

Tuulivoimalan porapaaluperustus

Geotekniikan päivä 17.11.2005

Sakari Lotvonen, PSV-Maa ja Vesi Oy

Jouko Viitala, LEMCON Oy

Hannu Jokiniemi, Ruukki

Sami Eronen, Ruukki



Raahen tuulivoimapuisto - Hanketiedot

- 5 kpl x 2.3 MW tuulivoimaloita
- Tuulipuisto kasvatti valmistuessaan 2004 Suomen tuulivoimakapasiteettia noin 25%
- Hankkeen toteuttajat
 - Rakennuttaja: ABB Oy ja Suomen Hyötytuuli Oy
 - KVR-urakoitsija: LEMCON Oy
 - Voimalatoimittaja: BONUS Energy A/S
 - Pohjarakennus- ja perustussuunnittelu: PSV-Maa ja Vesi Oy
 - Voimalasuunnittelu: BONUS Energy A/S
 - Sähkösuunnittelu: ABB Oy
- Investointikustannukset noin 12 m€



JAAKKO PÖYRY INFRA
PSV-Maa ja Vesi

Vaihtoehtoiset perustamistavat

1. Maanvarainen gravitaatioperustus

- Massiivinen paikalla valettu rakenne, noin 800 m³, vaativissa talviolosuhteissa
- Edellytyksenä riittävän hyvät pohjasuhteet

2. Paalutettu gravitaatioperustus

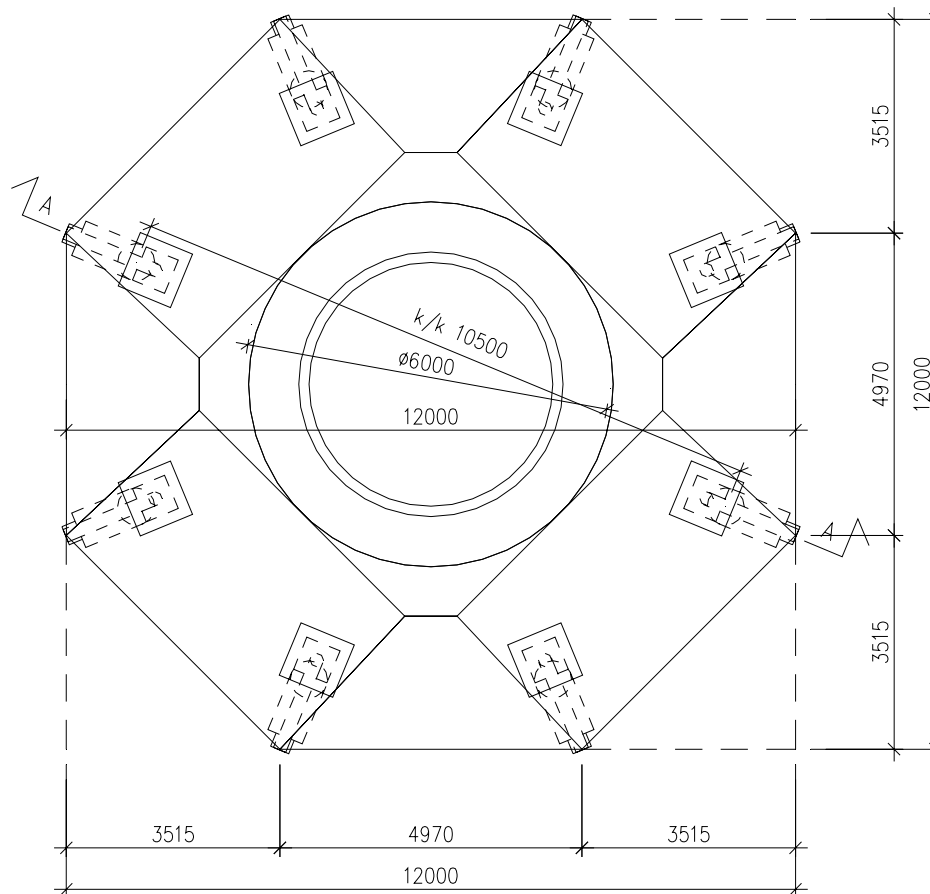
- Anturarakenne kuten edellä
- Lyötävät teräs- tai teräsbetonipaalut
- Pohjasuhteiden perusteella ainakin kaksi voimalaa olisi jouduttu paaluttamaan

3. Porapaaluperustus, ankkuroitu kallioon

- Optimoitu anturarakenne, noin 250 m³,
- Puristuskuorma: Porapaalut 8 kpl L~15 m RD610x12.5 kallioon
- Vetokuorma: Putkiankkurit 8 kpl L~23 m RD220x12.5 injektoitu vaipaltaan kallioon



Porapaaluperustus - Tasopiirustus

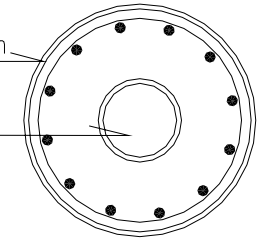


Porattava teräsputkipaalu Ø 610x12,5 mm

– Korroosiovara 6 mm / 50 v.

