

**Tielaitos**

# Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa

Luku 10. Perustaminen paaluille, tarkistus

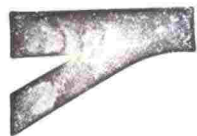
Sillansuunnittelu

Helsinki 1996

Siltakeskus  
Geokeskus

*VANHENTUNUI*

08 TEL / POK



**Tielaitos**  
Kirjasto

Doknro: 961025  
Nidenro: 961340

# **Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa**

Luku 10. Perustaminen paaluille, tarkistus

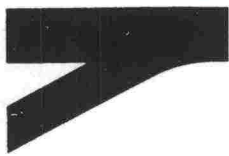
**Tielaitos**  
Siltakeskus  
Geokeskus

Helsinki 1996

TIEL 2170010  
ISBN 951-726-278-7  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1996

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefax 0204 44 2652

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde 0204 44 150



19.9.1996

Jakelun mukaan

Säädösperusta  
TL 117 §  
Kohderyhmä  
TIELVoimassa  
1.10.1996- TOISTAISEKSIAsiasanat  
SILLANSUUNNITTELU, OHJEET, SILTAPERUSTUKSET, LASKELMAT**POHJARAKENNUSOHJEET SILLANSUUNNITTELUSSA  
LUKU 10 PERUSTAMINEN PAALUILLE, TARKISTUS**

Tämä ohje korvaa vuonna 1991 ilmestyneen Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa (TIEL 2172068) luvun 10, joka käsittelee perustamista paaluille. Muilta osin mainittu ohje on edelleen voimassa. Tarve ohjeen paalutusta koskevan osan uusimiseen johtuu Suurpaalutusohjeen 1995 (SPO-95, RIL 212-1995) valmistumisesta.

Apulaisjohtaja  
Siltakeskus  
Juhani Vähäaho

Diplomi-insinööri

  
Matti Kuusivaara**JAKELU**Tiepiirit  
Th, Gk, Kk  
Sk:n teknillinen henkilökunta  
Kirjasto  
Ohjekokoelma  
TIEL:n ulkopuolinen jakelu/luettelo**LIITE**Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa,  
Luku 10, Perustaminen paaluille, TIEL 2170010LISÄTIETOJA  
Matti Kuusivaara  
Siltakeskus  
Puh. 0204 44 2349JAKELU/MYYNTI  
Tielaitos, Painotuotemyynti  
Opastinsilta 12A tai PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. 0204 44 2053, Fax 0204 44 2652

## Alkusanat

Tämä julkaisu korvaa vuonna 1990 ilmestyneen Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa -ohjeen (TIEL 2172068) luvun 10, joka käsittelee paalutusta. Muilta osin Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa -ohje on edelleen voimassa. Tarve ohjeen paalutusta koskevan osan uusimiseen tuli ajankohtaiseksi Suurpaalutusohjeen 1995 (SPO-95, RIL 212-1995) valmistuttua vuonna 1995.

Uudistetussa luvussa 10 on suurpaalujen mitoituksessa lähtökohtana rajatilamitoitus kuitenkin niin, että kaivinpaalujen, Franki-paalujen ja Vibrex-paalujen mitoituskantavuudelle on asetettu yläraja. Tukipaaluina käytettävien kaivinpaalujen kantavuus voidaan vaihtoehtoisesti mitoitaa sallitun jännityksen menetelmän mukaan. Kallioon tukeutuvien kaivinpaalujen kantavuus mitoitetaan aina sallitun jännityksen menetelmän mukaan.

Teräsbetonisten lyöntipaalujen sekä pienten teräslyöntipaalujen mitoitustapahtuu edelleen Lyöntipaalutusohjeen LPO-87 pohjalta. Tätä osaa luvussa 10 ei ole oleellisin osin muutettu. Terminologiaa on täsmennetty käyttämällä sallitun jännityksen käsitettä geoteknisen kantavuuden ohella.

Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa - ohje täydentää Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n julkaisun RIL 121 Pohjarakennusohjeet 1988 suosituksia. Tässä julkaisussa on käytetty päänumerotasolla samaa kappalenumerointia kuin Pohjarakennusohjeissa 1988.

Ellei lähde ole mainittu, tarkoittaa tässä julkaisussa tehty viittaus Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa -ohjetta.

Ohjeen tarkistustyön ovat yhteistyössä tehneet *Pentti Salo geokeskuksesta* ja *Matti Kuusivaara siltakeskuksesta*. Ohjeesta ovat antaneet lausuntoja ja sitä ovat kommentoineet *prof Jorma Hartikainen* sekä siltakeskuksen ja geokeskuksen suunnittelijat.

