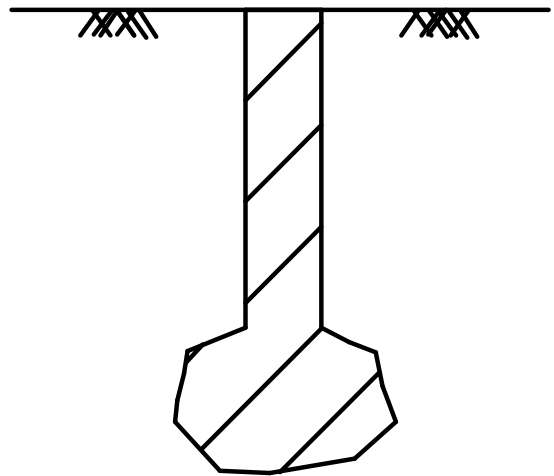
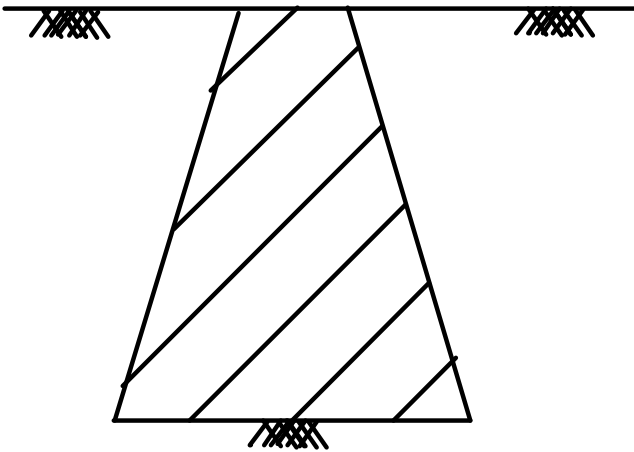
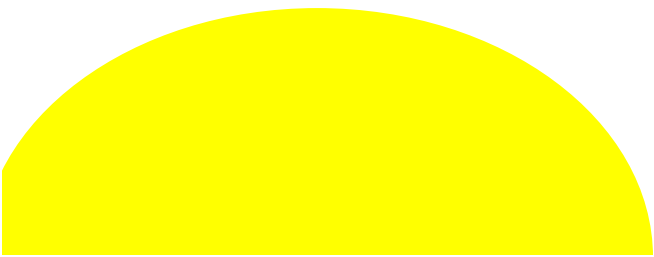


## Sivukuormitetut pilariperustukset



$$H \cdot (1,2 \cdot e) \cdot F = 0,375 \cdot k_1 \cdot K_P \cdot \gamma \cdot D \cdot L^3$$





# **Sivukuormitetut pilariperustukset**

**Suunnitteluvaiheen ohjaus**

ISBN 951-726-786-X  
TIEH 2100006-01

Edita Oyj  
Helsinki 2001

Julkaisua myy/saatavana:  
Tiehallinto, julkaisumyynti  
Telefaksi 0204 22 2652  
Sähköposti: [julkaisumyynti@tiehallinto.fi](mailto:julkaisumyynti@tiehallinto.fi)

**Tiehallinto**

Tie- ja liikennetekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 22 150

VASTAANOTTAJA  
Tiepiirit

SÄÄDÖSPERUSTA  
TieL 117.2 §

KORVAA/MUUTTAA  
Korvaa pilarimaisten perustusten osalta: Valaisinpylväiden, portaalien, opastustaulujen, liikennemerkkien ja aitojen pilarimaisen perustuksen valintaa koskevat tyyppiirustukset Th-419/16.5.1994 Meluesteperustukset, TIEL 2140007-94)

KOHDISTUVUUS  
Tiepiirit

VOIMASSA  
1.8.2001 - Toistaiseksi

ASIASANAT  
tie, varusteet ja laitteet, perustukset, laatuvaatimukset

---

## SIVUKUORMITETUT PILARIPERUSTUKSET, TIEH 2100006-01

Tätä ohjetta (TIEH 2100006-01) käytetään laatuvaatimuksena tien laitteiden, kuten melusteiden, valaisinpylväiden, portaalien, opastustaulujen, liikennemerkkien ja aitojen pylväiden perustamisessa.

Melusteiden maanvaraisten ja paalutettujen laattojen geotekninen mitoitus tehdään kuitenkin tyyppiirustusten ja julkaisun Meluesteperustukset valintataulukoiden tai vastaavien laskelmien avulla. Julkaisun Meluesteperustukset antamien maanvaraisten laattojen pidempää sivua voidaan kuitenkin lyhentää 10 % ja lyhempää sivua 100 mm, koska valintaehtojen epäedullisimmat tapaukset eivät yleensä toteudu yhtä aikaa, ja myös maan holvaantuminen antaa lisätukea.

Tätä ohjetta käytettäessä on tunnettava melusteeseen tai muuhun laitteeseen kohdistuva vaakakuorma ja kuorman resultantin korkeus maan pinnasta. Melusteiden osalta kuormat on esitetty julkaisussa Teiden suunnittelu V 3 Melusteet, Valaisinpylväiden osalta Teiden suunnittelu V 1 Valaistus, Opastustaulujen osalta julkaisussa Varusteluettelot (Tiel. selvityksiä 39/2000) ja siihen liittyvissä Opta2.xls-laskentataulukkoissa ([www.tiehallinto.fi/tlohje](http://www.tiehallinto.fi/tlohje)) ja liikennemerkkien ja aitojen osalta niitä koskevissa Tienrakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa ja työselityksissä. Viimeksi mainitussa tullaan esittämään myös tyypillisimmät perustamistavat mitoituksineen tavallisimmille aidoille ja liikennemerkeille.

Portaaleihin sovelletaan ensisijaisesti tyyppiirustuksia myös pilariperustuksille, kunnes uudet kuormien laskentaohjeet valmistuvat.

Markkinoilla olevien sarjavalmistestien pilariperustusten mitoista pyritään laatimaan yhteenveto suunnittelijoita varten. Tätä varten valmistajia pyydetään ottamaan yhteyttä Tiehallintoon Tie- ja liikennetekniikka-yksikköön (fax 0204 22 2312).

Apulaisjohtaja

Pauli Velhonoja

Diplomi-insinööri

Kari Lehtonen

TIEDOKSI: Hlp, Hte, Hsi, Htl, kirjasto  
Geokonsultit  
Kuntatekniikan yhdistys  
Oppilaitokset  
Ratahallintokeskus  
SML  
Suomen Geotekninen yhdistys  
Suomen Kuntaliitto  
Tiekonsultit

## SISÄLTÖ

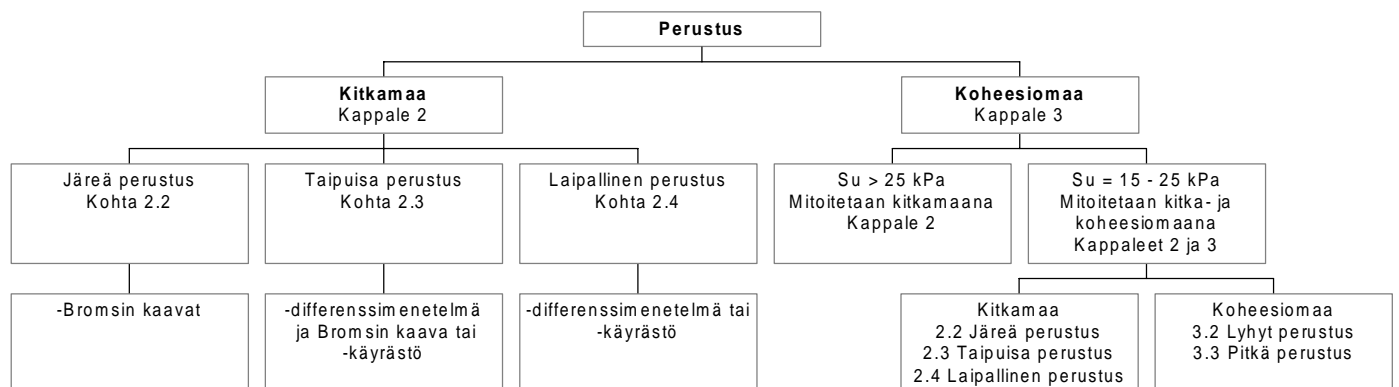
1	JOHDANTO	6
2	PERUSTUKSEN MITOITUS KITKAMAASSA	8
2.1	Mitoitustavan valinta	8
2.2	Järeän paalu- ja pilarimaisen perustuksen mitoitus	9
2.2.1	Lasketaan tunnetun perustuksen ja perusmaan kapasiteetti	10
2.2.2	Lasketaan tunnetun kuorman ja maaperän edellyttämä perustuksen koko ja murtokapasiteetti	11
2.3	Taipuisan tankomaisen perustuksen mitoitus	12
2.3.1	Esimerkki	13
2.4	Laipalliset perustukset	14
3	PERUSTUKSEN MITOITUS KOHEESIOMAASSA	17
3.1	Mitoitustavan valinta	17
3.2	Lyhyen jäykän perustuksen mitoitus	19
3.3	Pitkän taipuisan perustuksen mitoitus	20
4	MAAPARAMETRIT	21
5	PAIKALLISET PARAMETRIT	22
6	PYSTYKUORMIEN AIHEUTTAMAT RASITUKSET	23
7	ROUTANOUSUJEN RAJOITTAMINEN	27
8	KORROOSION HUOMIOIMINEN PERUSTUSTEN MITOITUKSESSA	29
9	KIINNITYSLAITTEET	30
10	LIITTEET	31

## 1 JOHDANTO

Tämä ohje on laadittu yhtenäistämään pilarimaisten ja paalumaisten perustusten mitoituskäytäntöä. Sen avulla voidaan mitoittaa kevyiden rakenteiden kuten liikennemerkkien, portaalien, valaisinpylväiden, melusteiden ja riista-aitojen perustukset. Ohjeen laatimisen yhteydessä on tarkennettu Tievalaistuksen käsikirjassa esitettyä maaparametrien valintataulukkoa. Tämän ohjeen perusteella voi urakoitsija halutessaan mitoittaa perustukset tapauskohtaisesti. Jos tilaaja hyväksyy voi urakoitsija tehdä kohteessa koekuormituksia erillisen koekuormitusohjeen mukaisesti, jolloin perustukset voidaan mitoittaa tarkemmin ja saada näin aikaan kustannussäästöjä.

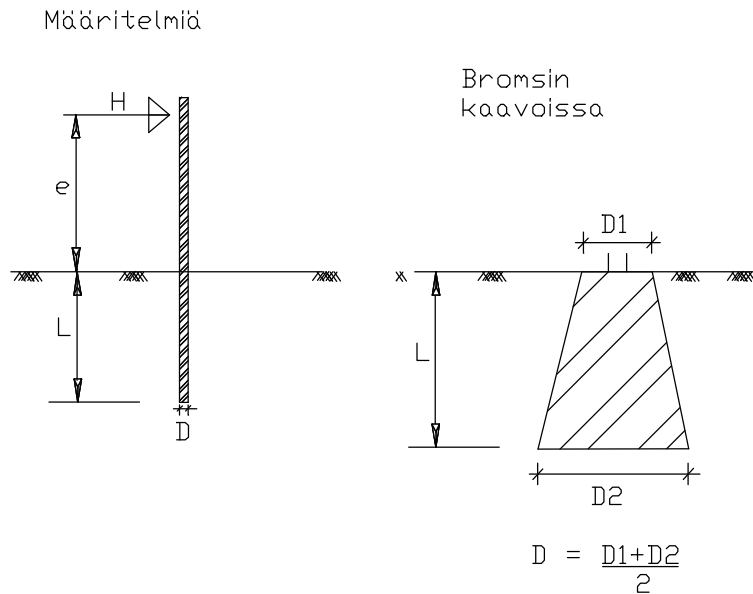
Tässä julkaisussa esitetyt kaavat sivukapasiteetin laskemiseksi perustuvat rakenteen staattiseen tarkasteluun. Mitoituskaavat on esitetty erikseen sekä kitka- että koheesiomaille. Mitoituksessa on huomioitava, että perustus voi toimia joko järeänä (jäykkänä, lyhyenä) jolloin maan sivukapasiteetti tulee mitoittavaksi tekijäksi tai taipuisana (hoikkana, pitkänä) jolloin maan sivukapasiteetin lisäksi perustuksen taivutuskapasiteetti tulee mitoittavaksi tekijäksi. Mitoitus on tehtävä aina niin, että ensin lasketaan maan sivukapasiteetti ja sen avulla lasketaan perustukseen syntyvä maksimi taivutusmomentti. Jos perustuksen taivutusmomenttikapasiteetti ylittyy lasketaan maan sivuvastus takaisinpäin käyttämällä maksimimomenttina perustuksen suurinta sallittua taivutusmomenttia.

