

# ► Paaluseminaari 2015

## Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla



## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

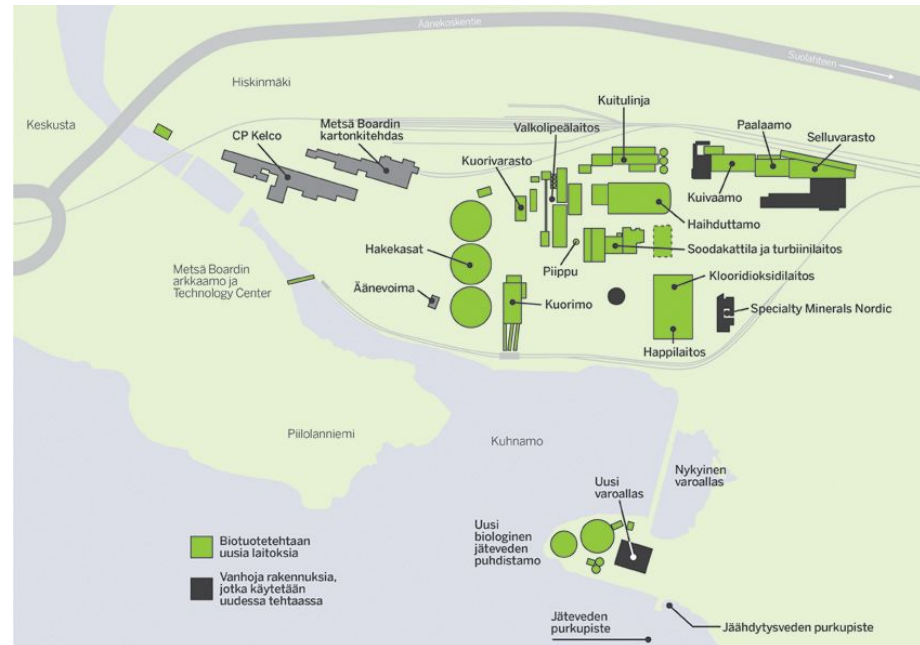
- **Esityksen sisältö:**
  - Työmaa lukuina
  - Tuotelehden mukaiset loppulyönnit
  - Loppulyönnit koepaalutuksen mukaan
  - Yhteenveto



## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Tehtaan vaatima pinta-ala 40 ha
- Rakennusten bruttoala 142 000 m<sup>2</sup>
- Rakennusten tilavuus 1 000 000 m<sup>3</sup>
- Paikalle valettava betoni 100 000 m<sup>3</sup>
- Kantavia betoniholveja 80 000 m<sup>2</sup>
- **Paalutusta 150 000–180 000 m**
  - TB300b, TB350a, 170-, 220- ja 320-teräsputkipaalua (lyönti & pora)
- Teräsrakenteita 7 000 tn
- Betonielementtejä 15 000 kpl
- Uusi rekkaliikenteen silta 80 m
- Ratatöitä, uutta kiskoa 4,5 km
- Louhintaa 220 000 m<sup>3</sup>
- Ruoppausta ja täyttöä 250 000 m<sup>3</sup>
- Raakavesiputki (halkaisija 2,2 m) 1,2 km
- Piippu 120 m
- **Hankkeen arvioitu kokonaishinta 1,2 mrd. €**



<http://biotuotetehdas.fi/eteneminen>

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitus PDA-mittausten perusteella

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t$$

- Jossa geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo määritetään

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mean}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\}$$

- Korrelaatiokertoimet taulukosta 4.10
- Paaluista PDA-mitataan vähintään 1%

**Taulukko 4.10.** Korrelaatiokertoimet  $\xi$  ominaisarvojen johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista ( $n$  = koestettujen paalujen lukumäärä).

| $n^*$   | 2–4/1–4 % | 5–9/5–39 % | 10–14/40–64 % | 15–19/65–89 % | $\geq 20/90–100$ % |
|---------|-----------|------------|---------------|---------------|--------------------|
| $\xi_5$ | 1,60      | 1,50       | 1,45          | 1,42          | 1,40               |
| $\xi_6$ | 1,50      | 1,35       | 1,30          | 1,25          | 1,25               |

(PO 2011)

