



# Turvallisia ja taloudellisia rakenteita - Miten niihin päästään?

Betoniteollisuuden kesäkokous 2016

12.8.2016 Turku

prof. Anssi Laaksonen



# TUTKIMUSRYHMÄN TILANNEKATSAUS



# Tutkimusprojekteja

- Käynnistymässä:
  - Betonin veto- ja puristuslujuus erilaisten rasitustasojen jälkeen
- Käynnissä olevia:
  - Esijännitettyjen betonielementtirakenteiden jatkuvuus
  - Teräsbetonipaalujen kantokyky
  - Jännepunosvaurion vaikutus betonisen sillan rakenteelliseen turvallisuuteen
- Ehdotettuja:
  - Esijännitetyn pilarin rakenteellinen toiminta
- Päättyneitä:
  - Estetyt ja pakotetut muodonmuutokset sillan päällysrakenteessa
  - Useita koekuormituksiin liittyviä pienpalveluprojekteja
  - Suuriläpimittainen putkisilta rautatiesiltana
  - Niittaamalla kootut teräksiset rautatiesillat
  - TB-paalujen jatkosten kehitystyö ja koekuormitukset



# Ohje- ja standardityö

- Kansallisesti
  - EC 2 mirror group TC250/S2Fi  
~2020 uudistettu eurokoodi
  - Ohjeen ”By 27 tartunnattomat jänteet betonirakenteissa” uudistamistyö, pj, työ käynnissä.
  - Useiden laadittavien ohjeiden kommentointi, mm. kuitubetoniohje, betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu
  - Liikenneviraston eurokoodien soveltamisohjeen ”Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2” uudistamistyö, käynnissä.
- KV standardityö ja osallistuminen tieteellisiin ryhmiin
  - TC250/S2, betonirakenteet (sijaisena)
  - TC250/S2/TG4, leikkaus-, lävistys- ja vääntömitoitus
  - TC250/S2/TG49, betonisillat
  - fib WP 2.2.3 Punching shear
  - fib 1.1.3 Integral bridges
  - IABSE WC3 Concrete Structures



# Diplomityöt



## Käynnissä:

- Aariluoma Marianna, Aihealue: Betonielementtirakenteisen kerrostalon jäykistys
- Kärki Joonas, Aihealue: Jännebetonipalkin pään halkaisuraudoitus
- Kujala Toni, Aihealue: Betonin veto- ja puristuslujuus erilaisten rasiustasojen jälkeen
- Martinmäki Tomi, Paalulaattarakenteen optimointi
- Ojamaa Iiro, Kutistuman edellyttämä raudoitus tasomaisissa rakenteissa
- Ollikkala Arttu, Sillan päällysrakenteen muodonmuutosten monitorointi
- Kuusela Mikko, Jännitetyn palkkisillan päätypalkkien halkeamien hallinta
- Alanko Riku, Sillan kansilaatan yläpinnan betonipeitteen purku raudoitteiden alapuolelle asti
- Vuorio Ville, Komposiittivalmisteisten rumpujen mitoitusmenettelyt

## Uusimmat valmiit:

- Moisio Valtteri, Ajoneuvoliikenteen vaikutukset siltojen kantavuustarkastelussa käytettäviin kuormiin
- Salminen Oskari, Kutistumahalkeamien hallinta allasrakenteissa. 2016/08
- Tuomola Joonas, Tartunnattomin jäntein jännitetyn pilarilaatan mitoitus eurokoodien mukaan. 2016/03
- Jalonen Kimmo, Betonisiltaan kohdistuvat rasitukset pakotetuista ja estetyistä muodonmuutoksista. 2016/03
- Savolainen Jonne, Kulmatukimuurin geo- ja rakennetekninen suunnittelu. 2015/04



# Muuta

- Tutkimusryhmän verkkosivut avattu [www.tut.fi/vaativatrakenteet](http://www.tut.fi/vaativatrakenteet)
- ”Betonirakenteiden suunnittelijaseminaari” pidettiin 15.10.2015
- Edelleen kehitetty seminaari ”Kantavat betonirakenteet” pidetään 2.11.2016 Betonitutkimusseminaarin ensimmäisenä osana klo 09-13. Tilaisuus on betonipäiviä edeltävänä päivänä Helsingin Messukeskuksessa





