



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

# Teräsbetonipaalujen kantavuus

*Tutkittua tietoa sovellettu uusiin paalutuotteisiin*

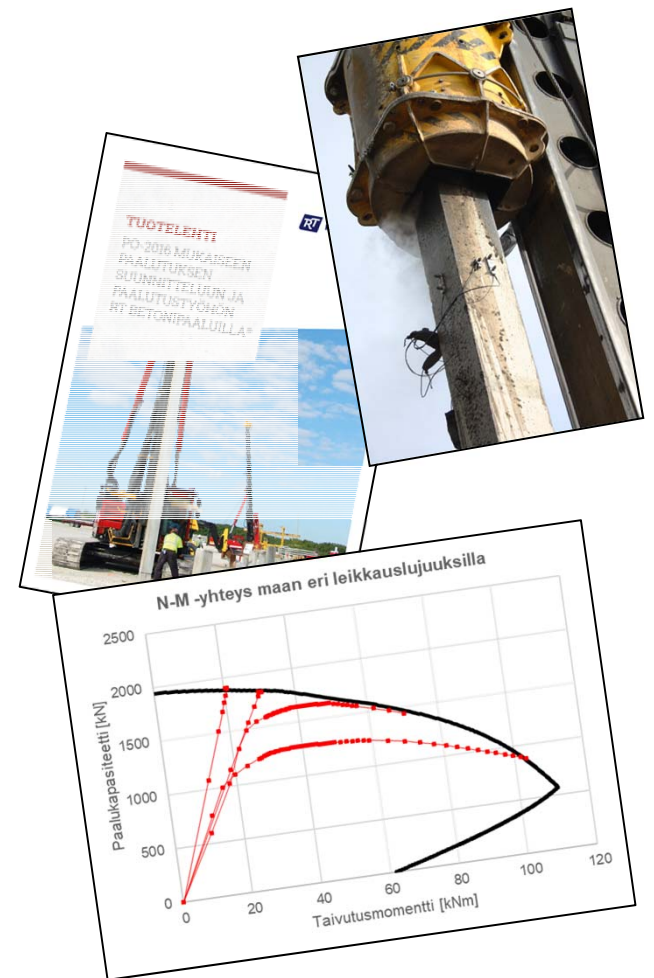
Betonipäivät

1.11.2018

Jukka Haavisto, prof. Anssi Laaksonen TTY

# Esityksen sisältö

- Yleistä paaluista
- Paalujen suunnittelu
- Paalututkimus TTY:llä
- Kapasiteettiarvojen tausta  
(Tutkimustulosten hyödyntäminen käytäntöön)



# Yleistä paaluista



# Yleistä paaluista



- Paalu on hoikka maahan asennettu rakenneosa, jonka tehtävänä siirtää yläpuolisilta rakenteilta tulevat kuormat kantaviin maakerrokseen tai kallioon
- Suomessa valtaosa paaluista on tukipaaluja, eli kuorma siirtyy paalulta maahan pääosin paalun kärkeen kohdistuvan puristusrasituksen kautta
- Yleisin (ja teräsbetonipaaluilla käytännössä ainoa) tapa asentaa paalu on lyöntipaalutus
- Lyöntitapahtumassa paalu upotetaan maahan pudotusjärkälleen aiheuttaman iskumaisen rasituksen avulla
- Lyöntilaitteen avulla varmistetaan myös paalun geotekninen kantokyky

# Yleistä - Teräsbetonipaalut

- Yleensä teräsbetonipaaluilla tarkoitetaan tehdasoloissa esivalmistettuja standardin EN 12794 mukaisia perustuspaaluja
  - Paikallavaluna tehtävät kaivinpaalut erikoistapauksia
- Saatavilla olevat paalutuotteet sekä ohjeistus paalujen suunnitteluun ja asentukseen saatavilla valmistajien materiaaleista
  - Suurin osa tb-paaluvalmistajista järjestäytynyt RT:n alle, jossa julkaisevat yhteistä paalutuotelehteä
  - Tuotelehdessä 4 eri paalutyyppiä
    - RTB-250-16, RTB-300-16, RTC-300-16 ja RTC-350-16
  - Tuotelehtipaalujen (RT Betonipaalut®) lisäksi valmistajilla voi olla myös omia tuotteita tai RT:n ulkopuolisia valmistajia