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Paalujen geoteknisen kestävyysmitoitussarvot
  - TB300b paalun  $R_{c;d} = 850 \text{ kN}$
  - TB350a paalun  $R_{c;d} = 1100 \text{ kN}$
- PDA-mittausten vaatimukset TB300b paalujen tulosten keskiarvolle ja minimille
  - $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 850 \text{ kN} = 1632 \text{ kN}$
  - $(R_{c;m})_{\text{min}} = \gamma_t \xi_6 R_{c;d} = 1,2 * 1,5 * 850 \text{ kN} = 1530 \text{ kN}$
- PDA-mittausten vaatimukset TB350a paalujen tulosten keskiarvolle ja minimille
  - $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 1100 \text{ kN} = 2112 \text{ kN}$
  - $(R_{c;m})_{\text{min}} = \gamma_t \xi_6 R_{c;d} = 1,2 * 1,5 * 1100 \text{ kN} = 1980 \text{ kN}$
- Koepaalutuksessa paaluilta pyritään mobilisoimaan vähintään keskiarvovaatimuksen mukainen geotekninen kestävyys
- Jätetään koepaalutus vaiheessa paalut eri tiukkuuteen esim.  $s/10 = 20/30/40 \text{ mm}$

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvot

– TB300:  $R_{c;d}=850$  kN vs.  $R_{d,max}$  (PTL2)=874 kN  
 – TB350:  $R_{c;d}=1100$  kN vs.  $R_{d,max}$  (PTL2)=1358 kN

| Paalun<br>tyyppi | $R_{d,nurj}$ [kN] nurjahduksen mukaan |          |          |      |      |    | $R_{d,max}$ [kN] |      |      |
|------------------|---------------------------------------|----------|----------|------|------|----|------------------|------|------|
|                  | $c_{uk}$ [kPa]                        | P<br>[%] | L<br>[%] | 5    | 7    | 10 | PTL3             | PTL2 | PTL1 |
| TB300b           | $L_{cr}/150$                          | 100      | 0        | 669  | 818  | A  | 972              | 874  | 795  |
|                  |                                       | 50       | 50       | 855  | 1055 | A  |                  |      |      |
|                  |                                       | 0        | 100      | 1010 | A    | A  |                  |      |      |
|                  | $L_{cr}/300$                          | 100      | 0        | 838  | A    | A  |                  |      |      |
|                  |                                       | 50       | 50       | 1153 | A    | A  |                  |      |      |
|                  |                                       | 0        | 100      | A    | A    | A  |                  |      |      |
| TB350a           | $L_{cr}/150$                          | 100      | 0        | 1002 | 1226 | A  | 1509             | 1358 | 1234 |
|                  |                                       | 50       | 50       | 1270 | 1571 | A  |                  |      |      |
|                  |                                       | 0        | 100      | 1488 | A    | A  |                  |      |      |
|                  | $L_{cr}/300$                          | 100      | 0        | 1266 | A    | A  |                  |      |      |
|                  |                                       | 50       | 50       | 1732 | A    | A  |                  |      |      |
|                  |                                       | 0        | 100      | A    | A    | A  |                  |      |      |

(Rakennusteollisuus 2013)

- Lopetuslyöntitaulukoissa (WEAP) geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo vastaavasti kuin dynaamisessa koekuormituksessa  $R_{k;geo} = 1,05 \xi_5 \gamma_t R_{c;d} \rightarrow 1,05 * 1,4 * 1,2 * R_{c;d} = 1,764 * R_{c;d}$
- $R_{k;geo} \neq$  paalun ”murtokuorma” koekuormituksessa

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Teräsbetonipaalujen TB300b lopetuslyönnit RT-2011 ”Tuotelehti PO-2011 mukaiseen paalutustyöhön” mukaan

