

Porapaalutusohje



Porapaalutusohje

Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus

ISBN 951-726-777-0
TIEH 2000002-01

Edita Oyj
Helsinki 2001

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

TIEHALLINTO
Siltayksikkö
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 150

VASTAANOTTAJA
Tiepiirit

SÄÄDÖSPERUSTA
TL 117§

KOHDISTUVUUS
Tiehallinto

VOIMASSA
1.11.2001-toistaiseksi

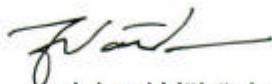
ASIASANAT
Ohjeet, sillat, sillansuunnittelu, paalut

Porapaalutusohje (TIEH 2000002-01)

Porapaalujen käyttö sillanrakennuskohteissa on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi. Tähän asti paalujen suunnittelussa ja paalutuksen toteutuksessa on sovellettu Lyöntipaalutusohjetta ja Suurpaalutusohjetta. Nämä ohjeet eivät kuitenkaan sellaisenaan sovellu porapaalutukseen.

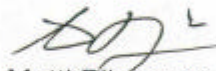
Tämän puutteen poistamiseksi on laadittu oheinen Porapaalutusohje joka nyt lähetetään porapaalujen suunnittelussa ja rakennustyössä käytettäväksi.

Apulaisjohtaja
Siltayksikkö



Juhani Vähäaho

Tieinsinööri
Siltayksikkö



Matti Piispanen

JAKELU

Aulis Nironen (kirje + alkusanat)
Jukka Isotalo (kirje + alkusanat)
Tiepiirit
Tiepiirit, siltainsinöörit
Htl, Hte
Hsi:n tekninen henkilökunta
Tieliikelaitos / Konsultointi / Pääkonttori
Tieliikelaitos / Valtakunnallinen erikoisrskentaminen
Kirjasto
Tieh:n ulkopuolinen jakelu

LIITE

Porapaaalusohje TIEH 2000002-01

ALKULAUSE

Porapaaluja ja porapaalutusta on kehitetty viime vuosina merkittävästi, jolloin niiden käyttö onkin lisääntynyt. Porapaalutukseen ei Suomessa ole ollut omaa ohjetta. Porapaalutukseen on sovellettu Lyöntipaalutusohjetta (LPO-87) ja Suurpaalutusohjetta (SPO-2001). Nämä ohjeet eivät kuitenkaan sovellu porapaalutukseen.

Tämä porapaalutusohje on välivaiheen ohje. Ohje tullaan uudistamaan 3...5 vuoden kuluttua, kun porapaalutuksesta on saatu lisää kokemuksia ja tutkimustuloksia. Uudistamisen yhteydessä porapaalutusohje voidaan mahdollisesti sisällyttää uudistuneeseen paalutusohjeistoon.

Ohjeen kirjoitustyön ohjausryhmässä ovat jäseninä olleet tekn.lis. Juha Heinonen Oy VR-Rata Ab (pj.), tekn.lis. Sami Eronen Rautaruukki Oyj/ Metform, tekn.lis. Jouko Lehtonen Rautaruukki Oyj/CRD, ins. Esko Palmu Tiehallinnon siltayksikkö, dipl.ins. Pentti Salo Tiehallinnon Tie- ja liikennetekniikka ja dipl.ins. Pekka Mantere Suomalainen Insinööritoimisto Oy sekä professori Jorma Hartikainen ja dipl.ins. Pasi Korkeakoski Tampereen teknillisen korkeakoulun pohja- ja maarakenteiden laboratorista.

Ohjeen kirjoitustyö on tehty Tampereen teknillisen korkeakoulun pohja- ja maarakenteiden laboratoriossa tilaustutkimuksena. Ohjeistuksen ovat rahoittaneet Ratahallintokeskus, Rautaruukki Oyj ja Tiehallinto.

Porapaalutuksen tutkimus- ja kehitystyötä on pääosin tehty Tampereen teknillisen korkeakoulun geotekniikan laboratorion toimesta ja ohjeen kirjoittamisessa on käytetty seuraavia diplomitöitä ja julkaisuja: Sami Eronen, Drilled Piles in Scandinavia, 1997, Henning Muhra, Micropiles in Northern and Middle Europe, 1997, Jouni Mali, Rautateiden sähköistyspylvään kaksoisputkiperustus, 1999, Marko Öljymäki, Porapaalumenetelmän soveltaminen vaakakuormitetuissa rakenteissa, 1997, Jyrki Kataja, Drilled Pile Execution by Dual Fluid Systems, 2000 ja Sami Eronen, Drilled Piles in Underpinning and Bridge Foundations, 2001.

SISÄLLYSLUETTELO

1 OHJEESSA KÄSITELTÄVÄT PAALUT JA PORAPAAIUTUSKOHTEN VAATIVUUS	11
1.1 Ohjeen soveltamisalue	11
1.2 PorapaaIutyypit	12
1.2.1 Sydänteräspaalu	12
1.2.2 Porattava teräspuIkipaalu, jonka porausputki jää paalun osaksi	13
1.2.3 Porattava teräspuIkipaalu, jonka porausputki nostetaan ylös	14
1.2.4 Läpi-injektoitavat porapaaIut	15
1.3 PorapaaIutuskohteen vaativuus	17
2 OHJEEN ASEMA	18
2.1 Yleistä	18
2.2 Suunnittelua koskevat määräykset, ohjeet ja standardit	18
2.3 Standardit	20
2.4 Kansalliset standardit ja ohjeet	23
3 MÄÄRITELMÄT	25
4 PAALUTUSTYÖTÄ VARTEN TARVITTAVA AINEISTO	30
4.1 Tavanomaista paalutustyötä varten tarvittava aineisto	30
4.2 Perustusten vahvistuksessa lisäksi tarvittava aineisto	31
5 POHJATUTKIMUKSET	32
5.1 Vaatimukset	32
5.2 Helpot kohteet	33
5.2.1 Kallioon tukeutuvat paalut	33
5.2.2 Maahan tukeutuvat paalut	33
5.2.3 Vaakakuormitetut paalut	33
5.3 Vaativat kohteet	33
5.3.1 Kallioon tukeutuvat paalut.	33
5.3.2 Maahan tukeutuvat paalut	34
5.3.3 Vaakakuormitetut paalut	34
5.4 Hyvin vaativat kohteet	34
5.4.1 Yleistä	34
5.4.2 Kallioon tukeutuvat paalut	35
5.4.3 Maahan tukeutuvat paalut	35
5.4.4 Vaakakuormitetut paalut	36
5.5 Pohjatutkimusten esittäminen	36
6 PAALUJEN MATERIAALIT JA VARUSTEET	38
6.1 Yleistä	38
6.2 Betonin, juotoslaastien ja injektointiaineiden ainesosat	38

6.2.1	Sementti ja sementtiä korvaavat seosaineet	38
6.2.2	Kiviaines	39
6.2.3	Vesi	39
6.2.4	Lisäaineet	39
6.3	Betoni	40
6.3.1	Yleistä	40
6.3.2	Osa-aineiden sekoitus	42
6.3.3	Betonin kelpoisuuden toteaminen	42
6.4	Juotoslaastit	43
6.5	Injektointiaineet	43
6.5.1	Yleistä	43
6.5.2	Kelpoisuuden toteaminen	44
6.6	Porauksessa käytettävät muut aineet	44
6.7	Teräkset	44
6.7.1	Yleistä	44
6.7.2	Betoniteräkset	45
6.7.3	Rakenneteräkset	45
6.8	Jatkokset	45
6.8.1	Yleistä	45
6.8.2	Paalujen jatkaminen hitsaamalla	46
7	SUUNNITTELU	48
7.1	Yleistä	48
7.2	Suunnitteluun sisältyvät tehtävät	48
7.3	Tarkasteltavat rajatilat ja mitoitusilanteet	49
7.4	Paalujen geotekninen suunnittelu	50
7.4.1	Yleistä	50
7.4.2	Geoteknisen kantavuuden laskeminen	50
7.4.3	Kallioon tukeutuvan paalun kärkivastus	51
7.4.4	Kallioon tukeutuvan paalun vaippavastus	51
7.4.5	Maakerrokseen tukeutuvan paalun kantavuus	53
7.4.6	Paalun vetokapasiteetti	53
7.4.7	Paalun sivukapasiteetti	55
7.4.8	Mitoitus sykliselle kuormalle	55
7.4.9	Paalun geotekninen kantavuus staattisilla koekuormituksilla	55
7.5	Rakenteellinen suunnittelu	56
7.5.1	Yleistä	56
7.5.2	Vaipaltaan injektoidujen porapaalujen korroosio	56
7.5.3	Teräspintaisten porapaalujen korroosio	57
7.5.4	Rakenteellinen mitoitus	59
7.5.4.1	Yleistä	59
7.5.4.2	Nurjahduskapasiteetti	59
7.5.4.3	Nurjahduksen aiheuttama sivupaine	60
7.5.4.4	Rakenteellinen kapasiteetti	64

7.5.5	Paalujen pystysuuntaiset siirtymät	64
7.6	Paalujen sijainti	65
7.6.1	Sallitut sijaintipoikkeamat	65
7.6.2	Paalujen sijoitus	66
7.6.2.1	Paalujen väliset etäisyydet	66
7.6.2.2	Paalujen etäisyydet muista rakenteista	67
7.7	Paalujen poraus	67
7.8	Betoniraudoitus	68
7.8.1.1	Yleistä	68
7.8.1.2	Pääteräket	68
7.8.1.3	Hakateräket	69
7.8.1.4	Erikoisraudoitteet	69
8	PAALUTUSTYÖ	70
8.1	Työ- ja laatusuunnitelma	70
8.2	Paaluttajalle asetettavat vaatimukset	71
8.2.1	Paalutustyönjohtaja	71
8.2.2	Paalutustyönjohtajalle kuuluvat tehtävät	72
8.3	Paalutustyön suoritus	72
8.4	Erilaiset asennustavat	73
8.4.1	Porauskalusto	73
8.4.1.1	Yleistä	73
8.4.1.2	Päättälyövä kalusto	74
8.4.1.3	Uppoporakalusto	75
8.4.2	Porausmenetelmä	75
8.4.2.1	Epäkeskinen porausmenetelmä	75
8.4.2.2	Keskinen porausmenetelmä	76
8.5	Paalun poraus	77
8.6	Huuhtelu porauksen aikana	78
8.7	Jatkaminen	79
8.8	Injektointi	80
8.8.1	Yleistä	80
8.8.2	Injektointi maakerroksissa	81
8.8.2.1	Yleistä	81
8.8.2.2	Vaippainjektointi	81
8.8.2.3	Kärki-injektointi	81
8.8.3	Injektointi kalliossa	82
8.9	Paalun päiden sulkeminen ja paalujen katkaisu	82
8.10	Puhdistus	82
8.11	Raudoitus	82
8.12	Paalun betonointi	83

<u>9 LAADUNVALVONTA JA MITTAUKSET</u>	84
9.1 Laadunvalvonta	84
9.2 Paalutuksen valvontamittaukset	84
9.3 Paalujen koestus	85
9.3.1 Yleiset vaatimukset	85
9.3.2 Erityisvaatimukset	86
<u>10 PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI</u>	87
<u>11 TYÖTURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖNSUOJELU</u>	90
11.1 Työturvallisuus	90
11.2 Paalutuksen ympäristövaikutukset	90
11.2.1 Yleistä	90
11.2.2 Tärinä	90
11.2.3 Melu	91
11.2.4 Päästöt	91
<u>LIITTEET PAALUTUSPÖYTÄKIRJAMALLIT</u>	

1 OHJEESSA KÄSITELTÄVÄT PAALUT JA PORAPAALETUSKOHTEN VAATIVUUS

1.1 Ohjeen soveltamisalue

Tässä ohjeessa esitetään porapaalujen suunnittelun ja tekemisen yleiset periaatteet. Ohjeessa käsiteltävien paalujen poikkileikkaus on pyöreä. Ohjetta sovelletaan yksittäisille paaluille ja paaluryhmille.

Ohjeessa käsiteltävät porapaaletyypit

- sydänteräspaalu
- porattava teräspuutkipaalu, jonka porausputki jää rakenteen osaksi
- porattava teräspuutkipaalu, jonka porausputki nostetaan ylös
- läpi-injektoitavat porapaalet

Ohjeessa ei käsitellä auger-porauksella tehtäviä paikalla valettuja paaluja.

Ohjeessa käsiteltävät porapaaletyypit poikkeavat toisistaan, mutta yhteistä niille on, että ne soveltuvat käytettäväksi erityisesti, kun

- rakennuspaikalla on vaikeasti läpäistäviä kerroksia
- kalliopinta on voimakkaasti viettävä
- paalujen on saavutettava tietty tunkeutumistaso
- ympäröivät rakenteet ovat herkkiä värinälle
- vaaditaan hyvää sijaintitarkkuutta.

Porapaalet tehdään Suomessa yleensä kallioon tukeutuvina tukipaaluina, jolloin paalujen materiaalien lujuus voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi.

Maakerrokseen tukeutuvien pystykuormitettujen porapaalujen käyttö tulee kysymykseen silloin, kun kallion päällä oleva karkearakeinen maakerros tai moreenikerros on paksu.

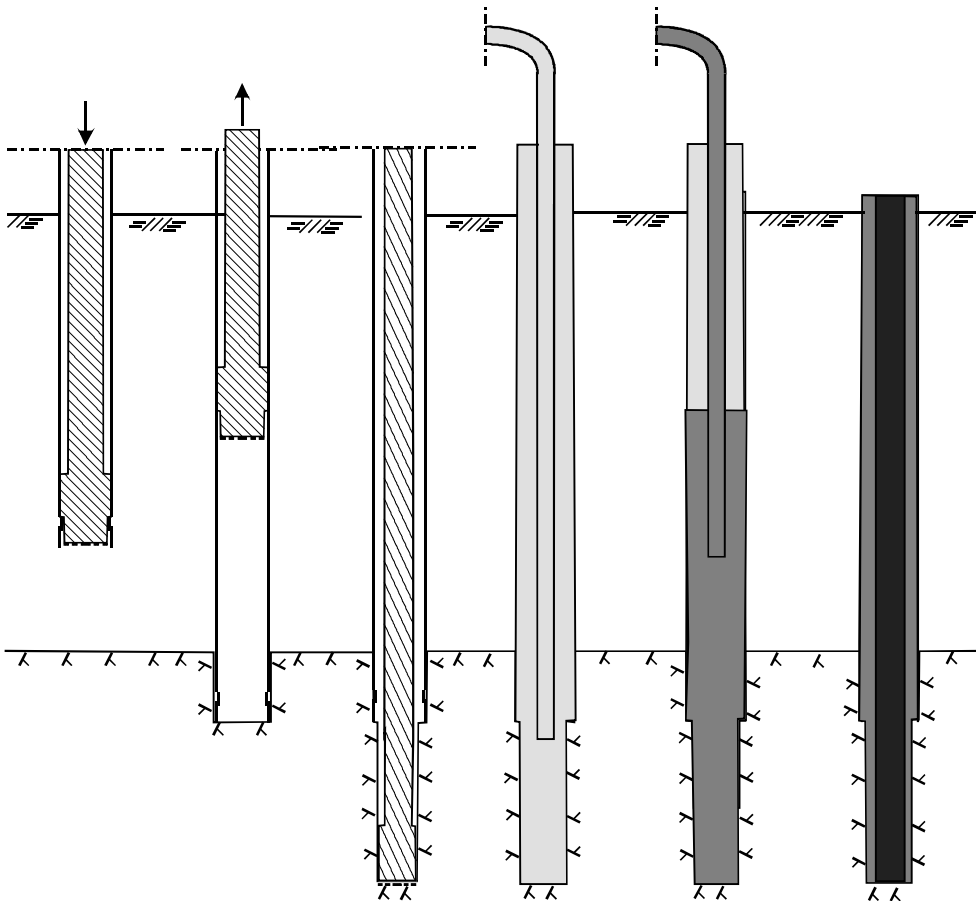
Pääasiallisesti vaakakuormitetut porapaalet tukeutuvat yleensä maakerrokseen.

Porapaaletta ei käytetä koheesiopaaluina.

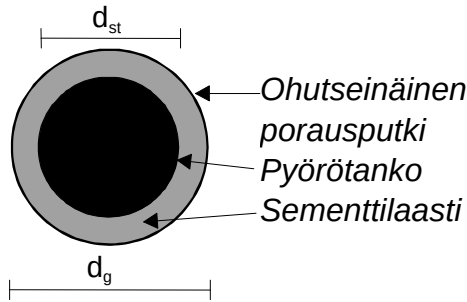
1.2 Porapaaletyypit

1.2.1 Sydänteräspaalu

Perinteisten sydänteräspaalujen maaputkiporaus tehdään ohutseinäisellä porausputkella. Porausputki jatketaan tarvittaessa. Saavutettaessa kallio maaporauksen pilottikruunu nostetaan ylös. Porausta jatketaan kalliokruunulla, joka ei upota porausputkea. Poraustyön jälkeen putki huuhdellaan ja täytetään sementtilaastilla. Lopuksi porausputkeen asennetaan keskittäjällä varustettu pyörötanko (kuva 1). Poraus voidaan tehdä joko päältä ylösvälillä vasaralla tai uppovasaralla. Poraus voidaan tehdä joko keskisellä tai epäkeskisellä porausmenetelmällä.



Kuva 1 Sydänteräspaalun työvaiheet

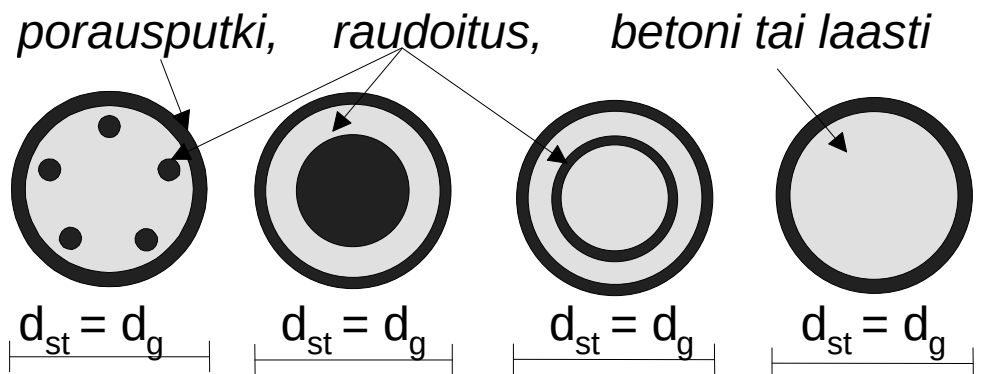


Kuva 2 Sydänteräspaalun poikkileikkaus

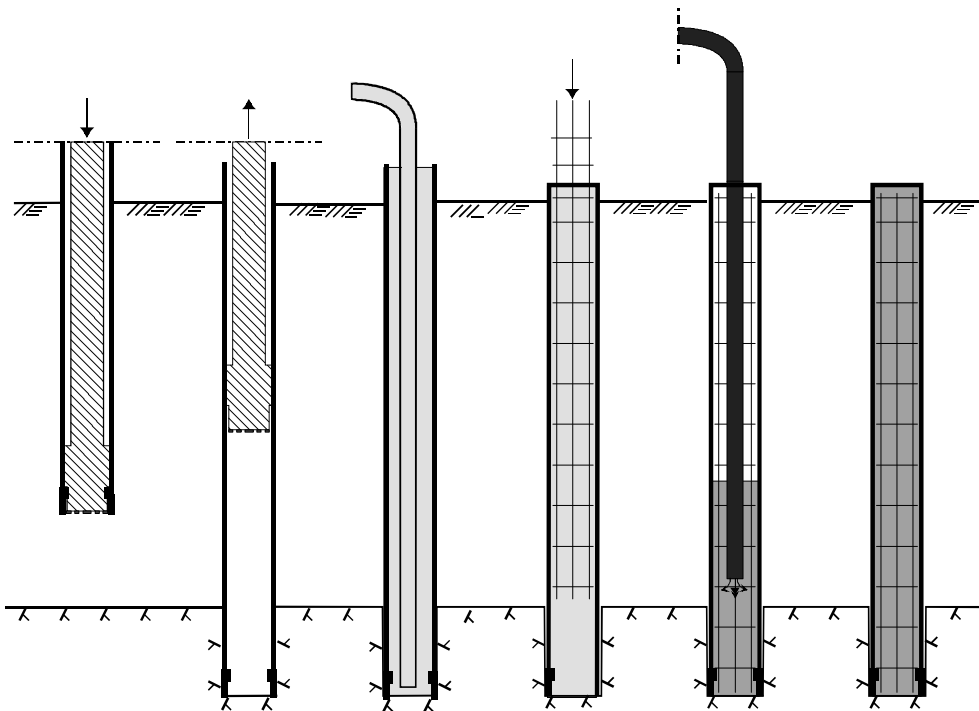
1.2.2 Porattava teräspankkipaalu, jonka porausputki jää paalun osaksi

Porattavan teräspankkipaalin paksuseinäinen teräspankki toimii sekä porattaessa porausputkena että valmiissa paalussa kantavana rakenteena, joka ottaa osan paalukuormasta. Porausputki jatketaan tarvittaessa. Kallioon poraus tehdään samalla kalustolla, ilman erillisiä työvaiheita (kuva 4). Poraustyön jälkeen putki huuhdellaan. Käytettäessä raudoitekehikkoa, se asennetaan porausputkeen ennen betonointia. Poraus voidaan tehdä kuten sydänteräspaaluilla joko päältätyöväällä vasaralla tai uppovasaralla. Poraus voidaan tehdä joko keskisellä tai epäkeskisellä porausmenetelmällä.

Paalukuormista ja pohjasuhteista riippuen voidaan teräspankkipaaluissa käyttää erilaisia lisäraudoitteita (kuva 3).



Kuva 3 Porattavien teräspankkipaalujen, joiden porausputki jää paalun osaksi, raudoitusvaihtoehtoja.

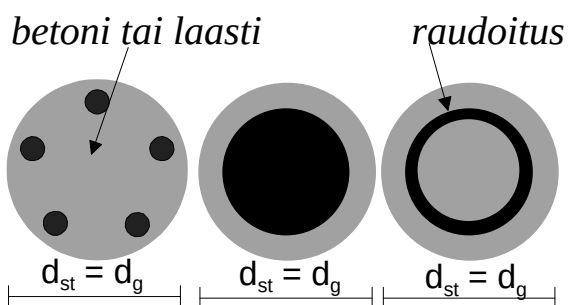


Kuva 4 Porattavan teräspankkipaalun, jonka porausputki jää paalun osaksi, työvaiheet.

