

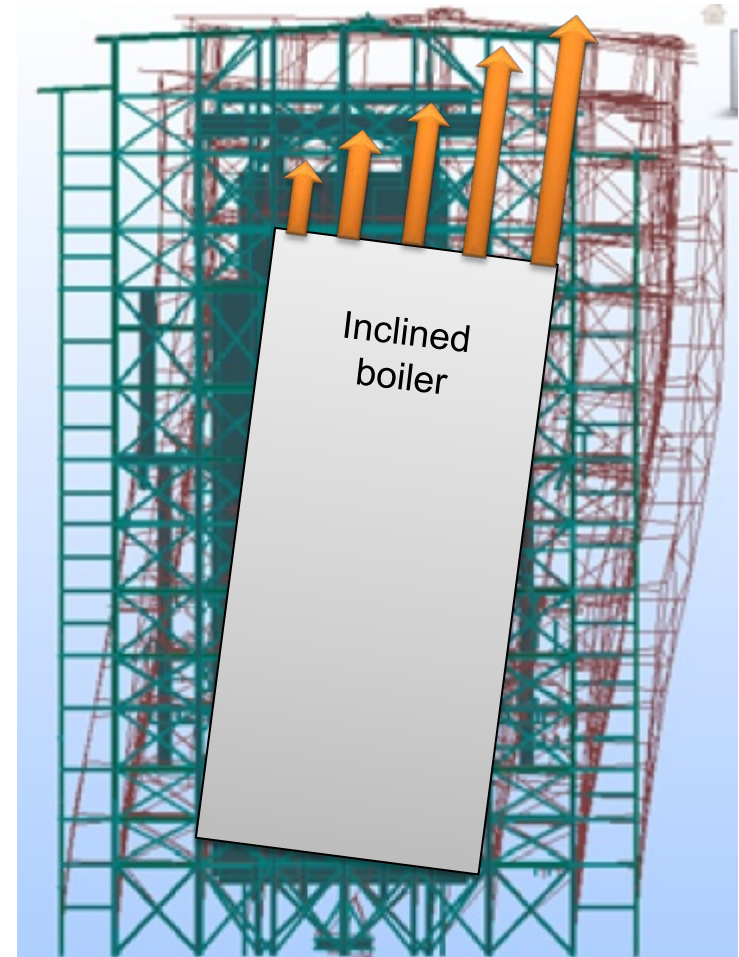


Korkeiden laitteiden ja rakennuksen välinen rakenteellinen vuorovaikutus

29.5.2013 Heikki Holopainen
Chief Engineer, Boiler Structural Engineering

Korkeiden laitteiden ja rakennuksen välinen rakenteellinen vuorovaikutus

- Laitteen tuentatavan vaikutus tukireaktioihin
 - Vaakasuuntaisista kuormista aiheutuvat pystysuuntaiset reaktiot
 - Laitteen jäykkyyden vaikutus tukireaktioihin
 - Menettely vuorovaikutuksen huomioon ottamiseksi
-
- **Korkeat laitteet ovat jäykkiä**
 - **Ohjatut korkeat laitteet jäykistävät rakennusta**



Laitteen tukirakenteen vaikutus tukireaktioihin

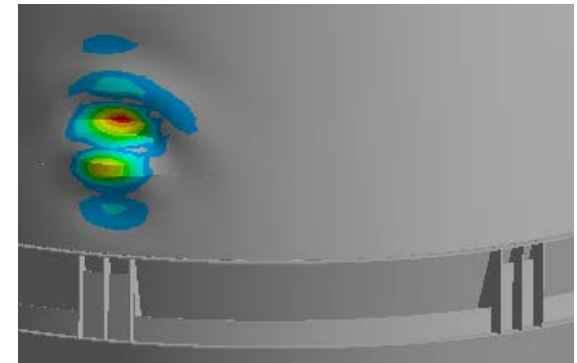
- Kattilalaitoksessa korkeita laitteita ovat mm.
 - kattilan painerunko
 - veden ja ilman esilämmittimet
 - suotimet, katalyytit, siilot
- Hyperstaattisesti tuetun laitteen tukireaktiot riippuvat mm. tukirakenteen joustavuudesta
- Erityisesti usealta tasolta ohjattu laite osallistuu rakennuksen rakenteelliseen toimintaan
 - jäykistävä vaikutus esim. maanjäristysmitoituksen kannalta
 - laitteen kallistumisesta aiheutuu rakennukselle pystysuuntaisia kuormia
- Sekä rakennuksen että laitteen tulee kestää vuorovaikutuksen seuraukset
- Vuorovaikutuksen määrän arviomiseksi korkeat laitteet on mallinnettava osaksi teräsrakenteen rakennemallia, esim.
 - maanjäristysprojektit
 - tuuliprojektit

Laitteen tukirakenteen vaikutus tukireaktioihin

- Tukirakenne ja laite suunnitellaan yleensä eri yrityksissä, joiden pitäisi pystyä kommunikoimaan rajapinnan asioista tilaajan välityksellä
 - Tilaajan lay-out suunnittelija on harvemmin rakennesuunnittelun osaaja
 - Esimerkiksi siilosuunnittelu vaatii onnistuakseen monen suunnittelualueen yhteistyötä
- Rajapinnan rakenteellisten haasteiden kannalta sujuva suunnitteluprosessi pitää kuvata projektin alkuvaiheessa, koska...
 - se kuvaa menetelmän siilon ja tukirakenteen lujustechnisen yhteisvaikutuksen huomioon ottamiseksi mm. tukireaktioiden jakautumisen ja kokonaisrakenteen stabiliteetin kannalta
 - se koskee hyvin montaa eri toimijaa (mm. alihankittua siilosuunnittelua, ostettavia siiloja, alihankittua tukirakennesuunnittelua ja alihankittua automaatio-suunnittelua).
 - muuten ei ole olemassa systemaattista tapaa siilon ja tukirakenteen lujustechnisen vaatimusten mukaisuuden saavuttamiseksi
 - se kuuluu liittää osaksi siilojen ja tukirakenteen teknistä specificaatiota, joka pitää liittää hankintojen vaatimuksiin

