



RAKENNESTUDIO

Vinopaaluttaako vaiko ei?

Näkemyksiä vaakakuormien huomioimisesta paaluanturoille

Paaluseminaari 17.09.2026

Janne Hanka

Mitä yhteistä on...



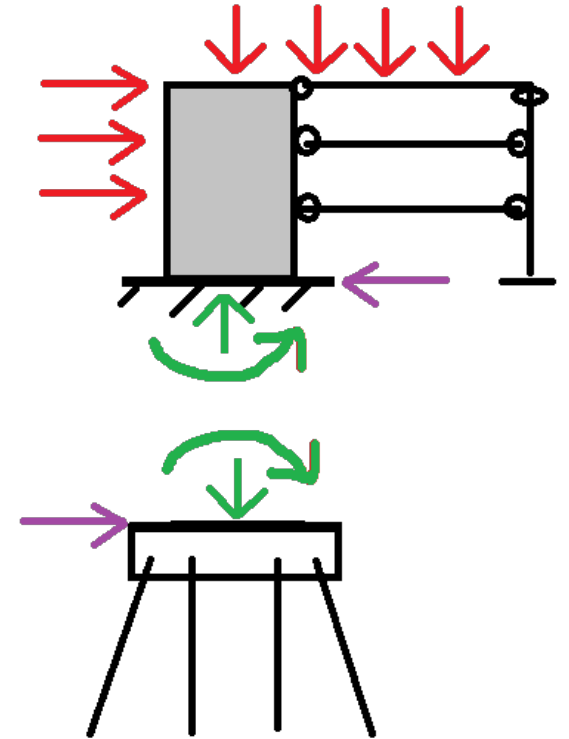
<https://www.drillingformulas.com/piled-offshore-platform-structures-offshore-structure-series/>



Kuva: Janne Hanka

Miksi

- Joskus paaluanturan paalujen suunnittelussa keskitytään vain jäykistävältä seinältä tulevaan **pystykuormaan ja momenttiin** ja **vaakakuormat** voivat "unohtua" paalutuksen tasosta.
- Pitää olla selkeä vastaus kysymykseen: **Mihin vaakakuormat aiotaan viedä perustamistasossa?**
 - Pystypaaluille sivukuormiksi?
 - Vinopaaluille?
 - Toimiiko alapohjalaatta jäykistävänä levynä joka jakaa vaakakuormat kaikille paaluille?
 - Vai keskittykö vaakakuormat jäykistävien seinien alla oleviin anturoihin?
- Hankkeelle voi tulla yllätyskustannuksia, jos vaakavoimien hallinta perustustasossa "hoksataan" vasta urakkalaskentavaiheessa tai esim. ulkopuolisen tarkastuksen aikana.
- **RAK oltava vuoropuhelussa GEO kanssa:**
 - Miten vaakavoimat jaetaan paaluille
 - Lyhytaikaiset vaakakuormat (tuuli) vs. pitkäaikaiset vaakakuormat (maanpaine)



Mitä voi pahimmillaan seurata

Rakenteissa vakavia vaurioita: Ammattikorkeakoulu Metropolian 3 000 opiskelijan kampus suljetaan mahdollisimman nopeasti

3 000 opiskelijan kampuksen rakenteet ovat painuneet merkittävästi ja niissä on vakavia halkeamia. Kampuksen rakennuksia ei Espoon Tilapalvelut-liikelaitoksen mukaan kannata korjata.

Mistä vauriot johtuvat?

– Vanha puoli on rakennettu vuonna 1989, ja sen perustuksista puuttuu vinopaalutus. Tämän vuoksi rakennus pääsee painumaan.



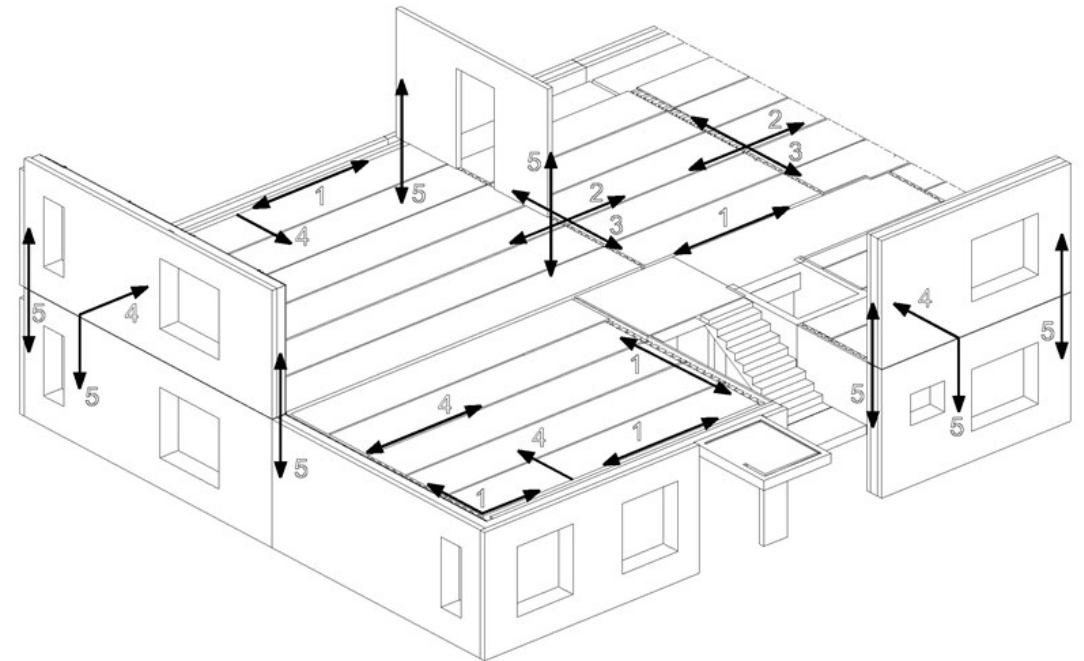
Kampuksen seinissä, lattioissa ja rakenteissa näkyy selkeitä halkeamia. Tällä mittarilla on seurattu vaurioiden pakenemista. Kuva: Esa Fills / YLE

