

Nimettömän sillan uusiminen Pitkäluodontiellä

Nimettömän silta, Rymättylä

Teräsbetonikantinen teräspalkkisilta (Nordec Easy Bridge Classic)

| | |
|---------------------|----------------------|
| Jännemitat: | 11 m |
| Kokonaispituus: | 13,38 m |
| Hyödyllinen leveys: | 4,5 m |
| Vapaa-aukko: | 10,4 m |
| Vinous: | 0 gon |
| Kuormitus: | LM1, LM3 / 6.12.2017 |

Rakennelaskelmat, osa A

Rakennelaskelmista on laadittu osat A

SUUNNITTELU / INSINÖÖRITOIMISTO SUUNNITTELUKIDE OY

Laatinut: 5.5.2021 Charlotte Björklund

Tarkastanut: 5.5.2021 Tapani Palomaa



Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| A. LASKELMIEN YHTEENVETO..... | 3 |
| A.1 Siltapaikka..... | 3 |
| A.1.1 Yleistä | 3 |
| A.1.2 Pohjaolosuhteet..... | 4 |
| A.2 Luokitukset..... | 4 |
| A.3 Kuvaus suunniteltavasta rakenteesta..... | 4 |
| A.4 Mitoitusperusteet..... | 6 |
| A.4.1 Ohjeet ja ohjelmistot | 6 |
| A.4.2 Päärakennusaineiden materiaaliominaisuudet | 7 |
| A.4.2.1 Betoni..... | 7 |
| A.4.2.2 BETONITERÄS | 9 |
| A.4.2.3 Rakenneteräs | 10 |
| A.4.3 Kuormat..... | 11 |
| A.5 Rakenneanalyysit..... | 12 |
| A.5.1 Rakennemalli..... | 12 |
| A.5.2 Kuormien sijoittelu | 16 |
| A.5.3 Kuormien yhdistely | 18 |
| A.5.4 Määrävimmit voimasuureet ja siirtymät | 20 |
| A.6 Rakenneosien mitoituksen tiivistelmä | 27 |
| A.7 Alusrakenne | 27 |
| A.7.1.1 Suurpaaluperustukset | 27 |



A. LASKELMIEN YHTEENVETO

A.1 Siltapaikka

A.1.1 Yleistä

Uusittava Nimettömän silta sijaitsee Rymättylässä Pitkäluodontiellä. Pitkäluodontie on asfalttipäällysteinen, kapeimmillaan 3,3 m leveä ja tien nopeusrajoitus on 30 km/h. Sillan alittaa Nimettömän salmen pienvieliikennettä.

Purettava silta on 1974 rakennettu kolmiaukkoinen puusilta (jännemitat 4,0+5,0+4,0=13,0 m, hyötyleveys 4,5 m)



Siltapaikka kartalla.



A.1.2 Pohjaolosuhteet

Pitkäluodontie on lähtötilanteessa siltapaikalla tasossa +3,3...+3,4.

Salmen leveys on kapeimmillaan sillan alla, noin 7,0 m. Merivedenkorkeus vaihtelee välillä NW - 0,31 ... MW +0,15 ... HW +1,46. Salmi on matala, uoman pohja on syvimmillään salmen keskellä noin tasossa -1,1.

Pohjamaakerrokset ovat sillan länsipäässä:

- tielinjalla täyttöä 2 m
- liejuista savea 4...8 m
- moreenia 1 m
- kallio tasossa +4...-8, kallion pinta viettää 10 asteen kaltevuudessa etelään

Pohjamaakerrokset ovat sillan itäpäässä:

- tielinjalla täyttöä 2 m
- liejuista savea 3...5 m
- kallio tasossa -1...-5, kallion pinta viettää 14 asteen kaltevuudessa etelään

Saven leikkauslujuus on 10 kN/m² ja vesipitoisuus 50 %.

Korroosio-olosuhteet siltapaikalla ovat tavanomaiset.

A.2 Luokitukset

Kohteen luokitukset ovat:

- | | |
|-------------------------|------------|
| • Suunnittelukäyttöikä: | 100 vuotta |
| • Siltapaikkaluokka: | III-IV |
| • Talvihoitoluokka: | III |
| • seuraamusluokka: | CC2 |
| • luotettavuusluokka: | RC2 |
| • toteutusluokka: | 3 |
| • geotekninen luokka: | GL2 |

A.3 Kuvaus suunniteltavasta rakenteesta

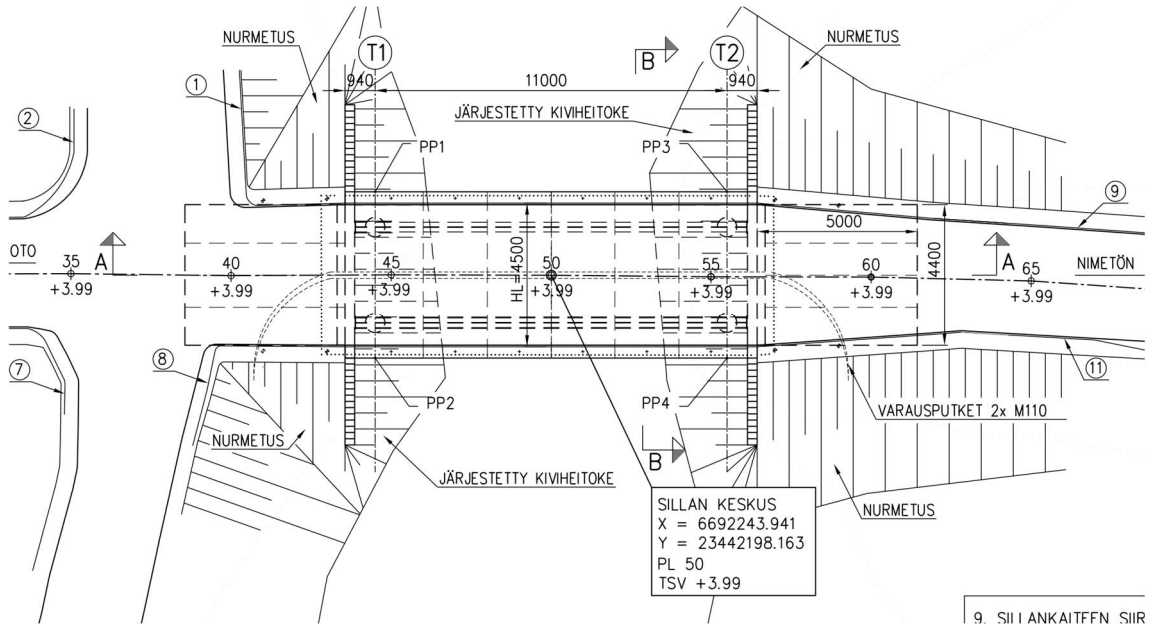
Uusi silta on tyypiltään teräsbetonikantinen teräspalkkisilta, joka toteutetaan Väyläviraston tyyppihyväksynnän omaavalla Ruukki Easy Bridge Classic-siltaratkaisulla. Sillan päällysrakenne koostuu teräspalkistosta (2 kpl) sekä elementtirakenteisesta teräsbetoni-kansilaatasta ja elementtirakenteisista teräsbetoni-päätyrakenteista. Sillan hyötyleveys on 4,5 m, jännemitta 11,0 m, vinous 0 gon ja vapaa-aukko 10,4 m.

Silta perustetaan neljän putkiporapaalun RD600/18 S355J2H (laskennassa aluksi RD600/12,5) varaan. Paaluja on 2 kpl/tuki ja ne porataan vähintään 4*D syvyyteen ehjään kallioon. Tuella T2

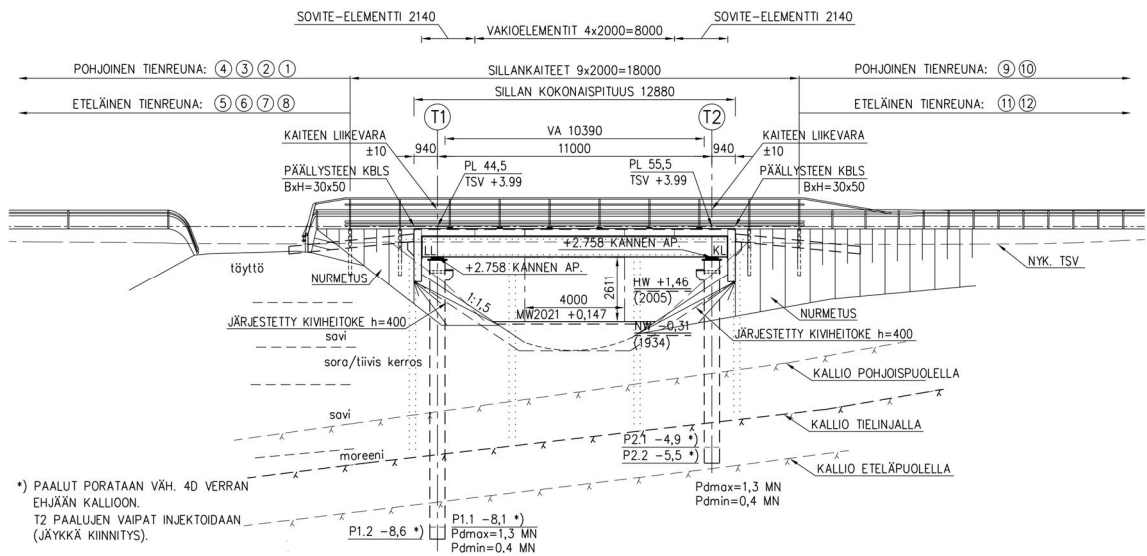


paalujen ja kallion väli injektoidaan momenttijäykäksi. Putkiporapaalujen ja päällysrakenteen teräspalkiston väliin asennetaan kumilevylaakerit.

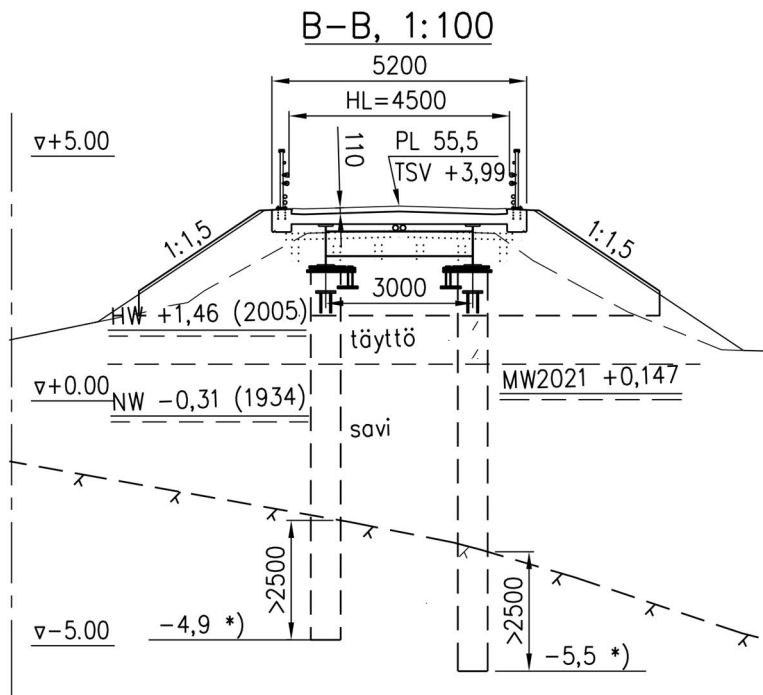
Silta varustetaan 5,0 m elementtirakenteisilla siirtymäläatoilla.



Sillan tasokuva



Sillan pituusleikkaus



Sillan poikkileikkaus

A.4 Mitoitusperusteet

A.4.1 Ohjeet ja ohjelmistot

Rakennelaskelmat on laadittu seuraaviin ohjeisiin ja julkaisuihin perustuen:

- NCCI 1 Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet, Liikenneviraston ohjeita 24-2017
- NCCI 2 Betonirakenteiden suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 31-2017
- NCCI 7 Geotekninen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 13-2017
- Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun, Väyläviraston ohjeita 4-2019
- Paalutusohje PO-2016
- SSAB RR- ja RD-paalujen suunnittelu- ja asennusohjeet
- Nordec Easy Bridge Suunnitteluohje Versio 1.1
- Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 4 – oppikirja by 58
- SFS-EN 1992-1-1

Rakennelaskelmat on laadittu seuraavia ohjelmistoja käyttäen:

- STRAP
- MS Excel
- Ruukki ComCol



A.4.2 Päärakennusaineiden materiaaliominaisuudet

A.4.2.1 Betoni

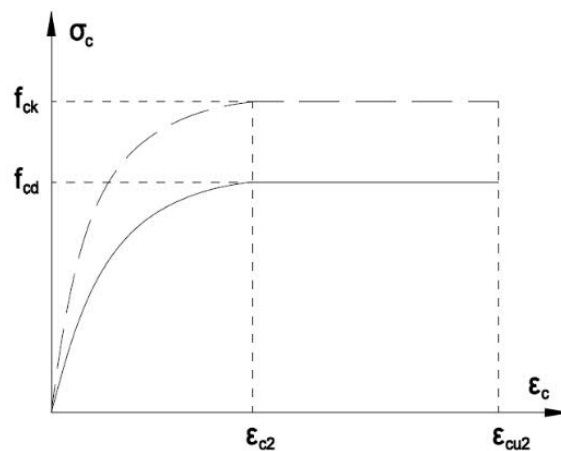
Eri rakenneosien betoniluokat ja niiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa.

Betonin materiaaliominaisuudet, mitoituksen mukaan lopulliset:

| RAKENNEOSI | | [N/mm ²] | [N/mm ²] | luokka | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [N/mm ²] |
|--------------------|----------------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Paalujen täyttö T1 | Ro01, R4, ---- | 40 | 50 | 3 | 25,2 | 2,46 | 35 220 |

Betonin ja betonirakenteiden säilyvyys varmistetaan täyttämällä NCCI 2:ssa esitetyt vähimmäisvaatimukset.

Betonin jännitys-muodonmuutoskuvion voidaan otaksua olevan poikkileikkauksia mitoittaessa seuraavan kuvan mukainen.



Betonin jännitys-muodonmuutoskuvio, paraabeli-suorakaide-kuvio.

Kuvan puristumat ϵ_{c2} ja ϵ_{cu2} riippuvat betonin lujuudesta seuraavasti:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} \quad \text{kun } f_{ck} < 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\epsilon_{c2} = [2,0 + 0,085 * (f_{ck} - 50)^{0,53}] \text{ ‰} \quad \text{kun } f_{ck} \geq 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\epsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰} \quad \text{kun } f_{ck} < 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\epsilon_{cu2} = \{2,6 + 35 * [(90 - f_{ck}) / 100]^4\} \text{ ‰} \quad \text{kun } f_{ck} \geq 50 \text{ MN/m}^2$$



Paraabelin osuudella betonin puristusjännitys on

$$\sigma_c = f_{cd} * [1 - (1 - \epsilon_c / \epsilon_{c2})^n],$$

$$\text{kun } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$$

$$\text{kaavassa } n = 2,0$$

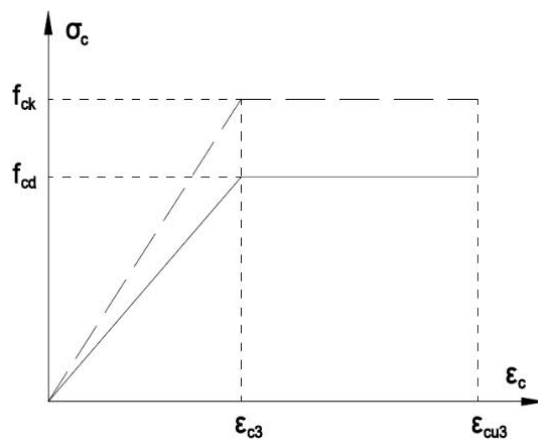
$$\text{kun } f_{ck} < 50 \text{ MN/m}^2$$

$$n = 1,4 + 23,4 * [(90 - f_{ck}) / 100]^4$$

$$\text{kun } f_{ck} \geq 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_c = f_{cd}, \text{ kun } \epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2}$$

Seuraavassa kuvassa esitettyä bi-lineaarista mallia voidaan myös käyttää suunnittelussa.



Betonin jännitys-muodonmuutoskuvio, bi-lineaarinen kuvio.

Kuvassa puristumat ϵ_{c3} ja ϵ_{cu3} riippuvat betonin lujuudesta seuraavasti:

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\text{kun } f_{ck} < 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\epsilon_{c3} = [1,75 + 0,55 * (f_{ck} - 50) / 40] \text{ ‰}$$

$$\text{kun } f_{ck} \geq 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\text{kun } f_{ck} < 50 \text{ MN/m}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = \{2,6 + 35 * [(90 - f_{ck}) / 100]^4\} \text{ ‰}$$

$$\text{kun } f_{ck} \geq 50 \text{ MN/m}^2$$

Murtorajatilan jännitysresultanttia laskettaessa puristusjännitysten jakautumiskuvio voidaan korvata suorakaiteella NCCI 2 kuvan 3.9 mukaisesti. Kun $f_{ck} \leq 50 \text{ MN/m}^2$, puristuspinnan korkeus on $0,8 * x$ ja puristusjännitys f_{cd} .



Kun $f_{ck} > 50 \text{ MN/m}^2$, puristuspuunnan korkeus on $\lambda \cdot x$ ja puristusjännitys $\eta \cdot f_{cd}$. Kertoimet λ ja η lasketaan NCCI 2 kaavojen 3.7 ja 3.8 mukaan seuraavasti:

$$f_{ck} = \boxed{30} \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \lambda = 0,800 \quad ; \quad \eta = 1,000$$

Betonin ja betonirakenteen lämpölaajenemiskertoimena käytetään arvoa $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Halkeilemattoman betonin suppeumalukuna käytetään arvoa $v = 0,2$.