Perustuksen hoikkuus vaikuttaa paalu- ja pilarimaisten perustusten mitoittamiseen merkittävästi. Tämän johdosta järeille ja taipuisille perustuksille esitetään omat mitoitusyhtälöt kitkamaassa sekä lyhyille ja pitkille perustuksille koheesiomaassa. Lisäksi laipalliset perustukset mitoitetaan kitkamaassa erikseen lähinnä hoikkien perustusten mukaisesti. Taipuisten ja laipallisten perustusten mitoitus kitkamaassa edellyttää atk-ohjelmien käyttöä, sillä mitoitusta ei voida tehdä tyydyttävästi yhtälöiden avulla. Perustusten yleisluontoinen mitoitusjako esitetään kaaviossa 1.



Kaavio 1. Mitoituksen kulku





Kuva 1. Ohjeessa käytettyjä määritelmiä.

### Käytetyt merkinnät

$L$  = perustuksen upotussyvyys maanpinnasta lukien

$D$  = perustuksen keskimääräinen leveys (kuva 1)

$e$  = vaakavoiman etäisyys maanpinnasta

$W$  = perustuksen taivutusvastus

$\sigma_u$  = perustusmateriaalin sallittu jännitys murtotilassa

\* A -luokan puutolpilla/-pylväillä voidaan käyttää Tiehallinnon kohteissa arvoa  $25 \text{ MN/m}^2$ .

$E$  = perustuksen kimmokerroin

$I$  = perustuksen jäyhyysmomentti

$\gamma$  = maan tilavuuspaino

$s_u$  = saven suljettu leikkauslujuus

$K_p$  = passiivipainekerroin

$k_f$  = luiskan muodosta aiheutuva kerroin,

$k_f = 1,00$  kun maanpinta on tasainen

$k_f = 0,7$  kun luiskakaltevuus on 1:3...1:4

$k_f = 0,5$  kun luiskakaltevuus on 1:1,5.

$F$  = varmuusluku = 1,35, jolloin siirtymä maanpinnassa on yleensä  $< 30 \text{ mm}$ . (Todettu laskentojen tulosten perusteella)

## 2 PERUSTUKSEN MITOITUS KITKAMAASSA

Tässä ohjeessa käytettävät kitkamaan parametrit löytyvät luvusta 4. Yhtälöissä käytetään maaparametriä  $K_p\gamma$ , mikä on annettu taulukoissa 1 & 2 eri maalajeille. Mikäli mitoitus tehdään hoikkien perustusten mitoitusohjelmalla, tarvitaan mitoitusohjelmissa yleensä taulukoissa annettuja maalajien tilavuuspainoja, kitkakulman ja alustaluvun arvoja.

### 2.1 Mitoitustavan valinta

Perustuksen mitoitus tehdään järeiden perustusten mitoitusyhtälöiden mukaisesti ( kohta 2.2), mikäli

$$\frac{(EI)^{0,6} \cdot (K_p\gamma)^{0,3}}{18 \text{ kN}^{-0,1} \text{ m}^{-0,7}} \geq H \cdot e \quad (1)$$

$EI$  = perustusmateriaalin jäykkyystekijä [ $\text{kNm}^2$ ]

$K_p\gamma$  = pohjamaan parametritekijä [ $\text{kN/m}^3$ ] (taulukko 1 & 2)

$K_p$  = passiivipainekerroin

$\gamma$  = pohjamaan tilavuuspaino [ $\text{kN/m}^3$ ]

$H$  = vaakavoima [ $\text{kN}$ ]

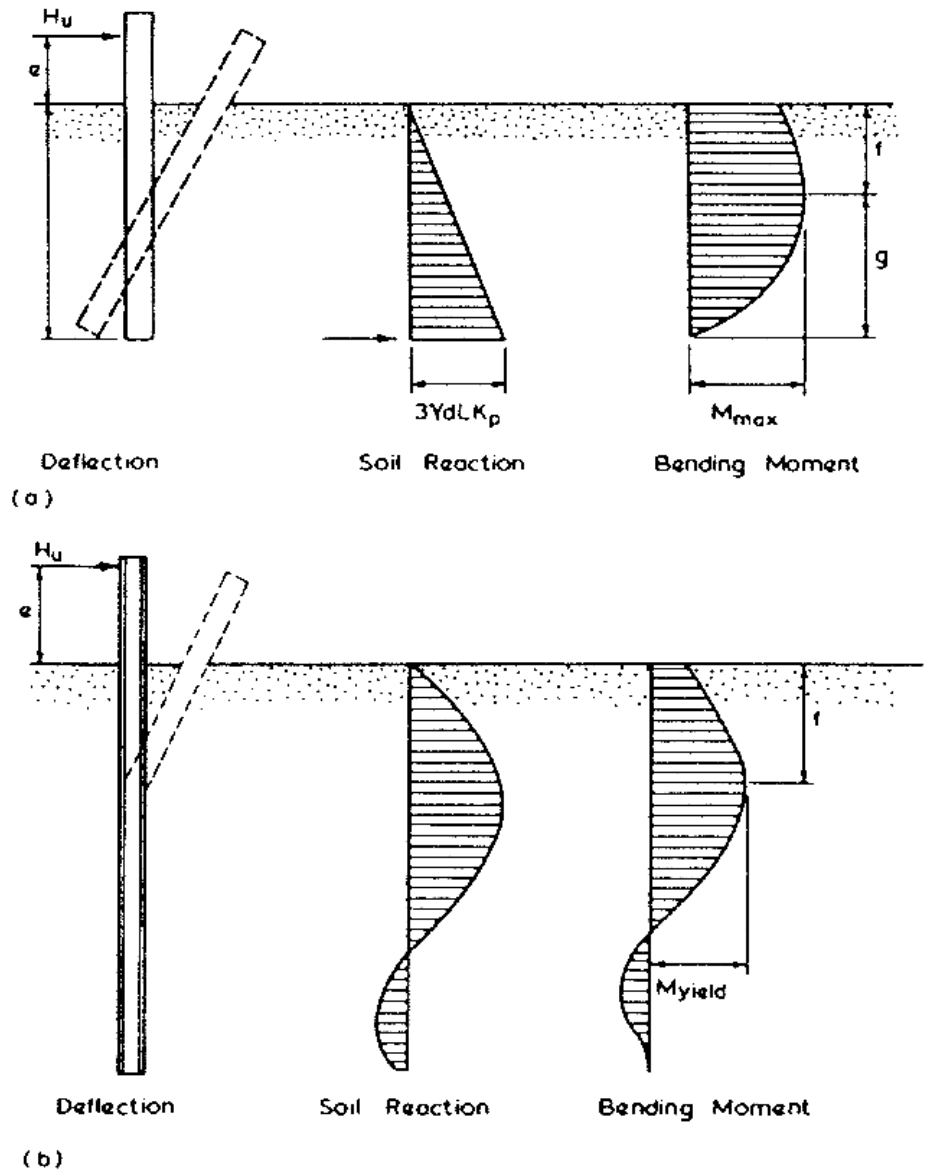
$e$  = vaakavoiman etäisyys maanpinnasta [ $\text{m}$ ]

Muussa tapauksessa perustuksen oletetaan olevan taipuisa, jolloin mitoitus on tarkistettava jollakin taipuisan perustuksen huomioivalla mitoitusohjelmalla kohdan 2.3 mukaisesti. Tällöin sovelletaan mitoitusta, joka antaa suurimman perustuksen. Laipalliset perustukset mitoitetaan pelkästään taipuisien perustusten mukaisesti, koska Bromsin kaavat eivät ota huomioon laippojen vaikutusta.

## 2.2 Järeän paalu- ja pilarimaisen perustuksen mitoitus

Kitkamaassa järeän paalu- ja pilarimaisen perustuksen toiminta on mitoitettava seuraavia tarkastelutilanteita varten:

- A) Maan murtumisen/yläpään sallittujen siirtymien vuoksi
- B) Perustuksen murtumisen vuoksi



Kuva 2. Järeän perustuksen murtomekanismit kitkamaassa.

Tässä luvussa esitetään järeille perustuksille kaksi laskentatilannetta:

1. Lasketaan tunnetun perustuksen kapasiteetti tunnetussa maalajissa. Ratkaistavana suurena  $H_{SALL}$ .
2. Lasketaan tunnetun kuorman edellyttämä perustuskoko tunnetussa ympäristäytteessä. Ratkaistavana suurena  $L$  ja/tai  $D$ .

Järeiden perustusten mitoituskaavat perustuvat Bengt Bromsin teoriaan. Kaavoja on kuitenkin muutettu niin, että differenssilaskentamenetelmällä lasketut siirtymät maanpinnassa eivät ylitä 30 mm:ä. Alla on esitetty alkuperäinen Bromsin kaava (2) ja muutettu kaava (3). Lisää alkuperäisiä kaavoja liitteessä.

$$H \cdot (e + L) \cdot F = 0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D \cdot L^3 \quad (2)$$

$$H \cdot (1,2 \cdot e) \cdot F = 0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D \cdot L^3 \quad (3)$$

### 2.2.1 Lasketaan tunnetun perustuksen ja perusmaan kapasiteetti

Perustuksen suurin sallittu vaakakuormitus saadaan valitsemalla kohtien A ja B tuloksista pienin. Tunnetaan perustuksen halkaisija  $D$ , upotussyvyys  $L$ , taivutusvastus  $W$ , perustusmateriaalin suurin sallittu jännitys  $\sigma_u$  murtorajatilassa, vaakavoiman etäisyys  $e$  maanpinnasta, maan passiivipainekerroin  $K_p$ , maan tilavuuspaino  $\gamma$  sekä luiskan muotokerroin  $k_1$ .

- A) Lasketaan suurin vaakakuorma jolla maa ei murru.** Lasketaan sallittu vaakakuorma  $H_{SALL}$ , kun maan murtumisena pidetään perustuksen 30 mm siirtymää maanpinnassa.

$$H_{SALL} = \frac{0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D \cdot L^3}{1,2 \cdot e \cdot F} \quad (4)$$

- B) Lasketaan suurin vaakakuorma, jolla perustus ei katkea.** Lasketaan sallittu vaakavoima  $H_{SALL}$  perustuksen taivutuskestävyyden ja perustukseen kohdistuvan maksimitaivutusmomentin avulla.

$$H_{SALL} = \frac{\sigma_u \cdot W}{e + 0,55 \sqrt{\frac{\sigma_u \cdot W}{(e + 0,5m)(D \cdot K_p \cdot \gamma)}}} \quad (5)$$

Kysymyksessä on likiarvokaava, jossa momentin maksimi on oletettu 0,5 m syvyyteen. Hieman tarkempi tulos saadaan alkuperäisillä yhtälöillä 6 ja 7. Perustukseen syntyvä maksimitaivutusmomentti  $M_{PVAAD}$  saadaan kaavalla 7. Tämän tulee olla pienempi kuin  $M_{PSALL}$  0,3 – 0,7 m syvyydessä.

$$M_{PSALL} = \sigma_u \cdot W \quad , \sigma_u \text{ murtorajatilassa} \quad (6)$$

$$M_{PVAAD} = H \cdot e + H^{1,5} \cdot 0,55 \cdot \frac{1}{\sqrt{D \cdot K_p \cdot \gamma}} \quad (7)$$

- C)** Lasketaan suurin vaakakuorma jolla perustus on niin jäykkä että yhtälöt A ja B ovat voimassa. Lasketaan sallittu vaakakuorma  $H_{SALL}$  yhtälöllä 8 mitoitustavan määritysytälön (kaava 1) mukaisesti.

$$H_{SALL} = \frac{(EI)^{0,6} \cdot (K_p \gamma)^{0,3}}{e \cdot 18 \text{ kN}^{-0,1} \text{ m}^{-0,7}} \quad (8)$$

### 2.2.2 Lasketaan tunnetun kuorman ja maaperän edellyttämä perustuksen koko ja murtokapasiteetti

Kun tunnetaan vaakakuormitus  $H$ , kuorman etäisyys maanpinnasta  $e$ , perustuksen taivutusvastus  $W$ , perustusmateriaalin suurin sallittu jännitys  $\sigma_u$  murtorajatilassa, maan passiivipainekerroin  $K_p$ , maan tilavuuspaino  $\gamma$ , luisukan muotokerroin  $k_1$  sekä varmuuskerroin  $F$  voidaan määrätä vaadittava perustuksen halkaisija  $D$ , upotussyvyys  $L_{VAAD}$ , perustuksen kapasiteetti murtumista vastaan  $M_{PVAAD}$  sekä jäykkyys  $(EI)_{VAAD}$ . Perustuksen valmistajan on ilmoitettava tarvittaessa nämä tiedot.