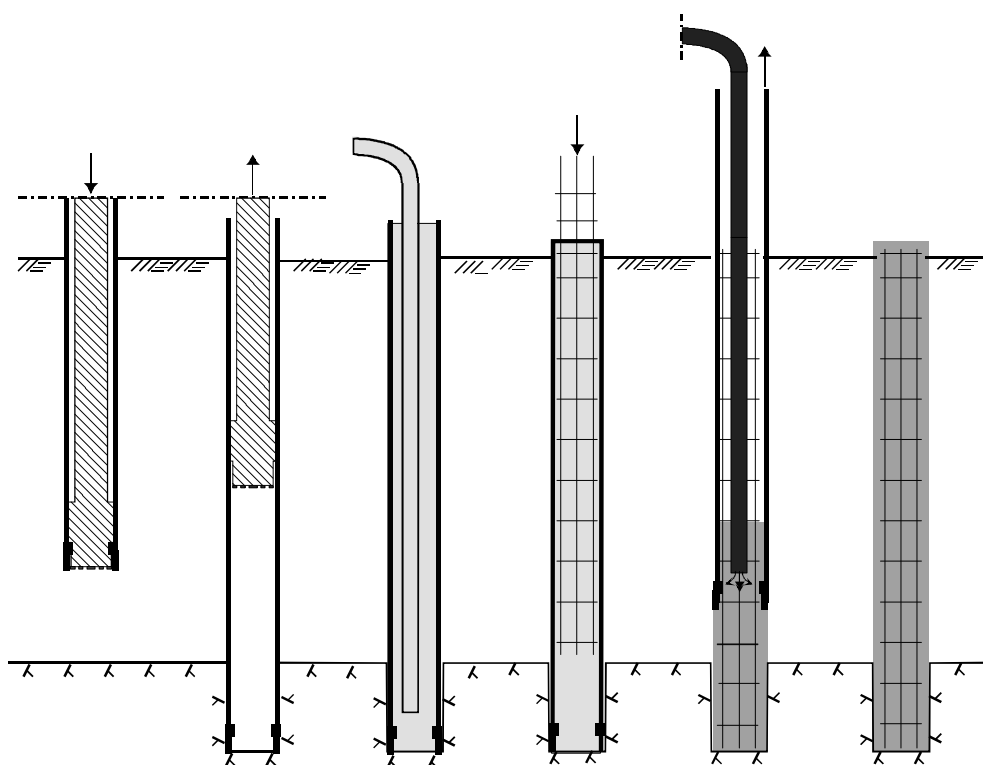
1.2.3 Porattava teräspankkipaalu, jonka porausputki nostetaan ylös

Porattavassa teräspankkipaalussa, jonka porausputki nostetaan ylös, teräspankkiputki toimii porattaessa porausputkenä. Porattavan teräspankkipaalun työvaiheet on esitetty kuvassa 6. Poraus voidaan tehdä kuten sydänteräspankkipaaluilla joko päältälyövällä vasaralla tai uppovasaralla.

Paalussa on aina käytettävä raudoitusta. Kuormista ja pohjasuhteista riippuen voidaan porapaaluissa käyttää erilaisia raudoitteita (kuva 7).



Kuva 5 Porattavien teräspankkipaalujen, jonka porausputki nostetaan ylös raudoitusvaihtoehtoja.

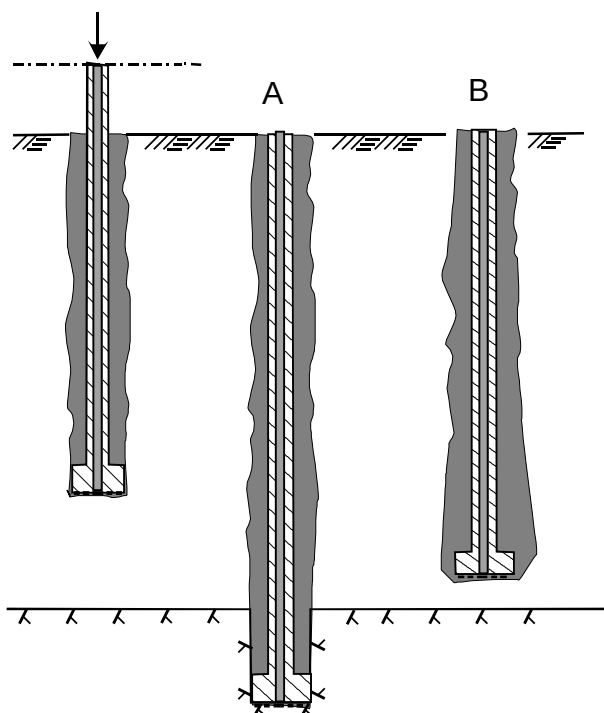


Kuva 6 Porattavan teräsputki-paalun, jonka porausputki nostetaan ylös, työ-vaiheet

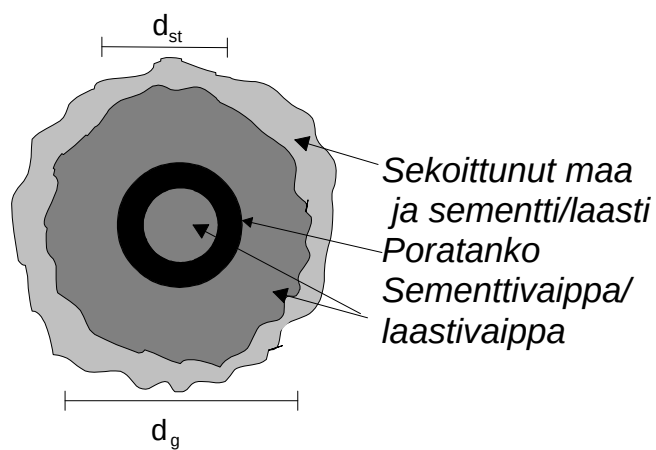
1.2.4 Läpi-injektoitavat porapaalet

Läpi-injektoitavissa porapaaletissa poratanko jää maahan ja vaippa injektoidaan porauksen aikana sementtiliitteellä. Paalut porataan päältätyöväällä porauskalustolla. Poratangot jatketaan yleensä kierrehylsillä. Paalujen asennuksessa on periaatteessa vain yksi työvaihe; samanaikainen poraus ja injektointi (kuva 7). Huuhtelu tehdään poratankon keskellä olevan reiän kautta sementtiliitteellä. Porakruunun ollessa poratankoa suurempi muodostuu paalulle maaperästä, huuhtelupaineesta ja -määrästä sekä porausnopeudesta riippuen porakruunun halkaisijan suuruinen laastivaippa. Porareian seinämään muodostuu reikää tukeva sementtilietekerros. Suodattuneen sementtikerroksen ulkopuolelle voi maaperästä riippuen muodostua sementtiliitteestä ja maa-aineksesta sekoittunut vyöhyke. Rakenteellisessa mitoituksessa voidaan ottaa huomioon ainoastaan poratankon kapasiteetti. Nurjahdusmitoituksessa voidaan paalua tukevan maakerroksen leveytenä pitää porakruunun halkaisijaa. Geoteknisessä mitoituksessa voidaan ottaa huomioon myös porakruunun halkaisijan suuruinen laastivaippa. Maa-aineksen muodostaman vyöhykkeen huomioon ottaminen geoteknisessä mitoituksessa edellyttää menetelmäkokeita ja koekuormituksia paalutuskohteessa tai vähintään samalla alueella esiintyvissä vastaavissa pohjasuhteissa (kuva 8).

Ohjeessa käsiteltävät paalut ja porapaalutuskohteen vaativuus



Kuva 7 Läpi-injektoitavan porapaalun työvaiheet. Kallioon tukeutuva paalu (A) ja maakerrokseen tukeutuva paalu (B).



Kuva 8 Läpi-injektoitavan porapaalun poikkileikkaus.

1.3 Porapaaalutuskohteen vaativuus

Porapaaalutuskohteet voidaan jakaa Pohjarakennusohjetta 1988 soveltaen kolmeen vaativuusluokkaan: helppoihin, vaativiin ja hyvin vaativiin kohteisiin.

Kohteen vaativuus määritellään ylärakenteen, pohjasuhteiden ja paalujen kuormitusasteen sekä suunnan perusteella.

Ylärakenteen vaativuus määritellään seuraavin periaattein.

Helpot kohteet

- Kevyet ja yksinkertaiset rakenteet: ei jatkuvaan asuinkäyttöön tarkoitettut rakennukset, esimerkiksi kevyet vapaa-ajan rakennukset, varastot ja katokset sekä meluseinät, aitapylväät ja muut kevyesti kuormitettut pylväät.

Vaativat kohteet

- Yksinkertaiset rakennukset ja rakenteet sekä valaistus- ja liikenteenohjauspylväät ja -porttaalit

Hyvin vaativat kohteet

- Rakenteiltaan monimutkaiset rakenteet ja rakennukset
- Sillat, vesirakenteet, teollisuusrakenteet ja muut vastaavat taitorakenteet.
- Sähköistys-, voimansiirto- ja tiedonsiirtoverkkojen pylväät ja mastot
- Rakenteet, joihin kohdistuu dynaamisia tai muuten poikkeuksellisia kuormia kuten merkittäviä vaakakuormia, momenttirasituksia tai suuria pystykuormia tai joille asetetaan erityisiä vaatimuksia.

2 OHJEEN ASEMA

2.1 Yleistä

Tämä ohje perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) määräyksiin ja ympäristöministeriön päätöksiin eurocodejen ja niiden kansallisten soveltamisasiakirjojen käyttämisestä vaihtoehtoisena suunnittelu-järjestelmänä sekä vahvistettuihin eurooppalaisiin standardeihin(SFS-EN)

Porapaalutusohje on siirtymäkauden ohje, jossa esitetään porapaalujen suunnittelu, tekeminen ja laadunvalvonta.

Ohje on pyritty laatimaan eurooppalaisten standardien pohjalta ottaen kuitenkin huomioon Suomen pohjasuhteet ja paalutuskäytäntö.

Tämän ohjeen käyttäjän on oltava tietoinen kansallisten ohjeiden ja eurooppalaisten standardien kulloisestakin statuksesta. Ohjeen tekovaiheessa käytettävissä olleiden eurooppalaisten CEN –standardien keskenäisyydestä johtuen voi niiden ja tämän ohjeen välillä esiintyä ristiriitaisuuksia. Ristiriitatilanteessa noudatetaan standardiehdotusta CEN/TC 288 N213E Execution of special geotechnical work. Micropiles (April 2000).

2.2 Suunnittelua koskevat määräykset, ohjeet ja standardit

Suunnittelussa voidaan käyttää vaihtoehtoisena suunnittelujärjestelmänä joko Suomen rakentamismääräyskokoelmaan ja Pohjarakennusohjeisiin (RIL-121, 1988) perustuvaa suunnittelujärjestelmää tai eurocodeihin ja niiden kansallisiin sovellusasiakirjoihin (NAD) perustuvaa järjestelmää. Tois- taiseksi siltojen suunnittelussa ei ole hyväksytty eurocodejen käyttöä.

Seuraavassa on lueteltu Suomen Standardisoimisliiton julkaisemat euroco- deihin perustuvan järjestelmän standardit ja vastaavat ympäristöministeriön julkaisemat kansalliset sovellusasiakirjat.

SFS-ENV 1991-1:1995

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures

Part 1: Basis of design

Eurocode 1: Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.

Osa 1: Suunnitteluperusteet

Ohjeen asema

Kansallinen soveltamisasiakirja esistandardille SFS-ENV 1991-1:1995
Eurocode 1: Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.
Osa 1: Suunnitteluperusteet

SFS-ENV 1992-1-1
Eurocode 2: Design of concrete structures
Part 1: General rules and rules for buildings
Eurocode 2: Betonirakenteiden suunnittelu
Osa 1: Yleiset säännöt ja talonrakennuksen säännöt

Kansallinen soveltamisasiakirja esistandardille SFS-ENV 1992-1:1991
Eurocode 2: Betonirakenteiden suunnittelu
Osa 1: Yleiset säännöt ja talonrakennuksen säännöt

SFS-ENV 1993-1-1:1992
Eurocode 3: Design of steel structures
Part 1: General rules and rules for buildings
Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
Osa 1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

Kansallinen soveltamisasiakirja esistandardille SFS-ENV 1993-1-1:1992
Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

SFS-ENV 1993-5:1997
Eurocode 3: Design of steel structures
Part 5: Piling
Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
Osa 5: Teräspaalut

SFS- ENV 1994-1-1:1992
Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures
Part 1: General rules and rules for buildings
Eurocode 4: Betoni-teräслиittorakenteiden suunnittelu.
Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

Kansallinen soveltamisasiakirja esistandardille SFS-ENV 1994-1-1:1992(NAD)
Eurocode 4: Betoni-teräслиittorakenteiden suunnittelu.
Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

SFS-ENV 1997-1

Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules

Eurocode 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt

Kansallinen soveltamisasiakirja esistandardille SFS-ENV 1997-1

Eurocode 7: Geotekninen suunnittelu.

Osa 1: Yleiset säännöt

SFS-ENV 1997-2

Eurocode 7: Geotechnical design. Part 2: Laboratory testing

SFS-ENV 1997-3

Eurocode 7: Geotechnical design. Part 3: Field testing

2.3 Standardit

Tässä kohdassa on lueteltu eurocodeja lukuun ottamatta kaikki kansalliset (SFS) ja eurooppalaiset (SFS-EN) standardit, joita on noudatettava paaluja suunniteltaessa ja tehtäessä. Standardin kulloinkin voimassa olevan laitoksen määräyksiä on noudatettava. Luettelo sisältää myös esistandardit ja standardiehdotukset (SFS-ENV, ENVC ja prEN)

SFS-EN 996:1996

Piling equipment. Safety requirements

(Paalutuskoneet. Turvallisuusmääräykset)

SFS-EN 791:1996

Drill rigs – Safety

(Porauslaitteet. Turvallisuus)

SFS-EN 1536:1999

Execution of special geotechnical work. Bored piles

Pohjarakennustyöt. Kaivettavat paalut

SFS-EN 1537:2000

Execution of special geotechnical work. Ground anchors

Pohjarakennustyöt. Maa-ankkurit

SFS-EN 1538:2000

Execution of special geotechnical works. Diaphragm walls

Pohjarakennustyöt. Kaivantoseinät

SFS 3165:1993

Cement. Composition, specification and conformity criteria. Part 1:
Common cement
Rakennussementit

SFS-EN 12063:1999

Execution of special geotechnical work. Sheet-pile walls
Pohjarakennustyöt. Teräs- ja puutukiseinät

SFS 1215:1996-08-26

Reinforcing steels. Weldable hot rolled ribbed steel bars A500HW
Betoniteräkset. Hitsattava kuumavalssattu harjatanko A500HW

SFS 1257:1996-08-26

Reinforcing steels. Cold worked ribbed steel bars B500K
Betoniteräkset. Kylmämuokattu harjatanko B500K

SFS-EN 10025:1990

Hot rolled products of non-alloy structural steels. Technical delivery conditions
Kuumavalssatut, seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot

SFS-EN 10219-1:1998 ja SFS-EN 10219-2:1998

Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels.
Kylmämuovatut hitsatut seostamattomat rakenne- ja hienoraerakenneteräsputkipalkit.
Part 1 Technical delivery requirements. Osa 1 Tekniset toimitusehdot
Part 2 Tolerances, dimensions and sectional properties. Osa 2 Toleranssit, mitat ja poikkileikkaussuureet.

SFS-EN 287-1:1997

Approval testing of welders. Fusion welding. Part 1: Steels
Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset

SFS-EN 25817:1993

Arc-welded joints in steel. Guidance on quality levels for imperfections (ISO 5817:1992)
Terästen kaarihitsaus. Hitsiluokat

SFS-EN 449:1995

Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of non alloy and fine grain steels. Classification.

Hitsausaineet. Hitsauspuikot seostamattomien terästen ja hienorasterästen puikkohitsaukseen. Luokittelu.

SFS-EN 29692:1994

Metal-arc welding with covered electrode, gas-shielded metal-arc welding and gas welding. Joint preparations for steel (ISO9692:1992)

Puikko-, metallikaasukaari- ja kaasuhitsaus. Railomuodot teräksen hitsaukseen

SFS-EN 288-1:1997, SFS-EN 288-2:1997, SFS-EN 288-3:1998

Specification and qualification for welding procedures for metallic materials;

Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille.

Part 1: General rules for fusion welding; Osa 1: Yleiset ohjeet sulatushitsaukselle.

Part 2: Welding procedure specification for arc welding; Osa 2: Hitsausohjeet kaarihitsaukselle.

Part 3: Welding procedure tests for the arc welding of steels; Osa 3: Teräksen kaarihitsauksen menetelmäkokeet.

Seuraavassa on luettelo eurooppalaisista esistandardeista (SFS-ENV tai ENV) sekä valmisteilla olevista eurooppalaisista standardiehdotuksista (prEN):

SFS-ENV 206

Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria.

Betoni. Ominaisuudet, valmistus, betonointi ja kelpoisuuden toteaminen

SFS-ENV 197-1

Cement – Composition, specifications and conformity criteria. Part 1: common cements

Sementti – Koostumus, laatuvaatimukset ja kelpoisuuskriteerit. Osa 1: Tavalliset sementit.

Ohjeen asema

ENV 10080

Steel for reinforcement of concrete, weldable ribbed reinforcing steel B500– Technical delivery conditions for bars, coils and welded fabric.

EN 12699:2000

Execution of special geotechnical work. Displacement piles

EN 12715:2000

Execution of special geotechnical work. Grouting

prEN 1008:1997

Mixing water for cement – Specifications for sampling, testing and assessing the suitability of water, including wash water from recycling installations in the concrete industry as mixing water for concrete

prEN 1260:1996

Aggregates for concrete including those for use in roads and pavements

CEN/TC 288 N213E Execution of special geotechnical work. Micropiles
(April 2000) (valmisteluvaiheessa)

2.4 Kansalliset standardit ja ohjeet

Tässä kohdassa on lueteltu kaikki kansalliset standardit, joita on noudatettava ohjeessa käsiteltäviä paaluja suunniteltaessa ja tehtäessä.

Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK)

B3 Pohjarakennus

B4 Betonirakenteet

B7 Teräsrakenteet

Ohjetta täydentävät mm. seuraavien, kulloinkin voimassa olevien julkaisujen paalutusiasioita koskevat kohdat.

Pohjatutkimusten ohjelmointi ja suoritusta koskevat ohjeet:

- Talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet (SGY, TPO-83, 1983)
- Geotekniset laboratorio-ohjeet (SGY, GLO-85, 1985)
- Kairausoppaat (SGY) –

- Kairausopas I – paino- ja heijarikairaus (1980)
- Kairausopas II – siipikairaus (1999)
- Kairausopas III – näytteenotto (1984)
- Kairausopas IV – pohjaveden pinnan mittaaminen (1990)
- Kairausopas V – porakairaus (1986)
- Rakennusalan kalliotutkimusohjeet (SGY, RKO-79, 1979)

Pohjarakenteiden suunnittelua ja rakentamista koskevat ohjeet:

- Pohjarakennusohje 1988 (RIL 121-181)
- Rakenteiden kuormitusohjeet (RIL 144, 1987)
- Suurpaalutusohje SPO-2001 (SGY, RIL-212-2001)
- Rakennuskaivanto-ohje (RIL 181-1989)
- Geosuunnittelun tehtäväluettelo GEO 95 (SKOL 1995)
- Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset (RYL-90, 1989)
- Talo-90 nimikkeistö, (Rakennustieto Oy)

Paalujen liittorakennesuunnittelua koskevat ohjeet

- Liittorakenteet, suunnitteluohjeet (TRY, BY 26, 1988)
- Liittorakenteiden sovellusohjeet (TRY, BY 36, 1991)

Valvontaa koskevat ohjeet:

- Pohjarakennustöiden valvontaohjeet (SGY PRP-84, 1984)

Lyhenteet:

BY, Suomen Betoniyhdistys ry.

RIL, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

SGY, Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

TRY, Suomen Teräsrakenneyhdistys ry.

VTT, Valtion teknillinen tutkimuskeskus

3 MÄÄRITELMÄT

Geotekninen halkaisija, d_g

Paalun geoteknisessä mitoituksessa käytettävä paalun halkaisija ja nurjahdusmitoituksessa paalua tukevan maakerroksen leveys.

Geotekninen kapasiteetti

Maan tai kallion kyky ottaa vastaan paalun kautta välittyvät kuormat.

Injektointiaine (Grout)

Sementin tai erilaisten kemikaalien ja veden seos, joka puristetaan paineella ympäröivän maan huokosiin tai kallion rakoihin.

Juotoslaasti (Mortar)

Hyvin pieni raekokoista betonia, joka voi muodostaa liittorakenteen teräsputken kanssa, mutta ei tunkeudu maahan.

Kalliokontakti

Kallioon tukeutuvan paalun alapään ja kallion kontakti.

Katkaisutaso (cut-off level)

Paalun yläpään taso ylimääräisen pituuden poiston jälkeen.

Keskistäjä

Raudoitukseen kiinnitetyt kappaleet, jotka ohjaavat raudituskehikon keskeiseksi ja estävät sitä painumasta porausputkea vasten.

Kevyt koetintanko

Porausputken sisällä suoritettaviin tarkastustoimenpiteisiin tarkoitettu väline, joka tehdään suljetuista kevyistä putkista siten, että sen paino on lähes siihen kohdistuvan nosteen suuruinen.

Kitkapaalu (friction pile)

Paalu, joka siirtää pääosan kuormasta maakerrokseen vaippapinnalla vaikuttavan kitkan välityksellä.

Koepaalu (preliminary pile)

Ennen varsinaista paalutustyötä tehtävä paalu, jonka tarkoituksena on varmistaa valitun paalutyyppin soveltuvuus kohteeseen.

Koekuormituspaalu (test pile)

Paalu, jota kuormittamalla selvitetään paalun kantokyky sekä painuman riippuvuus kuormituksesta tutkittavissa maakerroksissa

Koheesiopaalu

Paalu, joka siirtää kuorman maakerrokseen vaippapinnalla vaikuttavan adheesion välityksellä.

Kokeilupaalu (trial pile)

Ennen rakentamista tehtävä paalu, jonka avulla voidaan arvioida paalutusmenetelmän käyttökelpoisuutta ja soveltuvuutta tiettyyn kohteeseen.

