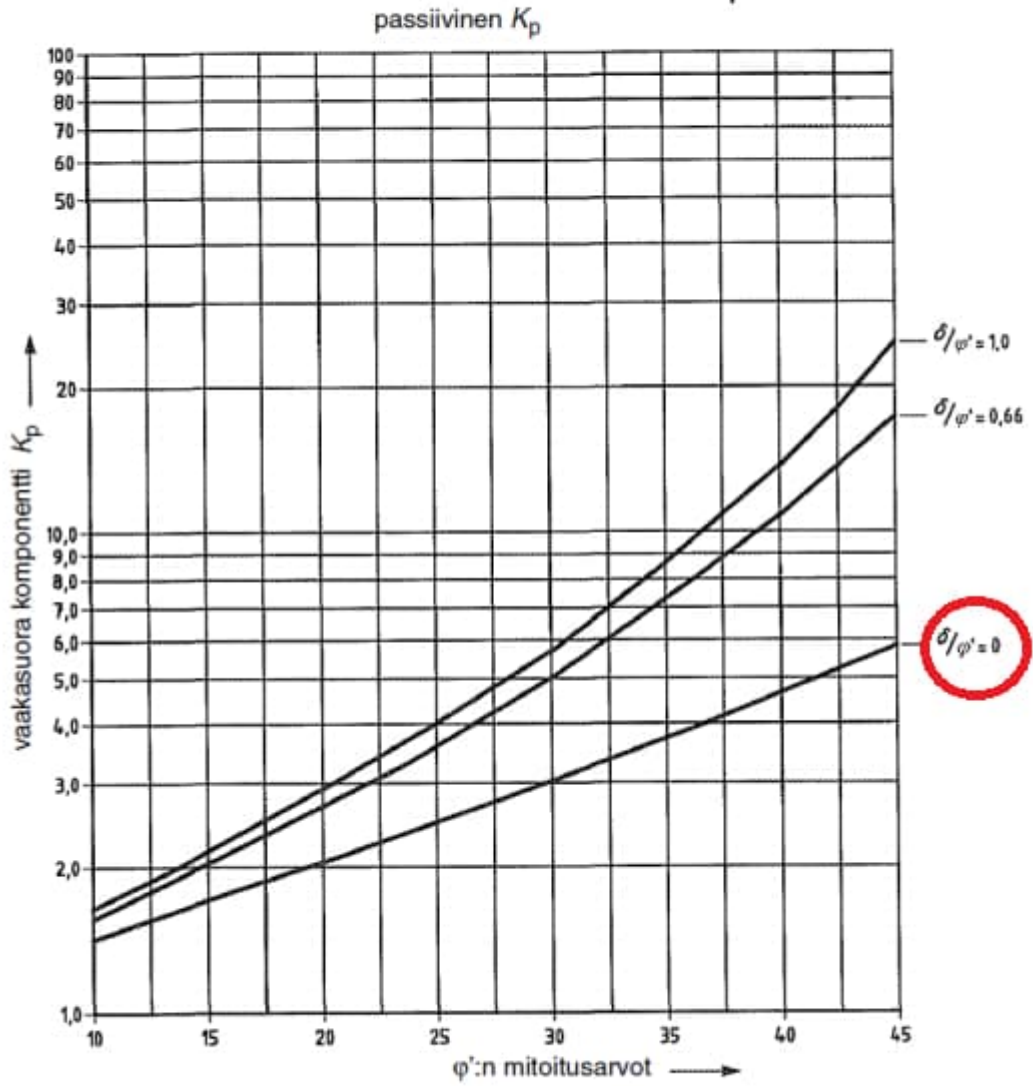
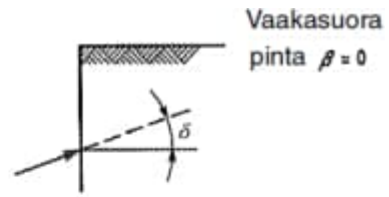
Kuva 5.10a Koheesiomaan sivupaine – siirtymäyhteyden määrittäminen lyhytaikaisessa

Lyhytaikaisessa kuormituksessa alustaluvun vaihteluväliksi voidaan olettaa: $k_s = 50 \dots 150 \cdot s_u / d$

Alustalukua vastaavat siirtymät lasketaan kaavalla: $y_m = p_m / (1/3 \cdot k_s)$

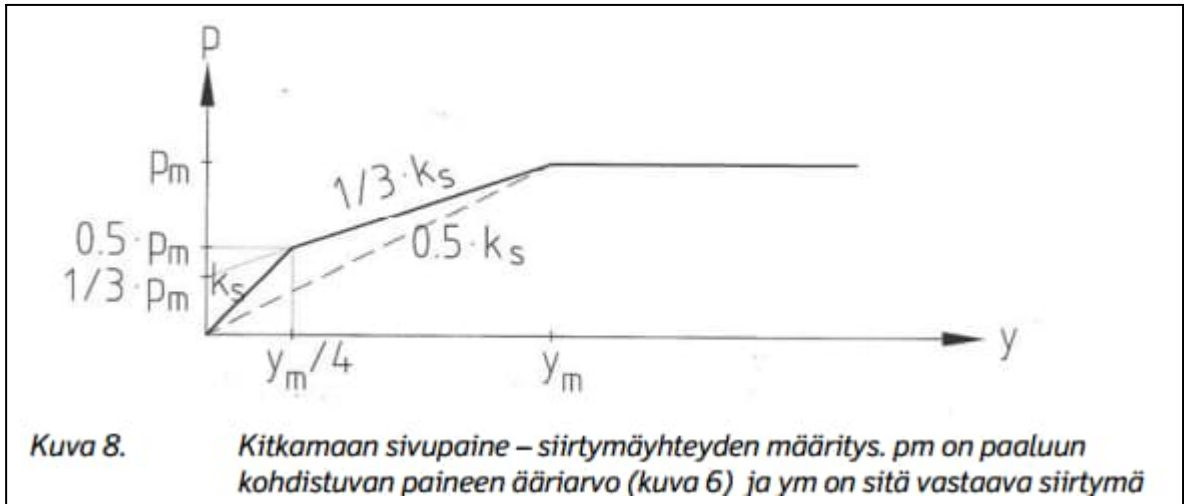
Koheesiomaat		
	γ [kN/m ³]	s_u [kPa]
Sa1	14	15
Sa2	16	20
Sa3	15	15

Paineen ääriarvo kitkamaassa



Kuva C.2.1 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakasuora ($\beta = 0$)

Vastaava siirtymä kuvan 8 mukaan



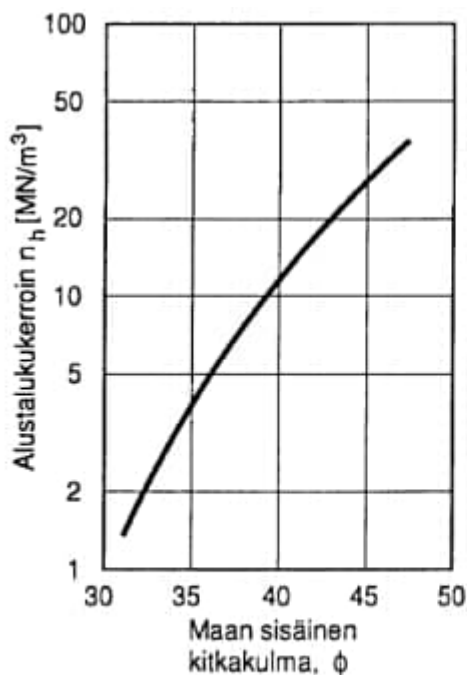
Kitkamaan jousivakiot

Kitkamaassa paaluun kohdistuvan paineen ääriarvojen oletetaan kasvavan lineaarisesti syvyyden kasvaessa.

Paineen ääriarvon rajasyvyys on $\rightarrow 10 \cdot d_{\text{paalu.1}} = 3 \text{ m}$

Kitkamaan jousi kasvaa lineaarisesti rajasyvyyteen, jonka jälkeen se huomioidaan maksimin mukaan.

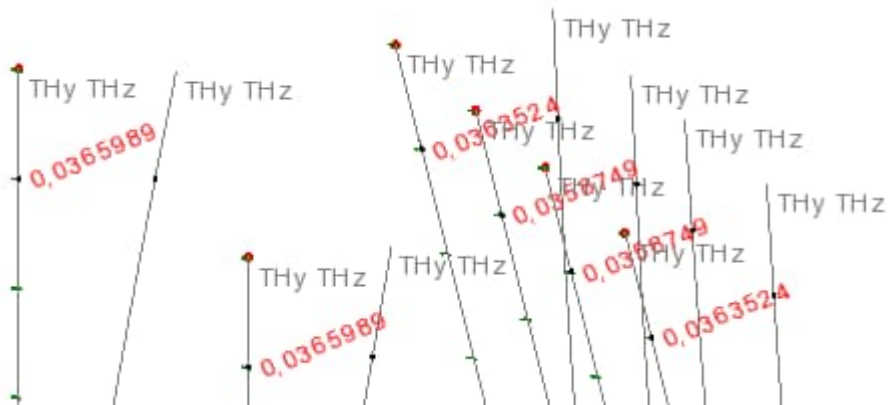
Pohjaveden alapuolella $n_h = 60\%$ alla olevan kuvaajan arvosta



Kuva 7. Kitkamaan alustalukukertoimen arviointi kitkakulman perusteella. Pohjaveden pinnan alapuolella n_h on 60% kuvan arvoista.

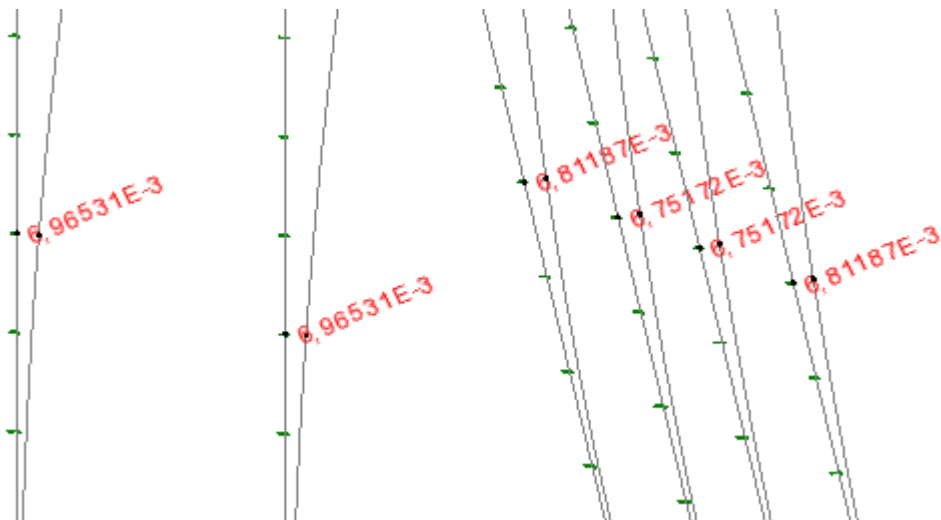
Siirtymärajat

Alla esitetty sillan kuormien mukaiset siirtymät. Jouset on iteroitu vastaamaan siirtymiä.



Suurin siirtymä 37 mm

- Siirtymärajat 9...54 mm
- OK, voidaan käyttää löysempiä jousia välillä -0,5...-4 m



Suurin siirtymä 7 mm

- Siirtymäraja 9 mm
- OK, voidaan käyttää jäykempiä jousia välillä -4 m alaspäin

A.5.2 Kuormien sijoittelu

A.5.2.1 Pysyvät kuormat

A.5.2.1.1 Päällysrakenne

Kyllästetty puu

$$\gamma_{\text{gpuu}} = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Raudoitettu betoni

$$\gamma_{\text{gc}} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Huom! Ohessa poikkeukset ohjeeseen.

- KL / 5.9.2014 --> KL / 6.12.2017
- Jarrukuormana on käytetty 96 kN (ohjeessa virhe)
- Maanpaineet laskettu uuden ohjeen mukaan

Alla olevat rasitukset on otettu Versowoodin käyttöselosteelta (31.10.2015) "POIKITTAIN JÄNNITETYT LIIMAPUISET PALKKISILLAT, TYYPIPIIRUSTUSSARJA". Kuormitukset kevyen liikenteen siltojen mukaan. Kuormitukset on ilmoitettu yhdelle maatuelle.

HL = 3.5 m

Jännemitta	L = Jm =	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Omapaino		18.8	26.3	35.1	44.1	55.7	64.1	80.1	94.1	119.1
Pintarakenteet										
- puinen pintarakenne + kaitteet		5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3
- asfalttipäällyste 30 mm + kaitteet		12.0	15.6	19.2	22.8	26.5	30.1	33.7	37.3	41.0
- lisäpäällyste 1 kN/m ²		11.6	15.1	18.6	22.1	25.6	29.1	32.6	36.1	39.6
Liikennekuormat										
- tasaisesti jakautunut kuorma q_{sk}		57.8	75.3	92.9	107.1	120.5	133.8	146.4	158.6	170.4
- huoltoajoneuvo Q_{serv} , $e_{\text{max}} = 0.75 \text{ m}$		133.0	139.8	143.8	146.5	148.4	149.9	151.0	151.9	152.6

HL = 3.5 m

Jm	H _{paalkki}	liikenne sillalla	e_z	tyhjä silta	e_z
6	405	15.9	1.23	5.3	0.55
8	495	21.6	1.27	7.8	0.60
10	585	27.8	1.32	10.8	0.64
12	630	33.7	1.34	13.5	0.67
14	720	40.6	1.39	17.2	0.71
16	765	47.0	1.41	20.4	0.73
18	855	54.7	1.45	24.9	0.78
20	945	62.8	1.50	29.7	0.82
22	990	70.1	1.52	33.8	0.85
24	1125	80.2	1.59	40.8	0.91

Päällysrakenteen paino

Kuormitusleveys

$$l_{\text{kuorma}} = 3800 \text{ mm}$$

$$\text{Omapaino}_{\text{PLR}} = \frac{119.1 \text{ kN}}{l_{\text{kuorma}}}$$

$$\text{Omapaino}_{\text{PLR}} = 31.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

A.5.2.1.2 Reunapalkki, päätypalkki ja siipimuurit

Maatuen osien mitat

Etumuurin paksuus	$b_{\text{etum}} = 950\text{mm}$	
Etumuurin pituus	$l_{\text{etum}} = l_{\text{kuorma}} = 3800\cdot\text{mm}$	
Etumuurin korkeus	$h_{\text{etum}} = 1500\text{mm}$	
Laakerilinjan etäisyys etumuurin päästä	$b_{\text{laakeri}} = 360\text{mm}$	
Otsamuurin paksuus	$b_{\text{otsam}} = 300\text{mm}$	
Otsamuurin korkeus	$h_{\text{otsam}} = 1060\text{mm}$	
Otsamuurin pituus	$l_{\text{otsam}} = l_{\text{etum}} = 3800\cdot\text{mm}$	
Peruslaatan paksuus	$h_{\text{a}} = 575\text{mm}$	
Peruslaatan leveys	$b_{\text{a}} = 2750\text{mm}$	
Peruslaatan pituus	$l_{\text{a}} = 4800\text{mm}$	
Peruslaatan taustaosan leveys	$b_{\text{a1}} = 950\text{mm}$	
Peruslaatan etuosan leveys	$b_{\text{a2}} = b_{\text{a}} - b_{\text{etum}} - b_{\text{a1}} \quad b_{\text{a2}} = 850\cdot\text{mm}$	
Siipimuurin paksuus	$h_{\text{siipim}} = 0.3\text{ m}$	
Siipimuurin korkeus	Etumuurin vieressä $h_{\text{siipi.1}} = 1750\text{mm}$	Päädysssä $h_{\text{siipi.2}} = 400\text{mm}$
Siipimuurin pituus	$L_{\text{siipi}} = 2700\cdot\text{mm}$	
Reunapalkin paksuus	$b_{\text{rp}} = 400\text{mm}$	
Reunapalkin leveys	$h_{\text{rp}} = 400\text{mm}$	
Kaiteen paino	$g_{\text{kaide}} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	

Peruslaatan paino

$$G_{\text{perusl}} = \gamma_{\text{gc}} \cdot h_a$$

$$G_{\text{perusl}} = 14.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Otsamuurit, siirtymälaatan uloke ja siipimuurit lisätään kuormana laskentamalliin

Otsamuurin paino

$$G_{\text{otsam}} = \gamma_{\text{gc}} \cdot b_{\text{otsam}} \cdot h_{\text{otsam}}$$

$$G_{\text{otsam}} = 8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ulokkeen paino

$$G_{\text{siir.uloke}} = \gamma_{\text{gc}} \cdot 0.44\text{m} \cdot 0.25\text{m}$$

$$G_{\text{siir.uloke}} = 2.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Etumuurin reunan etäisyys laskentamallin solmupisteeseen.

$$l_{\text{m.etum}} = 0.625\text{m}$$

$$M_{\text{siir.uloke}} = G_{\text{siir.uloke}} \cdot \left(\frac{0.25\text{m}}{2} + l_{\text{m.etum}} \right)$$

$$M_{\text{siir.uloke}} = 2.1 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Siipimuurin paino

$$G_{\text{siipi}} = \gamma_{\text{gc}} \cdot h_{\text{siipim}} \cdot \frac{h_{\text{siipi.1}} + h_{\text{siipi.2}}}{2} \cdot L_{\text{siipi}}$$

$$G_{\text{siipi}} = 21.769 \cdot \text{kN}$$

Siipimuurin momenttivarsi:

$$x_{\text{siipim}} = 0.9\text{m}$$

Siipimuurista aiheutuva momentti rakennemallin solmupisteeseen

$$M_{\text{siipi}} = G_{\text{siipi}} \cdot (x_{\text{siipim}} + l_{\text{m.etum}})$$

$$M_{\text{siipi}} = 33.197 \cdot \text{kNm}$$

Kaiteesta ja reunapalkista tuleva lisä siipimuurin painoon

$$g_{\text{rp}} = \gamma_{\text{gc}} \cdot b_{\text{rp}} \cdot h_{\text{rp}}$$

$$g_{\text{rp}} = 4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{kaide.rp}} = (g_{\text{kaide}} + g_{\text{rp}}) \cdot L_{\text{siipi}}$$

$$G_{\text{kaide.rp}} = 12.15 \cdot \text{kN}$$

Kaiteesta ja reunapalkista aiheutuva momentti rakennemallin solmupisteeseen

$$M_{\text{kaide.rp}} = G_{\text{kaide.rp}} \cdot (x_{\text{siipim}} + L_{\text{siipi}} \cdot 0.5)$$

$$M_{\text{kaide.rp}} = 27.337 \cdot \text{kNm}$$

Rasitukset yhteensä

$$G_{\text{siipi.tot}} = G_{\text{siipi}} + G_{\text{kaide.rp}}$$

$$G_{\text{siipi.tot}} = 33.9 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{siipi.tot}} = M_{\text{siipi}} + M_{\text{kaide.rp}}$$

$$M_{\text{siipi.tot}} = 60.5 \cdot \text{kNm}$$

A.5.2.1.3 Pintarakenteet

Mitoituksessa varaudutaan lisäpäällystekerrokseen, jonka paino on $1,0 \text{ kN/m}^2$ (koko kannen leveydellä).

Ajoradalla:

Kannen pintarakenteet $h_{\text{pinta}} = 38\text{mm}$

$$\gamma_{\text{ga}} = \gamma_{\text{gpuu}} = 6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Omapaino}_{\text{PINTAR}} = \frac{20.3\text{kN}}{l_{\text{etum}}}$$

$$\text{Omapaino}_{\text{PINTAR}} = 5.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Omapaino}_{\text{LISÄP}} = \frac{39.6\text{kN}}{l_{\text{etum}}}$$

$$\text{Omapaino}_{\text{LISÄP}} = 10.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

A.5.2.1.4 Siirtymälaatta

Siirtymälaatan kuormat sijoitetaan viivakuormiksi pätyypalkeille sillan poikkisuuntaan.

Siirtymälaatan pituus

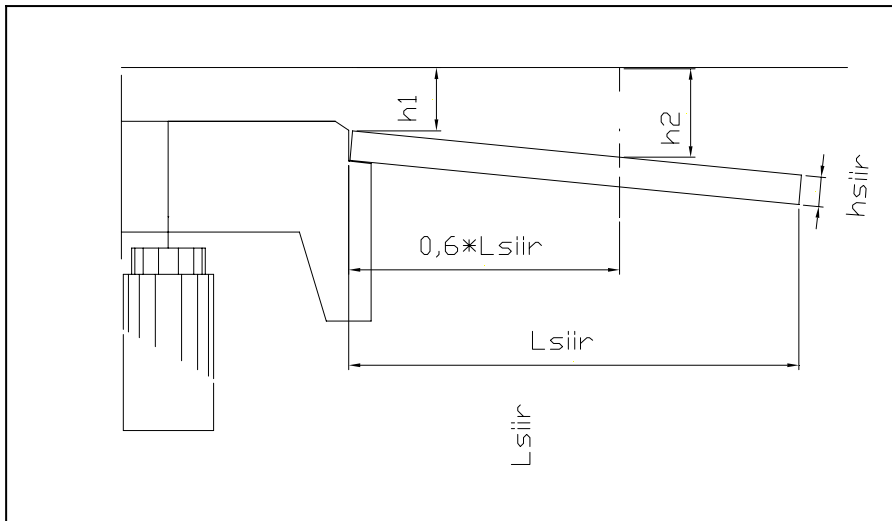
$$L_{\text{siir}} = 3\text{m}$$

Siirtymälaatan rakennepaksuus

$$h_{\text{siir}} = 0.25\text{m}$$

Viivakuorma $g_{\text{siir}} = 60\% \cdot L_{\text{siir}} \cdot 0.5 \cdot h_{\text{siir}} \cdot \gamma_{\text{gc}}$ $g_{\text{siir}} = 5.625 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Maa siirtymälaatan päällä [5]



Kuva on viitteellinen

Etäisyydet maanpinnasta siirtymälaatan pintaan siirtymälaatan sillan puoleisessa päässä ja kohdassa $0,6 \cdot L_{\text{siir}}$

$$h_1 = 500\text{mm}$$

$$h_2 = 10\% \cdot 60\% \cdot L_{\text{siir}} + h_1 \quad h_2 = 0.68\text{m}$$

Maan paino

$$\gamma_{\text{gt}} = 21 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Siirtymälaatan etäisyys tukilinjasta

$$x_{\text{siir}} = l_{\text{m.etum}} + 125\text{mm} = 750\text{mm}$$

$$g_{\text{maas}} = 60\% \cdot L_{\text{siir}} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) \cdot \gamma_{\text{gt}}$$

$$g_{\text{maas}} = 10.584 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhteensä

$$g_{\text{siirt.laat}} = g_{\text{siir}} + g_{\text{maas}}$$

$$g_{\text{siirt.laat}} = 16.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$m_{\text{siirt.laat}} = g_{\text{siirt.laat}} \cdot x_{\text{siir}}$$

$$m_{\text{siirt.laat}} = 12.2 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Siirtymälaatalta tuleva pysyvä kuorma sijoitetaan omaan kuormitustapakukseensa, ja se laitetaan muuttuvaksi kuormaksi (pysyvän kuorman osavarmuuskertoimella), koska siirtymälaatan tukireaktio otetaan huomioon vain, jos se vaikuttaa mitoituskuormaa lisäävästi.