**Taulukko 9. Lopetuslyönnit paalulle TB300b**

| PTL 1 | Lyöntilaite                     | Paalupituus [m] |    |    |    |    |    | Pudotuskorkeus lyöntienergia |       |
|-------|---------------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|------------------------------|-------|
|       |                                 | 5               | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | H[m]                         | E[tm] |
|       |                                 | 22              | 18 | 17 | 17 | 17 | 17 | 0,35                         | 1,40  |
| PTL 1 | Hydrauliijärkäle 4t             | 22              | 18 | 17 | 17 | 17 | 17 | 0,35                         | 1,40  |
|       | Kiihdytetty hydrauliijärkäle 4t | 22              | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 0,30                         | 1,20  |
|       | Hydrauliijärkäle 5t             | 23              | 21 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0,30                         | 1,50  |
|       | Kiihdytetty hydrauliijärkäle 5t | 22              | 18 | 17 | 17 | 17 | 16 | 0,25                         | 1,25  |
| PTL 2 | Lyöntilaite                     | Paalupituus [m] |    |    |    |    |    | Pudotuskorkeus lyöntienergia |       |
|       |                                 | 5               | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | H[m]                         | E[tm] |
|       |                                 | 21              | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0,40                         | 1,60  |
| PTL 2 | Hydrauliijärkäle 4t             | 21              | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0,40                         | 1,60  |
|       | Kiihdytetty hydrauliijärkäle 4t | 23              | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 0,35                         | 1,40  |
|       | Hydrauliijärkäle 5t             | 24              | 21 | 20 | 20 | 20 | 19 | 0,35                         | 1,75  |
|       | Kiihdytetty hydrauliijärkäle 5t | 23              | 19 | 18 | 18 | 17 | 17 | 0,30                         | 1,50  |
| PTL 3 | Lyöntilaite                     | Paalupituus [m] |    |    |    |    |    | Pudotuskorkeus lyöntienergia |       |
|       |                                 | 5               | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | H[m]                         | E[tm] |
|       |                                 | 25              | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 0,50                         | 2,00  |
| PTL 3 | Hydrauliijärkäle 4t             | 25              | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 0,50                         | 2,00  |
|       | Kiihdytetty hydrauliijärkäle 4t | 22              | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0,40                         | 1,60  |
|       | Hydrauliijärkäle 5t             | 23              | 19 | 18 | 18 | 18 | 17 | 0,40                         | 2,00  |
|       | Kiihdytetty hydrauliijärkäle 5t | 24              | 18 | 17 | 17 | 16 | 16 | 0,35                         | 1,75  |

(Rakennusteollisuus 2013)

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut TB300b paalut.

| Paalu                   |        | Loppulyönnit | Koekuormitusku |        |          |        | Kestävyys |
|-------------------------|--------|--------------|----------------|--------|----------|--------|-----------|
| Numero                  | LE [m] | s/10 [mm]    | EMX [kNm]      | s [mm] | DMX [mm] | c [mm] | RMX [kN]  |
| P1                      | 12,3   | 24           | 25,0           | 1      | 18       | 17,0   | 2017      |
| P2                      | 10,6   | 30           | 32,3           | 6      | 23       | 17,0   | 1754      |
| P6                      | 11,8   | 35           | 23,2           | 4      | 18       | 14,0   | 1694      |
| P7                      | 12,3   | 36           | 22,2           | 5      | 17       | 12,0   | 1888      |
| P8                      | 11,8   | 36           | 44,0           | 9      | 29       | 20,0   | 1946      |
| P9                      | 12,2   | 35           | 31,2           | 6      | 23       | 17,0   | 1667      |
| P10                     | 12,1   | 33           | 25,4           | 1      | 17       | 16,0   | 2940      |
| P12                     | 12,4   | 33           | 25,3           | 5      | 18       | 13,0   | 1804      |
| P14                     | 12,3   | 30           | 33,7           | 9      | 24       | 15,0   | 1681      |
| P15                     | 11,2   | 35           | 37,0           | 8      | 24       | 16,0   | 1720      |
| P17                     | 12,2   | 16           | 23,1           | 8      | 19       | 11,0   | 1866      |
| P18                     | 12,2   | 21           | 30,4           | 3      | 20       | 17,0   | 2114      |
| P19                     | 12,5   | 30           | 36,0           | 10     | 23       | 13,0   | 1972      |
| P20                     | 12,5   | 40           | 24,9           | 5      | 18       | 13,0   | 2019      |
| P23                     | 11,3   | 38           | 45,1           | 16     | 29       | 13,0   | 1669      |
| P25                     | 12,3   | 53           | 37,7           | 25     | 31       | 6,0    | 1226      |
| (R <sub>c;m</sub> )mean |        |              |                |        |          |        | 1874      |
| (R <sub>c;m</sub> )min  |        |              |                |        |          |        | 1226      |

- Ensimmäinen mittauskerta, yksittäisiä paaluja eri kohteista
- Juttan HHK 5A, pudotuskorkeus tuotelehden mukainen 0,3 m
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 850 \text{ kN} = 1632 \text{ kN}$
- $s/10 = 35\text{-}40 \text{ mm} \Rightarrow$  mobilisoituu riittävä staattinen vastus
- Ehdotus lopetuslyönneistä annettu  $s/10 \leq 35 \text{ mm}$