Helsingissä syyskuussa 1996

*Siltakeskus ja Geokeskus*

|      |   |    |
|------|---|----|
| 10   | PERUSTAMINEN PAALUILLA . . . . .  | 7  |
| 10.1 | PAALUPERUSTUKSEN SUUNNITTELU . . . . .  | 7  |
| 10.2 | PAALUN KANTAVUUS JA KUORMITUKSET . . . . .                                      | 7  |
| 10.3 | LYÖNTIPAALUJEN RAKENTEELLINEN KANTAVUUS . . .                                   | 8  |
|      | 10.31 Teräsbetonipaalut . . . . .   | 8  |
|      | 10.32 Teräspaalut . . . . .   | 8  |
|      | 10.33 Puupaalut . . . . .   | 8  |
| 10.4 | SUURPAALUN RAKENTEELLINEN KANTAVUUS . . . . .                                   | 8  |
| 10.5 | LYÖNTIPAALUJEN GEOTEKNINEN KANTAVUUS . . . . .                                  | 9  |
|      | 10.51 Tukipaalun geotekninen kantavuus . . . . .                                | 9  |
|      | 10.52 Kitkapaalun geotekninen kantavuus . . . . .                               | 10 |
|      | 10.53 Koheesiopaalun geotekninen kantavuus . . .                                | 10 |
| 10.6 | SUURPAALUJEN GEOTEKNINEN KANTAVUUS . . . . .                                    | 11 |
|      | 10.61 Mitoituspäätökset . . . . .   | 11 |
|      | 10.62 Kallioon tukeutuva kaivinpaalu . . . . .                                  | 11 |
|      | 10.63 Moreeniin tukeutuva kaivinpaalu . . . . .                                 | 12 |
|      | 10.64 Karkearakeiseenmaakerrokseentukeutuva<br>kaivinpaalu . . . . .            | 13 |
|      | 10.65 Kaivinpaalu koheesiopaaluna . . . . .                                     | 13 |
|      | 10.66 Franki- ja Vibrex-paalut . . . . .  | 13 |
|      | 10.68 Suuret teräspalkkipaalut . . . . .  | 14 |
| 10.7 | VETOPAALU . . . . .   | 14 |
| 10.8 | PAALURYHMÄN KANTOKYKY JA PAINUMINEN . . . . .                                   | 14 |
| 10.9 | PAALUANTURA JA PAALUPERUSTUKSEN RAKEN-<br>NESUUNNITTELU . . . . .               | 14 |
|      | 10.91 Lyöntipaalutusohjeiden (LPO-87) mukai-<br>sesti tehtävät paalut . . . . . | 14 |
|      | 10.92 Suurpaaluohjeiden (SPO-95) mukaan teh-<br>tävät paalut . . . . .          | 15 |



## 10 PERUSTAMINEN PAALUILLA

### 10.1 PAALUPERUSTUKSEN SUUNNITTELU

Teräsbetonisten lyöntipaalujen sekä pienten teräslyöntipaalujen osalta paaluperustuksen suunnittelussa noudatetaan Suomen geoteknillinen yhdistys ry:n julkaisussa LPO-87 Lyöntipaalutusohjeet esitettyjä ohjeita. Suurpaalujen (läpimitta  $\geq 300$  mm ja kantavuus  $\geq 1,5$  MN) suunnittelussa noudatetaan julkaisuissa Suurpaalutusohje 1995 (SPO-95, RIL-212-1995) ja Teräsputkipaalut (TIEL 2173448, Hki 1993) esitettyjä ohjeita.

### 10.2 PAALUN KANTAVUUS JA KUORMITUKSET

Laskettaessa paaluperustuksen geoteknistä kantavuutta kuormayhdistelmä muodostetaan seuraavasti:

- kohdan 6.41 mukaisesti, kun mitoituksessa käytetään sallittujen jännitysten menetelmää (10.51, 10.62 ja 10.631)
- kun mitoituksessa käytetään rajatilamenetelmää, otetaan kuormayhdistelmään pysyvä kuorma ominaiskuorman suuruisena, vaikutukseltaan määräävä muuttuva kuorma 1,3-kertaisena ja muut muuttuvat kuormat 0,8-kertaisina (kohdat 10.632, 10.64, 10.66 ja 10.67). Muuttuva kuorma voi esiintyä myös arvolla nolla, jos tämä on määräävä.

Laskettaessa paaluperustuksen rakenteellista kantavuutta noudatetaan kuormien osalta tielaitoksen julkaisua Siltojen kuormat.

Paalun osalta on erikseen tarkistettava rakenteellinen ja geotekninen kantavuus. Edelleen on tapauskohtaisesti otettava huomioon:

- Paalun nurjahduskestävyys mitoitetaan lyöntipaaluilla LPO-87 kohdan 3.475 mukaan. Tämän kohdan ohjeita sovelletaan myös suurpaalujen nurjahdusmitoituksessa. Teräsputkipaaluilla ja muilla lyötävillä suurpaaluilla otetaan lisäksi huomioon Teräsputkipaalut-ohjeen kohta 5.2.
- Taivutusrasitukset, jotka johtuvat kuormien epäkeskisyydestä, toispuoleisesta maanpaineesta, maan siirtymisestä, paalun tai paalutetun tuen pakkoliikkeistä tai maan sivuvastuksen hyväksikäytöstä otetaan huomioon luvussa 13 esitetyllä tavalla.
- Maan painumisesta aiheutuva negatiivinen vaippahankaus otetaan huomioon LPO-87 kohdan 3.49 mukaisesti. Suurpaaluilla on lisäksi otettava huomioon, mitä SPO-95:n kohdassa 7.2.13 on sanottu.



