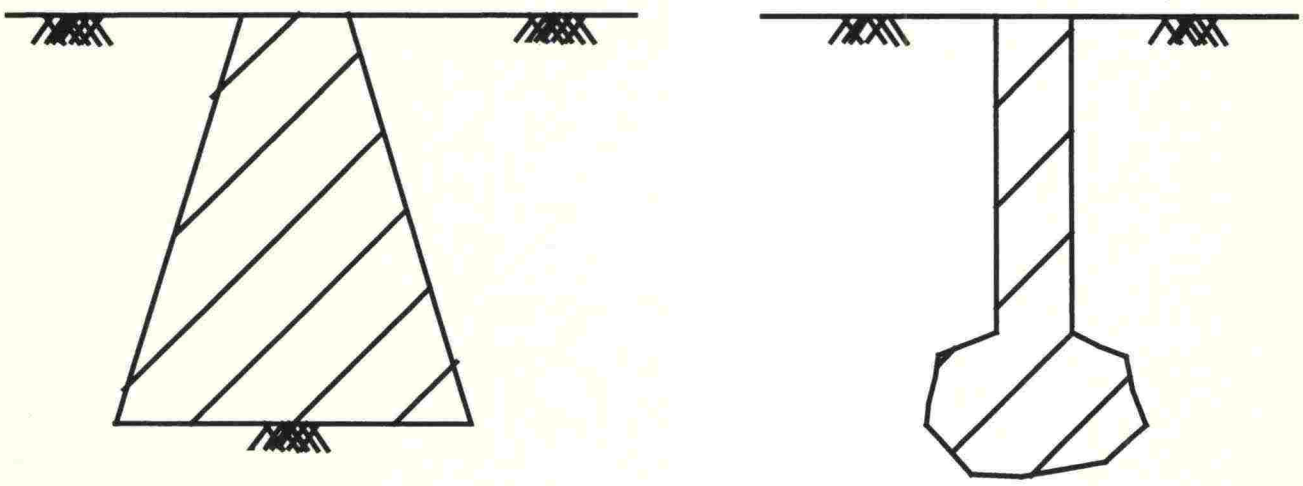
TIEHALLINTO

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

TIEHALLINTO
Helsinki 2001

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

Edita Oyj
Helsinki 2001

Julkaisua myy:
Tielaitos, julkaisumyynti
telefaksi 0204 22 2652
e-mail julkaisumyynti@tiehallinto.fi

Painotuote

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

TIEHALLINTO

MUU OHJAUS

4.7.2001 227/2000/20/5

VASTAANOTTAJA
Tiepiirit

SÄÄDÖSPERUSTA
TieL 117.2 §

KORVAA/MUUTTAA
Korvaa pilarimaisten perustusten osalta: Valaisinpylväiden, portaalien, opastustaulujen, liikennemerkkien ja aitojen pilarimaisen perustuksen valintaa koskevat tyyppipiirustukset 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 meluesteiden, valaisinpylväiden, portaalien, opastustaulujen, liikennemerkkien ja aitojen pylväiden perustamisessa.

Meluesteiden maanvaraisten ja paalutettujen laattojen geotekninen mitoitus tehdään kuitenkin tyyppipiirustusten 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 meluesteeseen tai muuhun laitteeseen kohdistuva vaakakuorma ja kuorman resultantin korkeus maan pinnasta. Meluesteiden osalta kuormat on esitetty julkaisussa Teiden suunnittelu V 3 Meluesteet, Valaisinpylväiden osalta Teiden suunnittelu V 1 Valaistus, Opastustaulujen osalta julkaisussa Varusteluettelot (Tiel. selvityksiä 39/2000) ja siihen liittyvissä Opta2.xls-laskentataulukoissa (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 tyyppipiirustuksia myös pilariperustuksille, kunnes uudet kuormien laskentaohjeet valmistuvat.

Markkinoilla olevien sarjavalmisteisten 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

LISÄTIETOJA
Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka
Kari Lehtonen
Puh. 0204 22 2317
Pentti Salo
0204 22 2145