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

**Taulukko 1. Soodakattilan TB300b koepaalut.**

| Paalu      |        | Loppulyönnit<br>s/10[mm] | EMX [kNm] | Koekuormitusisku |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|------------|--------|--------------------------|-----------|------------------|----------|--------|-----------------------|
| Numero     | LE [m] |                          |           | s [mm]           | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P8         | 9,7    | 30                       | 26,3      | 10               | 21,0     | 11,0   | 1725                  |
| P9         | 11,8   | 33                       | 36,9      | 7                | 22,0     | 15,0   | 1881                  |
| P12        | 11,0   | 31                       | 24,7      | 4                | 18,0     | 14,0   | 1803                  |
| (Rc;m)mean |        |                          |           |                  |          |        | 1803                  |
| (Rc;m)min  |        |                          |           |                  |          |        | 1725                  |

**Taulukko 3. Kuitulinjan TB300b koepaalut.**

| Paalu      |        | Loppulyönnit<br>s/10[mm] | EMX [kNm] | Koekuormitusisku |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|------------|--------|--------------------------|-----------|------------------|----------|--------|-----------------------|
| Numero     | LE [m] |                          |           | s [mm]           | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P27        | 10,8   | 35                       | 39,8      | 13               | 24,0     | 11,0   | 1931                  |
| P28        | 10,0   | 40/25                    | 27,5      | 7                | 17,0     | 10,0   | 2056                  |
| P29        | 10,5   | 37                       | 12,8      | 5                | 16,0     | 11,0   | Poikki                |
| P31        | 9,0    | 25                       | 19,9      | 3                | 13,0     | 10,0   | 2154                  |
| P34        | 7,5    | 28                       | 29,5      | 1                | 17,0     | 16,0   | 2384                  |
| (Rc;m)mean |        |                          |           |                  |          |        | 2131                  |
| (Rc;m)min  |        |                          |           |                  |          |        | 1931                  |

- Täydentäviä mittauksia Soodakattilan ja Kuitulinjan osalta
- Juttan HHK 5A, pudotuskorkeus 0,3 m
- P28 @ s/10=40mm > RMX=~1400kN > upotusta jatkettu > s/10=25mm > RMX=2056 kN
- Aikaisemmin annettu lopetuslyöntiehto  $s/10 \leq 35$  mm näyttäisi toimivan hyvin

## Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut TB300b paalut.

| Paalu                   |        | Loppulyönnit | Koekuormitusisku |        |          |        | Kestävyys |
|-------------------------|--------|--------------|------------------|--------|----------|--------|-----------|
| Numero                  | LE [m] | s/10 [mm]    | EMX [kNm]        | s [mm] | DMX [mm] | c [mm] | RMX [kN]  |
| P1                      | 8,0    | 25           | 25,6             | 4      | 16       | 12,0   | 2046      |
| P4                      | 12,7   | 30           | 35,8             | 4      | 18       | 14,0   | 2665      |
| P6                      | 11,0   | 30           | 31,3             | 5      | 22       | 17,0   | 1775      |
| P7                      | 10,5   | 31           | 35,2             | 6      | 23       | 17,0   | 1846      |
| P9                      | 10,7   | 33           | 49,9             | 11     | 31       | 20,0   | 1763      |
| P10                     | 11,7   | 31           | 31,3             | 3      | 21       | 18,0   | 1853      |
| P12                     | 12,1   | 34           | 26,8             | 3      | 19       | 16,0   | 1907      |
| P20                     | 8,5    | 40           | 40,5             | 8      | 25       | 17,0   | 1686      |
| P24                     | 11,3   | 25           | 32,2             | 8      | 21       | 13,0   | 1819      |
| P25                     | 11,6   | 30           | 36,1             | 9      | 23       | 14,0   | 1448      |
| P27                     | 12,0   | 30           | 41,0             | 7      | 23       | 16,0   | 1951      |
| (R <sub>c;m</sub> )mean |        |              |                  |        |          |        | 1887      |
| (R <sub>c;m</sub> )min  |        |              |                  |        |          |        | 1448      |

- Täydentäviä mittauksia Haihduttamalla ja Tehdaskonttorilla
- Juttan HHK 5A, pudotuskorkeus 0,3 m
- $(R_{c;m})_{mean} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 850 \text{ kN} = 1632 \text{ kN}$
- $s/10 \leq 35 \text{ mm}$  näyttäisi toimivan hyvin lukuun ottamatta paalua P25
- Paalu P25 asennettu koekuormituspäivänä
- Koekuormituksen yhteydessä paalun upotusta jatkettiin, mutta mobilisoituva staattinen vastus pieneni entisestään => kärki häiriintyy lyönnistä, ajan myötä paranee

## Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut TB300b paalut.

| Numero                              | Paalu  | LE [m] | Loppulyönnit<br>s/10 [mm] | EMX [kNm] | Koekuormitusisku |          | c [mm] | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|-------------------------------------|--------|--------|---------------------------|-----------|------------------|----------|--------|-----------------------|
|                                     |        |        |                           |           | s [mm]           | DMX [mm] |        |                       |
| P3                                  | TB300b | 12,7   | 30                        | 31,5      | 6                | 20       | 14,0   | 2180                  |
| P8                                  | TB300b | 10,8   | 23                        | 37,4      | 5                | 20       | 15,0   | 2338                  |
| P13                                 | TB300b | 13,3   | 30                        | 34,8      | 8                | 25       | 17,0   | 1883                  |
| P14                                 | TB300b | 13,3   | 39                        | 29,1      | 5                | 20       | 15,0   | 2086                  |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>mean</sub> |        |        |                           |           |                  |          |        | 2122                  |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>min</sub>  |        |        |                           |           |                  |          |        | 1883                  |

- Täydentäviä mittauksia Puunkäsittelyllä
- Junttan HHK 5A, 0,3 m pudotuskorkeus
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 850 \text{ kN} = 1632 \text{ kN}$
- Ei selkästi löysiä paaluja ( $s/10 > 35 \text{ mm}$ )
- Koepaalujen käyttäytymisen perusteella loppulyöntipainumalla 35 mm -> 30mm ei merkittävää vaikutusta paalupituuksiin/lyöntimäärään => loppulyöntiehtoa tiukennettu  $s/10 \leq 30 \text{ mm}$

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

**Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut TB300b paalut.**

| Paalu  |        | Loppulyönnit | Koekuormitusisku |        |          |                         | Kestävyys |
|--------|--------|--------------|------------------|--------|----------|-------------------------|-----------|
| Numero | LE [m] | s/10 [mm]    | EMX [kNm]        | s [mm] | DMX [mm] | c [mm]                  | RMX [kN]  |
| P552   | 10,3   | 14           | 15,0             | 3      | 12       | 9,0                     | 1681      |
| P562   | 11,0   | 23           | 24,4             | 5      | 19       | 14,0                    | 1802      |
| P669   | 10,3   | 27           | 29,6             | 4      | 15       | 11,0                    | 2712      |
| P769   | 9,4    | 13           | 21,6             | 4      | 14       | 10,0                    | 1883      |
| P839   | 9,3    | 18           | 21,7             | 4      | 13       | 9,0                     | 2311      |
| P948   | 10,8   | 33           | 28,0             | 9      | 20       | 11,0                    | 1637      |
| P956   | 9,3    | 8            | 16,0             | 3      | 12       | 9,0                     | 1986      |
| P1046  | 10,5   | 36           | 27,0             | 9      | 20       | 11,0                    | 1633      |
| P1232  | 11,4   | 28           | 23,3             | 11     | 18       | 7,0                     | 1664      |
| P1361  | 6,4    | 3            | -                | -      | -        | -                       | POIKKI    |
| P1662  | 6,7    | 5            | 11,6             | 1      | 8        | 7,0                     | 2421      |
| P2019  | 5,7    | 8            | 17,5             | 5      | 11       | 6,0                     | 1862      |
| P2022  | 9,8    | 20           | 31,6             | 6      | 20       | 14,0                    | 1711      |
| P2035  | 8,5    | 23           | 29,0             | 6      | 17       | 11,0                    | 1855      |
|        |        |              |                  |        |          | (R <sub>c;m</sub> )mean | 1935      |
|        |        |              |                  |        |          | (R <sub>c;m</sub> )min  | 1633      |

- Tuotantopaaluja Massatehtaalla
- Junttan HHK 4A, pudotuskorkeus 0,25 m (Tuotelehti 0,35 m)
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 850 \text{ kN} = 1632 \text{ kN}$
- Muutama paalun hieman löysemässä s/10 > 30 mm, mutta myös niiltä riittäva staattinen vastus keskiarvo vaatimukseen nähden
- Lopetuslyöntiehto s/10 ≤ 30 mm

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Teräsbetonipaalujen TB350a lopetuslyönnit RT-2011 "Tuotelehti PO-2011 mukaiseen paalutustyöhön" mukaan