Kuivavaluputki

Metallinen betonointiputki, johon kuuluu suppilo ja laskukouru.

Negatiivinen vaippahankaus

Paalun ja ympäröivän maakerroksen välisistä kitka- ja adheesiovoimista paalulle siirtyvä kuorma, joka rasittaa paalua silloin, kun maaperä painuu enemmän kuin paaluperustus.

Paalu

Hoikka rakenneos, joka siirtää kuormia kallioon tai kantavaan maakerrokseen ja estää rakenteiden siirtymiä.

Paaluelementti (paalun varsielementti)

Ennen maahan upottamista tai asentamista tehty paalun varsi tai varren osa.

Paalun kaltevuuspoikkeama

Paalun suunnitellun ja toteutuneen kaltevuuden välinen ero katkaisutasolla.

Paalujen sijaintipoikkeama

Paalun suunnitellun ja toteutuneen sijainnin välinen ero katkaisutasolla.

Paalun kärki

Paalun alapää.

Paalun pohja

Porareiän pohja.

Paalun pää

Paalun yläpää.

Paalun vaippa

Paalun varren ja maan kontaktipinta.

Paalun varsi

Paalun kantava rakenne, yläpään ja kärjen välinen osa.

Perustuspaalu

Paalu, joka toimii perustuksena tai perustuksen osana.

Porareikää tukeva liete

Porareikää tukeva vedestä ja bentoniitista tai muista sopivista materiaaleista tehty seos. Käytetään Suomessa joskus porareiän pohjan hydraulisen murtumisen estämiseen.

Poratanko

Tanko, joka välittää päältätyövän vasaran iskun ja jonka kautta kulkee uppovasaraa käyttävä aine sekä porakruunun huuhteluaine ja joka välittää pyöritysvoiman porakruunuun. Poratanko sijaitsee porausputken sisällä. Joissakin päältätyöissä vasaroissa voidaan käyttää myös umpinaista poratankoa.

Porausputki

Porausputki, joka voidaan jättää maahan tai nostaa ylös ja joka voi toimia paalun kantavana rakenteena joko yksinään tai liittorakenteen osana. Maahan jätettävän porausputken avulla voidaan myös varmistaa valun onnistuminen. Tunnetaan myös nimellä maaporausputki.

Portaittainen kuormituskoe

Staattinen kuormituskoe, jossa paalun kuormitusta lisätään vaiheittain pitäen jokaista kuormitusta vakiona vähintään tietyn ajan. Kuormitusta ylläpidetään kuitenkin vähintään niin kauan, että paalun painumisnopeus on pienempi kuin asetettu raja.

Puristettu paalu

Paalu, joka ottaa vastaan pituusakselinsa suuntaisia puristuskuormia.

Rakenteellinen halkaisija, d_{st}

Paalun rakenteellisessa mitoituksessa käytettävä paalun halkaisija.

Rakenteellinen kapasiteetti

Paalun varren kestävyys paalulle tulevien kuormien siirtämiseksi paalun vaipalle ja kärkeen.

Raudoituskehikko

Raudoituskehikko muodostuu paalun suuntaisista, ympyrän muotoon asetetuista pääteräksistä ja niitä kiertävistä hakateräksistä.

Ripustustangot

Teräskiinnikkeet, joiden varaan raudoituskehikko porareiässä ripustetaan.

Staattinen kuormituskoe

Kuormituskoe, jossa paalua kuormitetaan aksiaalisella ja/tai vaakakuormalla paalun kuorma-siirtymä -vuorosuhteen ja/tai murto-myötökapasiteetin selvittämiseksi.

Tavoitetaso

Taso, johon kärki on porattava, jotta paalu saavuttaa riittävän geoteknisen kantavuuden ja joka on riittävästi tulevan kaivu- tai leikkaustason alapuolella.

Tukipaalu

Paalu, joka siirtää suurimman osan kuormista kärjen välityksellä kallioon tai maakerrokseen.

Vaakakuormitettu paalu

Paalu, johon kohdistuu merkittäviä vaakakuormia.

Vaippavastus

Paalun vaipalla vaikuttava kitka ja/tai adheesio.

Vakionopeudella tehtävä kuormituskoe

Staattinen kuormituskoe, jossa paalu puristetaan maahan vakionopeudella ja puristusvoimaa mitataan jatkuvasti.

Varren halkaisija d

Paalun halkaisija paalun ylä- ja alapään välillä.

- a) Porausputken kanssa poratuilla paaluilla porausputken ulkohalkaisija
- b) Ilman porausputkea poratuilla paaluilla enintään porakruunun halkaisija

Vedenalaisen betonoinnin valuputki

Syrjäytyvällä tulpalla varustettu betonointiputki, jossa on vedenpitävät liitokset vedenalaista betonointia varten. Betonoinnin aikana valuputken alapää on betonimassassa.

Vedetty paalu

Paalu, joka ottaa vastaan pituusakselinsa suuntaisia vetokuormia.

Vinopaalu

Pystysuoraan nähden kaltevaksi asennettava paalu.

4 PAALUTUSTYÖTÄ VARTEN TARVITTAVA AINEISTO

4.1 Tavanomaista paalutustyötä varten tarvittava aineisto

Tässä kappaleessa on käsitelty tavanomaisia paalutustyötä varten tarvittavaa aineistoa käyttäen hyväksi eurooppalaista valmisteluvaiheessa olevaa paalutuksen esistandardia CEN/TC 288 N213E Execution of special geotechnical work. Micropiles (April 2000).

Kaiken porapaalutustyön kannalta tärkeän tiedon on sisällyttävä rakentamisasiakirjoihin.

Seuraavat paalutustyön kannalta tarpeelliset tiedot on oltava työmaan käytettävissä kirjallisina ennen työn aloittamista vaativissa ja hyvin vaativissa kohteissa:

- Rakentamisasiakirjat; urakkaohjelma, työselitys tai laatuvaatimukset ja niihin liittyvä pohjatutkimus, pohjarakennus- ja rakennepiirustukset. Pohjatutkimusaineiston vaatimukset esitetään kappaleessa 5.
- Työ- ja laatusuunnitelma, jossa esitetään paalutusmenetelmän yksityiskohdat, paalutusjärjestys sekä laadunvalvontamittaukset, tarkastukset ja koestukset.
- Olosuhteet työmaalla, kuten alueen rajat, maanpinnan viettosuhteet, kulku alueelle, työtä rajoittavat tekijät jne.
- Läheisten rakennusten, teiden, rautateiden, laitteiden, johtojen ja kaapeleiden, olemassa olevien maanalaisten rakenteiden, perustusten, paalujen, ankkureiden ja muiden maassa olevien esteiden, muinaisjäännösten sekä työskentelyä rajoittavien rakenteiden kuten esimerkiksi voimalinjojen sekä sähköistyksen ja valaistuksen sijainti ja kunto.
- Tiedot maaperän saastumisesta ja korroosiolle altistavista tekijöistä sekä muista niiden kaltaisista haitoista, jotka voivat vaikuttaa paalutyypin valintaan tai työturvallisuuteen.
- Ympäristöhaittojen kuten melun, värinän ja päästöjen raja-arvot sekä muut laissa asetetut rajoitukset kuten aikarajoitukset.
- Tieto aikaisemmin paikalla tai sen läheisyydessä tehdyistä paalutuksista, muista perustamistaista ja maanalaisista töistä.
- Samaan aikaan vireillä olevat toiminnot, jotka voivat vaikuttaa työhön kuten esimerkiksi läheinen kaivanto ja pohjaveden alentaminen.
- Kiintopisteiden sijainti.

- Viereisten rakennusten ja rakenteiden sallitut muodonmuutokset.
- Vaadittu tarkkailumittausjärjestelmä ja katselmukset.
- Käytettävissä olevien kulkureittien ja työskentelyalueiden mitat.

4.2 Perustusten vahvistuksessa lisäksi tarvittava aineisto

Perustusten vahvistuksessa tarvitaan lisäksi seuraavat tiedot:

- Vahvistettavien ja viereisten rakennusten sallitut muodonmuutokset
- Vahvistettavien ja viereisten rakennusten sekä niiden perustusten kunto
- Olemassa olevien perustusrakenteiden, lattioiden, viemäreiden, kuivatus- ja pohjaveden hallintajärjestelmien mitat ja materiaalit
- Käytettävissä olevien tilojen mitat.

5 POHJATUTKIMUKSET

5.1 Vaatimukset

Pohjatutkimuksien tekemistä säätelevät yleisellä tasolla kansalliset määräykset RakMK B3 Pohjarakennus sekä voimassa olevat kansalliset ohjeet ja eurooppalaiset standardit ENV 1997-1, ENV1997-2, ENV-1997-3.

Pohjatutkimusmenetelmät, tutkimuspisteiden etäisyydet ja tutkimussyvyys valitaan paalutuskohteen vaativuuden ja paaluja kantavan kerroksen perusteella. Pohjatutkimusten perusteella mitoitetaan paalujen tavoitetaso, paalun halkaisija sekä paalutuskalusto. Tästä syystä pohjatutkimukset ovat tärkeitä myös pienissä paalutuskohteissa.

Taulukossa 1 on esitetty käytettävät pohjatutkimusmenetelmät paalutuskohteen vaativuuden ja paalun tukeutumistavan perusteella. Seuraavissa kappaleissa on esitetty tarkemmin pohjatutkimusten suorittaminen ja pohjatutkimusten määrät.

Taulukko 1 Pohjatutkimusmenetelmät paalutuskohteen vaativuuden ja paalun tukeutumistavan perusteella.

	porakonekairaus	painokairaus	puristinkairaus	heijarikairaus	siipikairaus	näytteenotto ja laboratorio tutkimukset	pohjaveden tason mittaus
HELPOT KOHTEET							
Kallioon tukeutuvat paalut	(X)						
Maahan tukeutuvat paalut		(X)					
Vaakakuormitetut paalut		(X)					
VAATIVAT KOHTEET							
Kallioon tukeutuvat paalut.	X			(X)	X	(X)	
Maahan tukeutuvat paalut				X	X	(X)	
Vaakakuormitetut paalut		X	X		(X)	X	
HYVIN VAATIVAT KOHTEET							
Kallioon tukeutuvat paalut	X			X	(X)	(X)	
Maahan tukeutuvat paalut		X		X	(X)	X	
Vaakakuormitetut paalut				(X)	(X)	X	X

x on tehtävä

(x) tehdään tarvittaessa

5.2 Helpot kohteet

5.2.1 Kallioon tukeutuvat paalut

Porapaalutuksen suunnittelua varten olisi suoritettava porakonekairaus (Kairausopas V 1986) perustettavan rakennuksen jokaiselta nurkalta tai yksittäisen rakenteen kohdalta tai joka neljännen meluseinä- tai aitapylvään kohdalta tai enintään 20 m välein.

Porapaalutusta voidaan pitää poikkeustapauksissa kairausta vastaavana menetelmänä. Tällöin paalutus on dokumentoitava kuten porakonekairaus (Kairausopas V 1986). Menetelmää voidaan käyttää paalupituuden arviointiin.

5.2.2 Maahan tukeutuvat paalut

Porapaalutuksen suunnittelua varten suoritettavat pohjatutkimukset voidaan suorittaa painokairauksina, jotka tulisi tehdä vähintään perustettavan rakennuksen jokaiselta nurkalta tai yksittäisen rakenteen kohdalta tai joka neljännen meluseinä- tai aitapylvään kohdalta tai enintään 20 m välein.

5.2.3 Vaakakuormitetut paalut

Paalujen mitoitusta varten olisi suositeltavaa tehdä painokairauksia vähintään jokaisen yksittäisen rakenteen kohdalta tai joka neljännen meluseinä- tai aitapylvään kohdalta tai enintään 20 m välein.

5.3 Vaativat kohteet

5.3.1 Kallioon tukeutuvat paalut.

Porapaalutuksen suunnittelua varten on tehtävä vähintään porakonekairauksia. Lisäksi olisi maakerroksen porattavuuden selvittämiseksi tehtävä heijarikairauksia.

Kairauksia on sijoitettava vähintään perustettavan rakenteen nurkkiin. Kallion pinnan ja pohjasuhteiden vaihtelun jyrkkyydestä riippuen tutkimuspisteet sijoitetaan enintään 5-15 m välein. Porakonekairaukset on ulotettava 3 m kallioon ja 2 m paalun kärjen tavoitetason alapuolelle.

Paalun nurjahduskuorman laskennassa tarvittavien parametrien määrittämiseksi on pehmeissä eloperäisissä tai hienorakeisissa maakerroksissa tehtävä siipikairauksia.

Lisäksi olisi otettava häiriintyneet näytteet yhdestä pisteestä neljää kairauspistettä kohti maakerrosrajojen määrittämiseksi.

5.3.2 Maahan tukeutuvat paalut

Heijarikairauksia on sijoitettava vähintään perustettavan rakenteen nurkkiin. Kallionpinnan ja pohjasuhteiden vaihtelun jyrkkyydestä riippuen tutkimuspisteet sijoitetaan enintään 5 – 15 m välein. Paalujen tukeutuessa maakerrokseen kairaukset olisi ulotettava vähintään 3 m paalujen tavoitetason alapuolelle.

Paalun nurjahduskuorman laskennassa tarvittavien parametrien määrittämiseksi on pehmeissä eloperäisissä tai hienorakeisissa maakerroksissa tehtävä siipikairauksia.

Lisäksi olisi otettava häiriintyneet näytteet yhdestä pisteestä neljää kairauspistettä kohti maakerrosrajojen määrittämiseksi.

5.3.3 Vaakakuormitetut paalut

Vaakakuormitettuja porapaaluja varten on tehtävä paino- tai puristinkairaus vähintään joka toisen pylvään kohdalta tai jokaisen yksittäisen pylvään kohdalta tai enintään 15 m välein. Maakerrosrajojen varmistamiseksi häiriintyneet näytteet on otettava joka toisesta kairauspisteestä.

Vaakakapasiteetin varmistamiseksi on tehtävä siipikairaukset eloperäisissä ja hienorakeisissa maakerroksissa joka neljännen pylvään kohdalta.

5.4 Hyvin vaativat kohteet

5.4.1 Yleistä

Hyvin vaativissa kohteissa pohjatutkimus on tehtävä jokaisen perustuksen kohdalta sekä suurten perustusten, esimerkiksi siltojen paaluanturoiden, jokaiselta nurkalta.

Pohjatutkimusten ohjelmoinnissa ja toteutuksessa on lisäksi noudatettava rakennuttajan asettamia vaatimuksia, mikäli ne ovat tässä esitettyjä tiukemmat.

5.4.2 Kallioon tukeutuvat paalut

Kallionpinnan sijainnin selvittäminen tehdään porakonekairauksin. Kallionpinnan sijainti ja muodot on selvitettävä aina, kun paalujen on tunkeuduttava kallioon. Käytettäessä suurporapaaluja ($d > 300\text{mm}$) on porakonekairaus tehtävä jokaisen suurporapaalun kohdalta. Porakonekairaus on ulotettava 3 m ehjään kallioon ja vähintään 2 m paalujen kärjen tavoitetason alapuolelle.

Kaikkien kallion päällä olevien maakerrosten ominaisuudet on selvitettävä. Maakerrosrajat määritetään ottamalla riittävästi häiriintyneitä maanäytteitä.

Karkearakeisten ja moreenikerrosten lujuusominaisuudet voidaan määrittää välillisesti maalajin ja kairausvastuksen perusteella. Maakerrosten porattavuutta voidaan arvioida heijarikairauksilla.

Paalun nurjahduskuorman laskennassa tarvittavien parametrien määrittämiseksi on pehmeissä eloperäisissä tai hienorakeisissa maakerroksissa tehtävä siipikairaus.

Hienorakeisissa ja eloperäisissä maakerroksissa olisi otettava maanäytteet, joista määritetään kokoonpuristuvuus- ja/tai lujuusominaisuudet ödometri- ja/tai kolmiaksiaalikojeilla.

5.4.3 Maahan tukeutuvat paalut

Pohjatutkimukset tehdään heijarikairauksina. Pohjatutkimukset on ulotettava vähintään 3 m paalujen tavoitetason alapuolelle.

Kaikkien kallion päällä olevien maakerrosten ominaisuudet on selvitettävä. Maakerrosrajat määritetään ottamalla riittävästi häiriintyneitä maanäytteitä.

Karkearakeisten ja moreenikerrosten lujuusominaisuudet voidaan määrittää välillisesti maalajin ja kairausvastuksen perusteella. Maakerroksen porattavuus määritetään heijarikairauksilla.

Paalun nurjahduskuorman laskennassa tarvittavien parametrien määrittämiseksi on pehmeissä eloperäisissä tai hienorakeisissa maakerroksissa tehtävä siipikairaus.

Hienorakeisissa ja eloperäisissä maakerroksissa olisi otettava maanäytteet, joista määritellään kokoonpuristuvuus- ja/tai lujuusominaisuudet ödometri- ja/tai kolmiaksiaalikojeilla.

5.4.4 Vaakakuormitetut paalut

Käytettäessä paalun sivukapasiteettia hyväksi esimerkiksi vaakakuormiteissa tai taivutusrasitetuissa paaluissa on erityisesti paalun yläosaa tukevien maakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet selvitettävä.

Lujuusarvot voidaan selvittää hienorakeisissa maakerroksissa siipikairauksen perusteella. Karkearakeisten ja moreenikerrosten lujuusominaisuudet voidaan määrittää välillisesti maalajin ja kairausvastuksen perusteella. Jos vaakakuorma tai momenttirasitukset ovat suuria, on otettava maanäytteitä, joista määritetään kokoonpuristuvuus- ja/tai lujuusominaisuudet ödömetrija/tai kolmiakσιαalikokeilla.

Pohjavedentaso mitataan ja pohjaveden vaihtelurajat arvioidaan.

5.5 Pohjatutkimusten esittäminen

Pohjatutkimusten esittämisessä on otettava huomioon Pohjarakennusohjeissa (RIL121-1988) mainitut asiat sekä rakennuttajan vaatimukset

Pohjatutkimuspiirustuksissa, pohjatutkimuskartoissa ja –tulosteissa sekä pohjasuhteiden kuvauksessa on esitettävä kaikki maakerrokset sekä porapaalutuksen kannalta merkittävät asiat, joita ovat esimerkiksi:

- a) Maanpinnan korkeus kaikissa tutkimuspisteissä sidottuna johonkin tunnettuun korkeusjärjestelmään.
- b) Pehmeiden, löyhien tai paalutuksen johdosta häiriintymisalttiiden, epästabiilien tai tiivistyvien maakerrosten sijainnit ja ominaisuudet.
- c) Täytemaakerrosten paksuus, materiaalit ja muut ominaisuudet.
- d) Kivet ja lohkarieet sekä rakennetut maanalaiset esteet, jotka vaikuttavat paalutukseen tai vaativat erikoistoimenpiteitä tai työkaluja niiden läpäisemiseksi tai siirtämiseksi.
- e) Karkearakeisten kerroksen alapuolisten pehmeiden kerrosten ominaisuudet, jotka vaikuttavat paaluperustuksen toimintaan.
- f) Orsi- ja pohjavedenpintojen tasot vaihtelurajoiheen sekä tiedot paineellisesta pohjavedestä.
- g) Kalliopinnan syvyys ja kaltevuus.
- h) Selvitys maaperän tai pohjaveden aggressiivisuudesta, joka voi vaikuttaa paalumateriaalien kestoikään saastuneilla tai muuten riskialtilla maa-alueilla.

Pohjatutkimus on suositeltavaa esittää työselityksen osana siten, että pohjasuhdekuvaus, jossa esitetään geotekniset maakerrokset ja niiden ominaisuudet kerroksittain ylhäältä alas kallioon asti, ja josta viitataan pohjatutkimuspiirustuksiin ja laboratoriokoetuloksiin, esitetään työselityksen ensimmäisenä kappaleena.

6 PAALUJEN MATERIAALIT JA VARUSTEET

6.1 Yleistä

Kaikkien porapaalujen tekemiseen käytettävien materiaalien ja varusteiden on oltava Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) ja SFS-EN -standardien vaatimusten mukaisia.

Materiaalin toimittajaa ei saa vaihtaa, ellei vaihtamista ole ennakoon hyväksytty.

Hylätty materiaali on toimitettava välittömästi pois työmaalta.

6.2 Betonin, juotoslaastien ja injektointiaineiden ainesosat

6.2.1 Sementti ja sementtiä korvaavat seosaineet

Betonin valmistukseen on käytettävä standardin SFS 3165 mukaisia rakennussementtejä. Muitakin sementtilaatuja voidaan käyttää, jos niiden koostumus on määritelty yksityiskohdittain ja niiden käyttäytyminen tunnetaan vastaavissa olosuhteissa.

Aluminaattisementtiä ei saa käyttää betonin valmistukseen.

Sementtiä korvaavia seosaineita voidaan käyttää betonin sideaineena edellyttäen, että niistä voidaan osoittaa olevan hyötyä betonin työstettävyyteen, lämmön kehittymiseen betonin kovettumisen aikana ja rakenteen ympäristöolosuhteita vastaavien betonin ominaisuuksien saavuttamiseen.

Käytettäessä sideaineena sellaisia aineita, joista ei ole kokemuksia vastaavista olosuhteista, työstettävyyys on varmistettava ennakkokokein.

Mikäli käytetään korvaavia seosaineita, betonin laadun arvioinnissa on käytettävä vesi-sementtisuhteen sijasta vesi-sideainesuhdetta.

Valmistettaessa pakkasenkestävää betonia huokostinta käyttäen saadaan lentotuhkaa lisätä betoniin vain käytettäessä portlandsementtiä. Lentotuhkan on tällöin oltava A-luokan tuhkaa ja sen sallittu enimmäismäärä on 25 % portlandsementin määrästä (RakMK B4).

6.2.2 Kiviaines

Käytettävien kiviainesten on oltava Betonin kiviainesohjeiden By 43 (1996) vaatimusten mukaisia.

Materiaalin ottopaikka sekä kiviaineksen laatu ja raekokojakautuma on hyväksyttävä ennen työn aloittamista.

Pyöreärakeinen kiviaines on suositeltavaa käytettäessä valuputkea.

Kiviainesten on oltava puhtaita, eivätkä ne saa sisältää orgaanisia tai muuten haitallisia aineita.

Kiviaineksen maksimiraekoko voi olla enintään 32 mm tai 1/4 pääterästen vapaasta etäisyydestä tai 1/6 betonointiputken sisähalkaisijasta sen mukaan, mikä em. arvoista on pienin.