- A)** **Perustuksen koon määritys.** Jos perustuksen muoto annetaan urakoitsijan tai valmistajan valittavaksi, esitetään vaatimuksena yleensä  $DL^3$ -mitta. Tarvittava perustuksen mitoitustekijä  $DL^3$  saadaan määritettyä yhtälöllä 9.

$$DL^3_{VAAD} = \frac{1,2 \cdot e \cdot H \cdot F}{0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma} \quad (9)$$

Jos perustuksen toimittaja saa valita vain  $L$ :n tai  $D$ :n, mutta ei molempia, kaavat ovat (10) ja (11).

$$D_{VAAD} = \frac{1,2 \cdot e \cdot H \cdot F}{0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot L^3} \quad (10)$$

$$L_{VAAD} = 3 \sqrt{\frac{1,2 \cdot e \cdot H \cdot F}{0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D}} \quad (11)$$

- B) Tarkistetaan murtuuko perustus.** Perustukselta vaadittu murtokapasiteetti 0,3 – 0,7 metrin syvyydessä lasketaan kaavalla 7, missä perustuksen halkaisijana käytetään valittua arvoa D.

$$M_{PV\text{AAD}} = H \cdot e + H^{1,5} \cdot 0,55 \cdot \frac{1}{\sqrt{D \cdot K_p \cdot \gamma}} \quad (7)$$

Perustuksen murtokapasiteetti saadaan kaavasta (6) tai koekuormittamalla.

$$M_{PS\text{ALL}} = \sigma_u \cdot W, \quad \sigma_u \text{ murtorajatilassa} \quad (6)$$

- C) Tarkistetaan onko perustus niin jäykkä, että yllä olevat yhtälöt A ja B ovat voimassa.** Lasketaan perustuksen vaadittu jäykkyys  $(EI)_{VAAD}$  yhtälöllä 12 mitoitustavan määritysytälön 1 mukaisesti.

$$EI_{VAAD} = \frac{(H \cdot e \cdot 18)^{\frac{1}{0,6}} \frac{\text{kN}}{\text{m}}^{-\frac{1}{6}} \text{m}^{-\frac{1}{6}}}{\sqrt{K_p \cdot \gamma}} \quad (12)$$

### 2.3 Taipuisan tankomaisen perustuksen mitoitus

Yhtälön 1 mukaan taipuisiksi osoittautuneet perustukset on mitoitettava mitoitushjelmalla, joka huomioi perustuksen taipumisen. Ohjelmassa on oltava seuraavat ominaisuudet:

- perustuksen muoto voidaan syöttää
- käyttää alustalukumenetelmää
- laskee vaakasiirtymät eri syvyyksillä
- huomioi perustuksen taipumisen
- antaa samat tulokset kuin kuvissa 4 ja 5

Ohjelmaksi sopii esimerkiksi Matti Saareلمان sivupaaluohjelma, mikä käyttää differenssimenetelmää. Mitoituksessa on huolehdittava seuraavien ehtojen toteutumisesta:

- mitoituksessa perustuksen maksimisiirtymä maanpinnassa on 30 mm, eikä maa murru
- perustuksen taivutuskestävyys  $M_{PS\text{ALL}}$  on suurempi kuin perustukselta vaadittava momentti  $M_{PV\text{AAD}}$  (yhtälö 7)
- parametrit otetaan taulukoista 1 ja 2
- perustuksen sallittu vaakakuorma H on enintään sama ja upotussyvyys L vähintään sama kuin vastaavat arvot olisivat, mikäli perustus mitoitettaisiin järeeänä kohdan 2.2 mukaisesti

Yhtälön 1 mukaan määräytyvillä taipuisilla perustuksilla mitoitettavaksi tekijäksi määräytyy useimmiten perustuksen taivutuskestävyys. Mikäli perustuksen murtokapasiteettia ja samalla jäykkyyttä EI suurennetaan, perustustapaus yleensä palautuu järeeksi perustustavaksi (yhtälö 1). Kohdassa 2.3.1 esitetään kuitenkin esimerkkinä yhden taipuisan perustuksen mitoitustilanne.

### 2.3.1 Esimerkki

Mitoitetaan perustus puupylväs 270 mm hiekkamaassa. Tarkistetaan aluksi perustuksen mitoitusjäreä vai taipuisa (yhtälö 1).

$$(H \cdot e)_{SALL} = \frac{(EI)^{0,6} \cdot (K_P \gamma)^{0,3}}{18 \text{ kN}^{-0,1} \text{ m}^{-0,7}} = \frac{(1998 \text{ kNm}^2)^{0,6} \cdot (50 \text{ kN/m}^3)^{0,3}}{18 \text{ kN}^{-0,1} \text{ m}^{-0,7}} = 17,2 \text{ kNm}$$

Momentti maanpinnassa saa olla enintään 17,2 kNm, jotta perustus voitaisiin mitoittaa järeänä perustuksena.

Mitoituskohteessa vaakakuorma on 3 kN ja sen etäisyys maanpinnasta on 7 m. Tällöin momentin suuruus on 21 kNm eli suurempi kuin sallittu arvo. Näin perustus on mitoittava taipuisana perustuksena.

Puupylväältä ( $\sigma_u = 25 \text{ MN/m}^2$ ) vaadittu taivutusmomentti saadaan yhtälöllä 7  $M_{PVAAD} = 21,77 \text{ kNm}$ , mikä täyttää ehdon  $M_{PVAAD} \leq M_{PSALL}$ , sillä  $M_{PSALL} = n \cdot 48 \text{ kNm}$ . Pylväs siis kestää sille suunnitellun kuorman.

Haetaan tarvittava perustuksen upotussyvyys L Saareلمان sivupaalu-ohjelmalla. Ohjelmaan syötetään puupylvään ominaisuudet ja hiekkamaan parametrit. Putken upotussyvyttä L varioimalla haetaan seuraavaksi riittävä upotussyvyys, jolla putken sivusiirtymä alittaa vaadittavan 30 mm rajan maanpinnassa. Pylvään sallittavaksi upotussyvydeksi L saadaan 2,0 m.

Ratkaistaessa sama perustustapaus järeiden perustustapausten mukaisesti kaavalla 11 saataisiin perustussyvydeksi vain 1,89 m.

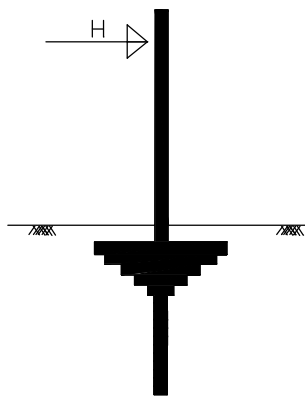
## 2.4 Laipalliset perustukset

Laipallisten perustusten mitoituksessa on laipan kuvaaminen yhtälöissä ongelmallista. Parhaiten mitoitus onnistuu mitoitusohjelmilla, missä laippa pystytään kuvaamaan riittävällä tarkkuudella. Tällöin mitoitusperusteena on sallittu siirtymä ja perustuksen taivutuskestävyys. Sallitun perustussyvyyden tulee täyttää ehdot:

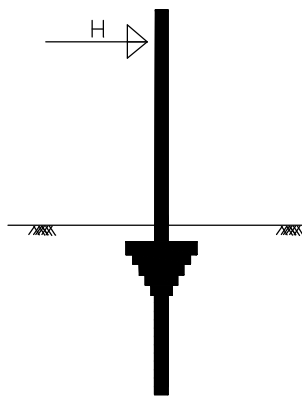
- perustuksen siirtymä maanpinnassa max 30 mm
- perustuksen kestävyys on riittävä (määritetään yhtälöillä 6 ja 7, jolloin laippoja ei huomioida)

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty kahdella eri laipalla varustettujen ht 32 mm ja 60,3/2 mm perustusten perustussyvyyskuvaajat, kun perustuksen siirtymä maanpinnassa on hiukan alle 30 mm. Mitoitus on tehty Saareلمان sivupaaluohjelmalla, missä laipat on kuvattu kuvan 3 mukaisesti. Kuvissa esitetään ilman laippoja olevan perustuksen upotussyvyys, sekä 200 ja 400 mm levyisillä laipoilla varustettujen perustusten upotussyvyydet. Kuvien perusteella voidaan iteroida muunkokoisten laippojen vaatimia perustussyvyyksiä. Lisäksi kuvissa esitetään perustuksen sallittua taivutusmomenttia vastaava vaakavoiman suuruus.

Ht 32 + laippa 400 mm



Ht 32 + laippa 200 mm

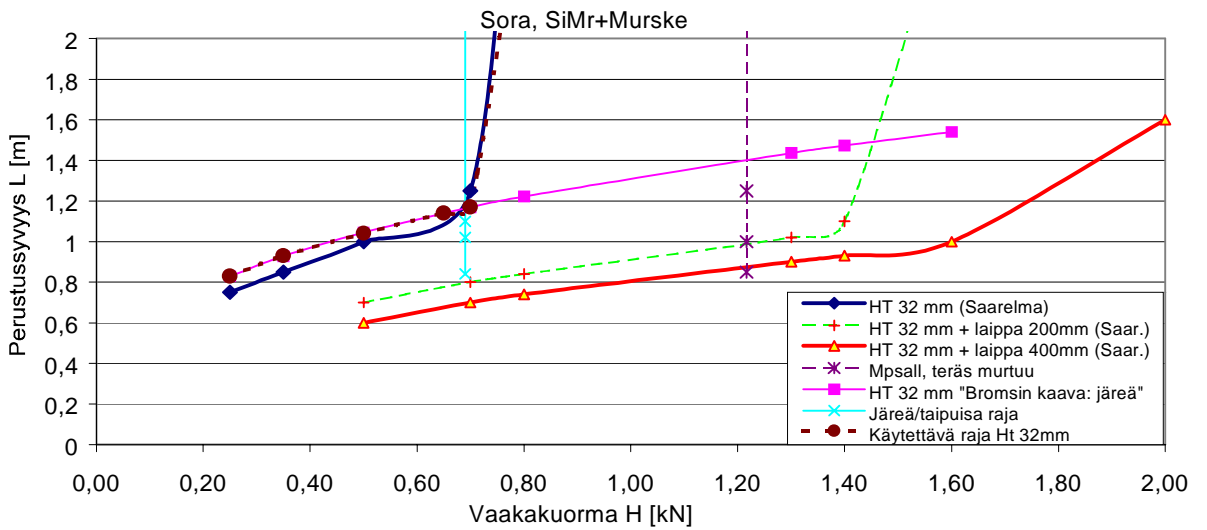
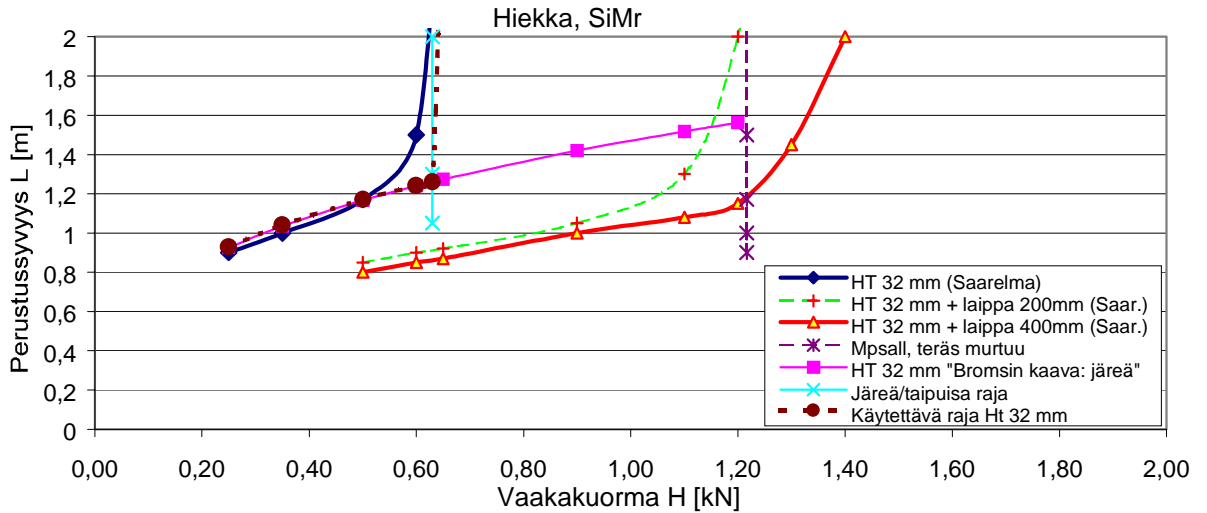


Kuva 3. Saareلمان sivupaaluohjelmalla muodostettu malli perustuksista, joissa on 400 tai 200 mm levyinen ja 400 mm korkuinen laippa.