Kuvan lähde: Rakennusteollisuus, Tuotelehti PO-2016 mukaiseen paalutuksen suunnitteluun ja paalutustyöhön RT betonipaaluilla®

# Paalujen suunnittelu



# Paaluperustuksen suunnittelu

- Paalut pyritään suunnittelemaan siten, että niihin kohdistuu pelkästään aksiaalista kuormaa
- Tällöin suunnittelu on suoraviivaista ja paalun kapasiteetti voidaan lukea suoraan Tuotelehden kapasiteettitaulukosta
- Paalulla tulee olla siihen kohdistuvaan suunnittelukuormaan nähden riittävä kapasiteetti rakenteellisesti ja geoteknisesti

*Taulukon lähde: Rakennusteollisuus, Tuotelehti PO-2016 mukaiseen paalutuksen suunnitteluun ja paalutustyöhön RT betonipaaluilla®*

- Rakenteellinen kapasiteetti voi muodostua määrääväksi erityisen pehmeissä maissa, lähinnä nurjahduksen kautta
- Paalulle osoitettavissa olevaa geoteknistä kapasiteettia rajoittaa paalun lyönninkestävyys

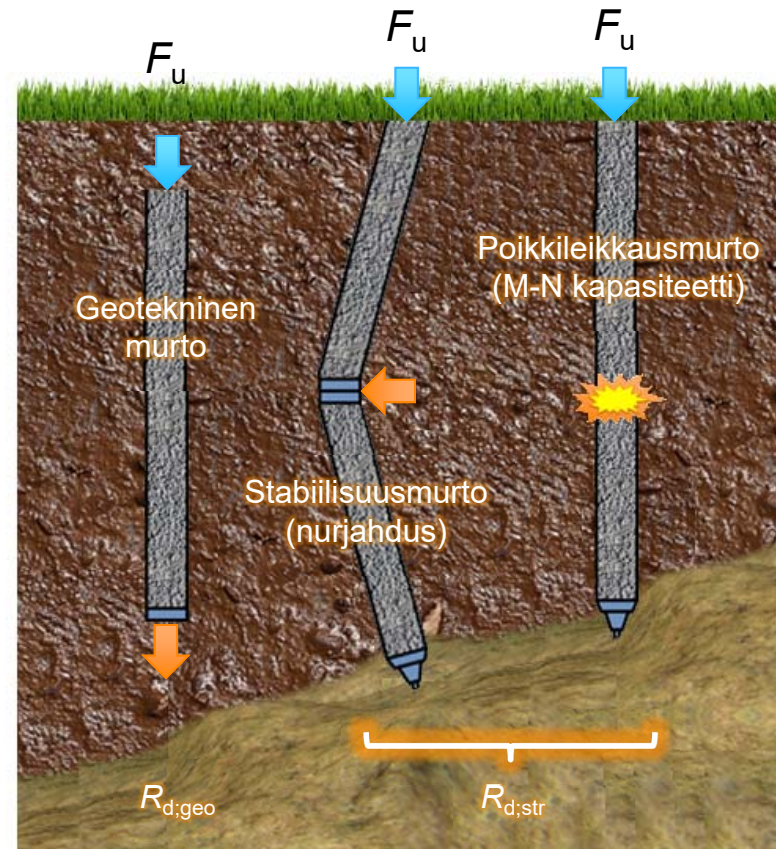
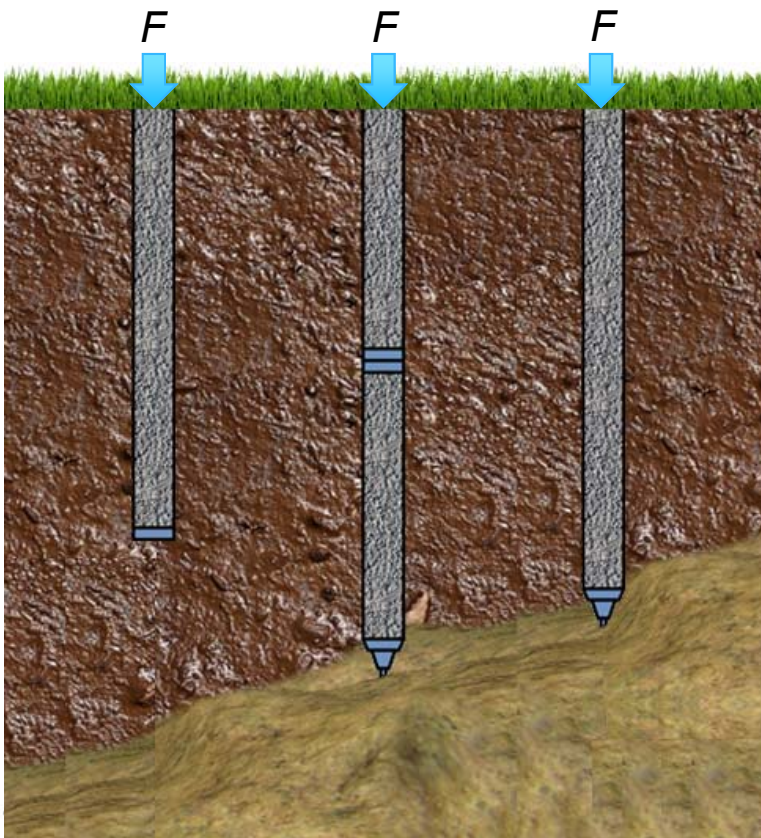
Taulukko 2.3 RT Betonipaalujen® puristuskapasiteetit murtorajatilassa