Eri tyyppiset ja raekooltaan erilaiset kiviainekset on varastoitava toisistaan erillään.

Jäätynyt kiviaines on lämmitettävä niin, ettei siinä ole jäätä tai huurretta.

6.2.3 Vesi

Jos betonin valmistukseen tarvittavaa vettä ei saada vesijohtoverkostosta, veden laatu on tutkittava ja esitettävä rakennuttajan hyväksyttäväksi.

6.2.4 Lisäaineet

Lisäaineiden on täytettävä suomalaisten (RakMK B4) ohjeiden vaatimukset ja niistä on oltava käytettävissä varmennetut käyttöselosteet.

Seuraavia betonin valuun vaikuttavia lisäaineita voidaan käyttää:

- veden tarvetta vähentävät ja plastisuutta lisäävät notkistimet
- hidastimet
- huokostimet

Lisäaineet eivät saa sisältää vahingollisia ainesosia niin, että ne heikentävät betonin säilyvyysomaisuuksia tai aiheuttavat betoniterästen ruostumista. Käytettäessä useampia lisäaineita on niiden yhteisvaikutus selvitettävä. Kloridipitoisten lisä-aineiden käyttö on kielletty.

Betonin lujuus-, säilyvyys- ja valuominaisuuksien varmistamiseksi voidaan lisäaineita käyttää seuraaviin tarkoituksiin:

- lisäämään betonimassan työstettävyyttä
- vähentämään betonin vesipitoisuutta ja tekemään betonimassa plastisemmaksi, jotta betonirakenteessa ei esiintyisi valun jälkeen massan erottumista ja harvavalua
- hidastamaan betonin kovettumista valun ja mahdollisten valussa tapahtuvien keskeytysten aikana
- parantamaan betonin säilyvyyttä

Betoni voi vaurioitua, mikäli käytetään sopimattomia lisäaineita.

Lisäaineiden sekoitussuhteiden on oltava rakennuttajan hyväksymiä ennen betonivalua.

Lisäaineet voidaan sekoittaa betonimassaan valmistuksen yhteydessä tai ennen valua.

Huokostavia lisäaineita voidaan lisätä betonimassaan, jota käytetään pakkaselle alttiiksi joutuvissa paalujen yläosissa.

6.3 Betoni

6.3.1 Yleistä

Suurporapaaluissa käytettävän betonin suhteutus on suunniteltava RakMK B4:n mukaisesti ottaen huomioon taulukon 2 vaatimukset.

Porapaaluissa käytettävän betonin suunnittelulujuusluokan on oltava vähintään K30 ja mitoituksessa voidaan käyttää enintään K50 lujuusarvoja. Betonin sideainemäärän on suunnitelmassa vaaditut säilyvyysominaisuudet huomioonottaen oltava taulukon 2 mukainen. Notkeuden on oltava taulukon 3 mukainen.

Paaluun käytettävällä betonimassalla on oltava:

- hyvä kestävyys erottumista vastaan
- hyvä plastisuus ja koossapysyvyys
- hyvä valettavuus
- kyky itsetiivistymiseen
- riittävä työstettävyyys valun ajan aina työputken poistoon saakka

Taulukko 2 Betonin seossuhteet.

Sideainemäärä	
- kuivavalussa	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
- vedenalaisessa valussa	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Vesi-sementtisuhte (W/C)	$< 0,6$
Hienoainespitoisuus $d < 0,125 \text{ mm}$ sideaine mukaan luettuna	
- kiviaines $d > 8 \text{ mm}$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
- kiviaines $d \leq 8 \text{ mm}$	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

Taulukko 3 Betonimassan notkeusluokitus.

Leviämäkoe; betoni- kakun halkaisijan (ϕ) vaihteluväli [mm]	Kartiokoe; painu- man (H) vaihtelu- väli [mm]	Valuolosuhteet
460...530	130...180	Kuivavalu
530...600	≥ 160	Vedenalainen valu tai valu pump- paamalla
570...630	≥ 180	Vakavuutta lisäävän lietteen alai- sena tapahtuva vedenalainen valu käytettäessä valuputkea (tremie)
Mitattu halkaisija tai painuma pyöristetään lähimpään 10 mm.		

Jos taulukon 2 mukaisella sideainemäärällä ja taulukon 3 mukaisella notkeudella ei saada seoksen riittävää tiivistyvyyttä, voidaan sideainemäärää ja notkeusluokkaa muuttaa, mikäli rakennuttaja sen hyväksyy

Riittävä suoja maaperän ja/tai pohjaveden vaikutusta vastaan on varmistettava joko suhteutuksella tai maahan jätettävällä porausputkella.

Agressiivisissa pohjavesi- tai maaperäolosuhteissa riittävää suojausta ei välttämättä saavuteta pelkästään suhteutuksella.

Saastunut maa tai vesi voivat heikentää betonimassan laatua. Raskaat metallit voivat hidastaa betonin kovettumista tai ne voivat muuttaa betonin huokosrakennetta.

Kovettumattoman betonin suojaus pohjaveden virtausta vastaan voidaan tehdä porausputkella tai pysyvällä vaippaputkella.

6.3.2 Osa-aineiden sekoitus

Sekoitukselle ja osa-aineiden annostelulle asetettavien yleisten vaatimusten on oltava RakMK B4:n määräysten ja suunnitelma-asiakirjoissa annettujen lukuarvojen mukaiset.

Porapaaalujen valamiseen on käytettävä valmisbetonia.

Jos suunnitelmissa ei ole muuta osoitettu, on ennakkokokeena valmistettava kolme erillistä betoniannosta.

Kustakin koebetoniannostuksesta on valmistettava kuusi (6) koekuutiota- tai lieriötä, joista kaksi (2) puristetaan 7 päivän ja kaksi (2) 28 päivän ikäisinä sekä kaksi (2) säilytetään mahdollisia lisätutkimuksia varten.

Betonimassaan ei saa lisätä vettä välittömästi ennen betonivalua ennen kuin on varmistuttu lisäaineiden hyvästä sekoittumisesta. Suunnitelmien mukainen vesi-sementtisuhde on säilytettävä.

6.3.3 Betonin kelpoisuuden toteaminen

Betonin kelpoisuus on todettava RakMK B4:n mukaisesti, niissä rakenteissa, jossa betoni toimii kantavanarakenteena.

Toimitettaessa betoni tarkastamattomalta valmisbetonitehtaalta on lisäksi seuraavat määräykset otettava huomioon:

Koekappaleiden valmistuksen tuoreesta betonista puristuslujuuskokeita varten on tapahduttava työmaalla seuraavasti:

- koekappale jokaisesta kolmesta ensimmäisestä paalusta ja
- koekappale jokaista seuraavaa viittä paalua kohti ja jos yksittäisen paalun betonitilavuus $< 4 \text{ m}^3$, yksi koekappale jokaista seuraavaa viittätoista (15) paalua kohti
- kaksi lisäkoekappaletta valun pitkien keskeytysten (pitempiä kuin 7 vrk) jälkeen
- näyte jokaista samana päivänä valettua 75 m^3 betonimäärää kohti
- vähintään yksi koekappale jokaista paalua kohti, jos betonin lujuusluokkavaatimus on $> K45$.

Betonin kelpoisuuskokeiden tuloksista on tehtävä täydelliset pöytäkirjat. Kelpoisuuskokeiden tulokset on merkittävä muistiin myös betonointipöytäkirjaan.

6.4 Juotoslaastit

Juotoslaastien runkoaineen raekoko ei saa ylittää seuraavia arvoja:

$$d_{85} \leq 4\text{mm}$$

$$d_{100} \leq 8\text{mm}$$

Juotoslaastin on oltava lujuudeltaan vähintään K25. Käytettäessä juotoslaastia kantavana rakenteena on sen oltava vähintään K30. Mitoituksessa voidaan ottaa huomioon enintään K60 lujuusarvot.

Vesi-sementtisuhte saa olla enintään 0,6.

Kelpoisuuden toteamisessa noudatetaan betonille kappaleessa 6.3.3 ja RakMk B4 kohdassa 6.3.8 annettuja ohjeita.

6.5 Injektointiaineet

6.5.1 Yleistä

Sementtipohjaisissa injektointiaineissa noudatetaan tässä kappaleessa annettuja ohjeita. Muunlaisten injektointiaineiden ominaisuuksia on käsitelty tarkemmin CEN/TC 288 N213E Execution of special geotechnical work. Micropiles (April 2000) –standardiluonnoksessa

Injektointiaineina on käytettävä sementtilaastia tai muita suunnitelman mukaisia aineita.

Sementtipohjaiset injektointilaastit ovat sementin ja veden sekoituksia. Jos runkoaineen raekoko on enintään 2 mm ja sitä on painoprosentteina vähemmän kuin sementtiä, niin aine kuuluu injektointiaineisiin, muuten se kuuluu juotoslaasteihin.

Vesi-sementtisuhteen on sovellettava todellisiin pohjasuhteisiin. Se ei kuitenkaan saa olla enempää kuin 0,55.

Injektointiaineen on oltava lujuudeltaan vähintään K25. Injektointiainetta ei saa käyttää kantavana rakenteena.

Erottumisen on kahden tunnin jälkeen oltava vähemmän kuin 3%.

Käytettäessä injektointiaineita korroosiosuojauksena suhteutuksessa on otettava huomioon injektointiaineen erottuminen ja kutistuminen.

6.5.2 Kelpoisuuden toteaminen

Jokaisella työmaalla on tehtävä 7 päivän välein vähintään kaksi kolmen koekappaleen sarjaa, joista testataan niiden puristuslujuus.

Käytettäessä automaattista sekoitusta tarkistetaan annostus säännöllisesti. Kun ei käytetä automaattista sekoitusta, sekoitusuhteet on kirjattava.

6.6 Porauksessa käytettävät muut aineet

Porareikää tukevinä nesteinä käytetään:

- bentoniittilietettä,
- polymeereja,
- muita nesteitä.

Porareikää tukevilta nesteiltä vaadittavia ominaisuuksia on käsitelty SFS-EN 1536 kohdassa 6.5.

Porauksessa käytettävät nesteillä ja lisäaineilla ei saa olla haitallisia vaikutuksia teräksen, laastiin, tai ympäröivän maan ominaisuuksiin eikä ympäristöön ja pohjaveteen.

6.7 Teräkset

6.7.1 Yleistä

Paalujen raudoitteina käytettävien betoniterästen, teräsputkien tai teräsprofiilien on täytettävä kansallisissa tuotestandeissa (mm. SFS 1215 (A500HW) ja SFS 1257 (B500K)) ja eurooppalaisissa tuotestandeissa (mm. SFS-EN 10025 ja SFS-EN 10219) annetut määräykset.

Paalun raudoitteisiin on asennettava keskistäjät vähintään 2 metrin välein.

6.7.2 Betoniteräksset

Valittaessa teräslajia on kiinnitettävä huomiota raudoitekehikkojen koottavuuteen ja hitsattavuuteen.

Betoniterästen jatkosten on oltava sellaisia, etteivät ne vähennä raudoituksen kapasiteettia ja lisäksi jatkosten on oltava RakMk B4 Betonirakenteet mukaisia.

6.7.3 Rakenneteräksset

Käytettäessä paalujen raudoitteina teräsputkia tai -profiileja, raudoite on suunniteltava ENV 1994-1-1:n mukaisesti.

Valittaessa teräslajia on tarvittaessa kiinnitettävä huomiota hitsattavuuteen.

6.8 Jatkokset

6.8.1 Yleistä

Paalun suunnan muutos jatkoksessa saa olla enintään 1:100 helpossa luokassa, 1:150 vaativassa luokassa ja 1:200 erittäin vaativassa luokassa.

Jos paalut jatketaan niin, että jatkokset kestävät vähintään samat veto-, puristus- ja taivutusrasitukset kuin paaluelementti, paalun kapasiteettia ei tarvitse jatkosten vuoksi pienentää. Jos jatkoksen ominaisuudet ovat heikommat kuin paaluelementin, se on otettava huomioon paalun mitoituksessa. Yleensä mitoituksessa voidaan käyttää jatkoksen valmistajan ilmoittamia jatkoksen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia. Jatkoksille on käytettävä samanlaista korroosiosuojausmenettelyä kuin varsinaiselle paaluelementille.

Paaluja voidaan jatkaa hitsaamalla tai mekaanisilla jatkoksilla. Jatkosmateriaalien on oltava aineskoostumukseltaan sellaisia, ettei korroosiovaara olennaisesti lisäännä.

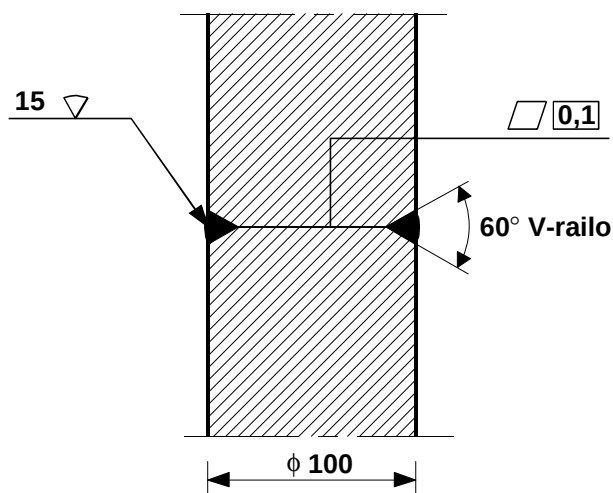
Läpi-injektoitavien paalujen elementit jatketaan yleensä ulkopuolisilla kierreholkki-jatkoksilla.

6.8.2 Paalujen jatkaminen hitsaamalla

Hitsausliitoksen yksityiskohdat on esitettävä kohteen suunnitelmissa. Hitsausliitosten tekeminen esitetään kohteen työ- ja laatusuunnitelmassa.

Hitsausliitosten tarkastelumenettelyn yksityiskohdista varsinaisen paalutustyön aikana sovitaan kunkin työn yhteydessä erikseen.

Käytettäessä umpitankoa raudoitteena, on jatkoskohdan liitospinnat koneistettava konepajassa. Jatkoksen liitospintojen tasomaisuuden on oltava $< 0,1$ mm.



Kuva 9 Esimerkki umpitangon hitsauksen suunnittelusta

Hitsausluokkavaatimus jatkoksille on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4 Porapaalujen kantavien teräsosien hitsausluokkavaatimus eri vaativuusluokissa. SFS-EN 25817

Kohteen vaativuusluokka	Hitsausluokka	Hitsausluokan vaativuus
vaativa	B	Vaativa
Vaativa	C	Hyvä
Helppo	D	Tyydyttävä

Helppossa luokassa jatkoksille tehdään silmämääräinen tarkastus. Siinä tutkitaan mm. hitsin mitat, sovitusrvirheet, reunahaava ja mahdolliset pintaan ulottuvat virheet. Ultraäänitarkastus eli NDT-tarkastus tehdään vasta kun hitsi on silmämääräisesti hyväksyttävä.

Vaativassa luokassa hitsaajan on tehtävä ennen työn alkua niin sanottu työkoe ja lisäksi kaikille saumoille tehdään silmämääräinen tarkastus. Työkokeessa hitsataan asennusolosuhteita vastaavissa olosuhteissa kaksi paaluputkea toisiinsa hitsausohjeen mukaisesti. Hitsauspituus on noin nel-

jännes koko hitsistä. Silmämääräisen tarkastuksen perusteella arvioidusta kriittisestä kohdasta leikataan vähintään yksi noin 100 mm x 100 mm pala, joka sisältää hitsin. Toinen poikkileikkauspinta hiotaan ja sille tehdään silmämääräinen tarkastus. Tuloksen on täytettävä vaaditun hitsiluokan vaatimukset havaittavien virheiden osalta. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota läpihitsautumiseen. Työkokeen suorittaminen kirjataan kyseisen kohteen asiakirjoihin. Työkoe on voimassa enintään 2 kuukautta, kun koe on tehty samanlaisissa olosuhteissa samanlaisille paalumateriaaleille ja paalutyypeille.

Hyvin vaativissa kohteissa työkokeen ja silmämääräisen tarkistuksen lisäksi vähintään 10% saumoista tarkastetaan ultraäänellä. Ultraäänitarkastuksen tarkastuspituus on koko hitsi eli yksi hitsi kymmenestä tarkastetaan kokonaan ellei muuta erikseen sovita. Umpitankojen saumoista on kuitenkin tarkastettava vähintään 30% ultraäänellä. Tarkastukset dokumentoidaan saumakohtaisesti tarkastuspöytäkirjaan. Tarkastus on aina aloitettava ensimmäisestä hitsistä, josta tarkastetaan mm. hitsin sisäisiä virheitä, esimerkiksi liitosvirhe, huokoset ja kuonasulkeumat, ja hitsin juuren puolen virheitä, esimerkiksi vajaa hitsautumissyvyys ja korkea juurikupu,. Hitsiluokan raja-arvot ylittävät virheet korjataan. Korjatut hitsit tarkastetaan uudestaan ja lisäksi tarkastetaan kaksi muuta hitsiä. NDT -tarkastuksen saa tehdä ja arvostella vain tarkastaja, jolla on siihen riittävä pätevyys.

Tarkastuksista laaditaan aina tarkastuspöytäkirja.

7 SUUNNITTELU

7.1 Yleistä

Porapaalujen suunnittelun on perustuttava Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiin ja Pohjarakennusohjeisiin (RIL 121, 1988) tai eurocodeihin ja niiden kansallisiin soveltamisasiakirjoihin (NAD) pohjautuvaan suunnittelujärjestelmään. Suunnittelussa ja mitoituksessa noudatettavat ohjeet on lueteltu kohdissa 2.2 ja 2.3.

Suunnittelun on perustuttava

- projektin erityisvaatimuksiin luvun 4 mukaisesti
- pohjatutkimuksiin luvun 5 mukaisesti
- paalumateriaaleille luvussa 6 asetettuihin vaatimuksiin

Suunnittelussa on otettava huomioon paalujen sallitut sijaintipoikkeamat, paalujen sijoitus ja paalutustyön vaatimukset kuten kappaleessa 7.6 ja luvussa 8 on esitetty.

7.2 Suunnitteluun sisältyvät tehtävät

Suunnitteluun kuuluvat seuraavat tehtävät:

- lähtötietojen kerääminen ja arviointi
- pohjatutkimuksen ohjelmointi
- paalujen geotekninen ja rakenteellinen mitoitus
- porauksen vaikutus ympäröivään maaperään ja sitä kautta ympäröiviin rakenteisiin
- koepaalutuksen suunnittelu, valvonta ja tulosten arviointi tarvittaessa
- paalutussuunnitelma, joka sisältää
 - työselityksen tai laatuvaatimukset sisältäen ohjeet tai vaatimukset porauksesta, porareian puhdistuksesta, raudoittamisesta ja betonoinnista
 - paalutustyön vaikutusten tarkkailumittaukset viereisissä ja/tai vahvistettavassa rakennuksessa sisältäen sallitut raja-arvot
 - paalutuksen laadunvalvontakokeet
 - paalutuspöytäkirjan vaatimukset
 - toteumapiirustuksen vaatimukset
- paalutuspiirustuksen, jossa esitetään
 - paalujen kuormat ja numerointi

- paalujen tavoitetaso, jonka on oltava vähintään 3 m tulevan kaivu- tai louhintatason alapuolella
- sallitut mitta- ja sijaintipoikkeamat
- paalutusjärjestys

7.3 Tarkasteltavat rajatilat ja mitoitusilanteet

Paalujen puristus- ja sivukapasiteetti sekä tarvittaessa vetokapasiteetti on tarkistettava sekä käyttö- että murtorajatilassa.

Paalujen siirtymästä mahdollisesti aiheutuvat rajatilat perustusrakenteissa tai niiden kannattamissa rakenteissa on tarkistettava sekä käyttö- että murtorajatilassa.

Murtorajatilassa paaluille tulevat kuormat on kerrottava kuormitustapausta vastaavilla kuorman osavarmuusluvuilla ja paalun kapasiteetti on jaettava kapasiteetin osavarmuusluvuilla.

Käyttöraajatilassa tarkastelut on tehtävä paalulle tulevien kuormien ominaisarvoilla, jolloin paalun kapasiteettina on käytettävä kapasiteetin ominaisarvoja.

Paaluperustusten mitoituksessa on tarkastettava vähintään seuraavat mitoitusilanteet:

- painuma
- nousu
- sivusiirtymä
- painumaerot tai kiertymät
- perustuksen ja maan yhteistoiminta
- perustuksen ja/tai yksittäisten paalujen kapasiteetti puristukselle, vedolle, taivutukselle ja sivukuormitukselle
- kokonaisstabiliteetti
- dynaaminen jäykkyys tarvittaessa
- porareian stabiliteetti valun aikana ja vaippaputken tarve

Mitoitusilanteet on tarkistettava kaikissa rajatiloissa määrävillä kuormilla ja kuormitusyhdistelmillä.

7.4 Paalujen geotekninen suunnittelu

7.4.1 Yleistä

Pystykuormitusten siirtyminen kallioon tai maahan, erityisesti kärki- ja vaippavastuksen suhde, riippuu paalutusmenetelmästä, paalun mitoista ja materiaalista sekä pohjasuhteista ja maan vastus-muodonmuutos-käyttämismisestä sekä kuormitusajasta.

Paaluperustuksen vaakakuormat voidaan siirtää maakerrokseen maan sivuvastuksen ja/tai vinopaalujen välityksellä.

Tässä ohjeessa on esitetty kallioon tukeutuvan paalun geoteknisen ja rakenteellisen mitoituksen periaatteet. Maakerrokseen tukeutuvan paalun geotekninen mitoitus sekä paalun sivuvastuksen mitoitus tehdään Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti. Tässä ohjeessa on kuitenkin joitakin lisäyksiä Suurpaalutusohjeeseen verrattuna.

Paalun geoteknistä puristus-, vaaka- ja vetokapasiteettia mitoitettaessa on käytettävä ENV 1997-1:tä ja siihen liittyvässä kansallisessa sovellutusasiakirjassa (NAD) määritettyä varmuustasoa ottaen huomioon tässä kappaleessa esitetyt täydennykset ja ENV 1991-1:n kuormayhdistelmän C osavarmuusluvut.

7.4.2 Geoteknisen kantavuuden laskeminen

Paalun kärki- ja vaippavastuksen mitoituksessa porapaalu käsitellään yleensä maata syrjäyttämättömänä paaluna. Käytettäessä paineellista injektointia voidaan saada aikaan maan syrjäytymistä, joka voidaan ottaa huomioon paalujen geoteknisessä mitoituksessa vastaavissa olosuhteissa tehdyistä koekuormituksista saadun tiedon perusteella.