Laitteen tukirakenteen vaikutus tukireaktioihin

- Esimerkiksi siilo on jäykkä rakenne
- Siilon tukireaktiot jakautuvat epätasaisesti
- Siilon vaippa on stabiliteetin kannalta kriittinen rakenne, joten siilo voi kaatua ensimmäisen lommahduksen seurauksena
- Polttoainesiilon pölyräjähdyksestä aiheutuva rekyylivoima kuormittaa tukirakennetta dynaamisesti



D: Static Structural MNA

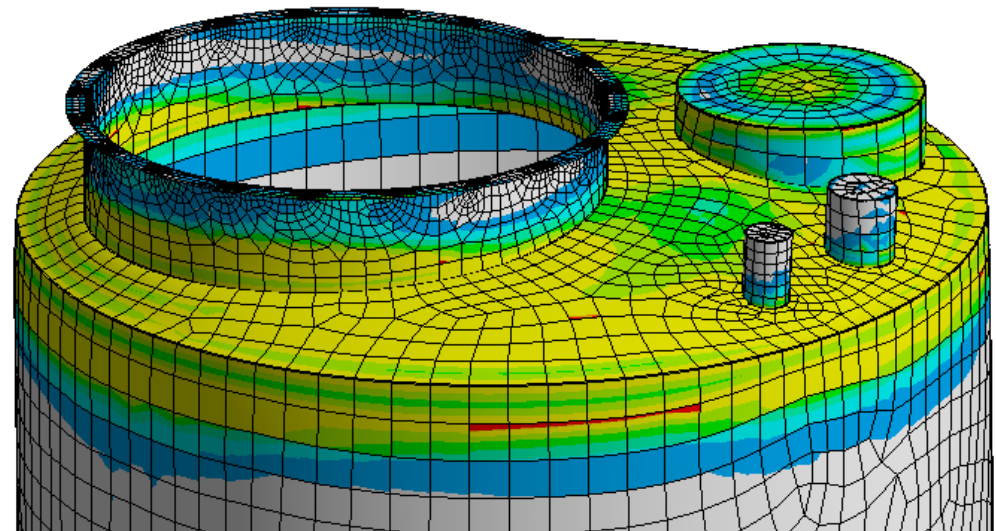
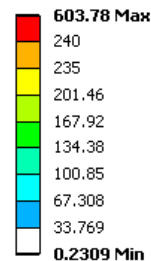
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Unaveraged) - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

26.7.2012 16:00



Esimerkki onnettomuudesta

*Suppilovaunun rakenteiden sortuminen ja
vaunun kaatuminen Mäntyluodossa 11.12.2008*



www.turvallisuustutkinta.fi/Etusivu/Tutkintaselostukset/Muotonnettomuudet/Muotonnettomuudet2008/1284989659837

Suppilovaunun rakenteiden sortuminen ja vaunun kaatuminen

- Onnettomuus johtui mm. laitteen ja tukirakenteen lujuusteknisen yhteisvaikutuksen jättämisestä huomioimatta
- Pari osuvaa poimintaa raportista:
 - *Suppilon, kuljettimen ja kantavan teräsrakenteen **rakenneanalyysit on tehty osin erillisinä**, jolloin esimerkiksi suppilosta kantaville rakenteille aiheutuvia rasituksia ja tuentavoimia ei ole otettu täysimääräisesti huomioon kummankaan laitteen osan mitoituksessa.*
 - *Koska konedirektiivi ei käsittele teräsrakenteiden suunnittelua, tulee **riskianalyysin perusteella havaitut kyseisiä tukirakenteita koskevat vaarat käsitellä niitä koskevissa direktiiveissä esitetyillä menettelyillä**. Tällaisissa tapauksissa kantavan teräsrakenteen suunnittelu pitää tehdä ohjeen Eurocode 3 (osineen)...*
- Konedirektiivin mukaan riskianalyysi on pakollinen
- Oikein tehtynä riskianalyysi velvoittaa siis tekemään suunnittelun esim. Eurocode 3:n mukaan

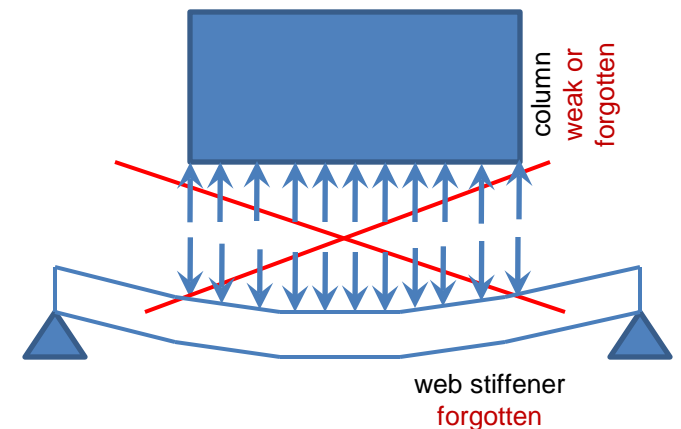
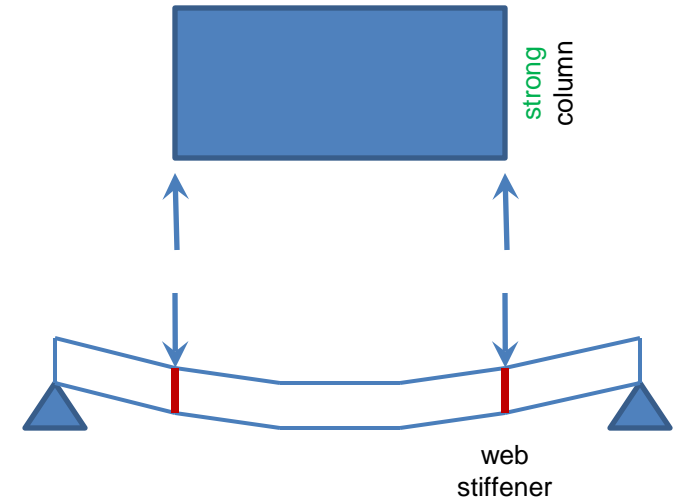
Tukireaktioiden jakaantuminen

