



BETONITUTKIMUSSEMINAARI 2018

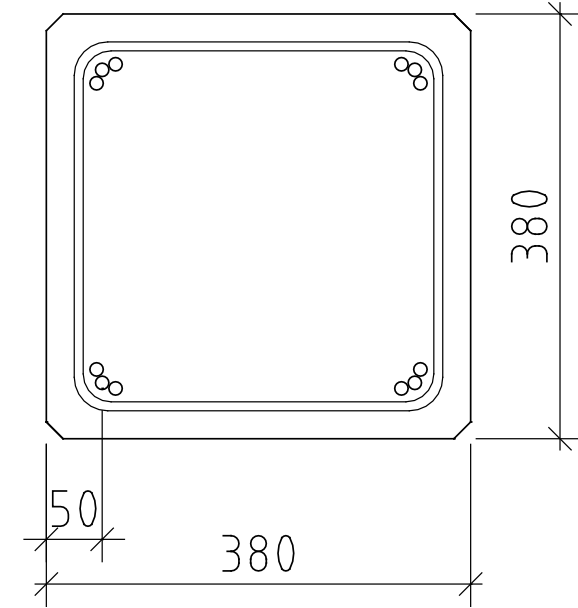
KESKIVIIKKONA 31.10.2018
HELSINGIN MESSUKESKUS

Esijännitetyn pilarin toiminta

Olli Kerokoski, yliopistonlehtori, tekn.tri, TTY

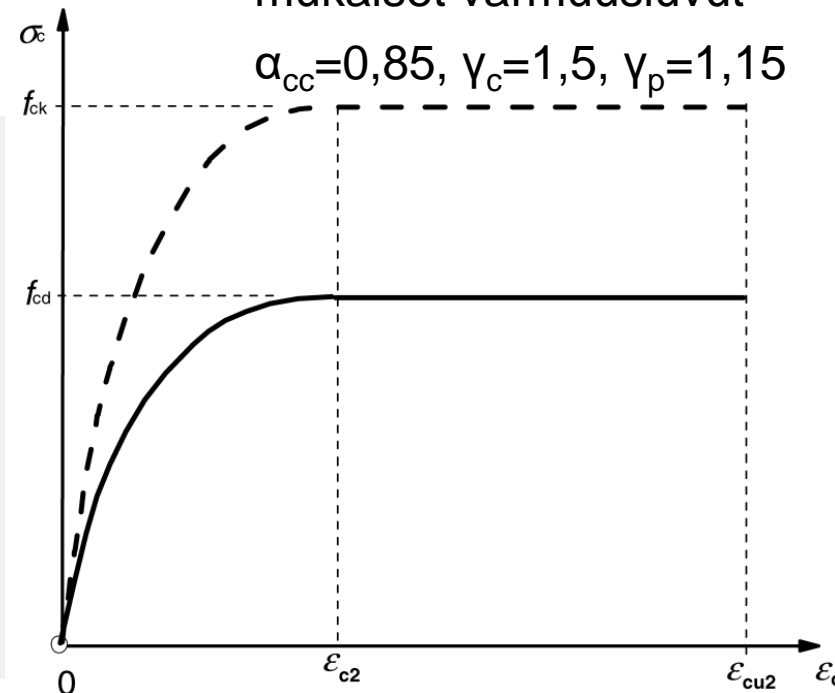
Lähtötietoja

- Jännitetyn pilarin poikkileikkaus on 380·380 mm².
- Pilarissa on yhteensä 4, 8, 12, tai 16 isoa 93mm² punosta eli nurkkaa kohden joko 1, 2, 3 tai 4 kpl punoksia.



Betonieurokoodin mukaiset varmuusluvut

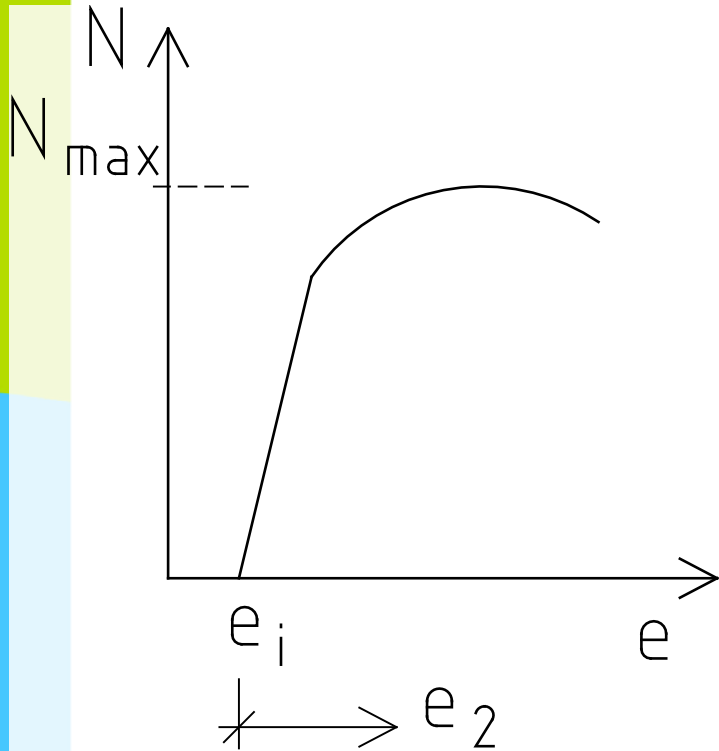
$$\alpha_{cc}=0,85, \gamma_c=1,5, \gamma_p=1,15$$