## 10.3 LYÖNTIPAALUJEN RAKENTEELLINEN KANTAVUUS

### 10.31 Teräsbetonipaalut

Teräsbetonipaaluina käytetään SBK:n siltapaaluja (paalutusluokka II, koot 250x250 ja 300x300 mm<sup>2</sup>) tai siltasuunnitelmassa erikseen esitetyjä paaluja.

Jos on odotettavissa lyöntivaikeuksia, voidaan paalujen tunkeutuvuutta ja lyöntikestävyyttä parantaa käyttämällä

- paalujen lyöntipäissä LPO-87 kohdan 4.321 mukaista teräsvannetta
- lujempaa (K 50) betonia
- kalliokärkiä.

Paalujatkoksien tulee olla tielaitoksen hyväksymää jäykkäjätkostyyppiä. Kalliokärjillä tulee olla Ympäristöministeriön tyyppihyväksyntä. Poikkeavat jatkokset ja kallionkärjet tulee hyväksyttää rakennuttajalla.

Jos käytetään edellisistä poikkeavia teräsbetonisia lyöntipaaluja, tehdään niiden rakenteellinen mitoitus LPO-87 kohdan 4.3 ja Suomen rakentamismääräyskokoelman betonirakenteita koskevien määräysten ja ohjeiden mukaisesti.

### 10.32 Teräspaalut

Pienten lyötävien teräspaalujen rakenteellinen mitoitus tehdään LPO-87 kohdan 4.4 ja suurten teräspalkkipaalujen (kantavuus  $\geq 1,5$  MN ja läpimitta  $\geq 300$  mm) vastaavasti SPO-95:n kohtien 7.5 ja 7.7 sekä Teräspalkkipaalut-ohjeen kohdan 5 mukaisesti.

Ellei korroosiota estetä suojaustoimenpiteillä, käytetään normaaleissa korroosio-tilanteissa kaikenkokoisilla teräspaaluilla Teräspalkkipaalut-ohjeen kohdan 5.3 mukaisia korroosiovaran arvoja. Vaikeissa ja ennalta tuntemattomissa olosuhteissa on korroosiovähennyksen suuruus määritettävä tapauskohtaisesti erikseen (Vrt Teräspalkkipaalut-ohje, kohta 2.2.6).

### 10.33 Puupaalut

Pysyvissä siltarakenteissa ei käytetä puupaaluja. Poikkeuksen muodostaa vanhojen siltatukien hyväksikäyttö, ks. kohta 10.512.

## 10.4 SUURPAALUN RAKENTEELLINEN KANTAVUUS

Suurpaalujen rakenteellinen mitoitus tehdään SPO-95:n kohtien 7.5 - 7.7 mukaisesti. Betonipaaluilla otetaan huomioon RaMK B4:n määräykset ja liittorakennepaaluilla Liittorakenteet BY 26:n ja Liittorakenteiden sovellusohjeet BY 36:n määräykset sekä ottamalla huomioon paalun valmistustavasta johtuvat erikoispiirteet.

Kaivinpaaluja käytettäessä on aina selvitettävä vaippaputken tarve sekä tasoväli, millä vaippaputki on tarpeen, ks. SPO-95 kohdat 7.5, 8.5.1 ja 8.5.5.

## 10.5 LYÖNTIPAALUJEN GEOTEKNINEN KANTAVUUS

### 10.51 Tukipaalun geotekninen kantavuus

#### 10.511 Paalutusluokka

Teräsbetonisia lyöntipaaluja siltapaaluina käytettäessä paalutusluokka on joko II tai IB, erikoistapauksessa IA. Normaalitytapauksessa suunnitellaan paalutusluokkaa II käyttäen.

Paalutusluokkaa IB voidaan käyttää seuraavilla edellytyksillä:

- kohteessa on tehty perusteellinen pohjatutkimus
- kysymyksessä on tukipaalutus
- paalujen lyöntityö muodostuu kohtuulliseksi, ts.
  - maakerrokset ovat helposti läpäistäviä
  - paaluja ei lyödä paksun täytteen esim. penkereen tai massanvaihtotäytteen läpi
  - paalut lyödään selväpiirteiseen kovaan pohjakerrokseen
- kova pohja ei ole jyrkästi viettävä eikä kallio ole suoraan pehmeiden maakerroksien alapuolella
- paalutus voidaan tehdä ilman apupaalun käyttöä
- siltaan liittyvät maarakenteet suunnitellaan erityisen huolellisesti sellaisiksi, että ne eivät aiheuta lisäkuormia tai taivutusta siltapaaluille.