A.5.2.1.5 Betonin virumaluvun ja kutistuman määrittäminen

Etumuuri

Lähtötiedot

Betonin lujuusluokka	$C_{\text{ww}} = 30$	$f_{\text{cm}} = (C + 8)\text{MPa}$
Kuormitusajankohta	$t_0 = 14\text{day}$	
Jälkihoidon päättymisajankohta	$t_s = 7\text{day}$	
Tarkasteluajankohta	$t = 100\text{yr}$	
Ilman suhteellinen kosteus	$\text{RH} = 80\%$	
Määrittävien poikkileikkauksen arvot		
Poikkileikkauksen pinta-ala	$e_a = b_{\text{etum}} \cdot h_{\text{etum}} = 1.425\text{ m}^2$	
Poikkileikkauksen piiri	$u_e = b_{\text{etum}} \cdot 2 + h_{\text{etum}} \cdot 2 = 4.9\text{ m}$	
Poikkileikkauksen muunnettu paksuus	$h_0 = 2 \cdot \frac{e_a}{u_e} = 582\text{ mm}$	
Sementtilaadusta johtuva kerroin	Sementtilaatu = 2	(1=slow, 2=normal, 3=rapid)



Betonin viruma

Virumaluvun perusarvo (kuormitusherkellä)

- Suhteellinen kosteus
- Betonin keskimääräinen lujuus
- Muunnettu paksuus
- Kuormitusajankohta

$$\varphi_0 = \varphi_{\text{RH}} \cdot \beta \left(\frac{f_{\text{cm}}(28)}{\text{MPa}} \right) \cdot \beta_1 \left(\frac{t_0}{\text{day}} \right) \quad \varphi_0 = 1.831$$

Virumaluku (tarkasteluhetkellä)

- Viruman kehittyminen aikavälillä $t \dots t_0$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$$

$$\Phi_{\text{cc}} = \varphi \left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_0}{\text{day}} \right) = 1.81$$



Betonin kutistuma

Betonin kuivumiskutistuma

- Muunnettu paksuus
- Jälkihoidon kesto
- Tarkasteluajankohta
- Ilman suhteellinen kosteus
- Sementtilaatu

$$\epsilon_{cd}(t, t_s) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0} \qquad \epsilon_{cd}\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_s}{\text{day}}\right) = 0.185 \cdot \text{prom}$$

Betonin sisäinen kutistuma

- Tarkasteluajankohta
- Betonin sylinterilujuus

$$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \epsilon_{coo} \qquad \epsilon_{ca}\left(\frac{t}{\text{day}}\right) = 0.05 \cdot \text{prom}$$

Betonin kokonaiskutistuma (tarkasteluhetkellä)

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_{cd}(t, t_s) + \epsilon_{ca}(t) \qquad \boxed{\epsilon_{cs}\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_s}{\text{day}}\right) = 0.235 \cdot \text{prom}}$$

Viruma pienentää kutistuman vaikutusta kertoimella $k_{\varphi cs}$ (NCCI-2 s.38)

$$k_{\varphi cs} = \frac{1}{1 + 0.5 \cdot \varphi\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_0}{\text{day}}\right)} \qquad k_{\varphi cs} = 0.525$$

Kutistuman ekvivalentti lämpötilakuorma

$$\Delta T_{cs} = -k_{\varphi cs} \cdot \frac{\epsilon_{cs}\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_s}{\text{day}}\right)}{\alpha_{\Delta Tc}} \qquad \boxed{\Delta T_{cs} = -12.4}$$

Peruslaatta

Lähtötiedot

Betonin lujuusluokka	$C = 30$	$f_{cm} = (C + 8) \text{MPa}$
Kuormitusajankohta	$t_0 = 14 \text{day}$	
Jälkihoidon päättymisajankohta	$t_{ov} = 7 \text{day}$	
Tarkasteluajankohta	$t = 100 \text{yr}$	
Ilman suhteellinen kosteus	$RH = 80\%$	
Määrittävien poikkileikkauksen arvot		
Poikkileikkauksen pinta-ala	$e_a = b_a \cdot h_a = 1.581 \text{ m}^2$	
Poikkileikkauksen piiri	$u_a = b_a \cdot 2 + h_a \cdot 2 = 6.65 \text{ m}$	
Poikkileikkauksen muunnettu paksuus	$h_0 = 2 \cdot \frac{e_a}{u_a} = 476 \text{ mm}$	
Sementtilaadusta johtuva kerroin	$\text{Sementtilaatu} = 2$	(1=slow, 2=normal, 3=rapid)



Betonin viruma

Virumaluvun perusarvo (kuormitusherkellä)

- Suhteellinen kosteus
- Betonin keskimääräinen lujuus
- Muunnettu paksuus
- Kuormitusajankohta

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta \left(\frac{f_{cm}(28)}{\text{MPa}} \right) \cdot \beta_1 \left(\frac{t_0}{\text{day}} \right) \quad \varphi_0 = 1.855$$

Virumaluku (tarkasteluhetkellä)

- Viruman kehittyminen aikavälillä $t \dots t_0$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad \varphi(t, t_0) = \varphi \left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_0}{\text{day}} \right) = 1.84$$



Betonin kutistuma

Betonin kuivumiskutistuma

- Muunnettu paksuus
- Jälkihoidon kesto
- Tarkasteluajankohta
- Ilman suhteellinen kosteus
- Sementtilaatu

$$\epsilon_{\text{cd}}(t, t_s) = \beta_{\text{ds}}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{\text{cd},0} \quad \epsilon_{\text{cd}}\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_s}{\text{day}}\right) = 0.188 \cdot \text{prom}$$

Betonin sisäinen kutistuma

- Tarkasteluajankohta
- Betonin sylinterilujuus

$$\epsilon_{\text{ca}}(t) = \beta_{\text{as}}(t) \epsilon_{\text{coo}} \quad \epsilon_{\text{ca}}\left(\frac{t}{\text{day}}\right) = 0.05 \cdot \text{prom}$$

Betonin kokonaiskutistuma (tarkasteluhetkellä)

$$\epsilon_{\text{cs}}(t, t_s) = \epsilon_{\text{cd}}(t, t_s) + \epsilon_{\text{ca}}(t) \quad \epsilon_{\text{cs}}\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_s}{\text{day}}\right) = 0.238 \cdot \text{prom}$$

Viruma pienentää kutistuman vaikutusta kertoimella $k_{\varphi_{\text{cs}}}$ (NCCI-2 s.38)

$$k_{\varphi_{\text{cs}}} = \frac{1}{1 + 0.5 \cdot \varphi\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_0}{\text{day}}\right)} \quad k_{\varphi_{\text{cs}}} = 0.521$$

Kutistuman ekvivalentti lämpötilakuorma

$$\Delta T_{\text{cs}} = -k_{\varphi_{\text{cs}}} \cdot \frac{\epsilon_{\text{cs}}\left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_s}{\text{day}}\right)}{\alpha_{\Delta T_{\text{c}}}} \quad \Delta T_{\text{cs}} = -12.4$$

A.5.2.1.6 Maanpaino ja maanpaine

Taustatäyttö murskeella

Kitkakulma

$$\phi_{\text{murske}} = 38\text{deg}$$

Tilavuuspaino

$$\gamma_{\text{gt}} = 21 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Taustatäyttöjen paksuus

$$h_{\text{täyttö.tausta}} = h_{\text{etum}} + h_{\text{otsam}}$$

$$h_{\text{täyttö.tausta}} = 2.56 \text{ m}$$

Aukon puolen täyttöjen paksuus

$$h_{\text{täyttö.aukko}} = 0.8 \text{ m}$$

$$h_{\text{täyttö.aukko}} = 0.8 \text{ m}$$

Maatuen sivujen täyttöjen paksuus

$$h_{\text{täyttö.sivu}} = 1.2 \text{ m}$$

$$h_{\text{täyttö.sivu}} = 1.2 \text{ m}$$

Pystykuormat

Taustatäyttö

$$\xi_{\text{täyttö.tausta}} = \gamma_{\text{gt}} \cdot h_{\text{täyttö.tausta}}$$

$$\xi_{\text{täyttö.tausta}} = 53.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Aukon puolen täyttö

$$\xi_{\text{täyttö.aukko}} = \gamma_{\text{gt}} \cdot h_{\text{täyttö.aukko}}$$

$$\xi_{\text{täyttö.aukko}} = 16.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

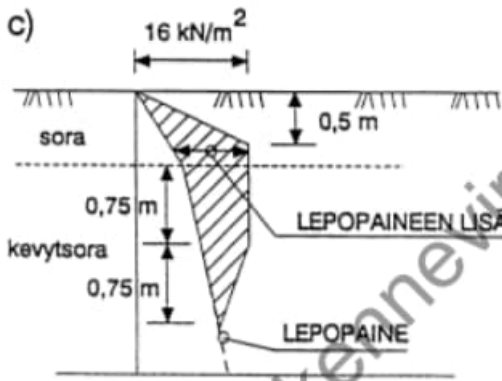
Sivupuolen täytöt

$$\xi_{\text{täyttö.sivu}} = \gamma_{\text{gt}} \cdot h_{\text{täyttö.sivu}}$$

$$\xi_{\text{täyttö.sivu}} = 25.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vaakakuormat

Lepopainekerroin $K_0 = 1 - \sin(\phi_{\text{murske}})$ $K_0 = 0.384$



Kuva on viitteellinen

Maatuen korkeus (peruslaatan alaosaan asti)

$h_{\text{pää}} = h_{\text{etum}} + h_{\text{otsam}} + h_a = 3.135 \text{ m}$

Maatuen etäisyys maanpinnasta

$h_{\text{maa}} = h_{\text{pää}} = 3.135 \text{ m}$

Kannen rakennekorkeus

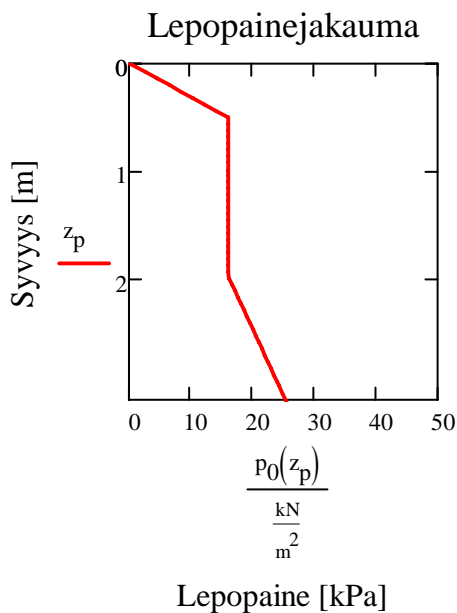
$h_{\text{palkki}} = 0.99 \text{ m}$

Maan tiivistämisestä aiheutuva lisä

$p_{\text{tiiv}} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Tiivistyslisän lineaarinen matka

$z_{\text{tiiv}} = 0.5 \text{ m}$



Resultantti

Lepopaine maatuen alalaidassa

$p_0(h_{\text{maa}}) = 25.303 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Lepopaineresultantti (koko maatuelle)

$R_0 = 51.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



Otsamuuri

Otsamuurilta katsotaan tulevan tiivistyslisän suuruinen kuorma koko sen pinta-alalta. Tiivistyslisä kasvaa täyteen arvoonsa 0,5 m syvyydellä.

Maan tiivistämisestä aiheutuva lisä $p_{\text{tiiv}} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$R_{0,\text{tiiv.otsam}} = \left[(h_{\text{otsam}} - 0.5\text{m}) \cdot p_{\text{tiiv}} + \frac{0.5\text{m} \cdot p_{\text{tiiv}}}{2} \right] \quad R_{0,\text{tiiv.otsam}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{0,\text{tiiv.otsam}} = R_{0,\text{tiiv.otsam}} \cdot \frac{h_{\text{otsam}}}{2} \quad M_{0,\text{tiiv.otsam}} = 6.9 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Etumuuri

Etumuurilta katsotaan tulevan tiivistyslisän suuruinen kuorma yläosassa, mutta etumuurin alaosassa maanpaine kasvaa suuremmaksi.

Maan tiivistämisestä aiheutuva lisä $p_{\text{tiiv}} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$R_{0,\text{tiiv.etum.y}} = p_0(h_{\text{otsam}}) \quad R_{0,\text{tiiv.etum.y}} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$R_{0,\text{tiiv.etum.a}} = p_0(h_{\text{etum}} + h_{\text{otsam}}) \quad R_{0,\text{tiiv.etum.a}} = 20.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Peruslaatta

Peruslaatalle tulevat maanpaineet lisätään keskiarvoja ja viivakuormana laskentamalliin.

Maan tiivistämisestä aiheutuva lisä $p_{\text{tiiv}} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$R_{0,\text{tiiv.pl.y}} = p_0(h_{\text{etum}} + h_{\text{otsam}}) \quad R_{0,\text{tiiv.pl.y}} = 20.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$R_{0,\text{tiiv.pl.a}} = p_0(h_{\text{etum}} + h_{\text{otsam}} + h_a) \quad R_{0,\text{tiiv.pl.a}} = 25.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$R_{0,\text{tiiv.pl}} = \frac{R_{0,\text{tiiv.pl.y}} + R_{0,\text{tiiv.pl.a}}}{2} \cdot h_a \quad R_{0,\text{tiiv.pl}} = 13.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Aukon puolen tukevia lepopaineita ei ole huomioitu laskelmissa.

Siipimuuuri

Siipimuurit ovat symmetrisesti molemmin puolin silta, joten niistä ei katsota tulevan rasituksia maatuille.

Siipimuurien mitoitus on esitetty kohdassa "**A.6.3.4 Siipimuurin mitoitus**".



Pilari / paalu

Paaluille ei ole lisätty rasituksena maan lepopaineita.

On katsottu, että koheesiomaalajeilla maanpaine on paalujen kaikilla sivuilla sama.

A.5.2.1.7 Negatiivinen vaippahankaus

Kohteessa ei kuormiteta olemassa olevia maakerroksia lisää --> Ei negatiivista vaippahankausta.

A.5.2.1.8 Noste

Paaluihin saa vaikuttaa maksimissaan niiden oman painon suuruinen noste. Pisimmän paalun kohdalla tämä voima on:

$$\left(10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot \max(h_{\text{tuki.1}}, h_{\text{tuki.2}}) \cdot (d_{\text{paalu.1}})^2 = 14.4 \cdot \text{kN}$$

Peruslaatan osalta tämä voima on yhdelle paalulle:

$$\frac{\left(10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot 4.8\text{m} \cdot 2.75\text{m} \cdot 0.575\text{m}}{6} = 12.65 \cdot \text{kN}$$

Pienin paalukuorma on suurempi kuin edellä esityt nosteiden arvot yhteensä -> OK.

A.5.2.2 Liikennekuorma

A.5.2.2.1 Pystysuuntainen liikennekuorma

Sillan mitoituksessa on huomioitu tasainen liikennekuorma sekä huoltoajoneuvo. Molempien kuormien yhteydessä on huomioitu myös vaakasuuntaiset kuormat, mikäli tämä on antanut määräävät rasitukset.

Taulukko B.5 Kevyen liikenteen siltojen kuormaryhmät

	Pystykuormat		Vaakakuormat
	Tasainen kuorma q _{fk}	Huoltoajoneuvo Q _{serv} tai Pistekuorma Q _{tak}	Q _{fk}
	[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

Kuormat on otettu Versowoodin ohjeesta ks. kohta "A.5.2.1.1 Päällysrakenne".

Liikennekuorma kannella

Jännemitta	L = Jm =	HL = 3.5 m								
		6	8	10	12	14	16	18	20	22
Omapaino		18.8	26.3	35.1	44.1	55.7	64.1	80.1	94.1	119.1
Pintarakenteet										
- puinen pintarakenne + kaiteet		5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3
- asfalttipäällyste 30 mm + kaiteet		12.0	15.6	19.2	22.8	26.5	30.1	33.7	37.3	41.0
- lisäpäällyste 1 kN/m ²		11.6	15.1	18.6	22.1	25.6	29.1	32.6	36.1	39.6
Liikennekuormat										
- tasaisesti jakautunut kuorma q _{sk}		57.8	75.3	92.9	107.1	120.5	133.8	146.4	158.6	170.4
- huoltoajoneuvo Q _{serv} , e _{max} = 0.75 m		133.0	139.8	143.8	146.5	148.4	149.9	151.0	151.9	152.6

$$\text{Liikenne}_{Q_{fk}} = \frac{170.4 \text{ kN}}{l_{\text{kuorma}}}$$

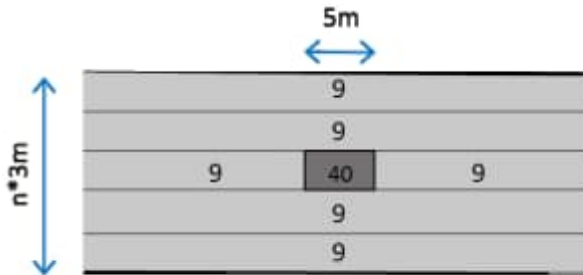
$$\text{Liikenne}_{Q_{fk}} = 44.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Liikenne}_{Q_{serv}} = \frac{152.6 \text{ kN}}{2 \text{ m}}$$

$$\text{Liikenne}_{Q_{serv}} = 76.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Liikennekuorma tiepenkereellä

Liikennekuorma tiepenkereellä NCCI 1 kappaleen B.4.8 mukaisesti:



Kuva B.2 Penkereellä sijaitseva liikennekuorma [kN/m²] (ominaisarvo)

$$p_{\text{penger.1}} = 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Tielikenne}$$

$$p_{\text{penger.2}} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Tielikenne}$$

Kevyen liikenteen pengerkuormia pienennetään NCCI 1 ohjeen mukaisesti 40 %

$$p_{\text{penger.1}} = 0.4 \cdot 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 16 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Kevyt liikenne}$$

$$p_{\text{penger.2}} = 0.4 \cdot 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Kevyt liikenne}$$

$$q_{\text{penger}} = \frac{p_{\text{penger.1}} \cdot 3\text{m} + p_{\text{penger.2}} \cdot (B_{\text{pää}} - 2 \cdot 100\text{mm} - 3\text{m})}{B_{\text{pää}} - 2 \cdot 100\text{mm}}$$

$$q_{\text{penger}} = 12.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tästä aiheutuvat maanpaineet on esitetty kohdassa A.5.2.2.2 Vaakasuuntainen liikennekuorma.

Liikennekuorma siirtymälaatalta

Liikennekuorman intensiteetti siirtymälaatalta on sama kuin liikennekuorman penkereellä. Siirtymälaatan liikennekuorma sijoitetaan viivakuormaksi maatuelle.

$$p_{\text{siir}} = 0.5 \cdot 60\% \cdot L_{\text{siir}} \cdot q_{\text{penger}} \quad p_{\text{siir}} = 11.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$m_{\text{siir}} = p_{\text{siir}} \cdot x_{\text{siir}} \quad m_{\text{siir}} = 8.7 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

A.5.2.2.2 Vaakasuuntainen liikennekuorma

Jarru- ja kiihdytyskuorma

Kuormat on otettu Versowoodin ohjeesta ks. kohta "**A.5.2.1.1 Päälysrakenne**".

$$d_{\text{jarru}} = h_{\text{palkki}} + h_{\text{pinta}} = 1.028 \text{ m}$$

Vaakakuorma

$$F_{\text{pit}} = 96 \text{ kN}$$

Momentti

$$M_{\text{pit}} = F_{\text{pit}} \cdot d_{\text{jarru}}$$

$$M_{\text{pit}} = 99 \text{ kNm}$$

Sillan pituussuuntainen jarrukuorma jaetaan laskentamallissa tasan molemmille maatuille viivamaisena kuormana.

$$l_{\text{etum}} = 3.8 \text{ m}$$

$$\frac{F_{\text{pit}} \cdot 50\%}{l_{\text{etum}}} = 12.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{F_{\text{pit}} \cdot d_{\text{jarru}} \cdot 50\%}{l_{\text{etum}}} = 13 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Keskipakokuorma

Silta on suoralla, joten keskipakokuorma on 0 kN



Sivukuorma

Sivukuorma kuvaa vinosta jarrutuksesta tai sivuluisusta aiheutuvaa poikittaista kuormaa.

Kuormat on otettu Versowoodin ohjeesta ks. kohta "**A.5.2.1.1 Päälysrakenne**".

Vaakakuorma

$$F_{\text{poik}} = F_{\text{pit}} \cdot 0.25 = 24 \text{ kN}$$

Momentti

$$M_{\text{poik}} = F_{\text{poik}} \cdot d_{\text{jarru}}$$

$$M_{\text{poik}} = 25 \text{ kNm}$$

Jarrukuorma penkereeltä

Tutkittu otsamuurin mitoituksessa ks. kohta "**A.6.3.3 Otsamuurin mitoitus**".

Liikennekuorma maatukeen (maanpaine)

Resultantit

$$R_{\text{liik.pp}} = q_{\text{penger}} \cdot K_0$$

$$R_{\text{liik.pp}} = 5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Etumuuri

$$R_{\text{liik.pp.etum}} = R_{\text{liik.pp}}$$

$$R_{\text{liik.pp.etum}} = 5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Peruslaatta

$$R_{\text{liik.pp.pl}} = R_{\text{liik.pp}} \cdot h_a$$

$$R_{\text{liik.pp.pl}} = 2.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Otsamuuri

$$R_{\text{liik.pp.otsam}} = R_{\text{liik.pp}} \cdot h_{\text{otsam}}$$

$$R_{\text{liik.pp.otsam}} = 5.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{liik.pp.otsam}} = R_{\text{liik.pp.otsam}} \cdot \frac{h_{\text{otsam}}}{2}$$

$$M_{\text{liik.pp.otsam}} = 2.8 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Sipimuuri

Sipimuurit ovat symmetrisesti molemmin puolin silta, joten niistä ei katsota tulevan rasituksia maatuille.

Sipimuurien mitoitus on esitetty kohdassa "**A.6.3.4 Sipimuurin mitoitus**".

Huom!

Vaakasuurtaisen liikenteen maanpaineen aikana vaikuttaa aina samaan aikaan liikenteen pystysuora kuorma peruslaatan päällä.

Liikennekuorma paaluille

Pintakuorma on laskettu 1,3xpaalun leveydelle (VO 9/2021 kohta 1.3.3).

Pohjamaa on koheesiomaalajia, joten $K_0=1,0$

$$\text{Pintakuorma} \quad p_{\text{penger}} = q_{\text{penger}} = 12.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$K_{0,\text{koh}} = 1.0$$

Viivakuormana

$$P_{\text{liik.y}} = 1.3 \cdot p_{\text{penger}} \cdot K_{0,\text{koh}} \cdot d_{\text{paalu.1}}$$

$$P_{\text{liik.y}} = 5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yläpää

$$h_{\text{tuki.ala}} = \min(h_{\text{tuki.1}}, h_{\text{tuki.2}}) = 16 \text{ m}$$

$$P_{\text{liik.a}} = 1.3 \cdot p_{\text{penger}} \cdot K_{0,\text{koh}} \cdot \left(\frac{B_{\text{pää}}}{B_{\text{pää}} + h_{\text{tuki.ala}}} \right) \cdot d_{\text{paalu.1}}$$

$$P_{\text{liik.a}} = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Alapää

A.5.2.3 Muut muuttuvat kuormat

A.5.2.3.1 Lämpötila

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.2.3.2 Maanpaine päätypalkille (passiivipaine)



Passiivipaineita ei ole huomioitu laskelmissa.

A.5.2.3.3 Siipimuurien kuormat

Siipimuurien laskenta on esitetty kokonaisuudessaan kohdassa "**A.6.3.4 Siipimuurin mitoitus**".

A.5.2.3.4 Tukipainumat

Ei tukipainumaa, silta perustetaan tukipaaluille.

A.5.2.3.5 Tuulikuorma

Kuormat on otettu Versowoodin ohjeesta ks. kohta "A.5.2.1.1 Päälysrakenne".

HL = 3.5 m

Jm	H _{paalkki}	liikenne sillalla	e _z	tyhjä silta	e _z
6	405	15.9	1.23	5.3	0.55
8	495	21.6	1.27	7.8	0.60
10	585	27.8	1.32	10.8	0.64
12	630	33.7	1.34	13.5	0.67
14	720	40.6	1.39	17.2	0.71
16	765	47.0	1.41	20.4	0.73
18	855	54.7	1.45	24.9	0.78
20	945	62.8	1.50	29.7	0.82
22	990	70.1	1.52	33.8	0.85
24	1125	80.2	1.59	40.8	0.91

Tuulikuorman on katsottu tulevan sillalle kannen tasolta

$$d_{\text{jarru}} = 1.028 \text{ m}$$

Tuulikuorman resultantin etäisyys laakeritasoon:

$$d_{\text{tuuli.1}} = d_{\text{jarru}}$$

Sillalla ei ajoneuvoja

$$d_{\text{tuuli.2}} = d_{\text{jarru}}$$

Tyhjä silta + kaide

$$P_{\text{tuuli1.poikki}} = 33.8 \text{ kN}$$

$$M_{\text{tuuli1.poikki}} = P_{\text{tuuli1.poikki}} \cdot d_{\text{tuuli.1}}$$

$$M_{\text{tuuli1.poikki}} = 34.746 \cdot \text{kNm}$$

Sillalla ajoneuvoja

Sillalla ajoneuvoja

$$P_{\text{tuuli2.poikki}} = 70.1 \text{ kN}$$

$$M_{\text{tuuli2.poikki}} = P_{\text{tuuli2.poikki}} \cdot d_{\text{tuuli.2}}$$

$$M_{\text{tuuli2.poikki}} = 72.063 \cdot \text{kNm}$$

Sillan poikittainen tuulikuorma

$$P_{\text{tuuli}} = \max(P_{\text{tuuli1.poikki}}, P_{\text{tuuli2.poikki}})$$

$$P_{\text{tuuli}} = 70.1 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{tuuli}} = P_{\text{tuuli}} \cdot d_{\text{tuuli.2}}$$

$$M_{\text{tuuli}} = 72.1 \cdot \text{kNm}$$

Sillan pituussuuntainen tuulikuorma

$$P_{\text{tuuli.pit}} = P_{\text{tuuli}} \cdot 25\% = 17.5 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{P_{\text{tuuli.pit}}}{l_{\text{etum}}} = 4.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d_{\text{tuuli.pit}} = 1.028 \text{ m}$$

$$M_{\text{tuuli.pit}} = P_{\text{tuuli.pit}} \cdot d_{\text{tuuli.pit}}$$

$$M_{\text{tuuli.pit}} = 18.0 \cdot \text{kNm}$$

$$\frac{M_{\text{tuuli.pit}}}{l_{\text{etum}}} = 4.7 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Siltasuunnittelu

Suunnitteli: Kimmo Kuusela
Tarkasti: Kimmo Julku

30.12.2022
Kaakkumäenrasitin kls, Mäntsälä

A.5.2.3.6 Jääkuormat

Ei koske tätä kohdetta.



A.5.2.3.7 Onnettomuuskuormat

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.2.3.8 Sillan siirto

Ei koske tätä kohdetta.

A.5.3 Kuormien yhdistely

Soveltamisohjeen NCCI 1 liitteen 1 kuormitusyhdistelmistä on rakenteen osalta tutkittu:

- 0
- 1
- 2
- 3
- 7

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)										
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)										
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_7										
		MRT 0	MRT 1	MRT 2	MRT 3	MRT 4	MRT 5	MRT 6	MRT 7	
		6.10a	gr1	gr2	F _{ak}	T _k	BF	IL	TLEP	
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	Omapaino	1,35	STR/GEO: 1,25 / 0,9				EQU: 1,15 / 0,9			
	Esijännitys	1,1 / 0,9 ¹⁾	STR/GEO: 1,1 / 0,9 ²⁾				EQU: 1,1 / 0,9 ²⁾			
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	gr1	-	1,35	-	-	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4
	gr2	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-
	F _{ak}	-	1,5	0,3	1,5	0,3	1,5	1,5 x 0,3	1,5 x 0,3	1,5 x 0,3
	T _k ¹⁾	-	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
	IL	-	1,5	x 0,7	1,5	x 0,7	1,5	x 0,7	1,5	x 0,7
	S ¹⁾	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	TLEP	-	1,35	x 0,4	1,35	x 0,4	1,35	x 0,4	1,35	x 0,4

Taulukko 1: Kevyen liikenteen sillat - murtorajatila

- 1) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä
 - 2) Stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom]
 - 3) 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

= Määrävä muuttuva kuorma

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - KÄYTTÖRAJATILA																	
Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16), Pysyvät kuormat																	
	(6.14)							(6.15)							(6.16)		Pysyvät
	KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA																
	KRT_1a - KRT_7a							KRT_1b - KRT_7b							KRT_1c	KRT_1d	
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	1b	3b	4b	5b	6b	7b	1c	1d		
	gr1	gr2	F _{ak}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1	F _{ak}	T _k	BF	IL	TLEP	-	-		
Omapaino	1														1	1	
Esijännitys	1														1	1	
gr1	1	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	-		
gr2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
F _{ak}	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,2	-	-	-	-	-	-		
T _k	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	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	1	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	1	-	-	-	-	-	0,4	-	-		

- 1) Tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa
- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määrävä muuttuva kuorma

KVL-sillat	
Onnettomuusyhdistelmä	
Ad	1
Omapaino	1
Esijännitys	1
gr1	0,4
gr2	-
F _{ak}	-
T _k	0,5
BF	0,4
IL	0,2
S ¹⁾	-
TLEP	-

Taulukko 2: Kevyen liikenteen sillat - käyttörajatila ja onnettomuusyhdistelmä

A.5.4 Määrävimmit voimasuureet ja siirtymät

Seuraavassa taulukossa on esitetty paalukuormat **suurimman momentin** yhteydessä. Kuormat on esitetty eroteltuna, murtorajatilassa ja käyttörajatilan ominaisyhdistelmässä.