[<https://yle.fi/a/3-10617417> , julkaistu 15.2.2019, haettu 16.4.2025]

Runkojärjestelmän vaikutus paaluille kohdistuviin vaakakuormiin 1/2

SEINÄ-LAATTA RUNKO

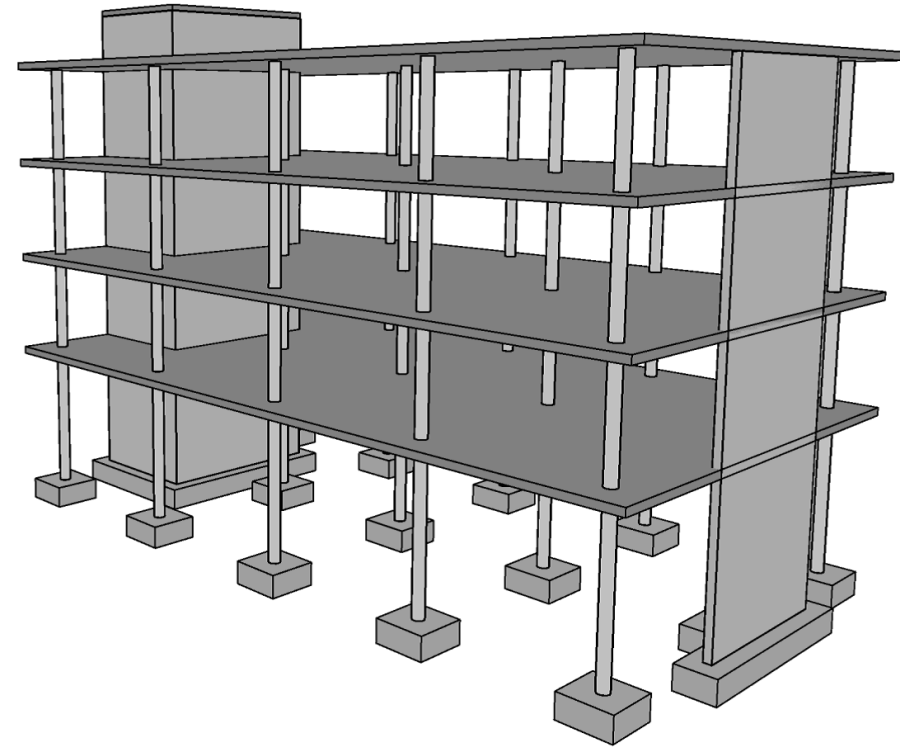
- Vaakavoimat jakautuvat useimmiten useille jäykisteille.
- Vaakavoima perustamistasossa voidaan jakaa useille paaluille anturoiden ja/tai paalulaatan avulla.
- **->Paaluille kohdistuva vaakakuorma yleensä melko pieni -> vinopaaluja ei yleensä tarvita.**



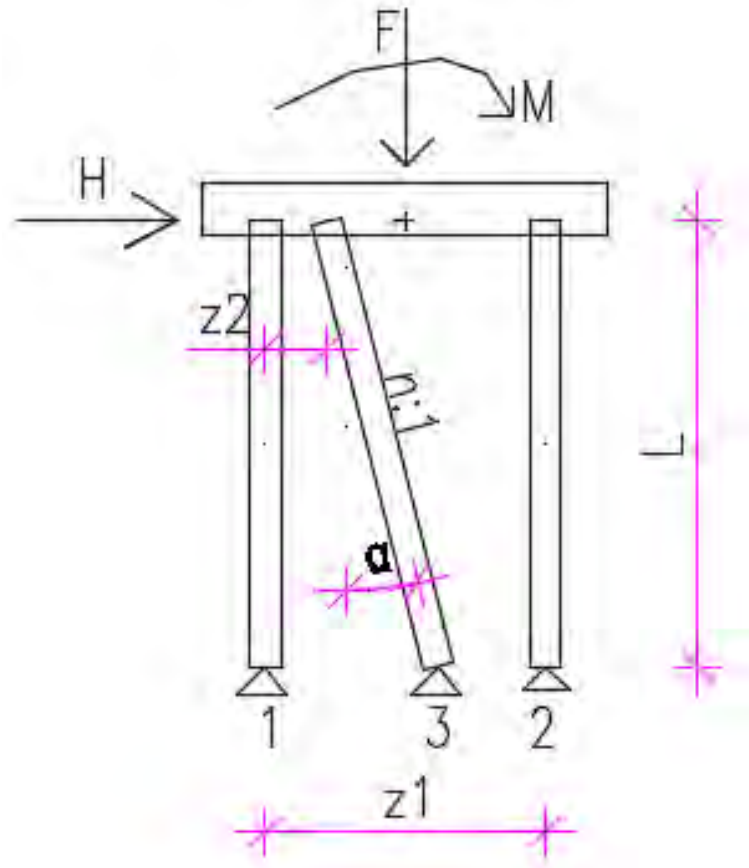
Runkojärjestelmän vaikutus paaluille kohdistuviin vaakakuormiin 2/2