Pienten LPO-87:n mukaisesti tehtävien teräspaalujen osalta paalutusluokka harkitaan kussakin tapauksessa erikseen.

#### 10.512 Geotekninen kantavuus

Teräsbetonisen tukipaalun sallittuna puristusjännityksenä käytetään LPO-87 kohdan 3.422 mukaisesti paalutusluokassa II 7 MPa ja paalutusluokassa IB 9 MPa ottaen kuitenkin huomioon

- paalutukselle määrättävät tarkastustoimenpiteet
- vaikeat pohjasuhteet
- pienet paaluryhmät
- paalun pituus
- negatiivinen vaippahankaus.

Pienten teräsllyöntipaalujen sallitun puristusjännityksen ylärajaksi on LPO-87:n kohdassa 3.423 määritelty paalutusluokassa II 70 MPa ja paalutusluokassa IB 100 MPa. Tällaisia sallitun puristusjännityksen arvoja ei voida saavuttaa, ellei paaluja lyödä kallioon tukeutuviksi. Teräsllyöntipaalut on aina lyötävä geoteknisen kantavuuden saavuttamiseksi riittävällä lyöntienergialla ylittämättä teräspaaluille sallittuja lyöntijännityksiä ja paalun rakenteellinen kantavuus on korroosiovähennys huomioon ottaen erikseen mitoitettava. -



Teräslyöntipaalujen kantavuus tulee mitoittaa tapauskohtaisesti paalutyyppistä vastaavissa maaperäolosuhteissa saatujen kokemusten perusteella. Mitoitusohjeita on esitetty valmistajien laatimissa suunnitteluohjeissa. Myös pienillä lyötävillä teräsputkipaaluilla on edellä esitetyssä luettelossa mainitut näkökohdat sekä ainepaksuudesta LPO-87 kohdassa 3.4231 annetut ohjeet otettava huomioon. Kantavuus on varmistettava staattisin tai dynaamisin koekuormituksin.

Siltoja uusittaessa voidaan vanhoja paaluja käyttää hyväksi seuraavilla edellytyksillä:

- Paalutuksesta on käytettävissä luotettava piirustus.
- Tuki todetaan paikallaan pysyneeksi. Peruslaatan ja tukien kunto on tyydyttävä tai ne on mahdollista korjata.
- Mikäli kysymyksessä ovat puupaalut, voidaan vedenkorkeustietojen perusteella päätellä paalujen olleen pysyvästi vedenpinnan alapuolella.
- Vanhojen paalujen hyväksikäyttö helpottaa ratkaisevasti rakennustöitä ja aiheuttaa merkittävän kustannussäästön.

Jos vanha paalutettu antura käytetään sellaisenaan hyväksi, voidaan sallittuna puristusjännityksenä käyttää kohdan 6.41 mukaisesti muodostetulla kuormayhdistelmällä puupaaluilla 7 MPa ja teräsbetonisilla lyöntipaaluilla 7 MPa. Kaivinpaaluille voidaan sallia pienehköjä ylityksiä aikaisempiin kuormiin verrattuna. Mikäli vanhaa paalutusta täydennetään, on vanhojen ja uusien paalujen yhteistoiminta ja sallittavat kuormitukset selvitettävä kussakin tapauksessa erikseen.

### 10.52 Kitkapaalun geotekninen kantavuus

Teräsbetonisen lyöntipaalun geotekninen kantavuus kitkapaaluna selvitetään LPO-87 kohtaa 3.43 soveltaen tapauskohtaisten geoteknisten tarkastelujen perusteella. Suunnitteluvaiheessa on tehtävä kantokykylaskelmat geostaattisia kantavuuskaavoja soveltaen ja painumalaskelmat sekä laadittava alustavat lyöntiohjeet, jotka tarkistetaan rakennusvaiheessa koepaaluksin ja mahdollisesti dynaamisin koekuormituksin.

### 10.53 Koheesiopaalun geotekninen kantavuus

Koheesiopaaluja mitoitettaessa tulee varmistaa, että valittu siltatyyppi kestää odotettavissa olevat painumat. Paalujen kantavuus ja paaluryhmän painuma selvitetään geoteknisillä laskelmilla LPO-87 kohdan 3.44 ohjeita sekä yleisesti käytössä olevia laskentatapoja soveltaen.

## 10.6 SUURPAALUJEN GEOTEKNINEN KANTAVUUS

### 10.61 Mitoitusperiaatteet

Käytettävä kuormayhdistelmä valitaan kohdan 10.2 mukaan.

Kallioon tukeutuvan kaivinpaalun kantavuus määritetään aina sallittujen jännitysten menetelmää käyttäen. Moreeniin tukeutuvan tukipaalun kantavuus voidaan määrittää sallittujen jännitysten menetelmää käyttäen.