- Yleisimmät virheet:
 - tukireaktioiden otaksutaan jakaantuvan tasasuuruiseksi pistevoimiksi
 - tukiraktioiden otaksutaan olevan tasaisia viivakuormia
 - tukirakenteen otaksutaan antavan momenttitukea
- Rajapintojen yli vastuuta ymmärtävä teräsrakennesuunnittelija ei salli tällaisia virheitä, vaan ottaa virheen havaittuaan yhteyttä tilaajan rakenneasiantuntijaan virheen oikaisemiseksi
- Rajapintojen yli vastuuta ymmärtävä laitesuunnittelija ei otaksu tukirakenteen kantavan mitään muita kuormia kuin niitä, joista tämä on sopinut teräsrakennesuunnittelijan kanssa tilaajan kautta
 - tukipisteille vain pystysuuntaista kuormaa
 - ohjuripisteille vain vaakasuuntaista kuormaa
 - ei momenttitukea (virhe johtuu usein ohutkuorimallin väärästä tuennasta)
- Toisinaan kuormien tasaisuutta kuulee perusteltavan simmileyvien käytöllä, mutta niihin liittyviä haasteita ei usein tunnisteta
 - lisää aiheesta myöhemmin

Tukireaktiot eivät ole viivakuormia

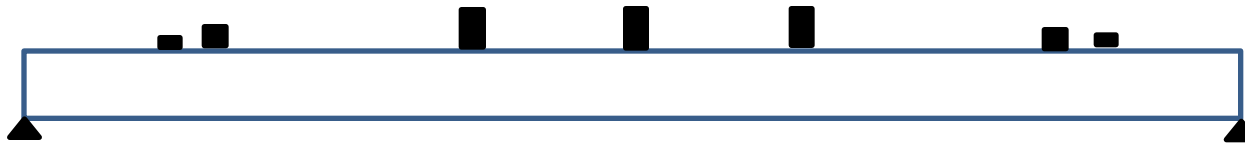


- Oikea perusoletus: jäykkien rakenteiden alla ei esiinny tasan jakaantuneita kuormia
- Yleensä oletus pistevoimista on hyvä lähtökohta, ja sen seurauksena
 - laitteen suunnittelija tulee suunnitelleeksi vahvat nurkkapilarit
 - tukirakenteen suunnittelija huomaa käyttää uumajäykisteitä pistekuormien kohdalla

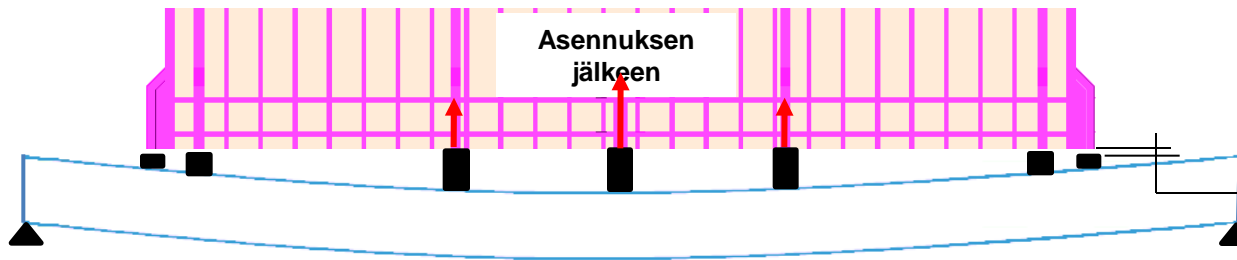


Simmilevyjen käyttö ei ole suositeltavaa

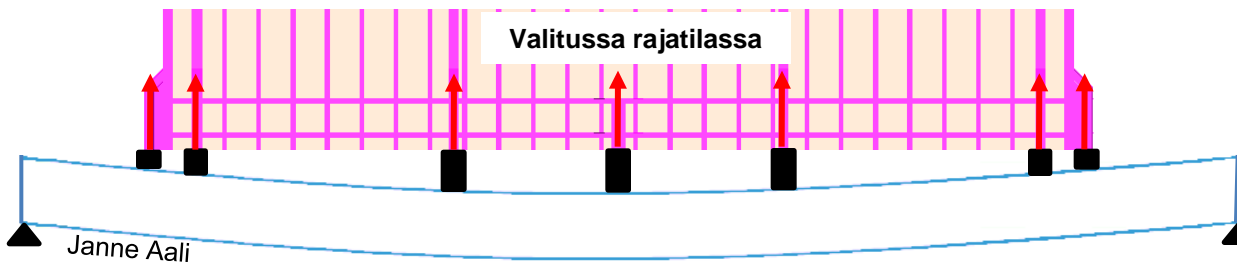
Simmilevyjen haasteet joudutaan kohtamaan jos tukipisteitä on useita



Eσίαςennetut simmilevyt, joiden on määrä kompensoida laitteen asennuspaino



Asennuksen jälkeen simmauksen kannalta edullinen kuorma on esim. $0.9 \times DL$. Pieniä rakoja voi esiintyä