PILARI-PALKKI / PILARILAATTA RUNKO

- Vaakavoimat keskittyvät muutamalle jäykisteelle.
- Vaakavoimaa ei voida yleensä jakaa perustamistasossa muille pystyrakenteiden paaluille (alapohja ei osallistu jäykistykseen)
- **Jäykistävän anturaan kohdistuva vaakakuorma yleensä suurempi kuin pystypaaluille sallittu vaakavoima -> tarvitaan vinopaaluja!**

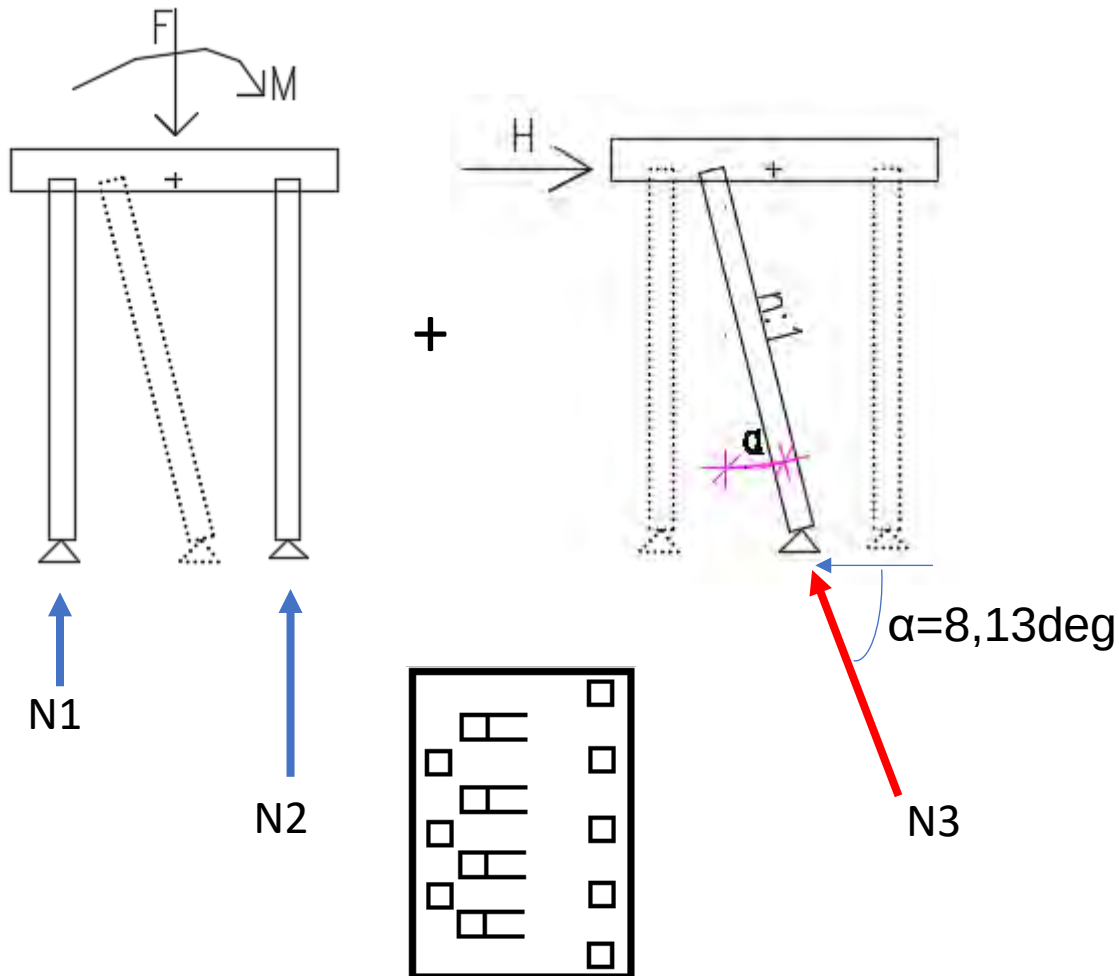


What's the problem? -> Otetaan esimerkki



- Mitoita tarvittava määrä paaluja oheiselle jäykistävän seinän alla olevalle anturalle.
- **Paaluille ei sallita vetoa, vain puristavaa normaalivoimaa.**
- Paalun sallittu aksiaalikuorma $N_{sal}=100\text{kN}$
- Rivit #1 ja #2 pystypaaluja. Mitta $z_1=2000\text{mm}$
- Rivi #3 vinopaaluja 7:1. Mitta $z_2=100\text{mm}$
- Kuormat (Vaikuttavat pystypaalutuksen yläpään painopisteessä. Tuulikuormat, oma paino, yms huomioitu)
 - $F=600\text{kN}$ pystykuorma
 - $M=100\text{kNm}$ momentti
 - $H=50\text{kN}$ vaakakuorma

Mitoitetaan vaaditut paalumäärät



Mitoitetaan pystypaalut pystykuormalle ja momentille

$N1 = F/2 - M/z1 = 250 \text{ kN} \rightarrow 3 \text{ pystypaalia riviin \#1}$

$N2 = F/2 + M/z1 = 350 \text{ kN} \rightarrow 4 \text{ pystypaalia riviin \#2}$

Mitoitetaan vinopaalut vaakakuormalle

$\alpha = \tan^{-1}(1/7) = 8,13 \text{ deg}$

$N3 = H / [\sin(\alpha)] = 353 \text{ kN} \rightarrow 4 \text{ vinopaalia riviin \#3}$

Onko mitoitus ok ja valmis... ☒ ?