Betoniluokka C50/60,
materiaalimalli:
puristetun betonin paraabeli-
suorakaide-kuvio

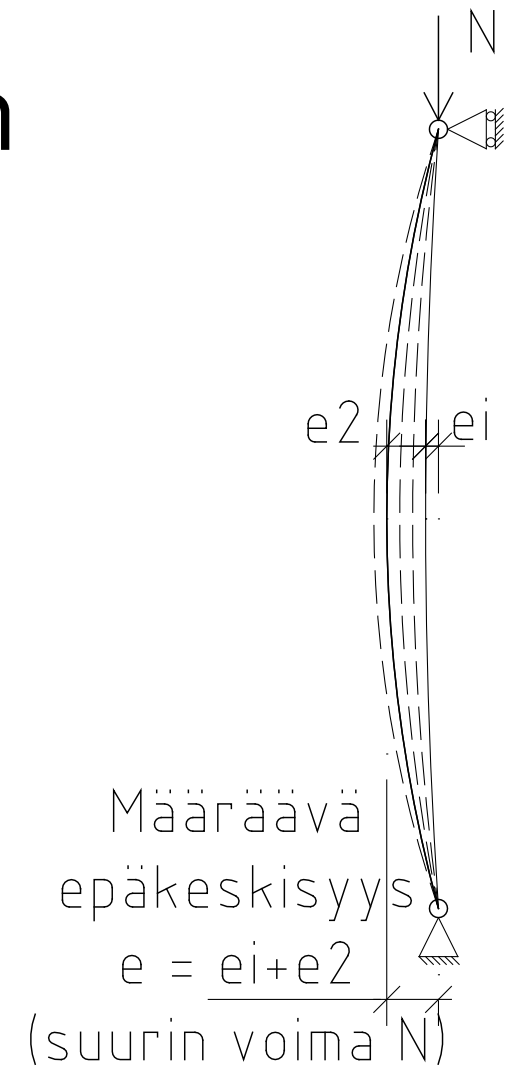
Punosjännitys ennen ulkoista
kuormitusta (esijännitys) 1000 MPa.

Siirtymäperustainen laskentamenetelmä



Matemaattinen tarkastelu.
Pilarille oletetaan sekä
sinimuotoinen
alkuepäkeskeisyys että
nurjahdusmuoto

Pilarin normaalivoima N
keskikohdan sivusiirtymän
mukaan.