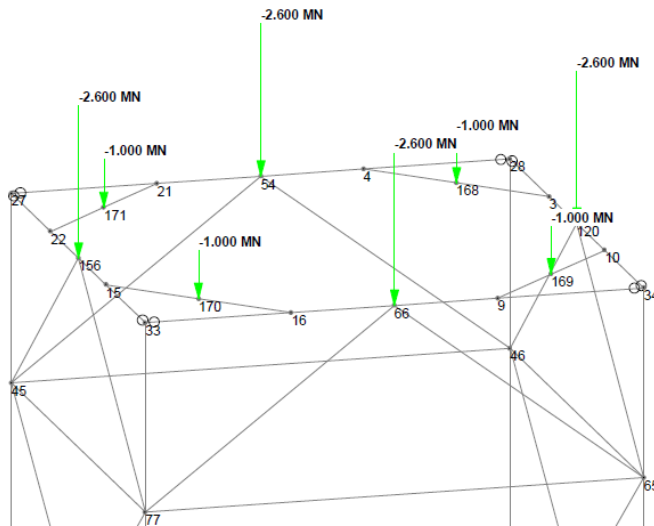
Yhdessä valitussa rajatilassa, esim. $1.35 \times DL + 1.5 \times LL$, on mahdollista saavuttaa tasainen kuormajakauma

Tukireaktioiden jakaantuminen

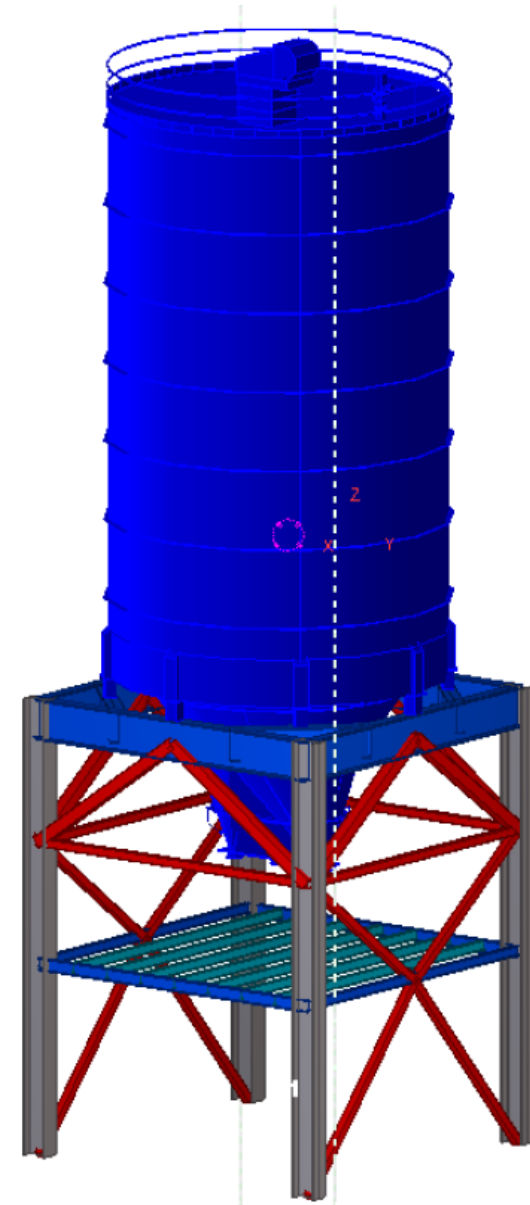
- Kuorman jakautumiseen vaikuttavat mm.
 - alustan jäykkyys (esim. teräsrakennetason jousto)
 - asennusepätkätkuudet
 - lähistöllä vaikuttavat muuttuvat kuormat teräsrakenteeseen
 - rakenteen ohjaukseen liittyvät voimat
- Esim. siilosuunnittelijalla ei ole tietoa teräsrakenteen jäykkyydestä ja muiden muuttuvien kuormien vaikutuksesta tukireaktioihin
 - molempiin on paras tietämys teräsrakennesuunnittelussa.
- Mainittujen virheiden poistamiseksi tukireaktioiden jakauma pitää määrittää rakennesuunnittelijan toimesta
 - laitteen yksinkertaistettu mallinnus osaksi tukiranteen rakennemallia
 - tukireaktioiden laskennallinen määrittäminen rakennemallin avulla
 - tukireaktioiden raportointi muille osapuolille tilaajan kautta
- Lay-out suunnittelijan tehtäväksi jää välittää rakennesuunnittelijalle laitteeseen kohdistuvien kuormien suuruudet ja sijainnit

Tukireaktioiden jakaantuminen

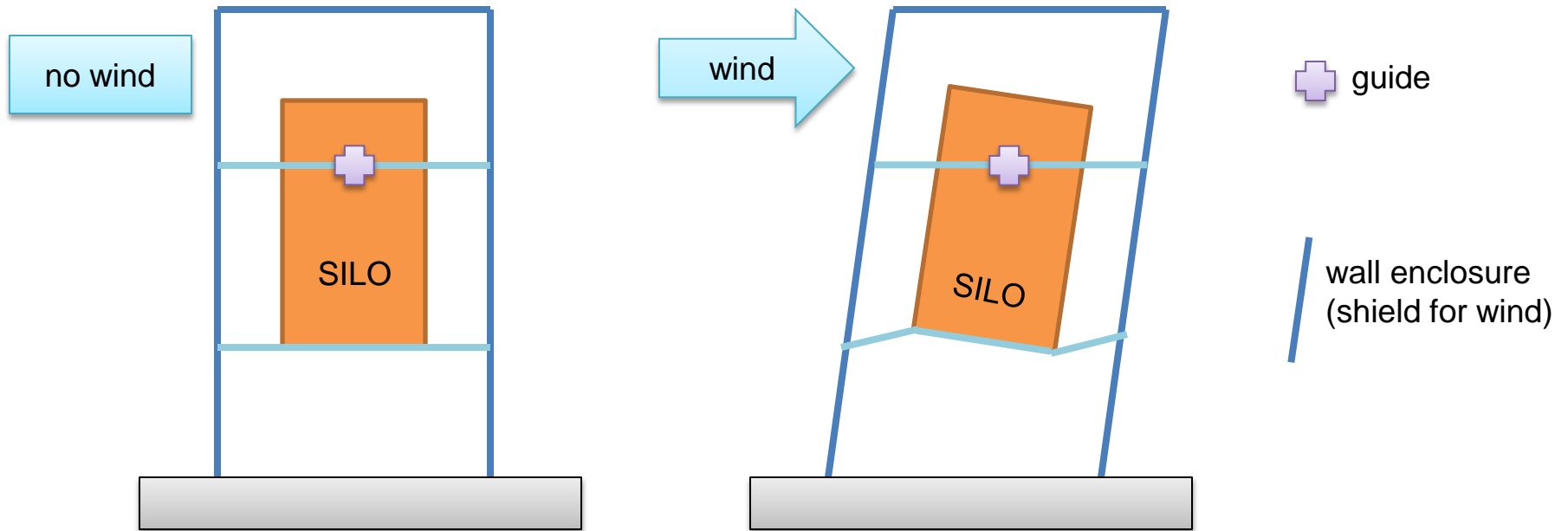
- Case: Tavanomaisilla kriteereillä suunniteltu siilo ja tukirakenne
 - 8 tukijalkaa, kokonaispaino n. 1500 t
 - virheellisesti tasaiseksi otaksuttu jakauma
- Jäykän siilon alla F_{\max} oli $1.45 \times F_{\text{avg}}$