JAKELU/MYYNTI
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652

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 11

2.2.2 Lasketaan tunnetun kuorman ja maaperän edellyttämä perustuksen koko ja murtokapasiteetti 12

2.3 Taipuisan tankomaisen perustuksen mitoitus 13

2.3.1 Esimerkki 14

2.4 Laipalliset perustukset 15

3 PERUSTUKSEN MITOITUS KOHEESIOMAASSA 18

3.1 Mitoitustavan valinta 18

3.2 Lyhyen jäykän perustuksen mitoitus 20

3.3 Pitkän taipuisan perustuksen mitoitus 21

4 MAAPARAMETRIT 22

5 PAIKALLISET PARAMETRIT 23

6 PYSTYKUORMIEN AIHEUTTAMAT RASITUKSET 24

7 ROUTANOUSUJEN RAJOITTAMINEN 28

8 KORROOSION HUOMIOIMINEN PERUSTUSTEN MITOITUKSESSA 30

9 KIINNITYSLAITTEET 31

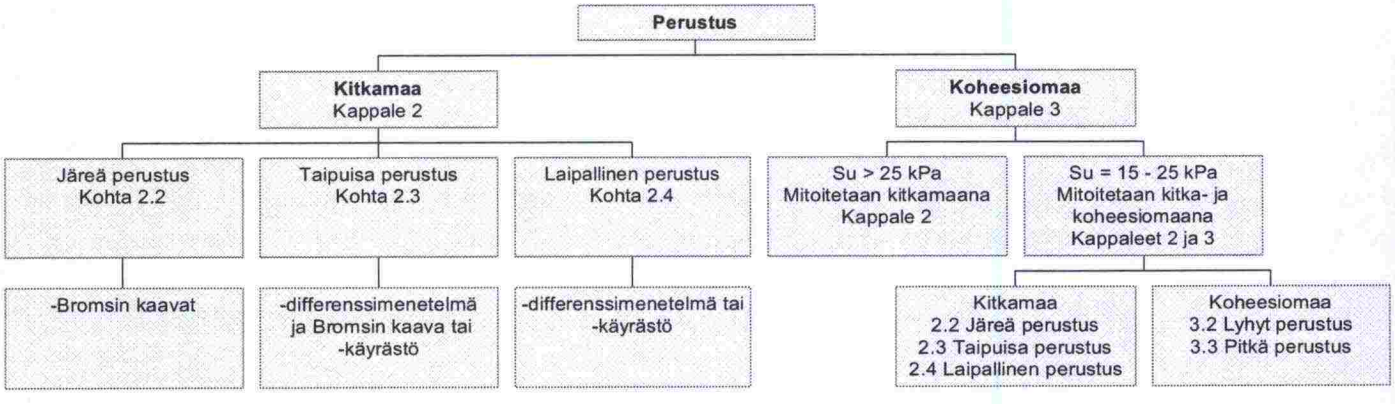
10 LIITTEET 33

1 JOHDANTO

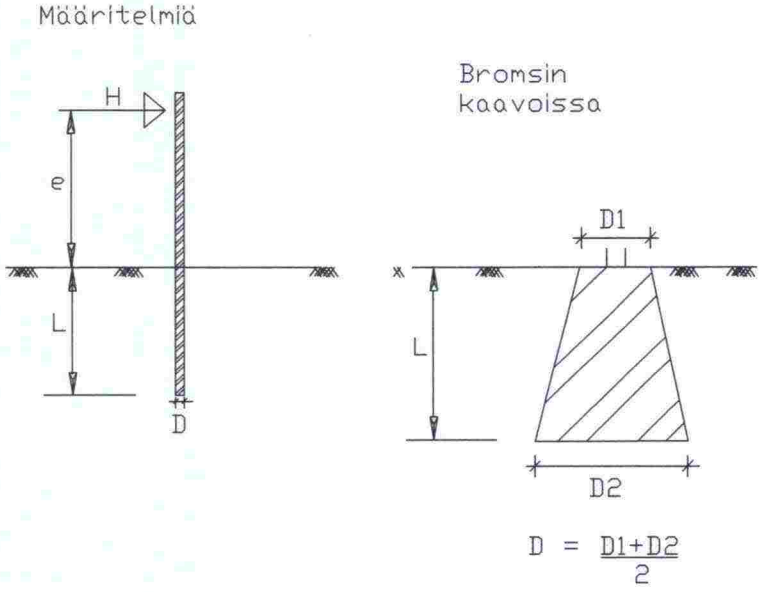
Tämä ohje on laadittu yhtenäistämään pilarimaisten ja paalumaisten perustusten mitoituskäytäntöä. Sen avulla voidaan mitoittaa kevyiden rakenteiden kuten liikennemerkkien, portaalien, valaisinpylväiden, meluesteiden ja riistaaitojen perustukset. Ohjeen laatimisen yhteydessä on tarkennettu Tievalaistuksen 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 mitoitukseen 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

σ_u = perustusmateriaalin sallittu jännitys murtotilassa

* A -luokan puutolpilla/-pylväillä voidaan käyttää Tiehallinnon kohteissa arvoa 25 MN/m^2.

E = perustuksen kimmokerroin

I = perustuksen jäyhyysmomentti

γ = maan tilavuuspaino

s_u = saven suljettu leikkauslujuus

K_p = passiivipainekerroin

k_1 = luiskan muodosta aiheutuva kerroin,

k_1 = 1,00 kun maanpinta on tasainen

k_1 = 0,7 kun luiskakaltevuus on 1:3...1:4

k_1 = 0,5 kun luiskakaltevuus on 1:1,5.

F = varmuusluku = 1,35, jolloin siirtymä maanpinnassa on yleensä < 30 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 mitoitustavan perusteella, 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

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

EI = perustusmateriaalin jäykkyystekijä [kNm^2]

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

K_p = passiivipainekerroin

γ = pohjamaan tilavuuspaino [kN/m^3]

H = vaakavoima [kN]

e = vaakavoiman etäisyys maanpinnasta [m]

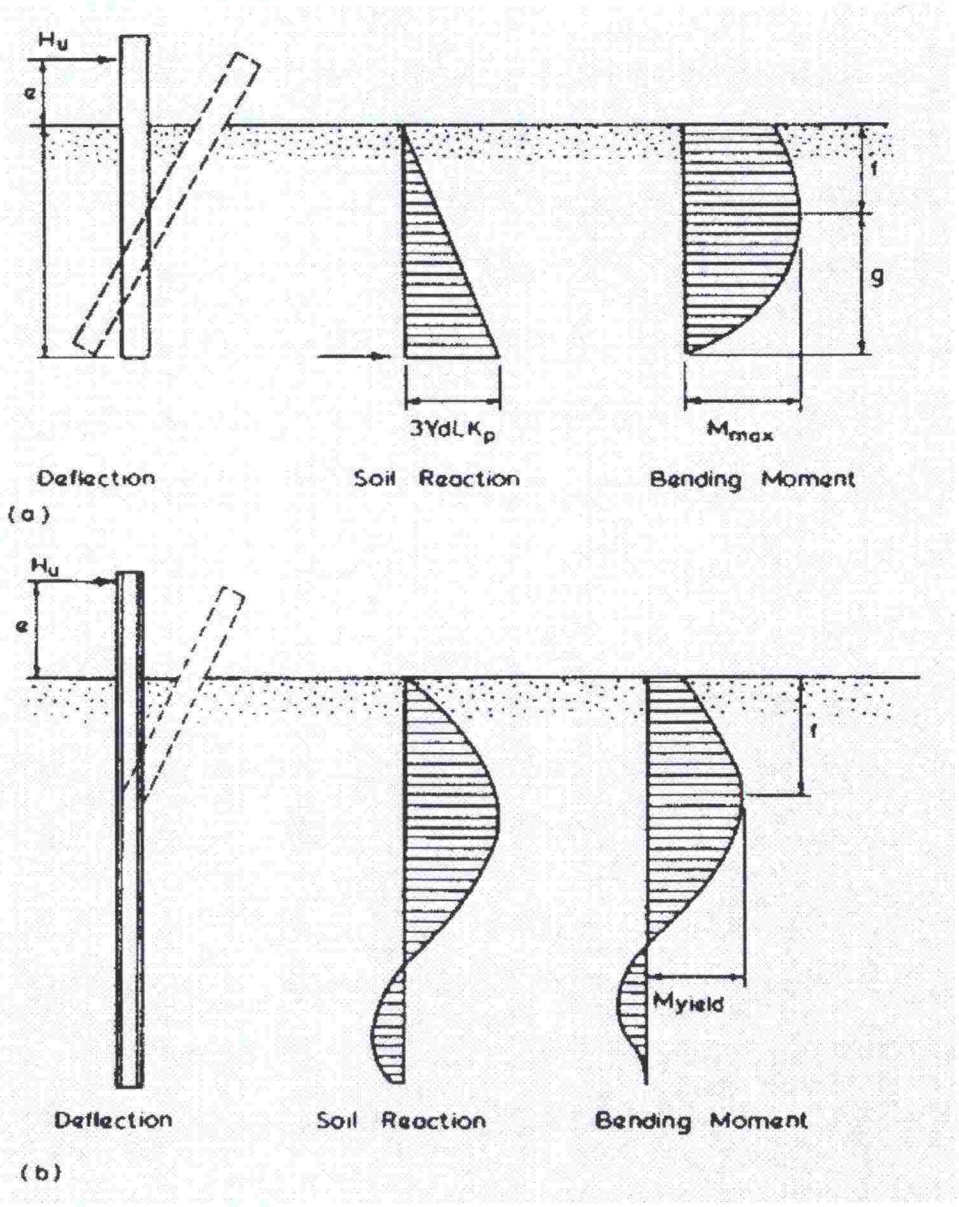
Muussa tapauksessa perustuksen oletetaan olevan taipuisa, jolloin mitoitus on tarkistettava jollakin taipuisan perustuksen huomioivalla mitoitusohjelmalla kohdan 2.3 mukaisesti. Tällöin sovelletaan mitoitusta, joka antaa suurimman perustuksen. Laipalliset perustukset mitoitetaan pelkästään taipuisien 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 suureena H_{SALL}.
2. Lasketaan tunnetun kuorman edellyttämä perustuskoko tunnetussa ympärystäytteessä. Ratkaistavana suureena 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.