Harjateräs 32 mm

A500HW,  $W = 3,22 \text{ cm}^3$   $\sigma_u = 500/1,1 \text{ MPa}$   $M_{PSALL} = W\sigma_u = 1,46 \text{ kNm}$   
 $EI = 10,8 \text{ kN/m}^2$  Vaakavoiman etäisyys maanpinnasta  $e = 1,2 \text{ m}$



Kuva 4. Laipallisten ja laipattoman harjateräksen upotussyvyys vaakakuormituksen mukaan hiekka- ja soramaassa, kun  $e = 1.2 \text{ m}$ . Mitoituksessa käytetään laipallisille perustuksille Saareلمان ohjelmalla saatua käyrää sellaisenaan, ei kuitenkaan perustuksen rungon tai laipan murto-kuorman ylittävillä kuormilla  $H$ . Muut vastaavat mitoitusohjelmat on kalibroitava näitä käyriä vastaaviksi ( $L = L_{\text{saareлма}} \pm 10\%$ ).

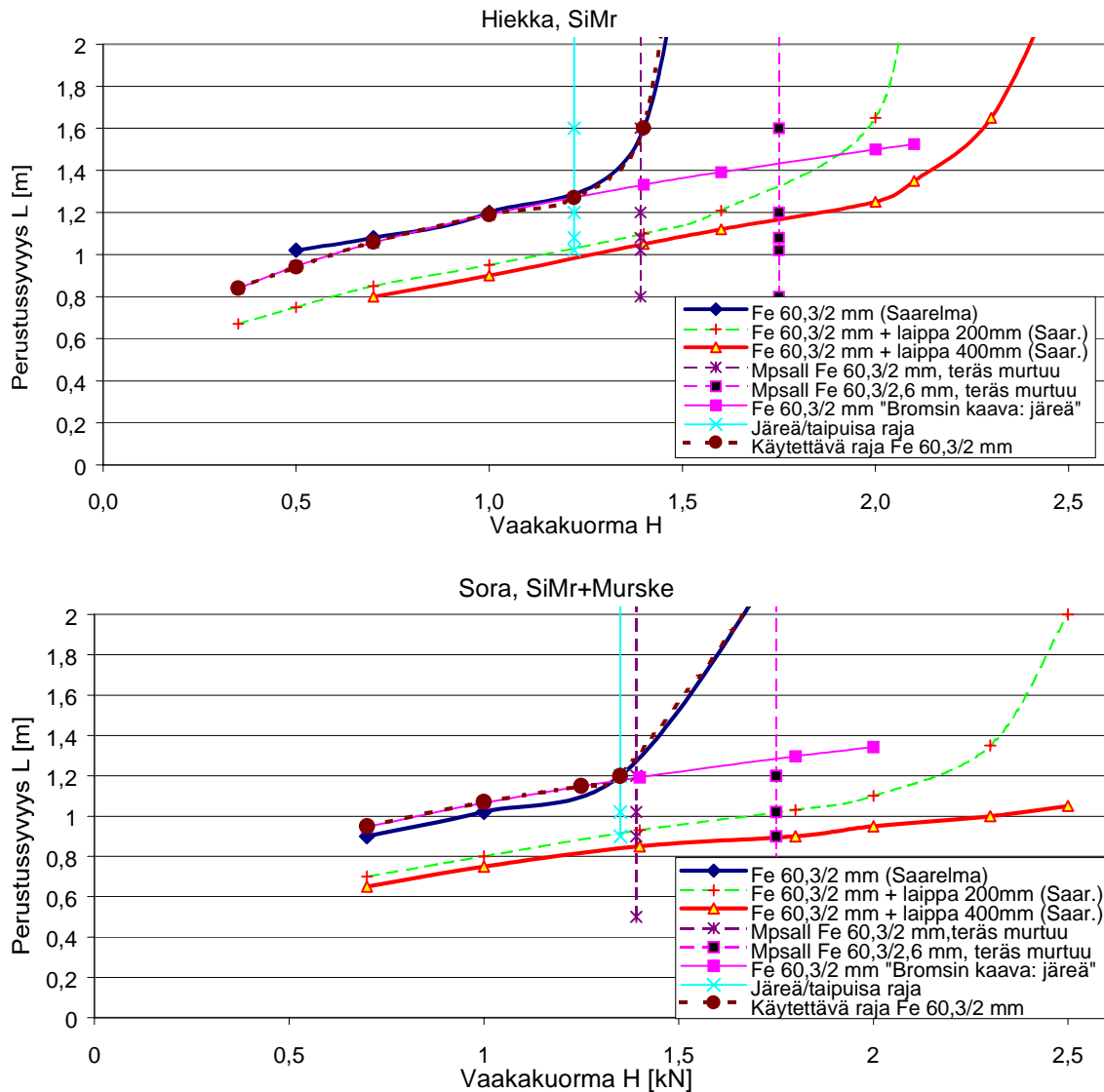
Pelkällä harjateräksellä käytetään järeällä alueella (hiekassa  $H < 0,63 \text{ kN}$ ) parannetulla Bromsin kaavalla saatua tulosta ja taipuisalla alueella Saareلمان ohjelmalla laskettua tulosta (tumma pisteiviiva), kunnes saavutaan rajalle, jossa teräs murtuu.

## Teräsputki 60,3/2 mm

Fe 52 D  $W = 5,17 \text{ cm}^3$   $\sigma_u = 355/1,1 \text{ MPa}$   $M_{PSALL} = W\sigma_u = 1,67 \text{ kNm}$

$EI = 32,76 \text{ kN/m}^2$  Vaakavoiman etäisyys maanpinnasta  $e = 1,2 \text{ m}$ .

$M_{PSALL}$  esitetty kuvissa putkille 60,3/2 mm ja 60,3/2,6 mm.



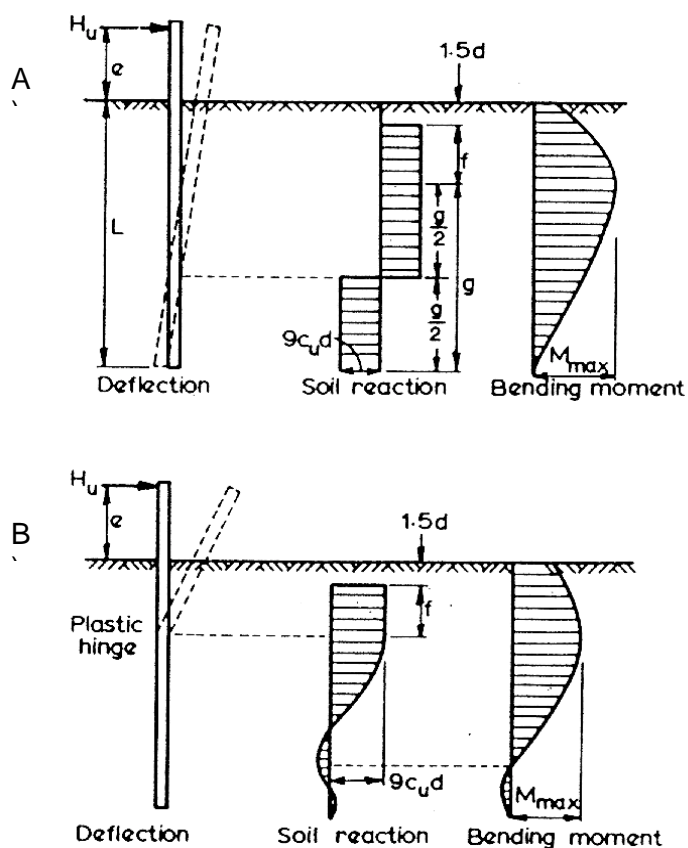
Kuva 5. Laipallisten ja laipattoman teräsputken Fe 60,3 mm upotussyvyys vaakakuormituksen mukaan hiekka- ja soramaassa, kun  $e = 1.2 \text{ m}$ . Mitoituksessa käytetään laipallisille perustuksille Saarelman ohjelmalla saatua käyrää sellaisenaan, ei kuitenkaan perustuksen rungon tai laipan murtokuorman ylittävillä kuormilla  $H$ . Muut vastaavat mitoitusohjelmat on kalibroitava näitä käyriä vastaaviksi ( $L = L_{\text{saarelma}} \pm 10 \%$ ). Pelkällä teräsputkella käytetään järeällä alueella (hiekkassa  $H < 1,22 \text{ kN}$ ) parannetulla Bromsin kaavalla saatua tulosta ja taipuisalla alueella Saarelman ohjelmalla laskettua tulosta (tumma pisteiviiva), kunnes saavutaan rajalle, jossa teräs murtuu.

### 3 PERUSTUKSEN MITOITUS KOHEESIOMAASSA

Perustus mitoitetaan koheesiomaassa maaparametritaulukossa (taulukko 1) esitetyn ohjein. Mikäli kuivakuorisaven ( $h > 1$  m) leikkauslujuus  $s_u \geq 30$  kPa mitoitetaan perustus maalajin P4 parametreilla kitkamaan kaavoilla. Muissa savi- ja silttimaissa, joiden leikkauslujuus  $s_u > 25$  kPa mitoitetaan perustus kitkamaan maalajin P5 parametreilla. Saven tai siltin leikkauslujuuden ollessa  $s_u = 15 - 25$  kPa on perustus mitoitettava koheesiomaana kohtien 3.1 - 3.2 mukaisesti, sekä kitkamaan maalajin P6 parametreilla. Saaduista arvoista valitaan pienempi  $H_{SALL}$ .

#### 3.1 Mitoitustavan valinta

Koheesiomaassa paalu- ja pilarimaisen perustuksen toiminta on riippuvainen perustuksen pituudesta ja jäykkyydestä kitkamaan tapaan. Lyhyiksi ja jäykiksi sanotaan perustuksia, joiden vaakasuuntainen kapasiteetti on riippuvainen yksinomaan maan kapasiteetista, kun puolestaan pitkiä ja taipuisia sanotaan perustuksia joiden vaakasuuntainen kapasiteetti on maan kapasiteetin lisäksi riippuvainen perustuksen taivutusmomentista (kuva 6).



Kuva 6. Murtomekanismit koheesiomaassa. A) Lyhyt/jäykkä perustus, B) Pitkä/taipuisa perustus.

Koheesiomaassa maanpinnan oletetaan olevan kaikissa tapauksissa vaakasuora, joten luiskakertoimia ei käytetä. Mikäli tarkastellaan koheesiomaassa olevaa luiskarakennetta on tarkasteltava koko luiskan vakavuutta. Koheesiomaassa perustuksen sallittuna siirtymänä maanpinnassa käytetään 20 mm ja vaakakuormalle käytetään varmuuskerrointa 2,0. Varmuuskerroin on huomioitu yhtälössä 14, millä määritetään perustuksen sallittu vaakakuorma.

Koheesiomaassa perustuksen kapasiteettia tarkasteltaessa tarkistetaan tekijän  $\beta$  (yhtälö 13) avulla toimiiko perustus ns. pitkänä vain ns. lyhyenä paaluna (kuva 6). Tällöin perustuksen upotussyvyys L on tunnettava tai esitettävä hyvä arvio upotussyvyydestä, mitä mitoituksen yhteydessä voidaan tarkentaa.

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{k_h \cdot D}{4 \cdot EI}} \quad (13)$$

$$, \text{ kun alustaluku } k_h = 100 \cdot \frac{s_u}{D} \text{ saadaan } \beta = 4 \sqrt{\frac{25 \cdot s_u}{EI}}$$

$EI$  = perustuksen jäykkyys

Jos  $\beta L \leq 1,5$ , niin paalu toimii ns. lyhyenä jäykkänä paaluna

Jos  $\beta L \geq 2,5$ , niin paalu toimii ns. pitkänä taipuisana paaluna.

Mikäli jäykkyyssuhde  $\beta L$  1,5...2,5 niin väliarvot interpoloidaan suoraan mukaisesti yhtälön 14 mukaisesti.