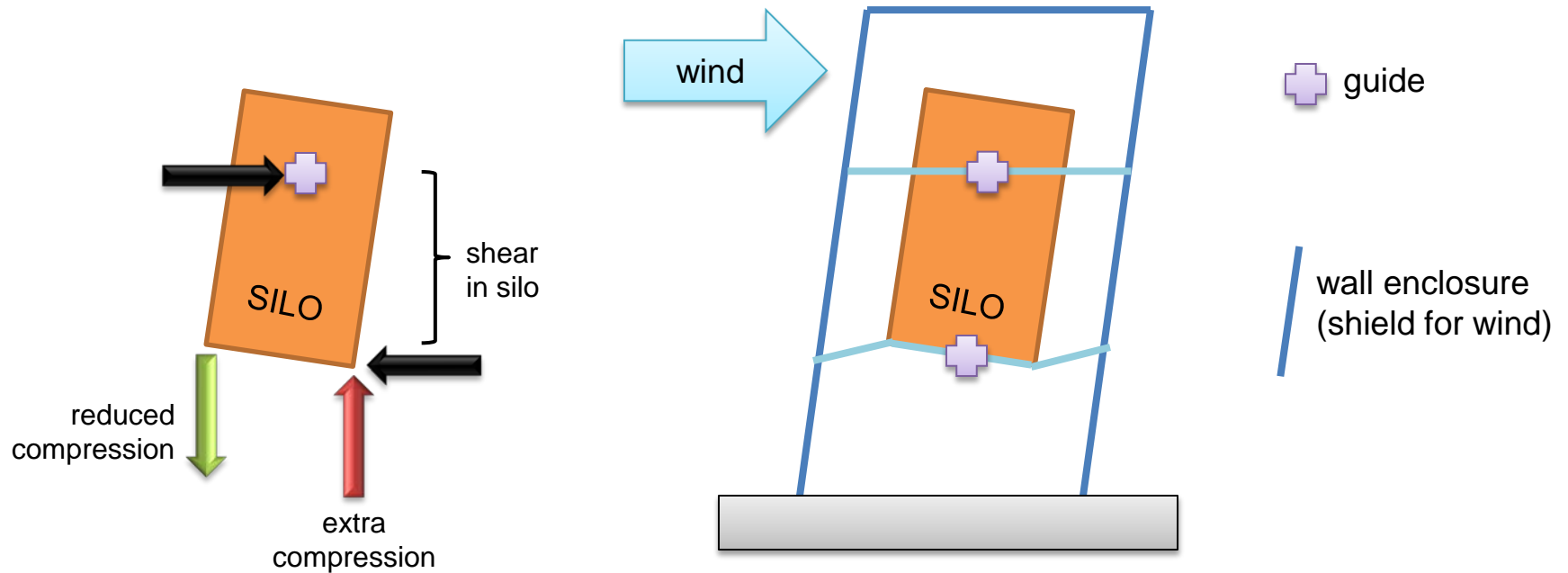
- Koska siilon ei voitu taata kestävän näin epätasaista kuormitusta, niin korjaavana toimenpiteenä teräsrakennetta modifioitiin joustamaan tasaisesti