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

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

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 σ_u murtorajatilassa, vaakavoiman etäisyys e maanpinnasta, maan passiivipainekerroin K_p ,maan tilavuuspaino γ 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.

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

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

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

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.

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

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

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

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

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 σ_u murtorajatilassa, maan passiivipainekerroin K_p ,maan tilavuuspaino γ , luiskan 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.

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

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

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

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

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

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

Perustuksen murtokapasiteetti saadaan kaavasta (6) tai koekuormittamalla.

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

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

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

2.3 Taipuisan tankomaisen perustuksen mitoitus

Yhtälön 1 mukaan taipuisiksi osoittautuneet perustukset on mitoitettava mitoitusohjelmalla, 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 Saarelman sivupaaluohjelma, mikä käyttää differenssimenetelmää. Mitoituksessa on huolehdittava seuraavien ehtojen toteutumisesta:

- mitoituksessa perustuksen maksimisiirtymä maanpinnassa on 30 mm, eikä maa murru
- perustuksen taivutuskestävyys M_{PSALL} on suurempi kuin perustukselta vaadittava momentti M_{PVAAD} (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 järeänä kohdan 2.2 mukaisesti

Yhtälön 1 mukaan määräytyvillä taipuisilla perustuksilla mitoittavaksi tekijäksi määräytyy useimmiten perustuksen taivutuskestävyys. Mikäli perustuksen murtokapasiteettia ja samalla jäykkyyttä EI suurennetaan, perustustapaus yleensä palautuu järeäksi 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 mitoitustapa järeä vai taipuisa (yhtälö 1).

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

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

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

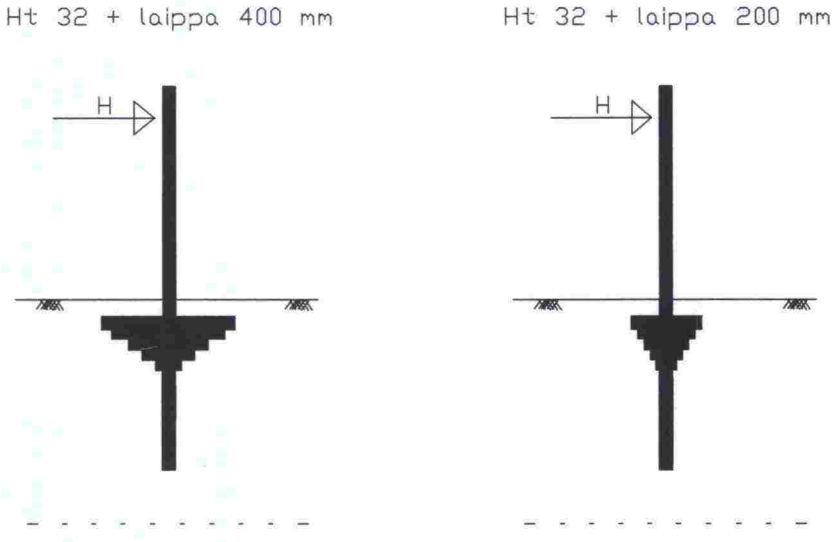
Ratkaistaessa sama perustustapaus järeiden perustustapausten mukaisesti kaavalla 11 saataisiin perustussyvyydeksi vain 1,89 m.

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:

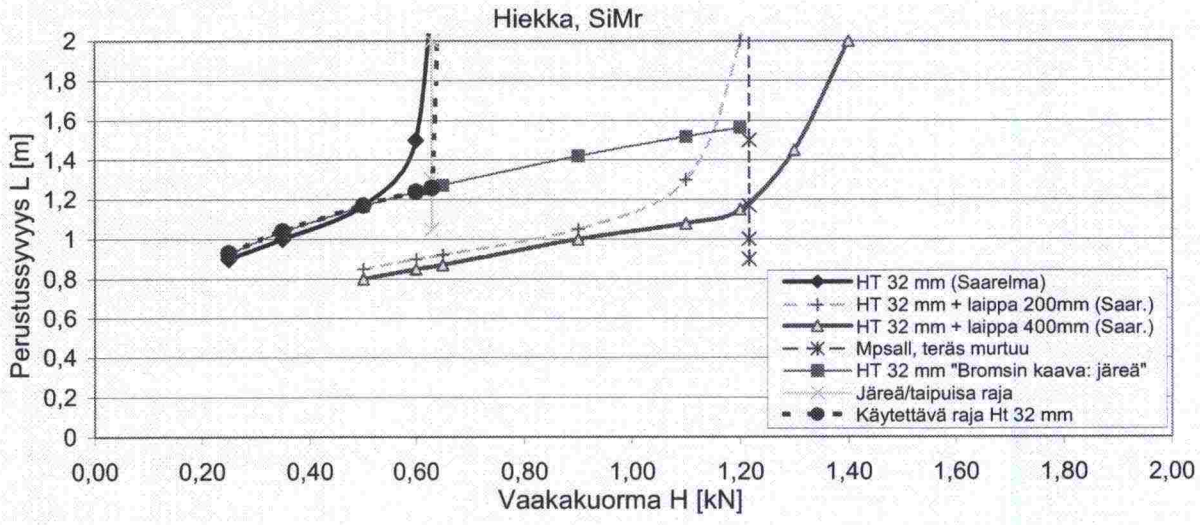
- perustuksen siirtymä maanpinnassa max 30 mm
- perustuksen kestävyys on riittävä (määritetään yhtälöillä 6 ja 7, jolloin laippoja ei huomioida)