# ALUSTUS



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, [www.tut.fi/vaativat-rakenteet](http://www.tut.fi/vaativat-rakenteet)

15.8.2016

# Rajaus

- Aihepiiri on hyvin laaja, joten aluksi on tarpeen **rajata**
- Tämä esitys nuo esiin joitain asioita/keinoja suunnittelun ja rakenteiden toiminnan näkökulmasta
- Maankäyttö ja rakennuslaki 5.2.1999/132, luku 17, Rakentamiselle asetettavat olennaiset vaatimukset:
  - 117 a § Rakenteiden lujuus ja vakaus
  - 117 b § Paloturvallisuus
  - 117 c § Terveellisyys
  - 117 d § Käyttöturvallisuus
  - 117 e § Esteettömyys
  - 117 f § Meluntorjunta ja ääniolosuhteet
  - 117 g § Energiatehokkuus
- ”Safety is always first”, 23.6.2016, CEN TC250/SC2
- Kysyttäessä ihmisiltä millainen talon tulisi olla?
- ⇒ Turvallisuudesta, terveellisyydestä ja toki siedettävästä hinnasta ei haluta tinkiä (toki lisäksi talon varsinaiset ominaisuudet)





# Sisältö



## Rakentaminen

- Henkilöt
- Rakenteet
- Suunnittelu
- Toteuttaminen
  - Aikataulu ja resurssit
  - Kokonaisvastuu
  - Laadunvarmistus/valvonta
  - Muutosten hallinta
  - Riskien tunnistaminen
  - Tiedonkulku
  - Työmaan hallinta
  - Yhteensovittaminen
  - Etc.
- Käyttö ja ylläpito
  - Käyttö
  - Ylläpito
  - Korjaukset
  - Vahventaminen
  - Etc.



## Rakentamista tukevaa

- Opetus
- Tutkimus
- Standardit/määräykset/ohjeet
- Asenteet



# Henkilöt

- SFS-EN 1990, 1.3(2), yleiset otaksumat ovat:
  - ”riittävän pätevät ja kokeneet henkilöt valitsevat rakennejärjestelmän ja suunnittelevat rakenteen”
  - ”riittävän ammattitaitoiset ja kokeneet henkilöt rakentavat kohteen”
- Otaksumat ovat yleisiä, mutta erittäin tärkeitä
- Pätevä henkilöstä seuraa että kokenut insinööri löytää hyviä ja yksinkertaisia ratkaisuja vaikeisiin suunnittelutehtäviin
- Suunnittelun ja toteuttamisen tukena ja apuna tulee olla riittävästi ”toisia silmiä”. Tässä toisten kokeneiden henkilöiden tuki projektissa on hyvin arvokasta; laadun valvonta, kolmannen osapuolen tarkastus, jne.
- Toteuttavalla taholla tulisi olla selkeä kokonaisvastuun kantaja





# RAKENTEET



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, [www.tut.fi/vaativat-rakenteet](http://www.tut.fi/vaativat-rakenteet)

15.8.2016

# Kokemuksia rakenteista

- Käytettävien rakenteiden tulisi olla tunnettuja sekä järjestelmiltään että mitoiltaan. Näin niiden käyttämisestä on kertynyt kokemuksia eri osapuolille
- Rakenteiden tulisi niin yksinkertaisia että niiden toiminta kyetään ymmärtämään riittävästi suunnittelussa, toteuttamisessa, käytössä ja ylläpidossa
- Uusien rakenteiden ja detaljien yhteydessä tulisi käyttää erityistä harkintaa ja huolellisuutta koska niistä ei vielä ole kertynyt kokemuksia