Kitkapaaluna toimivan kaivinpaalun kantavuus mitoitetaan aina SPO-95:n kohdassa 7.2 esitetyjä rajatilamitoituksen periaatteita noudattaen. Tuki-  
paaluna toimivan kaivinpaalun kantavuus voidaan haluttaessa myös mitoit-  
taa rajatilamitoitusta noudattaen. Geotekninen mitoituskantavuus ( $R_c$ )  
määritetään paalun kärkivastuksen ( $R_b$ ) ja vaippavastuksen ( $R_s$ ) summana  
SPO-95:n kohdan 7.2.4 mukaisesti. Paalun kärjen poikkileikkausalan  
yksikköä ( $A_b$ ) kohti laskettu mitoituskantavuus ( $R_c/A_b$ ) ei saa ylittää jäljem-  
pänä annettua raja-arvoa.

Franki- ja Vibrex- paalun kantavuus mitoitetaan SPO-95:n kohdassa 7.2  
esitetyjä rajatilamitoituksen periaatteita noudattaen. Paalun anturan tai  
kärjen poikkileikkausalan yksikköä kohti laskettu mitoituskantavuus ( $R_c/A_p$ )  
ei saa ilman iskuaaltomittauksella suoritettua paalun kantavuuden varmis-  
tusta ylittää jäljempänä annettua raja-arvoa.

Teräsputkipaalun kantavuus mitoitetaan SPO-95:n kohdassa 7.2 esitetyjä  
rajatilamitoituksen periaatteita noudattaen. Teräsputkipaalun kantavuusmi-  
toitus varmistetaan iskuaaltomittauksilla.

Paalun kantavuus voidaan iskuaaltomittauksessa määrittää luotettavasti  
vain käyttämällä paalun yläpäähän lyövää, riittävän painavaa pudotusjärkä-  
lettä.

### 10.62 Kallioon tukeutuva kaivinpaalu

Kallioon tukeutuvan kaivinpaalun sallittu puristusjännitys on normaalisti  
enintään 7 MPa.

Kallioon tukeutuvaksi suunniteltu kaivinpaalu voidaan tarvittaessa jättää  
välittömästi kallionpinnan päällä olevan, erittäin tiiviiksi iskostuneen pohja-  
moreenin varaan. Tällöin paalun sallittu puristusjännitys voi olla enintään 7  
MPa. Moreeni voidaan luokitella erittäin tiiviiksi iskostuneeksi pohjamo-  
reeniksi vain paalutustyön yhteydessä tehtävien havaintojen mm kaivu-  
vaikeuden perusteella.

Mikäli moreenikerros kallion pinnalla on erittäin ohut, tulee kallionpinnan  
muoto paalun lähiympäristössä selvittää riittävän yksityiskohtaisesti ja  
ottaa pinnan muoto huomioon paalun suunnittelussa.

Paalun kärjen luistaminen kallion pinnalla estetään ottamalla huomioon,  
mitä SPO-95:n kohdassa 7.2.10 on sanottu.



Reunapaineena toispuoleisesti rasitetussa kaivinpaalussa voidaan käyttää Pohjarakennusohjeiden kohdan 9.1 mukaisia arvoja, yleensä enintään 10 MPa.

Kallioon tukeutuvan suurpaalun kantavuutena voidaan käyttää 10 MPa seuraavilla edellytyksillä:

- Pohjatutkimusvaiheessa tehdään jokaisen erillisen paalun kohdalta vähintään 3 m kallioon ulottuva porakone- tai kallionäytekairaus, jonka on osoitettava, että kallio on ehjää.
- Käytetään riittävän tehokasta, pohjaolosuhteisiin soveltuvaa paalutuskalustoa.
- Kalliokontakti tarkistetaan ja tarvittaessa injektoidaan tielaitoksen erillisohjeiden mukaisesti.
- Varsi tutkitaan ultraäänimittauksella tai iskuaaltomittauksella. Tuloksien perusteella varsi on tarvittaessa injektoitava tielaitoksen erillisohjeiden mukaisesti.

### 10.63 Moreeniin tukeutuva kaivinpaalu

#### 10.631 Mitoitus sallittujen jännitysten menetelmällä

Sallitun jännityksen periaatetta noudatettaessa käytetään moreenikerrokseen tukeutuvaa kaivinpaalua aina tukipaaluna. Moreenikerrokseen riittävältä pituudelta upotetun kaivinpaalun sallittuna puristusjännityksenä voidaan käyttää 5 MPa.

Upotuspituus moreeniin määritetään taulukkoa 8 käyttäen. Moreenikerrosten tiiveys saadaan taulukosta 1 (liite 1). Taulukko sisältyy alkuperäiseen ohjeeseen, jossa se on esitetty luvussa 2.