Yksiaukkoisen nivelpäisen sinimuotoisen
pilarin epäkeskisyudet e_i ja e_2



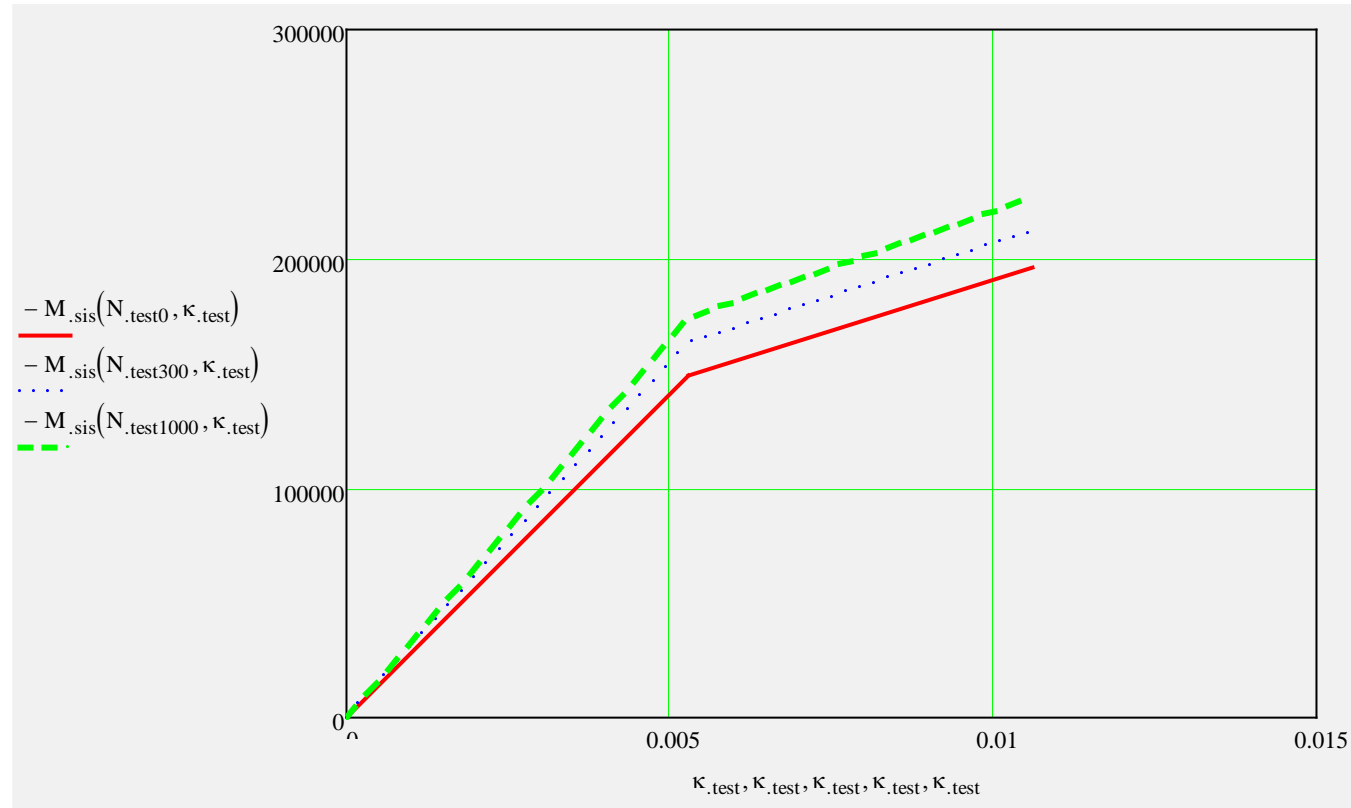
- Pilaripituus on joko 8 m tai 15 m alkuepäkeskisyyksillä 20 mm tai 37,5 mm.
 - Rakenne vastaa täysin jäykästi juurestaan kiinnitettyä 4 m tai 7,5 m korkeaa mastopilaria.
 - Hetkellinen tilanne
-
- Punosmäärällä 3 punosta/nurkka on pelkän esijännityksen aiheuttama betonijännitys $\sigma_{ce} = 7,8$ MPa.
=> Riittävä punosmäärä kuljetukset ja muu pilarielementin käsittely huomioiden lienee 2 punosta/nurkka.



Poikkileikkauksen momentti-käyrityelmä –yhteyden eli taivutusjäykkyyden normaalivoimariippuvuus

M-κ –kuvaajat
normaalivoiman
arvoilla
0 kN,
300 kN
ja
1000 kN.

Normaalivoima lisää
poikkileikkauksen
taivutusjäykkyyttä.