Paalutyyppi	$R_{d,sti}$ [kN]								$R_{d,geo}$ [kN] *)		
	P [%]	L [%]	$c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]					PTL1	PTL2	PTL3 <sup>*)</sup>	
			3	5	7	10	12				
RTB-250-16	Jatkettu paalu	100	0	375	508	613	739	805	624	698	791
		50	50	473	636	760	899	(947)			
		0	100	548	721	838	(947)	(1000)			
	Jatkamaton paalu	100	0	532	692	808	(927)				
		50	50	669	867	990	(1077)				
		0	100	764	933	1017	(1103)				



# Paalun kantavuus

- Paalulla tulee olla riittävä kapasiteetti kaikkia erilaisia murto-tilanteita vastaan





# Tuotelehden kapasiteetti- taulukko

- 4 erilaista paalutyyppiä
- Jatkettu paalu / jatkamaton paalu
- Pitkä- ja lyhytaikaisten kuormien suhteet 100/0, 50/50, 0/100
  - Väliarvot interpoloidaan
- Paalua ympäröivän maan suljetut leikkauslujuudet 3-12 kPa
- Geotekniset kestävyysarvot paalutustyöluokissa PTL1, PTL2 ja PTL3
  - Tuotelehden loppulyöntiehdot

*Taulukon lähde: Rakennusteollisuus, Tuotelehti PO-2016 mukaiseen paalutuksen suunnitteluun ja paalutustyöhön RT betonipaaluilla®*

Paalutyyppi	$R_{d,stat}$ [kN]								$R_{d,geo}$ [kN] *)		
	P [%]	L [%]	3	5	$c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]		10	12	PTL1	PTL2	PTL3 <sup>*)</sup>
RTB-250-16	Jatkettu paalu	100	0	375	508	613	739	805	624	698	791
		50	50	473	636	760	899	(947)			
		0	100	548	721	838	(947)	(1000)			
	Jatkamaton paalu	100	0	532	692	808	(927)				
		50	50	669	867	990	(1077)				
		0	100	764	933	1017	(1103)				
RTB-300-16	Jatkettu paalu	100	0	541	733	885	1063	1149	895	1001	1134
		50	50	678	916	1093	1282	(1344)			
		0	100	789	1036	1204	(1357)	(1431)			
	Jatkamaton paalu	100	0	765	995	1161	(1325)				
		50	50	967	1247	1415	(1532)				
		0	100	1099	1338	1455	(1574)				
RTC-300-16	Jatkettu paalu	100	0	578	788	957	1163	1277	1026	1147	1300
		50	50	733	987	1184	1427	(1549)			
		0	100	843	1121	1324	(1526)	(1622)			
	Jatkamaton paalu	100	0	826	1087	1283	1498				
		50	50	1049	1369	1595	(1778)				
		0	100	1195	1496	1661	(1821)				
RTC-350-16	Jatkettu paalu	100	0	790	1077	1307	1589	1746	1394	1558	1765
		50	50	1001	1346	1616	1946	(2092)			
		0	100	1149	1529	1805	(2078)	(2209)			
	Jatkamaton paalu	100	0	1128	1484	1750	2043				
		50	50	1431	1868	2174	(2411)				
		0	100	1629	2039	2260	(2478)				