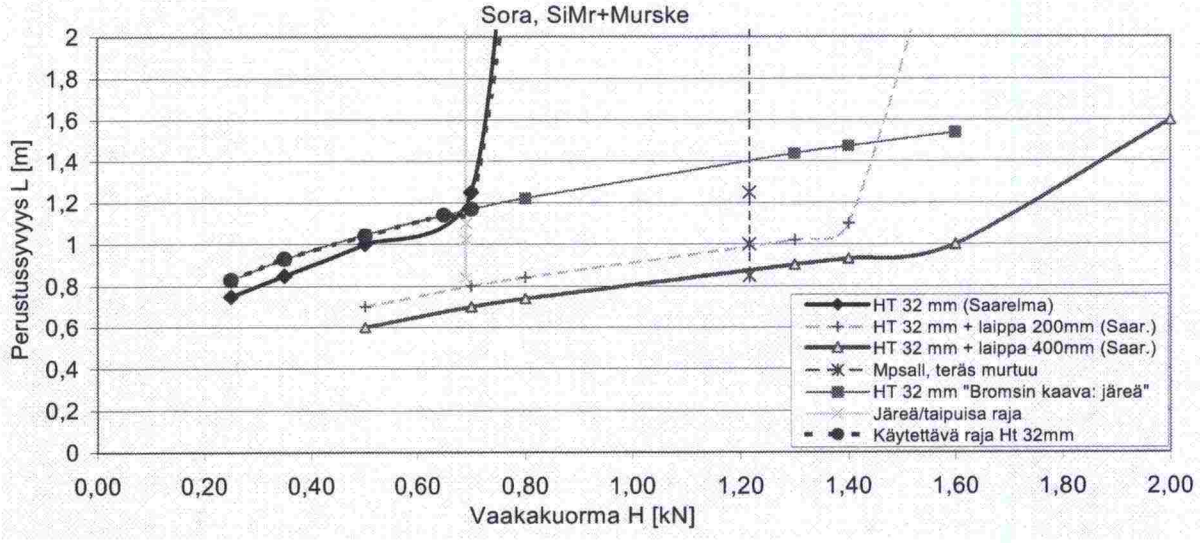
Kuvissa 4 ja 5 on esitetty kahdella eri laipalla varustettujen ht 32 mm ja 60,3/2 mm perustusten perustussyvyyskuvaajat, kun perustuksen siirtymä maanpinnassa on hiukan alle 30 mm. Mitoitus on tehty Saarelman sivupaaluohjelmalla, missä laipat on kuvattu kuvan 3 mukaisesti. Kuvissa esitetään ilman laippoja 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.



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

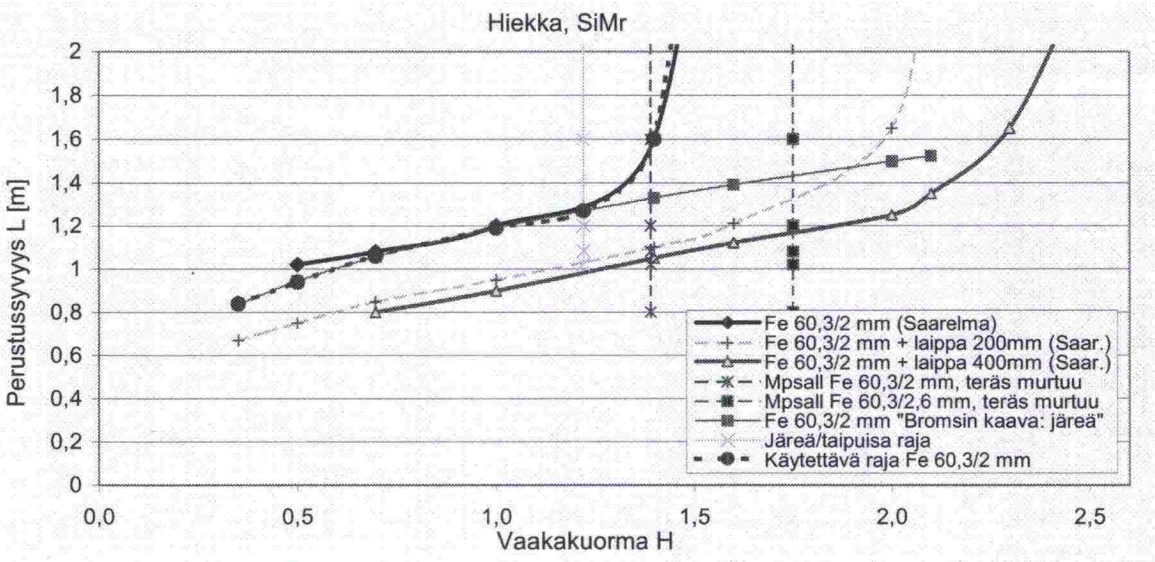
Harjateräs 32 mm
A500HW, W = 3,22 cm^3 σ_u = 500/1,1 MPa $M_{PSALL} = W\sigma_u$ = 1,46 kNm
EI = 10,8 kN/m^2 Vaakavoiman etäisyys maanpinnasta e = 1,2 m

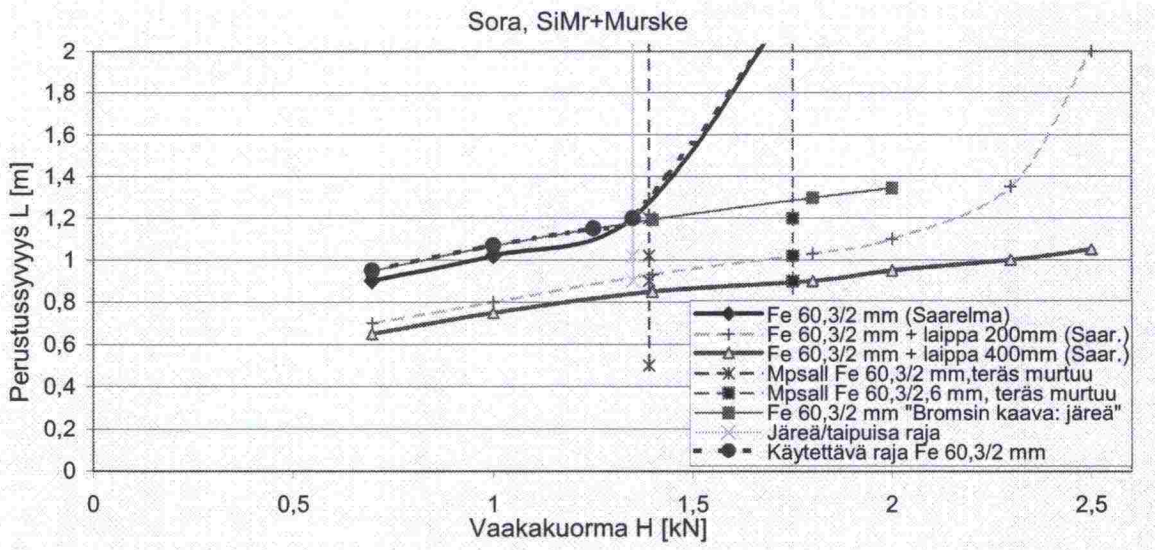




Kuva 4. Laipallisten ja laipattoman harjateräksen upotussyvyys vaakakuormituksen mukaan hiekka- ja soramaassa, kun e = 1.2 m. Mitoituksessa käytetään laipallisille perustuksille Saarelman ohjelmalla saatua käyrää sellaisenaan, ei kuitenkaan perustuksen rungon tai laipan murtokuorman ylittävillä kuormilla H. Muut vastaavat mitoitusohjelmat on kalibroitava näitä käyriä vastaaviksi ($L = L_{saarelma} \pm 10$ %).
Pelkällä harjateräksellä käytetään järeällä alueella (hiekassa H < 0,63 kN) parannetulla Bromsin kaavalla saatua tulosta ja taipuisalla alueella Saarelman ohjelmalla laskettua tulosta (tumma pisteviiva), kunnes saavutaan rajalle, jossa teräs murtuu.