Paalun geotekninen kantavuus on määritettävä siten, että vaipan ja kärjen osuus paalun geoteknisestä kantavuudesta mitoitetaan erikseen.

Tukipaalujen vaippavastusta ei ole aina, etenkin kallioon tukeutuvien paalujen osalta, tarpeen ottaa huomioon paalujen mitoituksessa.

Kallion rapautuneisuus ja rakoilu on tarvittaessa otettava mitoituksessa huomioon.

Porapaalujen geotekninen mitoitus tarkistetaan ensisijaisesti seuraavilla menetelmillä:

- aikaisemmin vastaavissa olosuhteissa ja vastaavalla paalutyypillä tehdyt staattiset koekuormitukset
- staattiset koekuormitukset

7.4.3 Kallioon tukeutuvan paalun kärkivastus

Paalun kärki voidaan olettaa kallioon tukeutuvaksi, kun paalun porauksen aikaisten havaintojen sekä pohjatutkimusten perusteella voidaan todeta paalun kärjen saavuttaneen ehjän kallion.

Ehjään kallioon tukeutuvan porapaalun kärkivastus voidaan mitoittaa käyttötilan kuormille paalun myötölujuuden perusteella, jos kalliokontakti varmistetaan porakonekairauksilla ja poraustyön aikaisilla havainnoilla. Ehjän ja kovan suomalaisen syväkiven yksiaksiaalinen puristusmurtolujuus on yleensä 200-300 MPa.

Paalu porataan vähintään 3 d, kuitenkin vähintään 0,5 m ja enintään 1,5 m, ehjään kallioon. Paalut on kuitenkin aina porattava vähintään 3 m tulevan louhinta- tai kaivutason alapuolelle. Tällöin paalun kärjen kantokyky on teräksisen tai liittorakenteisen porapaalun rakenteelliseen kantokykyyn nähden riittävä ja paalun kärjen luistaminen kallion pinnalla on estetty. Jos vierekkäisten paalujen kärkien tasot poikkeavat merkittävästi, lyhemmät paalut on ulotettava syvemmälle. Jos kallion pinta on huomattavan jyrkkä, on yleensä tarpeellista tehdä lisäkairauksia paalujen ympäriltä. Rikkonaisessa kalliossa paalut voidaan porata syvemmälle tai käyttää vaippainjektointia.

7.4.4 Kallioon tukeutuvan paalun vaippavastus

Jos paalut tukeutuvat kallion heikkousvyöhykkeeseen tai ovat vetorasitetuja, voi olla tarpeellista käyttää mitoituksessa myös paalun vaippavastusta kalliossa.

Käytettäessä kallioon tukeutuvan paalun vaippavastusta, porataan porausputki kallion pintaan ja jatketaan sen jälkeen kalliorauksena. Mikäli porausmenetelmä mahdollistaa paalun vaipan injektoinnin samanaikaisesti paaluelementin porauksen yhteydessä, ei tarvita erillistä kalliorausta.

Betonin ja porausreiän välisen tartunnan mitoituslujuuden oletetaan yleensä vaikuttavan vakiona koko tartuntapituuden matkalla. Tartuntakapasiteetin mitoitusarvo saadaan tällöin kaavasta:

$$R_{sd} = p d L_i \tau_{bd} \quad (1)$$

d on porakruunun ulkohalkaisija

L_i on tartuntapituus

τ_{bd} tartunnan mitoituslujuus, jonka suuruus saadaan taulukosta 5

Taulukko 5 Betonin ja kallion välisen tartunnan mitoituslujuus kiinteässä kalliossa.

Betoni	τ_{bd} [MPa]
K30	0,75
K35	0,85
K40	0,95
K45	1,05
K50	1,10
K60	1,15

Betonin tai juotoslaastin ja ankkurointiteräksen välinen tartunta lasketaan samalla tavalla kuin betonin ja porausreiän välinen tartuntakapasiteetti. Betonin ja teräksen välisen tartuntalujuuden arvo voidaan laskea RakMk B4 mukaisesti kaavalla:

$$\tau_{bd} = k_b f_{ctd} \quad (2)$$

k_b harjateräksille 2,4 ja pyörötangoille 1,0

f_{ctd} betonin tai laastin vetolujuuden mitoitusarvo

Injektointiaineiden, juotoslaastin ja läpi-injektoitavien porapaalujen poratangon välinen tartunta vaihtelee huomattavasti läpi-injektoitavien paalujen pinnan muodosta riippuen.

Laasteja ja injektointiaineita käytettäessä on otettava huomioon materiaalien lujuusominaisuudet.

7.4.5 Maakerrokseen tukeutuvan paalun kantavuus

Maakerroksen tukeutuvan paalun kantavuus lasketaan Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti.

Paineellisen injektoinnin aiheuttama maan syrjäytymisen vaikutus voidaan ottaa huomioon ottamalla vaippavastuskertoimen arvo syrjäyttämättömän ja syrjäyttävän paalun väliltä.

7.4.6 Paalun vetokapasiteetti

Pysyvän vetorasituksen kuormittaessa paalua, se toimii ankkurina ja se on suunniteltava noudattaen ankkuroinnista annettuja ohjeita.

Paalun geotekninen vetokapasiteetti on paalun painon ja vetorasituksessa vaikuttavan vaippavastuksen summa.

Hienorakeisten maakerrosten osalta ei vaippavastusta voida käyttää hyväksi pitkäaikaisessa vetorasituksessa.

Jännitystila vedetyn paalun ympärillä on erilainen kuin puristetun paalun ympärillä, mistä johtuen vedetyn paalun vaippavastus on maakerroksissa pienempi kuin puristetun paalun vaippavastus. Likimääräisesti vedetyn paalun vaippavastuksen ominaisarvo saadaan puristetun paalun vaippavastuksen ominaisarvosta seuraavasti:

- lyhytaikainen tilanne $R_{tk} = \frac{R_{sk}}{16}$ (3)

- pitkäaikainen tilanne $R_{tk} = \frac{R_{sk}}{2,0}$ (4)

Paalun vetokapasiteetti kalliossa on paalun painon ja kallioon injektoidun vaipan vaippavastuksen summa.

Vetorasitetun paalun vähimmäisankkurointipituus kalliossa voidaan laskea kuvan 10 periaatteella kaavalla.

$$L_{min} = \sqrt[3]{\frac{3R_{td}}{(\gamma_d - 10)\pi \tan \phi}} \quad (5)$$

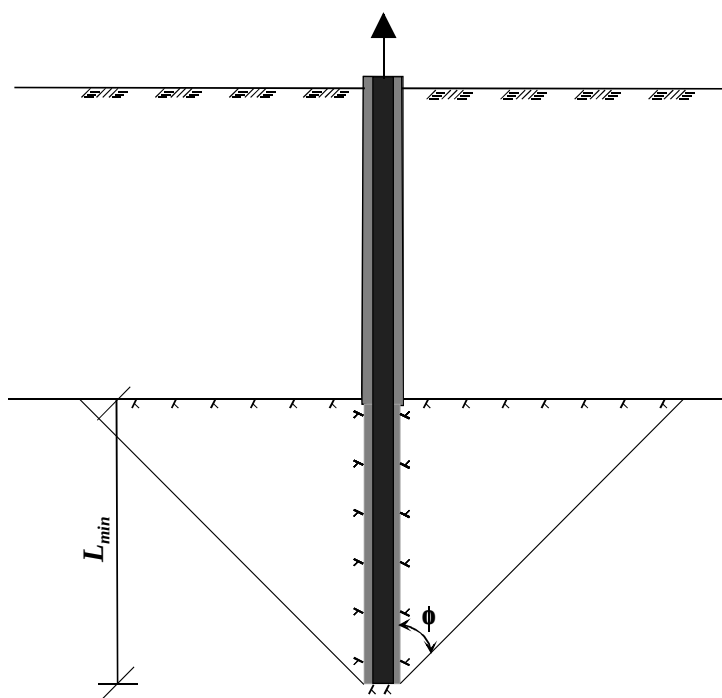
R_{td} on vetorasituksen laskenta-arvo

γ_d on kallion tilavuuspainon laskenta-arvo, yleensä 26,5 kN/m³

ϕ on yleensä 45°

Jos kallion rakoiluominaisuuksia ei ole luotettavasti määritelty tulisi vedettyillä paaluilla tartuntapituudeksi valita aina vähintään 3 m.

Mitoitettaessa useamman lähekkäisen paalun vetokapasiteettia, on kuvan 10 periaatteen mukaisesti otettava huomioon sen kalliokartion tehokas paino johon paaluryhmän veto keskittyy.



Kuva 10 Paalun vähimmäisankkurointipituus kalliossa.

Vetokuormituskokeiden perusteella paalun vaippavastuksen ominaisarvo määritetään ENV 1997-1 ja sen kansallisen soveltamisohjeen (NAD) mukaan kappaleessa 7.3.21 esitetyn täydennyksin.

Vaativassa luokassa paalujen vetokapasiteetilaskelmat voidaan tehdä pohjatutkimusten perusteella.

Hyvin vaativassa luokassa, tapauksissa joissa vetokuormitukset ovat usein toistuvia tai syklisiä, on vetovastuksen arviointi tehtävä vetopaalun todellista kuormitusta vastaavilla kuormituskokeilla.

7.4.7 Paalun sivukapasiteetti

Paalun sivukapasiteetin mitoituksessa noudatetaan Suurpaalutusohjeessa (SPO-2001) annettuja ohjeita.

Sivukapasiteetin arvioimiseen hyvin vaativassa luokassa on käytettävä numeerisia menetelmiä, joiden paikkansa pitävyys on todettu paalun todellista kuormitusta simuloivilla kuormituskokeilla tai vastaavissa olosuhteissa saaduilla mittaustuloksilla tai kuormituskokeilla.

Paalujen todellista sivukuormitusta simuloivia kuormituskokeita on tehtävä mitoitettaessa paaluperustusta hyvin vaativassa luokassa, kun vastaavasta rakenteesta ei ole saatavilla aikaisempia koekuormitustuloksia tai vastaavia käytännön kokemuksia.

Paalujen sivukapasiteetin mitoitusarvon laskennassa on maan lujuusparametrit jaettava osavarmuusluvulla ja sivukuormituksen laskennassa kerrottava osavarmuusluvulla.

7.4.8 Mitoitus sykliselle kuormalle

Mitoitettaessa porapaaluja sykliselle kuormitukselle noudatetaan Suurpaalutusohjeessa (SPO-2001) annettuja ohjeita.

7.4.9 Paalun geotekninen kantavuus staattisilla koekuormituksilla

Porapaalun tukeutuessa maakerrokseen voidaan geotekninen kantavuus määrittää staattisilla koekuormituksilla Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti.

Paalun halkaisijan ollessa ($d < 200 \text{ mm}$) käytetään koepaaluissa halkaisijaltaan saman kokoista paalua. Paalun halkaisijan ollessa suurempi kuin 200 mm koepaalun halkaisijan on vähintään 50% paalun halkaisijasta ja kuitenkin vähintään 200 mm.

Kallioon tukeutuvan paalun kantavuuden varmistamiseksi riittää yleensä, että porakonekairausten ja paalun poraushavaintojen perusteella voidaan todeta, paalun tukeutuvan ehjään kallioon.

7.5 Rakenteellinen suunnittelu

7.5.1 Yleistä

Paalujen rakenteellista kestävyyttä mitoitettaessa on käytettävä joko kansallisissa ohjeissa (RakMK) esitettyjä varmuuslukuja tai vaihtoehtoisia mi-

toitusjärjestelmää sovellettaessa eurooppalaisissa standardeissa ENV 1992-1-1, ENV 1993-1-1 ja ENV 1994-1-1 ja niiden kansallisissa soveltamisasiakirjoissa esitettyjä materiaalien osavarmuuskertoimia ja ENV 1991-1:n kuormayhdistelmän B kuormien osavarmuuskertoimia.

Kallioon tukeutuvat paalut voidaan mitoittaa pilareina, jolloin suunnittelussa on otettava huomioon paalun materiaalin tai rakenteellisen toimintatavan edellyttämät tarkentavat ohjeet, kuten teräspaaluilla RakMK B7:n määräykset ja liittorakennepaaluilla Liittorakenteet BY 26:n ja Liittorakenteiden sovellutusohjeet B 36:n määräykset.

Paalujen rakenteellisessa mitoituksessa voidaan ottaa huomioon myös paalun ja maan välinen vuorovaikutus. Rakenteellisessa mitoituksessa voidaan ottaa huomioon ainoastaan rakenteellinen halkaisija. Nurjahdusmitoituksessa voidaan paalua tukevan maakerroksen leveytenä käyttää geoteknistä halkaisijaa.

Paalujen rakenteellinen mitoitus on tehtävä siten, että myös paalun kuljetuksen, käsittelyn ja asentamisen aikaiset rasitukset otetaan huomioon.

Porapaalu on suunniteltava kuten

- teräsrakenne
- teräsbetoniliittorakenne

Porapaalujen betonin rakenneluokka ja mahdolliset säilyvyysominaisuuksille asetettavat vaatimukset on esitettävä suunnitelmassa ja niiden on täytettävä vähintään ne vaatimukset, mitkä esitetään RakMK B4:ssä tai ENV 1992-1-1:ssä ja sen kansallisessa soveltamisasiakirjassa (NAD).

7.5.2 Vaipaltaan injektoitujen porapaalujen korroosio

Ulkopuolista korroosiosuojausta käytettäessä suojakerroksen on oltava vähintään taulukon 6 mukainen. Veto- ja taivutusrasitetuilla paaluilla halkeamaleveys ei käyttötilassa saa olla suurempi kuin:

- 0,3 mm ei aggressiivisissa olosuhteissa
- 0,15 mm aggressiivisissa olosuhteissa

Halkeamaleveyden laskennassa on otettava huomioon raudoitteen pinnan muoto.

Taulukko 6 Ulkopuolisen korroosiosuojakerroksen vähimmäispaksuus ei-agressiivisessa ympäristössä.

	Suojakerroksen vähimmäispaksuus[mm]	
	Puristusrasitetut paalut	Veto- ja taivutusrasitetut paalut
Injektointiaineet	20	30
Juotoslaasti	35	40
Betoni	50	50

Käytettäessä pienempää suojakerrospaksuutta kuin taulukossa 6 on annettu, korroosio otetaan huomioon teräspoikkileikkauksen korroosiovähennyksenä. Kappaleen 7.5.3 taulukon 7 mukaisesti.

Porapaaluille, joiden suunniteltu käyttöikä on alle 2 vuotta, voidaan käyttää 10 mm ohuempaa suojakerrospaksuutta kuin on annettu taulukossa 6.

Tarvittaessa injektointiaineiden, juotoslaastien ja betonin suojakerrospaksuutta voidaan pienentää 10 mm pysyvän porausputken sisäpuoliselta osuudelta, jos porausputken seinämävahvuus on suurempi kuin 4 mm.

Aggressiivisessa ympäristössä korroosiosuojaus tehdään käyttämällä:

- suurempaa suojakerrospaksuutta kuin taulukossa 6 on esitetty
- teräspoikkileikkauksen suurempaa korroosiovähennystä
- orgaanisia tai epäorgaanisia pinnoitteita
- pysyvää suojaputkea
- katodista suojausta

7.5.3 Teräspintaisten porapaalujen korroosio

Porapaalujen korroosiosuojauksessa otetaan huomioon paaluja ympäröivät olosuhteet. Korroosio otetaan yleensä huomioon korroosiovarana. Korroosiovaran suuruus riippuu rakenteen suunnitellusta käyttöiästä ja arvioidusta korroosionopeudesta.

Korroosio puhtaassa maassa on yleensä niin vähäistä, että paalujen suojaus voidaan toteuttaa seinämäpaksuuden ylityksellä. Taulukossa 7 on esitetty Eurocode 3 osan 5: Piling suosittamat korroosiovähennykset. Siltakohteiden suuremmasta varmuustasovaatimuksesta johtuen Tiehallinto käyttää taulukon 8 mukaisia arvoja. Jos paalut ovat alttiina tiesuolan vaikutukselle, korroosiosuojaus tai korroosiovara on harkittava erikseen.

Vaikeissa korroosio-olosuhteissa, kuten esimerkiksi saastuneissa maissa ja ilmassa suojaus voidaan tehdä esimerkiksi betonirakenteella. Erillinen suojaus voidaan myös tehdä maalaamalla tai käyttämällä epoksi- tai polyeteenipinnoitteita tai katodista suojausta. Käytettäessä em. suojausmenetelmiä on otettava huomioon niiden asennusaikainen kestävyys. Pinnoitteet saattavat vaurioitua, kun paalut asennetaan kiviseen tai vastaavaan "naarmuttavaan" kerrokseen. Tällaisessa tapauksessa syntyvän pistemäisen korroosion nopeus on huomattavasti suurempi kuin tasaisen korroosion. Katodista suojausta käytettäessä on otettava huomioon suojauksen kestoikä.

Taulukko 7 Teräsosien korroosion ylimitoitus [mm] SFS-ENV 1993-5:1997 Eurocode 3:-5 Piling mukaan

Maaperäolosuhteet	Käyttöikä [vuosi]				
	5	25	50	75	100
Häiriintymätön luonnonmaa (hiekkä, siltti, savi, ...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Saastunut luonnonmaa ja teollisuuden maa-alueet	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Agressiivinen luonnonmaa (suo, räme, turve,...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Tiivistämätön ja ei-agressiivinen täyttö (hiekkä, savi, siltti,...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Tiivistämätön ja aggressiivinen täyttö (tuhka, kuona, ...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,70
-Tiivistetyn täytön korroosionopeus on hitaampi kuin tiivistämättömän. Tiivistetyillä täytöillä voidaan käyttää tiivistämättömän täytön korroosiovähennyksiä jaettuna kahdella -Annetut arvot ovat ohjeellisia. Paikalliset olosuhteet on otettava huomioon. -5 ja 25 vuoden käyttöikää vastaavat arvot perustuvat mittauksiin. Muut arvot ovat saatu lineaarisesti extrapoloimalla ja ovat siten varmalla puolella.					

Lisäksi liitteessä F. Bearing Piles kohdassa 2 mainitaan, että korroosio ilmassa sadalle vuodelle :

- 1 mm normaali-ilmastossa,
- 2 mm lähellä merta.

Taulukko 8 Tiehallinnon käyttämä teräsosien ylimitoitus korroosion suhteen

Vesialue			Maalue	
Vyöhyke	Ylimitoitus [mm]		Vyöhyke	Ylimitoitus [mm]
	Meri	Sisävesi		
>HW +1,5	4	3	Maanpinta+1,0	3*
HW +1,5...NW -1,5	10	6	Maanpinta+1,0...HW +1,0	4*
NW-1,5...Pohja -1,5	4	3	HW +1,0...NW -1,0	4
<Vesistönpohja -1,5	2	2	<NW -1,0	2

*Jos paalut ovat alltiina tiesuolan vaikutukselle, korroosiovara on harkittava erikseen.

7.5.4 Rakenteellinen mitoitus

7.5.4.1 Yleistä

Paalun rakenteellisessa mitoituksessa tarkastellaan: paalun rakenteellinen murtuminen puristuksesta, vedosta, taivutuksesta tai leikkausrasituksesta, sekä nurjahtaminen

Jos ulkopuolista korroosiosuojausta ei ole käytetty, rakenteellisessa mitoituksessa käytetään teräs tai liittorakenteen poikkileikkausmittoja, joista on vähennetty rakenteen käyttöiän ja maaperäolosuhteiden ajan mukainen korroosiovähennys. Korroosiovähennystä on käsitelty kappaleissa 7.5.2 ja 7.5.3.

7.5.4.2 Nurjahduskapasiteetti

Paalut saattavat nurjahdusta riittävän sivutuen puuttuessa.

Nurjahdusta vastaan riittämättömästi tuetuiksi paaluiksi katsotaan paalut, jotka ovat osittain ilmassa tai vedessä tai, kun paalun ympärillä olevan maan leikkauslujuus on alhainen.

Mitoitettaessa paaluja nurjahdusta vastaan ne oletetaan käyrästäneiksi. Kaarevuussäde riippuu pohjasuhteista, paalun poikkileikkauksesta, jatkosten määrästä ja porausmenetelmästä.

Jos paalu on osittain tai koko pituudeltaan tukematon, nurjahdustarkastelu on tehtävä teräs- tai liittopilarina ottaen huomioon paalun käyryys.

Nurjahduskuorman määrittämisessä paalu oletetaan täysin kimmoisan väliaineen ympäröimäksi. Paalun taipuessa aiheutuu väliaineeseen vastaavan suuruinen vaakasuuntainen muodonmuutos. Maan tukireaktio voidaan

määrittää Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisina jousina maan muodonmuutosmoduulin avulla.

Kaikkien paalujen rakenteellisessa mitoituksessa otetaan huomioon asentamisen jälkeinen alkukäyryys ennen kuormitusta. Paalutustyön valvonnassa on tarkistettava, ettei paalujen mitoituksessa käytetty oletuskäyryys ylitä. Paalujen minimikäyryysäde määräytyy valmistustoleranssien ja jatkoksen sallitun kulmam muutoksen perusteella.

Paalun kestävyys saavutetaan, kun joko paalun rasitetuimman poikkileikkauksen rakenteellinen kapasiteetti ylittyy tai kun paalun taipumasta aiheutuva sivupaine ylittää ympäröivän maan sivuvastuksen.

7.5.4.3 Nurjahduksen aiheuttama sivupaine

Seuraavissa kappaleissa käsitellään aksiaalisesti rasitetun paalun maahan aiheuttamaa rasitusta. Jos paalua rasittaa lisäksi vaaka- tai momenttikuormitus, on ne otettava huomioon. Nurjahduslaskentaa on käsitelty tarkemmin mm. Sami Erosen lisensiaattityössä: Drilled Piles in Underpinning and Bridge Foundations, Tampere 2001.