# Vaurionsietokyky

- Rakenteiden tulisi olla vaurionsietokykyisiä
- SFS EN 1991-1-7, 1.5.14:
  - Vaurionsietokyky: ”Rakenteen kyky vastustaa sellaisia tapauksia, kuten tulipaloa, räjähdystä, törmäystä tai inhimillisen virheen seurauksia vahingoittumatta alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman laajasti”
- Esimerkiksi jatkuvan sortuman estäminen yhtenä tehtävänä
  - Jokin asetettu skenaario tai pieni virhe ei saa johtaa laajaan sortumaan
- Toisena keinona on luoda rakenteille jatkuvuutta
- Kuitenkin on liian helppoa sanoa, että staattisesti määrättömämmät rakenteet aina olisivat vaurionsietokykyisempiä kuin staattisesti määrätyt
  - Staattisesti määrätyissä rasiusten kulku voidaan ymmärtää helpommin
  - Staattisesti määräämättömässä rakenteessa rasiusten jakautuminen riippuu rakenteen jäykkyyksien suhteesta



# Vaurionsietokyky, esim. 1

- Otetaan esimerkiksi kolmijalkainen tuoli epätasaisella lattialla jonka keskellä on kuorma  $F$ . Tällöin kullakin jalalla on kuorma  $F/3$ .
  - Jos tuoliin lisätään yksi jalka, niin jalkojen kuorma on  $F/2$ , kuorma kasvoi kun jalkojen määrää lisättiin!
  - Syy miksi näin kävi, on että staattisesti määräämätön nelijalkainen tuoli kantoi vain kahdella jalalla epätasaisella lattialla
  - Asia menee huomattavasti hankalammaksi jos otetaan plastinen käyttäytyminen tai peräti tuolin ja jalkojen stabiliteetti huomioon
- ⇒ HUOM. Tilanne on samankaltainen kun rakenteesta laaditaan suunnittelussa nk. Rakennemalli, jonka avulla rasituksia arvioidaan! Miten epävarmuus otetaan huomioon, eli malli ei ole täydellinen, vaikka niin kuvitellaan, kun se on laadittu FE-menetelmällä.