Rasitukset	Fx[kN]	Fy[kN]	Fz[kN]	My[kN.m]	Mz[kN.m]
Omapaino (Max)	-143	0	1	-4	0
Omapaino (Min)	-140	0	2	-21	0
Liikenne qfk gr1 + jarru (Max)	-14	0	-1	16	6
Liikenne qfk gr1 + jarru (Min)	-52	0	0	0	-6
Liikenne Qserv gr2 + jarru (Max)	-16	0	-1	16	6
Liikenne Qserv gr2 + jarru (Min)	-19	0	1	-8	-6
Tuulikuorma (Max)	5	-1	0	4	18
Tuulikuorma (Min)	-5	1	0	-4	-18
TLEP+PENGGER KY1-2	-6	0	-1	-8	0
TLEP+PENGGER KY3-6	-13	0	-1	-19	0
TLEP+PENGGER KY7	-12	0	-1	-19	0
Liikenne, pengger VE1	-1	0	0	0	0
MRT (Max)	-145	-1	-1	19	16
MRT (Min)	-222	1	0	-54	-12
KRT a (Max)	-155	-1	-1	13	11
KRT a (Min)	-175	1	0	-41	-8
KRT b (Max)	-148	0	0	2	2
KRT b (Min)	-145	0	1	-29	0
KRT c (Max)	-143	0	1	-4	0
KRT c (Min)	-140	0	2	-21	0
KRT d (Max)	-143	0	1	-4	0
KRT d (Min)	-140	0	2	-21	0

Käsinyhdistely

Rasitukset	Fx[kN]	Fy[kN]	Fz[kN]	My[kN.m]	Mz[kN.m]	
MRT (Max)	-145	-1	-1	19	16	MRT 1
MRT (Min)	-222	1	0	-54	-12	MRT 7
KRT a ominaisyhdistelmä (Max)	-155	-1	-1	13	11	KRT 1a
KRT a ominaisyhdistelmä (Min)	-175	1	0	-41	-8	KRT 7a
KRT b tavallinen yhdistelmä (Max)	-148	0	0	2	2	KRT 1b
KRT b tavallinen yhdistelmä (Min)	-145	0	1	-29	0	KRT 7b
KRT c pitkäaikaisyhdistelmä (Max)	-143	0	1	-4	0	KRT 1c
KRT c pitkäaikaisyhdistelmä (Min)	-140	0	2	-21	0	KRT 1c

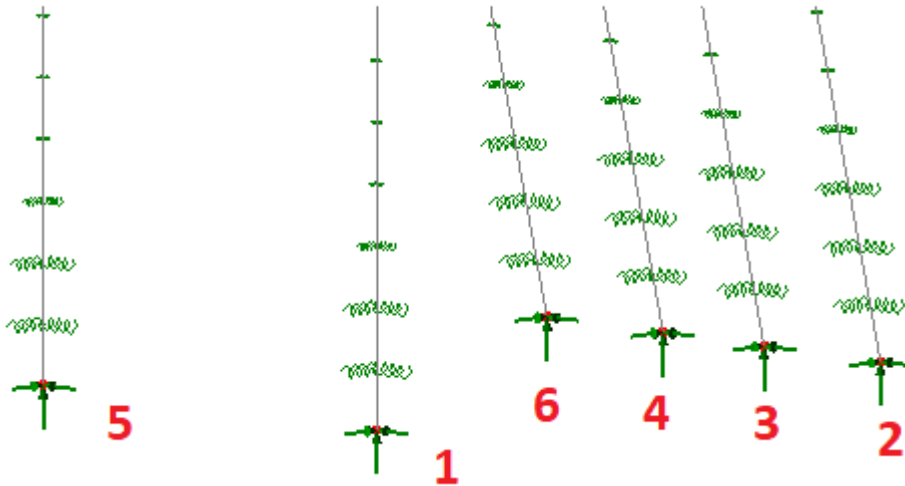
Käsinyhdistelyn virhe (maks. 3 %)

Vertailu	Fx[kN]	Fy[kN]	Fz[kN]	My[kN.m]	Mz[kN.m]
MRT (Max)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
MRT (Min)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
KRT a ominaisyhdistelmä (Max)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
KRT a ominaisyhdistelmä (Min)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
KRT b tavallinen yhdistelmä (Max)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
KRT b tavallinen yhdistelmä (Min)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
KRT c pitkäaikaisyhdistelmä (Max)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
KRT c pitkäaikaisyhdistelmä (Min)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Huom!

- Kuorma **"Liikenne qfk1 + jarru"** on koottu siten, että jarrukuorma vaikuttaa yhdistelmässä, mikäli se antaa määrävän rasitukset. Tällä tavalla yhdisteltynä on päästy tilanteeseen, jossa jarrukuormaa ei voi olla sillalla, jos siellä ei ole tasaista liikennekuormaakaan.
- Kuorma **"Liikenne Qserv gr2 + jarru"** on koottu siten, että jarrukuorma voi olla sillalla, vaikka ajoneuvo ei olisikaan. Tällainen tilanne on käytännössä hyvin lähellä tilanteessa, jossa huoltoajoneuvo jarruttaa vastakkaisessa päässä siltaa kuin mitä maatuokea mitoitetaan.
- "TLEP + PENGGER"** kuormat on kasattu siten, että liikenteen maanpainetta (vaakakuorma) voi olla vain tilanteessa, jossa on liikenteen penggerkuormaa (pystykuorma).

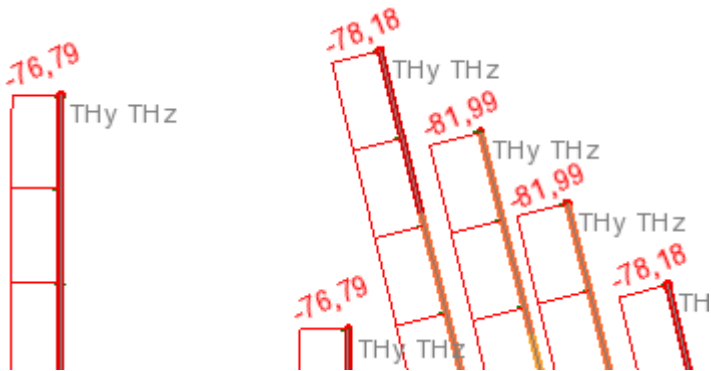
Alla esitetty taulukoituna paalujen suurimmat ja pienimmät **pystykuormat** niiden **alapäässä**.



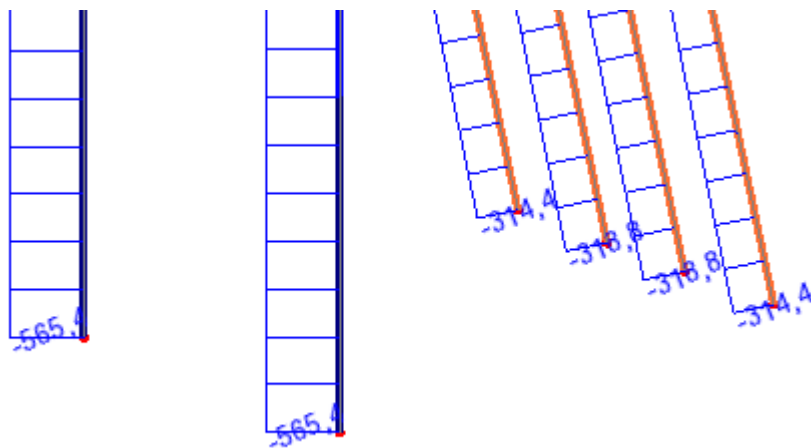
	Paalu 1	Paalu 5	Paalu 2	Paalu 3	Paalu 4	Paalu 6
Rasitukset	Fx[kN]	Fx[kN]	Fx[kN]	Fx[kN]	Fx[kN]	Fx[kN]
Omapaino (Max)	-249	-249	-160	-164	-164	-160
Omapaino (Min)	-295	-295	-183	-188	-188	-183
Liikenne qfk gr1 + jarru (Max)	35	35	-12	-14	-14	-12
Liikenne qfk gr1 + jarru (Min)	-76	-76	-53	-54	-54	-53
Liikenne Qserv gr2 + jarru (Max)	62	62	20	20	20	20
Liikenne Qserv gr2 + jarru (Min)	-99	-99	-55	-52	-52	-55
Tuulikuorma (Max)	64	64	9	8	8	9
Tuulikuorma (Min)	-64	-64	-9	-8	-8	-9
TLEP+PENGGER KY1-2	-26	-26	-5	-6	-6	-5
TLEP+PENGGER KY3-6	-12	-12	-12	-13	-13	-12
TLEP+PENGGER KY7	9	9	-12	-12	-12	-12
MRT (Max)	-109	-109	-113	-117	-117	-113
MRT (Min)	-565	-565	-314	-319	-319	-314
KRT a (Max)	-168	-168	-137	-141	-141	-137
KRT a (Min)	-439	-439	-246	-250	-250	-246
KRT b (Max)	-235	-235	-158	-162	-162	-158
KRT b (Min)	-339	-339	-205	-210	-210	-205
KRT c (Max)	-249	-249	-160	-164	-164	-160
KRT c (Min)	-295	-295	-183	-188	-188	-183
KRT d (Max)	-249	-249	-160	-164	-164	-160
KRT d (Min)	-295	-295	-183	-188	-188	-183

Määrävä kuormitusyhdistelmä on MRT 2

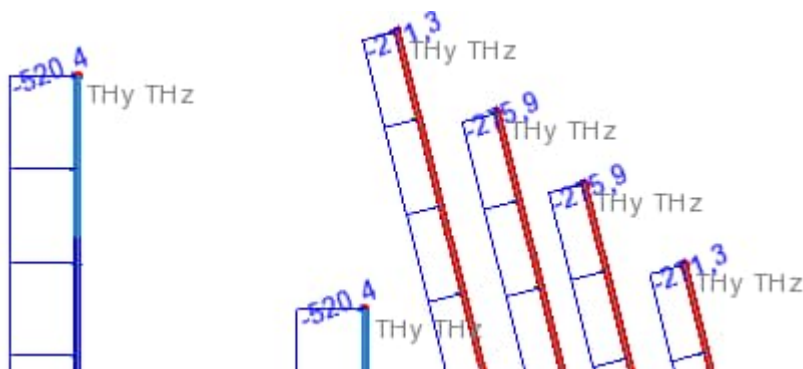
Seuraavissa kuvissa on esitetty paalujen pienimmät ja suurimmat normaalivoimat (MRT) [kN]



Kuva. Pienin normaalivoima paalun **yläpäässä** (MRT 3)

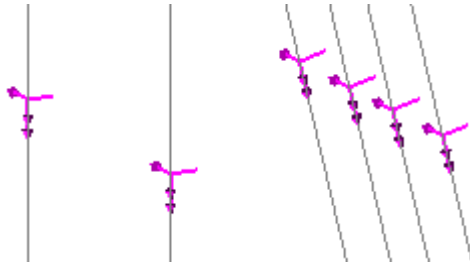


Kuva. Suurin normaalivoima paalun **alapäässä** (MRT 2)



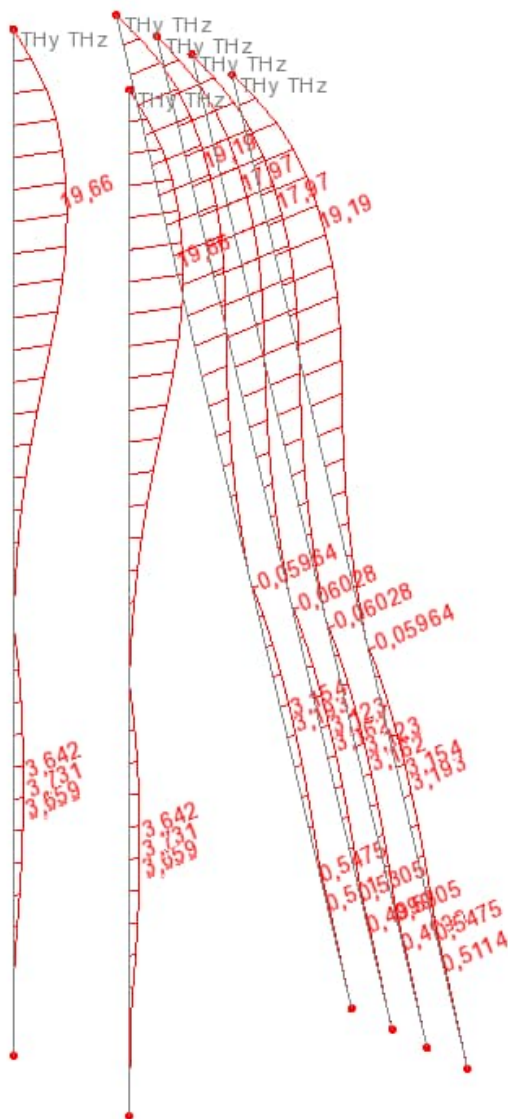
Kuva. Suurin normaalivoima paalun **yläpäässä** (lävistysmitoitukseen) (MRT 2)

Paalujen koordinaattiakselit

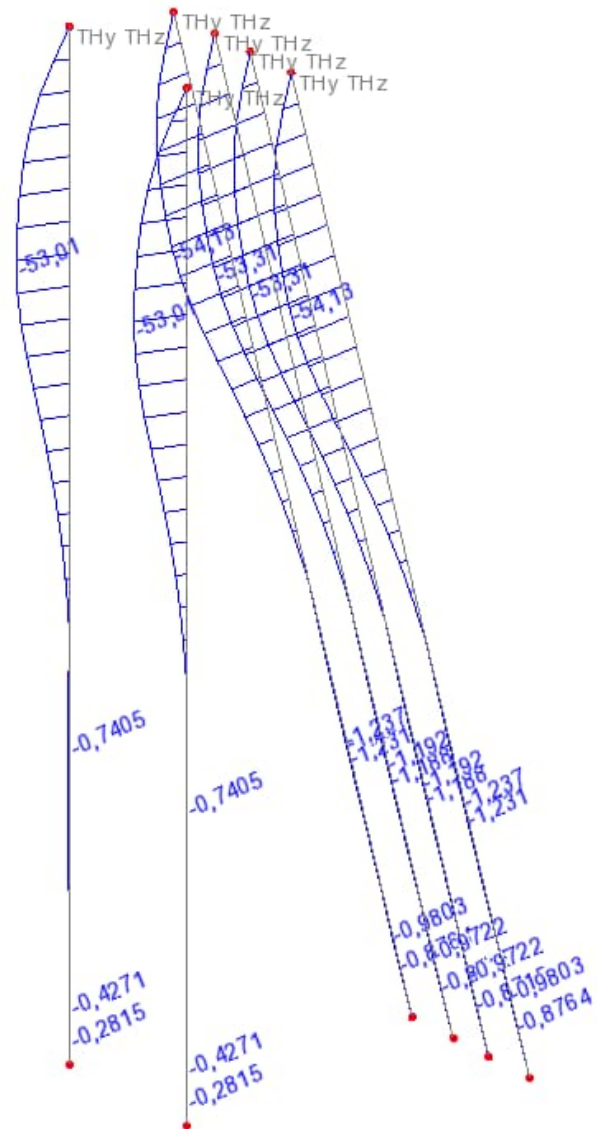


Seuraavissa kuvissa on esitetty paalujen momenttikuvaajat (MRT) [kNm]

Sillan suunnassa:

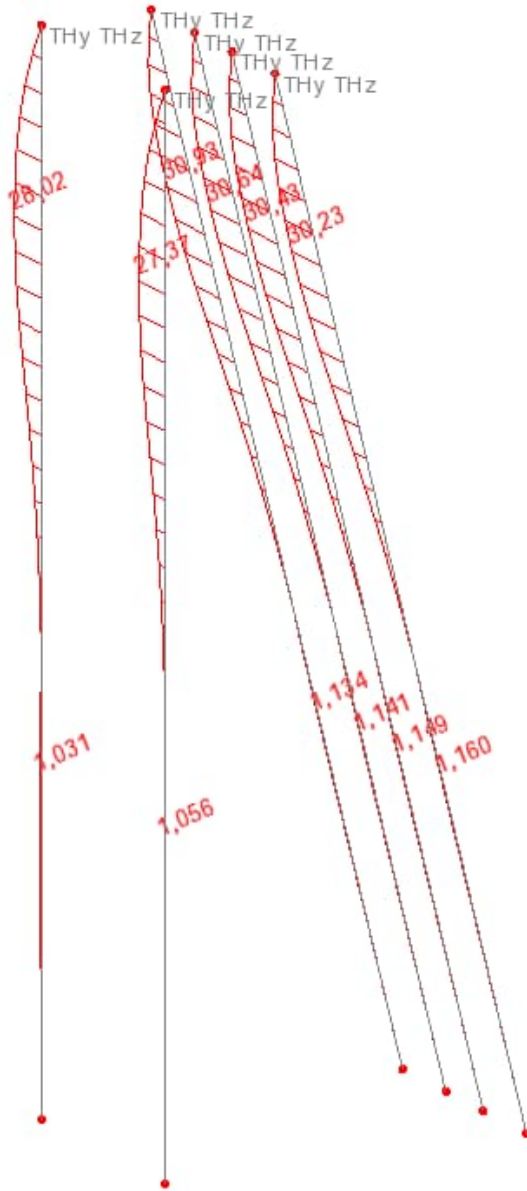


Kuva. Momentit aukkoon päin

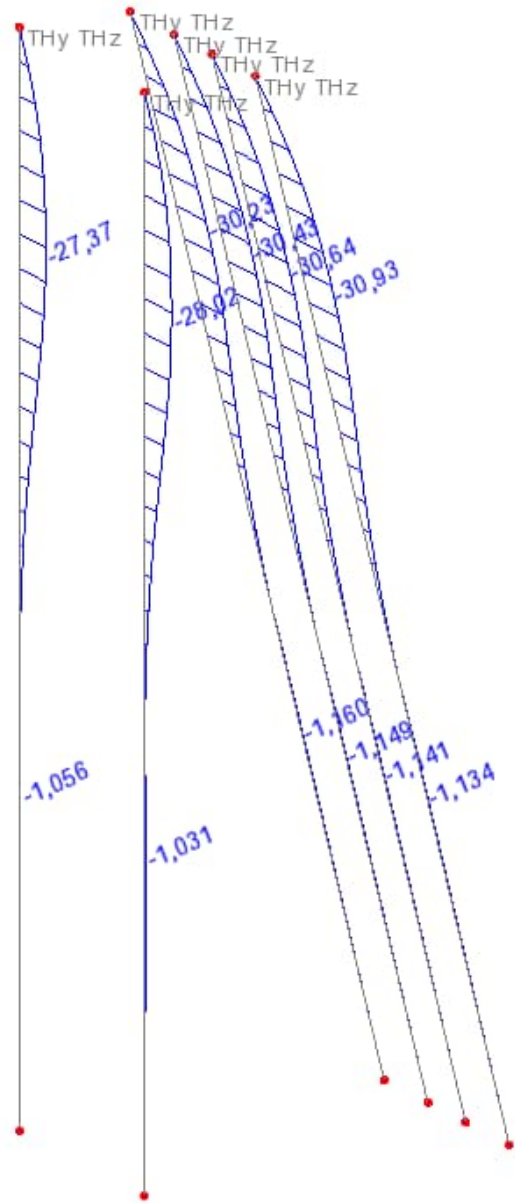


Kuva. Momentit penkereeseen päin

Sillan poikkisuunnassa:



Kuva. Momentit vasemmalle



Kuva. Momentit oikealle

A.5.5 Suuruusluokkatarkastelu

Rasituksia on verrattu FEM-laskentamallin ja käsinlaskennan välillä kuormilla, joissa ei ole varmuuskertoimia.

Suuruusluokkatarkastelu

Pystykuorma	Voima	FEM	Käsinlasku	Virhe		
Omapaino, etumuuri	FZ	135	135	0	%	OK
Omapaino, peruslaatta	FZ	182	182	0	%	OK
Omapaino, paalut	FZ	180	180	0	%	OK
Omapaino, otsamuuri	FZ	30	30	1	%	OK
Omapaino, siipimuuri	FZ	68	68	0	%	OK
Omapaino, uloke	FZ	11	11	0	%	OK
Täytöt, tausta	FZ	310	310	0	%	OK
Täytöt, aukko	FZ	48	48	0	%	OK
Täytöt, sivu	FZ	24	24	0	%	OK
Pysyvät, siirtymälaatta	FZ	62	62	0	%	OK
Omapaino, päällysrakenne	FZ	119	119	0	%	OK
Omapaino, pintarakenne	FZ	20	20	-1	%	OK
Omapaino, lisäpäällyste 1 kN/m ²	FZ	40	40	0	%	OK
Liikenne, tasainen qfk	FZ	170	170	0	%	OK
Liikenne, huoltoajoneuvo Qserv VE1	FZ	153	153	0	%	OK
Liikenne, huoltoajoneuvo Qserv VE2	FZ	153	153	0	%	OK
Liikenne, huoltoajoneuvo Qserv VE3	FZ	153	153	0	%	OK
Liikenne, siirtymälaatta	FZ	44	44	0	%	OK
Liikenne, pengeri VE1	FZ	74	74	0	%	OK

Vaakakuorma						
Lepopaine +X, etumuuri	FX	-105	104	0	%	OK
Lepopaine +X, peruslaatta	FX	-63	63	0	%	OK
Lepopaine +X, paalut	FX	0	0		%	
Lepopaine +X, otsamuuri	FX	-49	49	0	%	OK
Lepopaine +X, siipimuurit	FX	0	0		%	
Lepopaine +X, siirtymälaatalta paaluille	FX	0	0		%	
TLEP +X, etumuuri	FX	-29	29	0	%	OK
TLEP +X, peruslaatta	FX	-14	14	0	%	OK
TLEP +X, paalut	FX	-240	240	0	%	OK
TLEP +X, otsamuuri	FX	-20	20	0	%	OK
TLEP +X, siipimuuri	FX	0	0		%	
Jarrukuorma +X	FX	-96	96	0	%	OK
Jarrukuorma +Y	FY	-24	24	0	%	OK
Jarrukuorma -X	FX	96	96	0	%	OK
Jarrukuorma -Y	FY	24	24	0	%	OK
Tuulikuorma +X	FX	-18	18	0	%	OK
Tuulikuorma +Y	FY	-70	70	0	%	OK

Suuruusluokkatarkastelua varten FEM-laskentamallista poistettiin maan jouset, suoritettiin paalut ja lisättiin niiden alapäähän momenttijäykkyys.

Edellisen pohjalta voidaan todeta FEM-laskentamallin olevan kuormien puolesta kunnossa.

Huom!

Lepopainetta ei ole huomioitu paaluille. On katsottu, että paalut ovat lepopaineesta tasaisesti joka puolelta kuormitettuja koheesiomaassa.

A.6 Rakenneosien mitoituksen tiivistelmä

A.6.1 Päällysrakenne

A.6.1.1 Betoninen päällysrakenne

A.6.1.1.1 Jännevoimat

Ei koske tätä kohdetta.

A.6.1.1.2 Minimiraudoitus

Minimiraudoitukset on tarkastettu soveltamisohjeen NCCI 2 kappaleen 9 mukaisesti

Rakenteen sitkeyden takaamiseksi rakenteen kuormien ominaisyhdistelmällä vedetyissä pinoissa on oltava pääraudoitus, joka pystyy vastaanottamaan betonin halkelukestävyuden mukaisen taivutusmomentin kyseisen pinnan suhteen. Jos tarkempia menetelmiä ei käytetä, vähimmäisraudoitemäärä on

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{cm}}{f_{yk}} b_t d \quad ; \quad 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} \quad (9.1)$$

,missä b_t on tarkasteltavan pinnan leveys.

Lisäksi vedetyillä ja puristetuilla rakenteilla on pääraudoituksen määrän oltava vähintään

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,10 N_d}{f_{yd}} \quad ; \quad 0,002 A_c \right\} \quad (9.2)$$

Minimiraudoitteet tarkastetaan betonirakenteiden mitoituksen yhteydessä.

A.6.1.2 Liittorakenteinen päällysrakenne

Ei koske tätä kohdetta



A.6.1.3 Puinen päällysrakenne

Versowoodin tyyppisiltä. Päällysrakenteesta ei esitetä mitoituslaskelmia.



A.6.1.4 Muut päällysrakenteet

Ei koske tätä kohdetta



A.6.2 Alusrakenne

A.6.2.1 Kallion- tai maanvaraiset perustukset

Ei koske tätä kohdetta

A.6.2.2 Suurpaaluperustukset

Ei koske tätä kohdetta

A.6.2.3 Paaluryhmäperustukset

Paalujen kestävyys maatuki T1

Varmistetaan, että paalu kestää yhdistetyn puristus ja taivutusrasituksen vertaamalla kuormia tb-paalun tuotelehden poikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrästä.

Paalujen kestävyys maatuki T2

Maatuki T2 on identtinen maatuen T1 kanssa, vain paalujen pituudet muuttuvat. Paalujen suurimmat rasitukset ovat niiden yläpäissä ja paalujen nurjahduspituus ei ole enää näin pitkillä paaluilla riippuvainen paalun pituudesta.

Epäkeskisyys ja toisen kertaluvun vaikutukset

NCCI 2, 5.8

Arvioitu paalupituus: $L_0 = 5.679\text{m}$ Paalun laskennallinen nurjahduspituus

Poikkileikkauksesta: $e_{i,1} = \max\left(\frac{d_{\text{paalu.1}}}{30}, 20\text{mm}\right)$ $e_{i,1} = 20\text{mm}$

Pituudesta: $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L_0 \cdot \text{m}^{-1}}}$

$$\alpha_h = \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{if } \alpha_h \leq \frac{2}{3} \\ 1 & \text{if } \alpha_h \geq 1 \\ \alpha_h & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha_h = 0.839$$

$$e_{i,2} = \alpha_h \cdot \frac{L_0}{400} \quad e_{i,2} = 12\text{mm}$$

Perusepäkeskisyys: $e_i = e_{i,1} + e_{i,2}$ $e_i = 32\text{mm}$

Betonin viruma

Paalun virumaluvun perusarvo

Lähtötiedot

Betonin lujuusluokka

$$C = 40$$

$$f_{cm} = (C + 8) \text{MPa}$$

Kuormitusajankohta

$$t_0 = 14 \text{day}$$

Jälkihoidon päättymisajankohta

$$t_{sh} = 7 \text{day}$$

Tarkasteluajankohta

$$t = 100 \text{yr}$$

Ilman suhteellinen kosteus

$$RH = 80\%$$

Paalun poikkipinta-ala

$$A_e = \pi \cdot \left(\frac{d_{paalu.1}}{2} \right)^2 = 0.071 \text{ m}^2$$

 Paalun piiri, jolta
 haihtuminen voi
 tapahtua

$$u_e = 2\pi \cdot \left(\frac{d_{paalu.1}}{2} \right) = 0.942 \text{ m}$$

Poikkileikkauksen muunnettu paksuus

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_e}{u_e} = 150 \text{ mm}$$

Sementtilaadusta johtuva kerroin

$$Sementtilaatu = 2 \quad (1=\text{slow}, 2=\text{normal}, 3=\text{rapid})$$



Virumaluvun perusarvo (kuormitusherkellä)



- Suhteellinen kosteus
- Betonin keskimääräinen lujuus
- Muunnettu paksuus
- Kuormitusajankohta

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta \left(\frac{f_{cm}(28)}{\text{MPa}} \right) \cdot \beta_1 \left(\frac{t_0}{\text{day}} \right)$$

$$\varphi_0 = 1.651$$

Virumaluku (tarkasteluhetkellä)

- Viruman kehittyminen aikavälillä t ... t₀

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi \left(\frac{t}{\text{day}}, \frac{t_0}{\text{day}} \right) = 1.64$$

Toisen kertaluvun vaikutukset

Laskettu momentin suurenusmenetelmällä NCCI 2, 5.8.1

Mitoitus momentti:

$$M_{Ed} = \frac{M_{0,Ed}}{1 - \frac{N_{ed}}{N_B}}$$

Paalun materiaaliarvot



Betoni	$C = 40\text{MPa}$	Toteutusluokka = 3	Teräs	$f_{yk} = 700\text{MPa}$
	$\gamma_c = 1.35$			$\gamma_s = 1.1$
	$f_{ck} = 40\cdot\text{MPa}$	$f_{ctm} = 3.51\cdot\text{MPa}$		$f_{yd} = 636\cdot\text{MPa}$
	$f_{cd} = 25.2\cdot\text{MPa}$	$f_{ctd} = 1.82\cdot\text{MPa}$		$E_{sv} = 200000\text{MPa}$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1.2}$$

$$E_{cd} = 29.35\cdot\text{GPa}$$

$$E_s = 200\cdot\text{GPa}$$

Neliömomentti (betoni):

$$I_c = d_{paalu,1} \cdot \frac{d_{paalu,1}^3}{12} = 0.001\text{ m}^4$$

Teräkset

Haka

$$\phi_h = 5\text{mm}$$

Betonipeitteen
nimellisarvo

$$c_{nom} = 25\text{mm}$$

Teräkset (pystysuuntaiset)

$$\phi_1 = 20\text{mm}$$

$$n_{kpl} = 4$$

Steinerin säännön mukaiset vipuvarret lasketaan tarkasteltavan kappaleen painopisteen ja kappaleen neutraaliakselin välisestä etäisyydestä. Paalun betonin painopiste sijaitsee neutraaliakselilla, mutta kunkin teräksen painopisteen etäisyys neutraaliakselista on laskettava.