# Paalututkimus TTY:llä



# Teräsbetonipaalujen tutkimus TTY:llä

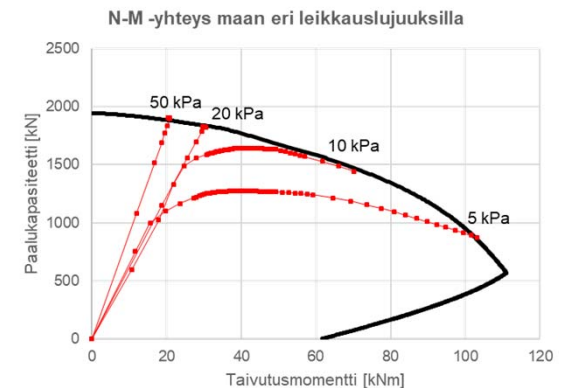
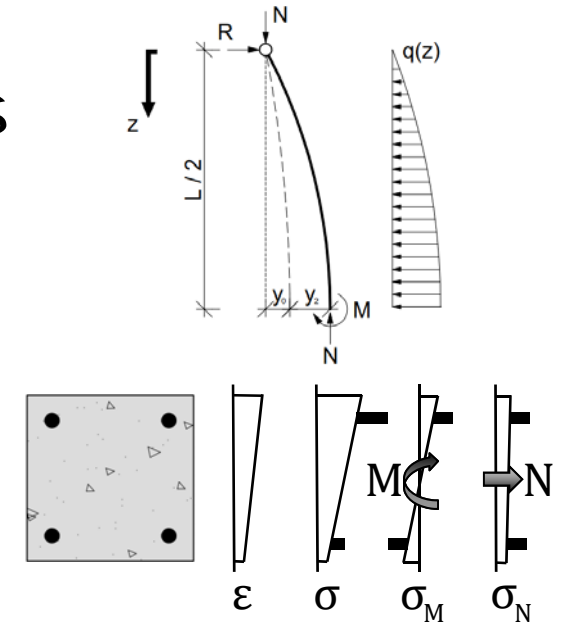
- Teräsbetonipaalujen rakenteellisen tutkimuksen esiselvitysvaihe 2015
- Kaksi tutkimusosiota valmiina:
  - Mekaanisen mitoitusmenettelyn kehittäminen kärjeltään kantavalle teräsbetonipaalulle (rakenteellinen kantavuus) 2016-2018
  - Iskurasiituksen vaikutus betonin lujuusominaisuuksiin kuormituskokeiden avulla 2016
- Tavoitteena jatkaa tutkimusta mm. mitoitusmenettelyn verifiointilla koekuormituksin ja paalujatkoksen tarkemmalla analysoinnilla
- Tutkimuksen ohjaajana prof. Anssi Laaksonen



# Teräsbetonipaalujen tutkimus

## *Mekaaninen mitoitusmenettely teräsbetonipaalulle*

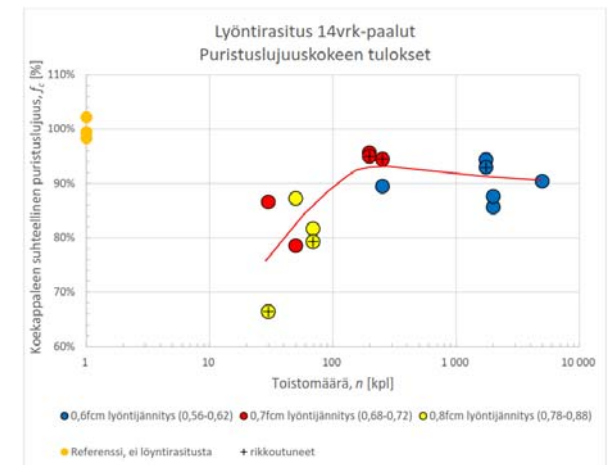
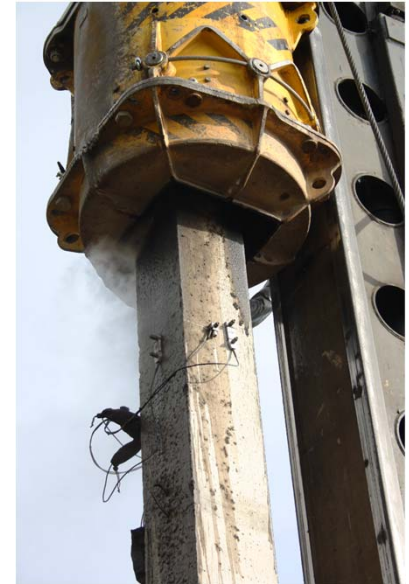
- Teräsbetonipaalun rakenteen mitoittamiseen ei ole ollut käytettävissä mitoitusmenettelyä, jossa maan paalua tukeva vaikutus ja paalumateriaalin ominaisuudet voidaan ottaa riittävästi huomioon
- Tutkimusprojektin tavoitteena oli luoda pohja teräsbetonipaalun kantokyvyn mekaaniselle toimintamallille, joka olisi helposti omaksuttavissa käytännön insinööriyössä
- Mitoitusmenettely perustuu toisen kertaluvun taipumiin sekä ulkoisen ja sisäisen momentin tasapainoehtoihin
- Syksyllä 2018 julkaistut uudet paalutuotteet mitoitettu projektissa kehitettyä mitoitusmenettelyä käyttäen
- Lisätietoa aiheesta saatavilla pian julkaistavassa tieteellisessä lehtiartikkelissa