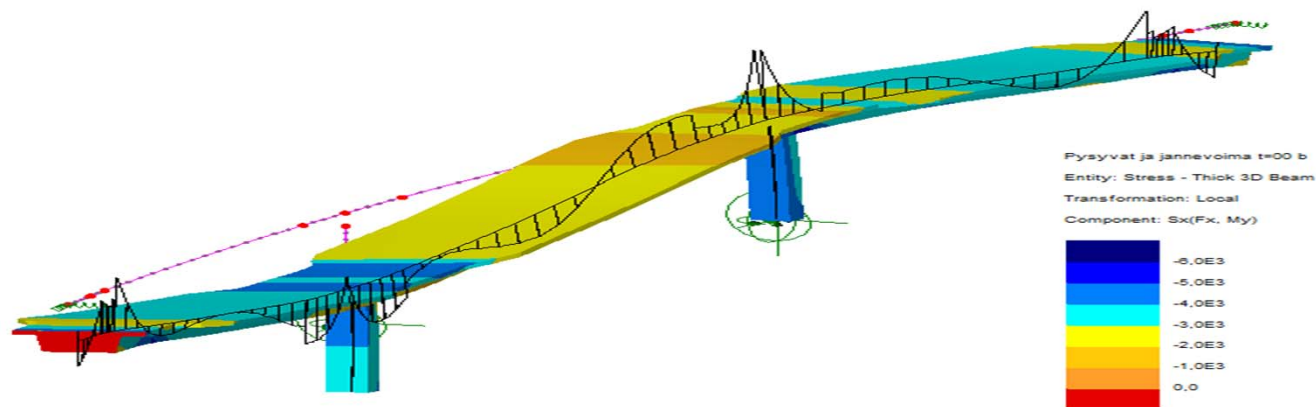
## Vaurionsietokyky, esim. 2

- Toisena esimerkkinä on hallin pääkannattajat joiden päällä on pituussuuntainen sekundäärinen rakenne
  - Otaksutaan skenaario että pääkannattajan kantokyvyssä on ongelma, niin voisi ajatella että sekundääristen rakenteiden tulisi olla jatkuvia, jotta kuorma voisi edelleen jakautua seuraaville rakenteille.
  - Kuitenkin tästä voi seurata että sitä seuraava pääkannattaja saa lisäkuormaa ja sen kantokyky vaarantuu ja sortuma etenee. Näin on riskinä myös vaikka seuraava pääkannattaja olisi alun perin kantokyvyltään kunnossa, koska siihen kohdistuu lisää kuormaa jatkuvien sekundääristen kannattajien johdosta, kun viereinen pääkannattaja taipuu.
  - Jos sekundäärit olisivat staattisesti määrättyjä (yksiaukkoisia) niin sortuma rajautuisi todennäköisemmin yhteen kannattajaan.
- ⇒ Onko vaurio toistuva, vai rajautuuko yhteen pääkannattajaan?



## Vaurionsietokyky, esim. 3

- Kolmantena esimerkkinä jatkuva palkki verrattuna yksiaukkoiseen palkkiin
- Palkit välittävät kuormat välituille luotettavammin myös vauriosietokyvyn skenaarioita tarkastellessa
- Jatkuvat palkki- ja laattarakenteet ovat rakenteita joista on kokemusta
- Rasiusten, etenkin momenttirasiusten jakaantuminen, riippuu palkin taivutushalkeilun asteesta eli palkin taivutusjäykkyydestä, mutta palkkien toimintaa kuitenkin ymmärretään melko hyvin





# Rakenteen sitkeys

- Rakenteiden tulee toimia sitkeästi
  - Rakenteeseen tulee voida muodostua riittävän isoja havaittavia muodonmuutoksia ja halkeamia ennen sortumista
- Miksi rakenteen tulee olla sitkeää? Voisi kuvitella, että jos rakenne suunnitellaan ja toteutetaan normien, niin tarvitseeko rakenteen olla sitkeää?
- ⇒ Normien osavarmuuslukuihin perustuvat menettelyt eivät ota huomioon inhimillisen tekijän vaikutusta.
- ⇒ Eli kun jokin asia inhimillisen, tai muun syyn, johdosta ei ole rakenteessa kunnossa (otaksutut rasitukset ylittyvät tai kestävyys ei ole suunniteltu) on toiminnan oltava sitkeää
- ⇒ Tämä mahdollistaa alkavan vaaratilanteen havaitsemisen ja mahdollisesti rakenteen vahvistamisen tai kuorman poistamisen
- ⇒ Lisäksi normien menettelyt on laadittu tavanomaisille rakenteille, joissa yhtenä otaksumana esimerkiksi sitkeys taivutetulle rakenteelle





# TUTKIMUS



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, [www.tut.fi/vaativat-rakenteet](http://www.tut.fi/vaativat-rakenteet)

15.8.2016

# Tutkimus

- Käytetyt rakenneratkaisut
  - Tunnetun rakenteen edelleen kehittäminen
  - Tunnistettujen ongelmien ymmärtäminen
- Uudet rakenneratkaisut
  - Rakenteen toiminnan tutkiminen
  - Rakenteiden mahdollisuuksien selvitys
- Jos ei tehdä tutkimusta, riskeinä:
  - Rakenne toteutetaan muulla tavin, jos rakenteen toimintaa ei tunneta riittävästi
  - Todellisessa rakenteessa esiintyy ongelmia
  - Rakenne ei ole kilpailukykyinen
- Jos tehdään tutkimusta, ja saadaan uutta tietoa rakenteiden toiminnasta:



- Rakennetta käytetään enemmän/tarkoituksenmukaisesti
- Materiaalia saatetaan säästää
- Luo alasta positiivista kuvaa etenkin substanssiin liittyen, jota alalla arvostetaan
- Saa kyvykkäitä opiskelijoita innostumaan alasta