Kyllä ☐

Ei ☐

Vinopaalujen vaikutus pystypaalujen voimasuureisiin huomioitava!

Edellisen kalvon laskenta on hyvä lähestymistapa paalumäärien arviointiin, mutta vinopaalujen ja vaakavoimien vaikutus pystypaaluille jäi huomioimatta!
->Lasketaan pystypaaluille aiheutuvat lisävoimat vaakavoimista:

$$N_1 := \frac{F_P}{2} - \frac{M}{z_1} + \frac{-F_H \cdot \text{vino_n}}{2} - \frac{(z_2 - 0.5z_1) \cdot (-F_H \cdot \text{vino_n})}{z_1}$$

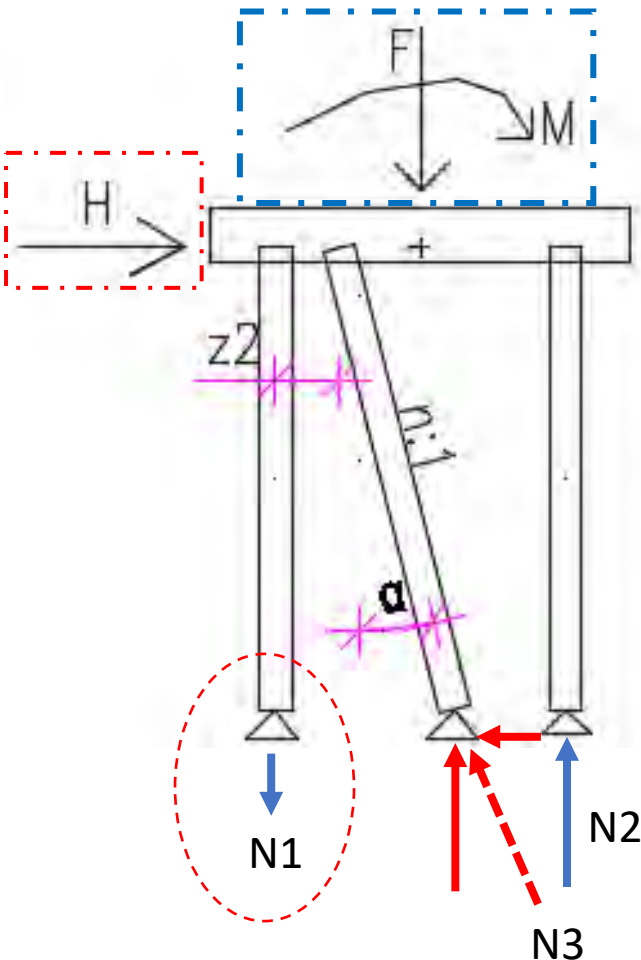
$$N_1 = -82.5 \text{ kN} \quad \text{"-"=Vedetty!}$$

$$N_2 := \frac{F_P}{2} + \frac{M}{z_1} + \frac{-F_H \cdot \text{vino_n}}{2} + \frac{(z_2 - 0.5z_1) \cdot (-F_H \cdot \text{vino_n})}{z_1}$$

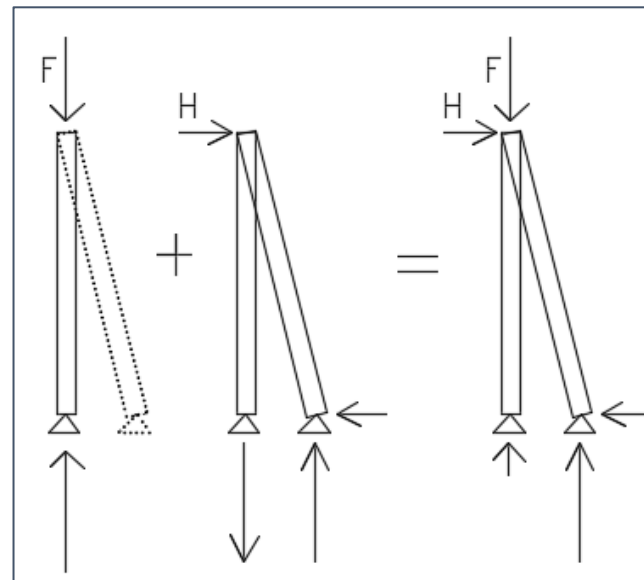
$$N_2 = 332.5 \text{ kN} \quad \text{"+"=Puristettu}$$

$$N_3 := \frac{F_H}{\sin(\alpha)}$$

$$N_3 = 353.6 \text{ kN} \quad \text{"+"=Puristettu}$$



Periaate:



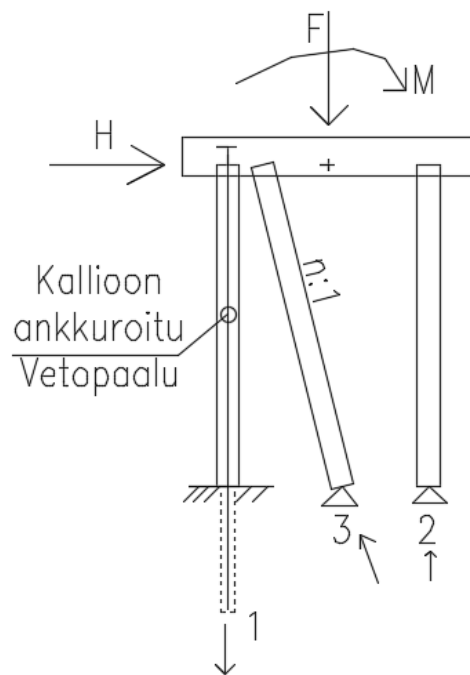
Rivi #1 pystypaalu tulivat vedetyiksi ❌!