Taulukko 8 Moreenikerrokseen tukeutuvan kaivinpaalun vähimmäisupotuspituus moreenikerrokseen, kun paalun sallittu puristusjännitys on 5 MPa ja kärjen painuma  $\leq 5$  mm. Moreenikerrosten tiiveys saadaan taulukosta 1 (liite 1).

| Paalun läpimitta [mm] | Upotuspituus moreenikerrokseen [m] |                 |            |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------|------------|
|                       | Löyhä [L]                          | Keskitiivis [K] | Tiivis [T] |
| 900                   | 4,0                                | 3,0             | 1,5        |
| 1200                  | 5,0                                | 4,0             | 2,0        |
| 1500                  | 6,0                                | 5,0             | 2,5        |

Suunnitteluvaiheessa voidaan paalun upotuspituudeksi valita pelkkien pohjatutkimustulosten perusteella joko löyhän tai keskitiiviin moreenin mukainen arvo. Upotuspituutta voidaan tarkistaa tiiviin moreenin mukaiseksi, jos työnaikaiset havainnot, mm. kaivuvaikeudet, tätä puoltavat.

### 10.632 Mitoitus rajatilamenetelmällä

Moreeniin tukeutuvan kaivinpaalun geotekninen kantavuus voidaan määrittää myös rajatilamitoitusmenetelmää käyttäen. Mitoitus tapahtuu SPO-95:n kohdan 7.2 mukaisesti. Geotekninen mitoituskantavuus  $R_c$  lasketaan SPO-95:n kohdan 7.2.4 mukaan. Geotekniseen kantavuuteen kuuluva siirtymätarkastelu suoritetaan SPO-95:n kohdan 7.2.11 mukaisesti.

Rajatilamitoitusta käytettäessä paalun kärjen poikkileikkausalan yksikköä kohti laskettu mitoituskantavuus ( $R_c/A_p$ ) saa olla enintään 7 MPa. Maakerrosten ominaisuudet otetaan huomioon SPO-95:n kohdan 7.2.5 mukaisesti.

### 10.64 Karkearakeiseen maakerrokseen tukeutuva kaivinpaalu

Karkearakeiseen maakerrokseen tukeutuva kaivinpaalu mitoitetetaan pääsääntöisesti kitkapaaluna. Mitoitus tapahtuu SPO-95:n kohdan 7.2 mukaisesti rajatilamitoitusmenetelmää käyttäen. Geotekninen mitoituskantavuus  $R_c$  lasketaan kohdan SPO-95 kohdan 7.2.4 mukaan. Maakerrosten ominaisuudet otetaan huomioon SPO-95:n kohdan 7.2.5 mukaisesti. Geotekniseen kantavuuteen kuuluva siirtymätarkastelu suoritetaan SPO-95 kohdan 7.2.11 mukaisesti.

Paalun kärjen poikkileikkausalan yksikköä kohti laskettu mitoituskantavuus ( $R_c/A_p$ ) saa olla enintään 7 MPa.

Kitkapaalun upotuspituuden mitoituksessa voidaan käyttää hyväksi SPO-95:n lisäksi teräsputkipaalut-ohjeessa esitettyjä mitoitusmenetelmiä. Mikäli vaippaputkea ei käytetä kitkamaa-osuudella, voidaan paalun ja maan välisenä kitkakulmana käyttää maan kitkakulmaa.

### 10.65 Kaivinpaalu koheesiopaaluna

Siltarakenteissa kaivinpaalua ei saa käyttää koheesiopaaluna.

### 10.66 Franki- ja Vibrex-paalut

Franki-paalun ja Vibrex-paalun geotekninen kantavuus määritetään SPO-95 kohdan 7.2 mukaisesti rajatilamitoitusta käyttäen kuten kohdassa 10.65.

Kun Franki-paalulla käytetään anturaa, lasketaan kantavuus anturan suurimman läpimitan mukaan määritettyä pinta-alaa kohti.

Paalun kärjen poikkileikkausalan yksikköä kohti laskettu mitoituskantavuus ( $R_c/A_p$ ) saa olla enintään 7 MPa.

Mikäli paalun kantavuus varmistetaan iskuaaltomittauksin tai staattisin koe-kuormituksin, voi paalun kantavuus ( $R_c/A_p$ ) olla enemmän kuin 7 MPa.

Kalliokärjellisen, Franki-tekniikalla lyötävän teräsputkipaalun kantavuus mitoitetetaan kuten teräsputkipaalun kantavuus, kohta 10.68.



## 10.68 Suuret teräsputkipaalut

Suurien teräsputkipaalujen geotekninen kantavuus määritetään SPO-95 kohdan 7.2 mukaisesti rajatilamitoitusta käyttäen ja ottaen huomioon paalun tyyppi (avoin vai suljettu) ja toimintapa (tukipaalu vai kitkapaalu). Teräskuorellinen betonipaalu mitoitetaan kuten kaivinpaalu ottaen kuitenkin huomioon kitkapaaluilla vaippamateriaalin vaikutus vaippavastukseen (SPO-95, kohta 7.2.6, kuva 9).

Teräsputkipaalun kantavuusmitoitus varmistetaan iskuaaltomittauksilla.

Teräsputkipaalun geoteknistä kantavuutta selvittäessä on tarkasteltava myös paalutuskalustolta vaadittava lyöntienergia sekä putken kestävyys lyöntivoimalle.