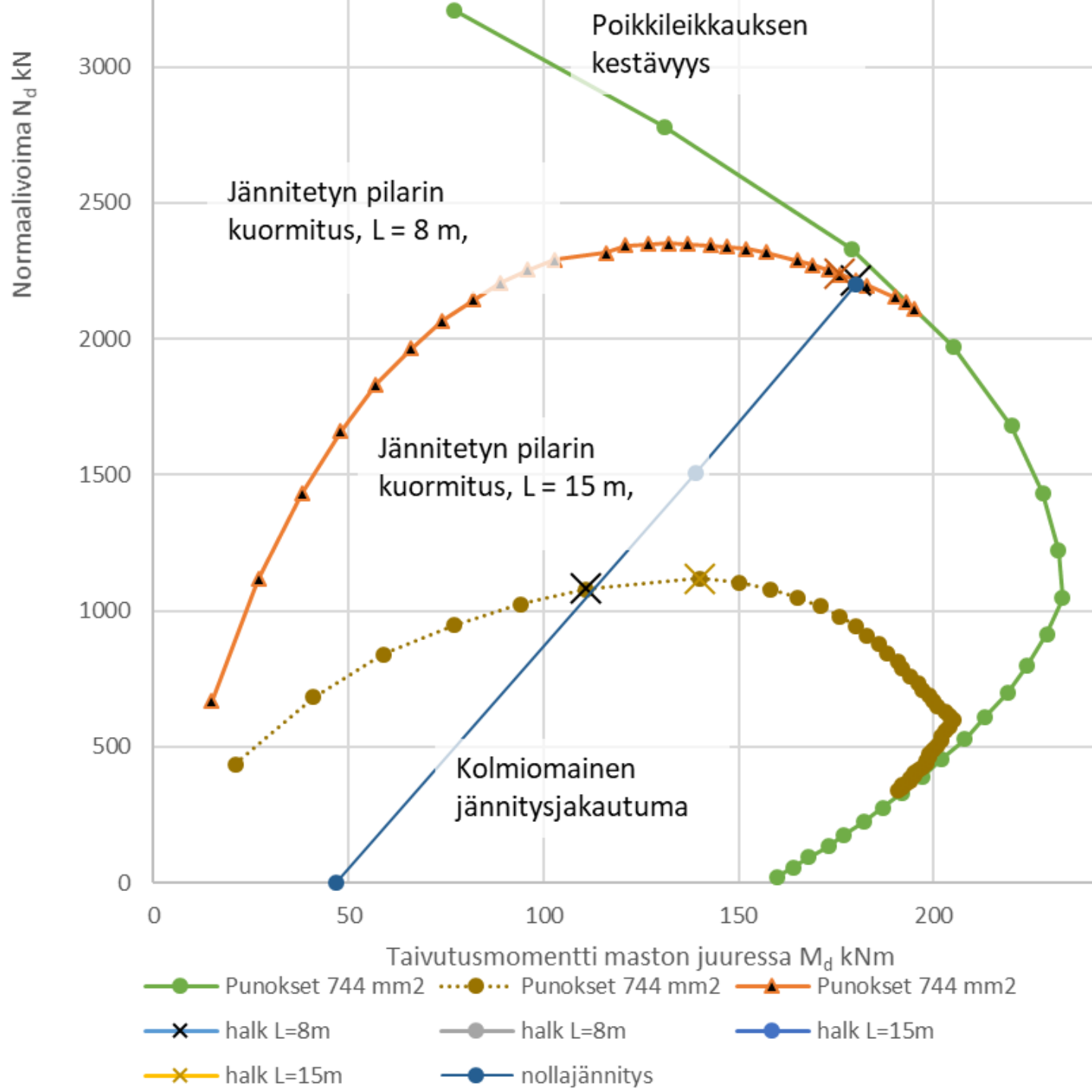
Isolla normaalivoimalla isompi osuus poikkileikkauksesta on puristettu, jolloin taivutusjäykkyys on myös suurempi.



2 punosta/nurkka - tapaus

Rastien välissä epälineaarilla jännitysjakautumalla syntyy ensimmäinen vetohalkeama poikkileikkauksen vedettyyn reunaan.

Suora kuvaa betonin puristusjännityksen kolmiomaisen jakautuman mukaista poikkileikkauksen reunalle syntyvää jännityksetöntä tilaa.



- Suorasta ja rastien sijainnista voidaan päätellä, että tällä poikkileikkauksella ja punostuksella sekä lyhyen että pitkän pilarin betonin jännitystila vastaa kolmion muotoista jännitystilaa näissä tarkastelukohdissa.