Betonisten rakenneosien vääntöjäykkyyksiä laskettaessa betonin liukumoduuli määritetään soveltaen NCCI 2 kappaletta 5.4, rakenneosan halkeilutilasta riippuen.

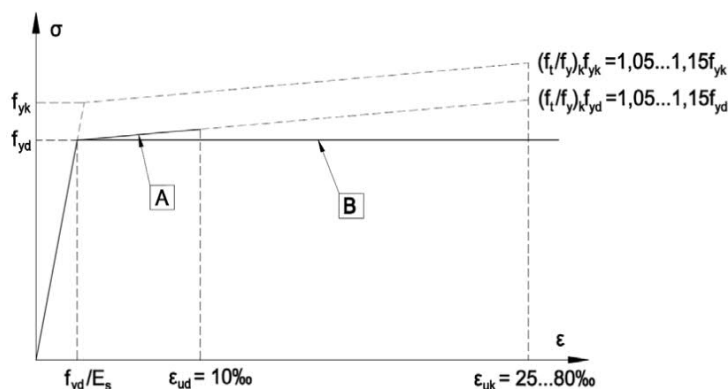
A.4.2.2 BETONITERÄS

Käytetyn betoniteräksen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa.

Betoniteräksen materiaaliominaisuudet:

| Betoniteräslaatu | f_{yk} [N/mm ²] | f_{yd} [N/mm ²] | toteutus- luokka | α_{st} [1/°C] | E_s [N/mm ²] | sitkeys- luokka |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|
| B500B | 500 | 455 | 3 | 5,86 | 200 000 | B |

Rakenteiden kapasiteetteja laskettaessa betoniteräksen jännitys-muodonmuutoskuvio otaksutaan alla olevan kuvan vaihtoehdon B mukaiseksi siten, että muodonmuutos rajoitetaan arvoon $\epsilon_{ud} = 10 \text{ ‰}$.



Betoniteräksen jännitys-muodonmuutoskuvio.



A.4.2.3 Rakenneteräs

Rakenneteräsosien teräslaadut sekä niiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa. Rakenneteräksen jännitys-muodonmuutoskuvio otaksutaan kohdassa A.4.2.2 esitetyn kuvaajan vaihtoehdon B mukaiseksi.

| Rakenne- osa | Rakenne- teräslaatu | f_y [MN/m ²] | f_v [MN/m ²] | E_s [MN/m ²] | α_s [1/°C] |
|-----------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Putkipaalut | S 355 J2H | 355 | 205 | 210000 | 12×10^{-6} |



A.4.3 Kuormat

| TIESILLAN KUORMITUSTIEDOT | | | | |
|--|--|--|--|---|
| Sillan nimi | Suun nro | Tieosa | Kunta | ELY |
| Nimettömän silta | | Pitkäluodontie | Rymättylä | VAR |
| Tieliikennekuormat | | | | |
| Kuormakaaviot | LM1 <input checked="" type="checkbox"/> | LM2 <input type="checkbox"/> | LM3 <input checked="" type="checkbox"/> | LM4 <input type="checkbox"/> Kevyen liikenteen väylä 5 kN/m ² <input type="checkbox"/> |
| Vaakuormat | kiihdytys ja jarrutus <input checked="" type="checkbox"/> | sivukuorma <input checked="" type="checkbox"/> | keskipakokuorma <input type="checkbox"/> | |
| Kuormaryhmät | gr1a <input checked="" type="checkbox"/> | gr1b <input type="checkbox"/> | gr2 <input checked="" type="checkbox"/> | gr3 <input type="checkbox"/> gr4 <input type="checkbox"/> gr5 <input checked="" type="checkbox"/> |
| VäsytySKUORMAKAAVIOT | FLM1 <input type="checkbox"/> | FLM2 <input type="checkbox"/> | FLM3 <input type="checkbox"/> | FLM4 <input type="checkbox"/> FLM5 <input type="checkbox"/> |
| Maanpainetta aiheuttava pystykuorma | 20 kN/m ² <input checked="" type="checkbox"/> | LM1 pyöräkuorma <input type="checkbox"/> | LM2 pyöräkuorma <input type="checkbox"/> | |
| Tuulikuormat | | | | |
| Ilman liikennettä | <input checked="" type="checkbox"/> | z _c <input type="text"/> m | kaiteesta yli 50% avoin <input type="checkbox"/> | tuulenpaine <input type="text"/> kN/m ² |
| Liikenteen kanssa | <input checked="" type="checkbox"/> | z _c <input type="text"/> m | tuulenpaine <input type="text"/> | kN/m ² |
| Pituussuuntainen tuulikuorma | <input type="checkbox"/> | tuulikuormapilareihin <input type="checkbox"/> | | |
| Lämpötilakuormat | | | | |
| Koko sillan lämpötila | Sillan maksimilämpötila <input type="text"/> °C | Sillan minimilämpötila <input type="text"/> °C | | |
| Lämpötilaerot päällysrakenteessa | Yläpintalämpimämpi <input type="text"/> °C | Alapintalämpimämpi <input type="text"/> °C | | |
| Varmuus laakereille ja liikuntasaumalaitteille | 20 °C <input type="checkbox"/> | 10 °C <input type="checkbox"/> | | |
| Välitukien lämpötilaero | <input type="checkbox"/> | Lämpötilaero eri rakenneosien välillä <input type="checkbox"/> | | |
| Onnettomuuskuormat | | | | |
| Tieliikenteen törmäys alusrakenteisiin | F _{dx} <input type="text"/> kN | F _{dy} <input type="text"/> kN | | |
| Tieliikenteen törmäys päällysrakenteeseen | F _{dx} <input type="text"/> kN | Rakenteen alarajakorkeus h ₀ <input type="text"/> m | | |
| Suistuneen junan törmäys alusrakenteisiin | F _{dx} <input type="text"/> kN | F _{dy} <input type="text"/> kN | | |
| Laivojen törmäyskuormat | F _{dx} <input type="text"/> kN | F _{dy} <input type="text"/> kN | | |
| Muut kuormat | | | | |
| Jääkuormat <input type="checkbox"/> | Tukipainumat <input type="checkbox"/> | Maanpaineenlepopaine <input checked="" type="checkbox"/> | Maanpaineen passiivipaine <input type="checkbox"/> | |
| Laakerikitka <input type="checkbox"/> | Jännevoima <input type="checkbox"/> | Vedenpinnan asema <input type="checkbox"/> | Betonin kutistuminen ja viruminen <input type="checkbox"/> | |
| Tiesiltojen kuormayhdistelyt | | | | |
| MRT | 0 <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input checked="" type="checkbox"/> 8 <input checked="" type="checkbox"/> 9 <input checked="" type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input checked="" type="checkbox"/> | Onnettomuusyhdistelmä <input type="checkbox"/> | | |
| KRT | 1a <input checked="" type="checkbox"/> 2a <input type="checkbox"/> 3a <input checked="" type="checkbox"/> 4a <input type="checkbox"/> 5a <input type="checkbox"/> 6a <input checked="" type="checkbox"/> 7a <input checked="" type="checkbox"/> 8a <input checked="" type="checkbox"/> 9a <input type="checkbox"/> 10a <input type="checkbox"/> 11a <input checked="" type="checkbox"/> | Tavalliset yhdistelmät <input type="checkbox"/> | Pitkäaikaisyhdistelmä <input type="checkbox"/> | 1c <input checked="" type="checkbox"/> |

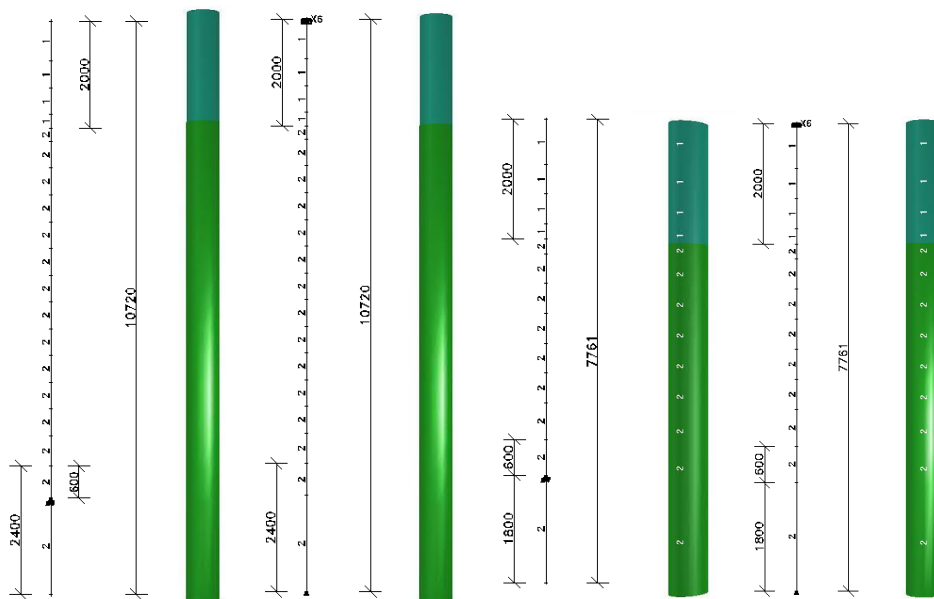


A.5 Rakenneanalyysit

A.5.1 Rakennemalli

Rakennemallit tehtiin STRAP-ohjelmalla.

- paalu 1.2
 - o tuen T1 pisin paalu
 - o liikkuva laakeri => ei jarrukuormaa => ei paalun vaipan injektointia => paalun ja kallion väliin voi jäädä paalun alapään kiertymisen mahdollistava rako => tarkastelu a) jäykästi tuettuna ja b) niveltuettuna
- paalu 2.2
 - o tuen T2 pisin paalu
 - o kiinteä laakeri => jarrukuorma => paalun vaipan injektointi => mitoitus jäykästi tuettuna, niveltuettuna tarkasteltu vain siirtymän suuruutta
- paalut on kuvattu palkkielementeillä
- paalujen varsille on sijoitettu pohjamaata kuvaavat maajouset
- paalun jäykkä tuenta on kuvattu NCCI7 kohdan 5.3.2.1 mukaisesti momenttijäykällä kiinnityksellä 1D verran kalliopinnan alapuolella



Rakennemallit vasemmalta oikealle: paalu 1.2 jäykästi tuettuna, paalu 1.2 niveltuettuna, paalu 2.2 jäykästi tuettuna ja paalu 2.2 niveltuettuna.



| MATERIAL TABLE (units - kN meter) | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|---------------|------------|---------------------|---------------|
| NO. | Name | Modulus of Elasticity | Poisson ratio | Density | Thermal coefficient | Shear modulus |
| 2 | STEE | 0.2100E+09 | 0.300 | 0.7850E+02 | 0.00001000 | 0.8077E+08 |
| 3 | C25/30 | 0.3100E+08 | 0.150 | 0.2500E+02 | 0.00001000 | 0.1348E+08 |

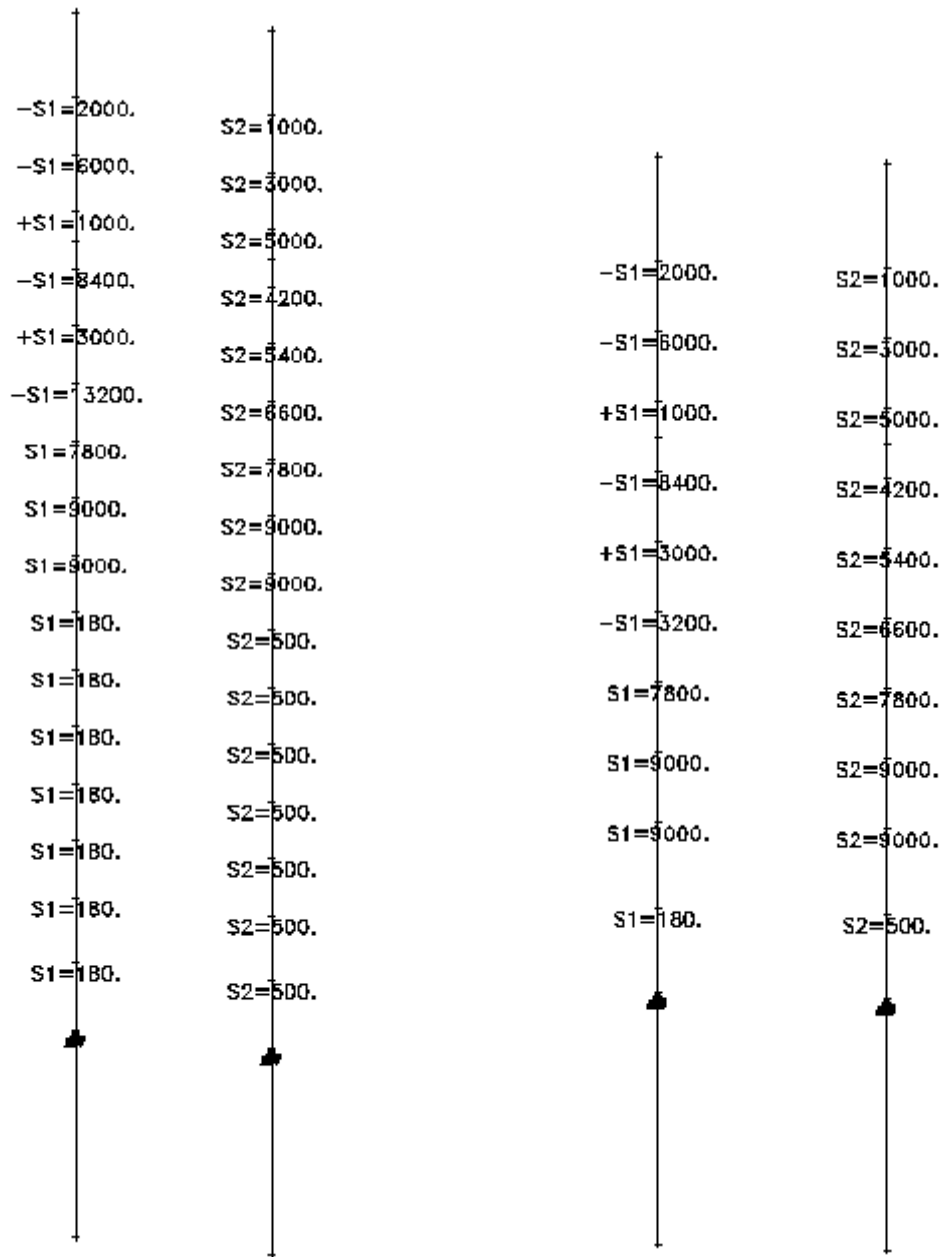
Materiaalit rakennemalleissa

| SECTION PROPERTY TABLE (units - mm.) | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------|--|
| PROPERTY NO. 1 - O600x7.5 | | | | | |
| A=0.5384E+05 | I2=0.1481E+10 | I3=0.1481E+10 | J=0.1944E+10 | SF2=0.000 | |
| Material = 2 - STEE | Perimeter=1884.95 | | | SF3=0.000 | |
| h2=600.000 | h3=600.000 | e2=300.000 | e3=300.000 | | |
| Filled | | Mat=3 | | | |
| PIPE , Diameter= 600.000 | | Thickness= 7.500 | | | |
| PROPERTY NO. 2 - O605x10.5 | | | | | |
| A=0.5884E+05 | I2=0.1898E+10 | I3=0.1898E+10 | J=0.2418E+10 | SF2=0.000 | |
| Material = 2 - STEE | Perimeter=1900.66 | | | SF3=0.000 | |
| h2=605.000 | h3=605.000 | e2=302.500 | e3=302.500 | | |
| Filled | | Mat=3 | | | |
| PIPE , Diameter= 605.000 | | Thickness= 10.300 | | | |

Poikkileikkaukset rakennemalleissa

Paalujen korroosiovarana on huomioitu 5 mm merivedessä (2 m pituudella paalun yläpäässä) ja 2,2 mm maassa.

Rakennemalleissa käytetyt maajouset on esitetty seuraavilla sivuilla. Jouset sijaitsevat rakennemalleissa 0,5 metrin välein. Aukon (luiskan) puolella maajouset on puolitettu.



Paalujen maajouset kN/m rakennemallissa, vasemmalla paalu 1.2 ja oikealla paalu 2.2. Jouset S1 ovat sillan pituus- ja S2 poikkisuuntaisia. S1 jousissa etumerkillä + varustetut jouset toimivat aukon suuntaan vaikuttaville kuormille. Koheesiomaan osalla maajouset ovat sillan suunnassa pitkä- ja poikkisuunnassa lyhytaikaisia.



