



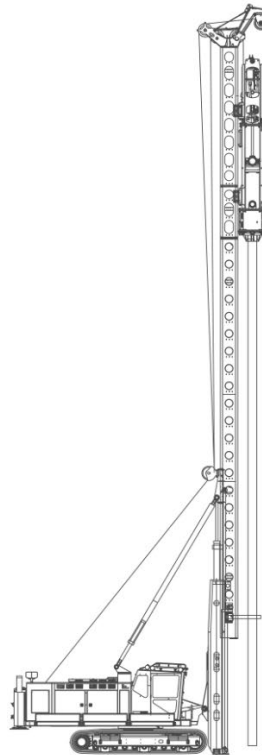
# Paalujen vetojännitykset limiätköksessä

Teemu Repo 12.9.2024

**JUNTTAN**

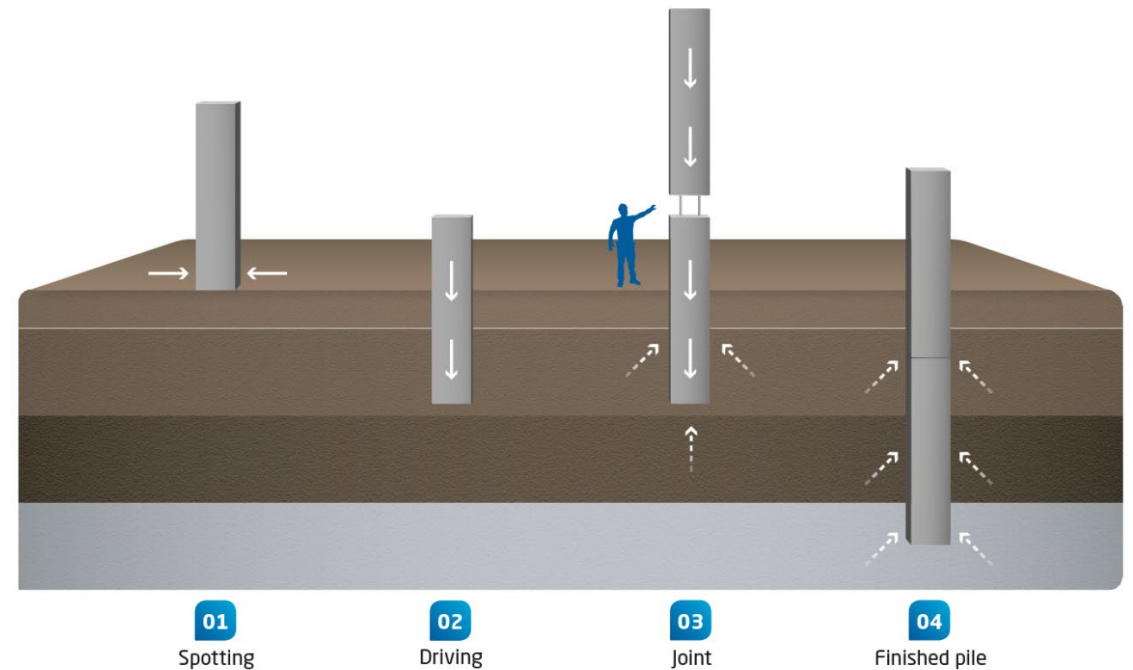
# Tutkimushankkeen taustaa

- Kuljetus- ja asennuskalusto sekä paalun käsittely työmaalle asettaa rajoituksia paalupituudelle.
- Pitkät paalut (RTB-300 > 15 m) täytyy kasata osapaaluista, jotka liitetään toisiinsa betoniin valettavilla teräksisillä paalujatkoksilla.