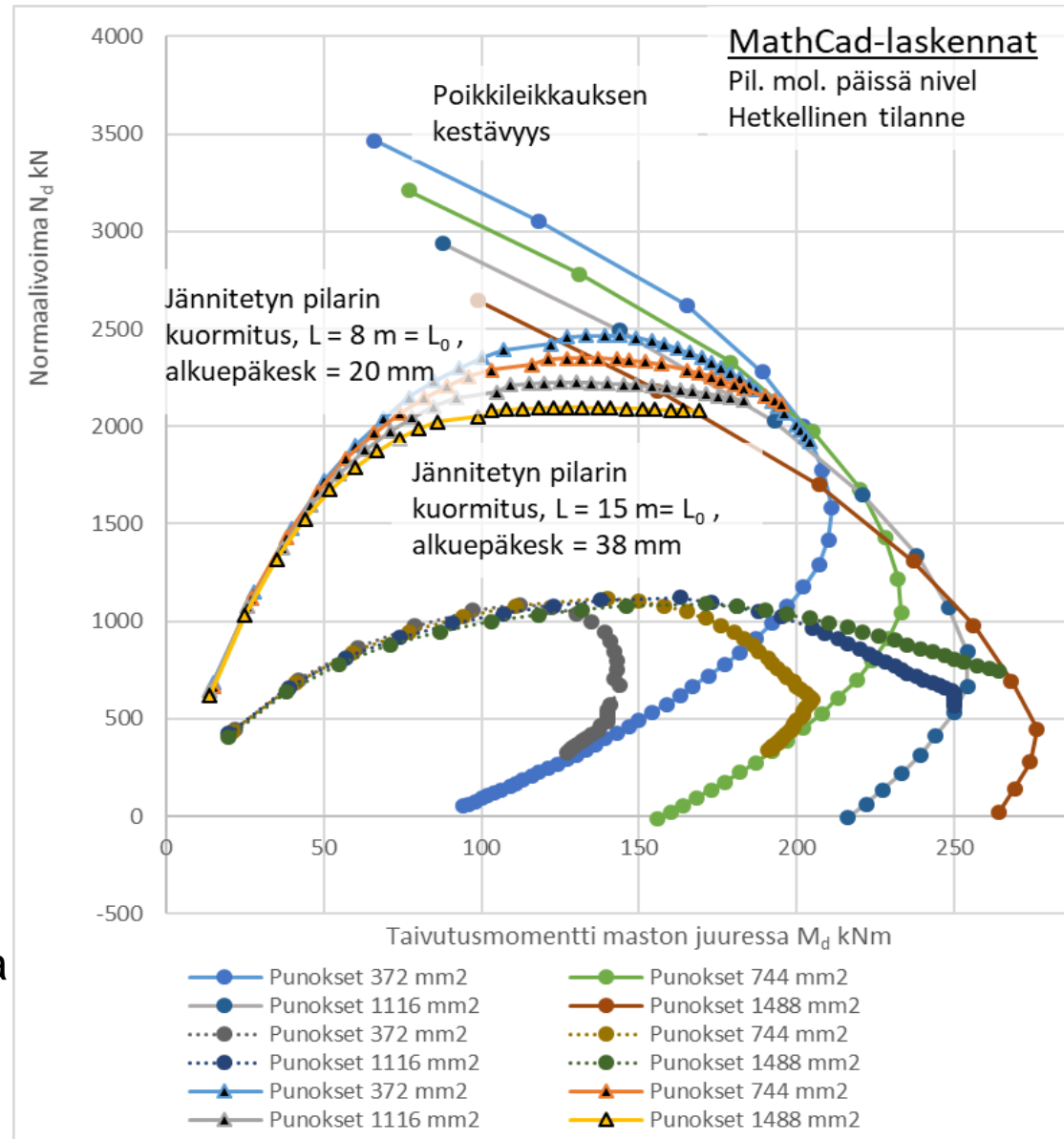


Pienellä taivutusmomenttitasolla poikkileikkauksen kestävyys on pienellä punosmäärällä suurempi kuin isolla punosmäärällä. Jännevoiman aiheuttama keskeinen puristus pienentää normaalivoimakestävyyttä.