Yhteenlaskettu neliömomentti (teräs):

$$I_s = I_{s,1} + I_{s,h,1} + I_{s,h,2} = 120140351.048\cdot\text{mm}^4$$

Pitkäaikaisyhdistelmän maksimi momentti
(ml. mittaepätarkkuuksien vaikutus)

$$M_{0,Eqp} = 0\text{kNm}$$

Murtorajatilan maksimi taivutusmomentti
(ml. mittaepätarkkuuksien vaikutus)

$$M_{0,Ed} = 64\text{kNm}$$

Näitä momenteja ei
huomioida ks. seuraava sivu.

Redusoitu virumaluku

$$\varphi_{ef} = \phi_{cc} \cdot \frac{M_{0,Eqp}}{M_{0,Ed}} = 0$$

$$\varphi_{ef} = 0$$

Kertoimet:

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20\text{MPa}}} \quad k_1 = 1.414$$

$$k_2 = \min\left(\frac{N_{ed} \cdot \lambda}{A_c \cdot f_{cd} \cdot 170}, 0.2\right) \quad k_2 = 0.2$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} \quad K_c = 0.283$$

Huom!

Laskentaa on yksinkertaistettu poistamalla nimellisestä jäykkydestä betonin jäykkyys (kerrottu luvulla 0). Tämä yksinkertaistus pienentää hieman kriittistä nurjahduskuormaa ja näin kasvattaa suurinta mitoitusmomenttia. -> Yksinkertaistus on varmalla puolella.

Nimellinen jäykkyys: $EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c \cdot 0 + E_s \cdot I_s$ $EI = 24028 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^2$

Maan kestävyden osavarmuusluku $\gamma_{R,e} = 1.5$

Aputermit $A_{\text{maa}} = 150$

$B_{\text{maa}} = 9$

Maan pienin leikkauslujuus $c_u = 15\text{kPa}$

Maan alustaluku
(käytetään arvona pienintä maan alustalukua) $k_s = A_{\text{maa}} \cdot \frac{c_u}{d_{\text{paalu.1}}} = 7500 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Maan sivuvastuksen ääriarvo $p_m = \frac{B_{\text{maa}} \cdot c_u}{\gamma_{R,e}} = 90 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Paalun kriittinen nurjahduspituus $L_{cr} = \pi \sqrt[4]{\frac{EI}{k_s \cdot d_{\text{paalu.1}}}} = 5.679 \text{ m}$

Paalun geometrinen alkutaipuma
(Jatkamaton paalu $L_{cr}/300$
Jatkettu paalu $L_{cr}/150$) $\delta_g = \frac{L_{cr}}{150} = 37.861 \cdot \text{mm}$

Suoran paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa $F_{cr} = 2 \sqrt{k_s \cdot d_{\text{paalu.1}} \cdot EI} = 14706 \cdot \text{kN}$

Taipuneen paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa

$$F_d = \frac{F_{cr}}{1 + \frac{k_s \cdot \delta_g}{P_m}} = 3539 \cdot \text{kN}$$

Kriittinen nurjahduskuorma (paalu murtuu)

$$N_{B1} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} = 7353 \cdot \text{kN}$$

Käytetään kriittisen nurjahduskuorman arvona pienempää arvoista maa murtuu/paalu murtuu

Kriittinen nurjahduskuorma

$$N_B = \min(F_d, N_{B1})$$

$$N_B = 3539 \cdot \text{kN}$$

Maksimimomenttia vastaava pystykuorma

$$N_{Ed} = 223 \text{ kN}$$

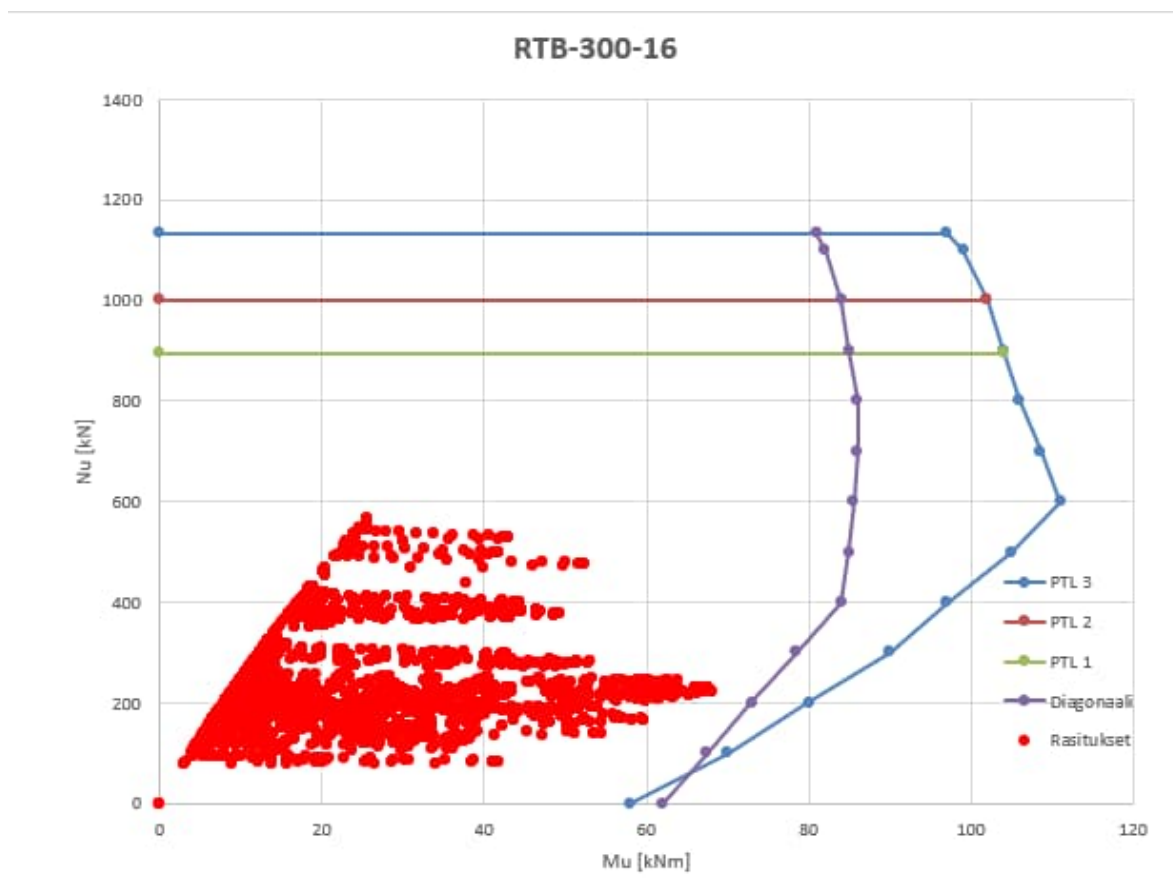
Mitoitusmomentti

$$M_{Ed} = \frac{M_{0,Ed}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}} = 68 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Poikkileikkauksen kestävyys

Poikkileikkauksen kestävyys saadaan suoraan Rakennusteollisuuden tuotelehdessä (PO-2016)

Alla olevassa kuvaajassa on esitetty punaisella pisteillä kaikki paalun voimasuureet (normaalivoiman ja momentin yhdistely). Momentissa on huomioitu perusepäkeskisyyden ja 2. kertaluvun vaikutukset kohdan 6.2 mukaisesti.



Kuva. Paalujen yhdistetty puristus- ja taivutuskestävyys

A.6.3 Erillistarkastelut

A.6.3.1 Peruslaatan mitoitus

A.6.3.1.1 Peruslaatan taivutusmitoitus

Raudoitukset, peruslaatta

Peruslaatan alapinta

- Pituussuunta T16 k200 + T16k400 (laidat)
- Poikkisuunta T16 k200 + T16k400 (penkereen puoli)

Peruslaatan yläpinta

- Pituussuunta T16 k200 + T16k400 (laidat)
- Poikkisuunta T16 k200 + T16k400 (penkereen puoli)

Poikkisuuntainen teräs asennetaan sisemmäksi.

Peruslaatan taivutusmitoituksesta on esitetty tarkempi laskenta alapinnan pituussuuntaisten raudoitusten osalta. Muiden pintojen mitoituksesta on esitetty vain määräävin rasituskuvaaja, sillä mitoitusperusteet ovat vastaavat.

Peruslaatan paksuutena on käytetty laskelmissa 550 mm:iä. Todellisuudessa laatan paksuus on etumuurin kohdalla hieman suurempi. Laskelmat ovat tältä osin varmallalla puolella.

Teräsket, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyydet			
Murtorajatila	353	kNm	
Ominaisyhdistelmä	241	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	201	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	154	kNm	

Poikkileikkausarvot

Korkeus	550	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	12	mm
Poikkisuunta	16	mm
Työteräs + poikkisuunta	12	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c_{nom}	100	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	25	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	35	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c_{true}	112	mm
Halkeilulaskennan betonipeite, c	49	mm

Teräsket, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyydet			
Murtorajatila	269	kNm	
Ominaisyhdistelmä	182	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	126	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	97	kNm	

Teräsket, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyydet			
Murtorajatila	182	kNm	
Ominaisyhdistelmä	123	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	64	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	49	kNm	

Enveloping on: Mx

MRT (Min)

Entity: Wood-Amer - Thick Shell

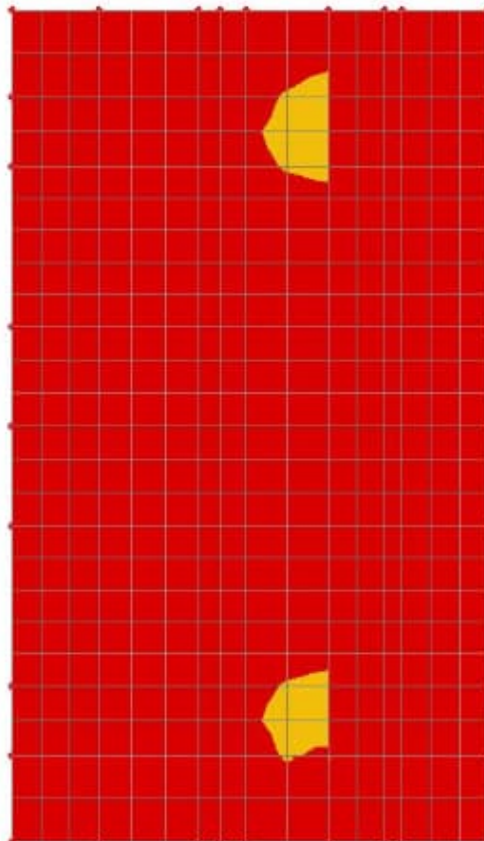
Transformation: Global

Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 209 (71.MRT 3 (Min))

Minimum -237,987 at node 593 (69.MRT 2 (Min))



Siltasuunnittelu

Suunnittelija: Kimmo Kuusela
Tarkasti: Kimmo Julku

30.12.2022
Kaakkumäenrasitin kls, Mäntsälä

Enveloping on: Mx

KRT b (Min)

Entity: Wood-Armer - Thick Shell

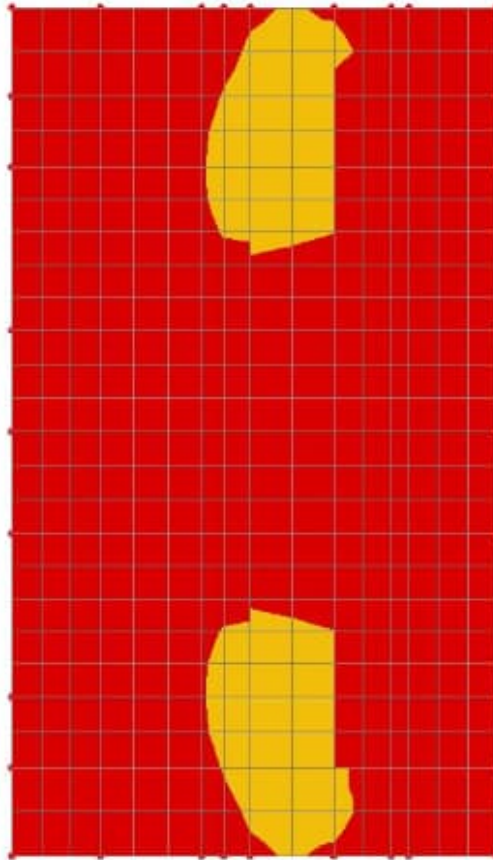
Transformation: Global

Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 210 (85.KRT 3b (Min))

Minimum -119,662 at node 593 (83.KRT 1b (Min))



Enveloping on: Mx

KRT c (Min)

Entity: Wood-Armer - Thick Shell

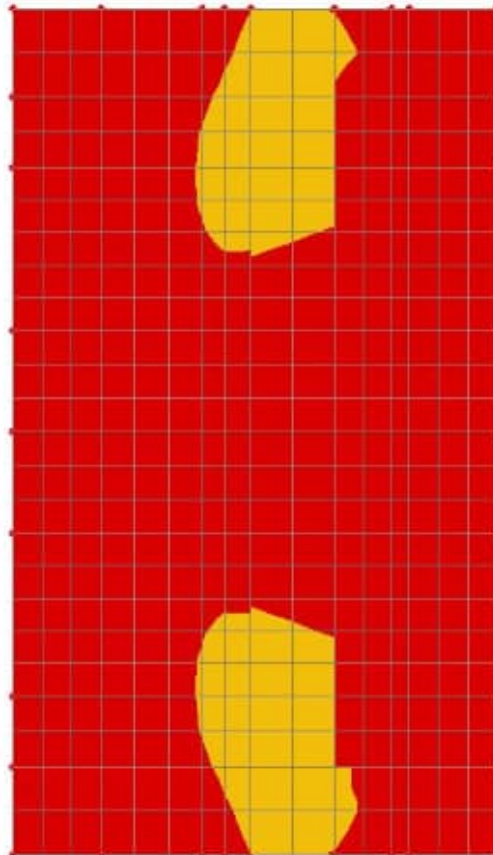
Transformation: Global

Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 210 (89.KRT 1c (Min))

Minimum -93,4004 at node 593 (89.KRT 1c (Min))



Peruslaatan taivutusmitoitus, alapinta, pituussuunta

Materiaaliarvot

Betoni	$C_w = 30\text{MPa}$ $\gamma_c = 1.5$ $f_{ck} = 30\text{MPa}$ $f_{cd} = 17\text{MPa}$	Toteutusluokka = 2 $f_{ctm} = 2.9\text{MPa}$ $f_{ctd} = 1.35\text{MPa}$	Teräs $f_{yk} = 500\text{MPa}$ $\gamma_s = 1.15$ $f_{yd} = 435\text{MPa}$ $E_s = 200000\text{MPa}$
virumaluku	$\varphi = 1.84$		

Poikkileikkausarvot

Korkeus	$h = 550\text{mm}$	
Leveys	$b = 1000\text{mm}$	
Työteräs + poikkisuuntainen	$\phi_h = 12\text{mm} + 0\text{mm}$	$\phi_h = 12\text{mm}$
Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{nom} = 100\text{mm}$	$k_{c1} = 1.4$
Sijaintitoleranssi	$\Delta c_{dev} = 25\text{mm}$	$k_{c2} = 1.4$
Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{min.dur} = 75\text{mm}$	
Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{min.dur} = 35\text{mm}$	Peruslaatoille voidaan käyttää pienennettyä vähimmäisarvoa
Raudoitteen todellinen betonipeite	$c_{true} = 112\text{mm}$	
Halkeilulaskennan betonipeite	$c_w = \min(c_{nom}, 1.4 c_{min.dur}, 50\text{mm}) = 49\text{mm}$	

Rasitukset

Murtotila	$M_d = 238\text{kNm}$
Käyttötila Tavallinen	$M_{kt} = 120\text{kNm}$
Käyttötila Pitkäaikainen	$M_{kp} = 94\text{kNm}$

Teräket

Terästen keskimääräinen halkaisija:	$\phi_1 = 16\text{mm}$	$k_{jako} = \frac{1000}{\frac{1000}{200} + \frac{1000}{400}}\text{mm}$
Terästen kokonaispinta-ala:	$A_{stot} = 1508\text{mm}^2$	$k_{jako} = 133\text{mm}$



Yliraudoituksen tarkastus

Tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus

$$\beta_b = \frac{A_{stot}}{d \cdot b} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0.09 \leq 0,467$$

Raudoitus = "Poikkileikkaus ei ole yliraudoitettu"

Murtorajatilamitoitus

Betonipeite	$c_{\text{true}} = 112 \text{ mm}$	
Keskimääräinen teräs	$\phi_1 = 16 \text{ mm}$	
Tehollinen korkeus	$d = 430 \text{ mm}$	
Vaadittava teräsmäärä	$A_{\text{svaad}} = 1325 \text{ mm}^2$	Murtorajatila = "OK!!"

Käyttörajatilamitoitus

Betonipeite	$c = 49 \text{ mm}$	
Sallittu halkeamaleveys (käyttöikä 100 vuotta)	$w_{\text{ksall.0.t}} = 0.20 \text{ mm}$	
	$w_{\text{ksall.0.p}} = 0.15 \text{ mm}$	
Betonipeitteiden suhteella korjattu halkeamaleveys	$w_{\text{ksall.t}} = 0.280 \text{ mm}$ $w_{\text{ksall.p}} = 0.210 \text{ mm}$	Tavallinen yhdistelmä Pitkäaikainen yhdistelmä

Halkeilu

	Tavallinen	Pitkäaikainen
Teräsjännitys	$\sigma_{\text{st}} = 197 \text{ MPa}$	$\sigma_{\text{sp}} = 161 \text{ MPa}$
Raudoituksen venymä	$\varepsilon_{\text{st}} = 0.987 \text{ prom}$	$\varepsilon_{\text{sp}} = 0.803 \text{ prom}$
Halkeamaleveys	$w_{\text{kt}} = 0.266 \text{ mm}$	$w_{\text{kp}} = 0.203 \text{ mm}$
Sallittu arvo	$w_{\text{ksall.t}} = 0.280 \text{ mm}$	$w_{\text{ksall.p}} = 0.210 \text{ mm}$
	Halkeamaleveys _t = "OK!"	Halkeamaleveys _p = "OK!"

Teräset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	339	kNm	
Ominaisyhdistelmä	232	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	193	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	147	kNm	

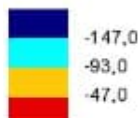
Teräset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	259	kNm	
Ominaisyhdistelmä	175	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	121	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	93	kNm	

Teräset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	175	kNm	
Ominaisyhdistelmä	118	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	61	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	47	kNm	

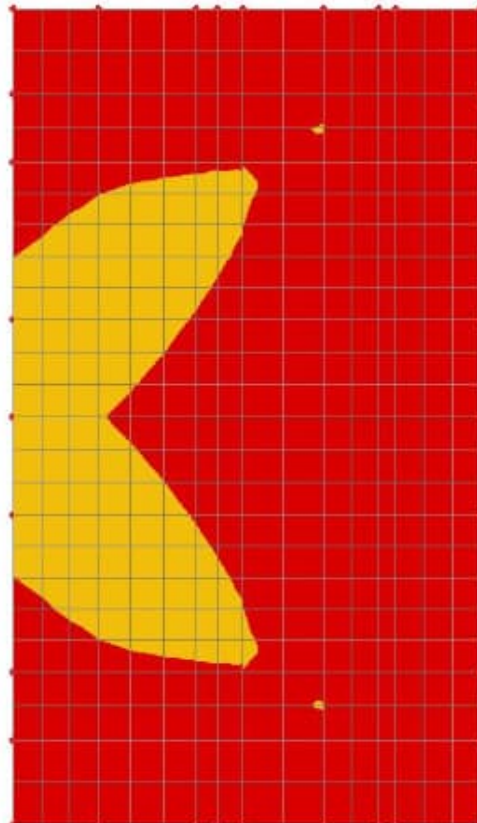
Poikkileikkausarvot

Korkeus	550	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	12	mm
Poikkisuunta	16	mm
Työteräs + poikkisuunta	28	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c_{nom}	100	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	25	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	35	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c_{true}	128	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	35	mm

Enveloping on: My
 KRT c (Min)
 Entity: Wood-Amer - Thick Shell
 Transformation: Global
 Component: My(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 209 (89.KRT 1c (Min))
 Minimum -59,744 at node 364 (89.KRT 1c (Min))



Teräsket, pituus-suunta yläpinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	408	kNm	
Ominaisyhdistelmä	277	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	210	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	159	kNm	

Teräsket, pituus-suunta yläpinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	310	kNm	
Ominaisyhdistelmä	210	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	135	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	101	kNm	

Teräsket, pituus-suunta yläpinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	209	kNm	
Ominaisyhdistelmä	141	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	70	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	51	kNm	

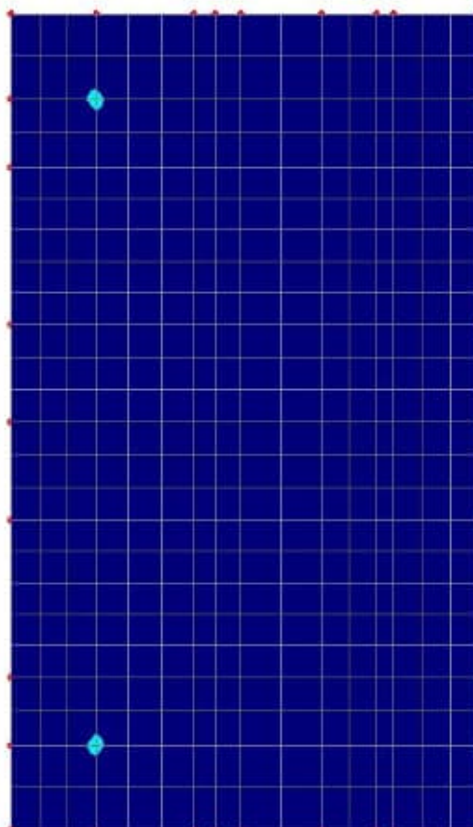
Poikkileikkauksarvot

Korkeus	550	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	12	mm
Poikkisuunta	16	mm
Työteräs + poikkisuunta	0	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c_{nom}	50	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	10	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	40	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c_{true}	50	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	40	mm

Enveloping on: Mx
 KRT c (Max)
 Entity: Wood-Amer - Thick Shell
 Transformation: Global
 Component: Mx(T) (Units: kN.m/m)



Maximum 56,7918 at node 246 (88.KRT 1c (Max))
 Minimum 0,0 at node 215 (88.KRT 1c (Max))



Teräset, poikkisuunta yläpinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävytydet			
Murtorajatila	394	kNm	
Ominaisyhdistelmä	268	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	199	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	153	kNm	

Poikkileikkausarvot

Korkeus	550	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	12	mm
Poikkisuunta	16	mm
Työteräs + poikkisuunta	16	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c_{nom}	50	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	10	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	40	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c_{true}	66	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	40	mm

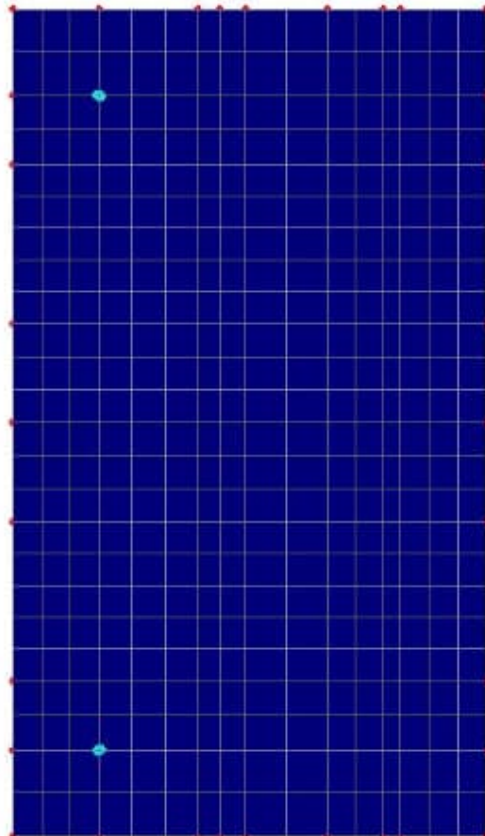
Teräset, poikkisuunta yläpinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävytydet			
Murtorajatila	299	kNm	
Ominaisyhdistelmä	203	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	125	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	97	kNm	

Teräset, poikkisuunta yläpinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävytydet			
Murtorajatila	202	kNm	
Ominaisyhdistelmä	136	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	63	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	49	kNm	

Enveloping on: My
 KRT c (Max)
 Entity: Wood-Armer - Thick Shell
 Transformation: Global
 Component: My(T) (Units: kN.m/m)

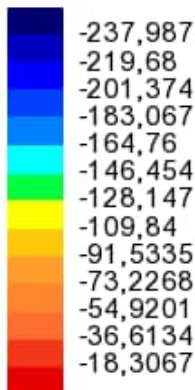


Maximum 52,5172 at node 246 (88.KRT 1c (Max))
 Minimum 0,0 at node 217 (88.KRT 1c (Max))