A.5.2 Kuormien sijoittelu

Alusrakenteiden mitoituksessa on käytetty Nordec Easy Bridge Suunnitteluohjeen Versio 1.1 -ohjeen taulukossa 6.1 esitettyjä päällysrakenteelta tulevia kuormia ja lisäksi suoraan alusrakenteisiin kohdistuvaa lepopainetta ja liikennekuorman maanpainetta.

| Jm (m) | HL (m) | Pysyvä / minimi kuorma (kN) | Ajoneuvokuorma (kN) | | | | | | Jarrukuorma (kN) | | Tuuli- kuorma poikki- suunt. (kN) | Siirtymä pituus- suunt. (mm) | Kiertymä LM ₁ (10 ⁻³ rad) | Kiertymä LM ₃ (10 ⁻³ rad) |
|-----------|-----------|--------------------------------------|------------------------|-------|-------------------------|------------------|---------------------------------|---------|-------------------|-------------------|---|---------------------------------------|---|---|
| | | | LM ₁ | | | LM ₃ | | | pituus- suunt. | poikki- suunt. | | | | |
| | | | max laakeri- kuorma | | vast. toisella laak. | max laakerik. | vast. toisella laakerilla | | | | | | | |
| | | | Akselit | Pinta | | | | Akselit | Pinta | | | | | |
| 11 | 4,5 | 400 | 426 | 153 | 160 | 57 | 503 | 455 | 312 | 78 | 38 | 31,7 31,7 | 3,0 3,1 | 2,6 2,6 |
| | 6,5 | 569 | 640 | 217 | 533 | 134 | 703 | 255 | 312 | 78 | 34 | | | |
| 13 | 4,5 | 400 | 426 | 153 | 160 | 57 | 503 | 455 | 316 | 79 | 45 | 33,6 33,6 | 4,4 4,6 | 4,3 4,2 |
| | 6,5 | 569 | 640 | 217 | 533 | 134 | 703 | 255 | 316 | 79 | 41 | | | |
| 15 | 4,5 | 432 | 428 | 177 | 160 | 66 | 574 | 519 | 320 | 80 | 53 | 35,6 35,6 | 4,7 5,0 | 5,1 5,1 |
| | 6,5 | 616 | 642 | 250 | 534 | 155 | 802 | 291 | 320 | 80 | 48 | | | |
| 17 | 4,5 | 463 | 429 | 200 | 161 | 75 | 645 | 583 | 325 | 81 | 61 | 37,5 37,5 | 4,8 5,2 | 5,7 5,7 |
| | 6,5 | 657 | 643 | 284 | 536 | 175 | 901 | 327 | 325 | 81 | 56 | | | |
| 19 | 4,5 | 496 | 430 | 224 | 161 | 84 | 716 | 647 | 329 | 82 | 71 | 39,4 39,4 | 5,1 5,1 | 6,4 6,1 |
| | 6,5 | 703 | 644 | 317 | 537 | 196 | 1000 | 369 | 329 | 82 | 64 | | | |
| 21 | 4,5 | 529 | 430 | 247 | 161 | 93 | 802 | 725 | 333 | 83 | 80 | 41,3 41,3 | 5,3 5,0 | 7,0 6,4 |
| | 6,5 | 749 | 645 | 351 | 537 | 216 | 1120 | 407 | 333 | 83 | 73 | | | |
| 23 | 4,5 | 563 | 431 | 271 | 161 | 102 | 656 | 779 | 338 | 84 | 90 | 43,2 43,2 | 5,6 5,0 | 7,7 6,6 |
| | 6,5 | 794 | 646 | 384 | 538 | 237 | 1195 | 434 | 338 | 84 | 82 | | | |
| 25 | 4,5 | 600 | 431 | 295 | 162 | 110 | 901 | 814 | 342 | 86 | 103 | 45,2 45,2 | 5,3 4,5 | 7,9 6,4 |
| | 6,5 | 848 | 647 | 417 | 539 | 258 | 1258 | 457 | 342 | 86 | 94 | | | |
| 27 | 4,5 | 636 | 432 | 318 | 162 | 119 | 939 | 849 | 346 | 87 | 116 | 47,1 47,1 | 5,4 4,4 | 7,7 6,1 |
| | 6,5 | 900 | 647 | 451 | 539 | 278 | 1311 | 476 | 346 | 87 | 105 | | | |
| 29 | 4,5 | 673 | 432 | 342 | 162 | 128 | 972 | 878 | 351 | 88 | 129 | 49,0 49,0 | 5,3 4,3 | 7,6 6,0 |
| | 6,5 | 952 | 648 | 484 | 540 | 299 | 1357 | 493 | 351 | 88 | 117 | | | |

Taulukko 6.1 Tukirasisituksien ominaisarvot (Classic). Pystykuormat laakerikohtaisia. Poikkisuuntaiset vaakakuormat tuki- ja pituussuuntaiset siltakohtaisia. Siirtymäarvot ovat vapaasti liikkuviin laakereihin kohdistuvia maksimiliiketilän arvoja yhteen suuntaan.



A.5.2.1.1 Lepopaine ja liikennekuorman aiheuttama maanpaine

Paaluihin kohdistuva maanpaine on huomioitu leveydeltä $3 * d$, missä d on paalun halkaisija.

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| Sillan pengertäytön tilavuuspaino | $\gamma = 21,0$ kN/m ³ | |
| Sillan pengertäytön kitkakulma | $\varphi = 38,0$ ° | $\rightarrow K_0 = 1 - \sin\varphi = 0,384$ |
| Kannen yläpuol. täytön korkeus | $\Delta H = 0,000$ m | |
| Kannen yläpuol. täytön tilavuuspaino | $\Delta\gamma = 0,0$ kN/m ³ | |
| Maatuen korkeus ja leveys | $H_0 = 2,228$ m | $B = 1,800$ m |
| Kannen painopisteen etäisyys | $h_0 = 0,000$ m | (kannen yläpinnasta) |

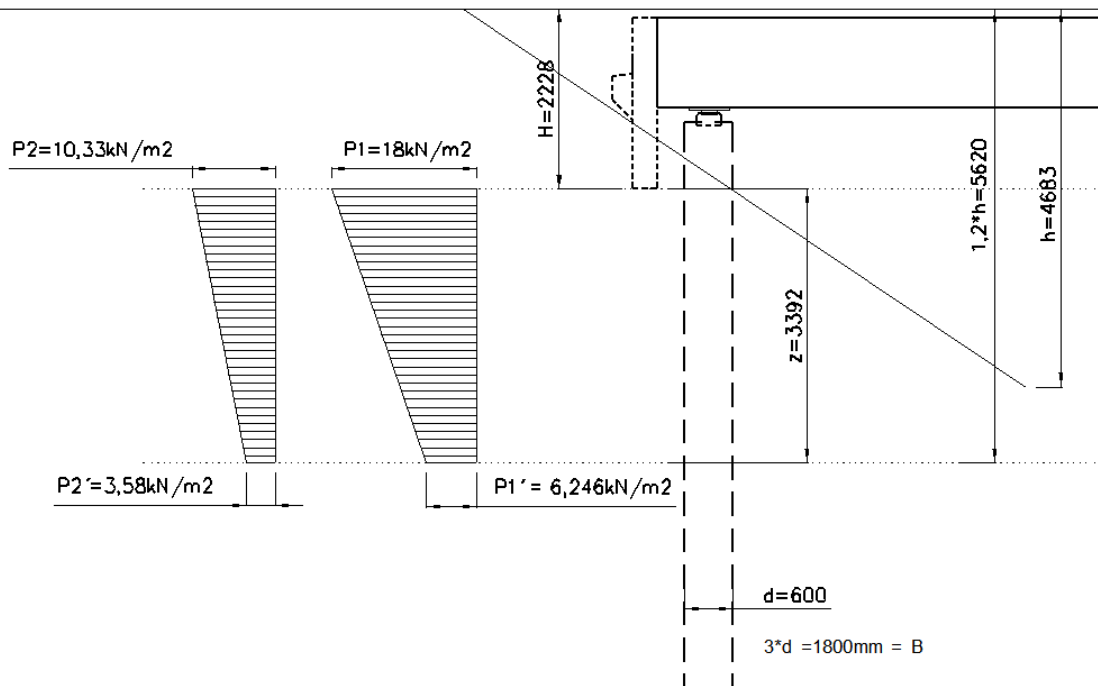
| | | |
|--------------------------|--|-----------------|
| Lepopaineen max.arvo: | $p_{\text{omax}} = 18,0$ kN/m ² | $z_r = 1,982$ m |
| - lisä yläpuol. täytöstä | $\Delta p_0 = 0,0$ kN/m ² | |

Liikennekuorman maanpaineen laskennassa on huomioitu, että ohjeen NCCI 1 (6.12.2017) mukaan siltojen paaluryhmien mitoituksessa päädyn vieressä oleva liikennekuorman vertikaali pintakuorma tasoitetaan yhtenäiseksi tasaiseksi kuormaksi:

$$(3 \text{ m} * 40 \text{ kN/m}^2 + (5,2 \text{ m} - 3 \text{ m}) * 9 \text{ kN/m}^2) / 5,2 \text{ m} = 26,9 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \text{TLEP } 0,384 * 26,9 = 10,33 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine pienenee syvemmälle mennessä maanpaineen intensiteetin jakautuessa 2:1 suhteessa leveämmälle.



Paaluihin kohdistuva lepopaine ja liikennekuorman maanpaine TLEP.



A.5.3 Kuormien yhdistely

Kuormien yhdistelyt tehdään Liikenneviraston ohjeen NCCI 1 mukaisesti. Yhdistelyissä käytetään kyseisen ohjeen liitteen 1 taulukoita ja taulukoiden mukaista kuormitustapausten numerointia.

| TIESILLÄT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|----------------|--------------|-------------|------------------------------|-------------|
| KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b) | | | | | | | | | | | | | | |
| YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_11 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MRT_0 | MRT_1 | MRT_2 | MRT_3 | MRT_4 | MRT_5 | MRT_6 | MRT_7 | MRT_8 | MRT_9 | MRT_10 | MRT_11 | |
| | | 6.10a | gr1a | gr1b | gr2 | gr3 | gr4 | gr5 | F _{sk} | T _x | BF | IL | TLEP | |
| | | LM1 | LM2 | LM1+vaaka | kevyt | ruuhka | LM3 | | Tuuli | Lämpötila | Laakeriritka | Jääkuorma | Lk-maamp. | |
| SET A (EQU) & SET B (STR/GEO) | Omapaino | 1.35 | STR/GEO: 1,25 / 0,9 | | | | | | | | | | EQU: 1,15 / 0,9 | |
| | Esijännitys | 1,1 / 0,9 ⁴⁾ | STR/GEO: 1,1 / 0,9 ⁴⁾ | | | | | | | | | | EQU: 1,1 / 0,9 ³⁾ | |
| SET A (EQU) & SET B (STR/GEO) | gr1a (LM1) | Telit | 1.35 | - | - | - | - | - | - | - | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 |
| | | UDL | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.35 x 0.4 | 1.35 x 0.4 | 1.35 x 0.4 | 1.35 x 0.4 |
| | | Kevyt | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.35 x 0.4 | 1.35 x 0.4 | 1.35 x 0.4 | 1.35 x 0.4 |
| | | gr1b (LM2) | - | 1.35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | gr2 (LM1+Vaaka) | - | - | 1.35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | gr3 (Kevyt) | - | - | - | 1.35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | gr4 (Ruuhka) | - | - | - | - | 1.35 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | gr5 (LM3) | - | - | - | - | - | 1.35 | - | - | - | - | - | - |
| | | F _{sk} ¹⁾ | - | 1.5 x 0.6 | - | - | - | - | - | 1.5 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 |
| | | T _x ²⁾ | - | 1.5 x 0.6 | - | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | - | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 |
| | | BF | - | 1.5 x 0.6 | - | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | - | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 | 1.5 x 0.6 |
| | IL | - | 1.5 x 0.7 | - | 1.5 x 0.7 | 1.5 x 0.7 | 1.5 x 0.7 | 1.5 x 0.7 | - | 1.5 x 0.7 | 1.5 x 0.7 | 1.5 x 0.7 | 1.5 x 0.7 | |
| | S ₂₎ | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | |
| | TLEP | - | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | - | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | 1.35 x 0.75 | |

Taulukko 1: Tiesillat - murtorajatilat

| TIESILLÄT - 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_11a | | | | | | | | | | | KRT_1b - KRT_11b | | | | | | KRT_1c | KRT_1d | | | |
| 1a | 2a | 3a | 4a | 5a | 6a | 7a | 8a | 9a | 10a | 11a | 1b | 2b | 5b | 7b | 8b | 9b | 10b | 11b | 1c | 1d | |
| gr1a | gr1b | gr2 | gr3 | gr4 | gr5 | F _{sk} | T _x | BF | IL | TLEP | gr1a | gr1b | gr4 | F _{wk} | T | BF | IL | TLEP | - | - | |
| Omapaino | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Esijännitys | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| gr1a | Telit | 1 | - | - | - | - | - | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | UDL | - | - | - | - | - | - | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | - | - | - | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | - |
| | Kevyt | - | - | - | - | - | - | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| gr1b | | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.75 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| gr2 | | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.75 | - | - | - | - | - | - | - |
| gr3 | | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.75 | - | - | - | - | - | - |
| gr4 | | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.75 | - | - | - | - | - |
| gr5 | | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.75 | - | - | - | - |
| F _{sk} ¹⁾ | 0.6 | - | - | - | - | - | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | - | - | - | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| T _x | 0.6 | - | 0.6 | 0.6 | 0.6 | - | 0.6 | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | - | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | - |
| BF | 0.6 | - | 0.6 | 0.6 | 0.6 | - | 0.6 | 0.6 | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | - | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | - |
| IL | 0.7 | - | 0.7 | 0.7 | 0.7 | - | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 1 | 0.7 | 0.2 | - | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | - |
| S ²⁾ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TLEP | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | - | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 0.75 ⁴⁾ | - | - |

| LOAD CASES LIST | | |
|-----------------|----------------|------------------------|
| no. | no. in results | name |
| 1 | 1 | Pysyvä / minimi kuorma |
| 2 | 2 | LM1 akselit |
| 3 | 3 | LM1 Pinta |
| 4 | 4 | LM3 |
| 5 | 5 | Jarrukuorma |
| 6 | 6 | Tuulikuorma |
| 7 | 7 | lepopaine |
| 8 | 8 | TLEP |
| 9 | 9 | 0-kuorma |

Kuormat rakennemalleissa.



| GROUP DEFINITION | |
|------------------|------|
| TLEP | 8/ 9 |
| LM1 akselit | 2/ 9 |
| LM1 pintakuorma | 3/ 9 |

Kuormaryhmät rakennemalleissa.

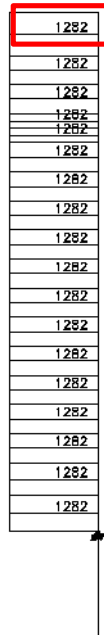
| No. | Title | 1:Pysyvä / minimi kuorma | 4:LM3 | 5:Jarrukuorma | 6:Tuulikuorma | 7:lepopaine | TLEP(GR) | LM1 akselit(GR) | LM1 pintakuorma(GR) |
|-----|---------|--------------------------|-------|---------------|---------------|-------------|----------|-----------------|---------------------|
| 1 | MRT_0 | 1.35 | | | | | | | |
| 2 | MRT_1 | 1.25 | | | 0.9 | 1.25 | 1.0125 | 1.35 | 1.35 |
| 3 | MRT_1 | 0.9 | | | 0.9 | 0.63 | 1.0125 | 1.35 | 1.35 |
| 4 | MRT_1 | 1.25 | | | 0.9 | 0.63 | 1.0125 | 1.35 | 1.35 |
| 5 | MRT_1 | 0.9 | | | 0.9 | 1.25 | 1.0125 | 1.35 | 1.35 |
| 6 | MRT_3 | 1.25 | | 1.35 | | 1.25 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 7 | MRT_3 | 0.9 | | 1.35 | | 0.63 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 8 | MRT_3 | 1.25 | | 1.35 | | 0.63 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 9 | MRT_3 | 0.9 | | 1.35 | | 1.25 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 10 | MRT_6 | 1.25 | 1.35 | | | 1.25 | | | |
| 11 | MRT_6 | 0.9 | 1.35 | | | 0.63 | | | |
| 12 | MRT_6 | 1.25 | 1.35 | | | 0.63 | | | |
| 13 | MRT_6 | 0.9 | 1.35 | | | 1.25 | | | |
| 14 | MRT_7 | 1.25 | | | 1.5 | 1.25 | 1.0125 | | |
| 15 | MRT_7 | 0.9 | | | 1.5 | 0.63 | 1.0125 | | |
| 16 | MRT_7 | 1.25 | | | 1.5 | 0.63 | 1.0125 | | |
| 17 | MRT_7 | 0.9 | | | 1.5 | 1.25 | 1.0125 | | |
| 18 | MRT_8 | 1.25 | | | 0.9 | 1.25 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 19 | MRT_8 | 0.9 | | | 0.9 | 0.63 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 20 | MRT_8 | 1.25 | | | 0.9 | 0.63 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 21 | MRT_8 | 0.9 | | | 0.9 | 1.25 | 1.0125 | 1.0125 | 0.54 |
| 22 | MRT_11 | 1.25 | | | 0.9 | 1.25 | 1.35 | 1.0125 | 0.54 |
| 23 | MRT_11 | 0.9 | | | 0.9 | 0.63 | 1.35 | 1.0125 | 0.54 |
| 24 | MRT_11 | 1.25 | | | 0.9 | 0.63 | 1.35 | 1.0125 | 0.54 |
| 25 | MRT_11 | 0.9 | | | 0.9 | 1.25 | 1.35 | 1.0125 | 0.54 |
| 26 | KRT_1a | 1. | | | 0.6 | 1. | 0.75 | 1. | 1. |
| 27 | KRT_3a | 1. | | 1. | | 1. | 0.75 | 0.75 | 0.4 |
| 28 | KRT_6a | 1. | 1. | | | 1. | | | |
| 29 | KRT_7a | 1. | | | 1. | 1. | 0.75 | | |
| 30 | KRT_8a | 1. | | | 0.6 | 1. | 0.75 | 0.75 | 0.4 |
| 31 | KRT_11a | 1. | | | 0.6 | 1. | 1. | 0.75 | 0.4 |
| 32 | KRT_1b | 1. | | | | 1. | | 0.75 | 0.4 |
| 33 | KRT_7b | 1. | | | 0.2 | 1. | | | |
| 34 | KRT_8b | 1. | | | | 1. | | | 0.3 |
| 35 | KRT_11b | 1. | | | | 1. | 0.4 | | 0.3 |
| 36 | KRT_1c | 1. | | | | 1. | | | 0.3 |

Kuormitusyhdistelyt rakennemalleissa. (GR=kuormaryhmä)



A.5.4 Määrävimmit voimasuureet ja siirtymät

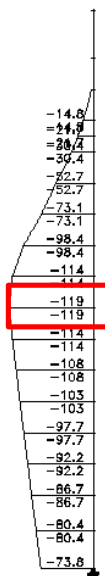
Seuraavassa on esitetty alusrakenteiden määrävimmit voimasuureet ja siirtymät.