Yleinen ongelma paaluanturoilla joille tulee paljon vaakakuormaa, mutta vähän pystykuormaa!

Mitä voidaan tehdä?

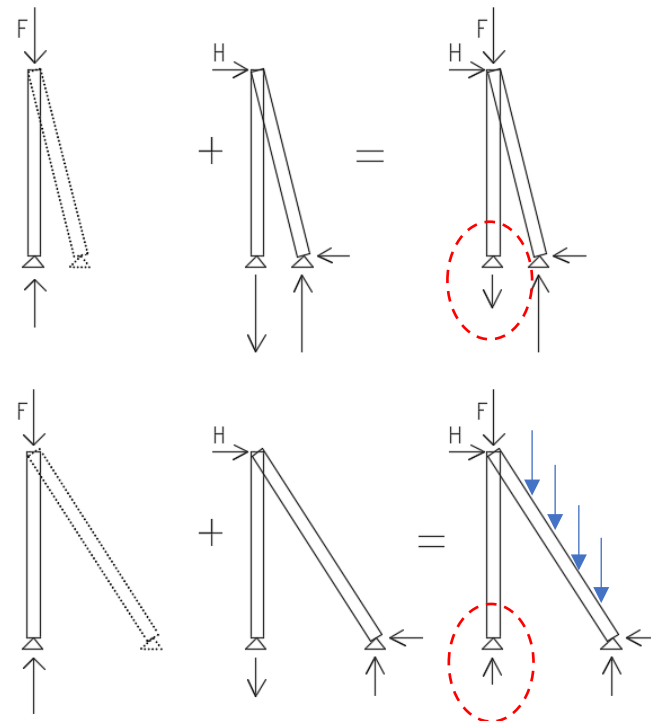
Vinopaalutetun anturan paalut vedettynä – mitä voidaan esimerkiksi tehdä 1/2

Käytetään vetopaaluja



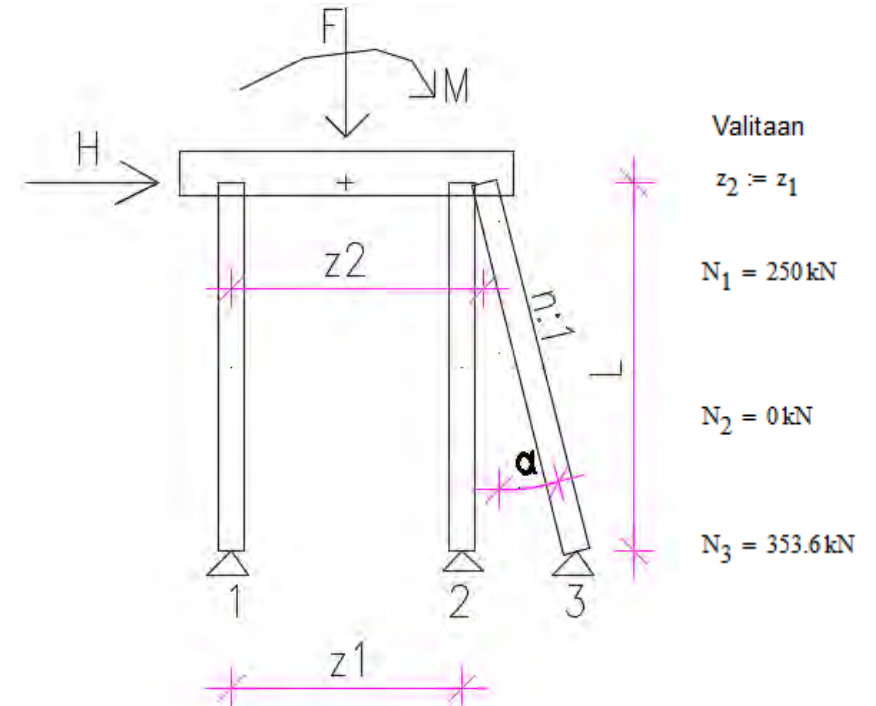
Vetopaalut yleensä kalliita ja
vaativat koevedot yms

Vinopaalut vinommaksi



Kalusto ja vinopaalujen
"pengerkuorma" rajoittava tekijä!