"Lyhyt" tai "pitkä" perustus on mitoitettava seuraavia tarkastelutilanteita varten:

- A) Maan/perustuksen murtumisen vuoksi
- B) Yläpään sallittujen siirtymien johdosta

Tarkastelutilanteista A ja B saaduista arvoista  $H_{SALL}$  valitaan pienempi, jota käytetään **perustuksen sallitun vaakakuorman määrittämisessä, mikä tapahtuu yhtälöllä 14.**

Yhtälö 14:

$$H_{SALL} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ kun } \beta \cdot L \leq 1,5 \\ 2,5 - \beta \cdot L, \text{ kun } 1,5 \leq \beta \cdot L \leq 2,5 \\ 0, \text{ kun } \beta \cdot L \geq 2,5 \end{array} \right\} \cdot 0,5 \cdot H_{SALL\_J} + \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ kun } \beta \cdot L \leq 1,5 \\ \beta \cdot L - 1,5, \text{ kun } 1,5 \leq \beta \cdot L \leq 2,5 \\ 1, \text{ kun } \beta \cdot L \geq 2,5 \end{array} \right\} \cdot 0,5 \cdot H_{SALL\_T}$$

$H_{SALL\_J}$  = jäykälle/lyhyelle perustukselle sallittu vaakakuorma

$H_{SALL\_T}$  = taipuisalle/pitkälle perustukselle sallittu vaakakuorma

### 3.2 Lyhyen jäykän perustuksen mitoitus

Yhtälön 13 perusteella määräytyneen lyhyen jäykän perustuksen mitoitus tehdään kohtien A ja B perusteella. Lasketaan maan murtumista ja sallittua siirtymää vastaavat sallitut vaakakuormat  $H_{SALL}$ , joista **valitaan pienempi jäykälle perustukselle sallituksi arvoksi  $H_{SALL_J}$** . Tunnetaan perustuksen halkaisija  $D$  ja upotussyvyys  $L$ , vaakavoiman etäisyys maanpinnasta  $e$  sekä saven suljettu leikkauslujuus  $s_u$ .

**A) Lasketaan suurin vaakakuorma  $H_{SALL}$ , jolla maa ei murru.**

Yhtälö 15:

$$H_{SALL} = 18 \cdot s_u \cdot D^2 \left( \sqrt{\left[ \frac{1}{D} \left( e + \frac{L}{2} \right) + 0,75 \right]^2 + \frac{\left( \frac{L}{D} - 1,5 \right)^2}{4}} - \frac{1}{D} \left( e + \frac{L}{2} \right) - 0,75 \right)$$

**B) Tarkastetaan perustuksen yläpään siirtymä.** Lasketaan suurin sallittu sivukuormitus  $H$ , kun maanpintaan syntyvä siirtymä saa olla 20 mm. Maksimi sivukuormitus  $H$  voidaan laskea yhtälöllä 17:

$$H_{SALL} \leq \frac{0,02 \cdot D \cdot k_h \cdot L}{4 \cdot \left( 1 + 1,5 \cdot \frac{e}{L} \right)} \quad (16)$$

$$H_{SALL} \leq \frac{s_u \cdot L}{2 \cdot \left( 1 + 1,5 \cdot \frac{e}{L} \right)} \quad (17)$$

### 3.3 Pitkän taipuisan perustuksen mitoitus

Yhtälön 13 perusteella määräytyneen pitkän taipuisan perustuksen mitoitus tehdään kohtien A ja B perusteella. Lasketaan maan/perustuksen murtumista ja sallittua siirtymää vastaavat sallitut vaakakuormat  $H_{SALL}$ , joista **valitaan pienempi taipuisalle perustukselle sallituksi arvoksi  $H_{SALL\_T}$** . Tunnetaan perustuksen halkaisija  $D$  ja taivutusvastus  $W$ , perustusmateriaalin sallittu jännitys  $\sigma_u$  murtotilassa, vaakavoiman etäisyys maanpinnasta ja saaven suljettu leikkauslujuus  $s_u$ .

- A) Lasketaan suurin vaakakuorma, jolla perustus ei katkea.** Lasketaan sallittu vaakavoima  $H_{SALL}$  perustuksen taivutuskestävyyden ja perustukseen kohdistuvan maksimitaivutusmomentin avulla.

$$H_{SALL} = 9 \cdot s_u \cdot D (-1,5D - e + \sqrt{(1,5D + e)^2 + \frac{\sigma_u W}{4,5 \cdot s_u D}}) \quad (18)$$

Perustukselta vaadittava taivutusmomentti  $M_{PVAAD}$  saadaan laskettua yhtälöllä 20. Tämän tulee olla pienempi kuin sallittu taivutusmomentti  $M_{PSALL}$ .

$$M_{PSALL} = \sigma_u \cdot W \quad , \quad \sigma_u \text{ murtorajatilassa} \quad (19)$$

$$M_{PVAAD} = H \left( e + 1,5D + 0,5 \cdot \frac{H}{9 \cdot s_u D} \right) \quad (20)$$

- B) Tarkastetaan perustuksen yläpään siirtymä.** Lasketaan suurin sallittu sivukuormitus  $H$ , kun maanpintaan syntyvä siirtymä saa olla 20 mm. Maksimi sivukuormitus  $H$  voidaan laskea yhtälöllä 22:

$$H_{SALL} \leq \frac{0,02 \cdot k_h \cdot D}{2 \cdot \beta(e\beta + 1)} \quad (21)$$

$$H_{SALL} \leq \frac{s_u}{\sqrt[4]{\frac{25 \cdot s_u}{EI}} \cdot \left( e \cdot \sqrt[4]{\frac{25 \cdot s_u}{EI}} + 1 \right)} \quad (22)$$

## 4 MAAPARAMETRIT

Mitoituksessa käytetään maalajeille seuraavia parametrejä. Arvo  $\gamma K_p$  on määritetty siten että peräkkäisten maalajien  $\gamma K_p$ -suhde on noin 1,42, mikä on sama kuin luiskakerrointen suhde.

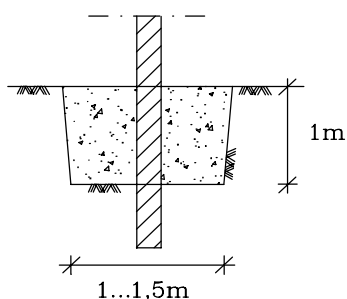
Taulukko 1. Maalajien parametrit mitoituksessa.

	Maalaji (ei erillistä ympärystäyttöä)	kitka-kulma $\varnothing$	tilavuus-paino $\gamma$	passiivipainekerroin $K_p$	alustalukkeroin $n_h$	$\gamma K_p$
P1	Erittäin tiivis murske ja louhe käytettäessä lyönti-/porapaalua	46°	23,2 kN/m <sup>3</sup>	6,13	48 MN/m <sup>3</sup>	142 kN/m <sup>3</sup>
P2	Tiivis murske ja louhe	40°	21,7 kN/m <sup>3</sup>	4,60	36 MN/m <sup>3</sup>	100 kN/m <sup>3</sup>
P3	Sora, tiivis hiekka ja tiivis hiekkamoreeni	34°	20,0 kN/m <sup>3</sup>	3,54	9 MN/m <sup>3</sup>	71 kN/m <sup>3</sup>
P4	Löyhä tai hieno hiekka, siHkMr, SiMr, löyhä HkMr, halkeilema-ton kuivakuorisavi $s_u \geq 30$ kPa	30°	16,7 kN/m <sup>3</sup>	3,00	3 MN/m <sup>3</sup>	50 kN/m <sup>3</sup>
P5	Löyhä tasarakeinen hiekka, märkä P3...P4 pohjaveden-pinnan alapuolella, savi ja siltti $s_u = 25-30$ kPa	30°	12,0 kN/m <sup>3</sup>	3,00	3 MN/m <sup>3</sup>	36 kN/m <sup>3</sup>
P6	Savi ja siltti $s_u = 15-25$ kPa	Mitoitetaan sekä kitka- että koheesiomaan kaavoilla. Pienempi $H_{SALL}$ valitaan.				26 kN/m <sup>3</sup>
P7	Turve ja pehmeä savi	Mitoitetaan tapauskohtaisesti				

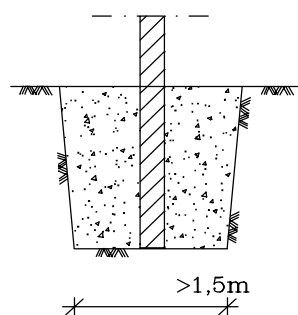
Taulukko 2. Erillisen ympärystätön parametrit mitoituksessa. Leveän täytteen ensimmäinen tunnus kuvaa täytettä ja suluissa oleva pohjamaata.

	Erillinen ympärystätö (kuva 7)	kitka-kulma $\varnothing$	tilavuus-paino $\gamma$	passiivipainekerroin $K_p$	alustalukkeroin $n_h$	$\gamma K_p$
P4k	Kivikiilaus, P4 pohjamaassa	36°	18,5 kN/m <sup>3</sup>	3,85	16 MN/m <sup>3</sup>	71 kN/m <sup>3</sup>
P4m	Kapea tiivis murske, P4 pohjamaassa	36°	18,5 kN/m <sup>3</sup>	3,85	16 MN/m <sup>3</sup>	71 kN/m <sup>3</sup>
P5m	Kapea tiivis murske, P5 pohjamaassa	32°	15,5 kN/m <sup>3</sup>	3,25	4,3 MN/m <sup>3</sup>	50 kN/m <sup>3</sup>
P6m	Kapea tiivis murske, P6 pohjamaassa	30°	12 kN/m <sup>3</sup>	3,00	3,0 MN/m <sup>3</sup>	36 kN/m <sup>3</sup>
P?(P?)	Leveä täyttö	esim. P3 (P6) ks. taulukko 1 & kuva 7				

KAPEA YMPÄRYSTÄYTTÖ



LEVEÄ YMPÄRYSTÄYTTÖ



Kuva 7. Kapea ja leveä ympärystätö. Leveän täytteen ensimmäinen tunnus kuvaa täytettä ja suluissa oleva pohjamaata.

## 5 PAIKALLISET PARAMETRIT

Jos rakenteiden loppukäyttäjää sallii, mitoituksen tukena voidaan käyttää myös koekuormituksia lopputilanteen olosuhteissa. Ympäristytön tiivistys on tehtävä samalla tavalla kuin lopullisissa rakenteissa.

Paikallisten parametrien mukainen sallittu vaakakuorma  $H_{SALL\_PAIK}$  on

$$H_{SALL\_PAIK} = a \cdot k_{kev} \cdot H_{20mm} + (1 - a) \cdot H_{SALL} \quad (23)$$

missä

$a$  = koekuormituksen edustavuuskerroin

- 0 kun on kuormitettu alle 2 perustusta märkänä aikana
- 0,3 kun on kuormitettu 2...4 perustusta ko. olosuhdeluokassa märkänä aikana tai vaihtoehtoisesti 5 kuivana aikana
- 0,5 kun on kuormitettu vähintään 5 perustusta ko. olosuhdeluokassa märkänä aikana

$k_{kev}$  = kevätkantavuuskerroin

- 0,5 routarajan yläpuolisessa siltissä ja silttisessä hiekassa, kun kuormitetaan märkänä aikana
- 0 routarajan yläpuolisessa siltissä ja silttisessä hiekassa, kun kuormitetaan kuivana aikana
- 0,8 muissa maalajeissa, kun kuormitetaan märkänä aikana
- 0,5 muissa maalajeissa, kun kuormitetaan kuivana aikana

$H_{20mm}$  = kuorma, joka aiheuttaa 20 mm siirtymän. Koekuormitustuloksista valitaan huonoin, kun  $n \leq 5$  ja toiseksi huonoin kun  $n > 5$ .

$H_{SALL}$  = tämän ohjeen mukaan laskettu sallittu vaakakuorma

Lisäksi on otettava huomioon perustuksen murtuminen.