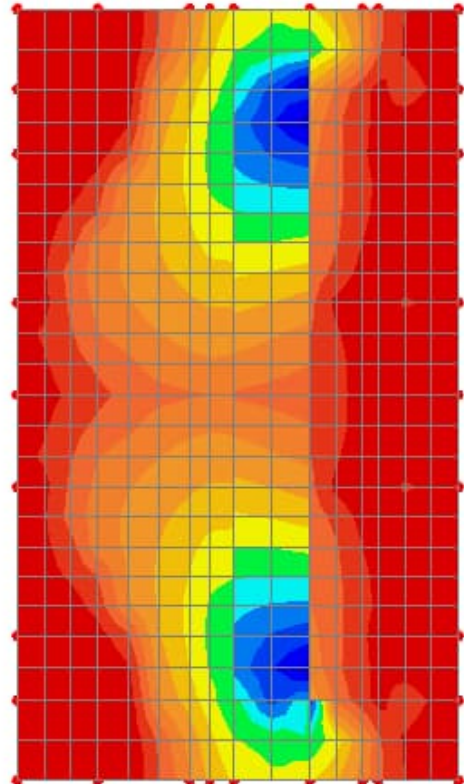


Ohessa on esitetty peruslaatan murtorajatilan momentit rasisukuvaajilla, joihin ei ole asetettu raudituksen kapasiteetteja näkyville. Näistä on selkeämpi hahmottaa rasisusten jakautuminen peruslaatalle

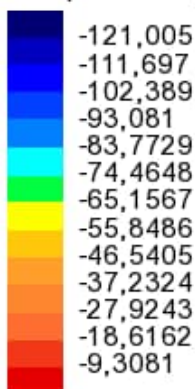
Enveloping on: Mx
MRT (Min)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Global
Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



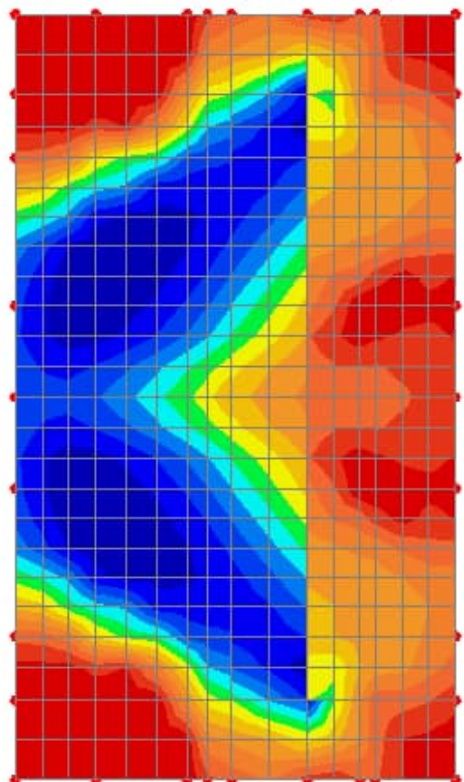
Maximum 0,0 at node 209 (71:MRT 3 (Min))
Minimum -237,987 at node 593 (69:MRT 2 (Min))



Enveloping on: My
MRT (Min)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Global
Component: My(B) (Units: kN.m/m)



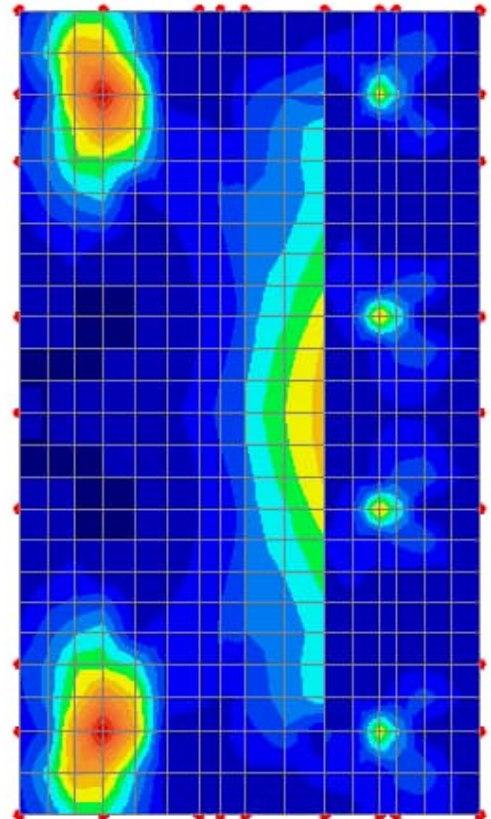
Maximum 0,0 at node 209 (71:MRT 3 (Min))
Minimum -121,005 at node 348 (69:MRT 2 (Min))



Enveloping on: Mx
MRT (Max)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Global
Component: Mx(T) (Units: kN.m/m)



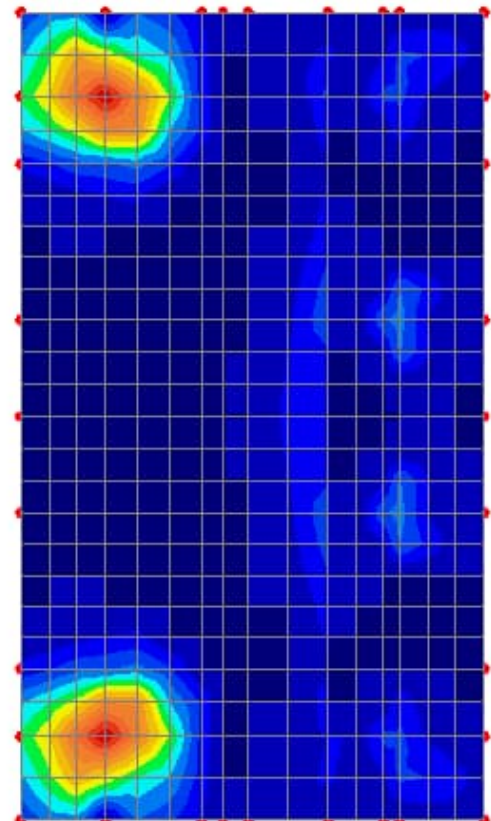
Maximum 118,461 at node 246 (68:MRT 2 (Max))
Minimum 0,0 at node 253 (68:MRT 2 (Max))



Enveloping on: My
MRT (Max)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Global
Component: My(T) (Units: kN.m/m)



Maximum 112,771 at node 246 (68:MRT 2 (Max))
Minimum 0,0 at node 222 (70:MRT 3 (Max))

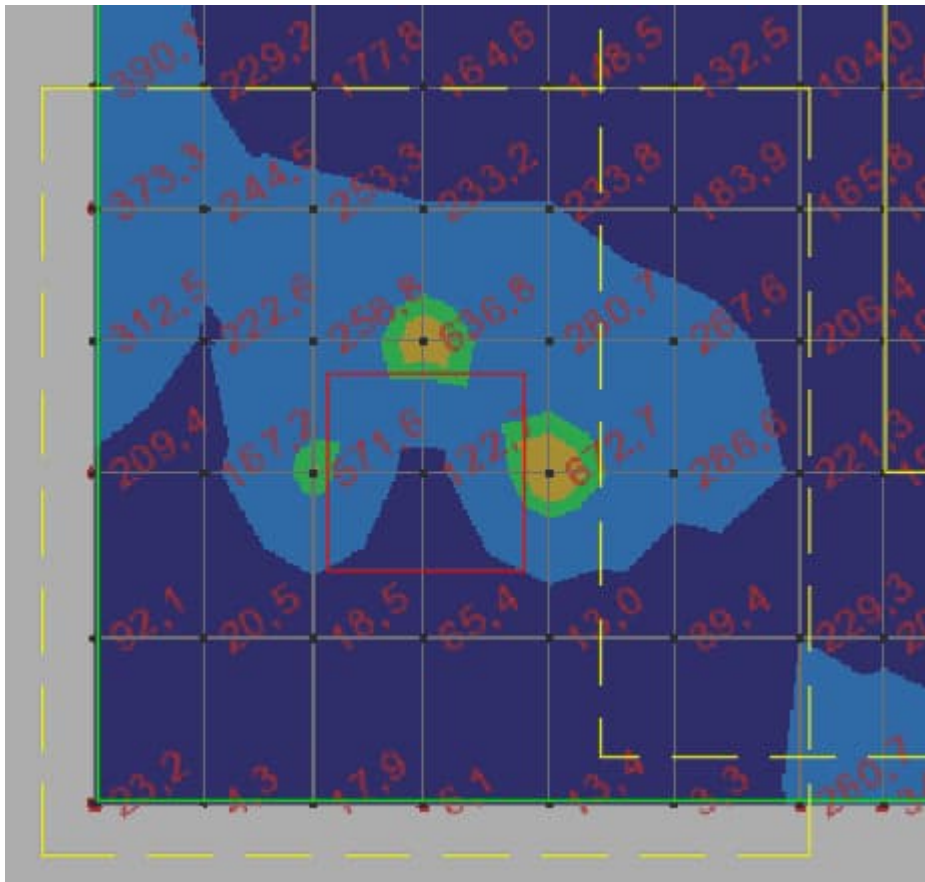


A.6.3.1.2 Peruslaatan leikkausmitoitus

Raudoitukset, peruslaatta

Leikkaushaavat T12 k200/600 jaolla peruslaatan penkereen puolelle

Leikkausvoiman mitoittavana arvona voidaan pitää tuen reunasta etäisyydellä d laskettua leikkausvoiman arvoa.



Siltasuunnittelu

Suunnitteli: Kimmo Kuusela
Tarkasti: Kimmo Julku

30.12.2022
Kaakkumäenrasitin kls, Mäntsälä

Enveloping on: Sx
MRT (Max)

Entity: Force/Moment - Thick Shell

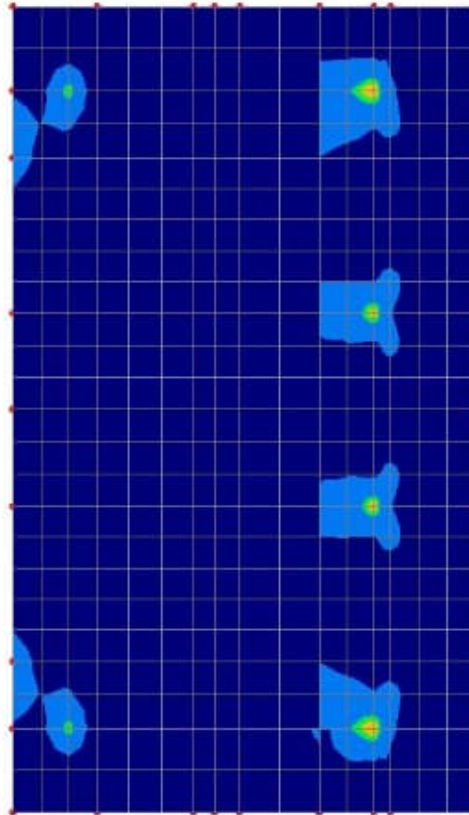
Transformation: Global

Component: Sxy



Maximum 656,929 at node 255 (66:MRT 2 (Max))

Minimum 1,59082 at node 380 (68:MRT 2 (Max))



Enveloping on: Sx
MRT (Min)

Entity: Force/Moment - Thick Shell

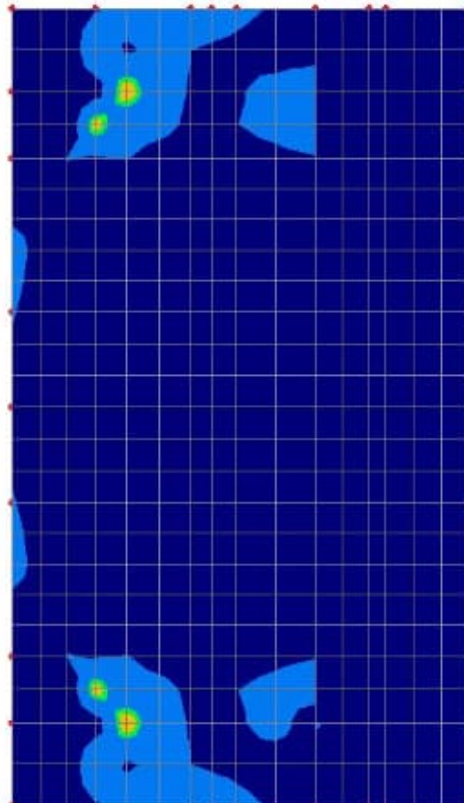
Transformation: Global

Component: Sxy



Maximum 672,665 at node 247 (69:MRT 2 (Min))

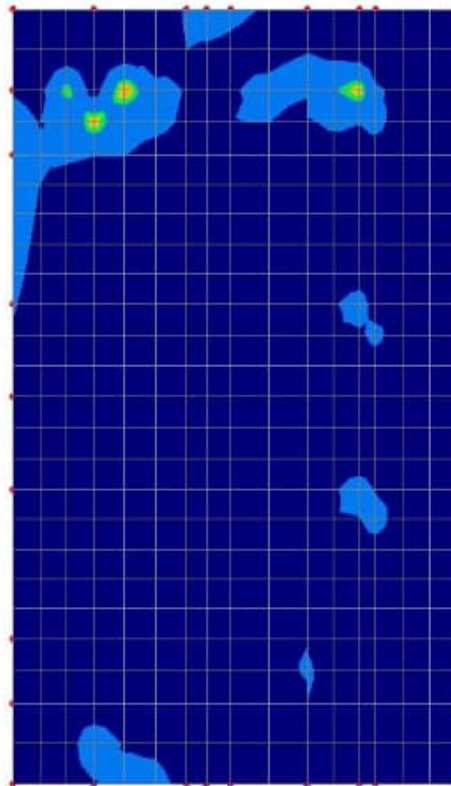
Minimum 0,962122 at node 427 (69:MRT 2 (Min))



Enveloping on: Sy
MRT (Max)
Entity: Force/Moment - Thick Shell
Transformation: Global
Component: Sxy

229,0
491,0
555,0
875,0

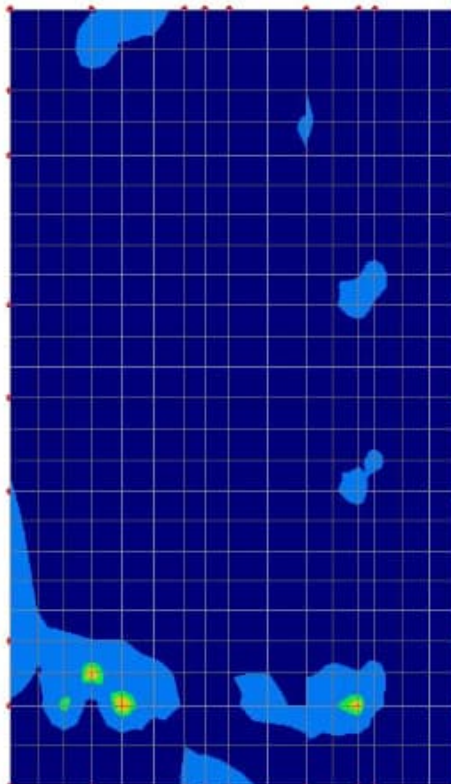
Maximum 672,665 at node 587 (68:MRT 2 (Max))
Minimum 0,963145 at node 249 (68:MRT 2 (Max))



Enveloping on: Sy
MRT (Min)
Entity: Force/Moment - Thick Shell
Transformation: Global
Component: Sxy

229,0
491,0
555,0
875,0

Maximum 672,665 at node 247 (69:MRT 2 (Min))
Minimum 0,963145 at node 589 (69:MRT 2 (Min))



Peruslaatan leikkausmitoitus

Materiaaliarvot

Betoni	$C = 30\text{MPa}$	Toteutusluokka = 2	Teräs	$f_{yk} = 500\text{MPa}$
	$\gamma_c = 1.5$			$\gamma_s = 1.2$
	$f_{ck} = 30\text{MPa}$	$f_{ctm} = 2.9\text{MPa}$		$f_{yd} = 435\text{MPa}$
	$f_{cd} = 17\text{MPa}$	$f_{ctd} = 1.35\text{MPa}$		

Poikkileikkausarvot

Korkeus	$h = 550\text{mm}$		
Uuman leveys	$b_w = 1000\text{mm}$		
Suojabet.peite	$c_b = 100\text{mm}$		
Työteräkset	$\phi_h = 0\text{mm}$		
Pääraudoitus	$\phi_x = 16\text{mm}$	$k_x = 200\text{mm}$	$n_x = 0$
Jakoraudoitus	$\phi_y = 16\text{mm}$	$k_y = 200\text{mm}$	
Leikkausrasitus	$V_d = 391\text{kN}$	Tuen reunasta etäisyydellä d	



Leikkausraudoittamaton rakenne

Tehollinen korkeus	$d = 434\text{mm}$ ($d = \sqrt{d_x \cdot d_y}$)
d:stä riippuva kerroin	$k = 1.2$
Raudoitussuhde	$\rho = 0.0023$ ($\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}$)
Leikkauksen kapasiteetti	$V_{c0} = 0.3 \cdot k \cdot (1 + 50\rho) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d = 228.9\text{kN}$

Leikkausraudoitettu rakenne

Hakakoko ja leikemäärä yhdessä leikkauksessa	$\phi_1 = 12\text{mm}$	$n_1 = 2 \cdot \frac{1\text{m}}{600\text{mm}} = 3.3$
Hakateräsmäärä yhdessä leikkauksessa	$A_{sv} = n_1 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_1^2}{4} = 377\text{mm}^2$	
Betonin kapasiteetti	$V_c = 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{ctd} = 293.3\text{kN}$	

Minimihaat

hakojen asennuskulma

$$\alpha = 90\text{deg}$$

Minimiteräsmäärä

$$A_{sv.minimi} = \frac{\left(0.08\text{MPa} \cdot \sqrt{\frac{C}{\text{MPa}}}\right)}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha) = 876.4 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Minimiterästen vaatima hakaväli

$$s_{min} = \frac{A_{sv}}{A_{sv.minimi}} = 430.2\text{mm}$$

Valittu minimihakaväli

$$s_{xmin} = \min(400\text{mm}, 0.75 \cdot d, s_{min}) = 325.4\text{mm}$$

Minimihakojen kapasiteetti

$$V_{smin} = 0.9 \cdot \frac{A_{sv}}{s_{xmin}} \cdot f_{yd} \cdot d = 196.7\text{kN}$$

Kokonaiskapasiteetti minimihaoilla

$$V_{umin} = V_{smin} + 0.8V_c = 431\text{kN}$$

Haat alueella, jossa minimihaat eivät riitä

Hakaväli

$$s_{x1} = 200\text{mm}$$

Tukialueella käytetään hakaterästä

$$\phi_2 = 12\text{mm}$$

$$n_2 = 2 \cdot \frac{1\text{m}}{600\text{mm}} = 3.3$$

Hakateräsmäärä yhdessä leikkauksessa

$$A_{sv2} = n_2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_2^2}{4} = 377\text{mm}^2$$

Hakojen kapasiteetti

$$V_{s2} = 0.9 \cdot \frac{A_{sv2}}{s_{x1}} \cdot f_{yd} \cdot d = 320.1\text{kN}$$

Kokonaiskapasiteetti

$$V_{u2} = V_{s2} + 0.8V_c = 555\text{kN}$$

Hakaväli

$$s_{x,2} = 100\text{mm}$$

$$\phi_1 = 12\text{mm}$$

Hakojen kapasiteetti

$$V_{s,3} = 0.9 \cdot \frac{A_{sv}}{s_{x,2}} \cdot f_{yd} \cdot d = 640.1\text{kN}$$

Kokonaiskapasiteetti

$$V_{u,3} = V_{s,3} + 0.8V_c = 875\text{kN}$$

Leikkauskapasiteetin yläraja

$$V_{u,max} = 0.25 b_w \cdot d \cdot f_{cd} = 1844\text{kN}$$

A.6.3.1.3 Peruslaatan lävistysmitoitus

Suurimmat lävistysmistä aiheuttavat paalukuormat on ilmoitettu kohdassa "A.5.4 Määrävimmit voimasuureet ja siirtymät". Näistä kuormista vähennetään etäisyydeltä d täytöt, peruslaatan omapaino ja liikenteen pengerkuorma.

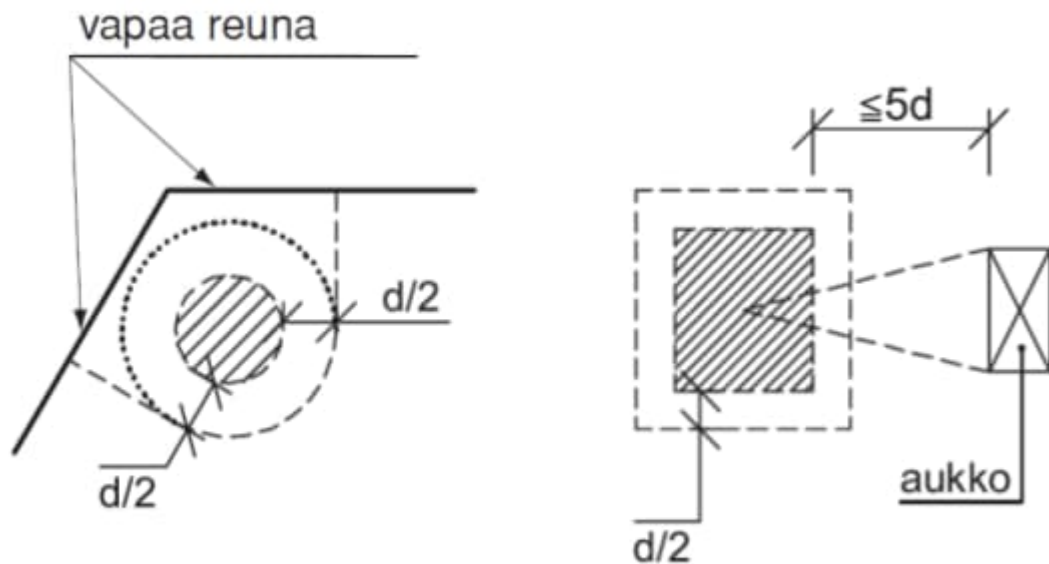
Raudoitukset, peruslaatta

Lävistysmishakoja ei tarvita.

$$\xi_{\text{täyttö.tausta}} = 53.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_{\text{perusl}} = 14.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\text{penger}} = 12.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Kuva 6.3. Laatan lävistys.

Peruslaatan lävistysmitoitus

Materiaaliarvot

Betoni ▢	$C = 30\text{MPa}$ $\gamma_c = 1.5$ $f_{ck} = 30\text{MPa}$ $f_{cd} = 17\text{MPa}$	Toteutusluokka = 2 $f_{ctm} = 2.896\text{MPa}$ $f_{ctd} = 1.35\text{MPa}$	Teräs $f_{yk} = 500\text{MPa}$ $\gamma_s = 1.15$ $f_{yk} = 300\text{MPa}$
-----------------	--	---	--

Poikkileikkausarvot

Korkeus $h = 550\text{mm} - 50\text{mm} = 500\text{mm}$

(Korkeudesta vähennetty paalun upotus laattaan)

Suojabet.peite $c_b = 50\text{mm}$

Haat (sisältää työteräkset ym.) $\phi_h = 0\text{mm}$

Teräkset $\phi_x = 16\text{mm}$ $k_x = 200\text{mm}$

$\phi_y = 16\text{mm}$ $k_y = 200\text{mm}$

Paalun sivumitta: $b = 300\text{mm}$

Rasitukset

Suurin tukireaktio $R_d = 530\text{kN}$ Pyöristetty ylöspäin

Pintakuorma (maanpaino, laatan paino ja liikenne)

$$q_d = 0.9 \left(53.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 14.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 12.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$q_d = 73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Laatan reunassa olevan paalun rasitukset epäkeskeiselle kuormalle

$A_u = 0.75\text{m}^2$	Pinta-ala vapaan reunan alueella
$u = 1.734\text{m}$	Piiri vapaan reunan alueella
$e_{\text{ras}} = 94\text{mm}$	Rasituksen epäkeskeisyys paalun keskeltä

$$\beta_w = \frac{0.4}{1 + \frac{1.5 \cdot e_{\text{ras}}}{\sqrt{A_u}}} \quad \beta = 0.344$$

Laatan betonin lävistyskapasiteetti

Tehollinen korkeus $d = 434\text{mm}$ $(d = \sqrt{d_x \cdot d_y})$

d:stä riippuva kerroin $k = 1.166$ $(k \geq 1)$

Raudoitussuhde $\rho = 0.0023$ $(\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y})$

Tuen reunasta etäisyydellä $0,5d$ olevan leikkauksen rajoittama pinta-ala ja piiri
 $u = 1.734\text{m}$ $A_u = 0.75\text{m}^2$

Laatan oma paino, maanpaino ja liikennekuorman pintakuorma tuen reunasta etäisyydellä d olevan leikkauksen rajoittamalla alueella (voidaan vähentää lävistysvoimasta).

$$\Delta V_d = q_d \cdot (b + 2 \cdot d)^2$$

$$V_d = R_d - \Delta V_d$$

Lävistyskapasiteetti $V_c = k \cdot \beta \cdot (1 + 50\rho) \cdot u \cdot d \cdot f_{ctd}$

Mitoitusehto

Rasitus: $V_d = 430\text{kN}$

Kapasiteetti: $V_c = 455\text{kN}$

Käyttöaste: $K A_{V,c} = 95\%$

Mitoitusehto = "OK!"

Lävistyskapasiteetin yläraja

$$V_{u,\text{max}} = 2 \cdot V_c$$

$$V_{u,\text{max}} = 0.91\text{MN}$$

A.6.3.2 Etumuurin mitoitus

Etumuurille tehtiin tarkastelut taivutukselle.

Leikkaus tarkasteltiin, mutta sitä ei ole esitetty laskelmissa, rakenne ei ole altis leikkausilmäölle.

Raudoitukset, etumuri	
Asennetaan etumuurin taka- ja etupintaan samanlainen rauditus	
Etumuri aukon puoli	
- Pituussuunta	T16 k200 + T16k400 (laidat)
- Poikkisuunta	T16 k200
Etumuri penkereen puoli	
- Pituussuunta	T16 k200 + T16k400 (laidat)
- Poikkisuunta	T16 k200
Etumuri yläosa	
- Vaakasuunta	T16 k200
Hakaraudoitus	
- Etumuurin yläpinta	T16
- Etumuurin sivupinnat	T16
Vaakateräkset asennetaan sisemmäksi.	

Rasituskuvaajissa esitetyjä "piikkiarvoja" etumuurin yläkulmissa ei ole huomioitu etumuurin rauditusta suunniteltaessa, vaan otsamuurin ja sipimuurin liitoskohdan mitoitus on tehty erillisellä tarkastelulla.