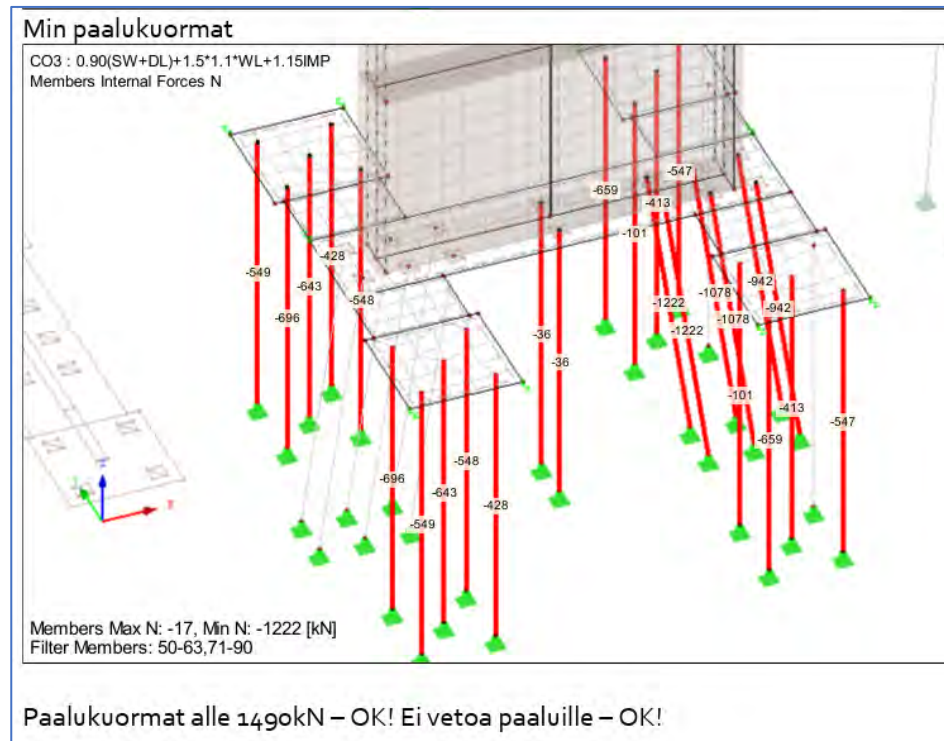
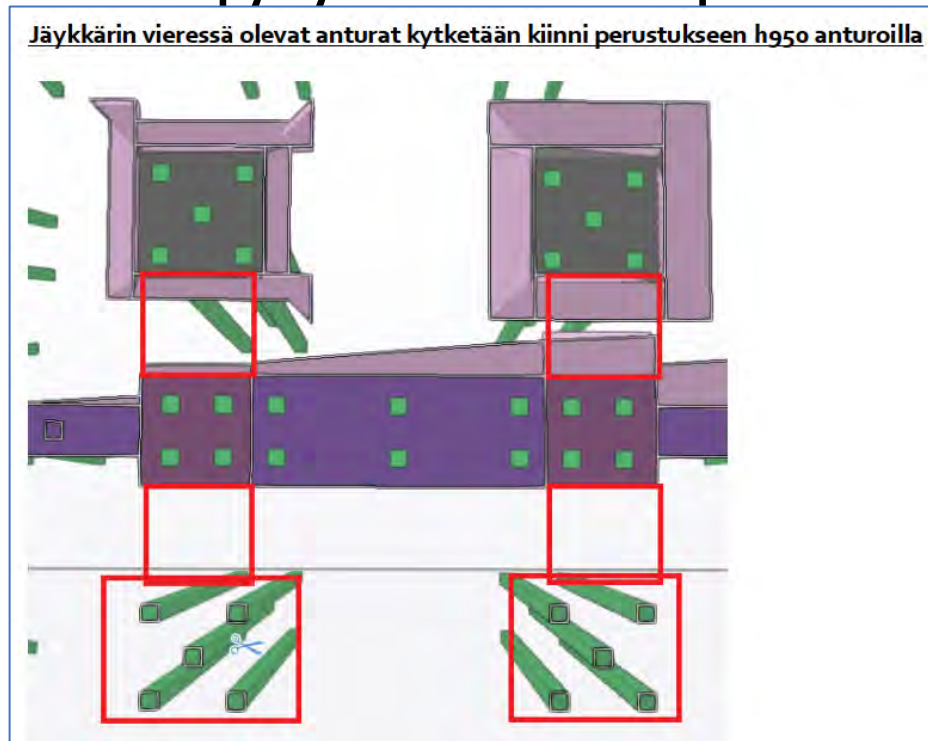
Paalukon geometrian optimointi



Vinopaalua siirtämällä saatiin paalut
puristetuiksi/ei-vedetyksi.

Vinopaalutetun anturan paalut vedettynä – mitä voidaan esimerkiksi tehdä 2/2

Enemmän pystykuormaa paaluille esimerkiksi kytkemällä jäykistävän seinän antura viereisiin pystykuormitettuihin pilarianturoihin!



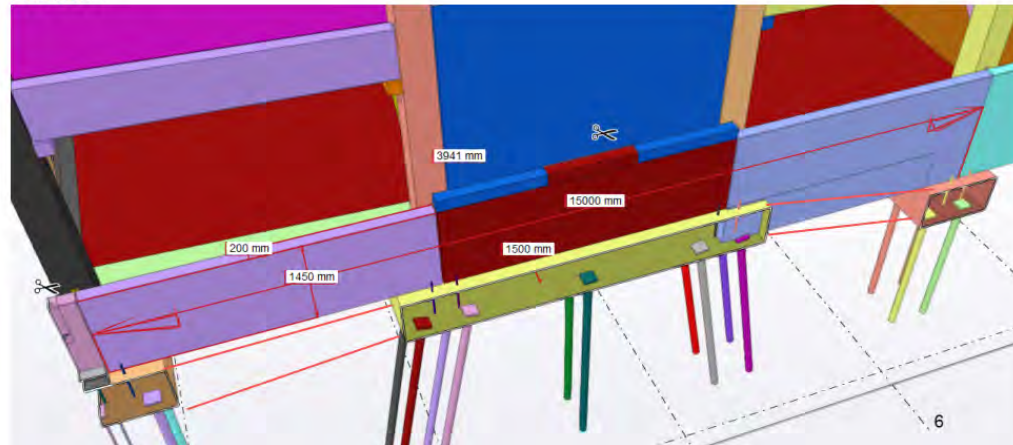
Kuvat: Janne Hanka / Esimerkki erään paaluperusteisen parkkihallin stabiliteetin laskentaraportista