Kun ulkoisen taivutusmomentin osuus kasvaa ja ulkoisen normaalivoiman osuus vastaavasti pienenee, niin (keskeinenkin) jännevoima parantaa poikkileikkauksen taivutuskestävyyttä.

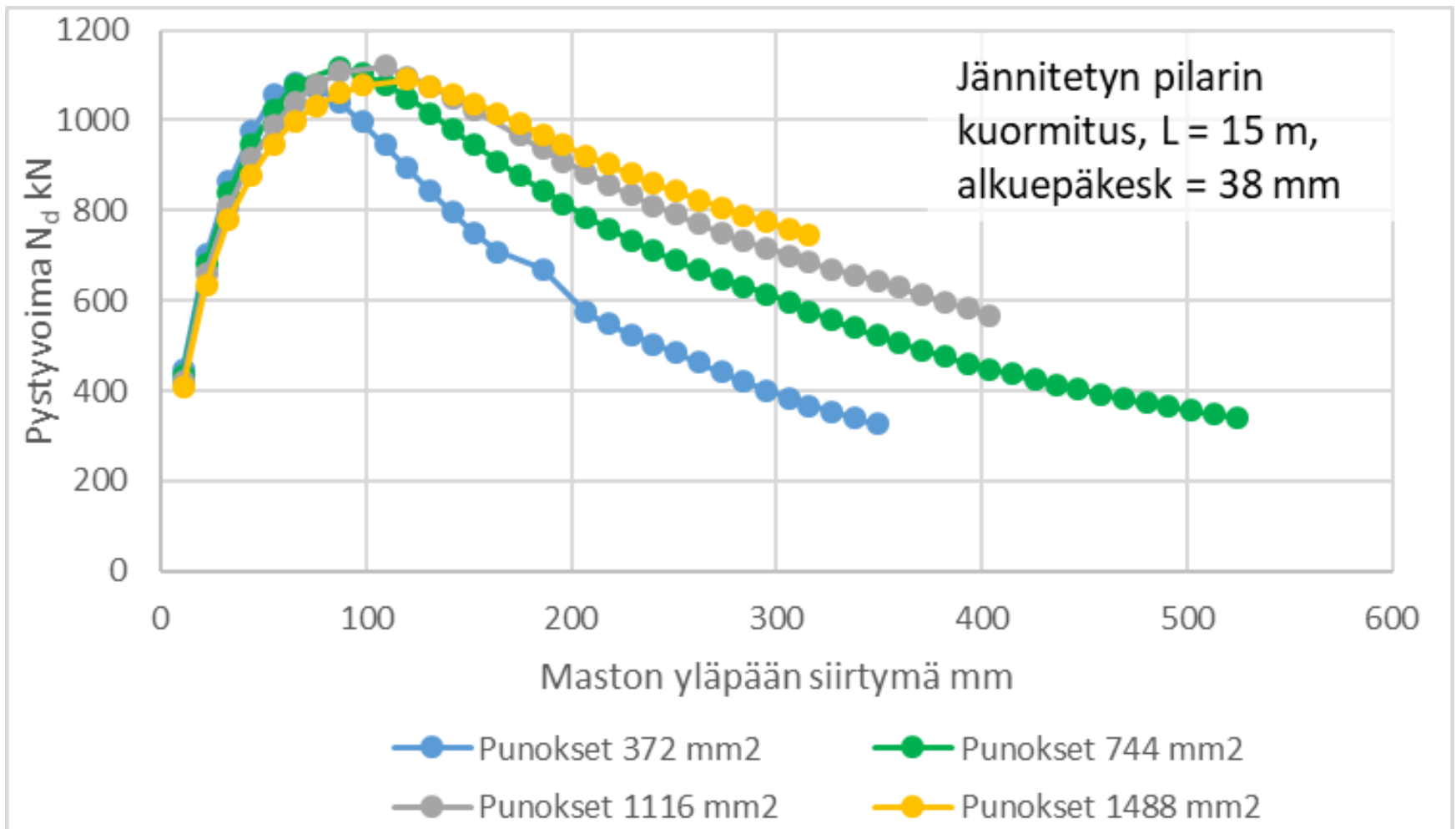
Lyhyemmän nurjahtavan pilarin tapauksessa punosmäärän lisääminen pienensi nurjahduskestävyyttä.