AXIAL FORCE COMBINATIONS ENVELOPE

| Nd max., MRT_1 | | | |
|-----------------------|-----|---------|--------|
| Kuorma | Nk | kerroin | Nd |
| Pysyvä/minimi kuorma | 400 | 1,25 | 500 |
| LM1 akselit | 426 | 1,35 | 575,1 |
| LM1 pinta | 153 | 1,35 | 206,55 |
| Tuulikuorma | 0 | 0,9 | 0 |
| Lepopaine | 0 | 1,25 | 0 |
| TLEP | 0 | 1,0125 | 0 |
| Tk lämpötilalaajenema | 0 | 0,9 | 0 |
| | | | 1282 |

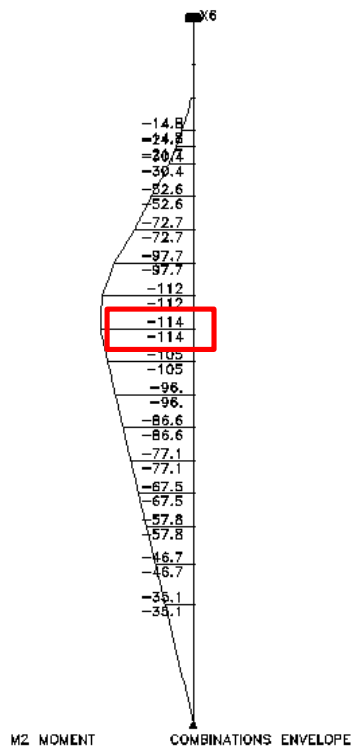
Nd, paalu 1.2



M2 MOMENT COMBINATIONS ENVELOPE

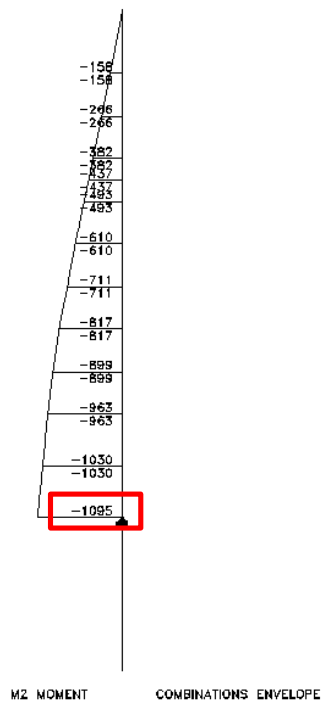
| M2d max., MRT_11 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Tuulikuorma | 0 | 0,9 | 0 |
| Lepopaine | 58,7 | 1,25 | 73,375 |
| TLEP | 33,7 | 1,35 | 45,50 |
| | | | 118,9 |

M2d, paalu 1.2, jäykkä kiinnitys



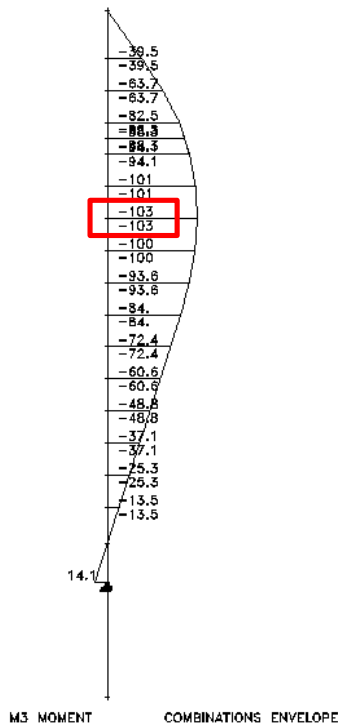
| M2d max., MRT_11 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Tuulikuorma | 0 | 0,9 | 0 |
| Lepopaine | 56,5 | 1,25 | 70,625 |
| TLEP | 32,4 | 1,35 | 43,74 |
| | | | 114,4 |

M2d, paalu 1.2, nivelkiinnitys



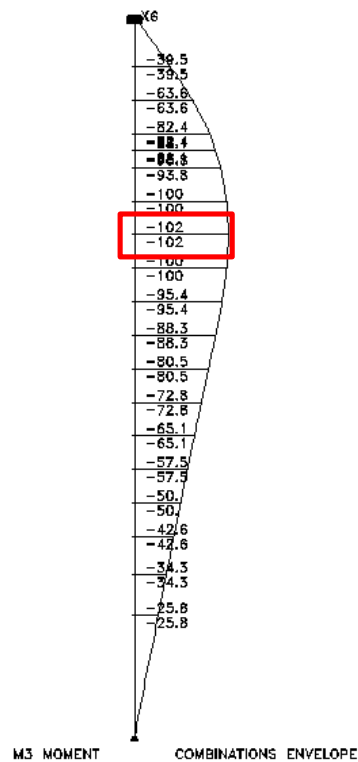
| M2d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | 658 | 1,35 | 888,3 |
| Lepopaine | 113 | 1,25 | 141,25 |
| TLEP | 64,9 | 1,0125 | 65,71 |
| | | | 1095,3 |

M2d, paalu 2.2, jäykkä kiinnitys



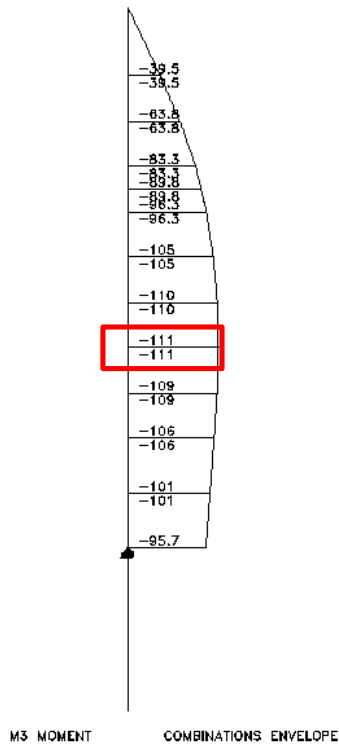
| M3d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | 76,2 | 1,35 | 102,87 |
| Lepopaine | 0 | 1,25 | 0 |
| TLEP | 0 | 1,0125 | 0,00 |
| | | | 102,87 |

M3d, paalu 1.2, jäykkä kiinnitys



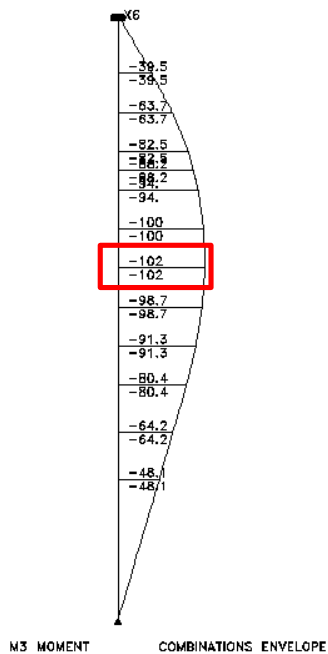
| M3d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | 75,9 | 1,35 | 102,465 |
| Lepopaine | 0 | 1,25 | 0 |
| TLEP | 0 | 1,0125 | 0,00 |
| | | | 102,47 |

M3d, paalu 1.2, nivelkiinnitys



| M3d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | 82,2 | 1,35 | 110,97 |
| Lepopaine | 0 | 1,25 | 0 |
| TLEP | 0 | 1,0125 | 0,00 |
| | | | 110,97 |

M3d, paalu 2.2, jäykkä kiinnitys



| M3d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,0125 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | 75,5 | 1,35 | 101,925 |
| Lepopaine | 0 | 1,25 | 0 |
| TLEP | 0 | 1,0125 | 0,00 |
| | | | 101,93 |

M3d, paalu 2.2, nivelkiinnitys



Paalu 1.2, niveltuettu:

| Maksimisiirtymä, sillan pituussuunta, KRT_11a | | | |
|---|---------|---------|---------|
| Kuorma | dx [mm] | kerroin | dx [mm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 0,75 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,4 | 0 |
| Tuulikuorma | 0 | 0,6 | 0 |
| Lepopaine | 4,82 | 1 | 4,82 |
| TLEP | 2,77 | 1 | 2,77 |
| | | | 7,59 |

| Maksimisiirtymä, sillan poikkisuunta, KRT_3a | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Kuorma | dx [mm] | kerroin | dx [mm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 0,75 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,4 | 0 |
| Jarrukuorma | 4,1 | 1 | 4,1 |
| Lepopaine | 0 | 1 | 0 |
| TLEP | 0 | 0,75 | 0,00 |
| | | | 4,10 |

⇒ Paalun yläpään siirtymät ovat tuella T1 (liikkuvat laakerit) riittävän pienet, ok!

Paalu 2.2, niveltuettu:

| Maksimisiirtymä, sillan pituussuunta, KRT_3a | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Kuorma | dx [mm] | kerroin | dx [mm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 0,75 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,4 | 0 |
| Jarrukuorma | 36,7 | 1 | 36,7 |
| Lepopaine | 5,37 | 1 | 5,37 |
| TLEP | 3,08 | 0,75 | 2,31 |
| | | | 44,38 |

| Maksimisiirtymä, sillan poikkisuunta, KRT_3a | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Kuorma | dx [mm] | kerroin | dx [mm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 0,75 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,4 | 0 |
| Jarrukuorma | 3,96 | 1 | 3,96 |
| Lepopaine | 0 | 1 | 0 |
| TLEP | 0 | 0,75 | 0,00 |
| | | | 3,96 |

⇒ Paalun yläpään siirtymä on tuella T2 (kiinteät laakerit) jarrukuormasta liian suuri 36,7 mm > 20 mm!

⇒ Jotta T2 paalujen yläpään siirtymä saadaan pieneemmään alle tavoitearvon, on:

- T2 paaluille tehtävä vaipan injektointi (varmistetaan momenttijäykkyä kiinnitys)
- otettava paaluiksi paksumpiseinäminen RD600/18 (sama tuelle T1)
- tehtävä paalujen täyttö lujemmalla betonilla C40/50 (sama tuelle T1)

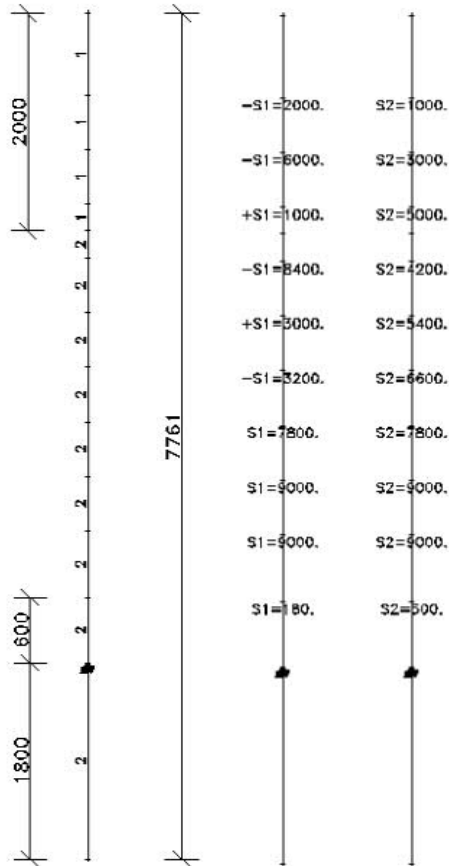
Paalu 2.2, jäykästi tuettu (vaipan injektointi)

| Maksimisiirtymä, sillan pituussuunta, KRT_3a | | | |
|--|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 0,75 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,4 | 0 |
| Jarrukuorma | 20,9 | 1 | 20,9 |
| Lepopaine | 2,56 | 1 | 2,6 |
| TLEP | 1,47 | 0,75 | 1,1 |
| | | | 24,6 |

⇒ Paalun yläpään siirtymä on nyt jarrukuormasta 20,9 mm ~ 20 mm, ok!



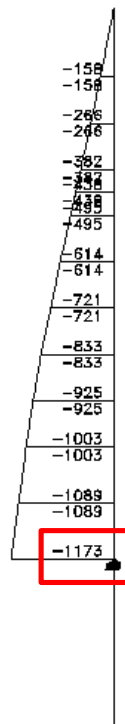
Päivitetty rakennemalli ja määrävät voimasuuret paalulle P2.2:



| MATERIAL TABLE (units - kN meter) | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|---------------|------------|---------------------|---------------|
| NO. | Name | Modulus of Elasticity | Poisson ratio | Density | Thermal coefficient | Shear modulus |
| 2 | STEE | 0.2100E+09 | 0.300 | 0.7850E+02 | 0.00001000 | 0.8077E+08 |
| 4 | C40/50 | 0.3500E+08 | 0.150 | 0.2500E+02 | 0.00001000 | 0.1522E+08 |

| SECTION PROPERTY TABLE (units - mm.) | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------|-----------|--|
| PROPERTY NO. 1 - O600x13 | | | | | | |
| A=0.6710E+05 | I2=0.1921E+10 | I3=0.1921E+10 | J=0.2732E+10 | SF2=0.000 | SF3=0.000 | |
| Material = 2 - STEE | Perimeter=1884.95 | | | | | |
| h2=600.000 | h3=600.000 | e2=300.000 | e3=300.000 | | | |
| Filled | | | Mat=4 | | | |
| PIPE , Diameter= 600.000 | | | Thickness= 13.000 | | | |
| PROPERTY NO. 2 - O605x16 | | | | | | |
| A=0.7240E+05 | I2=0.2162E+10 | I3=0.2162E+10 | J=0.3214E+10 | SF2=0.000 | SF3=0.000 | |
| Material = 2 - STEE | Perimeter=1902.54 | | | | | |
| h2=605.600 | h3=605.600 | e2=302.800 | e3=302.800 | | | |
| Filled | | | Mat=4 | | | |
| PIPE , Diameter= 605.600 | | | Thickness= 15.800 | | | |

Rakennemalli, paalu 2.2, vaippa injektoitu, paalu RD600/18, täyttö C40/50

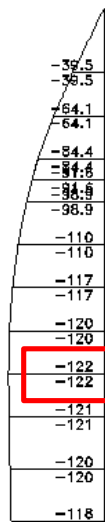


M2 MOMENT

COMBINATIONS ENVELOPE

| M2d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,01 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | -706 | 1,35 | -953,1 |
| Lepopaine | -120 | 1,25 | -150,0 |
| TLEP | -68,9 | 1,01 | -69,6 |
| | | | -1172,7 |

M2d, paalu 2.2, vaippa injektoitu, paalu RD600/18, täyttö C40/50



M3 MOMENT

COMBINATIONS ENVELOPE

| M3d max., MRT_3 | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|
| Kuorma | dx [kNm] | kerroin | dx [kNm] |
| Pysyvä/minimi kuorma | 0 | 1,25 | 0 |
| LM1 akselit | 0 | 1,01 | 0 |
| LM1 pinta | 0 | 0,54 | 0 |
| Jarrukuorma | -90,1 | 1,35 | -121,6 |
| Lepopaine | 0 | 1,25 | 0,0 |
| TLEP | 0 | 1,01 | 0,0 |
| | | | -121,6 |

M3d, paalu 2.2, vaippa injektoitu, paalu RD600/18, täyttö C40/50



A.6 Rakenneosien mitoituksen tiivistelmä

A.7 Alusrakenne

A.7.1.1 Suurpaaluperustukset

Teräsputkipaalujen RD600 ($t = 12,5$ mm) mitoituksessa on huomioitu korroosiovara 5,0 mm 2 m pituudella paalun yläpäässä ja muuten on huomioitu korroosiovara 2,2 mm.