Vinopaalutetun anturan paalut vedettynä – mitä voidaan esimerkiksi tehdä 2/2

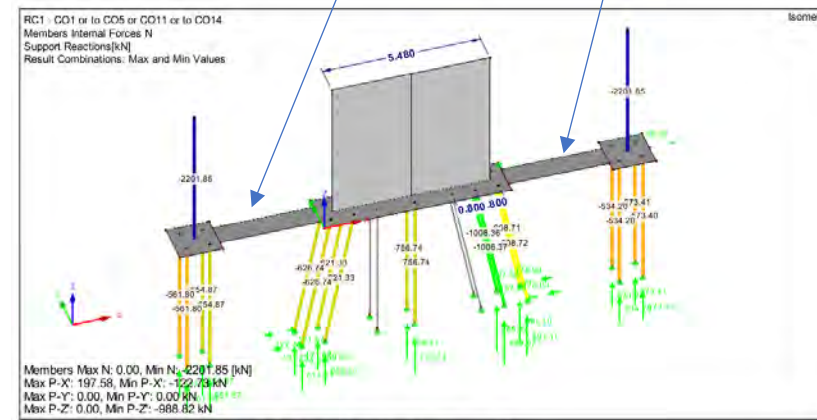
- Sidepalkkien raudoituksen mitoitus!

Paalukko mitoitettiin erillisellä laskentamallilla, johon mallinnettiin perustus (t800), kellarin seinä (t200) ja paalut (RD140/10). Vinopaalujen vinous 5:1. Paalut ottavat vastaan vain puristuskuormia.

27.9.2023

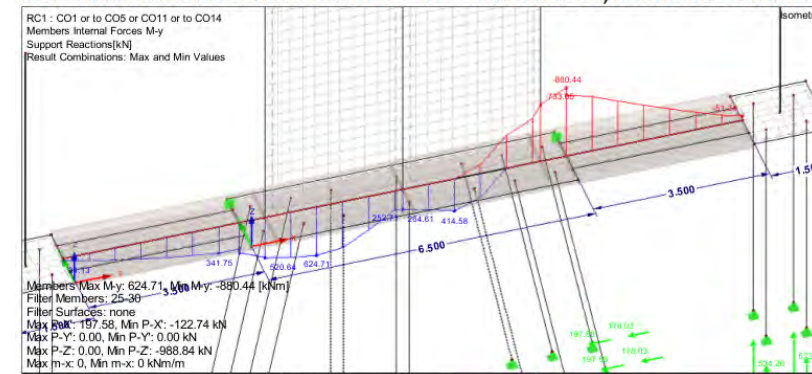


Sidepalkit



RD140/10 paalun kestävyys NCrd=1180kN. Paalujen kestävyys ok!