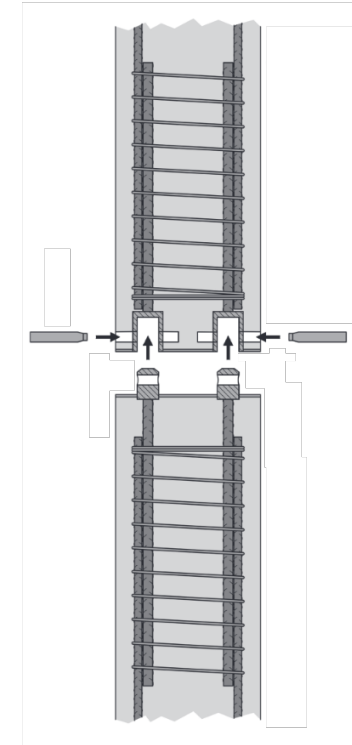
## Driven Pile with joint

PM16 PMx20 PMx22 PM23 PMx24 PMx25 PM25H PM26 PM28 PM30



# Tutkimushankkeen taustaa

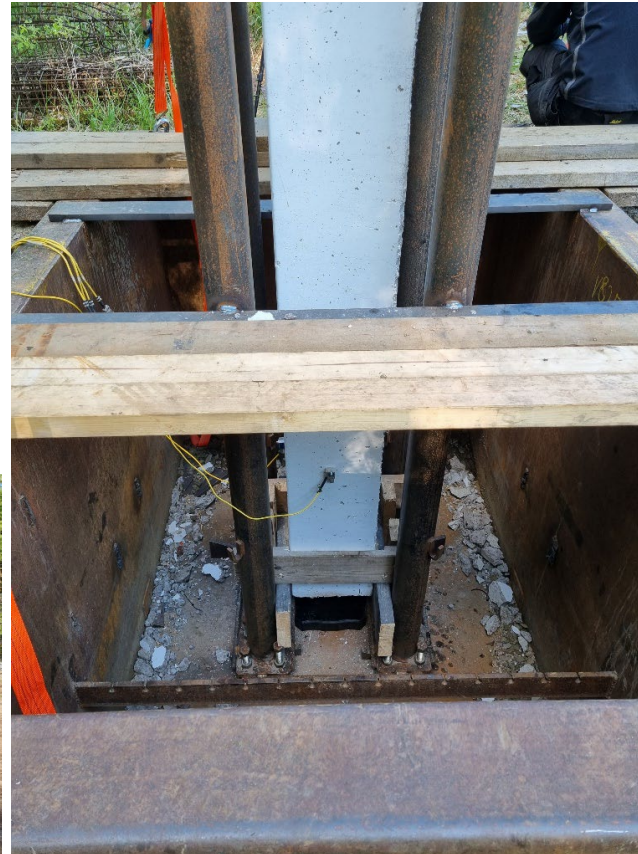
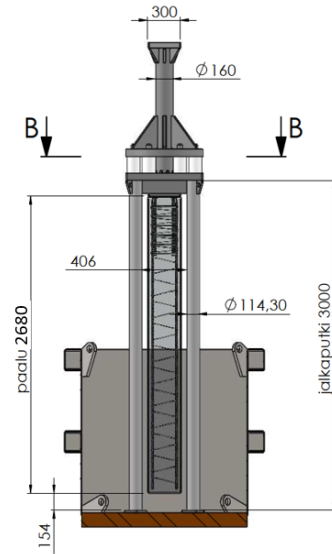
- Paalujatkoksen lukko-osiin kiinnitetyt harjateräkset limittyvät (limijatkos) osapaalujen pääterästen kanssa ja välittävät pääterästen voimat osapaalulta toiselle.
- Käytön aikaisten rasitusten lisäksi limijatkoksen tulee kestää asennuksen aikaiset lyöntirasitukset.
- Betonirakenteiden eurokoodit (EN 1992-1-1:2004 [1]) ovat tarjonneet mitoitusohjeet staattisille kuormitustapauksille, mutta työkaluja limijatkoksen käyttäytymisen arvioimiselle jatkuvassa dynaamisessa rasituksessa ei ole tarjolla.
- SFS-EN 12794 mukaiset lyöntikokeet (testataan puristukselle).
- Perustettiin monivaiheinen tutkimushanke, jonka tavoitteena oli lisätä tietoa limijatkoksen rakenteellisesta toiminnasta erityyppisissä vetorasitustilanteissa.
- Tutkimushanke muodostui kolmesta vaiheesta:
  1. Lyöntikoejärjestelyn kehittämistä vetojännitysten aikaansaamiseksi.
  2. Jatkoksen raudoitetankojen limijatkoksille ominaisten erityispiirteiden vaikutusta limijatkoksen käyttäytymiseen staattisessa rasituksessa.
  3. Raudoitetankojen limijatkoksen käyttäytymiserojen selvittäminen staattisessa ja iskumaisessa toistorasituksessa.