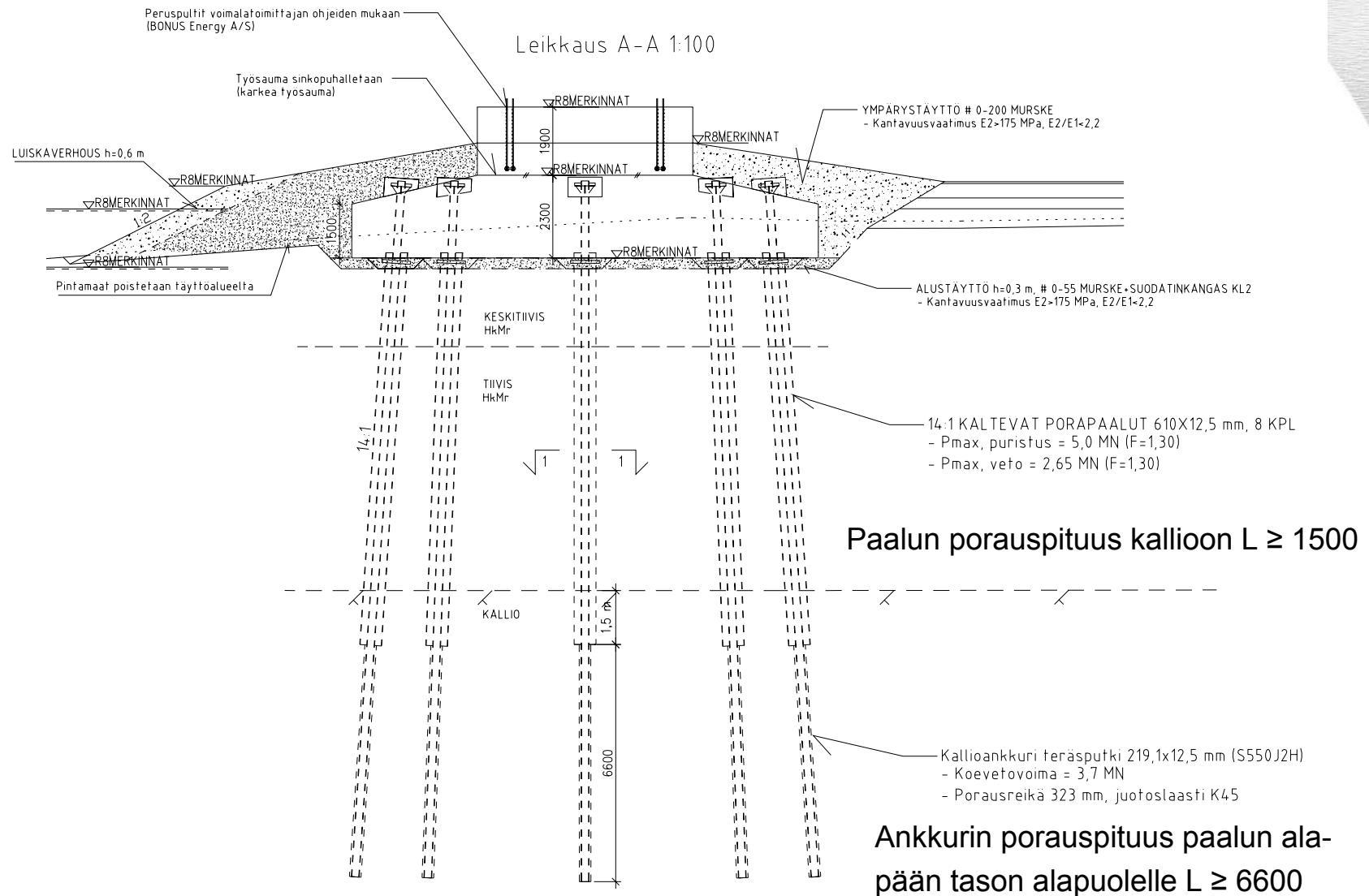
Pysyvä kallioankkuri

– Teräsputki 219,1x12,5 mm

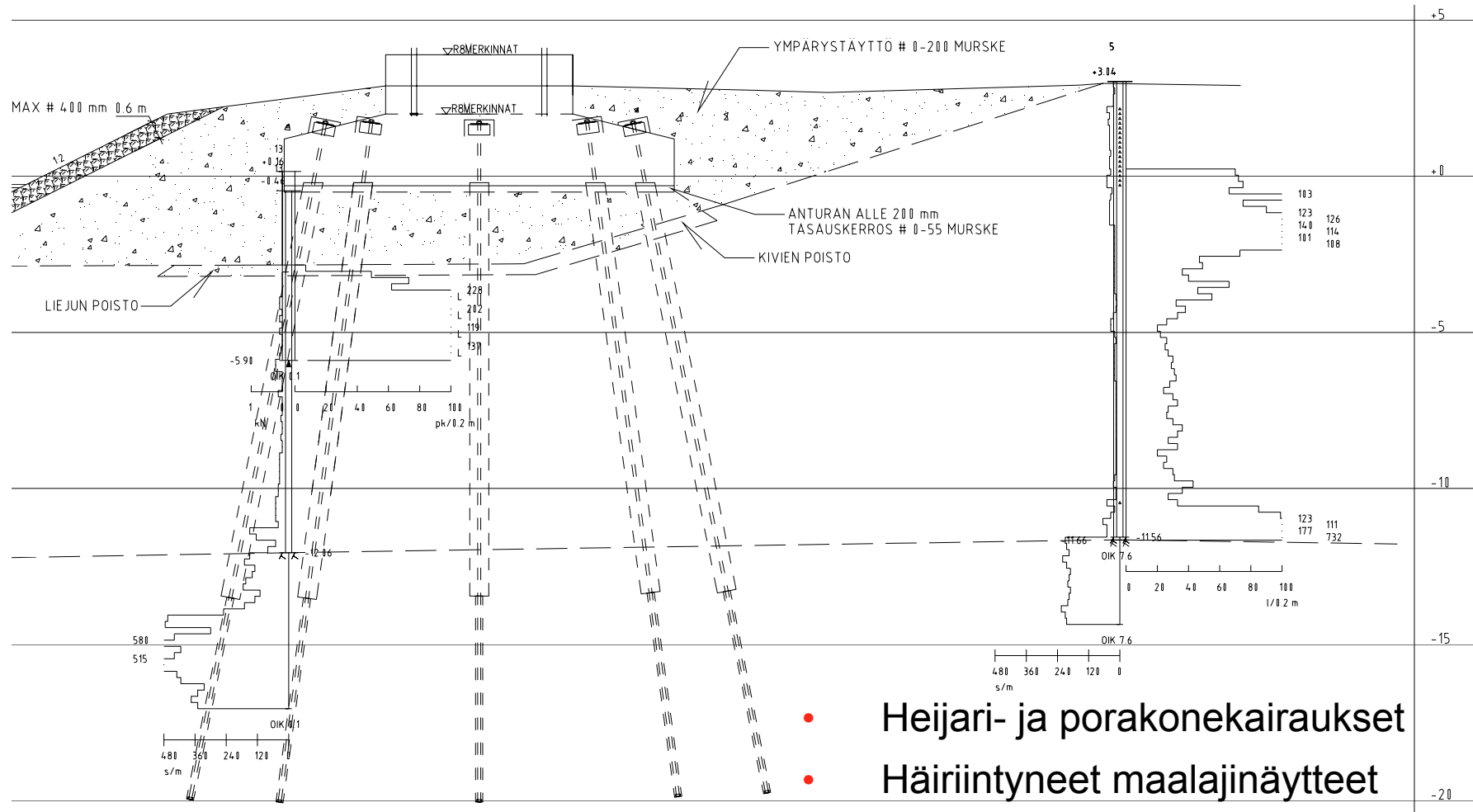


- Vinopaalut 14:1, k/k 10500
- Paalut RD610x12.5 S355J2H
- Ankkurit RD220x12.5 S550J2H
- Raudoitus 12Ø25 A500HW
- Juotoslaasti K45 (kallio-osuus)
- Paalujen betonointi K45-1
- Ankkureiden yläosassa jänteet koevetoa varten
- Paalujen korroosiovara 6 mm / 50 vuotta

