



# Betonin lujuus ja rakenteiden kantavuus

Betoniteollisuuden kesäkokous 2017

11.8.2017 Hämeenlinna

prof. Anssi Laaksonen

# Sisältö

- 1) Taustaa
- 2) Lujuuden lähtökohtia suunnittelussa
- 3) Lujuus vs. rakenteen kestävyys
- 4) Rakenteen kestävyys vs. rasitukset (kuormat)
- 5) Yhteenveto



# TAUSTAA



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

# Yleistä

- Itse materiaalin lujuus ei vielä kerron sen merkityksestä
- Merkityksen kertoo sen vaikutus rakenteiden toimintaan
- Rakenteiden osalta keskeisin on rakenteen kantavuus
- Kantavuudella tarkoitetaan tässä murto- ja käyttörajatilaa
  
- Betonin lujuus vai jännitys => Murtorajatila vai käyttörajatila
- Betonin lujuus ei aina ole mitoittavin tekijä
- Lujuus on monessa betonin ominaisuudessa tekijänä => epäsuoria lujuuden vaikutuksia
  - Kestävyys => Puristus-, veto- vai leikkauslujuus
  - Jäykkyys ja taipumat => lujuuteen rinnastettuja ominaisuuksia
  - Pitkäaikaiskestävyys => lujuuteen rinnastettuja ominaisuuksia
- Betonin lujuus mitoittavimmassa paikassa, vai lujuus yleensä?

HUOM. Riittävien rakenteiden mittojen ja rakennejärjestelmien valinta on kestävyysnäkökulmasta vielä tärkeämpää

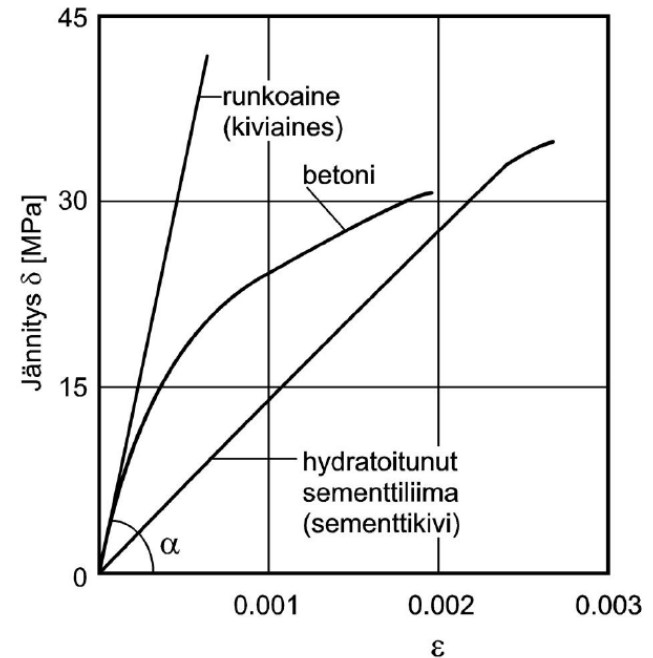


# LUJUUDEN LÄHTÖKOHTIA SUUNNITTELUSSA



# Lujuus

- Betoni on keraamin tavoin käyttäytyvä materiaali, puristuslujuus on ~10-kertaa vetolujuutta parempi
  - Betoni on valmistettu runkoaineksesta, vedestä, sementistä ja lisäaineista
  - Materiaalin lujuuteen ja jäykkyyteen vaikuttavat runkoaineen ja muodostuvan sementtikiven ominaisuudet
- ⇒ Suunnittelustandardeissa ominaisuudet ovat monelta osin vakioitu, jotta työ olisi pragmaattista
- ⇒ Monessa asiassa nimenomaan betonin lujuus on kriteerinä, esim. kimmokerroin tai pitkäaikaiskestävyyteen liittyvät asiat