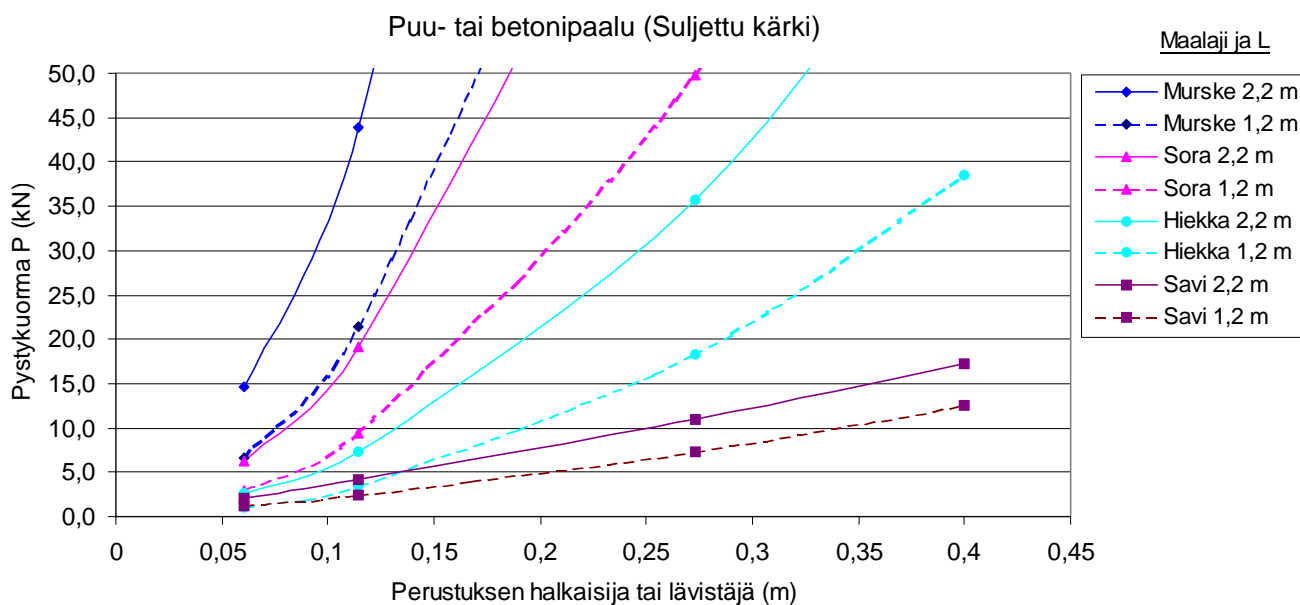
## 6 PYSTYKUORMIEN AIHEUTTAMAT RASITUKSET

Pystykuorman aiheuttamat rasitukset tulee huomioida periaatteessa aina. Kuitenkin käytännössä pystykuormat tulevat merkittäviksi vain raskailla rakenteilla (esim. betoninen meluseinä) siltti- ja savimailla.

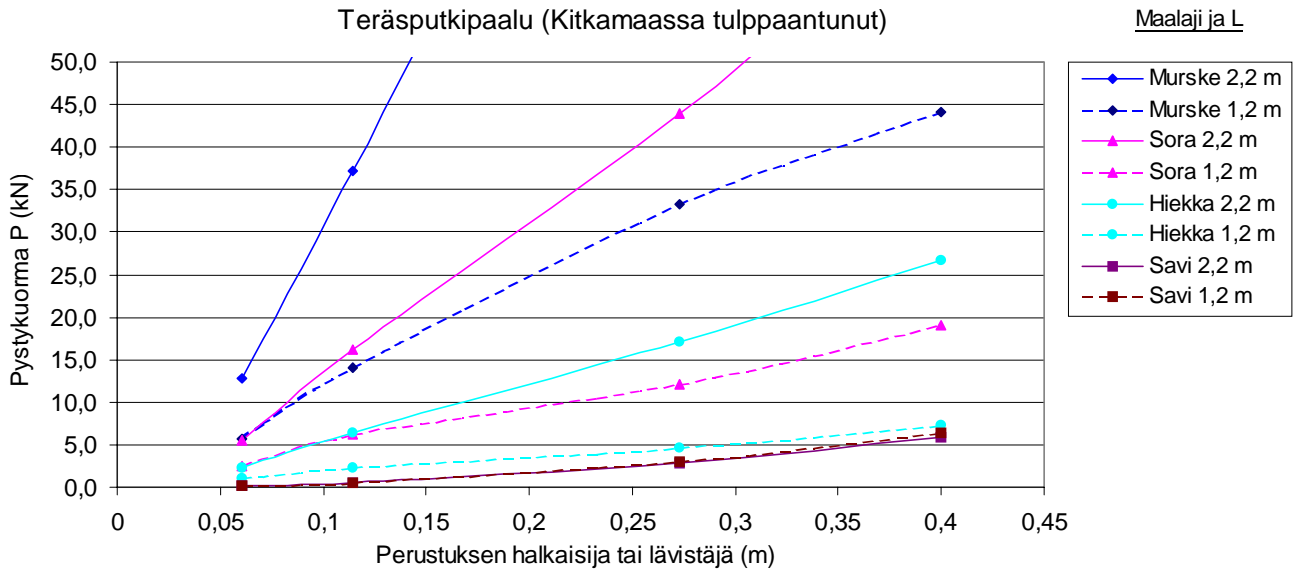
Pystykuormien aiheuttamat rasitukset maapohjalle tulee tarkistaa, kun perustukselle tuleva pystykuorma on:

- koheesiomaalla > 10 kN (esim. raskas puinen meluseinä)
- kitkamaalla > 25 kN (esim. betonielementtinen meluseinä)

Normaalisti perustuksen kapasiteetti nähdään kuvista 8 ja 9. Kaavat perustuvat kuvien jäljessä esitettyihin kaavoihin ja tekstiin.



Kuva 8. Puu- tai betonipaalun (suljettu kärki) sallittu pystykuorma halkaisijan tai lävistäjän funktiona. Saven leikkauslujuus  $s_u = 15 \text{ kPa}$ . Muut maalajit on esitelty taulukossa 1 (maalajit 2,3 ja 4).



Kuva 9. Teräsputkipaaluun sallittu pystykuorma halkaisijan tai lävistäjän funktiona. Saven leikkauslujuus  $s_u = 15 \text{ kPa}$ . Muut maalajit on esitelty taulukossa 1 (maalajit 2,3 ja 4).

Pilarimaisten ja paalumaisten perustusten kantavuus pystykuormille voidaan mitoittaa paalujen kantavuuskaavoilla. Paalumaisen perustuksen murto-kuorma  $P_u$  määräytyy yleensä seuraavasti:

$$P_u = P_{\text{kärki}} + P_{\text{vaippa}} + P_{\text{laippa}} - \text{paalun omapaino}$$

Perustuksen sallittu pystykuorma  $P_{\text{sall}} = P_u/F$ , kun varmuus  $F$  on 2,5.

#### Kitkapaalu:

Suljettu paalu ( puu, betoni tai umpinainen teräspaalu).

$$P_{\text{kärki}} = N_q \cdot A_k \cdot \sigma'_k \quad (24)$$

$$P_{\text{vaippa}} = L \cdot d \cdot \pi \cdot \sigma'_v \cdot K_s \cdot \tan \phi_a \quad (25)$$

$$P_{\text{laippa}} = N_q \cdot (A_l - A_k) \cdot \sigma'_l \quad (26)$$

Kärjestä avoin paalu (teräsputkipaalu) *teräsputkipaalut -ohjeen* mukaisesti.

$$P_{\text{kärki}} = \eta \cdot N_q \cdot A_k \cdot \sigma'_k \quad (27)$$

Kärjestä avoimilla kitkapaaluilla on otettava huomioon kärjen tulppaantuminen. Jos paalussa ei tapahdu minkäänlaista tulppaantumista, voidaan sisäpuolisen vaippavastuksen olettaa olevan puolet ulkopuolisesta vaippavastuksesta. Tämän ja poikkileikkauksen kärkivastuksesta muodostuva kantavuus ei kuitenkaan saa ylittää vastaavankokoisen tulppaantuneen paalun kärkivastuksesta muodostuvaa kantavuutta.

Kärjestä avoin paalu tulppaantuu suhteistuneessa ja tiiviissä kitkamaakeroksessa, kun se lyödään riittävän syväälle. Paalun upotustyö on lisäksi tehtävä hidaskuisella lyövällä järkäleellä, sillä täryjuntalla upotettaessa paalu

ei tulppaannu. Jos paalu suunnitellaan kantamaan tulppaantuneena, on tehtävä koepaalutus, jossa tulppaantuminen luotettavasti todetaan (kts. *Teräsputkipaalut -ohje*).

Tulppaantumiskerroin  $\eta$  on 0,8, jos  $z/d = 10$  moreenissa ja 15 hiekassa tai sorassa.  $z$  = upotussyvyys tulppaavaan maakerrokseen. Suhteen  $z/d$  pienentyessä tulppaantumiskerrointa pienennetään lineaarisesti.

Koheesiopaalu:

$$P_{kärki} = 9 \cdot A_k \cdot s_u \quad (28)$$

$$P_{vaippa} = L \cdot d \cdot \pi \cdot s_u \cdot f_r \quad (29)$$

$$P_{laippa} = 9 \cdot (A_l - A_k) \cdot s_u \quad (30)$$

Vaippavastuskaavat 25 ja 29 eivät päde alaspäin leveneville perustuksille (kartioille). Esimerkiksi 1,5 m syvyyteen perustetun Ø 270 mm perustuksen sallittu pystykuorma on maalajissa 2 noin 135 kN ja maalajissa 4 noin 23 kN. Kuvassa 8 esitetään puu- ja betonipaalujen (kärjestä suljettuja) ja kuvassa 9 teräsputkipaalun (kitkamaassa tulppaantunut) halkaisijan tai lävistäjän ja sallitun pystykuorman riippuvuudet eri maalajeissa erisuuruksilla upotussyvyyksillä.

$N_q$  = kantavuuskertoin (kuva 10)

$A_k$  = paalun kärjen poikkileikkauspinta-ala

$\sigma'_k$  = maan tehokas pystysuora jännitys paalun kärjen tasolla

$L$  = paalun upotussyvyys

$d$  = paalun halkaisija

$\sigma'_v$  = maan keskimääräinen tehokas pystysuora jännitys vaipan alalla

$K_s$  = maanpainekertoin (kuva 11)

$\phi_\alpha$  = paalun ja maan välinen kitkakulma

teräspaalu =  $0,7 \cdot \tan \phi$

betonipaalu =  $0,8 \cdot \tan \phi$

$\phi$  = maan kitkakulma

$A_l$  = paalun laipan poikkileikkauspinta-ala

$\sigma'_l$  = maan tehokas pystysuora jännitys laipan tasolla

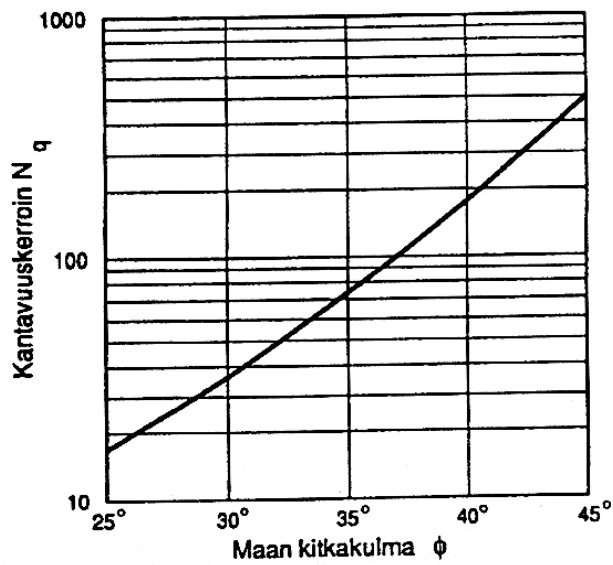
$s_u$  = koheesiomaan suljettu leikkauslujuus

$f_r$  = maapohjan lujuuden palautumiskertoin

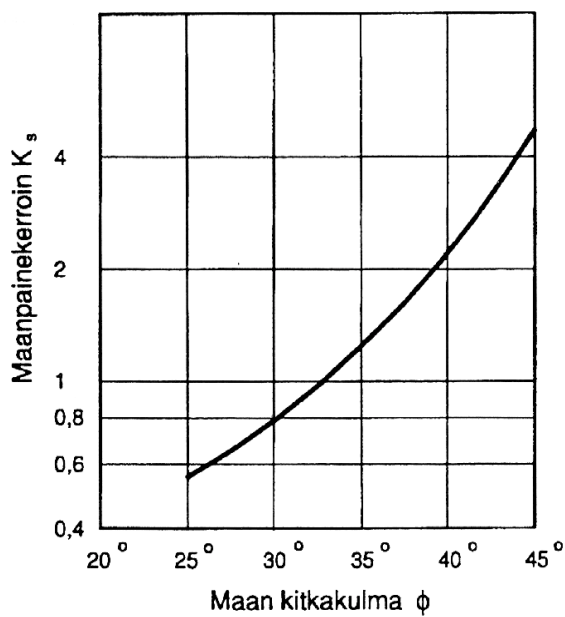
teräspaalu = 0

betonipaalu = 0,8

puupaalu = 1,0



Kuva 10. Kantavuuskerroin  $N_q$  maan kitkakulman  $\phi$  funktiona

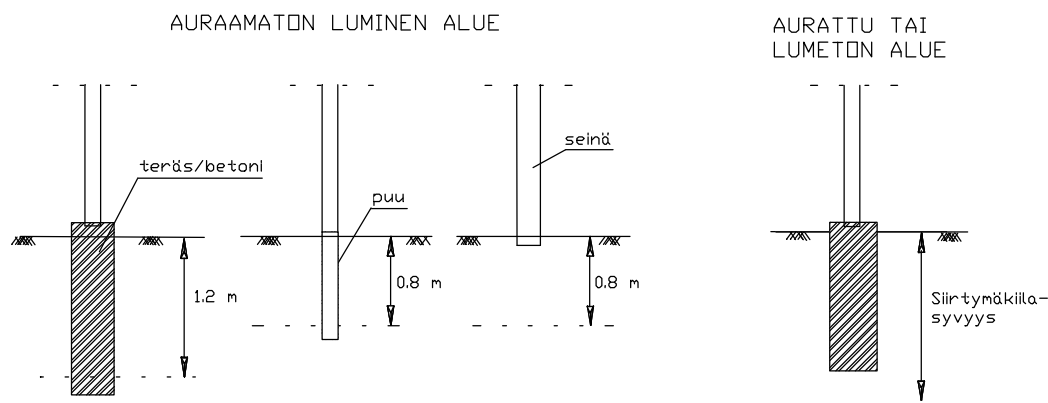


Kuva 11. Maanpainekerroin  $K_s$  maan kitkakulman  $\phi$  funktiona.