Kuva: Haavisto J, Laaksonen A. Experimental investigation on the tension lap splices used in the joint of precast RC foundation piles. Structural Concrete. 2024. <https://doi.org/10.1002/suco.202301058>

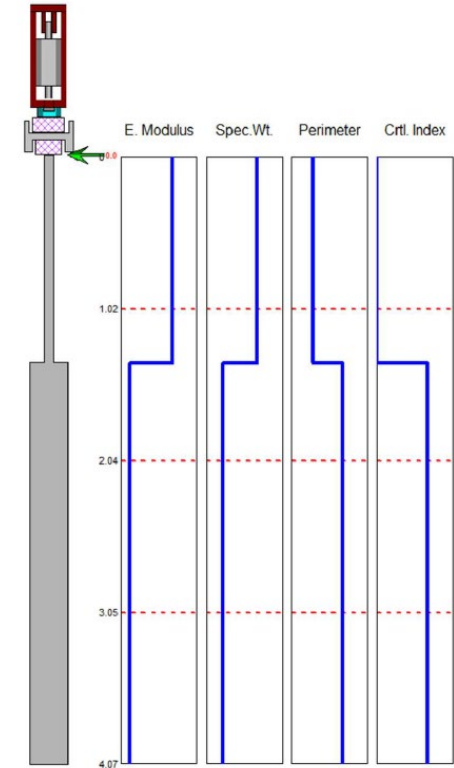
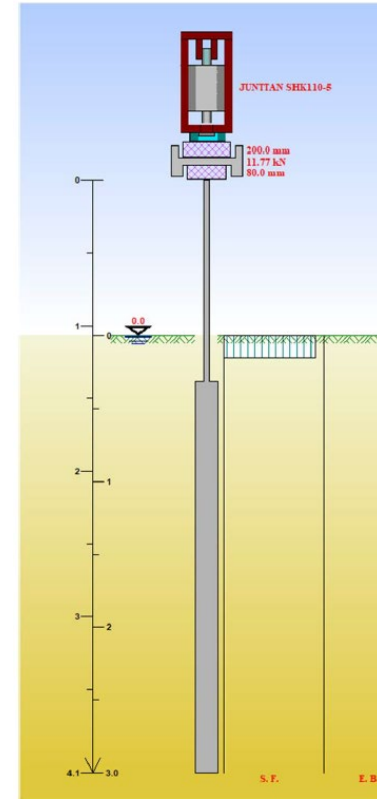
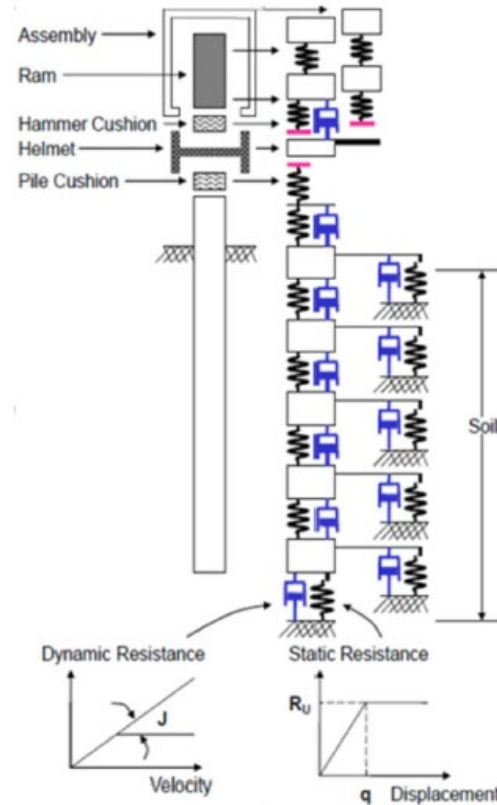
# Lyöntikoejärjestelyn kehittämien

- Lyöntiolosuhte vakio => varioidaan limijatkosta
- Lyönnissä suurimmat vetojännitykset, kun paalun kärkivastus on pieni.