Paalukuorma P ympäröivän maan kapasiteetin ylittyessä saadaan kaavasta

$$P = \frac{P_{cr}}{1 + \frac{k_s \delta_0}{p_{ma}}} \quad (6)$$

p_{ma}	on maan paineen murtoarvon aksiaalisen kuormituksen osuus
δ_0	on alkutaipuma
P_{cr}	suoran paalun nurjahduskuorma
k_s	on maan alustaluku

Koska paalun päiden kiinnitysaste ei vaikuta pitkien paalujen keskiosan nurjahduskuormiin, voidaan yleensä käyttää molemmista päistään niveloitua paalun nurjahdusteoriaa. Tällöin voidaan suoran paalun nurjahduskuorma P_{cr} laskea seuraavasti:

$$P_{cr} = 2\sqrt{k_s dEI} \quad (7)$$

d	on paalun halkaisija
-----	----------------------

EI on paalun taivutusjäykkyys.
 k_s on maan alustaluku

Kriittinen nurjahduspituus L_{cr} heikoimmassa maakerroksessa lasketaan kaavalla

$$L_{cr} = \sqrt[4]{\frac{EI}{k_s d}} \times p \quad (8)$$

Mikäli heikoimman maakerroksen paksuus on pienempi kuin nurjahduspituus, vaikuttava alustaluku määritellään tarkemmilla laskelmilla.

Mikäli paalupituus on lyhyempi kuin kriittinen nurjahduspituus L_{cr} lasketaan paalun kriittinen nurjahduskuorma seuraavan kaavan mukaisesti:

$$P_{cr} = n^2 \frac{p^2 EI}{L_n^2} + \frac{k_s d L_n^2}{n^2 p^2} \quad (9)$$

n puolialtojen lukumäärä, joka antaa nurjahduskuorman minimiarvon

L_n päiden tuennan huomioon ottava Eulerin nurjahdus pituus

Taipuman ja kaarevuussäteen välillä vallitsee yhtälö

$$R = \frac{L_{cr}^2}{8d_0} \quad (10)$$

Kuormitetun paalun taipuman arvo voidaan laskea yhteydestä

$$d_0 + y_0 = \frac{P_{cr}}{P_{cr} - P} d_0 = a d_0 \quad (11)$$

y_0 kuormituksesta aiheutunut taipuman kasvu.

Maan alustaluvun k_s määrittäminen

Paalun nurjahduskestävyys pysyville kuormille tarkistetaan käyttäen pitkäaikaisen tilanteen alustalukua. Samanaikaisesti vaikuttaville pysyville ja hetkellisille kuormille käytetään lyhytaikaisen tilanteen alustalukuarvoa.

Staattisessa kuormituksessa kitkamaan alustaluku voidaan määrittää seuraavasti:

$$k_s = n_h \frac{z}{d} \quad (12)$$

Alustalukukerroin n_h saadaan kokoonpuristuvuusmoduulin M tai avoimen tilan kimmomoduulin E_d avulla, joka voidaan määrittää ödometri- tai kolmiaksaalikokein.

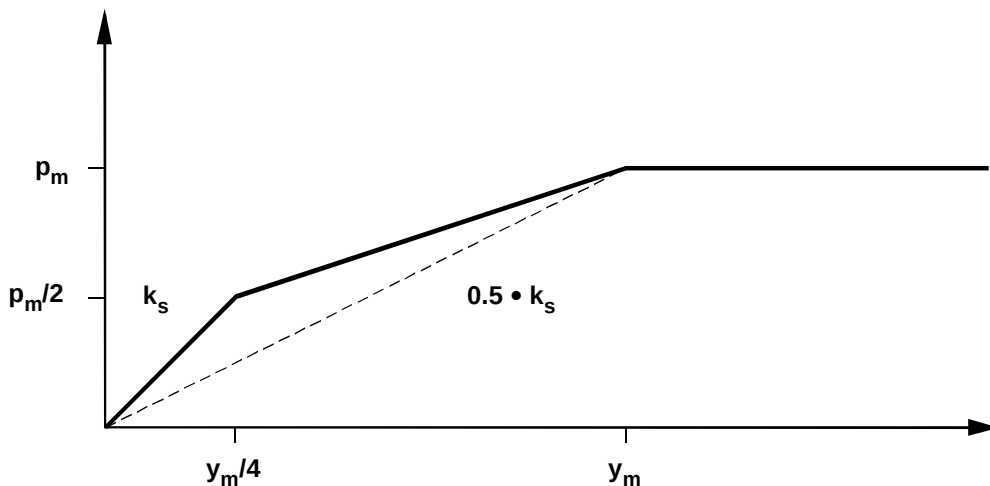
$$n_h = ab \frac{M}{z} = \frac{E_d}{z} \quad (13)$$

α 0,74 (Terzaghin mukaan)

α 1,0 (Poulosin mukaan)

β 0,83 ... 0,95 hiekalle Poissonin vakion vaihdellessa vastavasti 0,25 ... 0,15

Karkearakeisessa maassa voidaan siirtymätarkasteluissa käyttää kuvan 11 sivupaine-siirtymäyhteyttä, jossa p_m on sivupaineen maksimiarvo ja y_m on sitä vastaava siirtymä.



Kuva 11 Paalun sivupaine-siirtymäyhteys karkearakeisessa maassa.

Hienorakeisessa maassa vaakasuora alustaluku riippuu paalun halkaisijan lisäksi myös kuormitusajasta.

Pitkäaikaisessa kuormitustilanteessa hienorakeisen maan alustaluvun oletetaan olevan

$$k_s = 20..50 \frac{c_u}{d} \quad (14)$$

c_u suljettu leikkauslujuus

Pitkäaikaisessa kuormitustilanteessa hienorakeisen maan alustaluku voidaan määrittää myös kokoonpuristuvuusmoduulin M kautta, jolloin alustaluku k_s on

$$k_s = b \frac{M}{d} \quad (15)$$

β 0,46...0,76; *savelle Poisonin vakion vaihdella vastavasti 0,4...0,3*

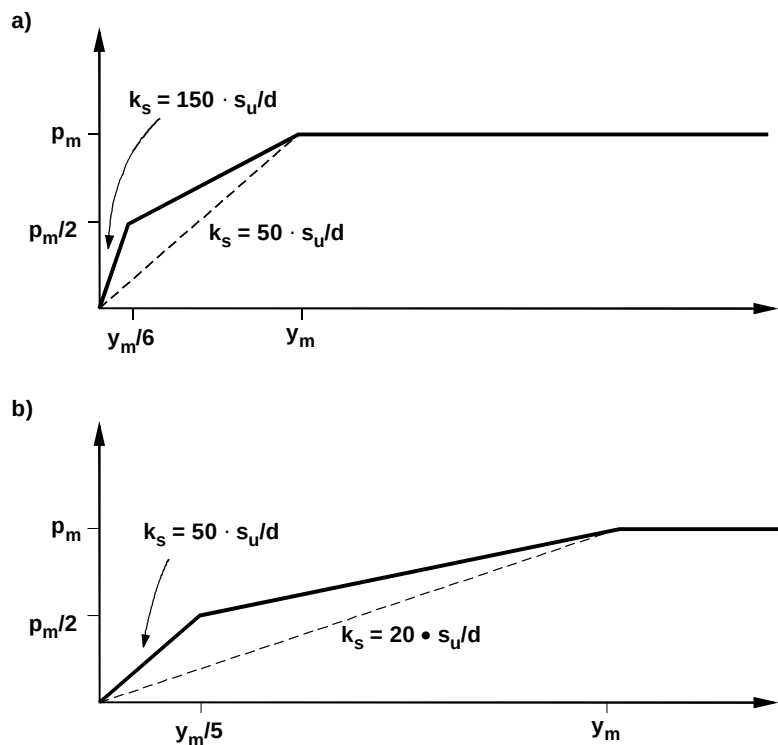
β 0,62...0,83; *siltile Poisonin vakion vaihdella vastavasti 0,35...0,25*

ja lyhytaikaisessa kuormitustilanteessa alustaluvun oletetaan olevan

$$k_s = 50..150 \frac{c_u}{d} \quad (16)$$

Lyhytaikaisessa kuormitustilanteessa hienorakeisen maan alustaluku voidaan määrittää suljetun tilan kimmomoduulin E_u kautta, jolloin määrittäminen voidaan tehdä esimerkiksi suljetulla kolmiakselialikokeella.

Hienorakeisessa maassa paalun sivupaine-siirtymäyhteyttä voidaan kuvata lyhytaikaisessa kuormituksessa kuvan 12 a tapaan ja pitkäaikaisessa kuormituksessa kuvan 12 b tapaan.



Kuva 12 Paalun sivupaine siirtymäyhteys hienorakeisessa maassa; a) lyhytaikainen kuormitus, b)pitkäaikainen kuormitus.

7.5.4.4 Rakenteellinen kapasiteetti

Paalun rakenteellinen kapasiteetti lasketaan RakMK B7 mukaisesti mitoitettaessa paalu teräsrakenteena tai Liittorakenteet By 26:n ja Liittorakenteiden sovellusohjeet By 36:n mukaisesti mitoitettaessa paalu liittorakenteena. Vastaavasti mitoitettaessa paalu teräsrakenteena käytetään SFS-ENV 1993-1-1:1992 osaa 1 ja sen kansallista soveltamisasiakirjaa sekä SFS-ENV 1993-5:1997. ja mitoitettaessa paalu liittorakenteena käytetään SFS-ENV 1994-1-1:1992 ja sen kansallista soveltamisasiakirjaa. Nurjahduspiutena voidaan käyttää paalun kriittistä nurjahduspiutua L_{cr} .

Paalujen rakenteellisen kapasiteetin mitoitus voidaan tehdä tarkemmin käyttäen elementtimenetelmää ja Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaista elementti-jousimallia.

7.5.5 Paalujen pystysuuntaiset siirtymät

Paalujen pystysuuntaiset siirtymät lasketaan Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti.

Paalun kärjen alapuolisen kallion kimmainen kokoonpuristuma on pieni verrattuna paalun varren kimmoiseen kokoonpuristumaan, joten sitä ei yleensä tarvitse ottaa huomioon. Näin ollen kallioon tukeutuvan paalun kokonaispainuma on käytännössä paalun varren kimmainen kokoonpuristuma.

Paalun varren kimmainen kokoonpuristuma voidaan arvioida riittävällä tarkkuudella yksinkertaisissa tapauksissa Hooken lain perusteella. Kuitenkin pitkien paalujen vaippavastuksen jakautuminen on otettava huomioon.

Maakerrokseen tukeutuvan paalun painuma lasketaan Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti.

7.6 Paalujen sijainti

7.6.1 Sallitut sijaintipoikkeamat

Porapaalujen etuna on, että niihin ei yleensä muodostu sijaintipoikkeamia asennuksen aikana. Pienempien sijaintipoikkeamien hyöty voidaan ottaa huomioon suunnittelussa.

Paalut on valmistettava seuraavien sallittujen sijaintipoikkeamien rajoissa, kuva 13.

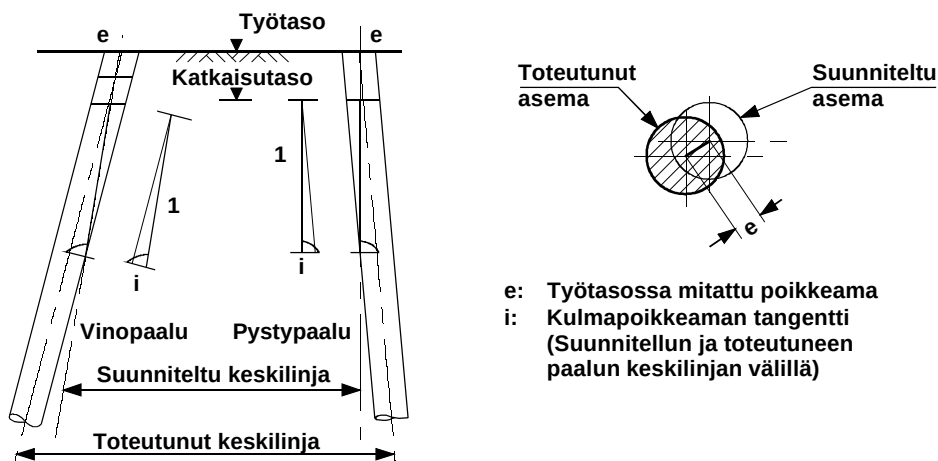
- a) Paikalleenmittaus $\pm 5\text{ mm}$
- b) pysty- ja vinopaalut ja niiden asema vaakatasossa työtasolta mitattuna:
 - $e = 50\text{ mm}$, helpossa luokassa
 - $e = 25\text{ mm}$, vaativassa luokassa
 - $e = 15\text{ mm}$, hyvin vaativassa luokassa
- c) pysty- tai vinopaalut, joiden kaltevuus on pienempi kuin 15:1
 - paalun suunnitellun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti
 - $i \leq 0,03$ ($\leq 30\text{ mm/m}$), helpossa luokassa
 - $i \leq 0,02$ ($\leq 20\text{ mm/m}$), vaativassa luokassa
 - $i \leq 0,01$ ($\leq 10\text{ mm/m}$), hyvin vaativassa luokassa
- d) vinopaalut, joiden kaltevuus on välillä 4:1 ... 15:1
 - paalun suunnitellun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti

- $i \leq 0,05$ (≤ 50 mm/m), helpossa luokassa
- $i \leq 0,035$ (≤ 35 mm/m), vaativassa luokassa
- $i \leq 0,02$ (≤ 20 mm/m), hyvin vaativassa luokassa

Jos asetetaan edellä esitetyistä poikkeavia sijaintipoikkeamia, on otettava huomioon

- rakenteelliset vaatimukset
- pohjaolosuhteet
- käytettävissä oleva porauskalusto

Sallituista sijaintipoikkeamista on sovittava ennen työn aloittamista.



Kuva 13 Porapaalujen sallitut sijaintipoikkeamat

7.6.2 Paalujen sijoitus

7.6.2.1 Paalujen väliset etäisyydet

Paalujen sijainti on esitettävä suunnitelma-asiakirjoissa.

Paalujen väliset etäisyydet on valittava siten, että vierekkäiset paalut eivät vaikuta vähentävästi toistensa kantavuuteen.

Paaluryhmässä risteävien paalujen risteyskohta tulisi suunnitella mahdollisimman lähelle maan pintaa.

Sekä yhdensuuntaisten paalujen että risteävien paalujen minimietäisyyttä suunniteltaessa on paalujen sallitut sijaintipoikkeamat otettava huomioon.

Maakerroksiin tukeutuvien vetopaalujen välinen etäisyys on oltava 5 D ja vähintään 1,5 m.

Määritettäessä kallioon ankkuroitujen vetopaalujen etäisyyksiä toisistaan on määritettävä minimiankkurointipituus L_{min} (kappale 7.4.6) niin, että paalun tai paaluryhmän ympärille muodostuvan kalliokartion paino on riittävä ottamaan vastaan paalujen vetokuormituksen (vrt. kuva 10).

7.6.2.2 Paalujen etäisyydet muista rakenteista

Paalujen minimietäisyydet muista rakenteista on suunniteltava kussakin tapauksessa erikseen ottaen huomioon paalutuksen, pohjaolosuhteiden ja ympäröivien rakenteiden aiheuttamat erityisvaatimukset ja rajoitukset.

Paalujen ja viereisten rakenteiden välisen etäisyyden valinnassa on otettava huomioon myös paalutyypin, paalun poikkileikkausala sekä paalutuksesta aiheutuva värinä.

Jos paalut ulotetaan viereisten tai aikaisemmin tehtyjen rakenteiden perustamistason alapuolelle, on paalutuksen aiheuttamat painumat ja siirtymät sekä niiden vaikutus ympäröiviin rakenteisiin arvioitava.

7.7 Paalujen poraus

Kun paalut porataan kantavaan kerrokseen tai kallioon, suunnitelmassa on yksilöitävä poraustapa ja minimiporaussyvyys sekä mahdollinen injektointimenetelmä.

Porauksen aikana on maaperää ja sen käyttäytymistä seurattava. Jos pohjasuhteet eroavat suunnitelmassa esitetyistä, pohjarakennussuunnitelmiaan ja kohteen pohjarakennustöiden valvojaan on otettava yhteyttä.

7.8 Betonirauditus

7.8.1.1 Yleistä

Tuoreeseen tai kovettuneeseen betoniin asennettavien tartunta- tai vaaraterästen, joiden tarkoituksena on liittää paalu ylärakenteeseen, on oltava ENV 1992-1-1:n mukaisia.

Teräsputkia tai -profileja käytettäessä paalun raudituksen mitoituksen on oltava ENV 1994-1-1:n mukainen.

Korroosiovähennys on tehtävä mitoituksessa, kun teräsputkea tai pysyvää muottia käytetään rakenteellisena osana, ellei luotettavaa yhtenäistä korroosiosuojausta betonilla, sementtilaastilla tai muulla korroosiosuojauksella tehdä.

Raudoituksen pituus, terästankojen lukumäärä ja halkaisija on määrättävä mitoituksessa.

Työsuunnitelmassa on esitettävä toimenpiteet, joilla varmistetaan raudoitekehikon jäykkyys.

7.8.1.2 Pääteräkset

Pääterästankojen keskinäisen etäisyyden olisi oltava mahdollisimman suuri, jotta voitaisiin varmistaa betonin riittävä virtaus tankojen välissä. Raudoituskehikkoja ei voi käyttää porapaalun porausputken sisähalkaisijan ollessa alle 200 mm.

Jos paalut betonoidaan vedenalaisena valuna, on terästankojen vapaavälin saman raudoitekehikon pääterästen välillä oltava vähintään 100 mm.

Terästankojen tai tankonippujen väliseksi vapaaväliksi yhdessä kerroksessa voidaan ottaa 64 mm, kun käytettävän kiviaineksen maksimiraekoko on 16 mm.

Minimietäisyyden eri raudoituskehien terästankojen välillä (kehien välin) on oltava 2 kertaa terästangon halkaisija tai 1,5 kertaa kiviaineksen maksimiraekoko. Suurempaa edellä esitetyistä arvoista on käytettävä.

Teräsväli voi pienentyä teräksen jatkospituudella.

Jos teräksiä ei ole jaettu tasaisesti, on käytettävä erikoismenetelmiä, joilla varmistetaan terästen asemointi asennuksen ja betonoinnin aikana.

7.8.1.3 Hakateräkset

Hakaterästen halkaisijoiden tulisi olla taulukon 10 mukaisia (SFS-EN 1536/7.6.3.2).

Taulukko 9 Poikittaisterästen suositeltavat halkaisijat tai leveydet.

Hakatyypit	Suosittelva halkaisija
Renkaat, vanteet tai kierrehaat	Suurempi seuraavista: 6 mm tai neljännes pääterästen maksimihalkaisijasta
Hitsattu teräsverkko	5 mm

Hakateräkset on kiinnitettävä pääterästen ympärille.

7.8.1.4 Erikoisraudoitteet

Erikoisraudoitteiden suunnittelu ja asennus on tehtävä esistandardin ENV 1994-1-1 ja Liittorakenteet By 26:n ja Liittorakenteiden sovellusohjeet By 36:n mukaisesti.

Betonipeitteen paksuus on esitettävä suunnitelmassa (SFS-EN 1536/7.6.5.2).

Tarvittaessa tartuntalujuuden määrittämiseksi voidaan tehdä kenttä- tai laboratoriokokeita.

Erikoisraudoitus on asennettava paalun akselin suuntaisesti. Asennuksen yhteydessä on varmistuttava suunnitelman mukaisesta betonipeitteen paksuudesta erikoisterästen ympärillä.

8 PAALUTUSTYÖ

8.1 Työ- ja laatusuunnitelma

Paalutustyön suorittajan on laadittava ennen paalutustyön aloitusta kohdekohtainen paalutuksen työ- ja laatusuunnitelma. Työsuunnitelman osana esitetään yksityiskohtaisesti työtavat ja porauskalustot, joilla saavutetaan pohjarakennussuunnitelmassa esitetyt vaatimukset. Työsuunnitelmassa otetaan huomioon paalutuksen aikana vallitsevat todelliset olosuhteet. Laatusuunnitelmassa esitetään miten vaaditun laadun saavuttaminen, tarkastetaan, mitataan ja kirjataan.

Paalutuksen työ- ja laatusuunnitelma on laadittava kirjallisena selityksenä ja piirustuksina ja se on jätettävä rakennuttajan hyväksyttäväksi kaksi viikkoa ennen paalutustyön aloitusta.

Ennen paalutustyöhön ryhtymistä voi olla tarpeen tehdä lisäpohjatutkimuksia kalliopinnan varmistamiseksi sekä vaihtoehtoisten paalutyyppeiden soveltuvuuden ja paalujen tukeutumistason selvittämiseksi.

Pohjarakennussuunnitelmaa voidaan täydentää työn suoritusta suunniteltaessa mm. seuraavasti:

- tarkistetaan paalujen tekotapa ja tekojärjestys
- laaditaan suunnitelma mahdollisesti tarvittavasta työskentelyalustasta tai työtelineistä
- laaditaan paalujen pohjan ja porausputken puhdistussuunnitelma
- laaditaan raudoituskehikon nosto- käsittely- ja keskittämissuunnitelma
- laaditaan betonointisuunnitelma
- sovitaan tarkastus- ja valvontatoimenpiteistä kuten mm: pohjan tarkastamisesta, kalliokontaktin varmistamisesta, paalun puhtauden tarkastamisesta, paalun suoruuden tarkastamisesta, koekuormituksen tarpeesta
- määritellään paalun pohjan käsittelytoimenpiteet sekä suunnitellaan mahdollinen kalliokontaktin injektoinnin suoritus
- tarkistetaan paalun porausohjeet
- arvioidaan ympäristön aiheuttamien rajoitusten vaikutus työsuoritukseen
 - luiskien sortumavaara
 - louhinta- ja paalutustärinä
 - ympäristön rakenteiden siirtymä- ja tärinämittaukset

- pohjaveden sijainti
- vesistön suojelu
- meluhaittojen vähentäminen

Paalutustyön yhteydessä tarkentuvien maakerrosrajojen ja maakerrosten ominaisuuksien perusteella suoritettavaksi mahdollisesti jätetyt suunnitelman täsmennykset tehdään paalutustyön alkuvaiheessa.

Työsuunnitelmaan on lisäksi sisällytettävä ainakin seuraavat asiat:

- kaluston valinta ja sijoitus työpisteessä sekä aputoimintojen, esimerkiksi nostojen, suoritustapa ja -suunta
- paikalleen mittausten suunnittelu ja tarvittavien sidemittojen asettaminen
- paalujen kuljetus, varastointi ja käsittely
- paalujen jatkaminen ja hitsaussuunnitelma
- paalujen liittäminen yläpuolisiin rakenteisiin
- paalujen laadunvarmistustoimenpiteiden suunnittelu
- työturvallisuustoimenpiteiden ja - tarkastusten suunnittelu

8.2 Paaluttajalle asetettavat vaatimukset

8.2.1 Paalutustyönjohtaja

Työmaalle on paalutustyötä johtamaan asetettava paalutustyönjohtaja.