# Teräsbetonipaalujen tutkimus

## *Iskurasituksen vaikutus betonin lujuusominaisuuksiin*

- Paaluihin kohdistuu betonin kovettumisen alkuvaiheessa erittäin korkeita toistuvia iskurasituksia asennuksen seurauksena
- Vaikuttaako rasitukset betonin ominaisuuksiin?
- Kokeellisessa tutkimuksessa paaluja lyötiin yhteensä 15 kpl, joista yhteensä 52 poranäytettä
- Betonin puristuslujuuden havaittiin heikkenevän jännitystasosta riippuen luokkaa 10-20 %
- Havaittu ilmiö on huomioitu teräsbetonipaalujen kapasiteettiarvoissa
- Lisätietoa aiheesta:
  - Kujala, T., Betonin puristuslujuus erilaisten rasitustasojen jälkeen, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2017





# Tuotelehden kapasiteettiarvojen tausta

## Tutkimustulosten hyödyntäminen käytäntöön

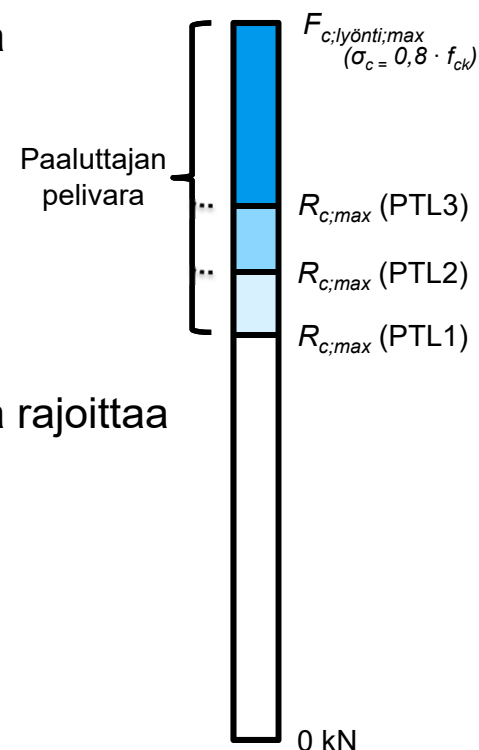
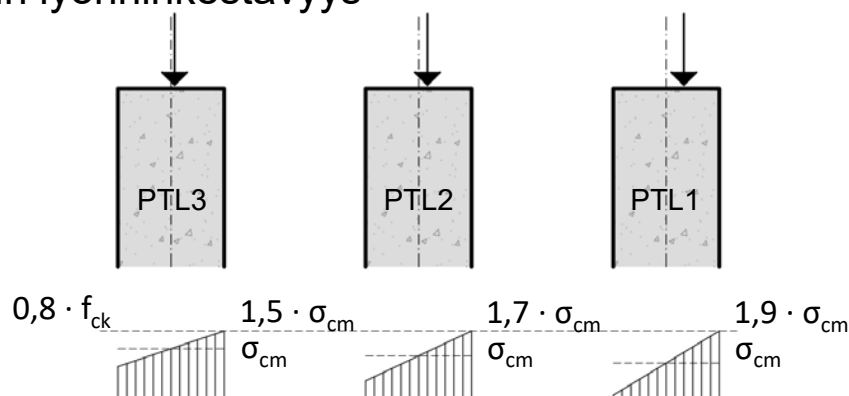