Teräsputki 60,3/2 mm
Fe 52 D W = 5,17 cm^3 σ_u = 355/1,1 MPa $M_{PSALL} = W\sigma_u$ = 1,67 kNm
EI = 32,76 kN/m^2 Vaakavoiman etäisyys maanpinnasta e = 1,2 m.
M_{PSALL} esitetty kuvissa putkille 60,3/2 mm ja 60,3/2,6 mm.





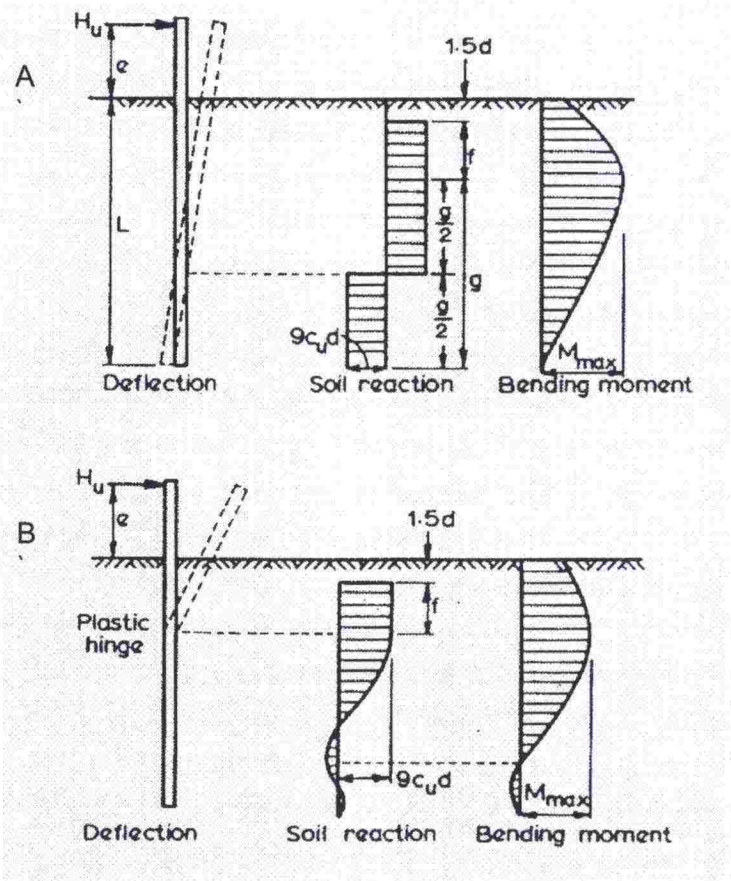
Kuva 5. Laipallisten ja laipattoman teräsputken Fe 60,3 mm upotussyvyys vaakakuormituksen mukaan hiekka- ja soramaassa, kun e = 1.2 m. Mitoituksessa käytetään laipallisille perustuksille Saarelman ohjelmalla saatua käyrää sellaisenaan, ei kuitenkaan perustuksen rungon tai laipan murtokuorman ylittävillä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

3 PERUSTUKSEN MITOITUS KOHEESIOMAASSA

Perustus mitoitetaan koheesiomaassa maaparametritaulukossa (taulukko 1) esitetyin 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 kitkamaana maalajin P5 parametreilla. Saven tai siltin leikkauslujuuden ollessa $s_u = 15 - 25$ kPa on perustus mitoitettava koheesiomaana kohtien 3.1 - 3.2 mukaisesti, sekä kitkamaana 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 pitkiksi ja taipuisiksi 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 β (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.

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

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

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 βL **1,5...2,5** niin väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti 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 määrityksessä, mikä tapahtuu yhtälöllä 14.**

Yhtälö 14:

$$H_{SALL} = \begin{Bmatrix} 1 & ,kun\ \beta \cdot L \leq 1{,}5 \\ 2{,}5 - \beta \cdot L, & kun\ 1{,}5 \leq \beta \cdot L \leq 2{,}5 \\ 0 & ,kun\ \beta \cdot L \geq 2{,}5 \end{Bmatrix} \cdot 0{,}5 \cdot H_{SALL_J} + \begin{Bmatrix} 0 & ,kun\ \beta \cdot L \leq 1{,}5 \\ \beta \cdot L - 1{,}5, & kun\ 1{,}5 \leq \beta \cdot L \leq 2{,}5 \\ 1 & ,kun\ \beta \cdot L \geq 2{,}5 \end{Bmatrix} \cdot 0{,}5 \cdot H_{SALL_T}$$

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:

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

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

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 σ_u murtotilassa, vaakavoiman etäisyys maanpinnasta ja saven suljettu leikkauslujuus s_u.

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

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

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

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

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

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:

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

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

4 MAAPARAMETRIT

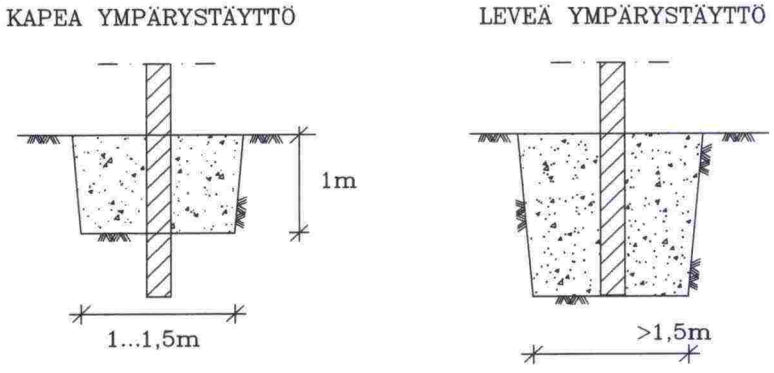
Mitoituksessa käytetään maalajeille seuraavia parametrejä. Arvo γK_p on määritetty siten että peräkkäisten maalajien γK_p-suhde on noin 1,42, mikä on sama kuin luiskakerrointen suhde.