Porapaaluperustus - Yleisleikkaus



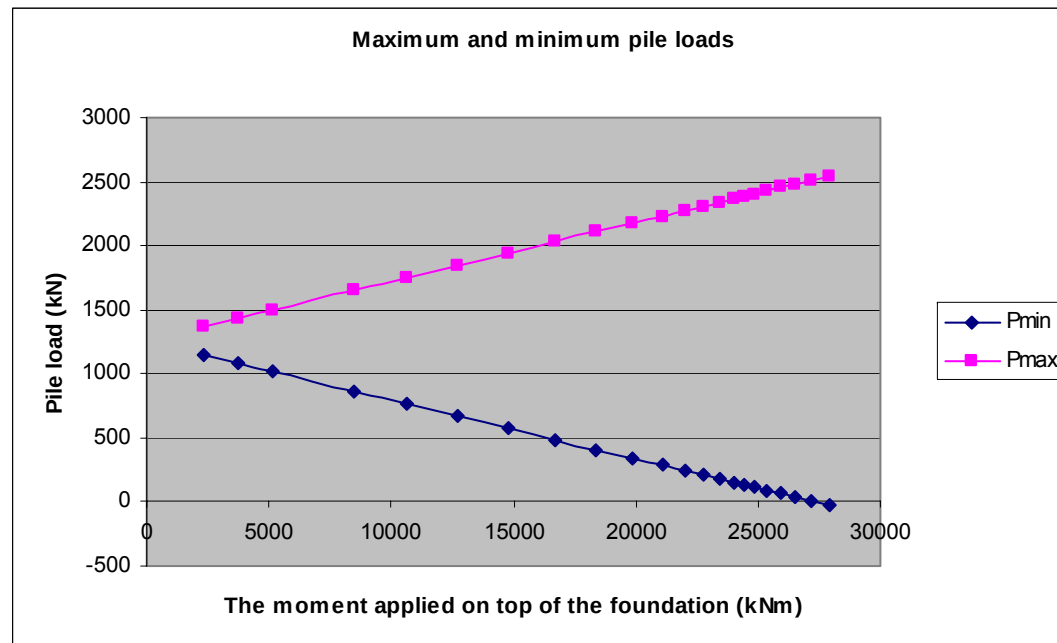
MY1 – Perustus ja pohjasuhteet



- Heijari- ja porakonekairaukset
- Häiriintyneet maalajinäytteet
- Kallionäyte ⇒ Grauvakkaa ja kiillegneisiä

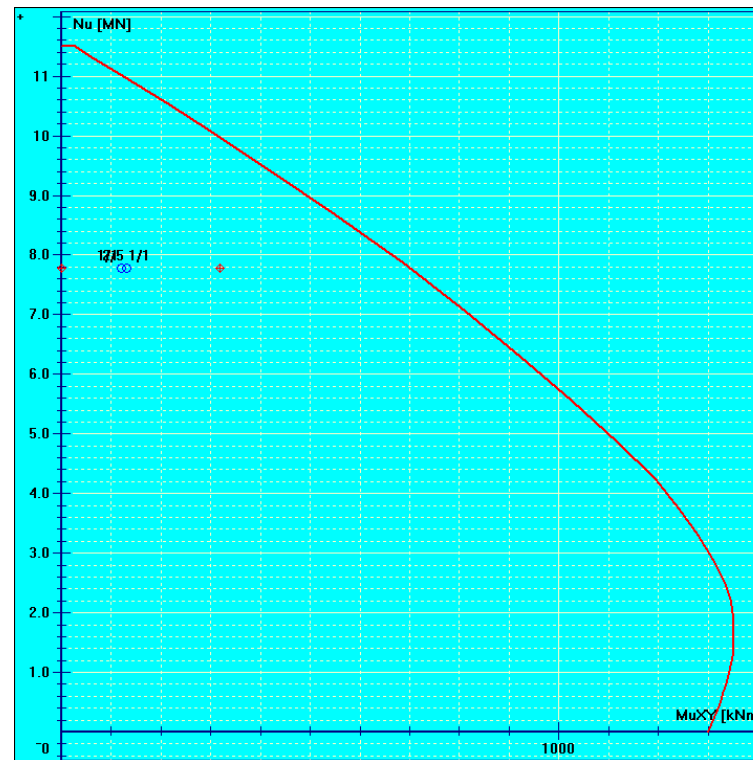
Porapaaluperustuksen suunnittelu

- Maksimikuormituksen määräävä mitoitustuulennopeus $v \sim 55$ m/s
- Kaatava momentti anturan alapinnan tasossa $M = 78$ MNm !!!
Aiheuttaa ”kevyen” perustuksen paaluille rajut vetokuormitukset
- Paalujen sijoittelu (8 kpl & 14:1 & $k/k = 10500$) edullinen kuormien jakautumiselle
- Tuulen nopeus normaaliolosuhteissa $v \sim 24$ m/s $\Rightarrow M = 27$ MNm
 $\Rightarrow$ kaikki paalut puristettuja