# Geotekninen kantokyky ( $R_{d;geo}$ )

- Teräsbetonipaalun geotekninen kantokyky varmistetaan yleensä lyöntilaitteen avulla
  - Tuotelehden  $R_{d;geo}$  -arvot: Tuotelehdessä esitetyt loppulyöntiehdot
    - \* Esimerkkinä 5 t järkäleen 50 cm pudotuskorkeudella paalu saa painua 10 lyönnillä max 20 mm
  - Tuotelehden taulukkoarvoja tehokkaammin geotekninen kantokyky voidaan määrittää PDA-mittauksen avulla

$R_{d;geo}$ [kN] *)		
PTL1	PTL2	PTL3**)
624	698	791

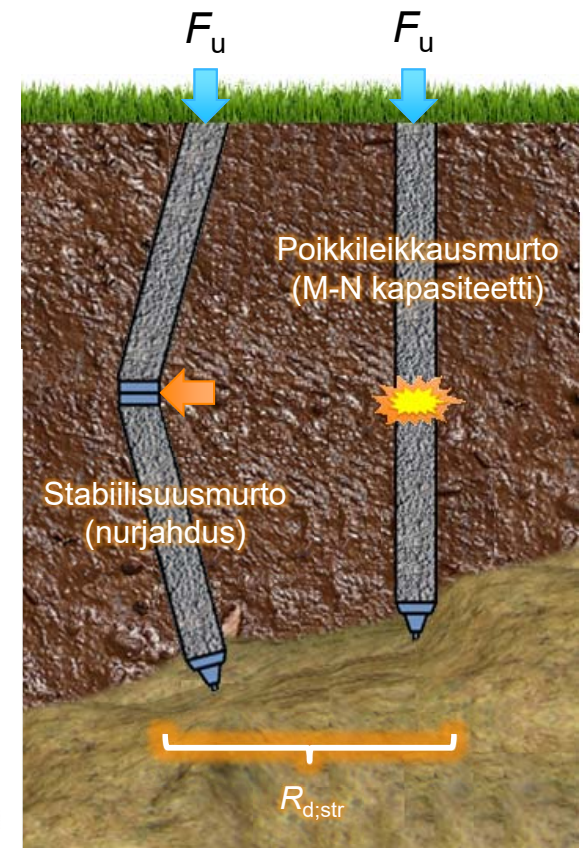
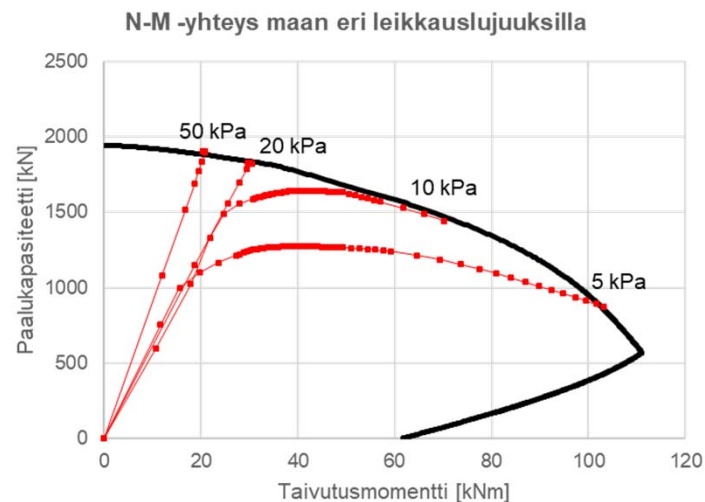
- Osoitettavissa olevaa geoteknistä kapasiteettia rajoittaa paalun lyönninkestävyys



1.11.2018

# Rakenteellinen kantokyky ( $R_{d;str}$ )

- Hyvin pehmeissä maissa paalun rakenteellinen kantokyky muodostuu määrääväksi nurjahduksen ja/tai poikkileikkauksen kestävyys suhteen
- Paalua ympäröivän maan antama sivuttaistuki vaikuttaa merkittävästi toisen kertaluvun taipumiin ja sitä kautta paalun rakenteellisen kantokykyyn
- Paalua rasittavan kuormituksen kestolla on merkitystä, sillä maa ja betoni viruvat





# Lähtötiedot ja laskentaotaksumat paalun rakenteellista kantokykyä arvioitaessa