Hoikassa ja pitkässä pilarissa suurimmat nurjahduskestävyydet saavutettiin 2-punosta per nurkka ja 3-punosta per nurkka –punostuksilla normaalivoimakestävyyden erojen ollessa hyvin vähäisiä.



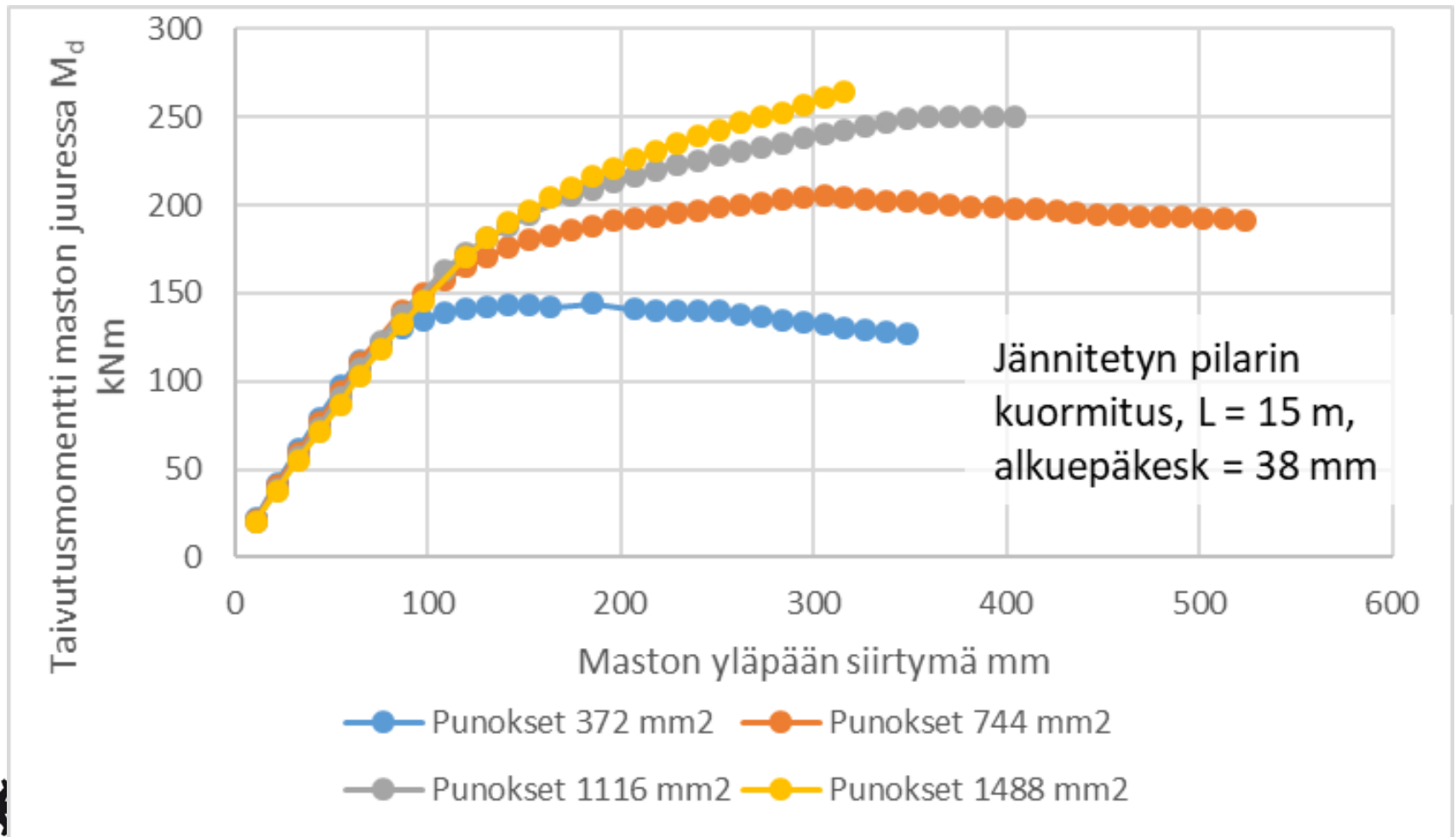
Pystyvoima-siirtymä –yhteys jäykästi kiinnitetyn mastopilarin juuressa ($L_{\text{mast}} = 7,5 \text{ m}$)