# Rakennustekniikan tutkimusmenetelmistä

- Tutkimusmenetelmät vaihtelevat paljon tieteenalasta riippuen. Tässä keskittyminen on rakenteiden toimintaan liittyvässä tutkimuksessa.
- Tyypilliset tutkimusmenetelmät ovat:
  - Kirjallisuustutkimus
    - Mitä aiheesta tiedetään ennalta?
  - Kokeellinen tutkimus
    - Koekuormitukset hallissa
    - Kenttäkokeet
  - Laskennallinen tutkimus
    - Analyttiset menetelmät
    - Numeeriset menetelmät

Tehdään havaintoja ja todistetaan uudet ideat





# SUUNNITTELU



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, [www.tut.fi/vaativat-rakenteet](http://www.tut.fi/vaativat-rakenteet)

15.8.2016

# Suunnitteluperusteet



- Rakentamistapa ja järjestys
  - Kohdistuuko rakenteeseen merkittäviä rasituksia rakentamistavasta tai järjestyksestä johtuen?
  - Millä tavoin rakenne tuetaan asentamisaikana?
  - Millaisia detaljeja ja materiaaleja sovitaan käytettäväksi
- Onnettomuusskenaariot
  - Mikä on tavoiteltu taso?
  - Mitkä skenaariot ovat perusteltuja ja tarkoituksenmukaisia?
  - Vaikuttavatko skenaariot samanaikaisesti?
- Onko kaikki keskeinen otettu huomioon, vaikka sitä ei erikseen normissa lukisikaan?
  - Mitä riskejä ja kysymyksiä valittu ryhmittymä tunnistaa toteutettavasta rakenteesta? HUOM, kokeneet henkilöt.
  - Mitä muita keskeisiä otaksumia täytyy tehdä suunnittelussa?
- Kattaako normien menettely riittävästi tarkasteltavan rakenteen
  - Joudutaanko tunnettua menettelyä käyttämään tilanteessa tai alueella missä sitä ei ole kalibroitu (extrapolointi)



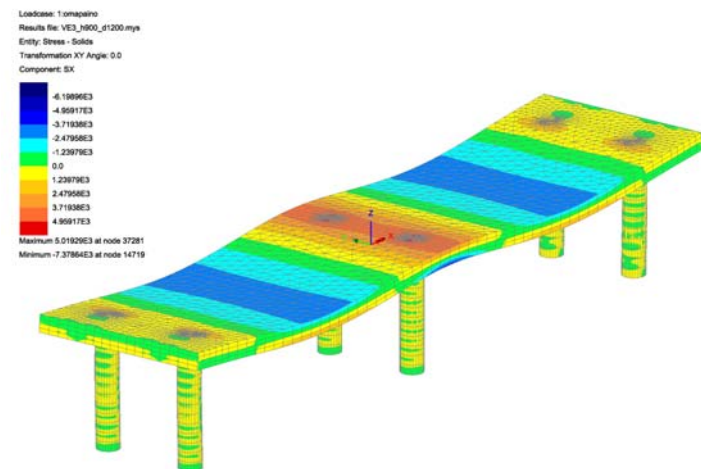
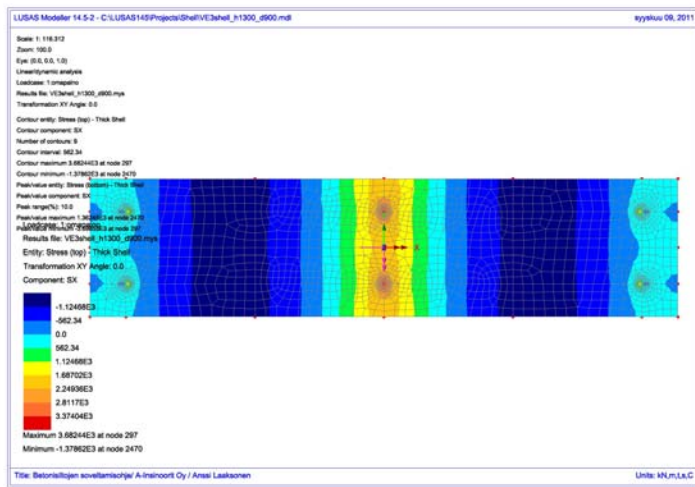
# Suunnitteluperusteet