## 7 ROUTANOUSUJEN RAJOITTAMINEN

Pilarimaisten perustusten routanousujen rajoittaminen tehdään seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Roudan syvyys (RS) saadaan kuvasta 12.
- Erimuotoisten perustustyyppien minimiupotussyvyudet routivassa maassa routanousun kannalta saadaan taulukosta 3.
- Mikäli perustus ympäröidään leveällä routimattomalla täytteellä (kuva 7) routarajaan asti, voidaan kaikkia perustustyyppiejä käyttää routamitoituksen kannalta. Lisäksi routarajaa voidaan siirtää lämpöeristeillä.
- Mikäli perustus ympäröidään kapealla routimattomalla täytteellä (kuva 7) routarajaan asti ja  $L \geq RS$  voidaan perustuksia a - e käyttää taulukon 3 ensimmäisen routatapauksen mukaisesti.



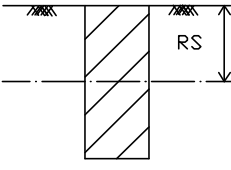
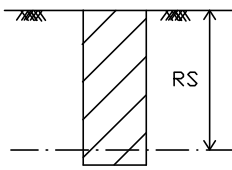
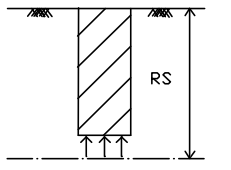
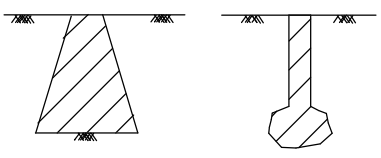
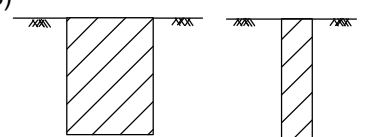
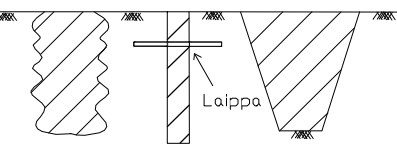
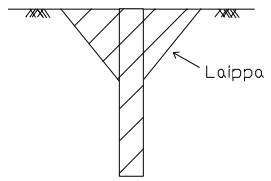
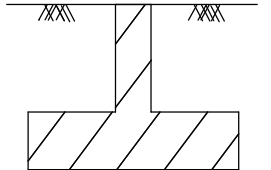
Kuva 12. Roudan syvyys (RS).

Mikäli perustetussa rakenteessa on ulokkeita lähellä maanpintaa tai perustusten välissä meluseinäelementti lähellä maanpintaa, rakenteeseen kohdistuvaa routanousua rajoitetaan seuraavin vaihtoehtoisin tyyppiirustuksessa Ty 9/51 esitetyin keinoin:

- Sijoitetaan kevyt ( $20 \text{ kg/m}^3$ ) 50 mm paksuinen ja 1,2 m levyinen solumuovieriste rakenteen perustuksen alle koko matkalle.
- Korvataan seinän alla oleva routiva maa 0,8 m syvyyteen pohjataan 0,8 m levyisellä routimattomalla maalla ja tarvittaessa maanpinnassa mullalla.

Kuvassa 12 määritettyjen roudan syvyysrajojen (0,8 m, 1,2 m tai siirtymäkiilasyvyys) yläpuolella on käytettävä routimatonta maata, jos sivukuormitusmitoitusta sitä edellyttää.

**Taulukko 3.** Erimuotoisten pilarityyppien vähimmäisupotussyvyys routivassa maassa routanousun kannalta, ellei tapauskohtaisissa laatuvaatimuksissa ole edellytetty parempaa routasuojaluokkaa R0...R3.

<p style="text-align: center;"><b>Perustuksen muotoluokka</b> (perustuksien suorat pinnat sileät)</p>	<p>1) Pohja selvästi routarajan alapuolella tai routimattomassa maassa</p>  <p style="text-align: center;"><math>L \geq 1,5 RS</math></p>	<p>2) Pohja hiukan routarajan alapuolella tai routimattomassa maassa</p>  <p style="text-align: center;"><math>L \geq RS</math></p>	<p>3) Pohja hiukan routarajan yläpuolella routivassa maassa *</p>  <p style="text-align: center;"><math>L \geq 0,8 RS</math></p>
<p>a)</p> 	<p style="text-align: center;"><b>R3</b> Kaikki rakenteet</p>	<p style="text-align: center;"><b>R2</b> Kaikki rakenteet</p>	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki  R2* Kaikki rakenteet</p>
<p>b)</p> 	<p style="text-align: center;"><b>R2</b> Kaikki rakenteet</p>	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki</p>	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki  R2* Kaikki rakenteet</p>
<p>c)</p> 	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki</p>	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki</p>	<p style="text-align: center;"><b>R0</b> Ei</p>
<p>d)</p> 	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki</p>	<p style="text-align: center;"><b>R1</b> Riista-aita Liikennemerkki</p>	<p style="text-align: center;"><b>R0</b> Ei</p>
<p>e)</p> 	<p style="text-align: center;"><b>R3</b> Kaikki rakenteet</p>	<p style="text-align: center;"><b>R2</b> Kaikki rakenteet</p>	<p style="text-align: center;"><b>R0</b> Ei  R2* Kaikki rakenteet</p>

\* Voidaan käyttää kaikissa rakenteissa, jos perustuksen alla on routimaton täyte vähintään 0,1 m routarajan alapuolelle saakka.

## 8 KORROOSION HUOMIOIMINEN PERUSTUSTEN MITOITUKSESSA

Yleisimmin korroosioon varaudutaan kasvattamalla ainepaksuutta arvioidun korroosiovaran verran. Tarvittavan korroosiovaran suuruus riippuu rakenteen suunnitellusta käyttöiästä ja ympäristön korroosio-ominaisuuksista. Korroosiovaran suuruutta voidaan arvioida oheisen taulukon mukaisesti.

*Taulukko 4. Korroosiovara mm/ruostuva pinta eurooppalaisen standardiehdotuksen mukaan (Design of steel structures-Piling ENV 1993-5:1998).*

Maaperäolosuhteet	Käyttöikä [a]			
	5	25	50	75
Häiriintymätön luonnonmaa, (hiekkä, siltti, savi) pH 6...9, ominaisvastus >2000 Ωcm	0,00	0,30	0,60	0,90
Häiriintymätön luonnonmaa, viemäriveden saastuttama pH 3...11, ominaisvastus >300 Ωcm	0,15	0,75	1,50	2,25
Häiriintymätön luonnonmaa soistuneella alueella pH 5...9, ominaisvastus >2000 Ωcm	0,20	1,00	1,75	2,50
Tiivistämätön täyttö saastumattomasta materiaalista pH 5...9 ominaisvastus > 2000 Ωcm	0,18	0,70	1,20	1,70
Tiivistämätön täyttö teollisuuden sivutuotteilla. (tuhkat, kuonat) pH 5...9, ominaisvastus > 500 Ωcm	0,50	2,00	3,25	4,50

### Huomautuksia:

1. Korroosioaste on alhaisempi tiivistetyissä täytöissä verrattuna tiivistämättömiin täyttöihin. Tiivistetyissä täytöissä taulukon arvot voidaan puolittaa.
2. Taulukon arvot ovat ohjeellisia. Paikalliset olosuhteet on huomioitava mitoituksessa, sillä ne voivat suurentaa tai pienentää taulukossa esitettyjä arvoja.
3. 5 ja 25 vuoden käyttöikää vastaavat korroosiovaran arvot perustuvat mitauksiin, kun taas 50 ja 75 vuoden arvot on extrapoloitu suoraviivaisesti aiemmista arvoista, jolloin ne ovat varmallalla puolella.
4. Sinkitylle materiaalille ei tarvitse laskea korroosiovaraa, jos ainepaksuus on  $\geq 3\text{mm}$  ja sinkitys  $\geq 70\ \mu\text{m}$ .

## 9 KIINNITYSLAITTEET

Mikäli laitekohtaisissa laatuvaatimuksissa ei ole asetettu yksilöidymiä vaatimuksia, sovelletaan perustuksen kiinnikkeisiin seuraavia vaatimuksia:

Meluesteen pilari, valaisinpylväs, portaali, opastustaulun tuki tai aidan pylväs voidaan kiinnittää perustukseen seuraavilla tavoilla:

- a) (pylväs tai) pilari ja perustus on samaa kappaletta, kun ei vaadita irrotettavaa pilaria
- b) (pylväs tai) pilari kiinnitetään perustukseen ruuvein, jotka on mitoitettu kestävästi laitteeseen kohdistuvat kuormat, ja jotka on voitava korvata ruostevikojen vuoksi uusilla ruuveilla tarvittaessa, ellei ruuvien kierteiden ruostumista estetä sinkin lisäksi jollakin 40 vuotta kestäväällä menetelmällä melusteissa, portaaleissa ja valaisinpylväissä.
- c) (pylväs tai) pilari upotetaan perustukseen, joka on mitoitettu kestävästi laitteeseen kohdistuvat kuormat, ja pilarin kiertyminen tai irtoaminen ilkivallan, tuulen tai aurasuorman vuoksi on estetty
- d) (pylväs tai) pilari hitsataan perustukseen mitoituksen edellyttämällä tavalla (käytännössä ei yleensä mahdollista työmaalla), ja hitsisaumat tarkastetaan mitoituksen edellyttämällä tavalla (menettelyyn hankittava tilaajan etukäteishyväksyntä) ja suojataan vähintään 30 mm suojabetonilla tai muulla 40 vuotta kestäväällä menetelmällä melusteissa, portaaleissa ja valaisinpylväissä (pelkkä ruiskusinkitys ei riitä).

Liikennemerkkien ja pienten opastustaulujen pylväille riittää 20 vuoden mitoitus.

Kun laite perustetaan alle 2 vuotta vanhaan pengeriin tai luiskatyteeseen, jolloin penkereen, luiskan tai pohjamaan tiivistyminen tai luiskan eroosio tai pintavaluminen voivat aiheuttaa siirtymiä perustukseen, käytetään jotakin seuraavista keinoista:

- 1) perustus suunnitellaan niin, että laite ei kallistu pengertytteen liikkumisen vuoksi tai
- 2) perustuksen ja pilarin (tai pylvään) kiinnityksessä käytetään säätömekanismia, jossa on ensiasennuksen jälkeenkin käytettävissä  $\pm 3$  asteen säätövara, jolla rakenne voidaan oikaista painumien tapahduttua (esim. 3 vuoden kuluttua).
- 3) perustus, pilari (tai pylväs) ja niiden välinen kiinnitys on niin luja, että rakenne voidaan oikaista painumien tapahduttua kaivamalla hiukan maata. Tätä keinoa ei käytetä päällystetyillä alueilla eikä sitä lasketa edellä mainittujen kanssa samanarvoiseksi kaikissa tapauksissa.