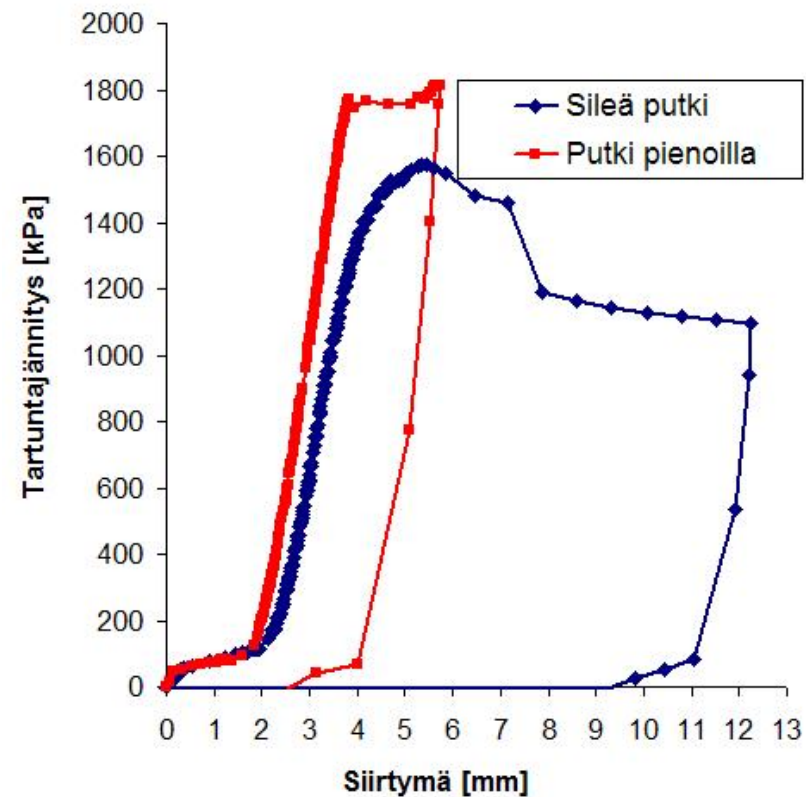
Porapaaluperustuksen suunnittelu

- Perustuksella oltava riittävä vaakajäykkyys ja kiertojäykkyys
- Perustuksella oltava riittävä väsytykestävyys
- Paalut mitoitettu liittorakenteina
- Ankkurit sileää terästä kunnioitettavilla kuormilla!



Ankkurien vaippavastuskokeet

- Kokeiden perusteella sileän teräsputken ja laastin (K45...K50) välinen tartuntalujuus $>1,6$ MPa. Suositeltava varmuuskerroin $F>3,0$.