**Taulukko 11. Lopetuslyönnit paalulle TB350a**

|       |                                |                 |    |    |    |    |    |                              |       |
|-------|--------------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|------------------------------|-------|
|       | Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t | 19*             | 19 | 18 | 18 | 17 | 17 | 0,50                         | 2,00  |
|       | Hydraulijärkäle 5t             | 17*             | 16 | 16 | 16 | 16 | 15 | 0,45                         | 2,25  |
|       | Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t | 20*             | 20 | 20 | 20 | 20 | 19 | 0,45                         | 2,25  |
| PTL 2 | Lyöntilaite                    | Paalupituus [m] |    |    |    |    |    | Pudotuskorkeus lyöntienergia |       |
|       |                                | 5               | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | H[m]                         | E[tm] |
|       | Hydraulijärkäle 4t             | 16*             | 16 | 16 | 15 | 15 | 15 | 0,65                         | 2,60  |
|       | Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t | 17*             | 16 | 16 | 16 | 16 | 15 | 0,55                         | 2,20  |
|       | Hydraulijärkäle 5t             | 19*             | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 0,55                         | 2,75  |
|       | Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t | 18*             | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 0,50                         | 2,50  |
|       |                                |                 |    |    |    |    |    |                              |       |
| PTL 3 | Lyöntilaite                    | Paalupituus [m] |    |    |    |    |    | Pudotuskorkeus lyöntienergia |       |
|       |                                | 5               | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | H[m]                         | E[tm] |
|       | Hydraulijärkäle 4t             | 17*             | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0,80                         | 3,20  |
|       | Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t | 15*             | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 0,65                         | 2,60  |
|       | Hydraulijärkäle 5t             | 18*             | 18 | 17 | 17 | 17 | 16 | 0,65                         | 3,25  |
|       | Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t | 18*             | 18 | 17 | 17 | 17 | 17 | 0,60                         | 3,00  |

\*pudotuskorkeus 0,05 m pienempi kuin muilla paalupituuksilla

(Rakennusteollisuus 2013)

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut TB350a paalut.

| Paalu                               |        | Loppulyönnit | Koekuormitusisku |        |          |        | Kestävyys |
|-------------------------------------|--------|--------------|------------------|--------|----------|--------|-----------|
| Numero                              | LE [m] | s/10 [mm]    | EMX [kNm]        | s [mm] | DMX [mm] | c [mm] | RMX [kN]  |
| P2                                  | 11,6   | 30           | 28,7             | 3      | 16       | 13,0   | 2421      |
| P4                                  | 11,3   | 40           | 40,5             | 11     | 22       | 11,0   | 2121      |
| P5                                  | 12     | 35           | 41,7             | 7      | 22       | 15,0   | 2539      |
| P11                                 | 12,5   | 38           | 32,0             | 6      | 18       | 12,0   | 2123      |
| P16                                 | 5,3    | 18           | 23,3             | 1      | 12       | 11,0   | 2705      |
| P21                                 | 13,4   | 32           | 33,0             | 3      | 19       | 16,0   | 2197      |
| P24                                 | 13,4   | 30           | 38,0             | 5      | 21       | 16,0   | 2323      |
| P26                                 | 13     | 34           | 32,3             | 3      | 17       | 14,0   | 2428      |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>mean</sub> |        |              |                  |        |          |        | 2357      |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>min</sub>  |        |              |                  |        |          |        | 2121      |

- Ensimmäinen mittauskerta, yksittäisiä paaluja eri kohteista
- Juttan HHK 5A, pudotuskorkeus 0,4 m (Tuotelehti 0,45 m)
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 1100 \text{ kN} = 2112 \text{ kN}$
- $s/10 = 34\text{-}40 \text{ mm} \Rightarrow$  mobilisoituu riittävä staattinen vastus
- Ehdotus lopetuslyönneistä annettu  $s/10 \leq 35 \text{ mm}$

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

**Taulukko 2. Soodakattilan TB350a koepaalut**

| Paalu<br>Numero         | LE [m] | Loppulyönnit<br>s/10[mm] | EMX [kNm] | Koekuormitusisku |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|-------------------------|--------|--------------------------|-----------|------------------|----------|--------|-----------------------|
|                         |        |                          |           | s [mm]           | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P7                      | 11,8   | 31                       | 36,1      | 5                | 21,0     | 16,0   | 2426                  |
| P10                     | 9,5    | 33                       | 28,1      | 4                | 15,0     | 11,0   | 2286                  |
| (R <sub>c;m</sub> )mean |        |                          |           |                  |          |        | 2356                  |
| (R <sub>c;m</sub> )min  |        |                          |           |                  |          |        | 2286                  |