## 10 LIITTEET

Liite 1 DL<sup>3</sup>- ja L- taulukoita valituille pilariperustuksille, esimerkkejä

Liite 2 Yhtälöitä ja teoriaa



**DL<sup>3</sup>- ja L- taulukoita valituille pilariperustuksille, esimerkkejä**

Annettu vaakavoiman H suuruus ja vaakavoiman etäisyys e maanpinnasta.  
Annettu halkaisija d vaikuttaa ainoastaan  $M_{psall}$ ,  $EI_{sall}$  ja  $M_{pvaad}$ -arvoon.

Ontto puu 270 mm + ilmajohto AMKA 3x16+25, 11 astetta			$M_{psall}$ [kNm]	9,6	
Lähtötiedot:			$EI_{sall}$ [kNm <sup>2</sup> ]	1397	
e [m]	9,3	d [m]	0,27		
H [kN]	1	Varmuus F	1,35		
DL3-mitta [m <sup>4</sup> ], kun H*e =			9,3 kNm		
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			$M_{pvaad}$ [kNm]	$EI_{vaad}$ [kNm <sup>2</sup> ]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,28	0,40	0,57	9,39	426,69
P2 Tiivis murske/louhe	0,40	0,57	0,80	9,41	508,46
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	0,57	0,80	1,13	9,43	603,43
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	0,80	1,13	1,61	9,45	719,07
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	1,13	1,61	2,23	9,48	847,44
P6 Savi su > 20 kPa					
P4k kivikiillauksella	0,57	0,80	1,13	9,43	603,43
P4m kapealla murskeella	0,57	0,80	1,13	9,43	603,43
P5m kapealla murskeella	0,80	1,13	1,61	9,45	719,07
P6m kapealla murskeella	1,13	1,61	2,23	9,48	847,44

Ontto puu 270 mm + ilmajohto AMKA 3x16+25, 11 astetta			$M_{psall}$ [kNm]	9,6	
Lähtötiedot:			$EI_{sall}$ [kNm <sup>2</sup> ]	1397	
e [m]	9,3	d [m]	0,27		
H [kN]	1	Varmuus F	1,35		
L-mitta [m], kun H*e =			9,3 kNm		
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			$M_{pvaad}$ [kNm]	$EI_{vaad}$ [kNm <sup>2</sup> ]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	1,02	1,14	1,28	9,39	426,69
P2 Tiivis murske/louhe	1,14	1,28	1,44	9,41	508,46
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	1,28	1,44	1,61	9,43	603,43
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	1,44	1,61	1,81	9,45	719,07
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	1,61	1,81	2,02	9,48	847,44
P6 Savi su > 20 kPa	1,79				
P4k kivikiillauksella	1,28	1,44	1,61	9,43	603,43
P4m kapealla murskeella	1,28	1,44	1,61	9,43	603,43
P5m kapealla murskeella	1,44	1,61	1,81	9,45	719,07
P6m kapealla murskeella	1,61	1,81	2,02	9,48	847,44

Riista-aita puu 100 mm				M_psall [kNm]	2,45
				EI_sall [kN/m <sup>2</sup> ]	
Lähtötiedot:					
e [m]	1,2	d [m]	0,1		
H [kN]	1,1	Varmuus F	1,35		
DL3-mitta [m <sup>4</sup> ], kun H*e =				1,32 kNm	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			M_pvaad [kNm]	EI_vaad [kNm <sup>2</sup> ]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,04	0,06	0,08	1,49	16,48
P2 Tiivis murske/louhe	0,06	0,08	0,11	1,52	19,64
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	0,08	0,11	0,16	1,56	23,30
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	0,11	0,16	0,23	1,60	27,77
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	0,16	0,23	0,32	1,65	32,73
P6 Savi su > 20 kPa					
P4k kivikiilauksella	0,08	0,11	0,16	1,56	23,30
P4m kapealla murskeella	0,08	0,11	0,16	1,56	23,30
P5m kapealla murskeella	0,11	0,16	0,23	1,60	27,77
P6m kapealla murskeella	0,16	0,23	0,32	1,65	32,73

Riista-aita puu 100 mm				M_psall [kNm]	2,45
				EI_sall [kN/m <sup>2</sup> ]	
Lähtötiedot:					
e [m]	1,2	d [m]	0,1		
H [kN]	1,1	Varmuus F	1,35		
L-mitta [m], kun H*e =				1,32 kNm	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			M_pvaad [kNm]	EI_vaad [kNm <sup>2</sup> ]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,74	0,83	0,93	1,49	16,48
P2 Tiivis murske/louhe	0,83	0,93	1,04	1,52	19,64
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	0,93	1,04	1,17	1,56	23,30
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	1,04	1,17	1,32	1,60	27,77
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	1,17	1,32	1,47	1,65	32,73
P6 Savi su > 20 kPa	1,30				
P4k kivikiilauksella	0,93	1,04	1,17	1,56	23,30
P4m kapealla murskeella	0,93	1,04	1,17	1,56	23,30
P5m kapealla murskeella	1,04	1,17	1,32	1,60	27,77
P6m kapealla murskeella	1,17	1,32	1,47	1,65	32,73

DL<sup>3</sup>-taulukoita:

Teräspylväs 16 m + 2x4 m varret					
Lähtötiedot:					
e [m]	10	d [m]	0,273		
H [kN]	3	Varmuus F	1,35		
DL3-mitta [m4], kun H*e =				30 kNm	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			M_pvaad [kNm]	EI_vaad [kNm2]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,91	1,30	1,83	30,46	3005,01
P2 Tiivis murske/louhe	1,30	1,85	2,59	30,55	3580,88
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	1,83	2,61	3,65	30,65	4249,72
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	2,59	3,70	5,18	30,77	5064,13
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	3,60	5,14	7,20	30,91	5968,13
P6 Savi su > 20 kPa					
P4k kivikiilauksella	1,83	2,61	3,65	30,65	4249,72
P4m kapealla murskeella	1,83	2,61	3,65	30,65	4249,72
P5m kapealla murskeella	2,59	3,70	5,18	30,77	5064,13
P6m kapealla murskeella	3,60	5,14	7,20	30,91	5968,13

Teräspylväs 10,3 m + 2,5 m varsi					
Lähtötiedot:					
e [m]	7	d [m]	0,273		
H [kN]	1	Varmuus F	1,35		
DL3-mitta [m4], kun H*e =				7 kNm	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			M_pvaad [kNm]	EI_vaad [kNm2]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,21	0,30	0,43	7,09	265,75
P2 Tiivis murske/louhe	0,30	0,43	0,60	7,11	316,68
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	0,43	0,60	0,85	7,12	375,83
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	0,60	0,85	1,20	7,15	447,85
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	0,85	1,20	1,68	7,18	527,80
P6 Savi su > 20 kPa					
P4k kivikiilauksella	0,43	0,60	0,85	7,12	375,83
P4m kapealla murskeella	0,43	0,60	0,85	7,12	375,83
P5m kapealla murskeella	0,60	0,85	1,20	7,15	447,85
P6m kapealla murskeella	0,85	1,20	1,68	7,18	527,80

Teräspylväs 12,3 m +4 m varsi			tai		
2x4 m varret					
Lähtötiedot:					
e [m]	9	d [m]	0,273		
H [kN]	1,3	Varmuus F	1,35		
DL3-mitta [m4], kun H*e =				11,7 kNm	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			M_pvaad [kNm]	EI_vaad [kNm2]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,36	0,51	0,71	11,83	625,59
P2 Tiivis murske/louhe	0,51	0,71	1,01	11,86	745,47
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	0,71	1,01	1,42	11,89	884,71
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	1,01	1,42	2,02	11,92	1054,25
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	1,42	2,02	2,81	11,96	1242,45
P6 Savi su > 20 kPa					
P4k kivikiilauksella	0,71	1,01	1,42	11,89	884,71
P4m kapealla murskeella	0,71	1,01	1,42	11,89	884,71
P5m kapealla murskeella	1,01	1,42	2,02	11,92	1054,25
P6m kapealla murskeella	1,42	2,02	2,81	11,96	1242,45

Suoja-aita 1,2 m verkko					
Lähtötiedot:					
e [m]	1,2	d [m]	0,1		
H [kN]	1	Varmuus F	1,35		
DL3-mitta [m4], kun H*e =				1,2 kNm	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	Luiska			M_pvaad [kNm]	EI_vaad [kNm2]
	Tasamaa k. 1,0	1:3...1:4 k. 0,7	1:1,5 k. 0,5		
P1 Erittäin tiivis murske/louhe	0,04	0,05	0,07	1,35	14,06
P2 Tiivis murske/louhe	0,05	0,07	0,10	1,37	16,75
P3 Sora, tiivis Hk/HkMr	0,07	0,10	0,15	1,41	19,88
P4 SiMr,siHkMr,löyhä Hk/HkMr	0,10	0,15	0,21	1,45	23,69
P5 Löyhä tasHk, märkä Mr	0,15	0,21	0,29	1,49	27,92
P6 Savi su > 20 kPa					
P4k kivikiilauksella	0,07	0,10	0,15	1,41	19,88
P4m kapealla murskeella	0,07	0,10	0,15	1,41	19,88
P5m kapealla murskeella	0,10	0,15	0,21	1,45	23,69
P6m kapealla murskeella	0,15	0,21	0,29	1,49	27,92

### Yhtälöitä ja teoriaa

Ohjeessa esitetyt kaavat ja teoria on esitetty julkaisuissa Pile Foundation Analysis and Design; Poulos & Davis, Lyhyiden lyöntipaalojen käyttö; VTT sekä Tievalaistuksen käsikirja; Tielaitos.

**Koheesiomaille** alkuperäiset kaavat ovat seuraavat: (Poulos & Davis)

$$H_u = 9 \cdot S_u \cdot d \cdot f$$

$$L = 1,5 \cdot d + f + g$$

$$M_{\max} = H_u (e + 1,5d + 0,5f)$$

$$M_{\max} = 2,25 \cdot d \cdot g^2 \cdot S_u$$

Lyhyille jäykille perustoille Broms on esittänyt yhtälön:

$$\frac{1}{36} \cdot \left( \frac{H_{SALL}}{s_u D^2} \right)^2 + \left[ \left( \frac{e}{D} + 1,5 \right) + 0,5 \cdot \left( \frac{L}{D} - 1,5 \right) \right] \cdot \frac{H_{SALL}}{s_u \cdot D^2} - 2,25 \cdot \left( \frac{L}{D} - 1,5 \right)^2 = 0$$

Pitkille taipuisille perustoille Broms on esittänyt yhtälön:

$$\frac{1}{18} \cdot \left( \frac{H_{SALL}}{s_u D^2} \right)^2 + \left( \frac{e}{D} + 1,5 \right) \cdot \frac{H_{SALL}}{s_u \cdot D^2} - \frac{M_{SALL}}{s_u \cdot D^3} = 0$$

**Kitkamaille** on Tievalaistuksen käsikirjassa esitetty seuraava kaava: (tässä hieman muunneltuna)

$$(H \cdot e + H \cdot L) \cdot F \leq 0,375 \cdot k_1 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D \cdot L^3$$

Perustukseen syntyvän maksimimomentin laskemiseksi on Poulos & Davis esittänyt seuraavat kaavat:

Maksimimomentti esiintyy syvyydellä f maanpinnan alapuolella, joten:

$$H_u = \frac{3}{2} \gamma d K_p f^2$$

siitä saadaan,

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d K_p \gamma}}$$

Maksimimomentti on:

$$M_{\max} = H_u \left( e + \frac{2}{3} f \right) \\ = M + H_u^{1,5} \cdot 0,55 \frac{1}{\sqrt{d K_p \gamma}}$$

**Siirtymien arvioimiseksi koheesiomaissa** on Poulos & Davis esittänyt seuraavat kaavat:  
Paalun toimintatapa tarkistetaan tekijän  $\beta$  avulla.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h \cdot D}{4 \cdot EI}}$$

$k_h$  = alustaluku = 100 s<sub>u</sub>/d

EI = perustuksen jäykkyys

Jos  $\beta L \leq 1,5$ , niin paalu toimii ns. lyhyenä paaluna ja siirtymä maanpinnassa voidaan laskea kaavalla

$$y_0 = \frac{4H \cdot \left( 1 + 1,5 \cdot \frac{e}{L} \right)}{L \cdot d \cdot k_h}$$

Jos  $\beta L \geq 2,5$ , niin paalu toimii ns. pitkänä paaluna ja siirtymä maanpinnassa voidaan laskea kaavasta

$$y_0 = \frac{2H \cdot \beta (e\beta + 1)}{k_h \cdot d}$$

Jos  $\beta L = 1,5 \dots 2,5$ , niin väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.