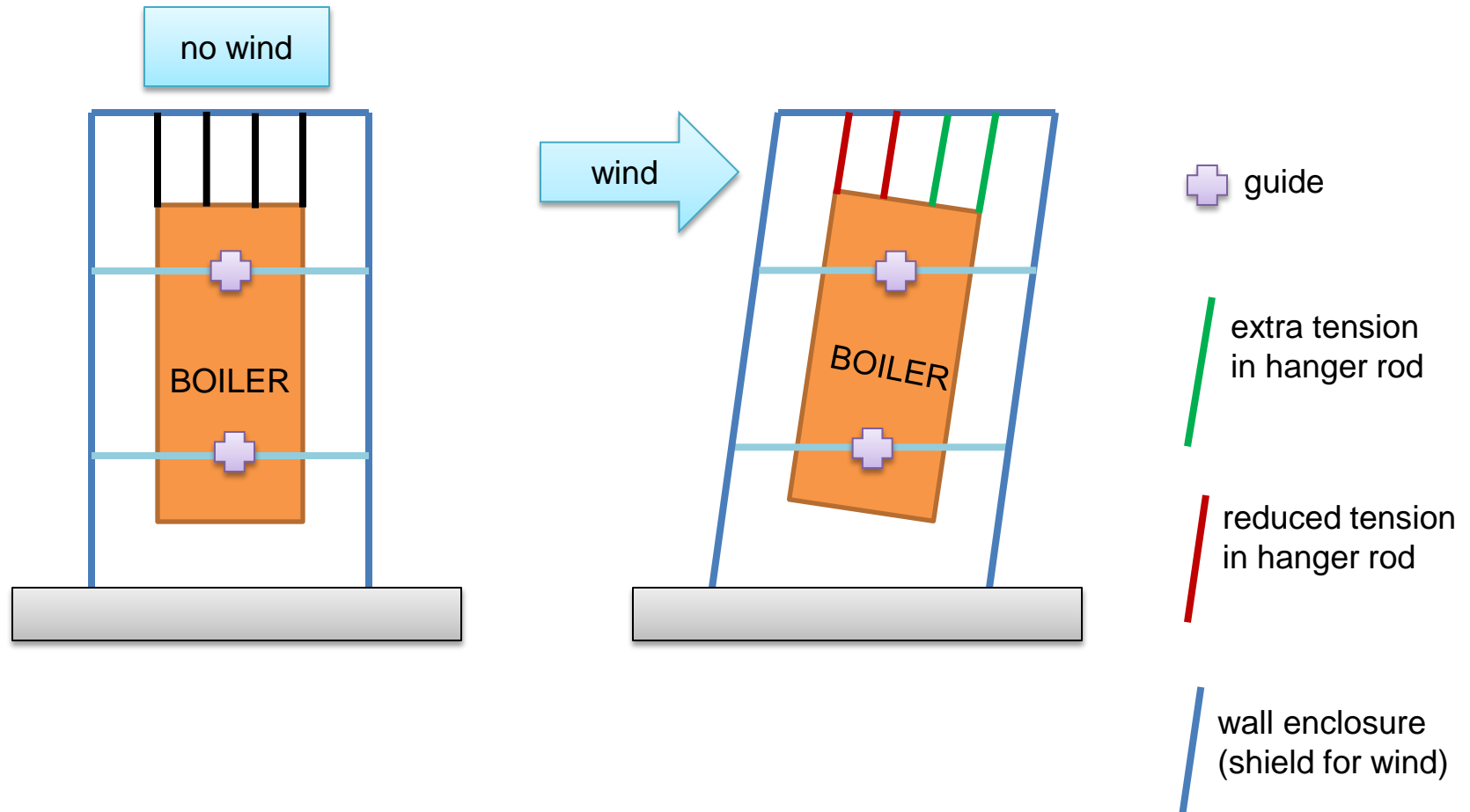
Palkkien varaan tukeutuva laite



Palkkien varaan tukeutuva laite

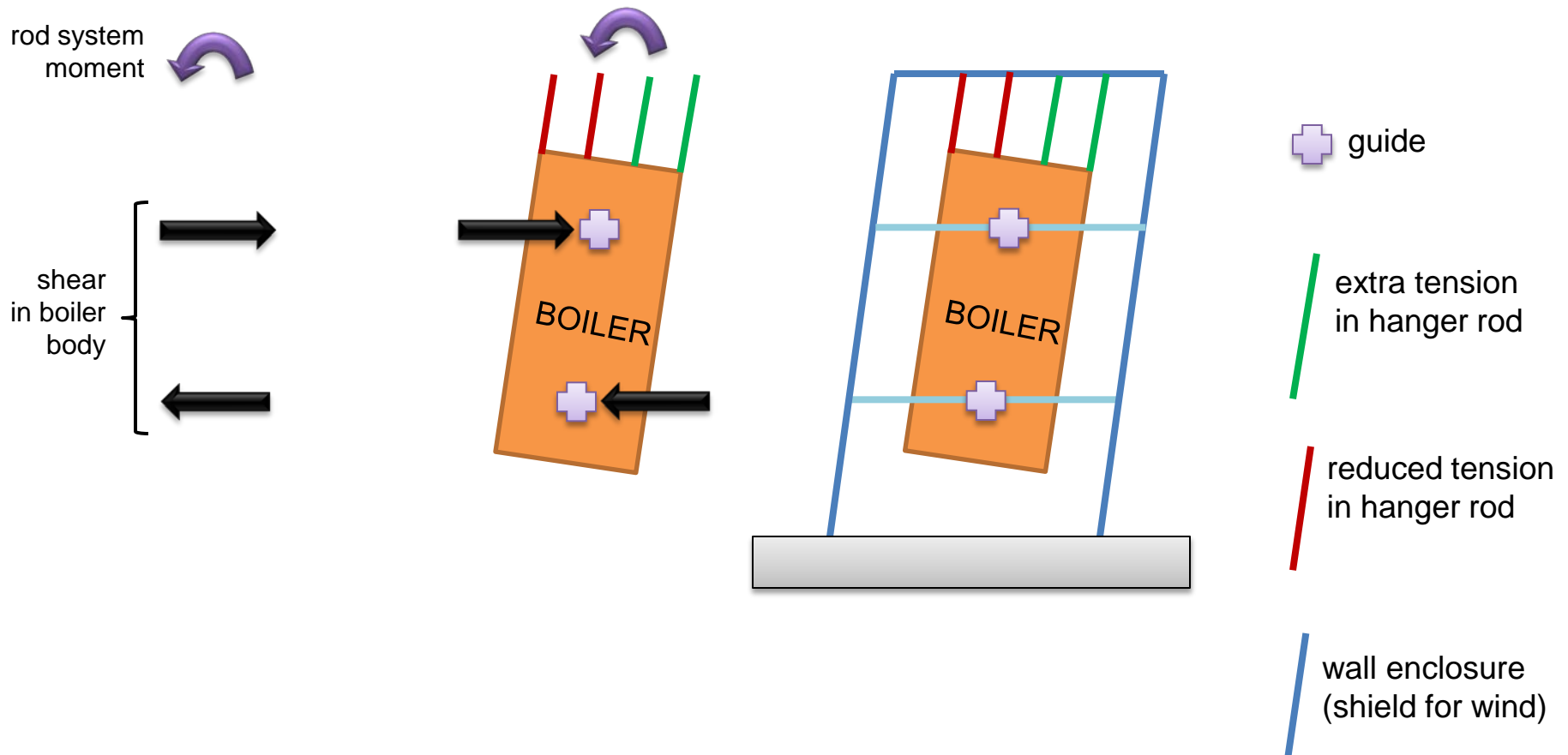


Kannatustangoin tuettu laite



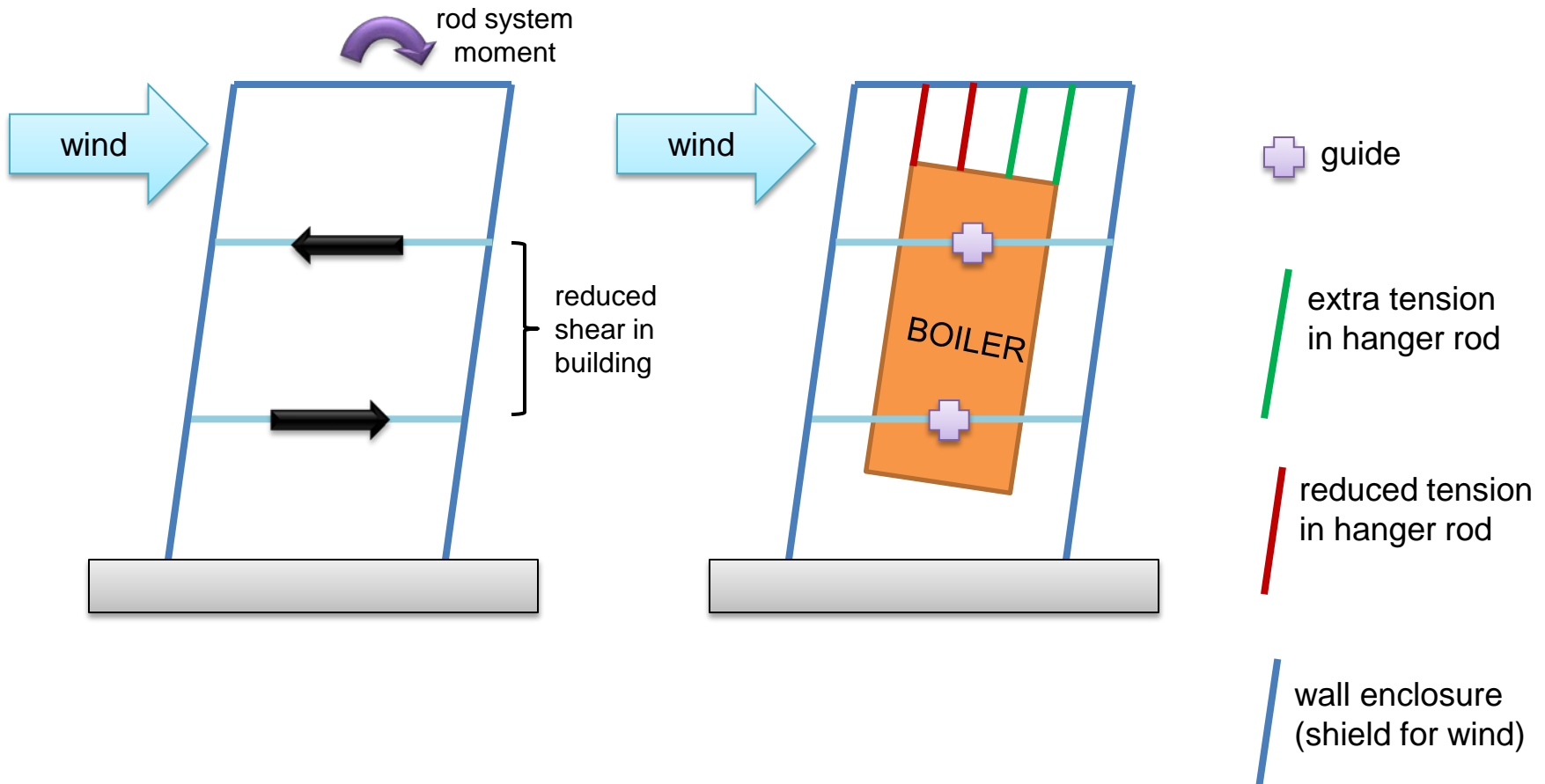
Kannatustangoin tuettu laite

Laitteessa esiintyy leikkausta



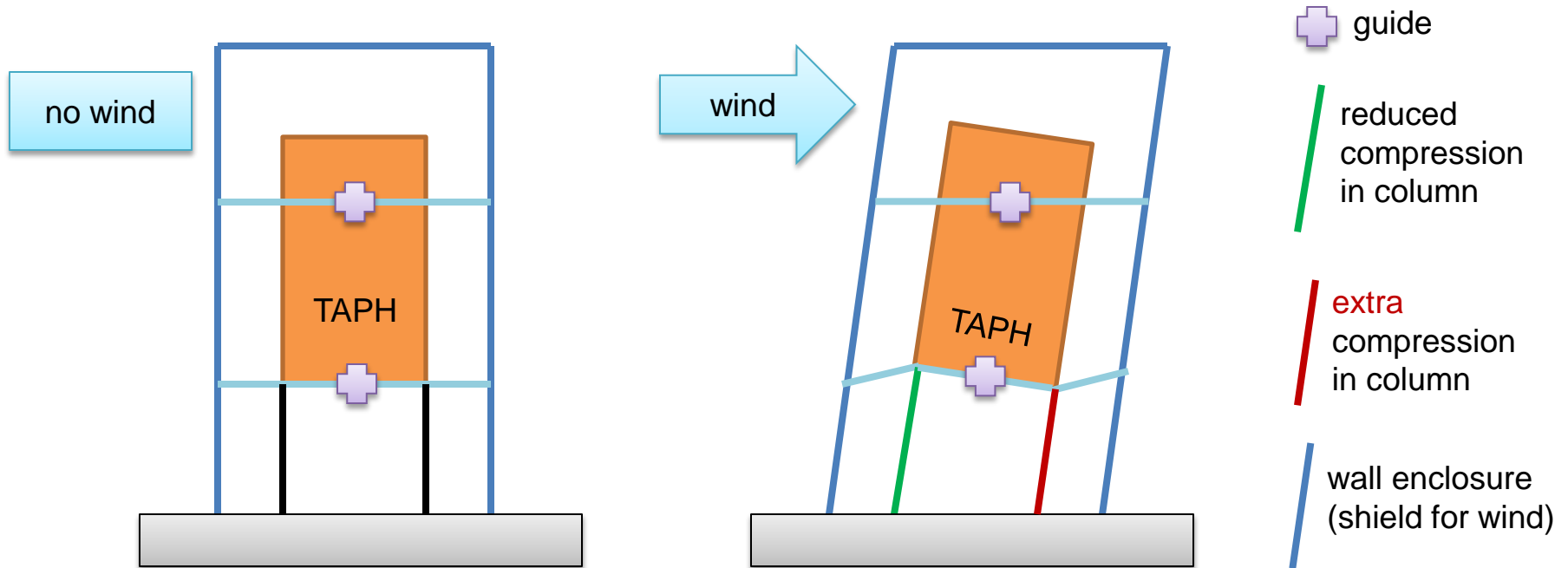
Kannatustangoin tuettu laite

Rakennuksen välittämä leikkaus on alentunut



Pilarien varaan tuettu laite, tavanomainen konsepti