**Taulukko 4. Kuitulinjan TB350a koepaalut**

| Paalu<br>Numero         | LE [m] | Loppulyönnit<br>s/10[mm] | EMX [kNm] | Koekuormitusisku |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|-------------------------|--------|--------------------------|-----------|------------------|----------|--------|-----------------------|
|                         |        |                          |           | s [mm]           | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P32                     | 9,5    | 30                       | 37,8      | 1                | 18,0     | 17,0   | 2318                  |
| P33                     | 7,5    | 27                       | 43,1      | 5                | 21,0     | 16,0   | 2647                  |
| (R <sub>c;m</sub> )mean |        |                          |           |                  |          |        | 2483                  |
| (R <sub>c;m</sub> )min  |        |                          |           |                  |          |        | 2318                  |

- Täydentäviä mittauksia Soodakattilan ja Kuitulinjan osalta
- Juttan HHK 5A, pudotuskorkeus 0,4 m
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 1100 \text{ kN} = 2112 \text{ kN}$
- Aikaisemmin annettu lopetuslyöntiehto  $s/10 \leq 35 \text{ mm}$  näyttäisi toimivan myös TB350a paalulla hyvin

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

Taulukko 2. Työmaalla koekuormitetut TB350a paalut.

| Paalu                               |        | Loppulyönnit<br>s/10 [mm] | Koekuormitusisku |        |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|-------------------------------------|--------|---------------------------|------------------|--------|----------|--------|-----------------------|
| Numero                              | LE [m] |                           | EMX [kNm]        | s [mm] | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P3                                  | 9,3    | 30                        | 35,2             | 3      | 20       | 17,0   | 2515                  |
| P11                                 | 12     | 20                        | 37,7             | 4      | 20       | 16,0   | 2212                  |
| P22                                 | 11,3   | 30                        | 49,3             | 22     | 30       | 8,0    | 1808                  |
| P23                                 | 13,4   | 40                        | 52,1             | 11     | 24       | 13,0   | 2187                  |
| P28                                 | 10,8   | 20                        | 29,3             | 2,0    | 16       | 14,0   | 2929                  |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>mean</sub> |        |                           |                  |        |          |        | 2330                  |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>min</sub>  |        |                           |                  |        |          |        | 1808                  |

- Täydentäviä mittauksia Haihduttamalla ja Tehdaskonttorilla
- Junttan HHK 5A, 0,4 m pudotuskorkeus
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 1100 \text{ kN} = 2112 \text{ kN}$
- $(R_{c;m})_{\text{min}} = \gamma_t \xi_6 R_{c;d} = 1,2 * 1,5 * 1100 \text{ kN} = 1980 \text{ kN}$
- Samoin kuin TB300b paalujen kohdalla, myös yksi koekuormituspäivänä asennetuista TB350a paaluista jäi vajaaksi
- Paalua upotettiin lisää, mutta kärki häiriintyi entisestään
- Lopetuslyöntiehto pidetty  $s/10 \leq 35 \text{ mm}$  + paalun P22 mittaus uudestaan seuraavalla kerralla mahdollisuuksien mukaan

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

**Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut TB350a paalut.**

| Paalu                               |        | Loppulyönnit<br>s/10 [mm] | Koekuormitusisku |        |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|-------------------------------------|--------|---------------------------|------------------|--------|----------|--------|-----------------------|
| Numero                              | LE [m] |                           | EMX [kNm]        | s [mm] | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P23                                 | 9,2    | 32                        | 44,2             | 4      | 23       | 19,0   | 2081                  |
| P123                                | 9      | 35                        | 19,7             | 2      | 13       | 11,0   | 2352                  |
| P125                                | 9,3    | 34                        | 34,8             | 8      | 19       | 11,0   | 2180                  |
| P127                                | 9,3    | 34                        | 35,2             | 2      | 18       | 16,0   | 2357                  |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>mean</sub> |        |                           |                  |        |          |        | 2243                  |
| (R <sub>c;m</sub> ) <sub>min</sub>  |        |                           |                  |        |          |        | 2081                  |

- Täydentäviä mittauksia Soodakattilalla
- Junttan HHK 5A, 0,4 m pudotuskorkeus
- $(R_{c;m})_{\text{mean}} = \gamma_t \xi_5 R_{c;d} = 1,2 * 1,6 * 1100 \text{ kN} = 2112 \text{ kN}$
- $(R_{c;m})_{\text{min}} = \gamma_t \xi_6 R_{c;d} = 1,2 * 1,5 * 1100 \text{ kN} = 1980 \text{ kN}$
- Paalu P23 jää aavistuksen vajaaksi keskiarvovaatimuksesta, oletettavasti murto kuorma kuitenkin vielä aavistuksen suurempi
- Loppulyöntejä tarkistettu Soodakattilan loppupaalutuksen osalta kuitenkin  $s/10 \leq 30 \text{ mm}$