# Yleistä

- Käytettävät mitoitusmenettelyt ovat esitetty ohjeissa ja standardeissa
- Suunnittelussa otaksutaan että vaadittu lujuus täyttyy
- Lieriölle 150x300 mm mitattu lujuus  $f_c$ , ja siitä määritetty ominaislujuus  $f_{ck}$  on suunnittelun perusta
- Betonimateriaaliin ja sen lujuuteen liittyy luontaista hajontaa. Tämän johdosta betonin osavarmuusluku on melko korkea 1.5 tai 1.35.
- Betonimateriaalin lujuusluokan valinta rakenteissa tehdään saavutettavissa olevan kriittisten poikkileikkausten kestävyys- ja käyttöikäkysymysten tarpeista
- Kunkin rakenneosan matkalle valitaan normaalisti sama betoni
- Näin materiaalin täysi lujuustarve rakenteellisen kestävyys- näkökulmasta ei vallitse kaikkialla rakenteessa
- Vain kestävyys- tarkastelun lisäksi tulee ottaa huomioon koko mitoitusprosessi, esimerkiksi kuormat mille rakenne suunnitellaan



# Murtorajatila (MRT) Osavarmuusluvut

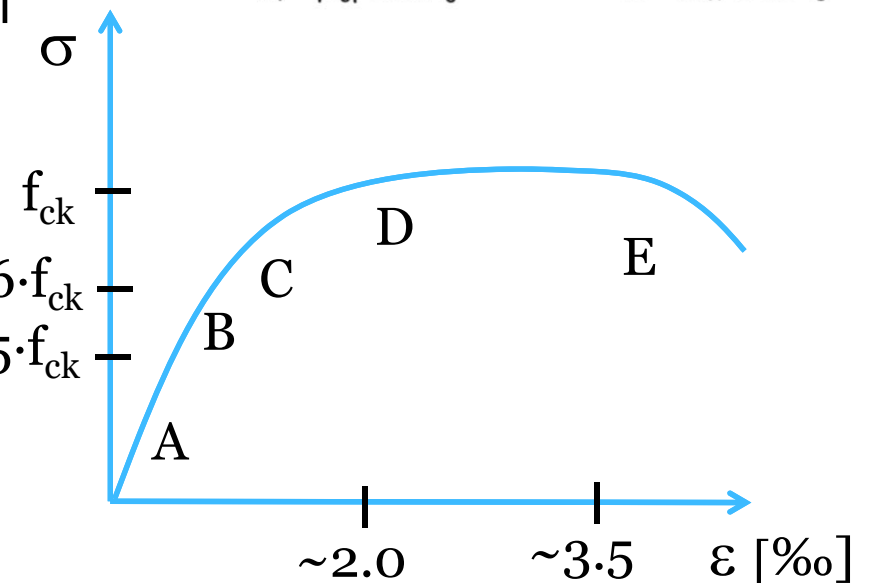
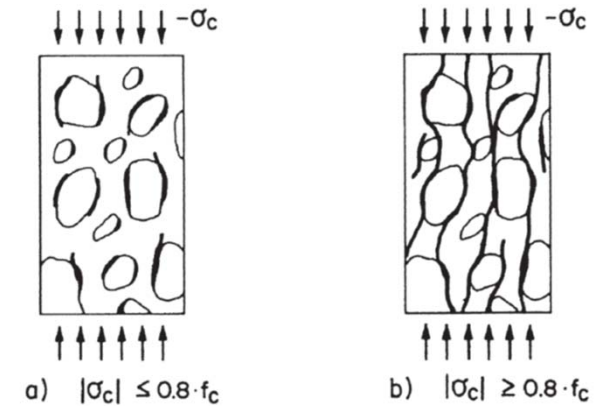
- Betonin osavarmuuslukuun 1.3 päädytään, kun otaksutaan hajonnat:
  - Betonin lujuus 15 %
  - Geometrinen tekijä 5 %
  - Rakennemallin epävarmuus 5 %
- Näiden lisäksi on otettu huomioon kerroin 1.15 kattamaan epävarmuus ja hajonta betonista tehtyjen standandikoekappaleiden ja todellisen rakenteen (rakennekoekappaleet) välillä
  - Säilytyksen olosuhteet, kosteus ja lämpötila
  - Valutyöhön liittyvät epävarmuustekijät
  - Kerroin  $1/1.15 \approx 85\%$  on sama, jota käytetään vaatimuksena rakennekoekappaleiden yhteydessä
- Näin saadaan osavarmuusluku:  
 **$\gamma_C = 1.3 \cdot 1.15 = 1.5$**
- Jos edellä mainitusta poiketen betonin lujuuden hajonta on 10 % ja käytetään osavarmuuslukua  $\gamma_C = 1.35$ , muodostuu lujuuden vaatimustasoksi rakennekoekappaleista 90 %