Pystyteräksset, aukon puoli

Teräksset, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	793	kNm	
Ominaisyhdistelmä	511	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	438	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	318	kNm	

Teräksset, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	599	kNm	
Ominaisyhdistelmä	386	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	280	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	204	kNm	

Teräksset, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	402	kNm	
Ominaisyhdistelmä	259	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	184	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	106	kNm	

Poikkileikkausarvot

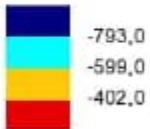
Korkeus	950	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	10	mm
Poikkisuunta	0	mm
Työteräs + poikkisuunta	10	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c_{nom}	40	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	5	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, $c_{min,dur}$	35	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c_{true}	50	mm
Halkeilulaskennan betonipeite, c	49	mm

Siltasuunnittelu

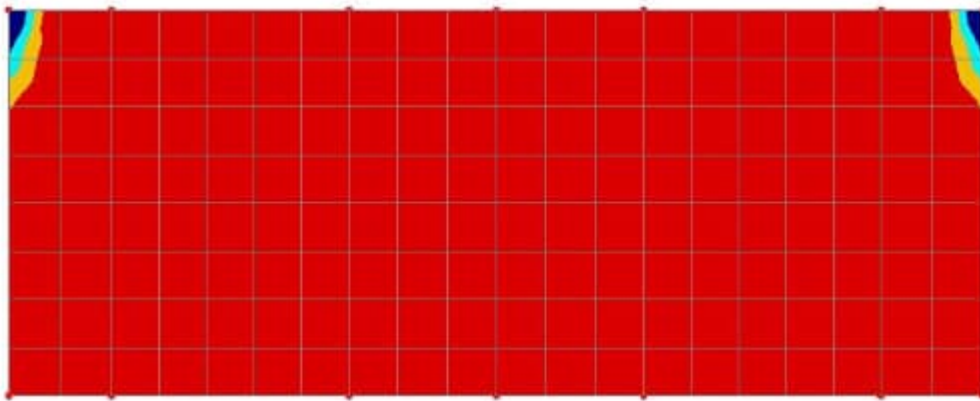
Suunnitteli: Kimmo Kuusela
Tarkasti: Kimmo Julku

30.12.2022
Kaakkumäenrasitin kls, Mäntsälä

Enveloping on: Mx
MRT (Min)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



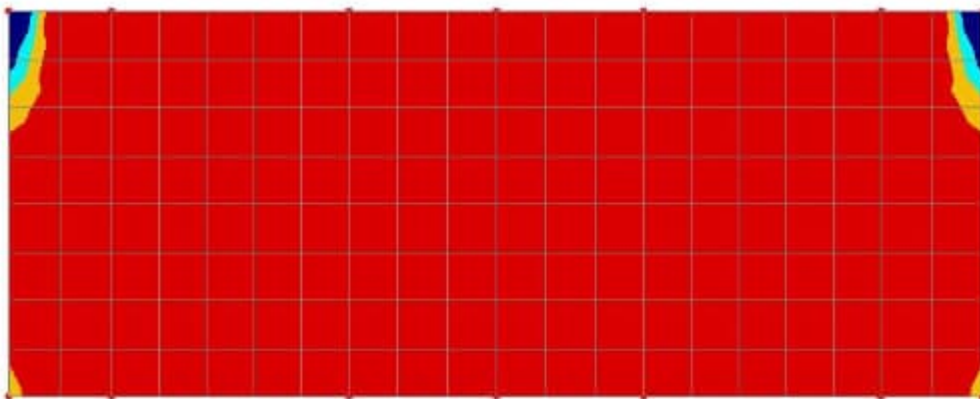
Maximum -11,3303 at node 782 (69.MRT 2 (Min))
Minimum -1,19854E3 at node 781 (65.MRT 0 (Min))



Enveloping on: Mx
KRT a (Min)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



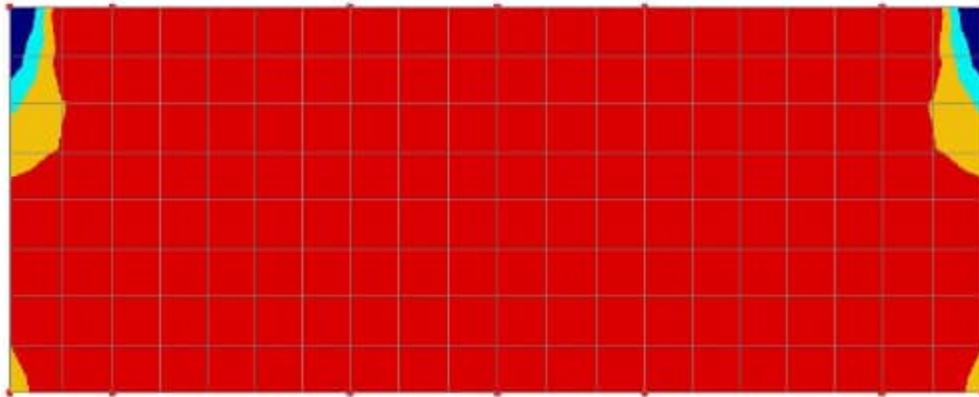
Maximum -4,57554 at node 782 (77.KRT 2a (Min))
Minimum -903,675 at node 781 (77.KRT 2a (Min))



Enveloping on: Mx
KRT b (Min)
Entity: Wood-Amer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



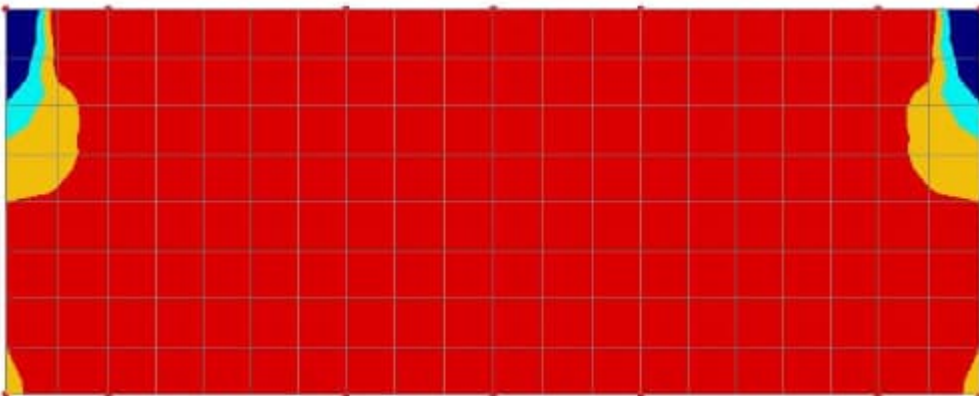
Maximum 0,0 at node 389 (B3.KRT 1b (Min))
Minimum -893,556 at node 761 (B3.KRT 1b (Min))



Enveloping on: Mx
KRT c (Min)
Entity: Wood-Amer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 372 (B9.KRT 1c (Min))
Minimum -887,808 at node 761 (B9.KRT 1c (Min))



Etumuurin taivutusmitoitus

Materiaaliarvot

Betoni	$C_{\text{wv}} = 30\text{MPa}$	Toteutusluokka = 3	Teräs	$f_{\text{yk}} = 500\text{MPa}$
	$\gamma_c = 1.35$			$\gamma_s = 1.1$
	$f_{\text{ck}} = 30\text{MPa}$	$f_{\text{ctm}} = 2.9\text{MPa}$		$f_{\text{yd}} = 455\text{MPa}$
	$f_{\text{cd}} = 18.9\text{MPa}$	$f_{\text{ctd}} = 1.5\text{MPa}$		$E_s = 200000\text{MPa}$
virumaluku	$\varphi = 1.81$			

Poikkileikkausarvot

Korkeus	$h = 950\text{mm}$	
Leveys	$b = 1000\text{mm}$	perusoletus 1 m kaistaleen mitoitus
Työteräs + poikkisuuntainen	$\phi_h = 10\text{mm} + 0\text{mm} = 10\text{mm}$	

Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{\text{nom}} = 40\text{mm}$	$k_{c1} = 1.4$
Sijaintitoleranssi	$\Delta c_{\text{dev}} = 5\text{mm}$	$k_{c2} = 1.4$
Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{\text{min.dur}} = 35\text{mm}$	
Raudoitteen todellinen betonipeite	$c_{\text{true}} = 50\text{mm}$	
Halkeilulaskennan betonipeite	$c = 49\text{mm}$	

Rasitukset

Murtotila	$M_d = 402\text{kNm}$
Käyttötila Ominais	$M_{\text{ko}} = 259\text{kNm}$
Käyttötila Tavallinen	$M_{\text{kt}} = 144\text{kNm}$
Käyttötila Pitkäaikainen	$M_{\text{kp}} = 105.5\text{kNm}$

Teräokset

$\phi_1 = 16\text{mm}$	$k_1 = 200\text{mm}$	$d_1 = 0\text{mm}$
$\phi_2 = 0\text{mm}$	$k_2 = 0\text{mm}$	$d_2 = 0\text{mm}$
$\phi_3 = 0\text{mm}$	$k_3 = 0\text{mm}$	$d_3 = 0\text{mm}$



Terästen keskimääräinen halkaisija $\phi_{\text{avg}} = 16\text{mm}$

Terästen kokonaispinta-ala: $A_{\text{stot}} = 1005\text{mm}^2$



Yliraudoituksen tarkastus

Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus

$$\beta_b = \frac{A_{stot}}{d \cdot b} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0.027 \leq 0,467$$

Raudoitus = "Poikkileikkaus ei ole yliraudoitettu"

Murtorajatilamitoitus

Betonipeite $c_{true} = 50 \text{ mm}$

Keskimääräinen teräs $\phi_1 = 16 \text{ mm}$

Tehollinen korkeus $d = 892 \text{ mm}$

Vaadittava teräsmäärä $A_{svaad} = 1005 \text{ mm}^2$

Murtorajatila = "OK!!"

Käyttöraajatilamitoitus

Betonipeite $c = 49 \text{ mm}$

Sallittu halkeamaleveys (käyttöikä 100 vuotta) $w_{ksall.0.t} = 0.20 \text{ mm}$

$w_{ksall.0.p} = 0.15 \text{ mm}$

Betonipeitteiden suhteella $w_{ksall.t} = 0.280 \text{ mm}$

korjattu halkeamaleveys $w_{ksall.p} = 0.210 \text{ mm}$

Tavallinen yhdistelmä

Pitkäaikainen yhdistelmä

Halkeilu

Teräsännitys $\sigma_{st} = 167 \text{ MPa}$

Raudoituksen venymä $\epsilon_{st} = 0.834 \text{ prom}$

Halkeamaleveys $w_{kt} = 0.280 \text{ mm}$

Sallittu arvo $w_{ksall.t} = 0.280 \text{ mm}$

Halkeamaleveys_t = "OK!"

Pitkäaikainen

$\sigma_{sp} = 125 \text{ MPa}$

$\epsilon_{sp} = 0.625 \text{ prom}$

$w_{kp} = 0.210 \text{ mm}$

$w_{ksall.p} = 0.210 \text{ mm}$

Halkeamaleveys_p = "OK!"

Jännitysten rajoittaminen (NCCI 2 s. 63)

▣ Ominaisyhdistelystä syntyvä suurin sallittu betonin puristusjännitys on $0.6f_{ck} = 18 \text{ MPa}$

Poikkileikkauksen sisäinen momenttivarsi: $z = 0.859 \text{ m}$

Betonin puristusjännitys: $\sigma_{c.ko} = 6.1 \text{ MPa}$

Raudoituksen jännitys ei saa ominaisyhdistelyllä ylittää arvoa $0.8f_{yk} = 400 \text{ MPa}$. Jos huomioidaan myös mahdolliset pakkovoimat on raja $1.0f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Teräs­jännitys ominaisyhdistelyllä: $\sigma_{s.ko} = 299.9 \text{ MPa}$

Jännitysten_rajoittaminen = "OK!"

Viruman huomiointi laskennassa

Betonin maksimijännitys pitkäaikaisyhdistelmällä

$\sigma_{cp} = 1.6 \text{ MPa}$

$0.45f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}$

Viruma= "voidaan huomioida lineaarisena."

Väsy­tysmitoitus (NCCI 2 s.60)

Väsy­tyskestävyys on riittävä, jos terästen jännitys ominaisyhdistelyllä on $< 300 \text{ MPa}$

Teräs­jännitys ominaisyhdistelyllä: $\sigma_{s.ko} = 299.9 \text{ MPa}$

Väsy­tyskestävyys = "on riittävä."

Vaakateräksset, aukon puoli

Teräksset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	778	kNm	
Ominaisyhdistelmä	501	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	374	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	272	kNm	

Teräksset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	588	kNm	
Ominaisyhdistelmä	378	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	235	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	172	kNm	

Teräksset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	395	kNm	
Ominaisyhdistelmä	254	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	119	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	87	kNm	

Enveloping on: My

KRT c (Min)

Entity: Wood-Armer - Thick Shell

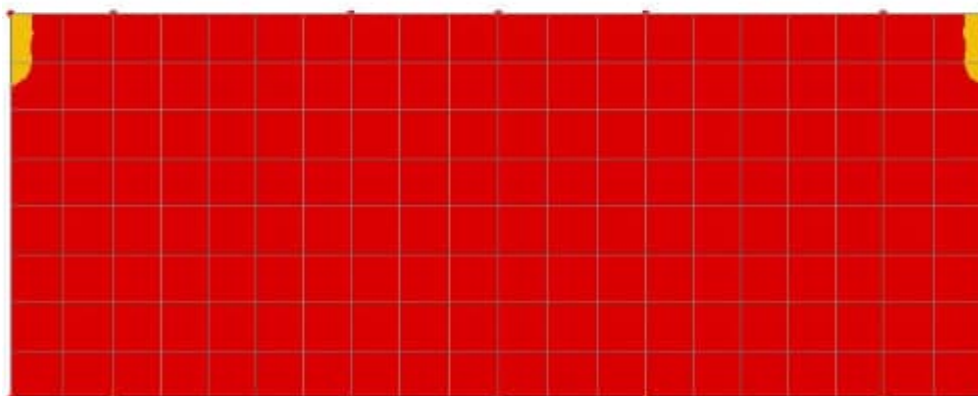
Transformation: Local

Component: My(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 355 (89.KRT 1c (Min))

Minimum -146,169 at node 761 (89.KRT 1c (Min))



Poikkileikkausarvot

Korkeus	950	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	10	mm
Poikkisuunta	16	mm
Työteräs + poikkisuunta	26	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c _{nom}	40	mm
Sijaintitoleranssi, Δc _{dev}	5	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, c _{min,dur}	35	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c _{true}	66	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, c _{min,dur}	35	mm

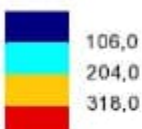
Pystyteräksset, penkereen puoli

Teräksset, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	793	kNm	
Ominaisyhdistelmä	511	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	438	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	318	kNm	

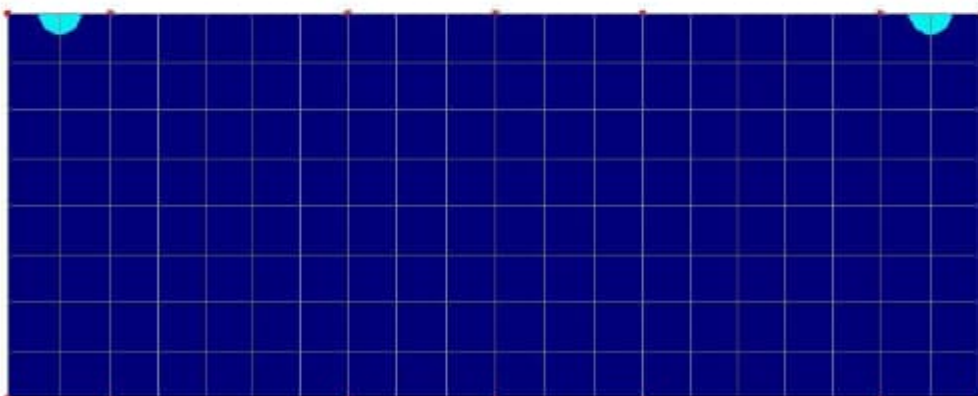
Teräksset, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	599	kNm	
Ominaisyhdistelmä	386	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	280	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	204	kNm	

Teräksset, pituussuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	402	kNm	
Ominaisyhdistelmä	259	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	144	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	106	kNm	

Enveloping on: Mx
 KRT c (Max)
 Entity: Wood-Armor - Thick Shell
 Transformation: Local
 Component: Mx(T) (Units: kN.m/m)



Maximum 186,751 at node 782 (88.KRT 1c (Max))
 Minimum 0,0 at node 253 (88.KRT 1c (Max))



Poikkileikkausarvot

Korkeus	950	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	10	mm
Poikkisuunta	0	mm
Työteräs + poikkisuunta	10	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, c _{nom}	40	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	5	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, c _{min,dur}	35	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, c _{true}	50	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, c _{min,dur}	35	mm

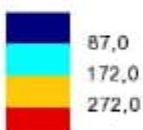
Vaakateräksset, penkereen puoli

Teräksset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	16	400	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	778	kNm	
Ominaisyhdistelmä	501	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	374	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	272	kNm	

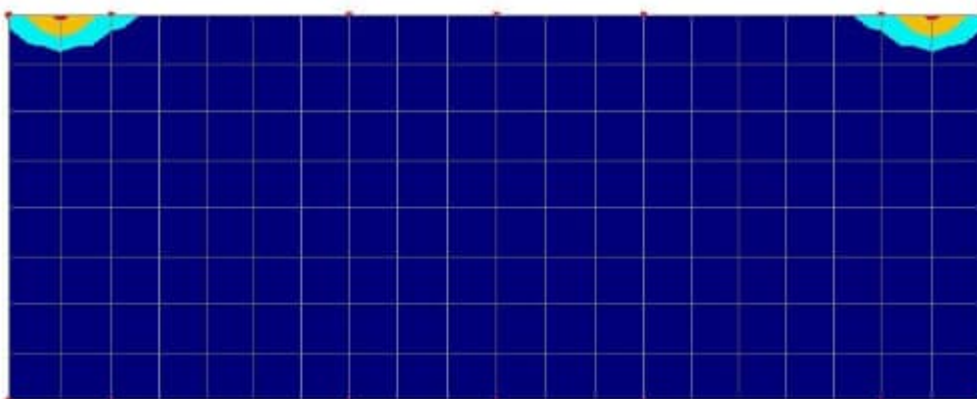
Teräksset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	16	400	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	588	kNm	
Ominaisyhdistelmä	378	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	235	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	172	kNm	

Teräksset, poikkisuunta alapinta	ϕ	k	d
	[mm]	[mm]	[mm]
Teräs 1	16	200	0
Teräs 2	0	0	0
Teräs 3	0	0	0
Momenttikestävyys			
Murtorajatila	395	kNm	
Ominaisyhdistelmä	254	kNm	
Tavallinen yhdistelmä	119	kNm	
Pitkäaikaisyhdistelmä	87	kNm	

Enveloping on: My
 KRT c (Max)
 Entity: Wood-Amer - Thick Shell
 Transformation: Local
 Component: My(T) (Units: kN.m/m)



Maximum 301,571 at node 782 (88.KRT 1c (Max))
 Minimum 0,0 at node 634 (88.KRT 1c (Max))



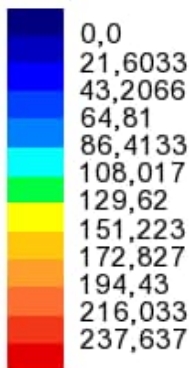
Poikkileikkausarvot

Korkeus	950	mm
Leveys	1000	mm
Työteräs	10	mm
Poikkisuunta	16	mm
Työteräs + poikkisuunta	26	mm
Betonipeitteen nimellisarvo, cnom	40	mm
Sijaintitoleranssi, Δc_{dev}	5	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, cmin.dur	35	mm
Raudoitteen todellinen betonipeite, ctrue	66	mm
Betonipeitteen vähimmäisarvo, cmin.dur	35	mm

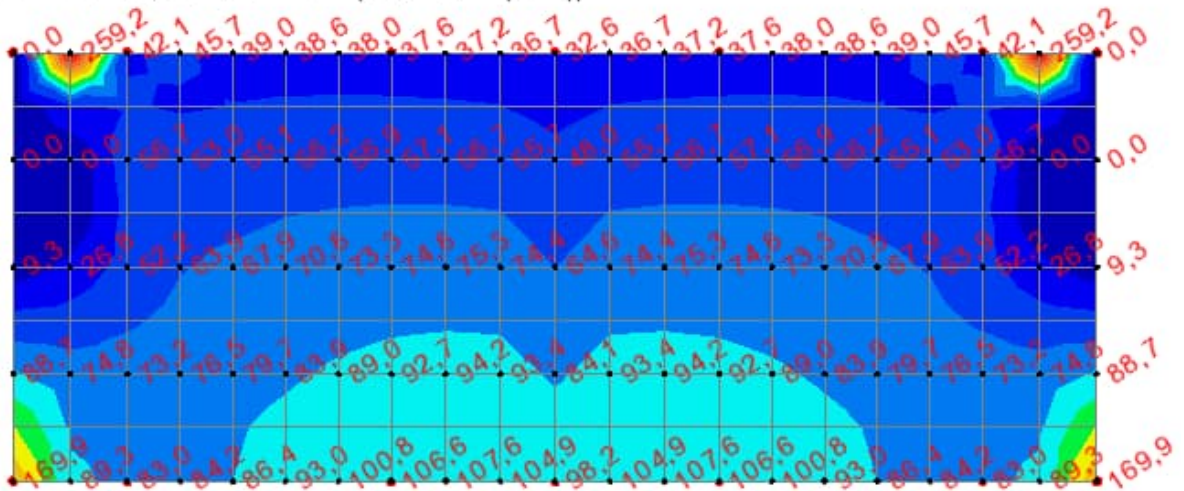
Ohessa on esitetty etumuurin murtorajatilan momentit rasiuskuvaajilla, joihin ei ole asetettu raudituksen kapasiteetteja näkyville. Näistä kuvaajista näkee paremmin pistemäiset rasitukset, jotka etumuurille tulevat mm. siipimuurista.

Tarkastellaan siipimuurin liitoskohdan rauditukset erikseen kohdassa "**A6.3.4 Siipimuurin mitoitus**".

Enveloping on: Mx
MRT (Max)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: Mx(T) (Units: kN.m/m)



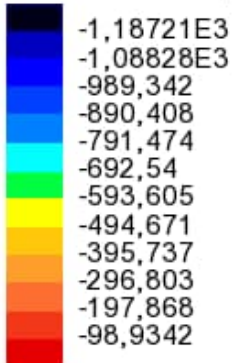
Maximum 259,24 at node 782 (68:MRT 2 (Max))
Minimum 0,0 at node 718 (68:MRT 2 (Max))



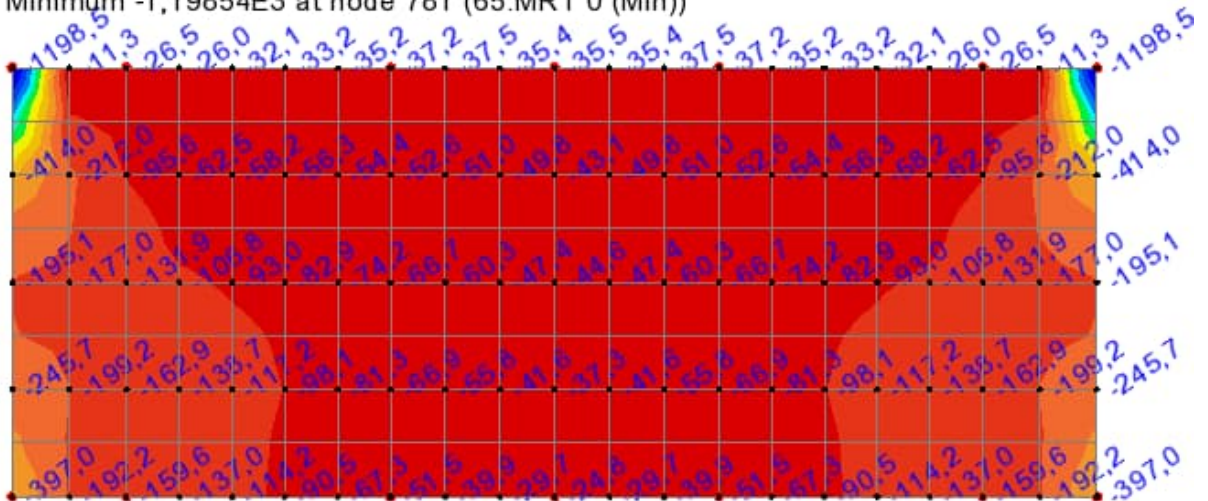
Siltasuunnittelu

Suunnitteli: Kimmo Kuusela
Tarkasti: Kimmo Julku30.12.2022
Kaakkumäenrasitin kls, Mäntsälä

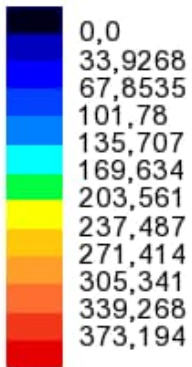
Enveloping on: Mx
MRT (Min)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: Mx(B) (Units: kN.m/m)



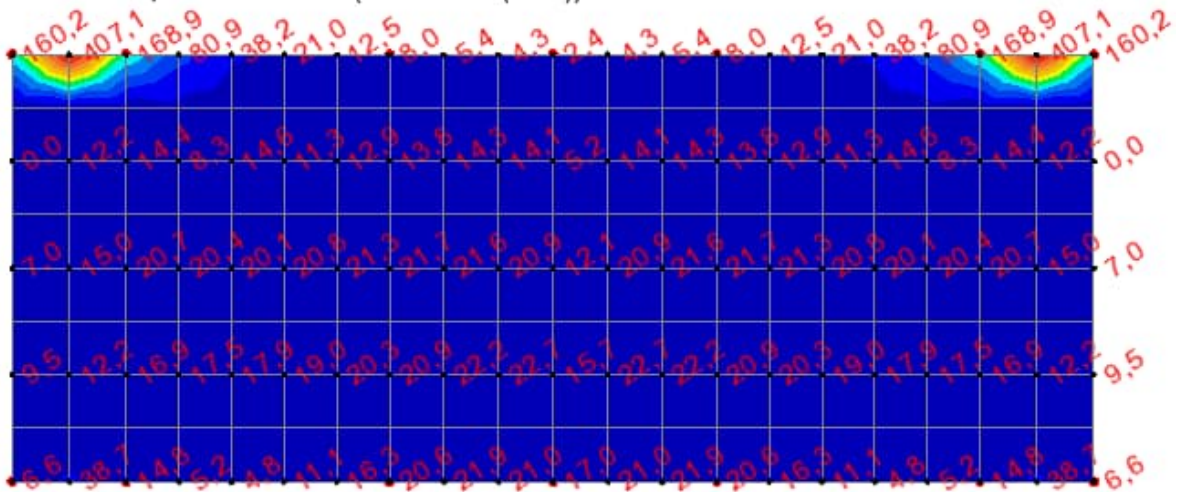
Maximum -11,3303 at node 782 (69:MRT 2 (Min))
Minimum -1,19854E3 at node 781 (65:MRT 0 (Min))



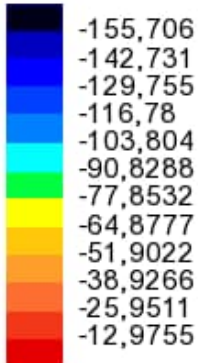
Enveloping on: My
MRT (Max)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: My(T) (Units: kN.m/m)



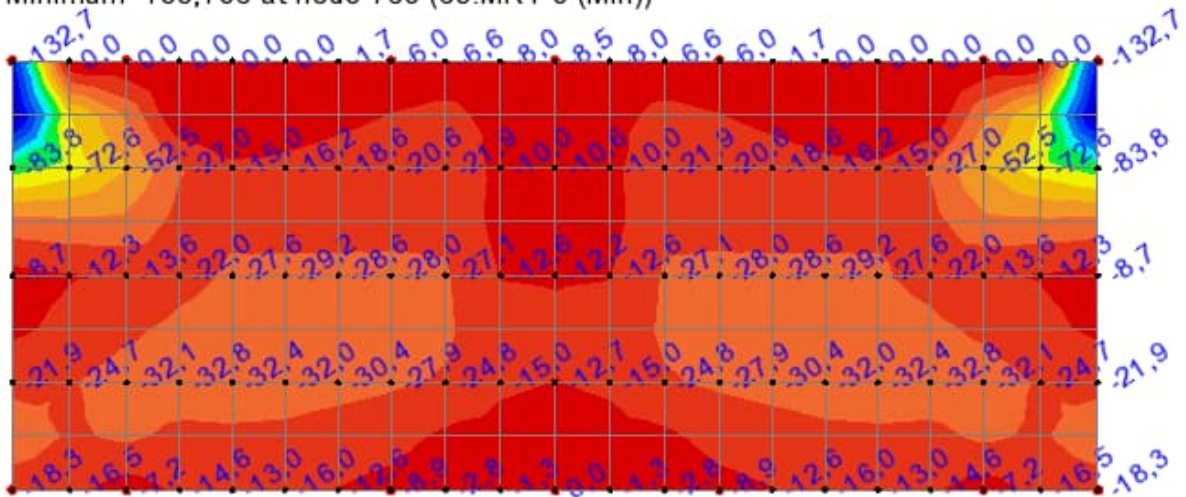
Maximum 407,121 at node 782 (64:MRT 0 (Max))
Minimum 0,0 at node 718 (70:MRT 3 (Max))



Enveloping on: My
MRT (Min)
Entity: Wood-Armer - Thick Shell
Transformation: Local
Component: My(B) (Units: kN.m/m)



Maximum 0,0 at node 423 (69:MRT 2 (Min))
Minimum -155,706 at node 760 (65:MRT 0 (Min))



A.6.3.3 Otsamuurin mitoitus

Raudoitukset, otsamuuri

Otsamuurin kaikki pinnat vähintään T12 k200

Poikkisuuntainen teräs asennetaan sisemmäksi.