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

**Taulukko 2. Työmaalla koekuormitetut TB350a paalut.**

| Paalu      |        | Loppulyönnit<br>s/10 [mm] | Koekuormitusisku |        |          |        | Kestävyys<br>RMX [kN] |
|------------|--------|---------------------------|------------------|--------|----------|--------|-----------------------|
| Numero     | LE [m] |                           | EMX [kNm]        | s [mm] | DMX [mm] | c [mm] |                       |
| P1684      | 9,2    | 25                        | 42,0             | 8      | 18       | 10,0   | 2414                  |
| P1830      | 9,3    | 29                        | 30,0             | 8      | 15       | 7,0    | 2214                  |
| P1854      | 6,5    | 15                        | 24,9             | 1      | 11       | 10,0   | 3330                  |
| (Rc;m)mean |        |                           |                  |        |          |        | 2653                  |
| (Rc;m)min  |        |                           |                  |        |          |        | 2214                  |

- Tuotantopaalujen mittauksia Massatehtaalla
- Junttan HHK 5A, 0,4m pudotuskorkus
- Ei yli 30 mm paaluja, loppulyönnit ehdotettu TB300b paalujen mukaisesti  $s/10 \leq 30$  mm Massatehtaan osalta

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

#### Yhteenveto

- Jätetään koepaalut eri tiukkuuteen (pohjasuhteista riippuen)
- Mitä aikaisemmin koepaalut voidaan asentaa ennen koekuormitusta, sen parempi
- Lopetuslyöntitaulukon mukaiset loppulyöntipainumat  $s/10 \leq 19...23$  mm (0,3-0,45 m pudotuskorkeus)
- Koepaalutuksen mukaiset loppulyöntipainumat  $s/10 \leq 30...35$  mm (0,3-0,4 m pudotuskorkeus)
- Lyönnin aikaiset puristusjännitykset pienemmät loppulyönneiltään löysemmissä paaluissa => paaluja hajoaa vähemmän
- Lisäksi voidaan säästää paalupituuksissa/työtunneissa olosuhteista riippuen merkittävästikin
- Esitetyt lopetuslyönnit yhdelle ja samalle järkäleelle (paitsi Massatehdas)
- Muille järkäleille omat lopetuslyönnit
- Koepaalutus on aina lopetuslyöntiensä näköinen

## **Lisää Inspectasta** Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- **Inspecta**
  - Sörnäistenkatu 2, 00580 Helsinki
  - Puh: 010 521 600
  - Fax: 010 521 6211
  - [www.inspecta.fi](http://www.inspecta.fi)
- **Teemu Repo**
  - Hautalankatu 31, 33560 Tampere
  - Puh: 050 438 7200

Lähteet:

<http://biotuotetehdas.fi/eteneminen>

PO-2011

Rakennusteollisuus. 2013. RT 11 "Tuotelehti PO-2011 mukaiseen paalutustyöhön"

▶ TRUST & QUALITY [www.inspecta.com](http://www.inspecta.com)

## ► Paaluseminaari 2015

### Koepaalutus MetsäFibren Äänekosken työmaalla

- Tai sitten voidaan lyödä kaikki paalut  $s/10=10\text{mm}$  ja pudotuskorkeudet alla (paalukoot 235x235 ja 270x270)...

TK Geo 11

Publikation 2011:047

15

**Tabell 2.5-4. Dimensionerande geoteknisk bärförmåga  $R_d$  (kN), för förtillverkade betongpålar, installerade med frifallshejare.**

| Hejare | Fallhöjd (m) | Pålens tvärsnittsarea (m <sup>2</sup> ) |             |
|--------|--------------|-----------------------------------------|-------------|
|        |              | 0,055                                   | 0,073/0,076 |
| 3 ton  | 0,3          | 480                                     | 550         |
|        | 0,4          | 575                                     | 660         |
|        | 0,5          | 655                                     | 740         |
| 4 ton  | 0,3          | 540                                     | 640         |
|        | 0,4          | 645                                     | 755         |
|        | 0,5          | 720                                     | 850         |
| 5 ton  | 0,3          | 590                                     | 680         |
|        | 0,4          | 690                                     | 825         |

(Trafikverket 2011)