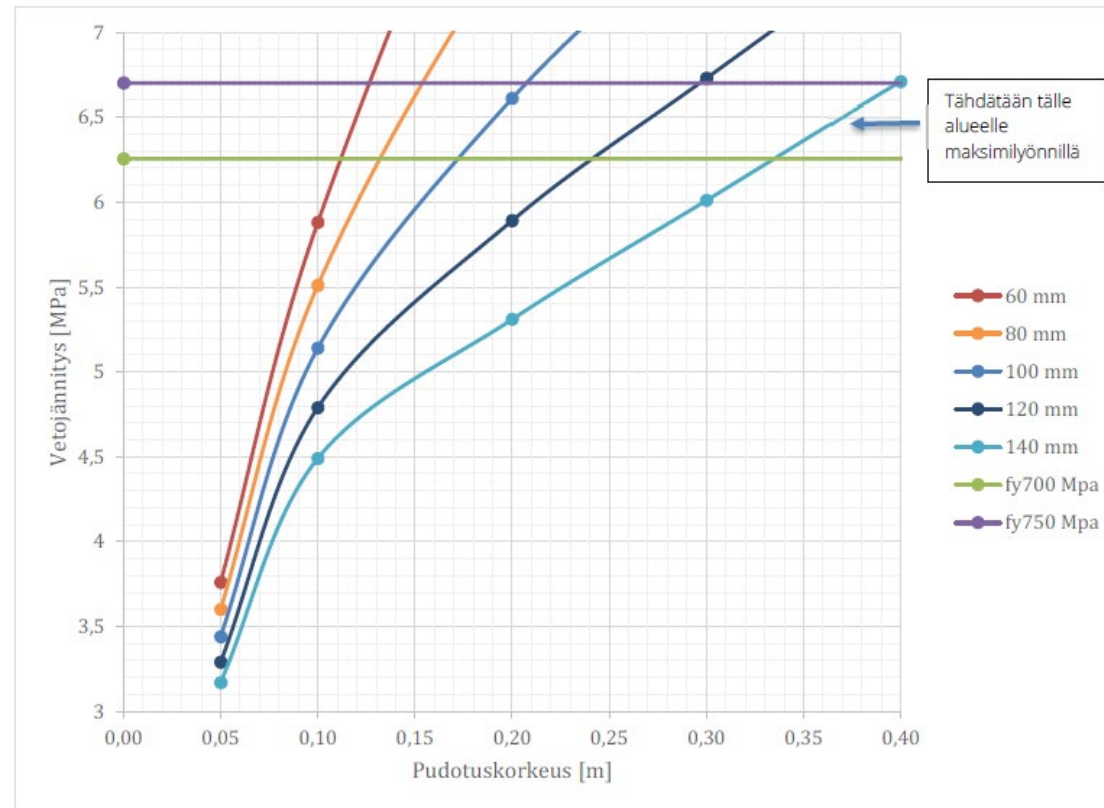
# Lyöntikehikön mallintaminen

- Mallinnettiin lyöntitapahtumaa GRLWEAP-ohjelmassa.
- Tutkittiin paalun raudoitusmäärän, järkäleen massan, iskusuojan ja pudotuskorkeuden vaikutusta betonipaaluun syntyviin vetojännityksiin.



# Lyöntikehikon mallintaminen

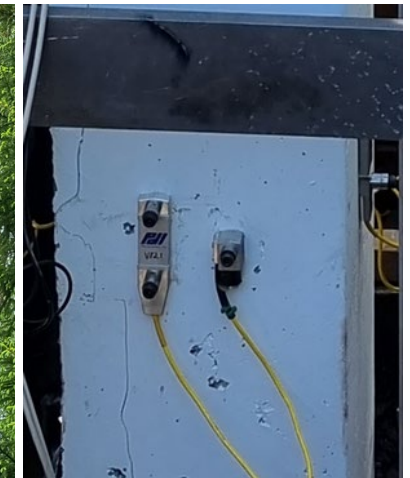
- Järkeleeksi valikoitui Junttan SHK 5 hydraulijärkäle.
- Iskusuojan paksuuden suhteen pyrittiin löytämään kompromissi, missä
  - › maksimijännitys saavutetaan maltillisella pudotuskorkeudella (ei liian paksu iskusuoja)
  - › jännityksen/pudotuskorkeuden resoluution tulisi olla riittävä (ei liian ohut iskusuoja).