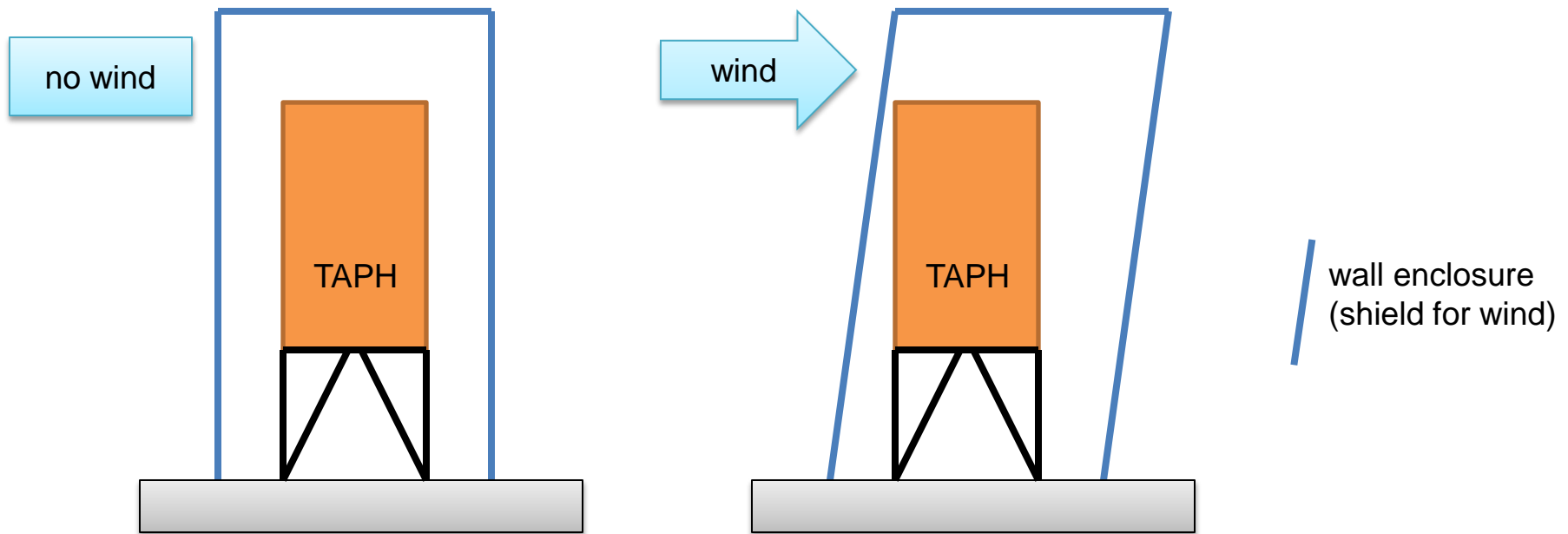
- Jos pilarien varaan tuettu laite on ohjattu, niin sillä on mutkikas yhteisvaikutus teräsrakenteen kanssa



- Ohjauksesta aiheutuu ylimääräisiä puristusvoimia pilareihin
 - pilareita ei saa valita ottamatta yhteisvaikutusta huomioon
 - jos laitetta ei mallinnettaisi rakennemalliin, niin pilarivoimat tulisivat aliarvioituiksi

Pilarien varaan tuettu laite, parempi konsepti

- Kun pilarein tuettu laite toteutetaan ohjauksenkin puolesta itsenäisenä rakenteena, vältetään mutkikas yhteisvaikutus





INTEGRITY
ACCOUNTABILITY
HIGH PERFORMANCE
VALUING PEOPLE
TEAMWORK

A graphic featuring a globe with several colorful silhouettes of people standing on it. The globe is surrounded by several curved, overlapping lines in various colors (red, orange, yellow, green, blue, purple) that create a sense of motion and global connectivity.

OUR CORE VALUES
DEFINE THE STANDARDS
OF BEHAVIOR FOR
EVERY EMPLOYEE IN
FOSTER WHEELER

www.fwc.com