Mitoituksessa on käytetty normaalivoiman mitoitusvoimasuureina pienintä ja suurinta arvoa. On myös etsitty määrävimmät taivutusmomentit pituus- ja poikkisuuntaan sekä näiden resultantit.

| Päärakennemalli (paalu 1.2) | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| x [m] | M2d max. [kNm] | M3d max. [kNm] | Md_resultantti [kNm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,75 | 0 | 39,5 | 39,5 |
| 1,25 | 3,3 | 63,7 | 63,8 |
| 1,75 | 14,8 | 82,6 | 83,9 |
| 2,00 | 21,7 | 88,4 | 91 |
| 2,25 | 30,4 | 94,2 | 99 |
| 2,75 | 52,7 | 101 | 113,9 |
| 3,25 | 73,1 | 103 | 126,3 |
| 3,75 | 98,4 | 100 | 140,3 |
| 4,25 | 114 | 93,7 | 147,6 |
| 4,75 | 119 | 84,1 | 145,7 |
| 5,25 | 114 | 72,4 | 135 |
| 5,75 | 108 | 60,7 | 123,9 |
| 6,25 | 103 | 48,9 | 114 |
| 6,75 | 97,7 | 37,1 | 104,5 |
| 7,25 | 92,2 | 25,3 | 95,6 |
| 7,75 | 86,7 | 13,5 | 87,7 |
| 8,32 | 80,4 | 0 | 80,4 |
| 9,32 | 73,8 | 14,1 | 75,1 |
| 10,72 | 0 | 0 | 0 |

| Rakennemalli 2 (paalu 1.2) | | | |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| x [m] | M2d max. [kNm] | M3d max. [kNm] | Md_resultantti [kNm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,75 | 0 | 39,5 | 39,5 |
| 1,25 | 3,3 | 63,6 | 63,7 |
| 1,75 | 14,8 | 82,4 | 83,7 |
| 2,00 | 21,7 | 88,1 | 90,7 |
| 2,25 | 30,4 | 93,8 | 98,6 |
| 2,75 | 52,6 | 100 | 113 |
| 3,25 | 72,7 | 102 | 125,3 |
| 3,75 | 97,7 | 100 | 139,8 |
| 4,25 | 112 | 95,4 | 147,1 |
| 4,75 | 114 | 88,3 | 144,2 |
| 5,25 | 105 | 80,5 | 132,3 |
| 5,75 | 96 | 72,8 | 120,5 |
| 6,25 | 86,6 | 65,1 | 108,3 |
| 6,75 | 77,1 | 57,5 | 96,2 |
| 7,25 | 67,5 | 50 | 84,0 |
| 7,75 | 57,8 | 42,6 | 71,8 |
| 8,32 | 46,7 | 34,3 | 57,9 |
| 9,32 | 35,1 | 25,8 | 43,6 |
| 10,72 | 0 | 0 | 0 |

Momenttiresultantit, paalu 1.2, jäykkä tuenta / niveltuenta



| Rakennemalli 5 (paalu 2.2) | | | |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| x [m] | M2d max. [kNm] | M3d max. [kNm] | Md_resultantti [kNm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,75 | 158 | 39,5 | 162,5 |
| 1,25 | 266 | 64,1 | 273,6 |
| 1,75 | 382 | 84,4 | 391,2 |
| 2,00 | 438 | 91,6 | 447,5 |
| 2,25 | 495 | 98,9 | 504,8 |
| 2,75 | 614 | 110 | 623,8 |
| 3,25 | 721 | 117 | 730,4 |
| 3,75 | 833 | 120 | 841,6 |
| 4,25 | 925 | 122 | 933 |
| 4,75 | 1003 | 121 | 1010,3 |
| 5,361 | 1089 | 120 | 1095,6 |
| 5,961 | 1173 | 118 | 1178,9 |
| 7,761 | 0 | 0 | 0 |

Momenttiresultantit, paalu 2.2, jäykkä tuenta (vaipan injektointi, RD600/18, C40/50)

A.7.1.1.1 Sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat

Paalujen mitoituksessa on huomioitu PO-2016 mukaisista paalutustoleransseista kaltevuuspoikkeama 20 mm/m. Laakeroinnin vuoksi 25 mm sijaintipoikkeamalla ei ole merkitystä paalun mitoitukselle.

Poikkeaman vaikutus on tarkasteltu rakennemallilla, johon on lisätty paalun kaltevuus ja kuormalla 1 MN/paalu. Poikkeaman vaikutukset on lisätty mitoitusvoimasuureisiin Nd/1MN -kertaisina.

| Päärakennemalli (paalu 1.2) | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| x [m] | Paalupoikkeamalisä/MN [kNm] |
| 0 | 0 |
| 0,75 | 15 |
| 1,25 | 24,2 |
| 1,75 | 31,4 |
| 2,00 | 33,6 |
| 2,25 | 35,8 |
| 2,75 | 38,4 |
| 3,25 | 39,1 |
| 3,75 | 38,1 |
| 4,25 | 35,6 |
| 4,75 | 32 |
| 5,25 | 27,6 |
| 5,75 | 23,2 |
| 6,25 | 18,7 |
| 6,75 | 14,3 |
| 7,25 | 9,8 |
| 7,75 | 5,3 |
| 8,32 | 0,27 |
| 8,92 | 5,1 |
| 10,72 | 0 |

| Rakennemalli 2 (paalu 1.2) | |
|----------------------------|-----------------------------|
| x [m] | Paalupoikkeamalisä/MN [kNm] |
| 0 | 0 |
| 0,75 | 15 |
| 1,25 | 24,2 |
| 1,75 | 31,3 |
| 2,00 | 33,5 |
| 2,25 | 35,6 |
| 2,75 | 38,2 |
| 3,25 | 38,9 |
| 3,75 | 38,2 |
| 4,25 | 36,2 |
| 4,75 | 33,5 |
| 5,25 | 30,6 |
| 5,75 | 27,6 |
| 6,25 | 24,7 |
| 6,75 | 21,8 |
| 7,25 | 19 |
| 7,75 | 16,2 |
| 8,32 | 13 |
| 8,92 | 9,8 |
| 10,72 | 0 |

| Rakennemalli 5 (paalu 2.2) | |
|----------------------------|-----------------------------|
| x [m] | Paalupoikkeamalisä/MN [kNm] |
| 0 | 0 |
| 0,75 | 15 |
| 1,25 | 24,3 |
| 1,75 | 31,1 |
| 2,00 | 34,8 |
| 2,25 | 37,6 |
| 2,75 | 41,7 |
| 3,25 | 44,3 |
| 3,75 | 45,8 |
| 4,25 | 46,3 |
| 4,75 | 46,2 |
| 5,361 | 45,7 |
| 5,961 | 45,1 |
| 7,761 | 0 |



A.7.1.1.2 Paalujen mitoitus, T1

Lommahdus

Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 4 oppikirja by 58, kohta 3.3.2

Korroosiovaralla 5,0 mm

| | |
|---|---|
| Paalu | RD600/12,5 |
| Teräslaatu | S355J2H |
| Korroosiovara | 5 mm |
| Putken paksuus | t = 7,5 mm |
| Halkaisija | D = 600 mm |
| Myötölujuus | f _y = 355 MPa |
| Suhdeluku | $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$ |
| Suhdeluku | $\frac{D}{t} = 80$ |
| Suhdeluku | $90\varepsilon^2 = 59,6$ |
| Seinämän paksuusehto | $\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2$ EI KÄY! --> Lommahdus otettava huomioon |
| Putken poikkipinta-ala | A.a = 13960 mm ² |
| Putken tehollinen poikkipinta-ala kun $\frac{D}{t} > 90\varepsilon^2$ | $A.a.e = A.a * \left(\frac{90\varepsilon^2}{\frac{D}{t}}\right) = 10406 \text{ mm}^2$ |
| Tehollinen halkaisija kun $\frac{D}{t} > 90\varepsilon^2$ | $D.e = \sqrt{\frac{4}{\pi} * A.a.e + (D - 2 * t)^2} = 596 \text{ mm}$ |
| Putken tehollinen paksuus kun $\frac{D}{t} > 90\varepsilon^2$ | t.e = t - (D - D.e) / 2 = 5,5 mm |
| Putken tehollinen paino | 81,7 kg/m |



Korroosiovaralla 2,2 mm

| | |
|------------------------|--|
| Paalu | RD600/12,5 |
| Teräslaatu | S355J2H |
| Korroosiovara | 2,2 mm |
| Putken paksuus | t = 10,3 mm |
| Halkaisija | D = 605,6 mm |
| Myötylujuus | f _y = 355 MPa |
| Suhdeluku | $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$ |
| Suhdeluku | $\frac{D}{t} = 58,8$ |
| Suhdeluku | $90\varepsilon^2 = 59,6$ |
| Seinämän paksuusehto | $\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2$ OK |
| Putken poikkipinta-ala | A.a = 19263 mm ² |
| Putken paino | 151,2 kg/m |



Poikkileikkausten kapasiteetit:

Dimensioning of the column span

Span: Span 1

Column type

- Composite column
- Concrete column
- Steel column
- Composite plate column

Cross-section

- Square
- Rectangular
- Circular

Cross-section and materials of the column

Column size: 1_RD600/7,5

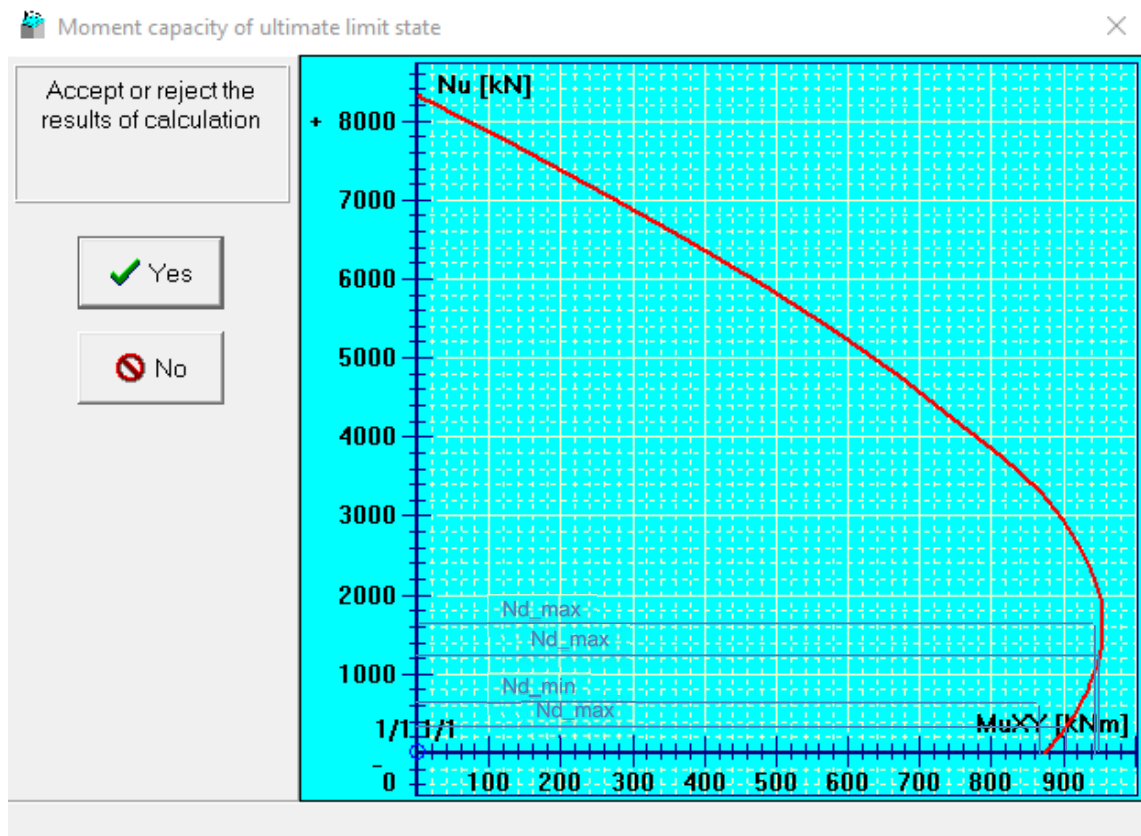
Reinforcement: 1884.0 mm²

Concrete strength: C25/30

Capacity calculation

Ultimate limit state

Fire dimensioning



Betonoitu liittopaalu 5,0 mm korroosiolla, vähimmäisraudoitus 6T20.



Dimensioning of the column span

Span: Span 1

Column type

- Composite column
- Concrete column
- Steel column
- Composite plate column

Cross-section

- Square
- Rectangular
- Circular

Cross-section and materials of the column

Column size: 2_RD605,6/10,3

Reinforcement: 1884.0 mm²

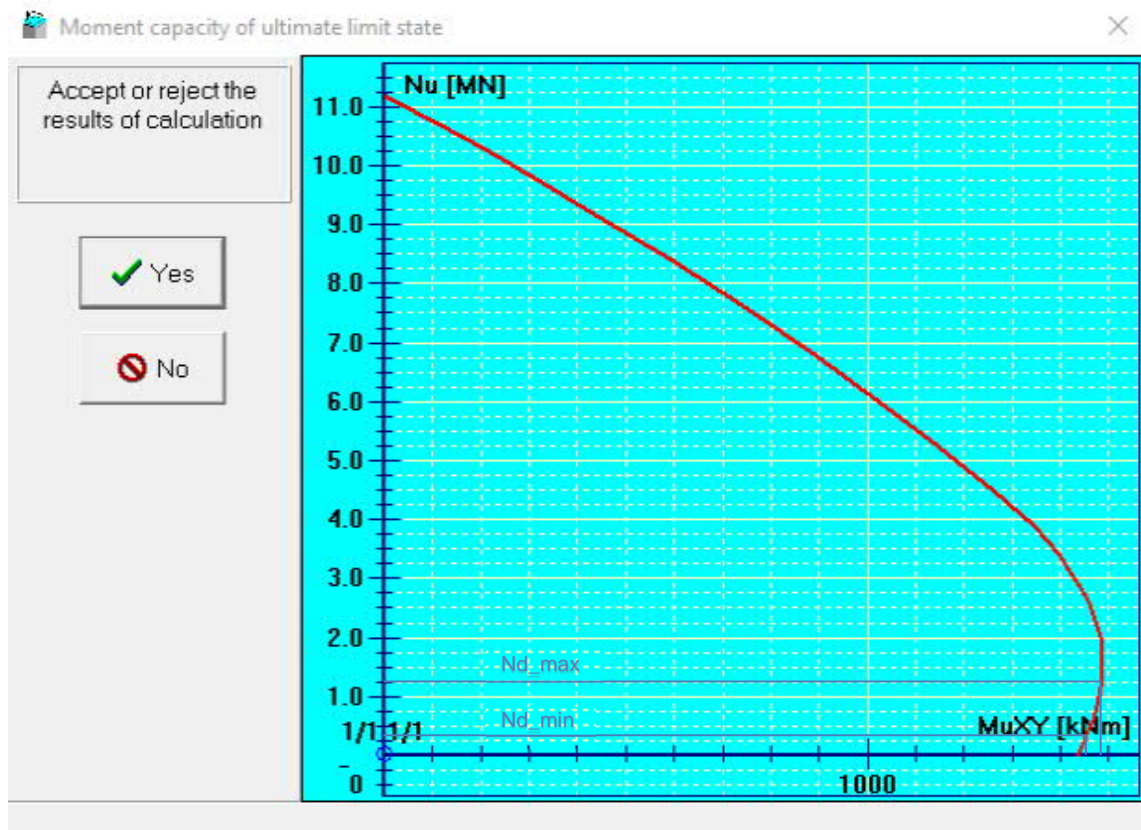
Concrete strength: C25/30

Capacity calculation

Ultimate limit state

2nd order

Fire dimensioning



Betonoitu liittopaalu 2,2 mm korroosiolla, vähimmäisraudoitus 6T20.



LISÄMOMENTTI (pyöreäliittopaalu)

(Päärakennemallin (paalu 1.2) arvot)

POIKKILEIKKAUKSEN JA RAKENTEEN TIEDOT:

| | | |
|-------------------------|------------------|--|
| D = | 610 mm | Teräsputkipaalun halkaisija (alkuarvo) |
| t = | 12,5 mm | Teräsputkipaalun seinämän vahvuus (alkuarvo) |
| corr. = | 5 mm | Teräsputkipaalun seinämän korroosiovara |
| L = | 8,920 m | Tarkasteltavan rakenteen mitoittava pituus |
| $k_c =$ | 2,20 * L | Mitoittavan pituuden nurjahduskerroin |
| $L_c =$ | 19,624 m | Rakenteen nurjahduspituus |
| $c_{nom} =$ | 40 mm | Raudituksen suojabetonipeite |
| $\varnothing_1 =$ | 20 mm (pääteräs) | Raudituksen pääteräksen halkaisija |
| $\varnothing_{1,KPL} =$ | 6 kpl | Pääterästen kokonaislukumäärä |
| $\varnothing_2 =$ | 10 mm (haat yms) | Pääteräsiä ympäröivän haan halkaisija |
| TL = | 3 toteutusluokka | Teräsputkipaalun toteutusluokka |

BETONIN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| $f_{ck} =$ | 30,00 N/mm ² |
| $\gamma_c =$ | 1,35 --- |
| $f_{td} =$ | 22,22 N/mm ² |
| $E_{cm} =$ | 32 837 N/mm ² |
| $A_c =$ | 0,26690 m ² |
| $I_c =$ | 0,00570 m ⁴ |
| $\varphi(\infty, t_0) =$ | 1,50 --- |

RAUDOITUKSEN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------|---------------------------|
| $f_{yk} =$ | 500,00 N/mm ² |
| $\gamma_s =$ | 1,10 --- |
| $f_{td} =$ | 454,55 N/mm ² |
| $E_s =$ | 200 000 N/mm ² |
| $A_s =$ | 0,001885 m ² |
| $I_s =$ | 0,000051 m ⁴ |
| $\rho =$ | 0,71 % |

TERÄKSEN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------|---------------------------|
| $f_{yk} =$ | 355,00 N/mm ² |
| $\gamma_M =$ | 1,00 --- |
| $f_{td} =$ | 355,00 N/mm ² |
| $E_s =$ | 210 000 N/mm ² |
| $A_s =$ | 0,013960 m ² |
| $I_s =$ | 0,000613 m ⁴ |

VOIMASUUREET:

| ① TAPAUSET | |
|--------------|-----------|
| $N_{Ed} =$ | 1,282 MN |
| $N_{G,Ed} =$ | MNm |
| $M_{0,Ed} =$ | 0,193 MNm |

| ② TAPAUSET | |
|--------------|-----------|
| $N_{Ed} =$ | 0,360 MN |
| $N_{G,Ed} =$ | MNm |
| $M_{0,Ed} =$ | 0,160 MNm |

| ③ TAPAUSET | |
|--------------|-----|
| $N_{Ed} =$ | MNm |
| $N_{G,Ed} =$ | MNm |
| $M_{0,Ed} =$ | MNm |