Ks. myös siipimuurin mitoitus, jossa laskettu otsamuurin teräksiä siipimuurin kohdalla

Lähtötiedot

Otsamuurin paksuus

$$b_{\text{otsam}} = 300 \cdot \text{mm}$$

Otsamuurin korkeus

$$h_{\text{otsam}} = 1060 \cdot \text{mm}$$

Otsamuurin pituus

$$l_{\text{otsam}} = 3800 \cdot \text{mm}$$

Kuormat

Liikenteen vaakakuorma

$$F_{\text{jarru.otsam}} = 60 \text{ kN}$$

Liikenteen pystykuorma

$$F_{\text{liik.otsam}} = 100 \text{ kN}$$

Maan lepopaine / tiivistysläsä

$$p_{\text{tiiv}} = 16 \cdot \text{kPa}$$

Rasitusleveys

$$l_{\text{ras}} = 0.4 \text{ m} + 2 \cdot h_{\text{otsam}} = 2.52 \text{ m}$$

Epäkeskisyys

NCCI 2, 5.8

Otsamuurin nurjahduspituus

$$L_0 = 2.2h_{\text{otsam}} = 2.332 \cdot \text{m}$$

Poikkileikkauksesta:

$$e_{i,1} = \max\left(\frac{b_{\text{otsam}}}{30}, 20 \text{ mm}\right)$$

$$e_{i,1} = 20 \cdot \text{mm}$$

Pituudesta:

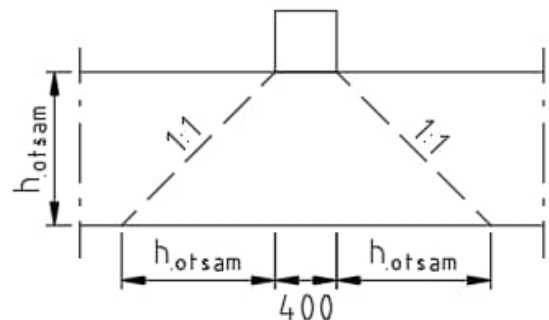
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L_0 \cdot \text{m}^{-1}}}$$

$$\alpha_h = \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{if } \alpha_h \leq \frac{2}{3} \\ 1 & \text{if } \alpha_h \geq 1 \\ \alpha_h & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha_h = 1$$

$$e_{i,2} = \alpha_h \cdot \frac{L_0}{400} \quad e_{i,2} = 6 \cdot \text{mm}$$

Perusepäkeskisyys:

$$e_i = e_{i,1} + e_{i,2} \quad e_i = 26 \cdot \text{mm}$$



Rasitukset

Momentit

$$M_{\text{jarru.otsam}} = \frac{F_{\text{jarru.otsam}} \cdot h_{\text{otsam}}}{l_{\text{ras}}}$$

$$M_{\text{jarru.otsam}} = 25.238 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{liik.otsam}} = \frac{F_{\text{liik.otsam}} \cdot e_i}{l_{\text{ras}}}$$

$$M_{\text{liik.otsam}} = 1.025 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{tiiv.otsam}} = p_{\text{tiiv}} \cdot \frac{h_{\text{otsam}}^2}{2}$$

$$M_{\text{tiiv.otsam}} = 8.989 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Leikkausvoimat

$$V_{\text{jarru.otsam}} = \frac{F_{\text{jarru.otsam}}}{l_{\text{ras}}}$$

$$V_{\text{jarru.otsam}} = 23.81 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{tiiv.otsam}} = p_{\text{tiiv}} \cdot h_{\text{otsam}}$$

$$V_{\text{tiiv.otsam}} = 16.96 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kuormitusyhdistelmät

$$M_{\text{MRT1}} = 1.25 \cdot M_{\text{tiiv.otsam}} + 1.35 \cdot M_{\text{jarru.otsam}} + 1.35 \cdot M_{\text{liik.otsam}}$$

$$M_{\text{MRT1}} = 46.7 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{KRT1a}} = 1.0 \cdot M_{\text{tiiv.otsam}} + 1.0 \cdot M_{\text{jarru.otsam}} + 1 \cdot M_{\text{liik.otsam}}$$

$$M_{\text{KRT1a}} = 35.3 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{KRT1b}} = 1.0 \cdot M_{\text{tiiv.otsam}} + 0.4 \cdot M_{\text{jarru.otsam}} + 0.4 \cdot M_{\text{liik.otsam}}$$

$$M_{\text{KRT1b}} = 19.5 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{KRT1c}} = 1.0 \cdot M_{\text{tiiv.otsam}}$$

$$M_{\text{KRT1c}} = 9 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{MRT3}} = 1.25 \cdot V_{\text{tiiv.otsam}} + 1.35 \cdot V_{\text{jarru.otsam}}$$

$$V_{\text{MRT3}} = 53.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Otsamuurin taivutusmitoitus

Materiaaliarvot

<input type="checkbox"/>	Betoni	$C_{\text{wv}} = 30 \text{ MPa}$	Toteutusluokka = 3	Teräs	$f_{\text{yk}} = 500 \text{ MPa}$
		$\gamma_c = 1.35$			$\gamma_s = 1.1$
		$f_{\text{ck}} = 30 \text{ MPa}$	$f_{\text{ctm}} = 2.9 \text{ MPa}$		$f_{\text{yd}} = 455 \text{ MPa}$
		$f_{\text{cd}} = 18.9 \text{ MPa}$	$f_{\text{ctd}} = 1.5 \text{ MPa}$		$E_s = 200000 \text{ MPa}$
	virumaluku	$\varphi = 1.81$			

Poikkileikkausarvot

Korkeus	$h = 300 \text{ mm}$	
Leveys	$b = 1000 \text{ mm}$	perusoletus 1 m kaistaleen mitoitus
Työteräs + poikkisuuntainen	$\phi_h = 10 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$	
Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{\text{nom}} = 40 \text{ mm}$	$k_{c1} = 1.4$
Sijaintitoleranssi	$\Delta c_{\text{dev}} = 5 \text{ mm}$	$k_{c2} = 1.4$
Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{\text{min.dur}} = 35 \text{ mm}$	
Raudoitteen todellinen betonipeite	$c_{\text{true}} = 50 \text{ mm}$	
Halkeilulaskennan betonipeite	$c = 49 \text{ mm}$	

Rasitukset

Murtotila	$M_d = 47 \text{ kNm}$
Käyttötila Ominais	$M_{ko} = 36 \text{ kNm}$
Käyttötila Tavallinen	$M_{kt} = 20 \text{ kNm}$
Käyttötila Pitkäaikainen	$M_{kp} = 9 \text{ kNm}$

Teräokset

<input type="checkbox"/>		$\phi_1 = 12 \text{ mm}$	$k_1 = 200 \text{ mm}$	$d_1 = 0 \text{ mm}$
		$\phi_2 = 0 \text{ mm}$	$k_2 = 0 \text{ mm}$	$d_2 = 0 \text{ mm}$
		$\phi_3 = 0 \text{ mm}$	$k_3 = 0 \text{ mm}$	$d_3 = 0 \text{ mm}$
<input type="checkbox"/>	Terästen keskimääräinen halkaisija	$\phi_{\text{avg}} = 12 \text{ mm}$		
<input type="checkbox"/>	Terästen kokonaispinta-ala:	$A_{\text{stot}} = 565 \text{ mm}^2$		

Yliraudoituksen tarkastus

Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus

$$\beta_b = \frac{A_{stot}}{d \cdot b} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0.056 \leq 0,467$$

Raudoitus = "Poikkileikkaus ei ole yliraudoitettu"

Murtorajatilamitoitus

Betonipeite $c_{true} = 50 \text{ mm}$

Keskimääräinen teräs $\phi_1 = 12 \text{ mm}$

Tehollinen korkeus $d = 244 \text{ mm}$

Vaadittava teräsmäärä $A_{svaad} = 433 \text{ mm}^2$

Murtorajatila = "OK!!"

Käyttörajatilamitoitus

Betonipeite $c = 49 \text{ mm}$

Sallittu halkeamaleveys (käyttöikä 100 vuotta) $w_{ksall.0.t} = 0.20 \text{ mm}$

$w_{ksall.0.p} = 0.15 \text{ mm}$

Betonipeitteiden suhteella $w_{ksall.t} = 0.280 \text{ mm}$

korjattu halkeamaleveys $w_{ksall.p} = 0.210 \text{ mm}$

Tavallinen yhdistelmä

Pitkäaikainen yhdistelmä

Halkeilu

Teräsännitys $\sigma_{st} = 153 \text{ MPa}$

Raudoituksen venymä $\epsilon_{st} = 0.764 \text{ prom}$

Halkeamaleveys $w_{kt} = 0.221 \text{ mm}$

Sallittu arvo $w_{ksall.t} = 0.280 \text{ mm}$

Halkeamaleveys_t = "OK!"

Pitkäaikainen

$\sigma_{sp} = 71 \text{ MPa}$

$\epsilon_{sp} = 0.355 \text{ prom}$

$w_{kp} = 0.097 \text{ mm}$

$w_{ksall.p} = 0.210 \text{ mm}$

Halkeamaleveys_p = "OK!"

Jännitysten rajoittaminen (NCCI 2 s. 63)

▣ Ominaisyhdistelystä syntyvä suurin sallittu betonin puristusjännitys on $0.6f_{ck} = 18 \text{ MPa}$

Poikkileikkauksen sisäinen momenttivarsi: $z = 0.231 \text{ m}$

Betonin puristusjännitys: $\sigma_{c.ko} = 8.3 \text{ MPa}$

Raudoituksen jännitys ei saa ominaisyhdistelyllä ylittää arvoa $0.8f_{yk} = 400 \text{ MPa}$. Jos huomioidaan myös mahdolliset pakkovoimat on raja $1.0f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Teräs­jännitys ominaisyhdistelyllä: $\sigma_{s.ko} = 275.1 \text{ MPa}$

Viruman huomiointi laskennassa

Jännitysten_rajoittaminen = "OK!"

Betonin maksimijännitys pitkäaikaisyhdistelmällä

$\sigma_{cp} = 1.3 \text{ MPa}$

$0.45f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}$

Viruma= "voidaan huomioida lineaarisena."

Väsy­mitoitus (NCCI 2 s.60)

Väsy­kestävyys on riittävä, jos terästen jännitys ominaisyhdistelyllä on $< 300 \text{ MPa}$

Teräs­jännitys ominaisyhdistelyllä: $\sigma_{s.ko} = 275.1 \text{ MPa}$

Väsy­kestävyys = "on riittävä."

Otsamuurin leikkausmitoitus

Materiaaliarvot

Betoni $C_{\text{wv}} = 30\text{MPa}$ Toteutusluokka = 3 Teräs $f_{\text{yk}} = 500\text{MPa}$



$$\gamma_c = 1.35$$

$$\gamma_s = 1.1$$

$$f_{\text{ck}} = 30\text{MPa}$$

$$f_{\text{ctm}} = 3\text{MPa}$$

$$f_{\text{yd}} = 455\text{MPa}$$

$$f_{\text{cd}} = 18.9\text{MPa}$$

$$f_{\text{ctd}} = 1.5\text{MPa}$$

Poikkileikkausarvot

Korkeus $h = 300\text{mm}$

Uuman leveys $b_w = 1000\text{mm}$

Suojabet.peite $c_b = 40\text{mm}$

Työteräkset $\phi_h = 0\text{mm}$

Pääraudoitus $\phi_x = 12\text{mm}$ $k_x = 200\text{mm}$ $n_x = 0$

Jakoraudoitus $\phi_y = 12\text{mm}$ $k_y = 200\text{mm}$

Leikkausrasitus

Leikkausrasitus $V_d = 54\text{kN}$



Leikkausraudoittamaton rakenne

Tehollinen korkeus $d = 248\text{mm}$ ($d = \sqrt{d_x \cdot d_y}$)

d:stä riippuva kerroin $k = 1.35$

Raudoitussuhde $\rho = 0.0023$ ($\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}$)

Leikkauskapasiteetti $V_{c0} = 0.3 \cdot k \cdot (1 + 50\rho) \cdot f_{\text{ctd}} \cdot b_w \cdot d$

$$V_{c0} = 168\text{kN}$$

A.6.3.4 Siipimuurin mitoitus

Siipimuurien kestävyys tarkastellaan siiven sisäpinnan teräksille. Muut pinnat lasketaan minimiraudoitukselle.

Raudotukset, siipimuri

Siipimuri

- Sisäpinta D16k200 (penkereen puoli)
- Muut pinnat D12k200

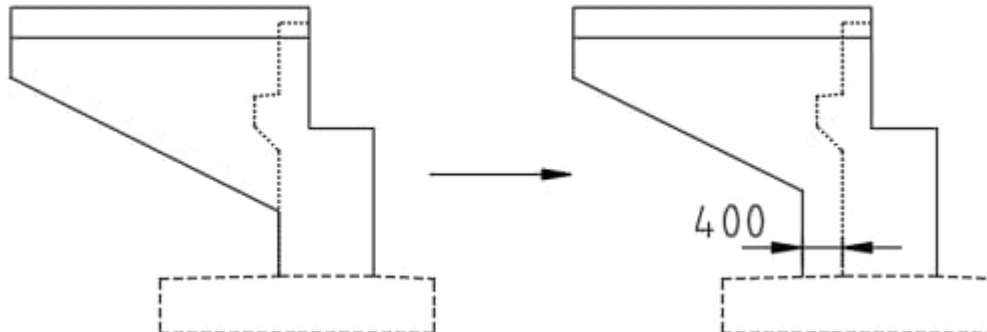
Poikisuuntainen teräs asennetaan sisemmäksi.

- Siipimuurin ala- ja pystypintoihin asennetaan lisäksi kaksi (2) pieliterästä D12 sekä
- Sisänurkkaan vedetyn nurkan vinolisäraudoite T16 k150 (NCCI 2 5/2022 Kuva 9.2)

Otsamuurin ja siipimuurin liitos

- Pystypinta D16k100 (aukon puoli) noin 0,5 m matkalle + D16k200 penkereen puoli

Siipimuurin muotoa tarkennettiin siipimuurin mitoituksen yhteydessä, jotta rasitukset saatiin selkeämmin hallintaan. Muutos pysyviin kuormiin on sen verran pieni, ettei sitä ole päivitetty muualle laskelmiin.



SIIPIMUURIN MITOITUS

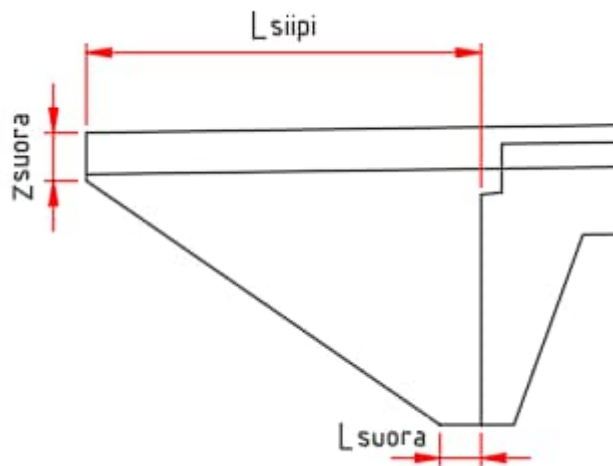
Siipimuurin mitat

Tehdään mitoitus siipimuurin juuressa

Siipimuurin pituus $L_{\text{siipi}} := 2.3\text{m}$

alaosan suoran osan pituus $L_{\text{suora}} := 0\text{mm}$

Pystysuoran osuuden korkeus siipimuurin yläosassa $z_{\text{suora}} := 700\text{mm} - 150\text{mm} = 550\text{mm}$

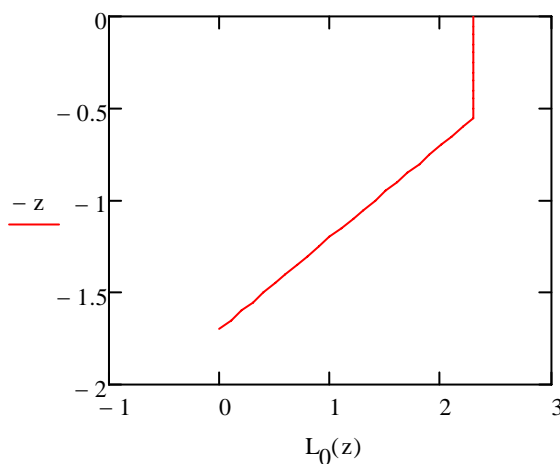


Siipimuurin alareuna kaltevuus (1/kaltevuus) $\text{kaltevuus} := 2.0$

Siiven kokonaiskorkeus $z_{\text{max}} := z_{\text{suora}} + \frac{L_{\text{siipi}}}{\text{kaltevuus}} = 1.7\text{m}$ $z := 0\text{m}, 0.05\text{m}.. z_{\text{max}}$

Siipimuurin pituuden funktio

$$L_0(z) := \begin{cases} L_{\text{siipi}} & \text{if } z < z_{\text{suora}} \\ \left[L_{\text{siipi}} + \frac{L_{\text{siipi}} - L_{\text{suora}}}{z_{\text{suora}} - z_{\text{max}}} \cdot (z - z_{\text{suora}}) \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$



Pinta-ala

$$A_{\text{siipi}} := \int_{0\text{m}}^{z_{\text{max}}} L_0(z) dz = 2.587\text{m}^2$$

Penkereen kitkakulma

$$\phi_0 := 38^\circ$$

tilavuuspaino

$$\gamma_{\text{pengeri}} := 21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

 Lepopainekerroin $K_0 := 1 - \sin(\phi_0) = 0.384$

 Lepopaine syvyyden z funktiona

Lepopaine

Tiivistyslisä

$$p_L(z) := \gamma_{\text{pengeri}} \cdot K_0 \cdot z$$

$$p_T(z) := \begin{cases} \left(32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot z \right) & \text{if } z < 0.5\text{m} \\ 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Maanpaine siipimuurille

 Käyttörajatilassa $p_k(z) := \max(1.0 p_L(z), 1.0 p_T(z))$

 Murtorajatilassa $p_d(z) := \max(1.25 p_L(z), 1.25 p_T(z))$

Maanpaineen resultantti käyttö- ja murtorajatilassa

$$F_{R,k} := \int_{0\text{m}}^{z_{\text{max}}} p_k(z) \cdot L_0(z) dz = 32.2 \text{ kN}$$

$$F_{R,d} := \int_{0\text{m}}^{z_{\text{max}}} p_d(z) \cdot L_0(z) dz = 40.25 \text{ kN}$$

 Käyttörajatilassa $m_{k,p}(z) := \frac{(L_0(z))^2}{2} \cdot p_k(z)$

 Murtorajatilassa $m_{d,p}(z) := \frac{(L_0(z))^2}{2} \cdot p_d(z)$

Liikennekuorman aiheuttama maanpaine

Tasainen liikennekuorman pintakuorma yhdellä 3 m kaistalla. Lasketaan resultanttina koko siipimuurin pituudelle, siten että 40 kN/m^2 tulee aina huomioitua ja loppuosuus. Tämä pienentää rasiitusta siivillä, joiden pituus on yli 5,0 m.

$$q_{LM} := \frac{\min(L_{\text{siipi}}, 5\text{m}) \cdot 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + \max(L_{\text{siipi}} - 5\text{m}, 0) \cdot 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{L_{\text{siipi}}} = 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Keuyen liikenteen silloissa voidaan 40 kN/m^2 pienentää 16 kN/m^2 .

$$q_{LM} := \frac{\min(L_{\text{siipi}}, 5\text{m}) \cdot 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + \max(L_{\text{siipi}} - 5\text{m}, 0) \cdot 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{L_{\text{siipi}}} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

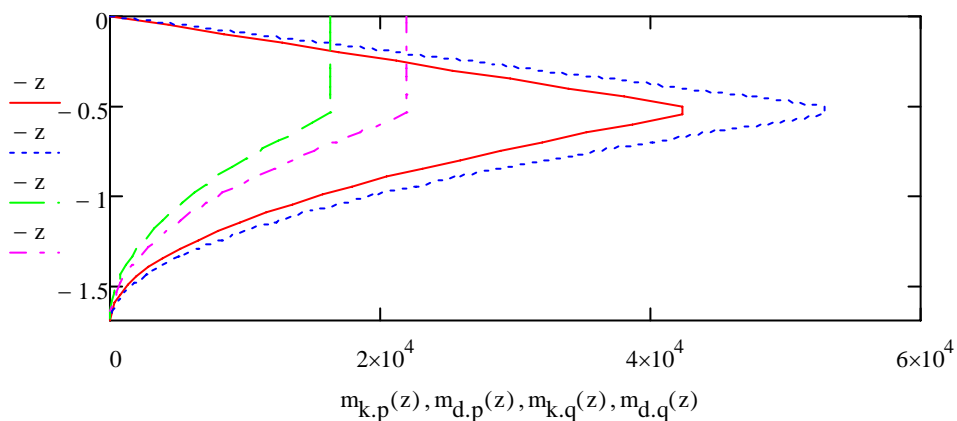
Maanpaine $g_q := q_{LM} \cdot K_0 = 6.149 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Resultantti $p_{d,q}(z) := L_0(z) \cdot (1.35 g_q)$

Taivutusmomentti siipimuurin tyvessä pintakuormasta (liikennekuorma)

Käyttörajatilassa $m_{k,q}(z) := \frac{(L_0(z))^2}{2} \cdot (1.0 g_q)$

Murtorajatilassa $m_{d,q}(z) := \frac{(L_0(z))^2}{2} \cdot (1.35 g_q)$



TAIVUTUSMOMENTTIEN YHDISTELY

Käyttörajatilassa

$$m_{R.k}(z_0, z) := \int_{z_0}^z m_{k.p}(z) + m_{k.q}(z) dz$$

$$m_{R.k.pitkä}(z_0, z) := \int_{z_0}^z m_{k.p}(z) dz$$

Resultantit

$$m_{R.k}(0m, z_{max}) = 44.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$m_{R.k.pitkä}(0m, z_{max}) = 28.919 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$m_{R.d}(0m, z_{max}) = 56.643 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Leikkausvoima

$$V_d(Z) := \int_Z^{Z+1m} p_d(z) \cdot L_0(z) + p_{d.q}(z) dz$$

Murtorajatilassa

$$m_{R.d}(z_0, z) := \int_{z_0}^z m_{d.p}(z) + m_{d.q}(z) dz$$

Käytetään mitoituksessa 1 m levyisen kaistaleen maksimimomenttia.
 Suurin momentti on haettu siipimuurin yläreunasta, jossa rakenteen pituus on suurin.