Paalujen ja ankkurien asennus



Junttan PM16 - RD610/12.5
porapaalujen asennus

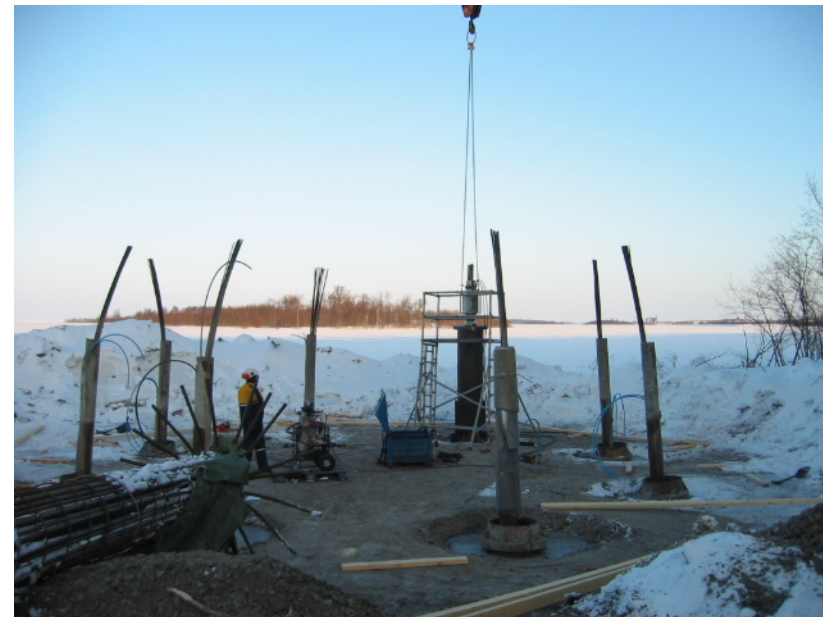
Putkiankkurit
RD220/12.5 L=23 m



RUUKKI

Ankkurien koeveto

- Rikkinainen kallio: Vesimenekikoe + tiivistysinjektointi
- Koeveto porapaalua vasten ”jatkosputkea” apuna käyttäen ennen paaluputken betonointia
- Koevetovoima 3.7 MN !!!
- $F = 3.7 / (2.65 / 1.3) = 1.81$

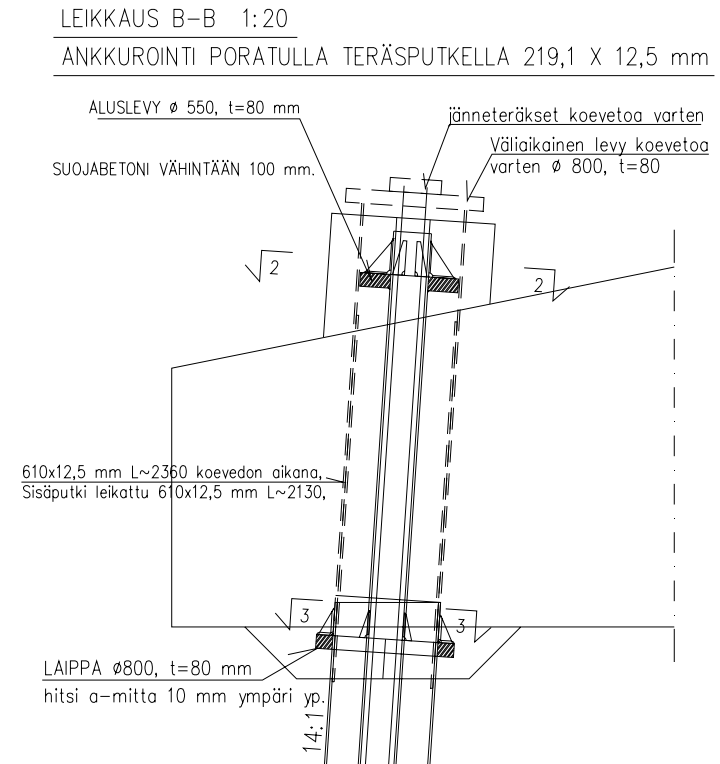


Anturan raudoitus



Paalujen ja ylärakenteiden liitokset

- Suuret keskittyneet kuormat
- Tiukat toleranssivaatimukset (+/- 50 mm, +/-1%=10 mm/m)
- Perustuksen ja tornin välisen pulttiryhmän sijaintitarkkuus



PAALUJEN RAUDOITUS ESITETTY PIIR n:o P02926/RAK-2

Valmis perustus ja voimala



Yhteenvedo

- Raahen tuulipuistossa käytettiin ensimmäistä kertaa tuulivoimalan perustamisessa kallioon ankkuroituja suurporapaaluja, joihin kohdistui huomattavat pysty- ja vetokuormat
- Kevyt perustusrakenne ($800 \text{ m}^3 \Rightarrow 250 \text{ m}^3$)
- Soveltuvuus kaikkiin ”kalliollisiin” pohjasuhteisiin
- Rakentamisen nopeus
- Vähäisempi riippuvuus toteutusvuodenajasta
- Rakenteen luotettavuus, kaikki ankkurit (ja paalut) koekuormitettuja. Tästä huolimatta kiinnitettävä erityistä huomiota kallion laadun selvittämiseen pohjatutkimusvaiheessa.
- Putkiankkurin käyttö optimaalista: Poikkeuksellisen suuret ankkurikuormat, suuri vaippapinta-ala, huomattava taivutusjäykkyys
- Noin 10% kustannussäästö perinteisiin menetelmiin verrattuna

RUUKKI

more with metals