Maksimipystykuormaa vastaavan sivusiirtymän jälkeen pystykuormitusta on selvästi pienennettävä tasapainotilanteen löytymiseksi.



Taivutusmomentti-siirtymä –yhteys jäykästi kiinnitetyn mastopilarin juuressa ($L_{\text{mast}} = 7,5 \text{ m}$)

Yläpään sivusiirtymän kasvaessa taivutusmomentti kasvaa korostetun epälineaaraisesti varsinkin pienillä punosmäärillä.



Vertailutarkasteluja erittäin hoikan pilarin tapauksessa

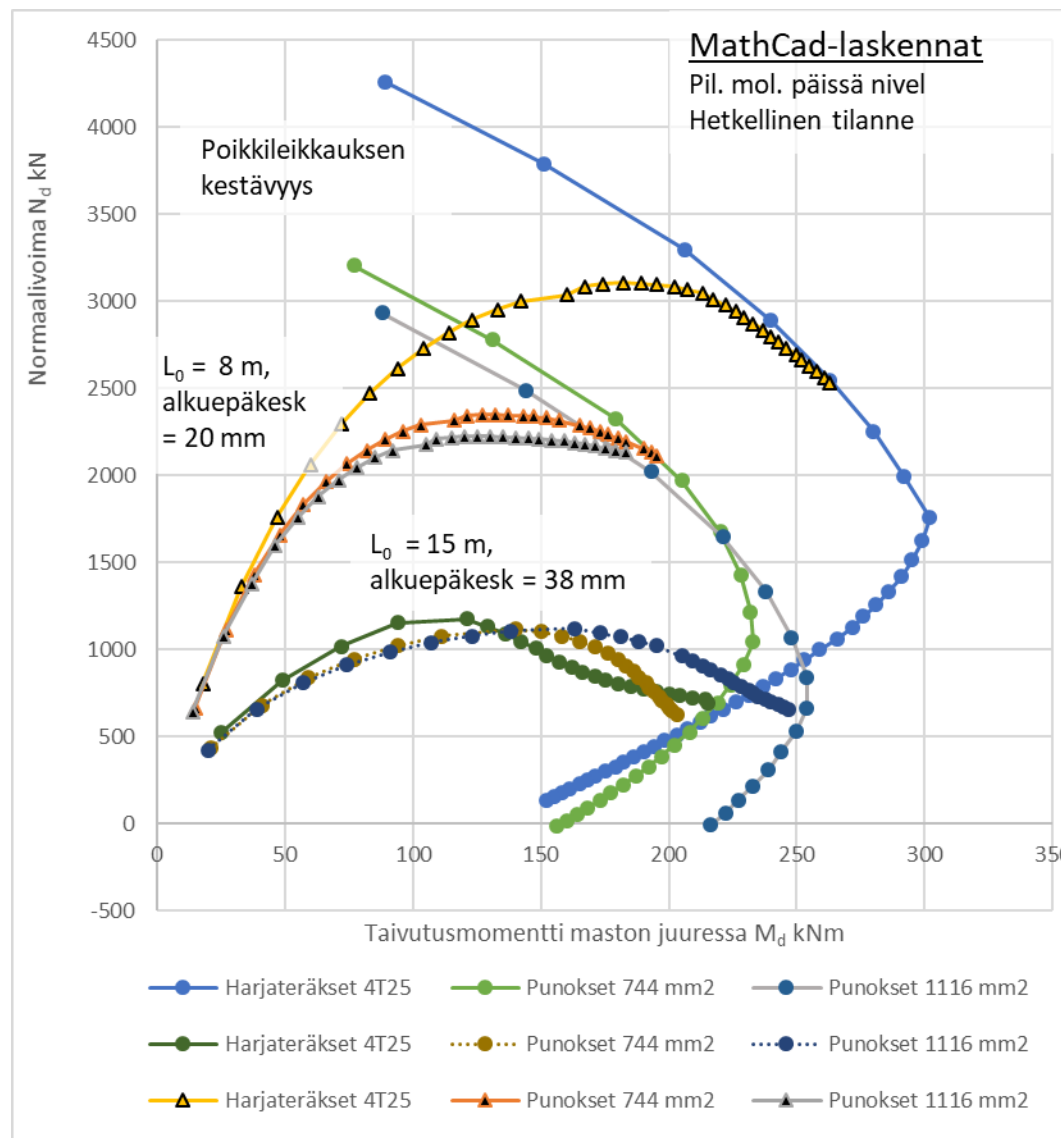
- Perustapauksen lähtöarvot: Poikkileikkaus $380 \cdot 380 \text{ mm}^2$, $L=15\text{m}$, 12 punosta, lyhytaikainen tilanne, alkuepäkeskisyys $e_i = L_{\text{masto}} / 200$, hoikkuus $\lambda = 137$, $N_{Rd} = 1121 \text{ kN}$.
- Betonilujuuden kasvattaminen C50 \Rightarrow C90 (+80 %) lisää N_{Rd} -kestävyyttä 28 %. Näinkin vähän, koska korkealujuusbetoni on hauras materiaali ja koska nurjahdus eli taivutus oli määräävässä roolissa erittäin hoikassa pilarissa.
- Perustapauksen punosjännityksen pienentäminen $1000 \Rightarrow 800 \text{ MPa}$ kasvatti N_{Rd} -kestävyyttä 2 prosenttia.
- Punosjännityksen kasvattaminen $1000 \Rightarrow 1200 \text{ MPa}$ pienensi N_{Rd} -kestävyyttä 4 prosenttia.
- Punosmäärä: 12 \Rightarrow 8 punosta (-33%) \Rightarrow N_{Rd} -kestävyys ei muuttunut.
- Punosmäärä: 12 \Rightarrow 16 punosta (+33%) \Rightarrow N_{Rd} -kestävyys pieneni 3 prosenttia.
- Punossijainti: 50 mm nurkasta \Rightarrow 100 mm nurkasta \Rightarrow N_{Rd} -kestävyys pieneni 6 prosenttia.
- Punossijainti: 50 mm nurkasta \Rightarrow kaikki punokset poikkileikkauksen keskellä \Rightarrow N_{Rd} -kestävyys pieneni 10 prosenttia.

Kolmella eri tavalla raudoitetun poikkileikkauksen **kestävyydet** ja **nurjahdustarkastelut** kahden pilaripituuden tapauksissa

Harjateräsraudoituksella 4T25 saatiin pitkän pilarin tapauksessa jännitetyn pilarin kestävyys.

Teräsmäärä oli 2,6 –kertainen 8 punoksen teräsmäärään verrattuna.

Lyhyellä pilarilla harjateräksillä raudoitetun pilarin kestävyys on 32 % suurempi kuin 8 punoksen tapauksen kestävyys



Viruman laskenta tulevissa tarkasteluissa, yksinkertainen versio

- Arvioidaan betonille normaali lujuudenkehitys.
- Pilarin $380 \cdot 380 \text{ mm}^2$ muunnettu paksuus $h_0 = 2 \cdot A_c / u = 190 \text{ mm}$.
- Muuttuvien kuormien osuudeksi oletetaan 50 % kokonaiskuormista ja muuttuvien kuormien pitkäaikaisosuudeksi 30 %.
- Kuormituksen alkamisajankohta $t_0 = 4$ viikkoa \Rightarrow betonieurokoodin käyrästä luetaan virumaluku $\phi(\infty, 28 \text{ vrk}) = 1,5$
- $$M_{0Eqp} / M_{0Ed} = \frac{(0,5 + 0,3 \cdot 0,5)}{1} \cdot \frac{(0,5 + 0,5)}{(1,15 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot 0,5)} = 0,65 \cdot \frac{1}{1,325} = 0,491$$
- Virumisaste $\phi_{ef} = \phi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed} = 1,5 \cdot 0,491 = 0,736$