# Käyttörajatila KRT

- Betonin jännityksiä rajataan käyttörajatilassa
- Ominaisyhdistelmä, kerran - korkeintaan kertoja, rakenteen elinkaaren aikana esiintyvä tilanne,  $0.6 \cdot f_{ck}$ 
  - ⇒ Jotta materiaali ei hajoaisi tai siihen muodostuisi haitallisia muodonmuutoksia
- Pitkäaikaisyhdistelmä, usein mahdollinen tilanne,  $0.45 \cdot f_{ck}$ 
  - ⇒ Jotta virumien vaikutus ei kasvaisi haitalliseksi (taipumat)
- Yleisesti jännitykset ovat suuria rakenneosissa
  - Missä on suhteellisesti paljon pysyvää kuormaa verrattuna muuttuvaan
  - Jännitetyissä rakenteissa

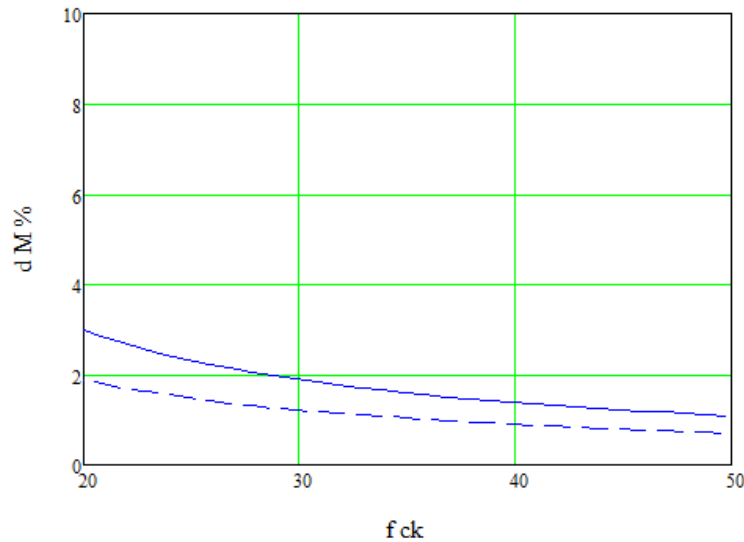


# LUJUUS VS. RAKENTEEN KESTÄVYYS

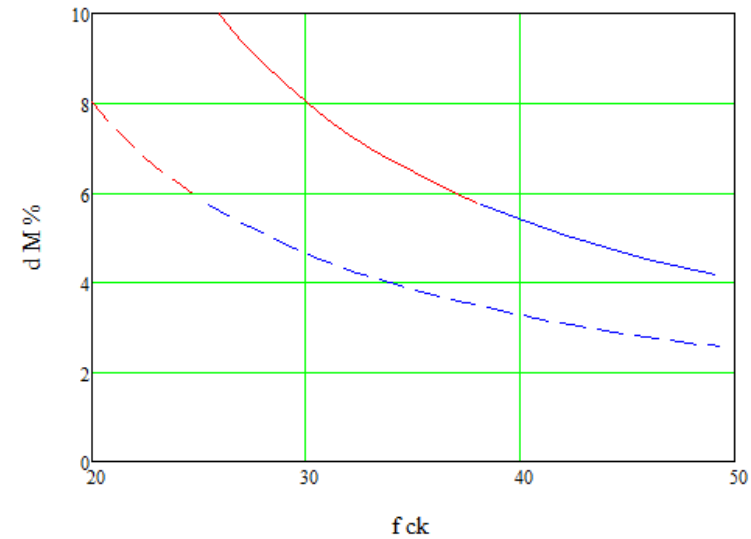


# TB palkin taivutuskestävyys MRT

- Otaksutaan 15 % vaje betonin puristuslujuuteen
- Lasketaan taivutuskestävyyden vaje  $\Delta M$  [%] eri lujuustasoilla  $f_{ck}$
- Jatkuva palkki, T-poikkileikkaus, kentässä(vasen) ja tuella(oikea)