TAVUTUSJÄYKKYYDET JA HOIKKUUS:

Korjaus- ja sovituskertoimet:

| | |
|------------------|----------|
| $K_{\alpha} =$ | 0,60 --- |
| $K_{\alpha,1} =$ | 0,50 --- |
| $K_{\alpha} =$ | 0,90 --- |

Plastiset puristuskestävyydet:

| | |
|---------------|----------|
| $N_{p,Rk} =$ | 13,91 MN |
| $N_{p1,Rk} =$ | 11,74 MN |

Teräsosakerroin:

| | |
|------------------------------|-----------|
| $\delta_1 =$ | 0,422 --- |
| 0,2 ≤ δ_1 ≤ 0,9 → OK! | |

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi(\infty, t_0) * N_{G,Ed} / N_{Ed})$$

$$(EI)_{eff} = E_s * I_s + E_c * I_c + K_{\alpha} * E_{c,eff} * I_c$$

$$(EI)_{eff1} = K_{\alpha} * (E_s * I_s + E_c * I_c + K_{\alpha,1} * E_{c,eff} * I_c)$$

$$N_{\sigma} = \pi^2 * (EI)_{eff} / L_c^2$$

$$N_{\sigma,eff} = \pi^2 * (EI)_{eff1} / L_c^2$$

$$\lambda = \sqrt{(N_{p,Rk} / N_{\sigma})} \quad (\lambda_{max} = 2,0)$$

| | ① | ② | ③ | |
|-------------------|--------|--------|-----|-------------------|
| N/mm ² | 13 135 | 13 135 | --- | N/mm ² |
| MNm ² | 183,8 | 183,8 | --- | MNm ² |
| MNm ² | 158,7 | 158,7 | --- | MNm ² |
| MN | 4,7 | 4,7 | --- | MN |
| MN | 4,1 | 4,1 | --- | MN |
| --- | 1,718 | 1,718 | --- | --- |

LISÄMOMENTTI:

$$e_0 = L/300 \text{ kun } \rho \leq 3\% \quad \text{ja} \quad L/200 \text{ kun } \rho > 3\%$$

$$\Delta M_1 = N_{Ed} * e_0 \quad (\text{perusepäkeskisyydestä})$$

$$k_{m1} = 1 / (1 - N_{Ed} / N_{\sigma,eff}) \quad (k_{m,min} = 1,0)$$

$$\Delta M_2 = (M_{0,Ed} + \Delta M_1) * (k_{m1} - 1) \quad (2. \text{ kertaluku})$$

$$\Delta M_{Ed} = \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (\text{kokonaislisämomentti})$$

| | ① | ② | ③ | |
|-----|-------|-------|-----|-----|
| m | 0,030 | 0,030 | --- | m |
| MNm | 0,038 | 0,011 | --- | MNm |
| --- | 1,460 | 1,097 | --- | --- |
| MNm | 0,107 | 0,017 | --- | MNm |
| MNm | 0,145 | 0,027 | --- | MNm |

MITOITAVAT VOIMASUUREET:

$$N_{Ed} = (\text{k.o. tapauksen mitoittava normaalivoima})$$

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} + \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (\text{kokonaismomentti})$$

| | ① | ② | ③ | |
|-----|-------|-------|-----|-----|
| MN | 1,282 | 0,360 | --- | MN |
| MNm | 0,338 | 0,188 | --- | MNm |



PAALUN RASITUS/KAPASITEETTI-KÄYRÄ Mmax+Nmax

KAPASITEETIKÄYRÄN PISTEET:

| x | M _{Ed} |
|--------|-----------------|
| mm | MNm |
| 0 | 0,000 |
| -2 000 | 0,779 |
| -2 440 | 1,490 |
| -8 920 | 1,490 |

(x = etäisyys paalun yläpäädästä)

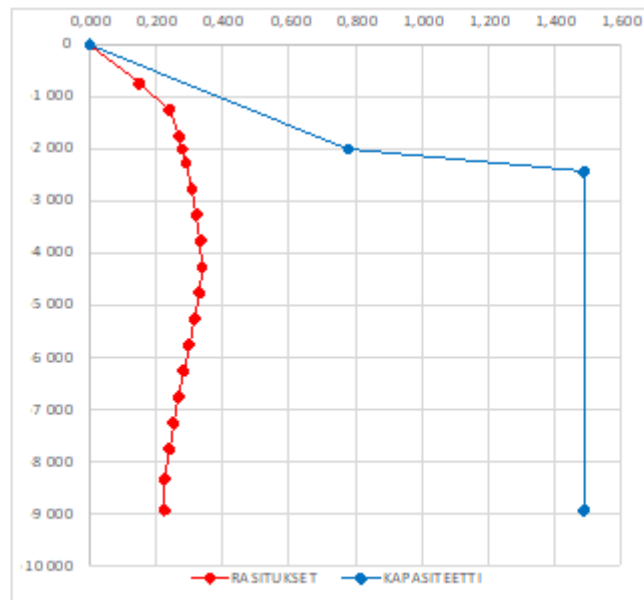
- ① Paalun yläpään kapasiteetti
- ② 0,82 * raudoitettun liittopaalun kapasiteetti
- ③ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti
- ④ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti

| Korroosio | Rauditus | Betoni |
|-----------|----------|--------|
| 5,0 mm | 6T20 | C25/30 |
| 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |
| 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |

MOMENTTIRASITUSKÄYRÄN PISTEET:

| x | M _{0Ed} | M _{Ed} |
|--------|------------------|-----------------|
| mm | MNm | MNm |
| 0 | 0,000 | 0,000 |
| -750 | 0,059 | 0,148 |
| -1 250 | 0,095 | 0,239 |
| -1 750 | 0,124 | 0,269 |
| -2 000 | 0,134 | 0,279 |
| -2 250 | 0,145 | 0,290 |
| -2 750 | 0,163 | 0,308 |
| -3 250 | 0,176 | 0,321 |
| -3 750 | 0,189 | 0,334 |
| -4 250 | 0,193 | 0,338 |
| -4 750 | 0,187 | 0,331 |
| -5 250 | 0,170 | 0,315 |
| -5 750 | 0,154 | 0,298 |
| -6 250 | 0,138 | 0,283 |
| -6 750 | 0,123 | 0,267 |
| -7 250 | 0,108 | 0,253 |
| -7 750 | 0,095 | 0,239 |
| -8 320 | 0,081 | 0,225 |
| -8 920 | 0,082 | 0,226 |

| | | | |
|--------------------------|-------|-----|---------------------------------|
| $\Delta x =$ | 500 | mm | Arvojen välimatka |
| $\Delta M_{Ed} =$ | 0,145 | MNm | Lisämomentti |
| $X \sim \Delta M_{Ed} =$ | 1 220 | mm | ΔM_{Ed} kehittymismatka |





PAALUN RASITUS/KAPASITEETTI-KÄYRÄ Mmax+Nmin

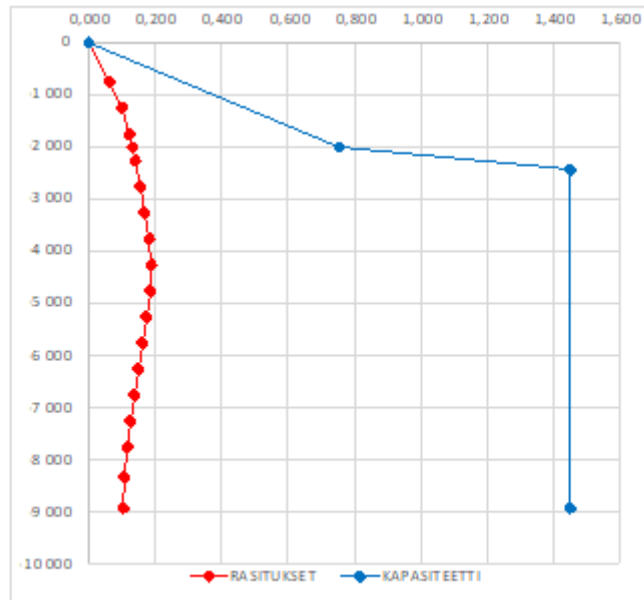
KAPASITEETTIKÄYRÄN PISTEET:

| x mm | M_{Ed} MNm | (x = etäisyys paalun yläpäädstä) | Korroosio | Rauditus | Betoni |
|---------|-----------------|---|-----------|----------|--------|
| 0 | 0,000 | ① Paalun yläpään kapasiteetti | | | |
| -2 000 | 0,754 | ② 0,82 * raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 5,0 mm | 6T20 | C25/30 |
| -2 440 | 1,450 | ③ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |
| -8 920 | 1,450 | ④ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |

MOMENTTIRASITUSKÄYRÄN PISTEET:

| x mm | M_{0Ed} MNm | M_{Ed} MNm |
|---------|------------------|-----------------|
| 0 | 0,000 | 0,000 |
| -750 | 0,045 | 0,062 |
| -1 250 | 0,073 | 0,100 |
| -1 750 | 0,095 | 0,123 |
| -2 000 | 0,103 | 0,130 |
| -2 250 | 0,112 | 0,139 |
| -2 750 | 0,128 | 0,155 |
| -3 250 | 0,140 | 0,168 |
| -3 750 | 0,154 | 0,181 |
| -4 250 | 0,160 | 0,188 |
| -4 750 | 0,157 | 0,185 |
| -5 250 | 0,145 | 0,172 |
| -5 750 | 0,132 | 0,160 |
| -6 250 | 0,121 | 0,148 |
| -6 750 | 0,110 | 0,137 |
| -7 250 | 0,099 | 0,126 |
| -7 750 | 0,090 | 0,117 |
| -8 320 | 0,081 | 0,108 |
| -8 920 | 0,077 | 0,104 |

| | | | |
|---------------------------|-------|-----|------------------------------|
| $\Delta x =$ | 500 | mm | Arvojen välimatka |
| $\Delta M_{Ed} =$ | 0,027 | MNm | Lisämomentti |
| $X \cdot \Delta M_{Ed} =$ | 1 220 | mm | ΔM_{Ed} kehitysmatka |





LISÄMOMENTTI (pyöreäliittopaalu)

(Rakennemalli 2 (paalu 1.2))

POIKKILEIKKAUKSEN JA RAKENTEEEN TIEDOT:

| | | |
|------------------------|------------------|--|
| D = | 610 mm | Teräsputkipaalun halkaisija (alkuarvo) |
| t = | 12,5 mm | Teräsputkipaalun seinämän vahvuus (alkuarvo) |
| corr. = | 5 mm | Teräsputkipaalun seinämän korroosiovara |
| L = | 10,720 m | Tarkasteltavan rakenteen mitoitettava pituus |
| k_c = | 2,20 * L | Mitoittavan pituuden nurjahduskerroin |
| L_c = | 23,584 m | Rakenteen nurjahduspituus |
| c_{nom} = | 40 mm | Raudoituksen suojaetonpöite |
| \varnothing_1 = | 20 mm (pääteräs) | Raudoituksen pääteräksen halkaisija |
| $\varnothing_{1,XP}$ = | 6 kpl | Pääterästen kokonaislukumäärä |
| \varnothing_2 = | 10 mm (haat yms) | Pääteräsiä ympäröivän haan halkaisija |
| TL = | 3 toteutusluokka | Teräsputkipaalun toteutusluokka |

BETONIN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| f_{ak} = | 30,00 N/mm ² |
| γ_c = | 1,35 --- |
| f_{cd} = | 22,22 N/mm ² |
| E_{cm} = | 32 837 N/mm ² |
| A_c = | 0,26690 m ² |
| I_c = | 0,00570 m ⁴ |
| $\varphi(\infty, t_0)$ = | 1,50 --- |

RAUDOITUKSEN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------|---------------------------|
| f_{ak} = | 500,00 N/mm ² |
| γ_s = | 1,10 --- |
| f_{sd} = | 454,55 N/mm ² |
| E_s = | 200 000 N/mm ² |
| A_s = | 0,001885 m ² |
| I_s = | 0,000051 m ⁴ |
| ρ = | 0,71 % |

TERÄKSEN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------|---------------------------|
| f_{yk} = | 355,00 N/mm ² |
| γ_M = | 1,00 --- |
| f_{yd} = | 355,00 N/mm ² |
| E_s = | 210 000 N/mm ² |
| A_s = | 0,013960 m ² |
| I_s = | 0,000613 m ⁴ |

VOIMASUUREET:

| ① TAPAUUS | |
|--------------|-----------|
| N_{Ed} = | 1,282 MN |
| $N_{G,Ed}$ = | MNm |
| $M_{0,Ed}$ = | 0,194 MNm |

| ② TAPAUUS | |
|--------------|-----------|
| N_{Ed} = | 0,360 MN |
| $N_{G,Ed}$ = | MNm |
| $M_{0,Ed}$ = | 0,160 MNm |

| ③ TAPAUUS | |
|--------------|-----|
| N_{Ed} = | MNm |
| $N_{G,Ed}$ = | MNm |
| $M_{0,Ed}$ = | MNm |

TAIVUTUSJÄYKKYYDET JA HOIKKUUS:

Korjaus- ja sovituskertoimet:

| | |
|-------------|----------|
| K_a = | 0,60 --- |
| $K_{a,1}$ = | 0,50 --- |
| K_a = | 0,90 --- |

Plastiset puristuskestävyydet:

| | |
|---------------|----------|
| $N_{pl,Rk}$ = | 13,91 MN |
| $N_{pl,Rd}$ = | 11,74 MN |

Teräsosakerroin:

| | |
|------------------------------|-----------|
| δ_s = | 0,422 --- |
| 0,2 ≤ δ_s ≤ 0,9 → OK! | |

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi(\infty, t_0) * N_{G,Ed} / N_{Ed})$$

$$(EI)_{eff} = E_s * I_s + E_{c,eff} * I_c + K_a * E_{c,eff} * I_c$$

$$(EI)_{eff,1} = K_a * (E_s * I_s + E_{c,eff} * I_c + K_{a,1} * E_{c,eff} * I_c)$$

$$N_{\sigma} = \lambda^2 * (EI)_{eff} / L_c^2$$

$$N_{\sigma,eff} = \lambda^2 * (EI)_{eff,1} / L_c^2$$

$$\lambda = \sqrt{(N_{pl,Rk} / N_{\sigma})} \quad (\lambda_{max} = 2,0)$$

| | ① | ② | ③ | |
|-------------------|--------|--------|-----|-------------------|
| N/mm ² | 13 135 | 13 135 | --- | N/mm ² |
| MNm ² | 183,8 | 183,8 | --- | MNm ² |
| MNm ² | 158,7 | 158,7 | --- | MNm ² |
| MN | 3,3 | 3,3 | --- | MN |
| MN | 2,8 | 2,8 | --- | MN |
| --- | 2,065 | 2,065 | --- | --- |

LISÄMOMENTTI:

$$e_0 = L/300 \text{ kun } \rho \leq 3\% \text{ ja } L/200 \text{ kun } \rho > 3\%$$

$$\Delta M_1 = N_{Ed} * e_0 \quad (\text{perusepäkesisyydestä})$$

$$k_{tm} = 1 / (1 - N_{Ed} / N_{\sigma,eff}) \quad (k_{tm,min} = 1,0)$$

$$\Delta M_2 = (M_{0,Ed} + \Delta M_1) * (k_{tm} - 1) \quad (2. \text{ kertaluku})$$

$$\Delta M_{Ed} = \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (\text{kokonaislisämomentti})$$

| | ① | ② | ③ | |
|-----|-------|-------|-----|-----|
| m | 0,036 | 0,036 | --- | m |
| MNm | 0,046 | 0,013 | --- | MNm |
| --- | 1,836 | 1,147 | --- | --- |
| MNm | 0,200 | 0,025 | --- | MNm |
| MNm | 0,246 | 0,038 | --- | MNm |

MITOITAVAT VOIMASUUREET:

$$N_{Ed} = \text{(k.o. tapauksen mitoitettava normaalivoima)}$$

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} + \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (\text{kokonaismomentti})$$

| | ① | ② | ③ | |
|-----|-------|-------|-----|-----|
| MN | 1,282 | 0,360 | --- | MN |
| MNm | 0,439 | 0,198 | --- | MNm |



PAALUN RASITUS/KAPASITEETTI-KÄYRÄ Mmax+Nmax

KAPASITEETTIKÄYRÄN PISTEET:

| x | M _{Rd} |
|---------|-----------------|
| mm | MNm |
| 0 | 0,000 |
| -2 000 | 0,779 |
| -2 440 | 1,490 |
| -10 720 | 1,490 |

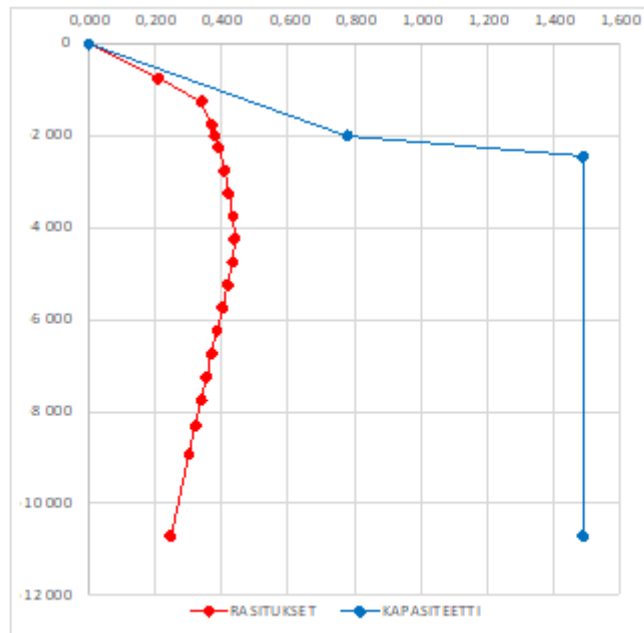
(x = etäisyys paalun yläpäästä)

| | Korroosio | Rauditus | Betoni |
|---|-----------|----------|--------|
| ① Paalun yläpään kapasiteetti | | | |
| ② 0,82 * raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 5,0 mm | 6T20 | C25/30 |
| ③ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |
| ④ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |

MOMENTTIRASITUSKÄYRÄN PISTEET:

| x | M _{0Ed} | M _{Ed} |
|---------|------------------|-----------------|
| mm | MNm | MNm |
| 0 | 0,000 | 0,000 |
| -750 | 0,059 | 0,210 |
| -1 250 | 0,095 | 0,341 |
| -1 750 | 0,124 | 0,370 |
| -2 000 | 0,134 | 0,380 |
| -2 250 | 0,144 | 0,390 |
| -2 750 | 0,162 | 0,408 |
| -3 250 | 0,175 | 0,421 |
| -3 750 | 0,189 | 0,435 |
| -4 250 | 0,194 | 0,439 |
| -4 750 | 0,187 | 0,433 |
| -5 250 | 0,172 | 0,417 |
| -5 750 | 0,156 | 0,402 |
| -6 250 | 0,140 | 0,386 |
| -6 750 | 0,124 | 0,370 |
| -7 250 | 0,108 | 0,354 |
| -7 750 | 0,093 | 0,339 |
| -8 320 | 0,075 | 0,321 |
| -8 920 | 0,056 | 0,302 |
| -10 720 | 0,000 | 0,246 |

| | | | |
|---------------------------|-------|-----|---------------------------------|
| $\Delta x =$ | 500 | mm | Arvojen välimatka |
| $\Delta M_{Ed} =$ | 0,246 | MNm | Lisämomentti |
| $X \cdot \Delta M_{Ed} =$ | 1 220 | mm | ΔM_{Ed} kehittymismatka |





PAALUN RASITUS/KAPASITEETTI-KÄYRÄ Mmax+Nmin

KAPASITEETIKÄYRÄN PISTEET:

| x mm | M _{Ed} MNm |
|---------|------------------------|
| 0 | 0,000 |
| -2 000 | 0,754 |
| -2 440 | 1,450 |
| -10 720 | 1,450 |

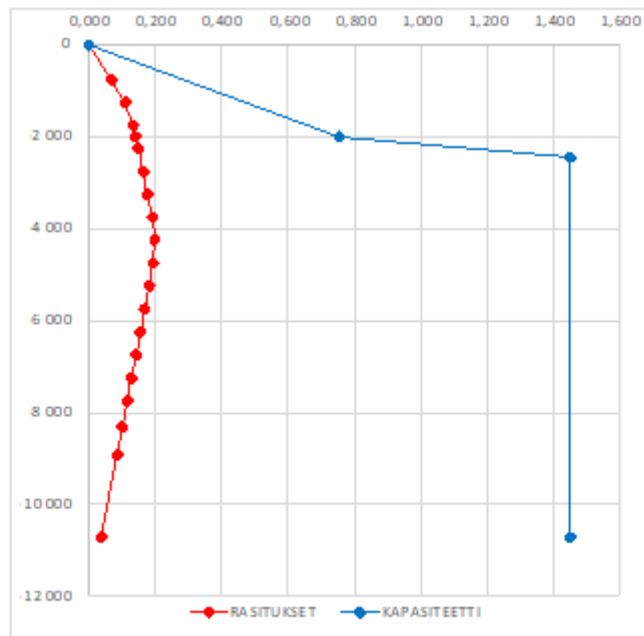
(x = etäisyys paalun yläpäältä)

| | Korroosio | Rauditus | Betoni |
|---|-----------|----------|--------|
| ① Paalun yläpään kapasiteetti | | | |
| ② 0,82 * raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 5,0 mm | 6T20 | C25/30 |
| ③ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |
| ④ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C25/30 |

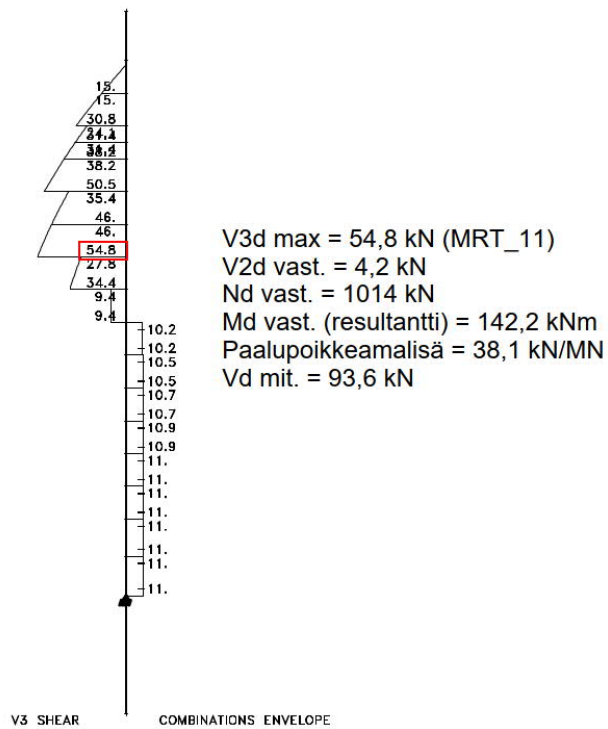
MOMENTTIRASITUSKÄYRÄN PISTEET:

| x mm | M _{0Ed} MNm | M _{Ed} MNm |
|---------|-------------------------|------------------------|
| 0 | 0,000 | 0,000 |
| -750 | 0,045 | 0,068 |
| -1 250 | 0,072 | 0,111 |
| -1 750 | 0,095 | 0,133 |
| -2 000 | 0,103 | 0,141 |
| -2 250 | 0,111 | 0,150 |
| -2 750 | 0,127 | 0,165 |
| -3 250 | 0,139 | 0,178 |
| -3 750 | 0,154 | 0,192 |
| -4 250 | 0,160 | 0,198 |
| -4 750 | 0,156 | 0,195 |
| -5 250 | 0,143 | 0,182 |
| -5 750 | 0,130 | 0,169 |
| -6 250 | 0,117 | 0,155 |
| -6 750 | 0,104 | 0,142 |
| -7 250 | 0,091 | 0,129 |
| -7 750 | 0,078 | 0,116 |
| -8 320 | 0,063 | 0,101 |
| -8 920 | 0,047 | 0,085 |
| -10 720 | 0,000 | 0,038 |

| | | | |
|--------------------------|-------|-----|---------------------------------|
| $\Delta x =$ | 500 | mm | Arvojen välimatka |
| $\Delta M_{Ed} =$ | 0,038 | MNm | Lisämomentti |
| $X \sim \Delta M_{Ed} =$ | 1 220 | mm | ΔM_{Ed} kehittymismatka |



⇒ Tuella T1 paalu RD600/18 + täyttö C40/50 + vähimmäisraudoitus 6T20, ei vaipan injektointia.



V3d kuvaaja ja Vd mit. arvo, paalu 1.2, jäykkä tuenta (niveltuentaa määräävämpi)



LEIKKAUSMITOITUS

(päärakennemalli (paalu1.2))

POIKKILEIKKAUS:

| | | |
|-------------|-----------------------------------|-------------------------|
| $h =$ | <input type="text" value="585"/> | mm |
| $b_w =$ | <input type="text" value="1000"/> | mm |
| $c_{nom} =$ | <input type="text" value="40"/> | mm |
| $\phi_1 =$ | <input type="text" value="20"/> | mm (pääteräs) |
| $\phi_2 =$ | <input type="text" value="10"/> | mm (haka,jakorauta yms) |
| $d =$ | <input type="text" value="525"/> | mm |
| TL = | <input type="text" value="3"/> | toteutusluokka |

VOIMASUUREET:

| | | |
|-----------------|-----------------------------------|-----|
| $V_{Ed} =$ | <input type="text" value="94"/> | kN |
| $N_{Ed,vast} =$ | <input type="text" value="1014"/> | kN |
| $M_{Ed,vast} =$ | <input type="text" value="142"/> | kNm |

BETONIN OMINAISUUDET:

| | | |
|-------------|------------------------------------|-------------------|
| $f_{ck} =$ | <input type="text" value="30,00"/> | N/mm ² |
| $V_c =$ | <input type="text" value="1,35"/> | ---- |
| $f_{cd} =$ | <input type="text" value="18,89"/> | N/mm ² |
| $f_{ctd} =$ | <input type="text" value="1,50"/> | N/mm ² |

TERÄKSEN OMINAISUUDET:

| | | |
|-------------|-------------------------------------|-------------------|
| $f_{yk} =$ | <input type="text" value="500,00"/> | N/mm ² |
| $V_s =$ | <input type="text" value="1,10"/> | ---- |
| $f_{yd} =$ | <input type="text" value="454,55"/> | N/mm ² |
| $A_{s,l} =$ | <input type="text" value="1 885"/> | mm ² |

LEIKKAUSMITOITUS:

Leikkausraudoittamattoman rakenteen leikkauskestävyys

$$V_{cd} = 0,3 \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot \rho_1) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

Leikkausraudoitetun rakenteen leikkauskestävyys

$$V_u = V_{Rd,s} + 0,8 \cdot V_{Rd,c} \leq V_{u,max} = 0,25 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$V_{Rd,c} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{ctd}$$

$$V_{Rd,s} = 0,9 \cdot A_{sv} / s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

Kun rakenteeseen vaikuttaa puristava normaalivoima N_d , saadaan betonin

leikkauskapasiteettiasuurentaa kertoimella β_1

$$\beta_1 = 1 + M_0 / M_{Ed} \leq 2, \text{ missä } M_0 = N_{Ed} \cdot h / 6 \quad (\text{suorakaidepoikkileikkauksessa})$$

$$= 1,6953$$

$$\rho_1 = 0,0036 = A_{s,l} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$$

$$k = 1,0750 = 1,6 - d(m) \geq 0,8$$

$$V_{cd} = 508 \text{ kN}$$

$$V_{u,max} = 2479 \text{ kN} > V_{Ed}$$

Tarvittava leikkausraudoitus:

$$A_{sv} = 0 \text{ mm}^2/m \quad A_{sv,min} = 0 \text{ mm}^2/m = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot \sin \alpha / f_{yk}$$

⇒ Vähimmäishaat ok.



A.7.1.1.3 Paalujen mitoitus, T2 (vaipan injektointi)

Lommahdus

Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 4 oppikirja by 58, kohta 3.3.2

Korroosiovaralla 5,0 mm

| | |
|-------------------------|--|
| Paalu | RD600/18 |
| Teräslaatu | S355J2H |
| Korroosiovara | 5 mm |
| Putken paksuus | t = 13 mm |
| Halkaisija | D = 600 mm |
| Myötöylujuus | f _y = 355 MPa |
| Suhdeluku | $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$ |
| Suhdeluku | $\frac{D}{t} = 46,15385$ |
| Suhdeluku | $90\varepsilon^2 = 59,6$ |
| Seinämän paksuusehto | $\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2$ OK |
| Putken poikkipinta-ala | A.a = 23565 mm ² |
| Putken tehollinen paino | 185 kg/m |

Korroosiovaralla 2,2 mm

| | |
|------------------------|--|
| Paalu | RD600/18 |
| Teräslaatu | S355J2H |
| Korroosiovara | 2,2 mm |
| Putken paksuus | t = 15,8 mm |
| Halkaisija | D = 605,6 mm |
| Myötöylujuus | f _y = 355 MPa |
| Suhdeluku | $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$ |
| Suhdeluku | $\frac{D}{t} = 38,3$ |
| Suhdeluku | $90\varepsilon^2 = 59,6$ |
| Seinämän paksuusehto | $\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2$ OK |
| Putken poikkipinta-ala | A.a = 28915 mm ² |
| Putken paino | 203,4 kg/m |



Poikkileikkausten kapasiteetit:

Dimensioning of the column span

Span: Span 1

Column type

- Composite column
- Concrete column
- Steel column
- Composite plate column

Cross-section

- Square
- Rectangular
- Circular

Capacity calculation

Ultimate limit state

Fire dimensioning

Close

Help

Column size: 1_RD600/13 [Select]

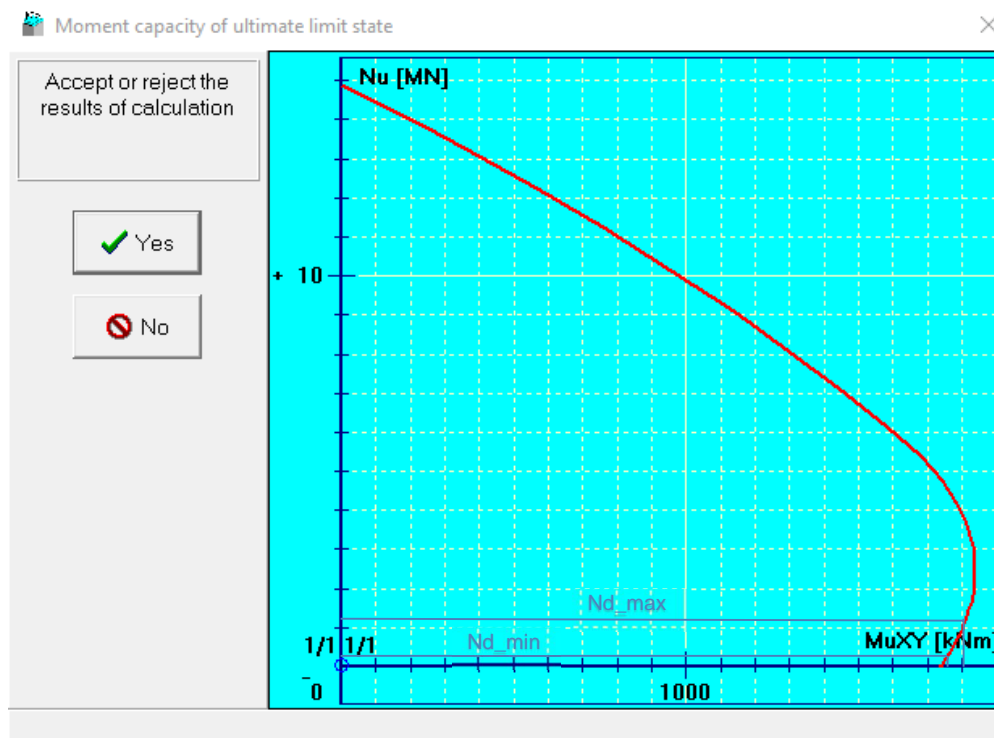
Reinforcement: 1884.0 mm² [Select]

Concrete strength: C40/50

Capacity [2nd order]

Punching [2nd order]

Capacity [2nd order]



Betonoitu liittopaalu 5,0 mm korroosiolla, raudoitus 6T20.



Dimensioning of the column span

Span: Span 1

Column type

- Composite column
- Concrete column
- Steel column
- Composite plate column

Cross-section

- Square
- Rectangular
- Circular

Cross-section and materials of the column

Column size: 1_RD605,6/15,8

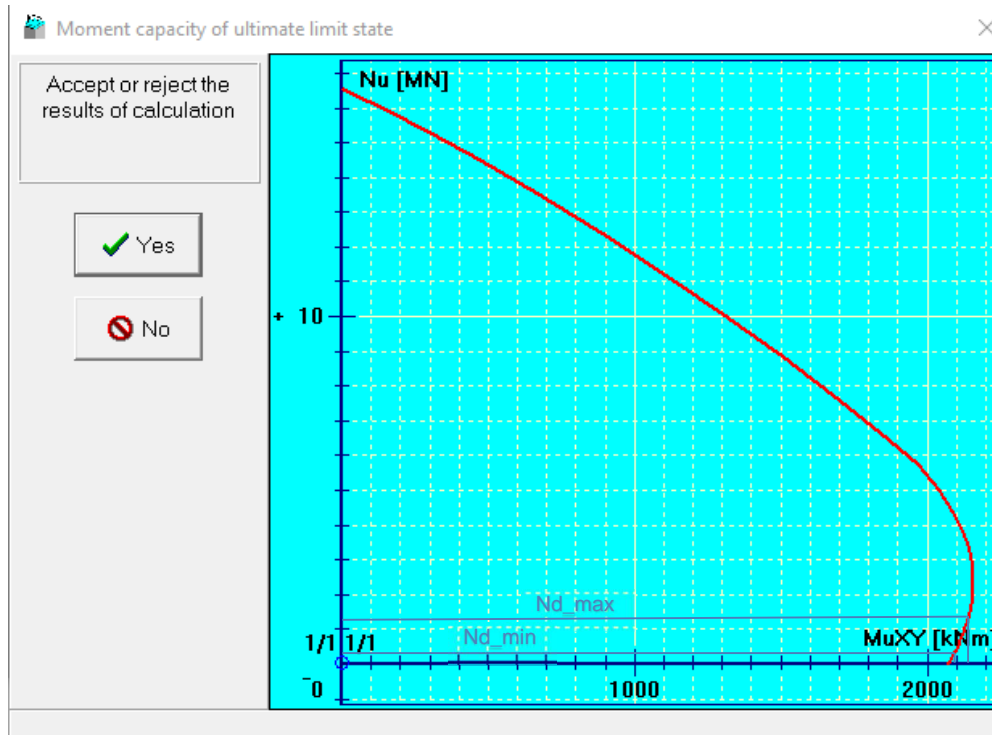
Reinforcement: 1884,0 mm²

Concrete strength: C40/50

Capacity calculation

Ultimate limit state

Fire dimensioning



Betonoitu liittopaalu 2,2 mm korroosiolla, raudoitus 6T20.