$$M_{kt}(Z) := m_{R.k}(Z, Z + 1m)$$

$$M_{kp}(Z) := m_{R.k.pitkä}(Z, Z + 1m)$$

$M_{kt.apu} :=$	⎧	$M_{kt}(0)$			⎫	=	⎡			⎣	·kNm
		$M_{kt}(100mm)$						0			
		$M_{kt}(200mm)$						0	39		
		$M_{kt}(300mm)$						1	39		
		$M_{kt}(400mm)$						2	37		
		$M_{kt}(500mm)$						3	34		
		$M_{kt}(600mm)$						4	30		
		$M_{kt}(700mm)$						5	25		
		$M_{kt}(800mm)$						6	20		
		$M_{kt}(900mm)$						7	15		
$M_{kp.apu} :=$	⎧	$M_{kp}(0)$			⎫	=	⎡			⎣	·kNm
		$M_{kp}(100mm)$						0	25		
		$M_{kp}(200mm)$						1	26		
		$M_{kp}(300mm)$						2	26		
		$M_{kp}(400mm)$						3	24		
		$M_{kp}(500mm)$						4	22		
		$M_{kp}(600mm)$						5	18		
		$M_{kp}(700mm)$						6	14		
		$M_{kp}(800mm)$						7	11		
		$M_{kp}(900mm)$						8	8		

$$M_{Ed}(Z) := m_{R.d}(Z, Z + 1m)$$

$$M_{\text{mrt.apu}} := \begin{pmatrix} M_{\text{Ed}}(0) \\ M_{\text{Ed}}(100\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(200\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(300\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(400\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(500\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(600\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(700\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(800\text{mm}) \\ M_{\text{Ed}}(900\text{mm}) \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 50 \\ \hline 1 & 50 \\ \hline 2 & 48 \\ \hline 3 & 44 \\ \hline 4 & 39 \\ \hline 5 & 32 \\ \hline 6 & 25 \\ \hline 7 & 19 \\ \hline 8 & 14 \\ \hline 9 & 10 \\ \hline \end{array} \cdot \text{kNm}$$

$$V_{\text{d.apu}} := \begin{pmatrix} V_{\text{d}}(0) \\ V_{\text{d}}(100\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(200\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(300\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(400\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(500\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(600\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(700\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(800\text{mm}) \\ V_{\text{d}}(900\text{mm}) \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 48 \\ \hline 1 & 49 \\ \hline 2 & 49 \\ \hline 3 & 47 \\ \hline 4 & 44 \\ \hline 5 & 40 \\ \hline 6 & 34 \\ \hline 7 & 28 \\ \hline 8 & 23 \\ \hline 9 & 17 \\ \hline \end{array} \cdot \text{kN}$$

Mitoituskuorma (KRT) $M_{\text{kt}} := \max(M_{\text{kt.apu}}) = 39.035 \text{ kNm}$

$M_{\text{kp}} := \max(M_{\text{kp.apu}}) = 26.191 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Mitoituskuorma (MRT) $M_{\text{Ed}} := \max(M_{\text{mrt.apu}}) = 50.171 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Leikkausvoima $V_{\text{d}} := \max(V_{\text{d.apu}}) = 49.172 \text{ kN}$

Materiaaliarvot

Betoni	$C := 30\text{MPa}$	Toteutusluokka := 3	Teräs	$f_{yk} := 500\text{MPa}$
$\gamma_c := \begin{cases} 1.35 & \text{if Toteutusluokka} = 3 \\ 1.5 & \text{if Toteutusluokka} = 2 \end{cases} \quad \gamma_s := \begin{cases} 1.10 & \text{if Toteutusluokka} = 3 \\ 1.15 & \text{if Toteutusluokka} = 2 \end{cases}$				
$f_{cm} := C + 8\text{MPa} = 38\text{MPa}$				
$f_{ck} := C = 30\text{MPa}$				
$f_{cd} := 0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad E_{cm} := 22 \cdot \left[\frac{\left(\frac{f_{cm}}{\text{MPa}} \right)^{-0.3}}{10} \right] \text{GPa} \quad E_{cm} = 32837\text{MPa}$				
Aksiaalinen vetolujuus	$f_{ctm} := 0.3 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \text{MPa}$		$f_{ctm} = 2.896\text{MPa}$	
Taivutusvetolujuus	$f_{ctm.fl} := \max \left[\left(1.6 - \frac{h}{1000\text{mm}} \right) f_{ctm}, f_{ctm} \right]$		$f_{ctm.fl} = 3.765\text{MPa}$	
	$f_{ctk.0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm}$		$f_{ctd} := 1.0 \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c}$	
<hr/>				
Osavarmuusluvut	$\gamma_c = 1.35$		$\gamma_s = 1.1$	
	$f_{ck} = 30\text{MPa}$	$f_{ctm} = 2.9\text{MPa}$	$f_{yd} = 455\text{MPa}$	
	$f_{cd} = 18.9\text{MPa}$	$f_{ctd} = 1.5\text{MPa}$	$E_s := 200000\text{MPa}$	
Murtopuristuma	$\varepsilon_{cu3} := 0.0035$	Murtovenymä	$\varepsilon_{ud} := 0.010$	

Poikkileikkausarvot

Korkeus	$h = 300\text{mm}$	
Leveys	$b := 1000\text{mm}$	
Työteräs + poikkisuuntainen	$\phi_h := 10\text{mm} + 12\text{mm} = 22\text{mm}$	
Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{nom} := 40\text{mm}$	$k_{c1} := 1.4$
Sijaintitoleranssi	$\Delta c_{dev} := 5\text{mm}$	$k_{c2} := 1.4$
Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{min.dur} := c_{nom} - \Delta c_{dev} = 35\text{mm}$	
Raudoitteen todellinen betonipeite	$c_{true} := c_{nom} + \phi_h = 62\text{mm}$	
Halkeilulaskennan betonipeite	$c := \min(c_{true}, k_{c1} \cdot c_{min.dur}, 50\text{mm}) = 49\text{mm}$	

Teräokset

etäisyydet uloimpaan teräsriiviin

$$\phi_1 := 16\text{mm}$$

$$kk_1 := 200\text{mm}$$

$$d_1 := 0\text{mm}$$

$$\phi_2 := 0\text{mm}$$

$$kk_2 := 0\text{mm}$$

$$d_2 := 0\text{mm}$$

$$\phi_3 := 0\text{mm}$$

$$kk_3 := 0\text{mm}$$

$$d_3 := 0\text{mm}$$



Terästen keskimääräinen halkaisija: $\phi_{\text{avg}} = 16\text{mm}$

Terästen kokonaispinta-ala: $A_{\text{stot}} = 1005\text{mm}^2$

Tehollinen korkeus terästen painopisteeseen $d := h - c_{\text{true}} - 0.5\phi_1 - d_{\text{avg}} = 230.0\text{mm}$

Tehollinen korkeus pintaa lähinnä oleviin teräksiin $d_0 := h - c_{\text{true}} - 0.5\phi_1 = 230\text{mm}$

Raudoituksen vetovoima $N_s := A_{\text{stot}} \cdot f_{\text{yd}} = 456.959\text{kN}$

Tehollinen puristuspuinnan korkeus $y := \frac{N_s}{b \cdot f_{\text{cd}}} = 24.192\text{mm}$

Puristuspuinnan korkeus $x := \frac{y}{0.8} = 30.24\text{mm}$

Raudoituksen venymä murtorajatilassa $\epsilon_s := 0.005$

Venymän on täytettävä ehto $\epsilon_{\text{uk}} := 0.005 < \epsilon_s < \epsilon_{\text{ud}} = 0.01$

$$\text{Venymäehto}_1 = \text{"OK"}$$

Betonin puristuma murtorajatilassa $\epsilon_c := \frac{x}{d_0 - x} \cdot \epsilon_s = 0.000757 < \epsilon_{\text{cu3}} = 3.5 \times 10^{-3}$ OK

$$\text{Venymäehto}_2 = \text{"OK"}$$

Betonin puristusvoima $N_c := 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{\text{cd}} = 456.959\text{kN}$

Sisäinen momenttivarsi $z := d - 0.5 \cdot y = 217.904\text{mm}$

Taivutusmomenttikapasiteetti $M_{\text{Rd}} := N_c \cdot z = 100\text{kN}\cdot\text{m}$

Käyttöaste

$$\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}}} = 50\%$$

Käyttörajatilamitoitus

 Betonipeite halkeamalaskennassa $c = 49\text{ mm}$

 Sallittu halkeamaleveys
 (käyttöikä 100 vuotta)

$$w_{ksall.0.t} := 0.20\text{ mm}$$

Tavallinen yhdistelmä

$$w_{ksall.0.p} := 0.15\text{ mm}$$

Pitkäaikainen yhdistelmä

 Betonipeitteiden suhteella
 korjattu halkeamaleveys

$$w_{ksall.t} = 0.280\text{ mm}$$

Tavallinen yhdistelmä

$$w_{ksall.p} = 0.210\text{ mm}$$

Pitkäaikainen yhdistelmä

Halkeilu


Tavallinen

Pitkäaikainen

Teräsjäännitys

$$\sigma_{st} = 181\text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp} = 122\text{ MPa}$$

Raudoituksen venymä

$$\varepsilon_{st} = 0.906\text{ prom}$$

$$\varepsilon_{sp} = 0.608\text{ prom}$$

Halkeamaleveys

$$w_{kt} = 0.215\text{ mm}$$

$$w_{kp} = 0.144\text{ mm}$$

Sallittu arvo

$$w_{ksall.t} = 0.280\text{ mm}$$

$$w_{ksall.p} = 0.210\text{ mm}$$

$$\text{Halkeamaleveys}_t = \text{"OK!"}$$

$$\text{Halkeamaleveys}_p = \text{"OK!"}$$

Leikkausmitoitus

Materiaaliarvot

Betoni

$$C = 30\text{ MPa}$$

Toteutusluokka = 3

Teräs

$$f_{yk} = 500\text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1.35$$

$$\gamma_s = 1.1$$

$$f_{ck} = 30\text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2.896\text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 455\text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 18.9\text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1.5\text{ MPa}$$

Poikkileikkausarvot

Korkeus

$$h = 0.3\text{ m}$$

Uuman leveys

$$b_w := 1000\text{ mm}$$

Suojabet.peite

$$c_b := c_{nom} = 40\text{ mm}$$

Työteräs + poikkisuuntainen

$$\phi_h = 0.022\text{ m}$$

Pääraudoituksen kokonaismäärä

$$A_{stot} = 1.005 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$k := \text{if}[(1.6\text{ m} - d) > 0.8\text{ m}, 1.6\text{ m} - d, 0.8\text{ m}] \cdot \text{m}^{-1}$$

Leikkausrasitus

Leikkausrasitus

$$V_d = 49.172\text{ kN}$$

Leikkausraudoittamaton rakenne

Tehollinen korkeus $d = 230 \text{ mm}$

d:stä riippuva kerroin $k = 1.37$

Raudoitussuhde $\rho = 0.0044$

Leikkaukspasiteetti $V_{c0} := 0.3 \cdot k \cdot (1 + 50\rho) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$

$$V_{c0} = 173 \text{ kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{V_d}{V_{c0}} = 28 \%$$

Siipimuurin kestävyys pystykuormille

Siipimuuria rasittaa LM2-pyöräkuorma siipimuurin päässä ja omapaino. Tarkastetaan kestävyys murtorajatilassa (NCCI 2:n mukaisesti)

Siipimuurin korkeuden funktio

Siipimuurin pystykuorman painopisteen etäisyys siipimuuri alusta.

$$L_{pp} := \frac{0.5L_{siipi}^2 \cdot z_{suora} + 0.5L_{siipi} \cdot (z_{max} - z_{suora}) \cdot \left(\frac{L_{siipi} + 2 \cdot L_{suora}}{3} \right) + 0.5L_{suora}^2 \cdot (z_{max} - z_{suora})}{A_{siipi}}$$

$$L_{pp} = 0.954 \text{ m}$$

Siipimuurin koikonaispaino $g_{siipi} := A_{siipi} \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 19 \text{ kN}$

$$m_{siipi} := L_{pp} \cdot g_{siipi} = 19 \text{ kNm}$$

Kaiteen paino

$$g_{kaide} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$m_{kaide} := 0.5 \cdot L_{siipi}^2 \cdot g_{kaide} = 1 \text{ kNm}$$

Pyöräkuorma LM2

$$LM2_{\text{pyörä}} := 200 \text{ kN}$$

Keven liikenteen silloissa LM2 kuorma korvataan huoltoajoneuvolla, jonka telikuorma on suurimmillaan 160 kN, pyöräkuorma on täten 80 kN.

$$LM2_{\text{pyörä}} := 80 \text{ kN}$$

$$m_{LM2} := L_{\text{siipi}} \cdot LM2_{\text{pyörä}} = 184 \text{ kNm}$$

Murtorajatilan momentti:

$$m_{d,\text{siipi}} := 1.35 \cdot m_{LM2} + 1.25 \cdot (m_{\text{siipi}} + m_{\text{kaide}}) = 273 \text{ kNm}$$

Poikkileikkausarvot

Leveys

$$b := h = 0.3 \text{ m}$$

Korkeus

$$h := z_{\text{max}} - 200 \text{ mm} = 1.5 \text{ m}$$

Työteräs + poikkisuuntainen

$$\phi_{\text{hw}} := 10 \text{ mm} + 12 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$$

Betonipeitteen nimellisarvo

$$c_{\text{nom}} := 45 \text{ mm}$$

Sijaintitoleranssi

$$\Delta c_{\text{dev}} := 5 \text{ mm}$$

Betonipeitteen vähimmäisarvo

$$c_{\text{min,dur}} := c_{\text{nom}} - \Delta c_{\text{dev}} = 40 \text{ mm}$$

Raudoitteen todellinen betonipeite

$$c_{\text{true}} := c_{\text{nom}} + \phi_h = 67 \text{ mm}$$

Halkeilulaskennan betonipeite

$$c := \min(c_{\text{true}}, k_{c1} \cdot c_{\text{min,dur}}, 50 \text{ mm}) = 50 \text{ mm}$$

Teräokset

$$\phi_5 := 16 \text{ mm}$$

$$kpl_5 := 2$$

$$d_5 := 0 \text{ mm}$$

$$\phi_6 := 16 \text{ mm}$$

$$kpl_6 := 1$$

$$d_6 := 300 \text{ mm}$$

$$\phi_7 := 0 \text{ mm}$$

$$kpl_7 := 0$$

$$d_7 := 0 \text{ mm}$$

Tässä käytetty reunapalkin teräksiä.



Terästen keskimääräinen halkaisija:

$$\phi_{\text{avg}} = 16 \text{ mm}$$

Terästen kokonaispinta-ala:

$$A_{\text{stot}} = 603 \text{ mm}^2$$

Tehollinen korkeus terästen painopisteeseen

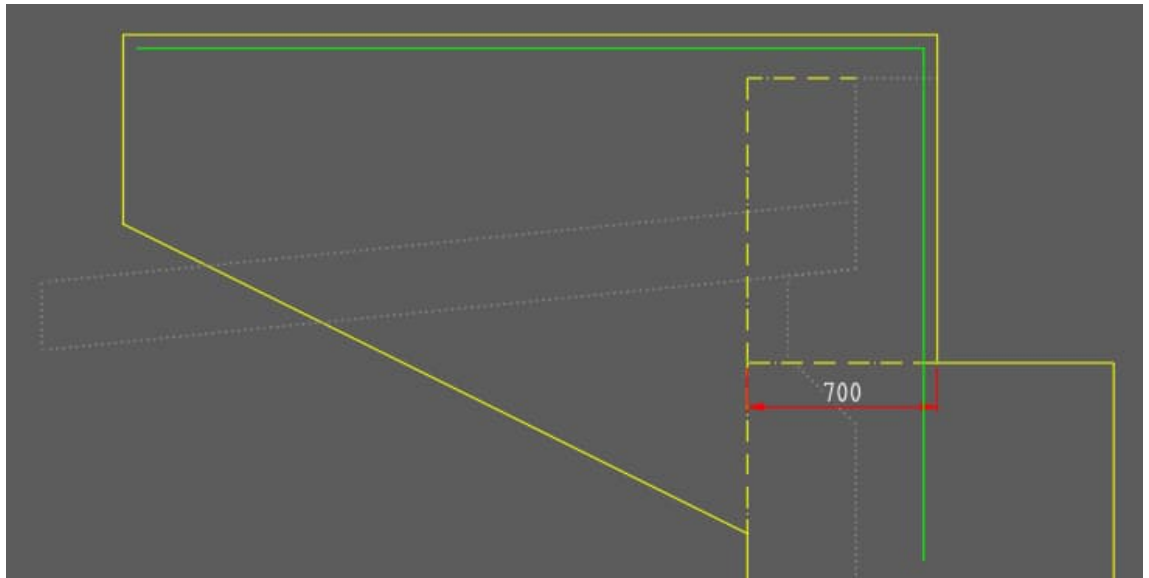
$$d := h - c_{\text{true}} - 0.5\phi_1 - d_{\text{avg}} = 1325.0 \text{ mm}$$

Tehollinen korkeus pintaa lähinnä oleviin teräksiin

$$d_0 := h - c_{\text{true}} - 0.5\phi_1 = 1.425 \times 10^3 \text{ mm}$$

Raudituksen vetovoima	$N_{sv} := A_{stot} \cdot f_{yd} = 274.175 \text{ kN}$	
Tehollinen puristuspuunnan korkeus	$y_w := \frac{N_s}{b \cdot f_{cd}} = 48.384 \text{ mm}$	
Puristuspuunnan korkeus	$x_w := \frac{y}{0.8} = 60.48 \text{ mm}$	
Raudituksen venymä murtorajatilassa	$\varepsilon_{sw} := 0.005$	
Venymän on täytettävä ehto	$\varepsilon_{sw} := 0.005 < \varepsilon_s < \varepsilon_{ud} = 0.01$	
	Venymäehto ₁ = "OK"	
Betonin puristuma murtorajatilassa	$\varepsilon_{sw} := \frac{x}{d_0 - x} \cdot \varepsilon_s = 0.000222$	$< \varepsilon_{cu3} = 3.5 \times 10^{-3}$ OK
	Venymäehto ₂ = "OK"	
Betonin puristusvoima	$N_{sw} := 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 274.175 \text{ kN}$	
Sisäinen momenttivarsi	$z_w := d - 0.5 \cdot y = 1.301 \times 10^3 \cdot \text{mm}$	
Taivutusmomenttikapasiteetti	$M_{Rd} := N_c \cdot z = 357 \text{ kN} \cdot \text{m}$	
Käyttöaste	$\frac{m_{d.siipi}}{M_{Rd}} = 77. \%$	

Otsamuurin ja siipimuurin kestävyys pystykuormille



Rasitukset

Momenttivarsi on otsamuurille 0,35 m suurempi kuin siipimuurille

$$L_{\text{siipi.otsa}} := L_{\text{siipi}} + \frac{700\text{mm}}{2} = 2.65\text{m}$$

$$m_{\text{kaide}} := 0.5 \cdot L_{\text{siipi.otsa}}^2 \cdot g_{\text{kaide}} = 2 \cdot \text{kNm}$$

$$m_{\text{LM2}} := L_{\text{siipi.otsa}} \cdot \text{LM2}_{\text{pyörä}} = 212 \cdot \text{kNm}$$

Murtorajatilan momentti:

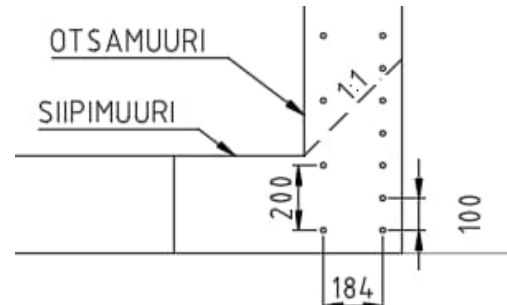
$$m_{\text{siipi}} := 1.35 \cdot m_{\text{LM2}} + 1.25 \cdot (m_{\text{siipi}} + m_{\text{kaide}}) = 312 \cdot \text{kNm}$$

Poikkileikkausarvot

Leveys	$b := 300\text{mm}$
Korkeus	$h := 700\text{mm}$
Työteräs + poikkisuuntainen	$\phi_h := 10\text{mm} + 0\text{mm} = 10\text{mm}$
Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{\text{nom}} := 40\text{mm}$
Sijaintitoleranssi	$\Delta c_{\text{dev}} := 5\text{mm}$
Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{\text{min.dur}} := c_{\text{nom}} - \Delta c_{\text{dev}} = 35\text{mm}$
Raudoitteen todellinen betonipeite	$c_{\text{true}} := c_{\text{nom}} + \phi_h = 50\text{mm}$
Halkeilulaskennan betonipeite	$c := \min(c_{\text{true}}, k_{c1} \cdot c_{\text{min.dur}}, 50\text{mm}) = 49\text{mm}$

Teräskset

$\phi_{5} := 16\text{mm}$	$kpl_{5} := 5$	$d_{5} := 0\text{mm}$
$\phi_{6} := 16\text{mm}$	$kpl_{6} := 2$	$d_{6} := 184\text{mm}$
$\phi_{7} := 0\text{mm}$	$kpl_{7} := 0$	$d_{7} := 0\text{mm}$


 Terästen keskimääräinen halkaisija: $\phi_{\text{avg}} = 16\text{mm}$

 Terästen kokonaispinta-ala: $A_{\text{stot}} = 1407\text{mm}^2$

 Tehollinen korkeus terästen painopisteeseen $d := h - c_{\text{true}} - 0.5\phi_1 - d_{\text{avg}} = 589.4\text{mm}$

 Tehollinen korkeus pintaa lähinnä oleviin teräksiin $d_0 := h - c_{\text{true}} - 0.5\phi_1 = 642\text{mm}$

 Raudoituksen vetovoima $N_{\text{sw}} := A_{\text{stot}} \cdot f_{\text{yd}} = 639.743\text{kN}$

 Tehollinen puristuspuunnan korkeus $x_{\text{w}} := \frac{N_{\text{s}}}{b \cdot f_{\text{cd}}} = 112.896\text{mm}$

 Puristuspuunnan korkeus $x_{\text{w}} := \frac{y}{0.8} = 141.12\text{mm}$

 Raudoituksen venymä murtorajatilassa $\epsilon_{\text{sw}} := 0.005$

 Venymän on täytettävä ehto $\epsilon_{\text{sw}} := 0.005 < \epsilon_{\text{s}} < \epsilon_{\text{ud}} = 0.01$

 Venymäehto₁ = "OK"

 Betonin puristuma murtorajatilassa $\epsilon_{\text{cw}} := \frac{x}{d_0 - x} \cdot \epsilon_{\text{s}} = 0.001409 < \epsilon_{\text{cu3}} = 3.5 \times 10^{-3}$ OK

 Venymäehto₂ = "OK"

 Betonin puristusvoima $N_{\text{cw}} := 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{\text{cd}} = 639.743\text{kN}$

 Sisäinen momenttivarsi $z_{\text{w}} := d - 0.5 \cdot y = 532.981\text{mm}$

 Taivutusmomenttikapasiteetti $M_{\text{Rd}} := N_{\text{c}} \cdot z = 341\text{kN}\cdot\text{m}$

 Käyttöaste $\frac{m_{\text{d.siipi}}}{M_{\text{Rd}}} = 91\%$

Siipimuurin voimien siirtyminen maatuen ulkopinnan teräksiin

Maatuen ulkopinnan teräkset

$$\phi_{pp,1} = 16\text{mm}$$

$$kk_{pp,1} = 200\text{mm}$$

$$N_s = 224\text{kN}$$

$$V_d = 50\text{kN}$$

Alla esitetty yhteenveto suurimmista vetorasituksista murtorajatilassa siipimuurin sisäpinnan teräksille.

Teräkset

$$\phi_1 := 16\text{mm}$$

$$kk_1 := 408\text{mm}$$

Raudoituksen vetovoima

$$N_s := A_{stot} \cdot f_{yd} = 223.999\text{ kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 100\%$$

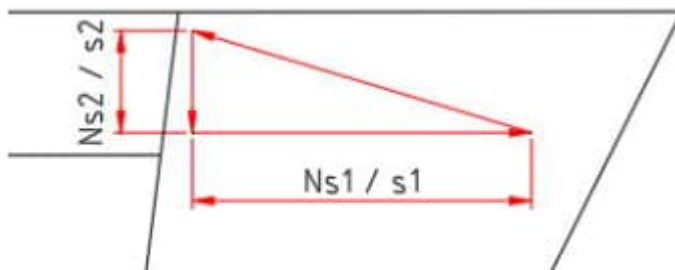
Rasitukset

Momentista

$$N_{s,1} = N_s = 224\text{ kN}$$

Leikkausvoimasta

$$V_d = 50\text{ kN}$$



$$s_1 = 152\text{mm}$$

$$s_2 = 162\text{mm}$$

Käännetään momentin rasitus puristusresultantin kautta maatuen ulkopinnan teräksille.

$$N_{s,2} = N_{s,1} \cdot \tan\left(\frac{s_2}{s_1}\right) = 405.194\text{ kN}$$

Jännitys päätypalkin teräksissä

$$\sigma_s = \frac{N_{s,2} + V_d}{0.25 \cdot \pi \cdot (\phi_{pp,1})^2 \cdot \frac{1\text{m}}{kk_{pp,1}}} = 452.79\text{ MPa} < f_{yd} = 455\text{ MPa}$$

Maatuen ulkopinnan teräkset eivät ole rasitettuja maatuen reunoilla eli esitetyn laskennan mukaan kapasiteetti on riittävä. Yllä esitetty tilanne on otsamuurin osuudella, etumuurin kohdalla käyttöaste on alhaisempi.

A.7 Varusteet ja laitteet

Ei koske tätä kohdetta.

A.8 Rakentamiseen liittyvät tarkastelut

Rakentamisvaiheesta tutkittiin kaksi tilannetta. Näiden pohjalta ei ole tarvetta tehdä muutoksia rakenteeseen tai erityisjärjestelyjä toteuttamiseen.

- Rakennusvaihe 1: Betonirakenteet valettuna. Täyttöjä ei ole tehty. Kantta ei asennettu.
- Rakennusvaihe 2: Betonirakenteet valettuna ja täytöt tehtynä. Kantta ei asennettu.

Pienimmät paalukuormat

(pienin paalukuorma -47 kN puristusta -> OK ei mene vedolle)

Combining on: Fx

Rakentaminen vaihe 1 (ei täyttöjä, ei kantta) (Max)

Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam

Transformation: Local

Component: Fx (Units: kN)



Maximum -47,309 at node 198 of element 193

Minimum -152,007 at node 1 of element 5



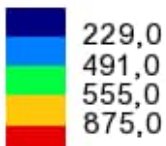
Combining on: Fx

Rakentaminen vaihe 2 (täytöt tehty, ei kantta) (Max)

Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam

Transformation: Local

Component: Fx (Units: kN)



Maximum -97,707 at node 198 of element 193

Minimum -232,058 at node 1 of element 5



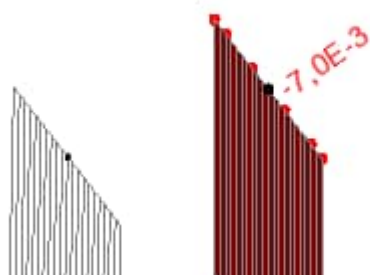
Suurimmat siirtymät etumuurin yläosassa

(suurin siirtymä ennen kannen asentamista 5,4 mm -> OK asennusvara on riittävä.)

Combining on: DX
Rakentaminen vaihe 1 (ei täyttöjä, ei kantta) (Min)
Entity: Displacement
Transformation: Local
Component: DX (Units: m)



Maximum -6,99347E-3 at node 791
Minimum -8,53463E-3 at node 372



Combining on: DX
Rakentaminen vaihe 2 (täytöt tehty, ei kantta) (Min)
Entity: Displacement
Transformation: Local
Component: DX (Units: m)



Maximum 7,76844E-3 at node 423
Minimum 5,34869E-3 at node 781