- raudoite iso, yliraudoitettu
- raudoite iso, normaaliraudoitettu
- - raudoite pieni, yliraudoitettu
- - raudoite pieni, normaaliraudoitettu



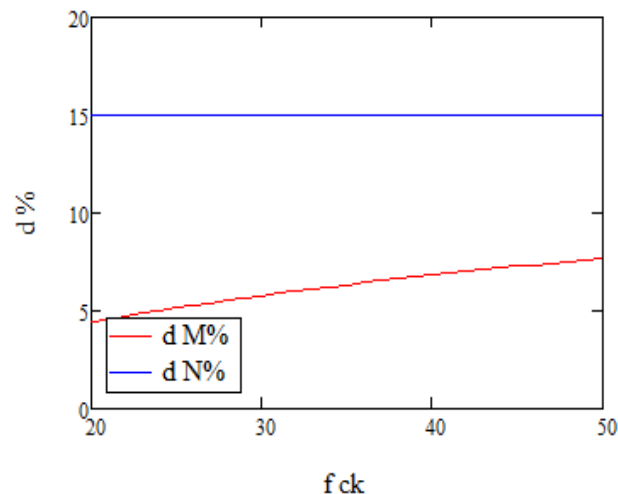
- raudoite iso, yliraudoitettu
- raudoite iso, normaaliraudoitettu
- - raudoite pieni, yliraudoitettu
- - raudoite pieni, normaaliraudoitettu

- Kuvista nähdään että kenttäalueella vaikutus on pieni
- Tukialueella vaikutus on ~5 % kun raudoitusmäärä on iso
- Kuvissa punaiset viivat ovat yliraudoitettulla alueella



# Pilari MRT

- Otaksutaan 15 % vaje betonin puristuslujuuteen ja lasketaan karkeasti poikkileikkauksen taivutuskestävyyden vaje  $\Delta M$  [%] ja normaalivoimakapasiteetin vaje  $\Delta N$  [%]
- Laskenta on laadittu karkeasti poikkileikkaustasossa otaksuen pilarille tavanomainen N ja M yhdistelmä



- Kuvasta nähdään että normaalivoimakapasiteetti laskee samassa suhteessa ja taivutuskapasiteetti ~5 %.
- Kuitenkin N ja M ovat riippuvia toisistaan. Lisäksi toinen kertaluku kasvaa hoikassa pilarissa, jolloin taivutuksen muutos kasvaa



# Muut kysymykset

- Jälkijännitetyissä rakenteissa ankkurialueella valitsee korkeita jännityksiä
- Ankkurikappaleiden yhteydessä hyödynnetään kolmiakσιαalista jännitystilaa ja nk. confinement raudoitusta
- Näitä ei suunnittelussa mitoiteta, vaan niihin liittyvät testit on laadittu ja vaatimukset on esitelty niiden ETA-dokumenteissa
- Jännitystaso/kuorma on todellinen ja varmasti esiintyvä
- Mikäli keskiöetäisyyksien valinnan kautta betonin lujuus on määräävä, tai muutoinkin, niin lujuuden alittuessa ankkurilla on riski rikkoa rakenne