Taulukko 1. Maalajien parametrit mitoituksessa.

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

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

	Erillinen ympärys-täyttö (kuva 7)	**kitka-kulma Ø**	**tilavuus-paino** γ	**passiivi-painekerroin** K_p	**alustaluku-kerroin** n_h	$\gamma \cdot K_p$
P4k	Kivikiilaus, P4 pohjamaassa	36°	18,5 kN/m^3	3,85	16 MN/m^3	71 kN/m^3
P4m	Kapea tiivis murske, P4 pohjamaassa	36°	18,5 kN/m^3	3,85	16 MN/m^3	71 kN/m^3
P5m	Kapea tiivis murske, P5 pohjamaassa	32°	15,5 kN/m^3	3,25	4,3 MN/m^3	50 kN/m^3
P6m	Kapea tiivis murske, P6 pohjamaassa	30°	12 kN/m^3	3,00	3,0 MN/m^3	36 kN/m^3
P?(P?)	Leveä täyttö	esim. P3 (P6) ks. taulukko 1 & kuva 7				



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

5 PAIKALLISET PARAMETRIT

Jos rakenteiden loppukäyttäjä sallii, mitoituksen tukena voidaan käyttää myös koekuormituksia lopputilanteen olosuhteissa. Ympärystäytön tiivistys on tehtävä samalla tavalla kuin lopullisissa rakenteissa.
Paikallisten parametrien mukainen sallittu vaakakuorma H_{SALL_PAIK} on

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

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

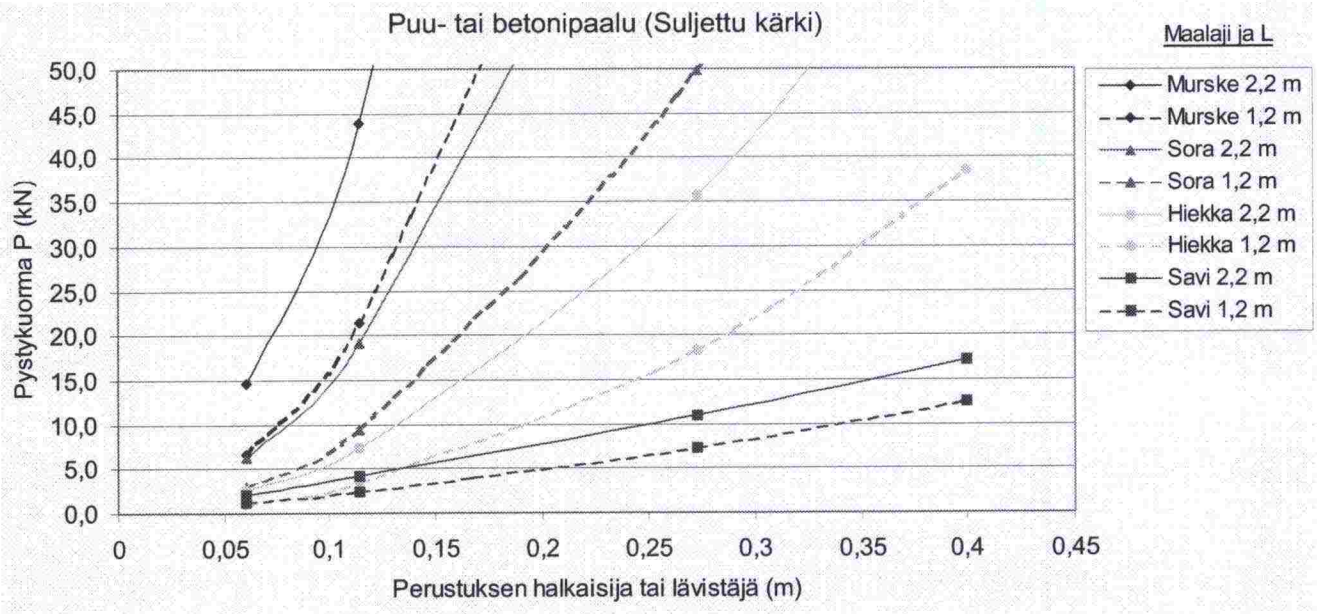
Lisäksi on otettava huomioon perustuksen murtuminen.

6 PYSTYKUORMIEN AIHEUTTAMAT RASITUKSET

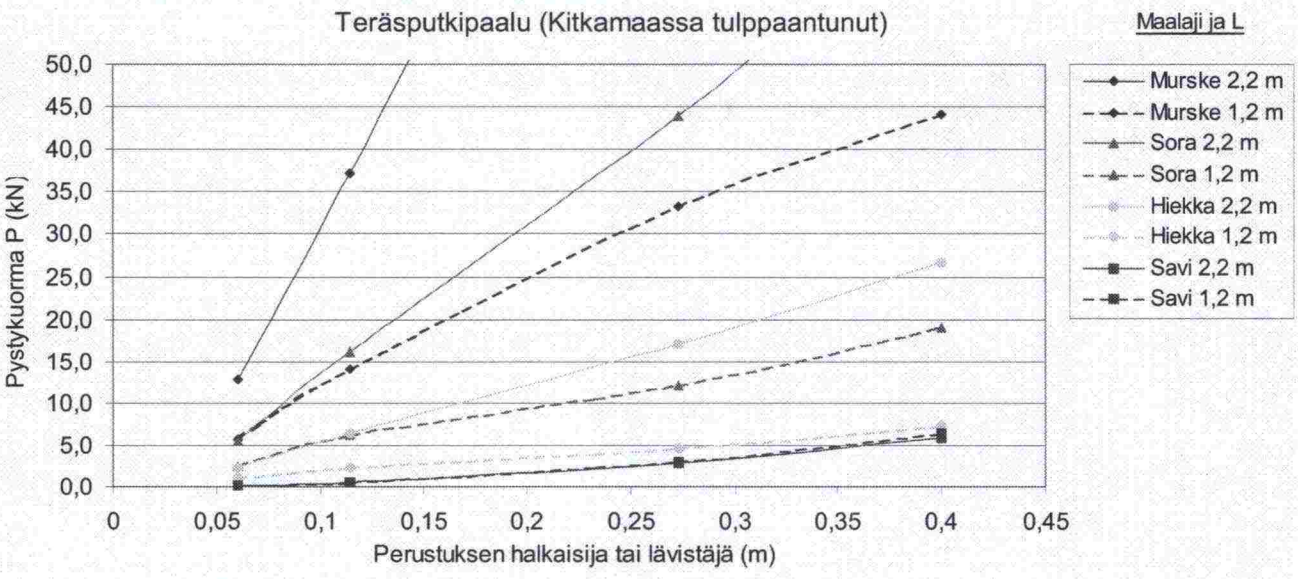
Pystykuorman aiheuttamat rasitukset tulee huomioida periaatteessa aina. Kuitenkin käytännössä pystykuormat tulevat merkittäviksi vain raskailla rakenteilla (esim. betoninen meluseinä) siltti- ja savimailla.
Pystykuormien aiheuttamat rasitukset maapohjalle tulee tarkistaa, kun perustukselle tuleva pystykuorma 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 kPa. Muut maalajit on esitelty taulukossa 1 (maalajit 2,3 ja 4).