- Suunnittelussa käytettävien kuormien tulee olla riittävät
  - Kuormat ovat aina yksinkertaistus todellisista tilanteista
  - Normien kuormille ja kuormien keskinäiselle esiintymiselle on otaksuttu tietynlaiset tilastolliset jakaumat. Näiden ja rakenteen kestävyuden jakaumien perusteella on tilastomatematisesti päätelty kuormat ja käytettävät osavarmuusluvut.
  - Tuloksena on saatu että todellisimmille kuormille käytetään alhaisempia osavarmuuslukuja kuin esimerkiksi muuttuville kuormille.
- ⇒ Normien osavarmuuslukuihin perustuvat menettelyt eivät ota huomioon inhimillisen tekijän vaikutusta.
- ⇒ Tällöin virheen vaikutus voi realisoitua isompana tilanteissa joissa kuorma on tosi: paljon pysyvää kuormaa (huom. Muotit ja telineet!), jännevoima, pysyvä kuorma on epämääräinen (esim. maamateriaali)



# Rakenteiden analysointi ja mitoitus

- Kun tarkastellaan kuormien aiheuttamia rasituksia rakenteeseen, on tilanne saman kaltainen kuin tuoli-esimerkissä edellä
- Yritetään ymmärtää että analysointi on todellisuuteen verrattuna hyvinkin puutteellinen
- Keskeiseksi muodostuu se että käsin laskennalla voidaan saada suurin piirtein sama tulos, jos ei saada, niin selvitetään mistä se johtuu
- Keskitytään olennaiseen ja pyritään saamaan ensimmäinen numero ja etumerkki oikein! Esim.





# Kokonaisuus

- Eri osakokonaisuudet ja tekniikkalajit tulee nivota keskenään yhteen
- Rakenne- ja geotekniikan keskinäinen yhteensovittaminen, perustamistavalla keskeinen vaikutus rakenteisiin
- Geotekniikkaan liittyviä sortumia uutisoidaan vähemmän kuin rakenteisiin liittyviä, mutta ne voivat olla silti tyypillisempiä ja aiheuttavat isoja korjaustoimenpiteitä
- Miten erilaisista esivalmistetuista ja paikalla rakennetuista rakenneosista saadaan yhtenäinen kokonaisuus ja kaikki keskeinen tekninen tieto on käytettävissä kaikilla?



# Resurssit, aikataulu ja muutokset

- On aivan selvää, että suunnittelussa tulee olla käytettävissä riittävät resurssit ja aika
- Vain hintaa pidettäessä kriteerinä riskinä on, että työn saa joku alimitoitetuilla resursseilla ja kokemattomalla tiimillä
- Tilanne on johtanut useissa tapauksissa viimeksi mainittuun
- Muutokset ovat luonnollisia isoissa kokonaisuuksissa. Tällöin keskeistä on jakaa muuttunut tieto kaikille sitä koskeville osapuolille.





# YHTEENVETO



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, [www.tut.fi/vaativat-rakenteet](http://www.tut.fi/vaativat-rakenteet)

15.8.2016

# Yhteenveto

- Itse rakenteilla, niiden suunnittelulla, toteuttamisella ja ennen kaikkea näiden yhteispelillä voidaan saada aikaan turvallisia ja taloudellisia rakenteita
- Tarkasteltavaan kysymykseen ei ole yksiselitteistä vastausta, mutta joitain keinoja on nostettu esityksessä esiin
- Yksi tärkeä erittäin asia on asenteet:
  - Virheiden tunnustaminen ja niistä oppiminen. Tulisi olla rohkeutta ja mahdollisuuksia kertoa tapahtuneesta muille.
  - Kantavia rakenteita ja siihen liittyvää osaamista ei tulisi pitää itsestään selvyytenä.
  - Kantavat rakenteet tulee käsitellä niihin liittyvällä vakavuudella, oikeasti realisoituvat ongelmat ovat hyvin valitettavia.