LISÄMOMENTTI (pyöreä liittopaalu)

(Rakennemallin 5 (paalu 2.2) arvot)

POIKKILEIKKAUKSEN JA RAKENTEEN TIEDOT:

| | | |
|-------------------------|------------------|---|
| D = | 610 mm | Teräsputkipaalunhalkaisija (alkuarvo) |
| t = | 18 mm | Teräsputkipaalunseinämän vahvuus (alkuarvo) |
| corr. = | 5 mm | Teräsputkipaalunseinämän korroosiovara |
| L = | 5,961 m | Tarkasteltavan rakenteen mitoittavapituus |
| k_c = | 2,20 * L | Mitoittavan pituuden nurjahduskerroin |
| L_c = | 13,114 m | Rakenteennurjahduspituus |
| c_{nom} = | 40 mm | Raudoituksen suojabetonipeite |
| \varnothing_1 = | 20 mm (pääteräs) | Raudoituksen pääteräksen halkaisija |
| $\varnothing_{s,KPL}$ = | 6 kpl | Pääterästen kokonaislukumäärä |
| \varnothing_2 = | 10 mm (haat yms) | Pääteräsiä ympäröivän haan halkaisija |
| TL = | 3 | Teräsputkipaalun toteutusluokka |

BETONIN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| f_{ck} = | 40,00 N/mm ² |
| γ_c = | 1,35 --- |
| f_{td} = | 29,63 N/mm ² |
| E_{cm} = | 35 220 N/mm ² |
| A_c = | 0,25688 m ² |
| I_c = | 0,00528 m ⁴ |
| $\varphi(\infty, t_0)$ = | 1,50 --- |

RAUDOITUKSEN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------|---------------------------|
| f_{yk} = | 500,00 N/mm ² |
| γ_s = | 1,10 --- |
| f_{td} = | 454,55 N/mm ² |
| E_s = | 200 000 N/mm ² |
| A_s = | 0,001885 m ² |
| I_s = | 0,000049 m ⁴ |
| ρ = | 0,73 % |

TERÄKSEN OMINAISUUDET:

| | |
|--------------|---------------------------|
| f_{yk} = | 355,00 N/mm ² |
| γ_M = | 1,00 --- |
| f_{td} = | 355,00 N/mm ² |
| E_s = | 210 000 N/mm ² |
| A_s = | 0,023973 m ² |
| I_s = | 0,001033 m ⁴ |

VOIMASUURET:

| ① TAPAU | | |
|--------------|-----------|-----|
| N_{Ed} = | 1,282 MN | |
| $N_{0,Ed}$ = | | MNm |
| $M_{0,Ed}$ = | 1,237 MNm | |

| ② TAPAU | | |
|--------------|-----------|-----|
| N_{Ed} = | 0,360 MN | |
| $N_{0,Ed}$ = | | MNm |
| $M_{0,Ed}$ = | 1,195 MNm | |

| ③ TAPAU | | |
|--------------|-----------|-----|
| N_{Ed} = | 1,602 MN | |
| $N_{0,Ed}$ = | | MNm |
| $M_{0,Ed}$ = | 0,068 MNm | |

TAIVUTUSJÄYKKYYDET JA HOIKKUUS:

Korjaus-jasovituskertoimet:

| | |
|------------|----------|
| K_{e1} = | 0,60 --- |
| K_{e2} = | 0,50 --- |
| K_{e3} = | 0,90 --- |

Plastiset puristuskestävyydet:

| | |
|---------------|----------|
| $N_{pl,Rk}$ = | 19,73 MN |
| $N_{pl,Rd}$ = | 16,98 MN |

Teräsosakerroin:

| | |
|--|-----------|
| δ_s = | 0,501 --- |
| $0,2 \leq \delta_s \leq 0,9 \rightarrow OK!$ | |

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi(\infty, t_0) * N_{0,Ed} / N_{Ed})$$

$$(EI)_{eff} = E_s * I_a + E_s * I_s + K_{e1} * E_{c,eff} * I_c$$

$$(EI)_{eff,II} = K_{e2} * (E_s * I_a + E_s * I_s + K_{e2,II} * E_{c,eff} * I_c)$$

$$N_{cr} = \pi^2 * (EI)_{eff} / L_c^2$$

$$N_{cr,eff} = \pi^2 * (EI)_{eff,II} / L_c^2$$

$$\lambda = \sqrt{(N_{pl,Rk} / N_{cr})} \quad (\lambda_{max} = 2,0)$$

| | ① | ② | ③ | |
|----------|--------|--------|--------|----------|
| N/mm^2 | 14 088 | 14 088 | 14 088 | N/mm^2 |
| MNm^2 | 271,3 | 271,3 | 271,3 | MNm^2 |
| MNm^2 | 237,5 | 237,5 | 237,5 | MNm^2 |
| MN | 15,6 | 15,6 | 15,6 | MN |
| MN | 13,6 | 13,6 | 13,6 | MN |
| --- | 1,126 | 1,126 | 1,126 | --- |

LISÄMOMENTTI:

$$e_0 = L/300 \text{ kun } \rho \leq 3\% \text{ ja } L/200 \text{ kun } \rho > 3\%$$

$$\Delta M_1 = N_{Ed} * e_0 \quad (\text{perusepäkeskisyydestä})$$

$$k_{m1} = 1 / (1 - N_{Ed} / N_{cr,eff}) \quad (k_{m,min} = 1,0)$$

$$\Delta M_2 = (M_{0,Ed} + \Delta M_1) * (k_{m1} - 1) \quad (2. \text{ kertaluku})$$

$$\Delta M_{Ed} = \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (\text{kokonaislisämomentti})$$

| | ① | ② | ③ | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| m | 0,020 | 0,020 | 0,020 | m |
| MNm | 0,025 | 0,007 | 0,032 | MNm |
| --- | 1,104 | 1,027 | 1,133 | --- |
| MNm | 0,131 | 0,083 | 0,013 | MNm |
| MNm | 0,157 | 0,040 | 0,045 | MNm |

MITOITAVAT VOIMASUURET:

$$N_{Ed} = \text{(k.o. tapauksen mitoittava normaalivoima)}$$

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} + \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (\text{kokonaismomentti})$$

| | ① | ② | ③ | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| MN | | | | MN |
| MN | 1,282 | 0,360 | 1,602 | MN |
| MNm | 1,393 | 1,235 | 0,113 | MNm |



PAALUN RASITUS/KAPASITEETTI-KÄYRÄ $M_{max}+N_{max}$

KAPASITEETIKÄYRÄN PISTEET:

| x | M_{Ed} |
|--------|----------|
| mm | MNm |
| 0 | 0,000 |
| -2 000 | 1,484 |
| -2 440 | 2,400 |
| -5 961 | 2,400 |

(x = etäisyys paalun yläpäästä)

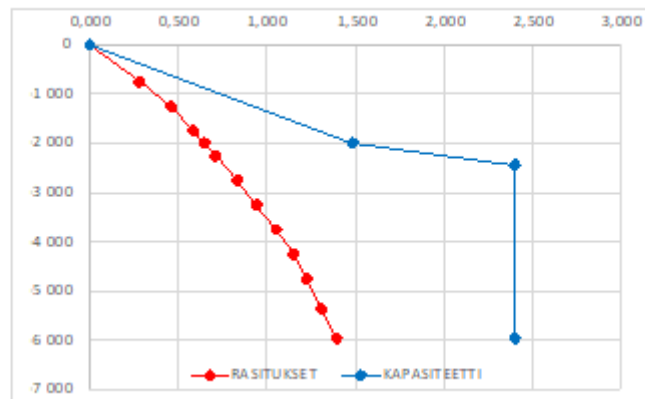
- ① Paalun yläpään kapasiteetti
- ② 0,82 * raudoitettun liittopaalun kapasiteetti
- ③ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti
- ④ Raudoitettun liittopaalun kapasiteetti

| Korroosio | Rauditus | Betoni |
|-----------|----------|--------|
| | | |
| 5,0 mm | 6T20 | C40/50 |
| 2,2 mm | 6T20 | C40/50 |
| 2,2 mm | 6T20 | C40/50 |

MOMENTIRASITUSKÄYRÄN PISTEET:

| x | M_{0Ed} | M_{Ed} |
|--------|-----------|----------|
| mm | MNm | MNm |
| 0 | 0,000 | 0,000 |
| -750 | 0,182 | 0,278 |
| -1 250 | 0,305 | 0,461 |
| -1 750 | 0,431 | 0,588 |
| -2 000 | 0,492 | 0,649 |
| -2 250 | 0,553 | 0,710 |
| -2 750 | 0,677 | 0,834 |
| -3 250 | 0,787 | 0,944 |
| -3 750 | 0,900 | 1,057 |
| -4 250 | 0,992 | 1,149 |
| -4 750 | 1,070 | 1,226 |
| -5 361 | 1,154 | 1,311 |
| -5 961 | 1,237 | 1,393 |

| | | | |
|---------------------------|-------|-----|---------------------------------|
| $\Delta x =$ | 500 | mm | Arvojen välimatka |
| $\Delta M_{Ed} =$ | 0,157 | MNm | Lisämomentti |
| $X \cdot \Delta M_{Ed} =$ | 1 220 | mm | ΔM_{Ed} kehittymismatka |



**PAALUN RASITUS/KAPASITEETTI-KÄYRÄ M_{max}+N_{min}****KAPASITEETIKÄYRÄN PISTEET:**

| x | M _{Ed} |
|--------|-----------------|
| mm | MNm |
| 0 | 0,000 |
| -2 000 | 1,443 |
| -2 440 | 2,090 |
| -5 961 | 2,090 |

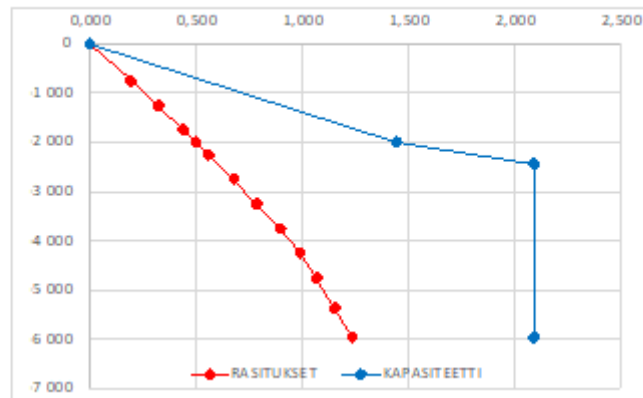
(x = etäisyys paalun yläpäältä)

| | Korroosio | Raudoitus | Betoni |
|--|-----------|-----------|--------|
| ① Paalun yläpään kapasiteetti | | | |
| ② 0,82 * raudoitetun liittopaalun kapasiteetti | 5,0 mm | 6T20 | C40/50 |
| ③ Raudoitetun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C40/50 |
| ④ Raudoitetun liittopaalun kapasiteetti | 2,2 mm | 6T20 | C40/50 |

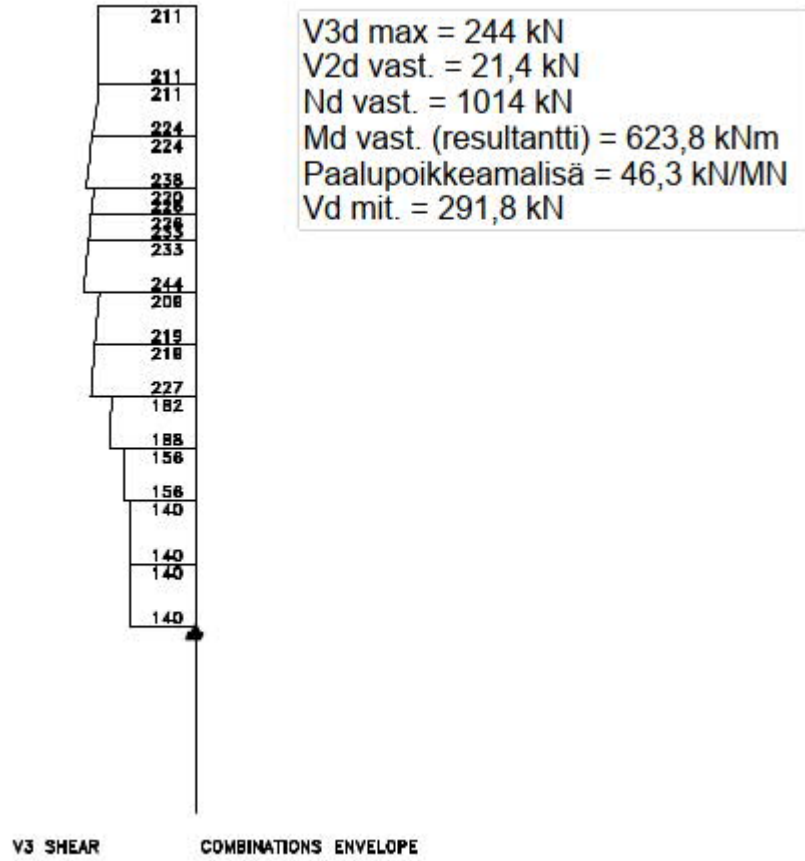
MOMENTTIRASITUSKÄYRÄN PISTEET:

| x | M _{0Ed} | M _{Ed} |
|--------|------------------|-----------------|
| mm | MNm | MNm |
| 0 | 0,000 | 0,000 |
| -750 | 0,168 | 0,192 |
| -1 250 | 0,282 | 0,322 |
| -1 750 | 0,402 | 0,442 |
| -2 000 | 0,460 | 0,500 |
| -2 250 | 0,518 | 0,558 |
| -2 750 | 0,639 | 0,679 |
| -3 250 | 0,746 | 0,786 |
| -3 750 | 0,858 | 0,898 |
| -4 250 | 0,950 | 0,989 |
| -4 750 | 1,027 | 1,067 |
| -5 361 | 1,112 | 1,152 |
| -5 961 | 1,195 | 1,235 |

| | | | |
|---------------------------|-------|-----|---------------------------------|
| $\Delta x =$ | 500 | mm | Arvojen välimatka |
| $\Delta M_{Ed} =$ | 0,040 | MNm | Lisämomentti |
| $X \cdot \Delta M_{Ed} =$ | 1 220 | mm | ΔM_{Ed} kehittymismatka |



⇒ Tuella T2 paalu RD600/18 + täyttö C40/50 + vähimmäisraudoitus 6T20 + vaipan injektointi.



V3d kuvaaja ja Vd mit. arvo, paalu 2.2



LEIKKAUSMITOITUS

(rakennemalli 5 (paalu 2.2))

POIKKILEIKKAUS:

| | | |
|--------------------|------|--------------------------|
| h = | 574 | mm |
| b _w = | 1000 | mm |
| c _{nom} = | 40 | mm |
| ϕ ₁ = | 20 | mm (pääteräs) |
| ϕ ₂ = | 10 | mm (haka, jakorauta yms) |
| d = | 514 | mm |
| TL = | 3 | toteutusluokka |

VOIMASUUREET:

| | | |
|-------------------------|------|-----|
| V _{ed} = | 292 | kN |
| N _{ed, vast} = | 1014 | kN |
| M _{ed, vast} = | 671 | kNm |

BETONIN OMINAISUUDET:

| | | |
|--------------------|-------|-------------------|
| f _{ck} = | 40,00 | N/mm ² |
| γ _c = | 1,35 | --- |
| f _{ctd} = | 25,19 | N/mm ² |
| f _{ctd} = | 1,82 | N/mm ² |

TERÄKSEN OMINAISUUDET:

| | | |
|--------------------|--------|-------------------|
| f _{yk} = | 500,00 | N/mm ² |
| γ _s = | 1,10 | --- |
| f _{yd} = | 454,55 | N/mm ² |
| A _{s,l} = | 1885 | mm ² |

LEIKKAUSMITOITUS:

Leikkausraudoittamattoman rakenteen leikkauskestävyys

$$V_{rd} = 0,3 \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot \rho_1) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

Leikkausraudoitetun rakenteen leikkauskestävyys

$$V_u = V_{rd,s} + 0,8 \cdot V_{rd,c} \leq V_{u,max} = 0,25 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{td}$$

$$V_{rd,c} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{ctd}$$

$$V_{rd,s} = 0,9 \cdot A_{sv} / s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

Kun rakenteeseen vaikuttaa puristava normaalivoima N_d, saadaan betonin

leikkauskapasiteettia suurettaakertoimella β₁

$$\beta_1 = 1 + M_0 / M_{ed} \leq 2, \text{ missä } M_0 = N_{ed} \cdot h / 6 \quad (\text{suorakaidepoikkileikkauksessa})$$

$$= 1,1446$$

$$\rho_1 = 0,0037 = A_{s,l} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$$

$$k = 1,0860 = 1,6 - d(m) \geq 0,8$$

$$V_{rd} = 413 \text{ kN}$$

$$V_{u,max} = 3236 \text{ kN} > V_{ed}$$

Tarvittava leikkausraudoitus:

$$A_{sv} = 0 \text{ mm}^2/m \quad A_{sv,min} = 0 \text{ mm}^2/m = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot \sin \alpha / f_{yk}$$

⇒ Vähimmäishaat ok.