Siltarakenteissa teräsputkipaaluja ei saa käyttää koheesiopaaluina.

## 10.7 VETOPAALU

Teräsbetonisille ja pienille teräksisille lyöntipaaluille tulevaan vetorasitukseen nähden noudatetaan LPO-87 kohtien 2.25 ja 3.45 ohjeita.

Suurpaalujen osalta noudatetaan SPO-95 kohdan 7.2.14 ja Teräsputkipaalut-ohjeen kohdan 4.5 ohjeita.

## 10.8 PAALURYHMÄN KANTOKYKY JA PAINUMINEN

Kitka- ja koheesiopaalujen osalta koko paaluryhmän kantavuus ja siirtymät on tarkistettava yleisesti käytössä olevia laskentamenetelmiä noudattaen, sekä otettava tulokset huomioon rakennesuunnittelussa.

## 10.9 PAALUANTURA JA PAALUPERUSTUKSEN RAKENNESUUNNITTELU

### 10.91 Lyöntipaalutusohjeiden (LPO-87) mukaisesti tehtävät paalut

Paaluryhmää muodostettaessa tulee pyrkiä saamaan pysyvästä kuormista johtuvat paaluvoimat mahdollisimman samansuuruisiksi.

Paaluvoimia paaluryhmässä laskettaessa voidaan yleensä tehdä seuraavat oletukset:

- paaluantura on täysin jäykkä
- paaluanturan ja maan välillä vaikuttavaa pohjapainetta ei oteta huomioon
- paaluihin kohdistuvaa sivuvastusta ei oteta huomioon paalukuormia pienentävänä tekijänä
- paalut ovat päistään nivelellisesti kiinnitetyt
- paalut ovat tasapaksuja ja noudattavat Hooken lakia.

Paalujen keskiöetäisyyksissä, peruslaatan reunan etäisyydessä paaluista, paalujen kaltevuuksissa ja sallituissa mittapoikkeamissa noudatetaan LPO-87 kohdan 3.54 ohjeita. Jos paalujen sijaintipoikkeamiin esitetään suunnitelmakohtaisia edellisestä poikkeavia vaatimuksia, niiden tulee olla pohjasuhteet ja paalutustyön toteuttamistapa huomioon ottaen realistiset.

Paaluryhmä suunnitellaan normaalitapauksessa siten, että paalujen sijainnin ollessa suunnitelman mukainen sallitut paalukuormat eivät ylitä. Paalutustyön jälkeen tehtävillä mittauksilla selvitetään todelliset mittapoikkeamat. Jos ne ylittävät sallitut arvot, tehdään tarkistuslaskelmat. Tällöin yksittäiselle paalulle voidaan LPO-87 kohdan 5.75 mukaisesti sallia 15 %:n ylitys kantavuuteen. Tätä suuremmat ylitykset on korvattava lisäpaaluilla. Vain muutaman paalun muodostaman paalupukki- tms. rakenteen mitoitus tehdään siten, että suunnitelmassa edellytettyjen sijainti- ja suunta-poikkeamien toteutuessa sallitut paalukuormat eivät ylitä.

Paaluryhmän ja paaluanturan suunnitteluvaiheessa voidaan harkinnan mukaan varata paikkoja mahdollisesti tarvittaville lisäpaaluille.

Jos paalupituudet poikkeavat toisistaan huomattavasti, on myös niiden vaikutus otettava huomioon paalurasituksia laskettaessa.

Jos paaluryhmää laskettaessa em otaksumista poiketaan, on otettava huomioon myös paalujen saamat taivutus-, leikkaus- ja vääntörasitukset.

Paalujen muodonmuutoksien aiheuttamat perustuksen ja laakeritason siirtymät tulee määrittää. Kitkapaalujen painumien vaikutus tulee arvioida erikseen.

Niissä tapauksissa, joissa paalun nurjahdustarkastelu on tarpeellinen, vrt. kohta 10.2, on välttämätöntä ottaa huomioon myös paalun alkukäyrityksestä tai jatkoksissa esiintyvistä kulmanmuutoksesta johtuvat vaikutukset.

#### 10.92 Suurpaaluohjeiden (SPO-95) mukaan tehtävät paalut

Paalujen valmistustoleransseissa ja sijoituksessa noudatetaan SPO-95 kohdan 7.3 ohjeita. Sallitut toleranssit otetaan huomioon paalukuormissa ja rakennesuunnittelussa. Jos paalujen sijaintipoikkeamiin esitetään suunnitelmakohtaisia SPO-95:stä poikkeavia vaatimuksia, niiden tulee olla pohjasuhteet ja paalutustyön toteuttamistapa huomioon ottaen realistiset.

Teräsputkipaalujen etäisyydet muista rakenteista on esitetty suurpaalutusohjetta tarkemmin Teräsputkipaalut-ohjeen kohdassa 7.2.