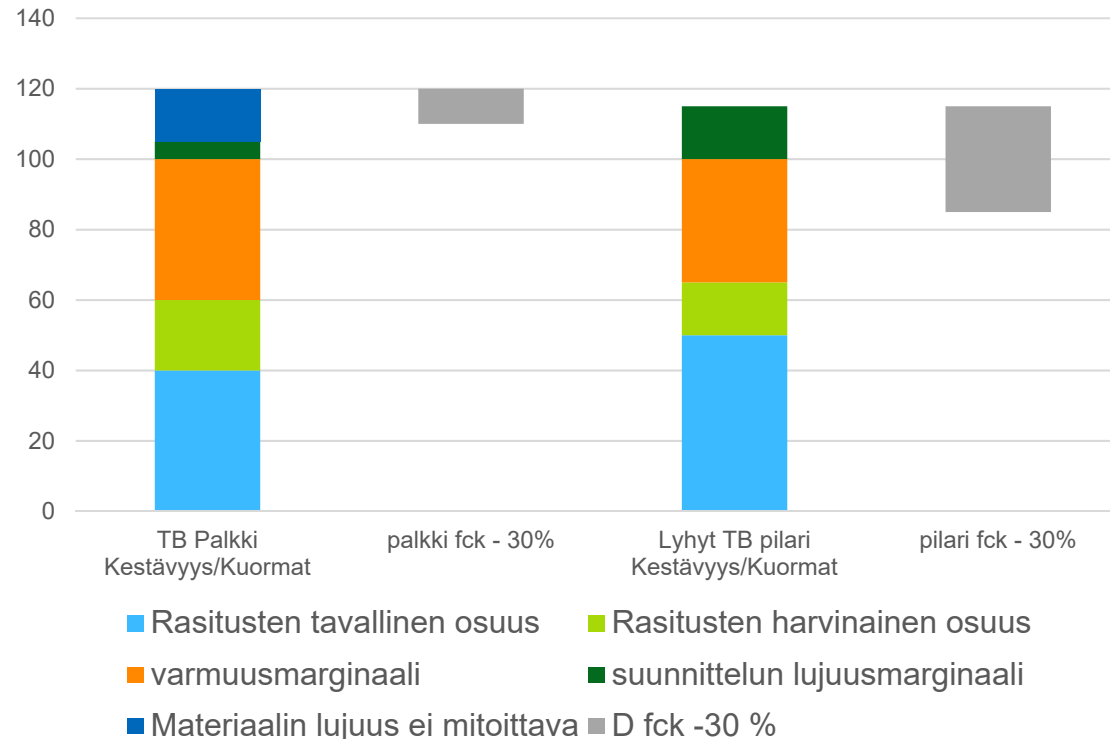


# KESTÄVYYS VS. RASITUKSET



# Kestävvyys vs. rasitukset

Kestävvyys MRT / Rasitukset(kuormat)



- Kuvaajassa 100% edustaa rakenteelta edellytettyä tasoa
- Kuormien eli rasiitusten valinta alun perin riittävän suuriksi
- Onko betonin lujuudella mitoittavin vaikutus, vai esim. raudoitteen lujuudella ja määrällä?
- Jotta betonin lujuuden muutos vaikuttaa todelliseen kantavuuteen, tulee muutoksen olla iso



# Mikä on mitoittavinta

- Esimerkkejä tyypillinen mitoittavin tiloista on arvioitu X-kirjaimella
- Tapaus jossa betonin lujuus (tai jännitys x% lujuudesta) mahdollisesti **mitoittavin**

	Taivutus		Leikkaus	Lävistys	Hoikkuus sekä N ja M	Detaljit
	MRT	KRT	MRT	MRT	MRT	
Palkki TB		X				
Palkki jälkijänn		X				XX
Palkki Esijänn.	X	X	X			
Pilari					XX	
Antura		X		X		





# YHTEENVETO



# Johtopäätökset

- Useimmiten pieni lujuuden muutos ei juurikaan vaikuta rakenteen kantavuuteen
- Murtorajatilan kestävyys ei ole rakenteissa aina mitoittavinta
- Siellä missä lujuutta tarvitaan halutuille kuormille täysimääräisesti, eli se on mitoittavinta, sen puutetta ei voi perustella.
- Lujuuden vaikutus rakenteen kantavuuteen riippuu rakenneosasta ja millä kohdin rakenneosaa tarkastellaan
  
- Betonin lujuus  $\neq$  kantavuus
- Betonin lujuuden muutos %  $\neq$  Kantavuuden muutos %
- Betonimateriaalin lujuuden ominaisuus on, että siihen liittyy lukuisia tekijöitä ja hajontaa



KIITOS TARKKAAVAISUUDESTA,  
KYSYMYKSIÄ?