SIDEPALKKIEN MOMENTTI JA ANTURAN TAIVUTUSMOMENTTI, PITKÄN SUUNNAN RAUDAT



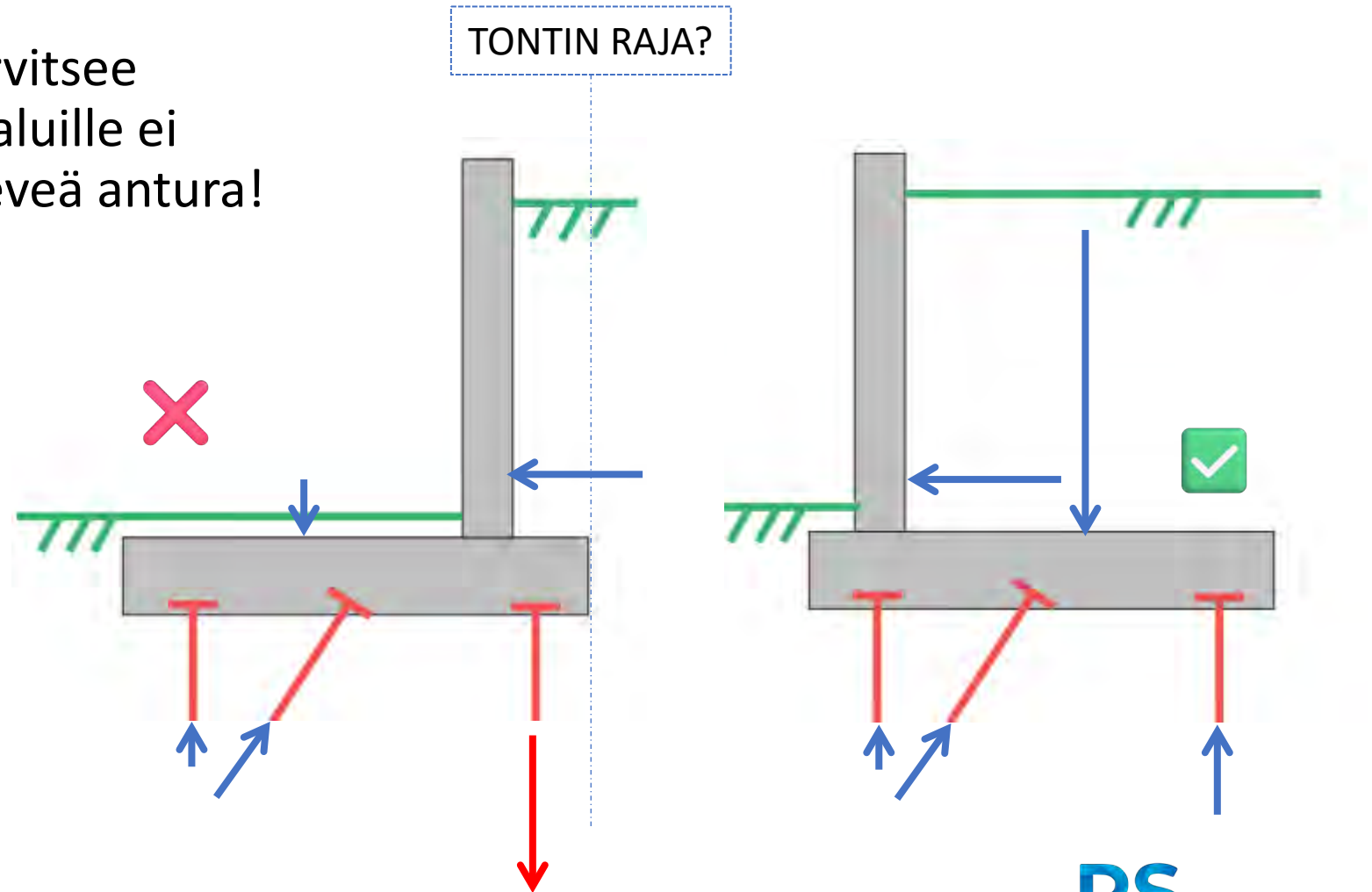
Paalutettu tukimuuri vinopaaluilla

*Vinopaalutettu tukimuuri tarvitsee pystykuormaa täytöiltä jos paaluille ei sallita vetoa. -> Eli pitää olla leveä antura!

*Jos pystykuormaa on liian vähän niin pystypaalut tulevat vedetyiksi!

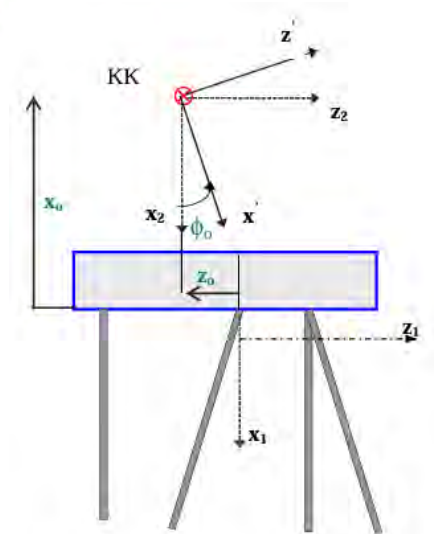
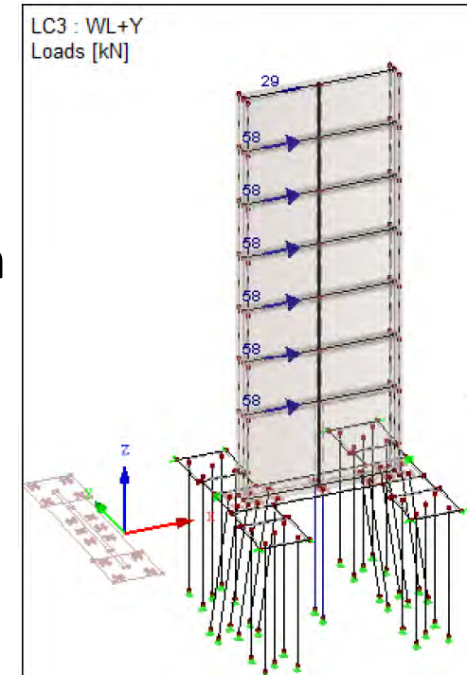
*Tontin rajalla olevat paalutetut tukimuurit haastavia jos anturaa ei saa viedä tontin rajan yli

➤ Kytkettävä rakennuksen rungon paaluperustuksiin tai käytettävä vetopaaluja tms.



Yhteenveto

- **Paalutettujen jäykistävien rakenteiden vaakakuormien hallinta on mietittävä myös paalujen tasossa**
 - ✓ Riittääkö pystypaalujen sivuvastukset vai tarvitaanko vinopaaluja vaakavoimia varten?
 - ✓ Keskittyykö vaakakuormat jäykistävän seinän alla oleville paaluille vai voiko kuormia jakaa muille paaluille?
 - ✓ **RAK vuoropuhelu GEO kanssa**
- Vinopaalutetuissa anturoissa huomioitava vinopaalujen vaikutus pystypaalujen voimasuureisiin -> statiikka tarkastettava kokonaisuutena pysty- ja vaakavoimille!
 - ✓ Tarkistettava tuleeko paalut vedetyiksi? -> Toimenpiteet!
 - ✓ Normien mukaiset kuormitusyhdistelyt huomioitava
 - Max Pystykuorma + Min Vaakakuorma
 - Min Pystykuorma + Max Vaakakuorma <- yleensä määräävin!
- Jäykistävän seinän paalukon paaluvoimat voidaan laskea esim:
 - ✓ FEM laskennalla
 - ✓ Käsinelaskennalla esim. siirtymämenetelmällä (kts. esim http://rmseura.tkk.fi/opetusmonisteita/Salokangas_Lauri_SILPE_Luennot.pdf)





RAKENNESTUDIO

KIITOS ! Kysymyksiä ?

Janne Hanka

+358 40 550 5363

janne.hanka@rakennestudio.fi

www.rakennestudio.fi

RS

RAKENNESTUDIO