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

Pilarimaisten ja paalumaisten perustusten kantavuus pystykuormille voidaan mitoittaa paalujen kantavuuskaavoilla. Paalumaisen perustuksen murtokuorma P_u määräytyy yleensä seuraavasti:

$P_u = P_{kärki} + P_{vaippa} + P_{laippa}$ – paalun omapaino

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

Kitkapaalu:
Suljettu paalu (puu, betoni tai umpinainen teräspaalu).

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

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

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

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

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

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 kitkamaakerroksessa, kun se lyödään riittävän syvälle. Paalun upotustyö on lisäksi tehtävä hidasiskuisella lyövällä järkäleellä, sillä täryjuntalla upotettaessa paalu ei tulppaannu. Jos paalu suunnitellaan kantamaan tulppaantuneena, on tehtävä koepaalutus, jossa tulppaantuminen luotettavasti todetaan (kts. *Teräsputkipaalut -ohje*).

Tulppaantumiskerroin η 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:

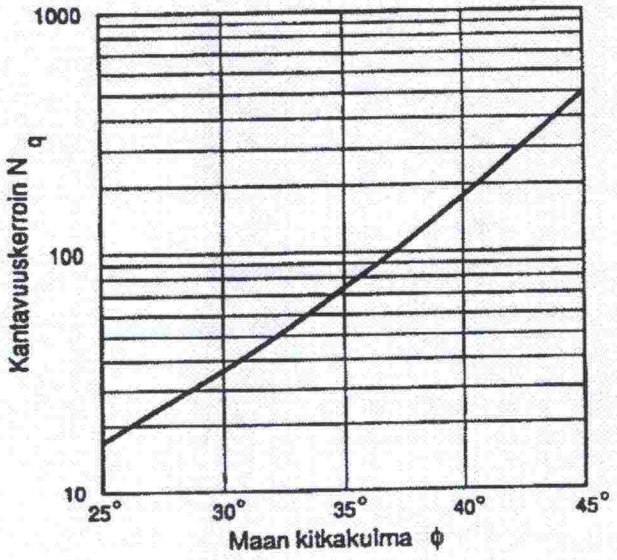
$$P_{kärki} = 9 \cdot A_k \cdot s_u \quad (28)$$

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

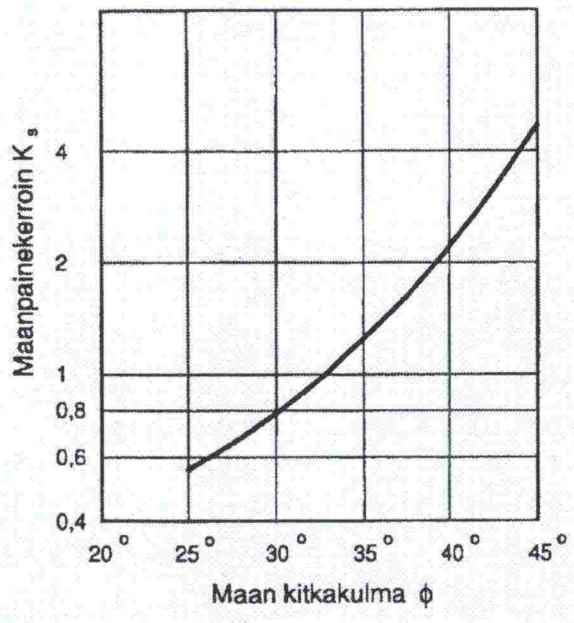
$$P_{laippa} = 9 \cdot (A_l - A_k) \cdot s_u \quad (30)$$

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 erisuuruisilla upotussyvyyksillä.

N_q = kantavuuskerroin (kuva 10)
A_k = paalun kärjen poikkileikkauspinta-ala
σ'_k = maan tehokas pystysuora jännitys paalun kärjen tasolla
L = paalun upotussyvyys
d = paalun halkaisija
σ'_v = maan keskimääräinen tehokas pystysuora jännitys vaipan alalla
K_s = maanpainekerroin (kuva 11)
ϕ_α = paalun ja maan välinen kitkakulma
teräspaalu = 0,7 * tan ϕ
betonipaalu = 0,8 * tan ϕ
ϕ = maan kitkakulma
A_l = paalun laipan poikkileikkauspinta-ala
σ'_l = maan tehokas pystysuora jännitys laipan tasolla
s_u = koheesiomaan suljettu leikkauslujuus
f_r = maapohjan lujuuden palautumiskerroin
teräspaalu = 0
betonipaalu = 0,8
puupaalu = 1,0



Kuva 10. Kantavuuskerroin N_q maan kitkakulman ϕ funktiona

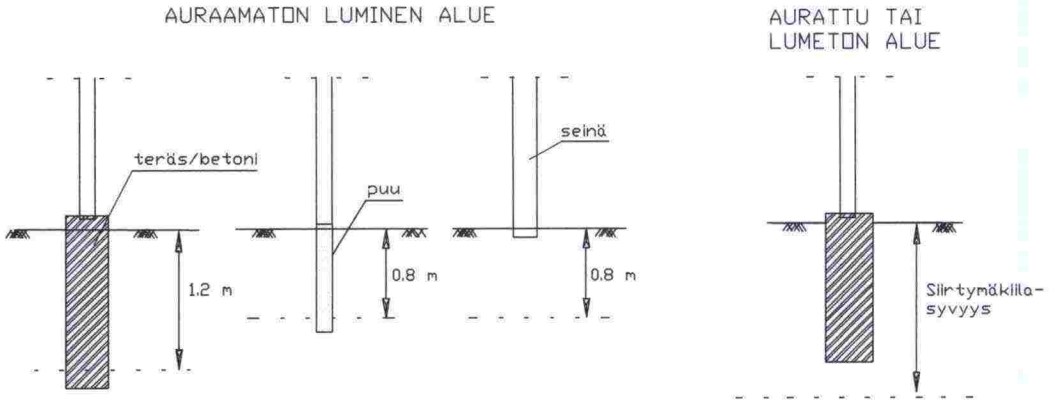


Kuva 11. Maanpainekerroin K_s maan kitkakulman ϕ funktiona.