Kuva 4.4. Iskusuojan paksuuden vaikutus vetojännityksiin, Junttan SHK 5

# Havainnointia lyöntikokeista

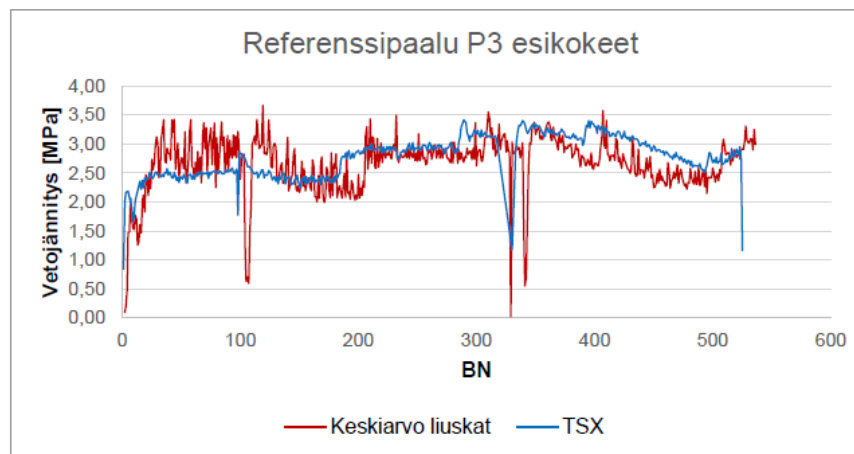
- Lyöntikehikko toimi hyvin vetojännitysten aikaansaamiseksi jo pienillä lyönneillä.
  - › Haasteita lyöntilaitteen pudotuskorkeuden säätämisessä johdonmukaisesti.
  - › Jännityksiä hallittiin iskusuojien määrää varioimalla.
    - » Vaati lyönnin keskeyttämistä
  - › Jäykemmän iskusuojan (musta J-Pad) ominaisuudet pysyivät hyvin vakiona kokeen aikana.
- Jännityksiä mitattiin PDA-antureilla betonin pinnasta sekä venymäliuskoilla paalun pääteräksistä.
- PDA-venymäanturit irtosivat kokeessa, kiihtyvyyksiä (maksimi partikkelinopeus) käytettiin reaaliaikaiseen monitorointiin.



Venymäliuskat

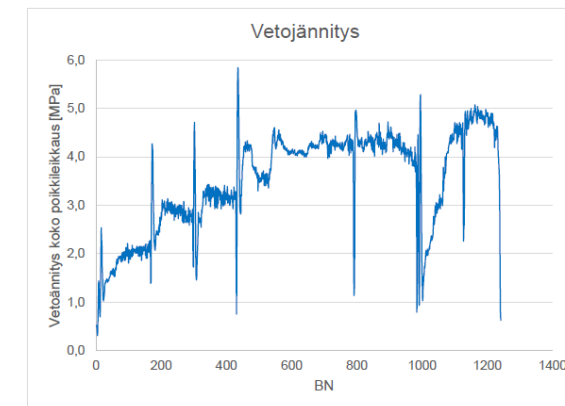
# Havainnot ja lyöntikokeista

- Vetojännitys saatiin luotettavasti mitattua ainoastaan venymäliuskoilla.
- Täysin pitävää korrelaatiota partikkelinopeuden ja vetojännityksen perusteella ei voitu havaita.
- Järkelehen iskupituuden hallinta pienillä lyönneillä haastavaa (mm. paineakun purkautuminen)
- Alkuperäiset laskelmat yliarvoivat vetojännityksiä.

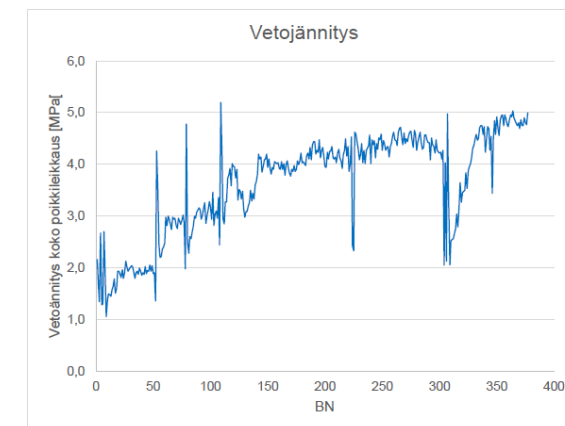


Kuva 2.14. Esikokeen paalu P3 jännityskeskiaivo liuskat B,C,D ja nopeudesta laskettu vetojännitys.