Vaativissa ja hyvin vaativissa kohteissa paalutustyönjohtajalla on oltava sellainen koulutus ja kokemus porapaalutustöistä, että viranomainen voi hyväksyä hänet toimimaan vastaavana työnjohtajana tai vaikeiden rakennustöiden johtajana.

Paalutustyönjohtajalla on yleensä oltava usean vuoden pituinen käytännön kokemus poraus- ja paalutustöistä ja riittävät teoreettiset tiedot.

Riittävät teoreettiset tiedot voidaan yleensä katsoa olevan henkilöllä, joka on suorittanut teknillisessä oppilaitoksessa tai ammattikorkeakoulussa rakennusalan tutkinnon tai joka osallistumalla alan koulutustilaisuuksiin tai muulla vastaavalla tavalla on hankkinut paalutustöissä tarvittavat perustiedot.

Paalutustyönjohtajan on oltava riittävän perehtynyt kulloinkin tehtävään paalutyyppiin. Paalutustyönjohtajan on johdettava ja valvottava kaikkia paalutustyöhön liittyviä tehtäviä ja töitä sekä suoritettava tarpeelliset tarkastustoimenpiteet.

Betonityötä valvovan henkilön pätevyysvaatimukset määräytyvät RakMK B4:n mukaisesti.

8.2.2 Paalutustyönjohtajalle kuuluvat tehtävät

Paalutustyönjohtajan tehtäviin kuuluu huolehtia siitä, että

- 1) henkilöstö on ammattitaitoista ja koneet työsuoritukseen soveltuvia
- 2) paalutuksen työ- ja laatusuunnitelma on laadittu ja hyväksytty
- 3) paalut on mitattu oikealle paikalle ja sidontamitat ovat olemassa
- 4) paalutuspöytäkirjat, sisältäen sijaintimittaukset, tehdään ja tarkastetaan asianmukaisesti
- 5) valvojaan, viranomaisiin ja suunnittelijoihin pidetään yhteyttä
- 6) poraustyö sujuu suunnitellulla tavalla ja että ympäristöä ja maakerroksia tarkkaillaan
- 7) paalun sijainnin ja kaltevuuden mittauksia tehdään poraustyön aikana
- 8) pohjan puhtaus ja paalun puhtaus ja suoruus tarkastetaan
- 9) raudoitteen tekemistä ja keskistämistä valvotaan
- 10) betonointisuunnitelma tehdään
- 11) betonointityötä valvotaan
- 12) paalun laadunvarmistustoimenpiteet suoritetaan
- 13) toimitetut paalukomponentit täyttävät laatuvaatimukset ja paalun osat ovat kiinnitetty suunnitellulla tavalla
- 14) paalu sijoitetaan mitatulle paikalle pystyyn tai suunniteltuun kaltevuuteen paalutustyösuunnitelman mukaisesti tuettuna
- 15) paalun jatkokset ja jatkosten tarkastukset tehdään suunnitelman mukaisesti.
- 16) suunnitellut koepaalutukset ja koekuormitukset tehdään ja geotekniseltä suunnittelijalta saadaan paalujen tarkistettut porausohjeet

8.3 Paalutustyön suoritus

Paalutustyö suoritetaan näiden ohjeiden mukaisesti, ellei pohjarakennussuunnitelmassa ole annettu muita ohjeita.

Käytettävän paalutusmenetelmän on oltava sellainen, että työ voidaan toteuttaa suunnitelman mukaan ja että työ ei aiheuta vaurioita viereisille rakenteille.

8.4 Erilaiset asennustavat

Paalutustyön suorittajalla on oltava sellainen kunkin paalutyyppin tekemiseen soveltuva kalusto, että paalutustyön lopputulos vastaa pohjarakennussuunnitelman ja näiden ohjeiden asettamia vaatimuksia.

Suomessa paalujen poraus suoritetaan yleensä käyttäen iskeviä porausmenetelmiä. Iskevät porausmenetelmät perustuvat neljään pääkomponenttiin:

- Syöttövoima
- Pyöritys
- Isku
- Huuhtelu

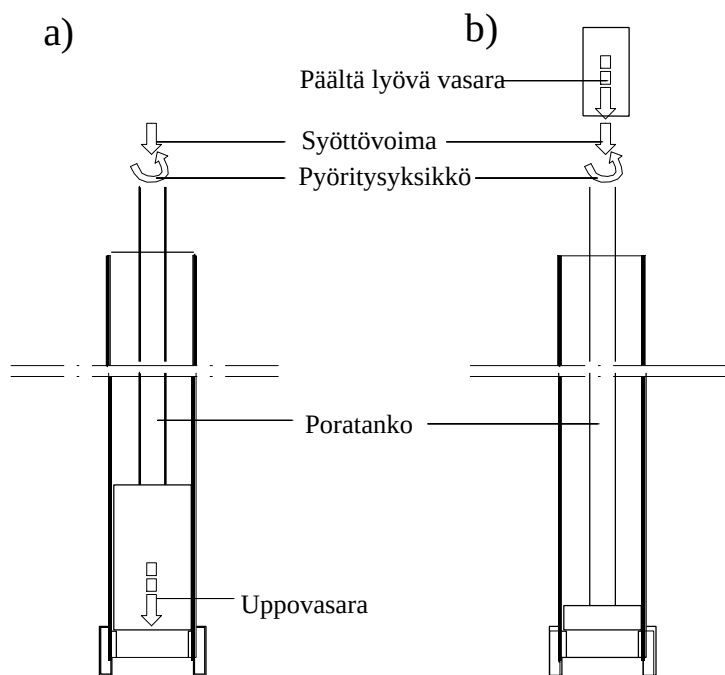
Porauskalustona käytetään joko päältälyövää kalustoa tai uppoporakalustoa. Porauskalustoja on käsitelty tarkemmin kappaleessa 8.4.1.

Putken poraukseen on kaksi erilaista menetelmää: epäkeskinen ja keskinen porausmenetelmä. Kappaleessa 8.4.2 on käsitelty tarkemmin porausmenetelmiä.

8.4.1 Porauskalusto

8.4.1.1 Yleistä

Porauskalustona voidaan käyttää joko uppoporakalustoa kuva 14a tai päältälyövää kalustoa kuva 14b. Kummallakin kalustolla voidaan käyttää joko epäkeskistä tai keskistä porausmenetelmää. Porausmenetelmiä on käsitelty tarkemmin kappaleessa 8.4.2.



Kuva 14 Porauskalustojen periaate a) upporakalusto b) päältälyövä kalusto

8.4.1.2 Päältälyövä kalusto

Päältälyövässä kalustossa voi olla joko pneumaattinen tai hydraulinen pora. Pneumaattisella poralla iskutaajuus vaihtelee välillä 1600-3400 iskua minuutissa ja hydraulisella poralla 2000-4000 iskua minuutissa.

Päältälyövällä kalustolla voidaan porata suurimmillaan noin 200 mm porausputkea.

Päältälyövällä kalustolla porausteho laskee paalupituuden ja jatkosten määrän kasvaessa. Päältälyövää kalustoa ei yleensä käytetä yli 30 m pituisiin paaluihin. Syvissä pehmeiköissä on kuitenkin tehty yli 50 m porapaaluja päältälyövällä kalustolla.

Läpi-injektoitavat porapaalut porataan aina päältälyövällä porauskalustolla.

Eräillä päältälyövyillä kalustoilla voidaan lyödä myös ylöspäin. Tätä voidaan käyttää hyväksi porausputkea nostettaessa silloin, kun porausputki ei jää paalun pysyväksi osaksi.

8.4.1.3 Uppoporakalusto

Uppoporakalusto on yleensä pneumaattinen. Vesikäyttöisiä uppoporakalustoja on myös olemassa. Niiden käyttö ei kuitenkaan ole vielä yleistä. Vesikäyttöisten vasaroiden suuri käyttöpaine ja vedenkulutus voi aiheuttaa maan häiriintymistä.

Iskuvasara sijaitsee suoraan porakruunun päällä ja seuraa kruunun mukana porausreikään. Uppoporakaluston etuna on parempi hyötysuhde, koska iskuenergia saadaan tehokkaammin käyttöön kuin päältä iskevässä kalustossa. Tunkeutumisnopeus on myös tasaisempi riippumatta reiän syvyydestä. Paalusta tulee uppoporakalustolla porattaessa yleensä myös suorempi.

Uppoporakalustolla voidaan porata suurimmillaan noin 800-1000 mm porausputkea.

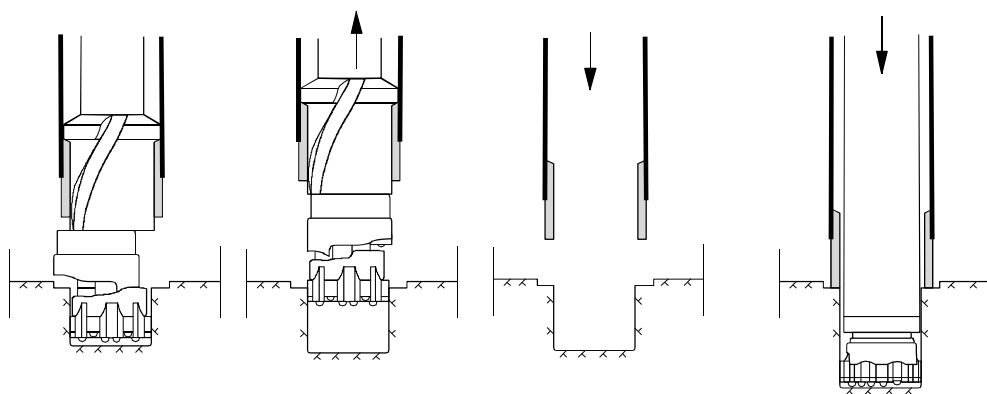
Uppoporakalustolla paalun pituus ei juuri vaikuta poraustehoon.

8.4.2 Porausmenetelmä

8.4.2.1 Epäkeskinen porausmenetelmä

Epäkeskisen porausmenetelmän kalusto koostuu pilottikruunusta ja epäkeskisestä avarrinkruunusta. Epäkeskistä porausmenetelmässä voidaan käyttää sekä päältätyövää kalustoa että uppoporakalustoa.

Epäkeskinen porausmenetelmä on esitetty kuvassa 15. Porauksen edetessä epäkeskinen avarrinkruunu avartaa pilottikruunun tekemän porausreiän hieman suuremmaksi kuin porausputken halkaisija. Porausputkea vedetään porakruunulla samanaikaisesti maahan. Huuteluaine puhaltaa osan poistettavasta maasta ympäröivään maahan ja porausputken ulkopintaa pitkin ylös ja osan porausputkeen ja sitä kautta ulos. Kun tavoitesyvyys on saavutettu, poratankoja kierretään vastakkaiseen suuntaan kuin porattaessa, jolloin porakruunu sulkeutuu ja porauskalusto voidaan vetää pois porausputkesta. Porausta voidaan jatkaa kallioporauksena.



Kuva 15 Epäkeskinen porausmenetelmä

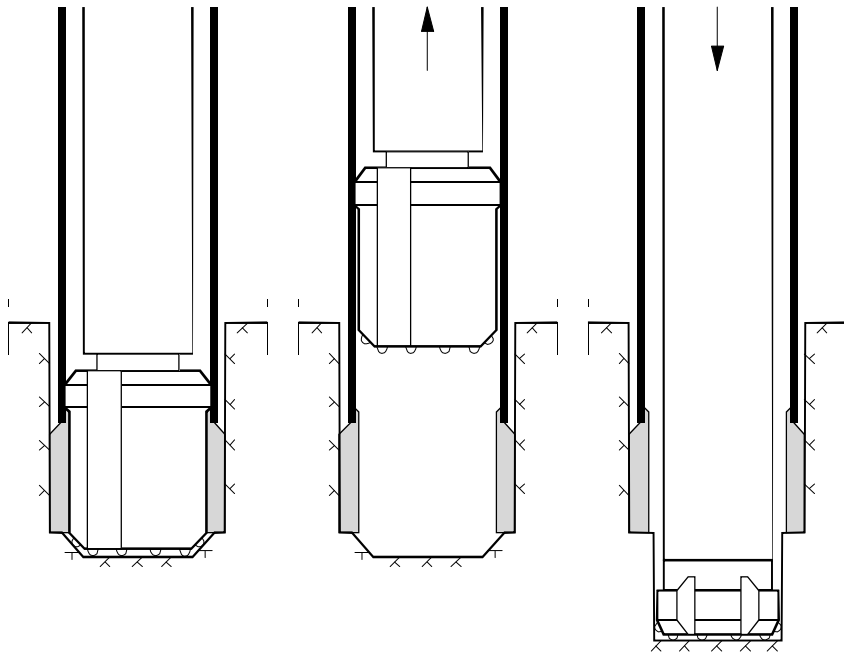
Epäkeskisellä menetelmällä porattaessa porausputki jää aina menetelmästä johtuvalle kalliohyllylle. Kalliohyllyn dimensiot määräytyvät käytetyn kaluston perusteella. Tämä on otettava huomioon paalutusta suunniteltaessa.

8.4.2.2 Keskinen porausmenetelmä

Keskisen porausmenetelmän kalusto koostuu pilottikruunusta ja keskisestä avarrinkruunusta. Keskisessä porausmenetelmässä voidaan käyttää sekä päältälyövää kalustoa että uppoporakalustoa. Nykyään on olemassa kaksi erilaista keskistä porausmenetelmää. Vanhemmassa menetelmässä myös porausputkea pyöritetään ja isketään. Menetelmän haittapuolena on sen vaatima suuri vääntömomentti, joten se ei sovellu syviin ja halkaisijaltaan suuriin porapaaluihin.

Uudemmissa keskisissä porausmenetelmissä porausputkea ei enää pyöritetä. Porausputken alapäähän kiinnitetään avarrinkruunu, joka kuitenkin pääsee pyörimään ilman että porausputki pyörii. Avarrinkruunu on lukittuna pilottikruunuun porauksen aikana. Kun tavoitesyvyys on saavutettu, pilottikruunu irrotetaan avarrinkruunusta ja nostetaan ylös. Tarvittaessa porausta voidaan jatkaa kallioporauksena (kuva 16).

Läpi-injektoitavat porapaalut porataan aina keskisenä porausmenetelmänä.



Kuva 16 Keskinen porausmenetelmä

8.5 Paalun poraus

Porattaessa on syöttövoiman aiheuttaman paineen porakruunun alla oltava pienempi kuin huuhtelupaine, jotta huuhtelureiät pysyvät auki koko porauksen aikana.

Huuhtelureikien tukkeutuessa voidaan niitä yrittää avata nostamalla huuhtelupaine suurimpaan sallittuun paineeseen sekä muuntelemalla pyöritys- ja syöttövoimaa. Reikien avausta voidaan myös kokeilla vaihtamalla nestemäinen huuhtelu ilmahuuhteluksi. Jollei huuhtelureikiä saada auki, nostetaan pilottikruunu ylös porausputkesta, puhdistetaan reiät ja vasta sitten jatketaan porausta.

Paalun kohdatessa kiven tai kallion, syöttövoima on pidettävä pienenä ja nostettava pyöritysnopeutta, jotta vältetään paalun sivusiirtymältä, käyristymiseltä ja kallistumiselta.

Jollakin porakruunuilla voidaan tunkeutua läpi puun ja mahdollisesti läpi teräksen. Puun poraaminen on huomattavasti hitaampaa kuin poraus maassa tai kalliassa. Teräksen läpi porattaessa porakruunun rikkoutumisriski on suuri.

Porausputken katketessa porauksen aikana nostetaan koko porausputki ylös. Jos tämä ei ole mahdollista, paalu hylätään.

Paalun porausta ei saa keskeyttää pitkäksi aikaa.

Poraus karkearakeisiin maakerrokseen voi aiheuttaa tiiviiden kerrosten löyhtymistä tai löyhien kerrosten tiivistymistä.

Paalua tukeva maa löyhtyy, jos porauksen aikana maasta poistuvan maa-aineksen tilavuus on suurempi kuin poraputken tilavuus.

Käyttämällä korkeaa injektointipainetta voidaan paalua tukevia karkearakeisia maakerroksia jossain määrin tiivistää.

Paalujen poraus voi aiheuttaa hienorakeisissa maakerroksissa häiriintymistä ja huokosvedenpaineen kasvua. Tällöin maakerrosten lujuus alenee. Lujuus palautuu melko hitaasti ja ylikonsolidoituneiden maakerrosten osalta vain osittain.

Häiriintymistä ja huokospaineen kasvua voidaan ehkäistä:

- valitsemalla pohjasuhteisiin sopiva porausmenetelmä
- rajoittamalla käytettävää huuhtelu- tai injektointipainetta
- jaksottamalla paalujen porausta tai pidentämällä paalutuksen kestoa

Porauksen saavutettua tavoitetasoa on varmistettava, että kantavana rakenteena toimiva porausputki tukeutuu tiiviisti kallioon. Tähän on kiinnitettävä erityisesti huomiota käytettäessä epäkeskistä porausmenetelmää.

Porausputki voi nousta irti kallioista, kun porauskalusto vedetään pois porausputkesta. Epäkeskisellä menetelmällä porattaessa jää porausputki aina irti kallion olkapäästä pilottikruunu avartimen verran. Jos porausputki toimii kantavana rakenteena, sen on ehdottomasti tukeuduttava kallion pinnalle.

Porausputki voidaan yleensä lyödä kalliota vasten lyömällä porausputkea poravasarella paalun yläpäästä.

8.6 Huuhtelu porauksen aikana

Porauksen huuhteluaineena voidaan käyttää ilmaa, vettä, polymeerejä tai sementtilaastia.

Huuhteluaineen mukana maaperästä ei saa poistua enempää maa-ainesta kuin poraputken tilavuus. Huuhteluaineen mukana ei myöskään saa poistua vettä enempää kuin porauksen aikana maahan on syötetty.

Poraus on keskeytettävä, jos huuhteluun käytettävä ilma ei poistu maasta porausputken läheisyydestä.

Porauksen huuhtelun mukana ylös nouseva vesi ja/tai maa-aines voi aiheuttaa:

- paalua ympäröivien maakerrosten häiriintymistä
- maa-aineksen ylös nousemisesta johtuvaa viereisten tai vahvistettavien rakenteiden perustusten alapuolisten maakerrosten kantavuuden menetystä
- läheisten juuri asennettujen paalujen kovettumattomien injektointien tai betonointien vaurioitumista
- sementin huuhtoutumista

Maa-aineksen ja/tai veden ylös nousemisen riski kasvaa:

- löyhissä tasarakeisissa maakerroksissa
- pehmeissä hienorakeisissa maakerroksissa
- muuttuvissa maakerroksissa
- käytettäessä uppovasarakalustoa suora huuhtelulla pohjaveden pinnan alapuolella

Käytettäessä vettä huuhteluaineena on huuhteluvedenpaineen oltava päättäilyövällä kalustolla yleensä yli 20 bar ja veden syöttömäärän vähintään 20 l/min, jotta kruunun huuhteluaukot eivät tukkeutuisi.

8.7 Jatkaminen

Jatkos on tehtävä joko puikkohitsaus-, jauhe- tai kaasukaarimenetelmällä.

Hitsijatkoksen vaatimuksia on käsitelty kappaleessa 6.8

Käytettäessä hitsattuja jatkoksia porausta ei saa jatkaa ennen kuin hitsausalue on jäähtynyt riittävästi. Tähän on kiinnitettävä erityisesti huomiota käytettäessä vesihuuhtelua tai vedenpinnan sijaitessa lähellä poraustasoa.

Konepaja- sekä työmaaolosuhteisissa tehtävistä hitsauksista on laadittava yksityiskohtainen hitsaussuunnitelma.

Kierrejätköksiä käytettäessä on ennen jatkamista varmistettava, että kierreteet ovat puhtaat. Kierreteet on kierrettävä huolellisesti ja riittävällä momentilla kiinni. Kierrejätköksen kiinnipysyminen porauksen aikana voidaan varmistaa mm. pienellä hitsauksella.

8.8 Injektointi

8.8.1 Yleistä

Paalujen injektointia on käsitelty yksityiskohtaisesti CEN/TC 288 N213E Execution of special geotechnical work. Micropiles (April 2000)–standardiluonnoksessa.

Injektoinnin valmistelu ja varsinainen injektointi on suoritettava siten, että suunnitellut materiaalilujuudet saavutetaan.

Aineosien annostelu on suoritettava sellaisilla kalibroiduilla mittalaitteilla, joiden mittatarkkuus on oltava vähintään 5 %.

Automaattista sekoitusta käytettäessä on suhteutus tarkistettava säännöllisesti. Kun automaattisekoitusta ei käytetä, on sekoitusprosessi kirjattava.

Injektointipaine on mitattava niin läheltä injektointikohtaa kuin on mahdollista.

Injektointiin voidaan käyttää seuraavia menetelmiä:

- painovoimainen injektointi
- paineellinen injektointi
 - yksivaiheinen injektointi porausputken kautta
 - yksivaiheinen injektointi injektointiputken kautta
 - monivaiheinen injektointi injektointiputkien kautta
- injektointi porauksen aikana

Injektointimenetelmä valitaan pohjasuhteiden, suunnitellun injektointiaineen ja käytettävissä olevan kaluston perusteella.

Injektoitavien paalujen porauksen ja injektoinnin välinen aika on pidettävä niin lyhyenä kuin mahdollista.

Jos havaitaan injektointipaineen äkillinen aleneminen, on paineellinen injektointi lopetettava.

8.8.2 Injektointi maakerroksissa

8.8.2.1 Yleistä

Injektointiparametrit, paine, määrä, virtaus ja virtausnopeus, on valittava siten ettei maakerroksissa tapahdu maan haitallisia muodonmuutoksia tai syrjäytymistä. Tähän on kiinnitettävä erityistä huomiota herkkien rakenteiden läheisyydessä.

Injektoitaessa sellaisissa pohjasuhteissa, joissa pohjaveden virtaus on mahdollista, voi tapahtua injektointiaineen laimentumista tai jopa injektointiaineen pois huuhtoutumista. Pohjasuhteista riippuen voidaan edellä mainittuja vaikutuksia vähentää seuraavilla toimenpiteillä:

- käyttämällä nopeasti kovettuvaa injektointiainetta
- käyttämällä korkeaviskoosisia injektointiaineita ja/tai laastia, jossa on suuri kuiva-ainepitoisuus
- käyttämällä lisäaineita estämään injektointiaineen laimeneminen

Jos injektointiaineella on taipumus ohittaa injektointitulppa, varsinkin monivaiheisessa injektoinnissa, paaluun on asennettava huuhtelujärjestelmä, jolla voidaan poistaa injektointitulpan ohittanut injektointiaine.