*Taulukko 1. Karkearakeisten maalajien arviointi rakeisuuden ja kairausvastusten perusteella.*

| Maalaji                                      |        | Tilavuuspaino (kN/m <sup>3</sup> )<br>pohjavedenpinnan |          | Kitkakulma<br>$\phi$<br>(ast.) | Moduuli-   |            | Kairausvastukset 1) |                      |
|--|--------|--|----------|--------------------------------|------------|------------|---------------------|----------------------|
|  |        | yläpuol.   | alapuol. |                                | luku<br>m  | eksp.<br>B | painok.<br>pk/0,2 m | heijarik.<br>L/0,2 m |
| Hienohiekka<br>$d_{10} \leq 0,06$            | hHk L  | 15...17  | 9...     | 30                             | 50... 150  | 0.5        | 20... 50            | 5... 15              |
|  | K      |  |          | 33                             | 100... 200 | 0.5        | 50...100            | 15... 30             |
|  | T      | 16...18  | 11       | 36                             | 150... 300 | 0.5        | 100...              | 30...                |
| Hiekka<br>$d_{10} > 0,06$                    | Hk L   | 16...18  | 10...    | 32                             | 150... 300 | 0.5        | 10... 30            | 5... 12              |
|  | K      |  |          | 35                             | 200... 400 | 0.5        | 30... 60            | 12... 25             |
|  | T      | 17...19  | 12       | 38                             | 300... 600 | 0.5        | 60...               | 25...                |
| Sora   | Sr L   | 17...19  | 10...    | 34                             | 300... 600 | 0.5        | 10... 25            | 5... 10              |
|  | K      |  |          | 37                             | 400... 800 | 0.5        | 25... 50            | 10... 20             |
|  | T      | 18...20  | 12       | 40                             | 600...1200 | 0.5        | 50...               | 20...                |
| Moreeni                                      | Mr HL  | 16...19  | 10...12  | ...34                          | 300... 600 | 0.5        | ... 40              | ... 20               |
|  | L      | 17...20  | 10...12  | ...36                          | 600...     | 0.5        | 40...100            | 20... 60             |
|  | K      | 18...21  | 11...13  | ...38                          | 800...     | 0.5        | 100...              | 60...140             |
|  | T      | 19...23  | 11...14  | ...40                          | 1200...    | 0.5        | lyömällä            | 140...               |
| 2)Tiivistetty<br>täyte perus-<br>tusten alla | Louhe  | 15...18  | 9...11   | 45                             | 1200       | 0.5        |                     |                      |
|  | Murske | 19...22  | 11...13  | 42                             | 1200       | 0.5        |                     |                      |
|  | Sora   | 18...21  | 11...13  | 40                             | 1200       | 0.5        |                     |                      |

- 1) Maalajien tiivyyttä ei moreeneja lukuunottamatta saa yleensä arvioida pelkkien heijari-kairautulosten perusteella.
- 2) Näiden arvojen käyttö edellyttää, että työn suoritus ja materiaalit ovat Sillanrakennuksen yleisen työselityksen kohdan 3300, 2.11 /24/ mukaiset.

*Taulukko 2. Kitkakulmat kairausvastuksen perusteella ohjeen Teräsputkipaalut TVH 723448 mukaan /19/.*

| Suhteellinen<br>tiiviyys | Heijari-<br>kairaus<br>$N_{20}$<br>(L/0,2 m) | Puristin-<br>kairaus<br>$q_c$<br>(MPa) | Paino-<br>kairaus<br>1)<br>NHT<br>(pk/0,2 m) | SPT-<br>kairaus<br>3)<br>$N_{30}$<br>(L/0,3 m) | Kitka-<br>kulma<br>2)<br>(ast.) | Muodon-<br>muutos-<br>moduuli<br>$E_d$<br>(MPa) |
|--------------------------|--|--|--|--|---------------------------------|---|
| Hyvin löyhä              | < 5  | < 2,5                                  | < 10   | < 4  | 29 - 32                         | < 10  |
| Löyhä                    | 3 - 10                                       | 2,5 - 5,0                              | 10 - 30                                      | 4 - 10   | 32 - 35                         | 10 - 20   |
| Keskitiivis              | 8 - 17                                       | 5,0 - 10,0                             | 20 - 50                                      | 10 - 30  | 35 - 37                         | 20 - 30   |
| Tiivis                   | 12 - 36                                      | 10,0 - 20,0                            | 40 - 90                                      | 30 - 50  | 37 - 40                         | 30 - 60   |
| Hyvin tiivis             | > 30   | > 20,0                                 | > 80   | > 50   | 40 - 45                         | 60 - 90   |

- 1) Ennen suhteellisen tiivyyden määrittystä siltissä tulee painokairausvastus jakaa 1,3:lla.
- 2) Annetut arvot pätevät hiekalle. Siltille käytetään 3° pienempiä ja soralle 2° suurempia arvoja.
- 3) Taulukkoon on lisätty SPT-kairausvastuksen arvot.

ISBN 951-726-278-7  
TIEL 2170010