Iskutyynyjen lukumäärä	Kerros k	P4	P5	P6	P7
5	k5	1,51	1,51	1,51	1,51
4	k4	1,58	2	1,52	1,58
3	k3	1,65	2	1,5	1,65
2	k2	1,72	1,85	1,52	1,82
1	k1		1,9	1,45	1,62



Kuva 2.7. Paalun vetojännitys venymäliuskoilla paalu P5.



Kuva 2.8. Paalun vetojännitys nopeusmittaus paalu P5 k5=1,51 k4=2,0 k3=2,0 k2=1,85



# Lyöntikehikön mallinuksen takaisinlaskenta

- Alkuperäinen malli yliarvoi jännityksiä.
  - › Paalun todellinen yläpään maksimisiirtymä (DMX) suurempi kuin oletettu.
  - › Lyöntitapahtuma monimutkainen, missä kehikön vaikutusta ei alunperin osattu huomioida. Lyöntikehiko toimii käytännössä osana lyöntilaitetta (kasvatettu "helmet weight").
- Korjattu malli simuloi lyöntitapahtumaa lyöntikehikossa melko hyvin.

Taulukko 3.1. Keskimääräiset mittaustulokset paalu 4

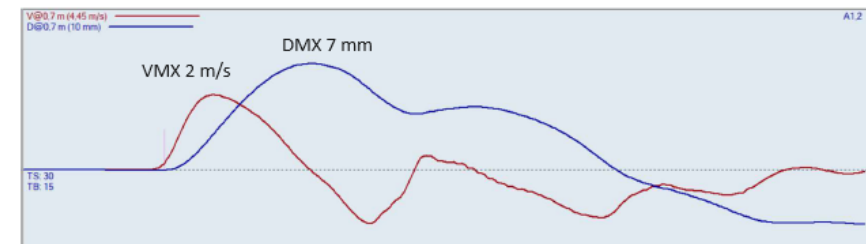
Iskusuoja [mm]	TSX [Mpa]	H [cm]	DMX [mm]	VMX [m/s]
300	1,5	10	6	1,2
240	2,5	10	6	1,5
180	2,7	10	7	1,7
120	3,8	15	8	2,3

Taulukko 3.2. GRLWEAP-ohjelman tulokset ja käytetyt parametrit.

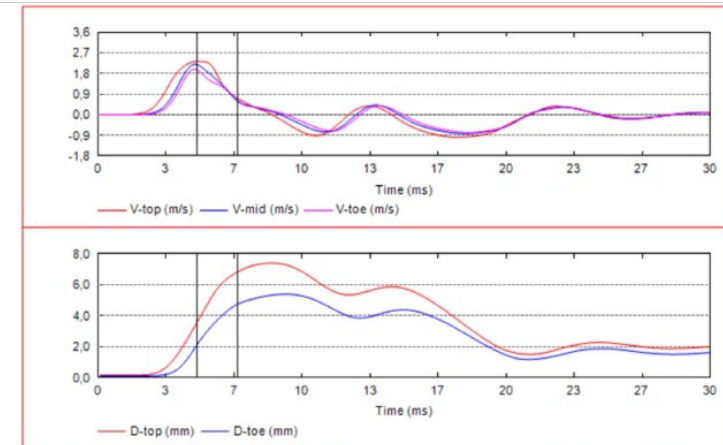
H [cm]	TSX [Mpa]	RS[kPa]	qs [mm]
10	1,67	7500	2,5
12	2,64	10500	3
13	2,81	9000	3
17	3,92	8000	2,5

Taulukko 4.1. Pudotuskorkeuden aiheuttama voima paaluun ja nylonin kokoonpuristuma

H [m]	v [m/s]	Fi [kN]	Fn [kN]	ΔL [mm]
0,05	0,94	776	129	0,70
0,10	1,33	1097	183	1,00
0,20	1,88	1551	259	1,41
0,30	2,30	1900	317	1,72
0,40	2,66	2194	366	1,99
0,50	2,98	2453	409	2,23
0,60	3,26	2687	448	2,44



Kuva 3.1. Nopeus ja siirtymäkuvaaja paalu P4.



Kuva 3.2. GRLWEAP-kuvaaja, iskutyynyn massa 30 kN 2 iskutyynyä 120mm EM 1000MPa.



Thank you!

[JUNTTAN.COM](https://www.junttan.com)



Teemu Repo | +358 50 438 7200 | [teemu.repo@juntta.com](mailto:teemu.repo@juntta.com)

**JUNTTAN**