8.8.2.2 Vaippainjektointi

Monivaiheisella korkeapaineinjektoinnilla voidaan parantaa vaipalla tukeutuvien paalujen vaippakantavuutta. Tämä voidaan tehdä ennen raudoitteen asentamisen tai sen jälkeen.

Jos paalun varsi injektoidaan koko matkalta, injektointia jatketaan kunnes paalun vaipalta nousevan injektointiaineen koostumus on lähes samanlainen kuin injektointiaineella ennen injektointia.

8.8.2.3 Kärki-injektointi

Injektoitaessa ainoastaan paalun kärkeä, on käytettävä injektointitulppia, jotta voidaan estää paalun vaippaosuuden injektoituminen. Injektointitulpat voivat olla joko passiivisia, mekaanisia tai pneumaattisia.

Injektointitulppien on oltava riittävän pitkiä, jotta voidaan minimoida paalun vaipan injektoituminen maakerroksen kautta.

8.8.3 Injektointi kalliossa

Jos kallioon tukeutuvaksi suunnitellun porapaalun alapään ja kallion välissä on paalun kantavuuden kannalta haitallista irtoainesta, voidaan paalun alapään liittymistä kallioon parantaa kärjen injektoinnilla.

Injektoitaessa ainoastaan kallio osuutta voidaan tarvittaessa käyttää injektointitulppaa.

Paalun kärkiosa voidaan tarvittaessa injektoida, jotta veden virtaus paaluun voidaan estää. Tämän jälkeen paalu voidaan valaa kuivavaluna.

8.9 Paalun päiden sulkeminen ja paalujen katkaisu

Paalujen päät on suljettava paalun asennuksen jälkeen, jotta porausputkeen ei mene sinne kuulumattomia aineita. Matalalla sijaitsevat avonaiset porausputket muodostavat lisäksi henkilöturvallisuusriskin.

Paalut katkaistaan suunnitelmassa määritellystä katkaisukorkeudesta kohtisuoraan paalun akselia vastaan. Katkaisun suoruspöikkeama saa olla enintään 1/50 paalun akselin kohtisuoruuteen nähden ellei suunnitelmissa toisin mainita. Paalun päät on suljettava katkaisun jälkeen.

8.10 Puhdistus

Porausputkien puhtaus on tarkastettava ennen porausputkien betonointia.

Mahdolliset epäpuhtaudet on poistettava porausputkesta.

Liittorakenteisissa paaluissa, joissa porausputken ja betonin välistä tartuntaa käytetään hyväksi, on kiinnitettävä erityistä huomiota porausputken puhtauteen.

8.11 Raudoitus

Paalujen raudoituksessa noudatetaan Suurpaalutusohjeessa (SPO-2001) annettuja ohjeita.

8.12 Paalun betonointi

Ennen betonointia on tarkistettava, että porausputki on puhdas. Porausputki on tarvittaessa puhdistettava. Aina kun mahdollista, paalun betonointi on suoritettava kuivavaluna. Porausputki on tarvittaessa pumpattava tyhjäksi.

Jos paaluun vuotaa runsaasti vettä, paalun on betonointi suoritettava vedenalaisena valuna Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti.

Paalujen, joiden sisähalkaisija on suurempi kuin 200 mm, betonoinnissa voidaan käyttää betonia. Muilla paaluilla käytetään laastia.

Liittorakenteisten paalun betonointi on esitetty tarkemmin Suurpaalutusohjeessa (SPO-2001).

9 LAADUNVALVONTA JA MITTAUKSET

9.1 Laadunvalvonta

Paalutustyönjohtajan on oltava pätevä ja kokenut henkilö (kappale 8.2) ja hänellä on laatuvastuu siitä,

- että työ tehdään työkohtaisten laatuvaatimusten tai työselityksen, muiden ohjeiden sekä hyvän rakennustavan mukaisesti
- että paalutuksen työ- ja laatusuunnitelma sekä muut tarpeelliset työsuunnitelmat laaditaan ja tarkastetaan asianmukaisesti
- että paalutuspöytäkirjat laaditaan paalutustyön yhteydessä ja toimitetaan viipymättä valvojalle ja suunnittelijalle tarkistettavaksi
- että valvontamittaukset tehdään ja tarpeelliset asiakirjat laaditaan
- että rakennuttajan edustajalle ja/tai suunnittelijalle tiedotetaan työmaalla esiintyvistä poikkeuksellisista tilanteista ja olosuhteista sekä muista työn kulkuun vaikuttavista asioista
- että erikoistöiden tekijä, kuten hitsaaja, on suorittanut pätevyyskokeen

9.2 Paalutuksen valvontamittaukset

Paalutusta on valvottava mittauksin ja kaikki asianmukainen tieto on merkittävä pöytäkirjoihin ja niiden on sisällettävä seuraavat tiedot:

A) Paalutuskohde ja paalut

- paalutuskohde, urakoitsija, paalutyypit, mitat ja syvyydet sekä teräslajit ja paalun kärkiosan tyypit

B) Maaperätiedot

- maalajit, kerrosrajat
- vaikeasti läpäistävät kerrokset

C) Paalun poraus

- porauskalusto
- porausmenetelmä
- paalun jatkaminen

D) Suoruuden mittaus

- tarvittaessa paalun suoruus mitataan inklinometrillä tai muulla vastaavalla mittalaitteella.

E) Kantavuuden mittaus

- tarvittaessa sekä aina maankerrokseen tukeutuvilla paaluilla hyvin vaativissa kohteissa

Kaikesta työn kulkuun ja lopputulokseen vaikuttavista poikkeuksellisista tilanteista ja olosuhteista on ilmoitettava valvojalle.

Valvontamittauksen pöytäkirjat on laadittava viivytyksettä. Pöytäkirjat tai niiden kopiot on säilytettävä työmaalla kunnes työ on tehty. Pöytäkirjat on laadittava samanaikaisesti paalutuksen edetessä.

Paalutuspöytäkirjat on luovutettava rakennuttajan valvojalle ja/tai suunnittelijalle niin kuin on sovittu. Paalutuksen dokumentointi on esitetty luvussa 10.

Paalutuksen jälkeen on laadittava toteutumapiirustus, josta selviävät paalujen sijainti, paalukoot, paalujen kärki- ja katkaisutasot sekä paaluissa käytetyt varusteet.

Mittaus suunnitelma, mittaustulokset ja muut paalutusdokumentit on säilytettävä urakkaohjelman, työselityksen, laatuvaatimusten tai rakentamista koskevien määräysten tai ohjeiden mukaisesti.

9.3 Paalujen koestus

9.3.1 Yleiset vaatimukset

Paalujen koestuksen yleisperiaatteet sisältyvät ENV 1997:hen.

Hyvin vaativissa kohteissa maakerrokseen tukeutuvien paalujen geotekninen kantavuus on varmistettava koekuormituksilla. Koekuormituksia on suoritettava jokaiselle paalutyypille 5% paalujen määrästä, kuitenkin vähintään 2 kpl.

Kallioon tukeutuvia porapaaluja ei tarvitse koekuormittaa, jos paalut tukeutuvat ehjään kallioon. Kallion ehjyys on tutkittava porakonekairauksin. Kallioporausvaiheessa on varmistettava, että kallio on ehjää tarkkailemalla porauksen syöttö- ja pyörityspaineita.

Koekuormitukset tehdään staattisina koekuormituksina.

Paalujen koekuormituksia voidaan käyttää mitoitukseen, työmenetelmien ja/tai laadun tarkistamiseen:

- selvittämällä paalun kärki- ja vaippavastuksen ja siirtymän välinen vuorosuhde
- selvittämällä paalun ehjyys
- selvittämällä paalun pitkäaikaista käyttäytymistä

Pohjarakennussuunnittelija ja rakennesuunnittelija laativat tai vähintään hyväksyvät koekuormitus suunnitelman.

9.3.2 Erityisvaatimukset

Staattisen koekuormituksen on sisällettävä vähintään kuusi kuormitusportasta. Painumisnopeus on mitattava vähintään kolmella mittarilla ja sen on oltava alle 0,25 mm/h ennen seuraavan kuormitusportaan aloittamista.

Vakionopeuskuormituksessa nopeus on pidettävä vakiona ja sen on oltava noin 0,1 mm/min koko kokeen ajan.

Painuman mittauslaitteen tarkkuuden on oltava vähintään 0,1 mm.

Kaikki vaa'at ja painemittarit on kalibroitava vähintään kerran vuodessa.

Koekuormitusten päätyttyä on tilaajalle viivytyksettä luovutettava raportti, joka sisältää yksityiskohtaisen selvityksen jokaisesta koekuormitetusta paalusta, paalujen sijaintitiedot ja maaperäselvityksen. Tulokset esitetään graafisesti ja numeerisesti.

10 PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI

Paalutuspöytäkirja sisältää kaksi osaa. Ensimmäisessä annetaan yleistä informaatiota koskien:

- paalutyyppejä
- paalutusmenetelmää
- laatuvaatimuksia raudoituksen ja betonoinnin osalta

Toinen osa sisältää yksityiskohtaiset tiedot paalujen tekemisestä eli paalutuspöytäkirjat.

Paalutuspöytäkirjan yleisen osan on oltava sisällöltään samanlainen eri paalutypeillä ja menetelmillä ja sen on sisällettävä asiat, jotka on lueteltu taulukossa 11.

Taulukko 10 Paalutuspöytäkirjan yleisen osan sisältö

Kohde	X
Urakka-asiakirjat	X
Yläpuolinen rakenne	X
Pääurakoitsija	(X)
Paalutusurakoitsija	X
Asiakas/tilaaja	(X)
Suunnittelija	X
Paaluhalkaisija/koko	X
Teräslaatu, jatkokset, kärkekappale, paalun halkaisija	X
Paalutusmenetelmä	X
Puhdistusmenetelmä	(X)
Raudoituksen detaljit	(X)
Betonin laatuvaatimukset	(X)
Käytetty injektointiaine	(X)
Betonivalu	(X)

X ilmoitetaan aina (X) ilmoitetaan tarvittaessa

Paalutuspöytäkirjan yksityiskohdista ja muodoista on sovittava ennen paalutuksen aloittamista.

Jokaisen paalun tarkastuksessa tehdyssä pöytäkirjassa on mainittava:

- syy tarkastukseen
- koestusmenetelmä ja sen toiminta

- koetulokset
- johtopäätökset

Paalutustyöjohtajan ja rakennuttajan valvojan on allekirjoitettava kaikki pöytäkirjat.

Paalutuspöytäkirjan paalukohtaisessa osassa esitetään paalutustiedot vain yhden paalun osalta.

Pöytäkirjan paalukohtaisen osan sisältö:

Paalun poraus

- porauksen kesto
- porausnopeus m/min
- porauksen aikaisen injektoinnin määrä
- porauksen aikaisen injektoinnin paine
- keskeytykset
- esteiden läpäisy
- paalun pituus
- maakerrokset

Paalun sijainti

- sijainti
- kaltevuus (merkitään niiden osalta, jotka ovat ylittäneet sallitut mitapoikkeamat)
- kaarevuus (merkitään niiden osalta, jotka ovat ylittäneet sallitut mitapoikkeamat)

Tarvittaessa paalukohtaisen osan on sisällettävä myös:

- paalun vedettömyyden ja puhtauden tarkastus
- paalun puhdistus ja puhdistusaika

Raudoitus

- käytetty raudoitus
- asennus ennen vai jälkeen valun
- sijainti
- pituus
- ripustus

Betonointi ja injektointi

- betoni/laasti ja sen ominaisuudet
- lisäaineet
- kuiva/vedenalainen valu
- keskeytykset
- menekki
- lujuuskokeet

Liitteessä 1 on paalutuspöytäkirjan malli. Paalutuspöytäkirjan sisällöstä on sovittava projektikohtaisesti. Pöytäkirjamallissa ei ole kaikkia edellä mainittuja asioita, joten käytettävästä pöytäkirjamallista on sovittava ennen paalutuksen alkua.

11 TYÖTURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖNSUOJELU

11.1 Työturvallisuus

Paalutustöissä on noudatettava lakeja ja asetuksia sekä muita määräyksiä ja ohjeita, jotka koskevat:

- työalueen turvallisuutta
- työmenetelmien turvallisuutta
- paalutuskoneen ja paalutuksessa käytettävien muiden laitteiden sekä työkalujen toiminnallista varmuutta

Erityistä huomiota on kiinnitettävä:

- kaikkiin työvaiheisiin, joissa käytetään raskaita laitteita ja työkaluja
- yläpäästään avoimena olevien porausputkien peittokannen turvallisuuteen

11.2 Paalutuksen ympäristövaikutukset

11.2.1 Yleistä

Paalutustyöstä aiheutuvat häiriöt ja ympäristöhaitat on pidettävä mahdollisimman vähäisinä.

Häiriöitä ja ympäristöhaittoja voivat olla:

- porauksen poistama maa-aines sekä porauksen huuhteluaineet
- porauksen aiheuttama löyhien maakerrosten tiivistyminen
- tärinä
- melu
- maan, veden ja ilman saastuminen

Mahdollisen häiriön tai ympäristövaikutuksen laatu ja laajuus riippuu:

- paalutustaikaa pohja- ja pohjavesisuhteista
- paalutyypistä ja paalutusmenetelmästä
- työvaiheesta

11.2.2 Tärinä

Porapaaalutuksen aiheuttama tärinä on yleensä melko vähäistä. Jos paalutuskohteen läheisyydessä on tärinälle herkkiä rakenteita, todelliset tärinäärvot on aina mitattava työmaalla.

11.2.3 Melu

Paalutuksesta aiheutuvan melutason määrittämiseen soveltuvia laskentamenetelmiä ei ole käytettävissä. Suurin sallittu melutaso L_{Aeq} saa olla enintään 80 dB tiloissa, joissa pääsääntöisesti oleskelee työmaalle kuulumattomia henkilöitä.

11.2.4 Päästöt

Vesi- tai pohjavesialueilla tai niiden läheisyydessä työskenneltäessä on työalueella ja tarvittaessa sen läheisyydessä tehtävä suojatoimenpiteitä, jotta käytettävien haitallisten injektointi- ja huuhteluaineiden pääsy vesistöön voidaan estää. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota, että paalutuskoneen rikkoutumisen tai muun syyn takia vuotava öljy, huuhtelu- tai injektointiaine voidaan kerätä talteen ja estää sen pääsy vesistöön.

Hydraulikoneiden voimansiirtojärjestelmässä suositellaan käytettäväksi vesialueilla ja niiden välittömässä läheisyydessä rypsiöljyä, joka on helposti luonnossa hajoava tuote.

Savukaasupäästöjä voidaan vähentää käyttämällä uudenaikaisia ja tehokkaita hydraulikoneita.

LIITTEET

LIITTEET

PORAPAAALUJEN ASENNUSPÖYTÄKIRJA, YLEISET TIEDOT

Sivu
1/1

Urakoitsija		Paalutyypin	
Työkohde		Porausmenetelmä	
		Työpiirustus nro	

1 PAALUTIEDOT		4.4 Jatkokset	
1.1 Paalun kalliokontakti		Hitsaus	
Kärjellään kantava		Kierre	
Vaipallaan kantava		Holkki	/ mm
1.2 Paalun vaippa		4.5 Raudoituksen asennus	
Suojaputki jätetty maahan		Ennen betonointia	
Suojaputki nostettu ylös		Betonoinnin jälkeen	
2 PORAUSKALUSTO		4.6 Keskittäjät, tyyppi	
2.1 Poraus kone		Kpl/pitkittäissuunt. välein:	/ m
2.2 Pora		5 BETONI/LAASTI	
2.3 Poraus periaate		5.1 Nimellisluku K	
Uppoporaus kalusto		5.2 Notkeus	sVB
Päältälyötävä kalusto		5.3 Valmisbetoni/laasti	
Muu		Työmaalla sekoitettu betoni/laasti	
2.4 Porausmenetelmä		5.4 Sementtilaatu	
Keskinen		5.5 Sementtimäärä	kg/m ³
Epäkeskinen		5.6 Runkoaine (max raekoko) #	mm
Avarrinkruunu OD	mm	5.7 Vesisementtisuhde w/c=	
Pilottikruunu OD	mm	w=veden paino, c=sementin paino	
3 PORAUSPUTKI		5.8 Betonin lisäaineet	
3.1 Ulkohalkaisija	mm	% sementin painosta	%
3.2 Seinämäpaksuus	mm	5.9 Hidastin	
3.3 Teräslaji		Työstettävyyssika	
3.4 Elementtipituus	mm	5.10 Vedenalainen betonointi	
3.5 Jatkokset		Betonointi kuivissa olosuhteissa	
Hitsaus		5.11 Betonin asennusmenetelmä	
Kierre		Uppoaluputki	φ= mm
4 RAUDOITUS		Pumppausletku	φ= mm
4.1 Raudoituksen tyyppi		Muu asennusmenetelmä	
Tanko	φ= mm	5.12 Toimenpiteet veden ja betonin sekoittumisen estämiseksi betonoinnin alkaessa	
Putki	d= t= mm		
4.2 Teräslaji		5.13 HUOMAUTUKSET/HAVAINNOT	
4.3 Elementtipituus	mm		

LIITTEET

PORAPAALUJEN ASENNUSPÖYTÄKIRJA, PAALUKOHTAISET TIEDOT

Sivu

Paalunumero _____

Urakoitsija _____ Paalutyypä _____
Työkohde _____ Porausmenetelmä _____
Työpiirustus nro _____

Poraus

Aloit.: Pvm _____ Klo _____ Aloitustaso + _____ Paalun yläpään taso + _____
Lopetus: Pvm _____ Klo _____ Lopetustaso + _____ Paalun alapään taso + _____
Todettu kalliopinnan taso + _____ Poraussyvyys _____ Paalupituus _____

PORAUS- SYVYYS [m]	POR.VASTUS [s/0,1m]	POHJAS. KUVAAUS	PORAUSHAVAINNOT (pohjavesi, keskeytykset)	PORAUSMENET. JA KALUSTO	HUOMAUTUKSET

Porausvastus [s/0,1m] merkitään vähintään kallioporausken matkalta

Paalun toteutuneet poikkeamat (sijaintipoikkeamat paalun yläpään katkaisutasossa)

$\Delta x =$ _____ cm Kaltevuus _____^o
 $\Delta y =$ _____ cm Kaarevuussäde: $R_{0,min}$ _____ m Tasolla + _____

Pohjanpuhdistus Pvm _____ Klo _____

Betonointi

Betonoinnin aloitus: Pvm _____ Klo _____
Betonoinnin lopetus: Pvm _____ Klo _____
Vedenpinnantasoreiässä betonoinnin alkaessa: _____ m Yläpään katkaisutason alapuolella
Betonimenekki: Teoreettinen: _____ m³ Todellinen: _____ m³
Erityishuomiot betonoinnissa: _____

Huomautukset/havainnot: _____

Allekirjoitukset: Paalutustyön johtaja _____
Valvoja _____

LÄPI-INJEKTOITAVIEN PORAPAALUJEN ASENNUSPÖYTÄKIRJA

Sivu

YLEISET TIEDOT

1/1

Urakoitsija		Paalutyyppi	
Työkohde		Porausmenetelmä	
		Työpiirustus nro	

1 PAALUTIEDOT

1.1 Paalun kantavuus

Kärjellään kantava
Vaipallaan kantava

1.2 Paalun vaippa

Suojaputki jätetty maahan
Suojaputki nostettu ylös

4.3 Teräslaji

4.4 Elementtipituus

4.5 Jatkokset

Hitsaus
Kierre
Holkki

2 PORAUSKALUSTO

2.1 Poraus kone

6 INJEKTOINTI

6.1 Injektointikalusto

2.2 Pora

6.2 Maksimi injektointi paine

2.4 Porakruunu

Malli
koko

φ mm

7 INJEKTOINTILAASTI

7.1 Nimellislukuus

K

3 PORATANKO

7.2 Notkeus

sVB

3.1 Ulkohalkaisija

mm

7.3 Valmislaasti

Työmaalla sekoitettu laasti

3.2 Seinämäpaksuus

mm

7.4 Sementtilaatu

3.3 Teräslaji

7.5 Sementtimäärä

kg/m³

3.4 Elementtipituus

mm

7.6 Runkoaine (max raekoko)

mm

3.5 Jatkokset

Hitsaus
Kierre
Holkki

7.7 Vesisementtisuhde w/c=

w=veden paino, c=sementin paino

3.6 Keskistäjät, tyyppi

Kpl/pitkittäissuunt. välein: / m

7.8 Lisäaineet

% sementin painosta %

4 PORAUSPUTKI

5.13 HUOMAUTUKSET/HAVAINNOT

4.1 Ulkohalkaisija

mm

4.2 Seinämäpaksuus

mm

LIITTEET

LÄPI-INJEKTOITAVIEN PORAPAALUJEN ASENNUSPÖYTÄKIRJA

Sivu

PAALUKOHTAISET TIEDOT

Paalunumero _____

Urakoitsija _____ Paalutyyppe _____

Työkohde _____ Porausmenetelmä _____

Työpiirustus nro _____

Poraus

Aloituis: Pvm _____ Klo _____ Aloitustaso + _____ Paalun yläpään taso + _____

Lopetus: Pvm _____ Klo _____ Lopetustaso + _____ Paalun alapään taso + _____

Todettu kalliopinnan taso + _____ Poraussyvyys _____ Paalupituus _____

PORAUS- SYVYYS [m]	POR.VASTUS [s/0,1m]	POHJAS. KUVAAUS	LAASTI MENEKKI	INJEKTOINTI PAINE	PORAUSHAVAINNOT (pohjavesi, keskeytykset)	HUOMAUTUKSET

Paalun toteutuneet poikkeamat (sijaintipoikkeamat paalun yläpään katkaisutasossa)

$\Delta x =$ _____ cm Kaltevuus _____⁰

$\Delta y =$ _____ cm Tasolla + _____

Laastimenekki: _____ Teoreettinen: _____ m³ Todellinen: _____ m³

Erityishuomiot injektoinnissa _____

Huomautukset/havainnot:

Allekirjoitukset:

Paalutustyön johtaja _____

Valvoja _____