7 ROUTANOUSUJEN RAJOITTAMINEN

Pilarimaisten perustusten routanousujen rajoittaminen tehdään seuraavien periaatteiden mukaisesti:

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



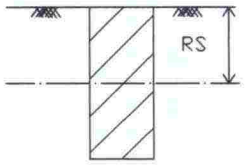
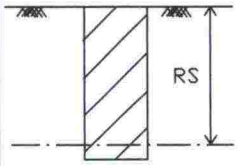
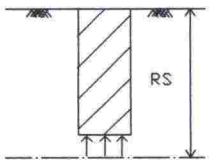
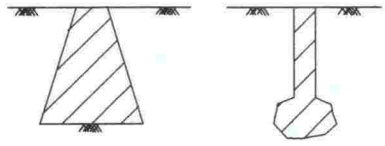
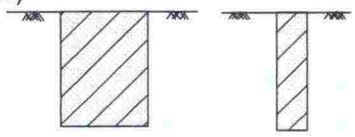
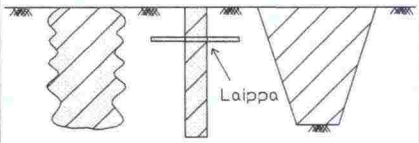
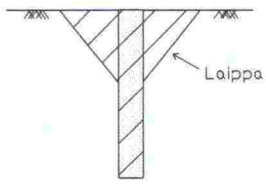
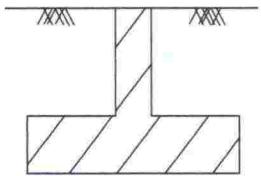
Kuva 12. Roudan syvyys (RS).

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

- Sijoitetaan kevyt (20 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 pohjastaan 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 sivukuormitusmitoitus sitä edellyttää.

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

Perustuksen muotoluokka (perustuksien suorat pinnat sileät)	1) Pohja selvästi routarajan alapuolella tai routimattomassa maassa  L ≥ 1,5 RS	2) Pohja hiukan routarajan alapuolella tai routimattomassa maassa  L ≥ RS	3) Pohja hiukan routarajan yläpuolella routivassa maassa*  L ≥ 0,8 RS
a) 	R3 Kaikki rakenteet	R2 Kaikki rakenteet	R1 Riista-aita Liikennemerkki R2* Kaikki rakenteet
b) 	R2 Kaikki rakenteet	R1 Riista-aita Liikennemerkki	R1 Riista-aita Liikennemerkki R2* Kaikki rakenteet
c)  	R1 Riista-aita Liikennemerkki	R1 Riista-aita Liikennemerkki	R0 Ei
d)  	R1 Riista-aita Liikennemerkki	R1 Riista-aita Liikennemerkki	R0 Ei
e) 	R3 Kaikki rakenteet	R2 Kaikki rakenteet	R0 Ei R2* Kaikki rakenteet

* 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, (hiekka, 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 mittauksiin, kun taas 50 ja 75 vuoden arvot on extrapoloitu suoraviivaisesti aiemmista arvoista, jolloin ne ovat varmalla puolella.
4. Sinkitylle materiaalille ei tarvitse laskea korroosiovaraa, jos ainepaksuus on ≥ 3mm ja sinkitys ≥ 70 μm.

9 KIINNITYSLAITTEET

Mikäli laitekohtaisissa laatuvaatimuksissa ei ole asetettu yksilöidympiä 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 kestämään laitteeseen kohdistuvat kuormat, ja jotka on voitava korvata ruostevikojen vuoksi uusilla ruuveilla tarvittaessa, ellei ruuvien kierteiden ruostumista estetä sinkin lisäksi jollakin 40 vuotta kestävällä menetelmällä meluesteissä, portaaleissa ja valaisinpylväissä.

c) (pylväs tai) pilari upotetaan perustukseen, joka on mitoitettu kestämään laitteeseen kohdistuvat kuormat, ja pilarin kiertyminen tai irtoaminen ilkivallan, tuulen tai aurauskuorman 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 kestävällä menetelmällä meluesteissä, portaaleissa ja valaisinpylväissä (pelkkä ruiskusinkitys ei riitä).

Liikennemerkkien ja pienten opastustaulujen pylväille riittää 20 vuoden mitoitus.

Kun laite perustetaan alle 2 vuotta vanhaan penger tai luiskatäytteeseen, 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 pengertäytteen 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^3- ja L- taulukoita valituille pilariperustuksille, esimerkkejä

Liite 2 Yhtälöitä ja teoriaa

DL[3]- 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**
			EI_sall [kN/m2]		**1397**
Lähtötiedot:					
e [m]	**9,3**	**d [m]**	**0,27**		
H [kN]	**1**	**Varmuus F**	**1,35**		
	DL3-mitta [m4], kun H∗e =			**9,3**	**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	0,28	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 kivikiilauksella	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**
			EI_sall [kN/m2]		**1397**
Lähtötiedot:					
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**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3…1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**EI_vaad [kNm2]**
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 kivikiilauksella	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**
			El_sall [kN/m2]		**37,6**
Lähtötiedot:					
e [m]	**1,2**	**d [m]**	**0,1**		
H [kN]	**1,1**	**Varmuus F**	**1,35**		
	DL3-mitta [m4], kun H*e =			**1,32 kNm**	
Maalaji (tarkemmin taulukoissa 1 & 2)	**Luiska**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3...1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**El_vaad [kNm2]**
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**
			El_sall [kN/m2]		**37,6**
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**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3...1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**El_vaad [kNm2]**
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[3]-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**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3...1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**EI_vaad [kNm2]**
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**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3...1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**EI_vaad [kNm2]**
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**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3...1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**EI_vaad [kNm2]**
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**				
	Tasamaa k. 1,0	**1:3...1:4 k. 0,7**	**1:1,5 k. 0,5**	**M_pvaad [kNm]**	**EI_vaad [kNm2]**
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 lyöntipaalujen käyttö; VTT sekä Tievalaistuksen käsikirja; Tielaitos.

Koheesiomaille alkuperäiset kaavat ovat seuraavat: (Poulos & Davis)

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

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

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

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

Lyhyille jäykille perustuksille 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 perustuksille 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:

$$M_{max} = H_u\left(e + \frac{2}{3}f\right)$$

$$= M + H_u^{1,5} \cdot 0{,}55\frac{1}{\sqrt{dK_p\gamma}}$$

Siirtymien arvioimiseksi koheesiomaissa on Poulos & Davis esittänyt seuraavat kaavat:
Paalun toimintatapa tarkistetaan tekijän β avulla.

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

k_h = alustaluku = 100 s_u/d

EI = perustuksen jäykkyys

Jos **βL ≤ 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 **βL ≥ 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 **βL = 1,5...2,5**, niin väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.

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