

**JULKAISIJA JA KUSTANTAJA:**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

**MYYNTI:**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Töölönkatu 4, 00100 Helsinki

Puh. 0207 120 600, fax 0207 120 619, email [ril@ril.fi](mailto:ril@ril.fi), [www.ril.fi](http://www.ril.fi)

ISBN 978-951-758-469-2

ISSN 0356-9403

Painopaikka: Hakapaino Oy, 2007

Tämän teoksen kopioiminen on kielletty tekijänoikeuslain 404/61 mukaisesti.

© Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

## Alkusanat

Pienpaalutusohje RIL 230-2007 (PPO-2007) on toteutettu Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY ry:n ja Suomen Rakennusinsinöörien Liito RIL ry:n toimeksiannosta yhteistyössä valmistajien, suunnittelijoiden, tutkimuslaitosten, urakoitsijoiden, rakennuttajien sekä ympäristöministeriön kanssa. Kirjoitustyön on tehnyt kirjoittajaryhmä, jonka kokoonpano on ollut seuraava: tekn. lis. Hannu Jokiniemi, dipl.ins. Ville Holopainen, tekn.lis. Sami Eronen ja tekn. lis. Pasi Korkeakoski. Kirjoitustyön tukiryhmänä on toiminut Teräsrakenneyhdistyksen Infra-toimikunta puheenjohtajanaan tekn.lis. Hannu Jokiniemi.

Kirjoitustyötä on ohjannut SGY:n paalutustoimikunta, jonka kokoonpano on ollut seuraava: dipl.ins. Pentti Salo (puh.joht.), dipl.ins. Unto Kalamies (siht.), dipl.ins. Anja Nylund (12/2005 asti), tekn.lis. Hannu Jokiniemi, tekn.lis. Juha Heinonen, dipl. ins. Reino Heikinheimo, dipl.ins. Ville Holopainen, dipl. ins. Pekka Salmenhaara, ins. Antti Perälä ja ins. Ossi Hakanen. Toimikunta on kuullut asiantuntijoina ohjeen käsittelyn aikana seuraavia henkilöitä: professori Eero Slunga ja dipl.ins. Jouko Törnqvist. Ohjeesta järjestettiin lausuntokierros, josta saadut lausunnot ja kommentit on käsitelty toimikunnassa. Lisäksi ohjeen kuluessa järjestettiin avoin kuulemistilaisuus.

Pienpaalutusohje (PPO-2007) on laadittu noudatettavaksi suunniteltaessa ja toteutettaessa paalutustöitä, joissa käytetään halkaisijaltaan  $d < 300$  mm olevia teräs- tai pallografiittirautapaaluja. Pienpaalutusohje soveltuu halkaisijaltaan  $d \geq 30$  mm oleville poraamalla asennettaville pienpaaluille ja halkaisijaltaan  $d \geq 60$  mm oleville muulla tavalla asennettaville pienpaaluille. Ohjeessa käsiteltävien pienpaalujen kantavuus käyttötilassa on yleensä suurempi kuin 50 kN.

Pienpaalutusohjeen julkistamisen jälkeen paalutusohjeisto on lähes kattava. Lyöntipaalutusohjetta LPO-2005 (RIL 223-2005) noudatetaan suunniteltaessa ja toteutettaessa paalutustöitä, joissa käytetään teräsbetonisia paaluelementtejä tai puupaaluja. Suurpaalutusohjeessa SPO-2001 (RIL 212-2001) on esitetty suurpaalujen suunnittelun ja toteutuksen yleiset periaatteet. Suurpaaluilla tarkoitetaan SPO-2001:n mukaan paaluja, joiden kantavuus on noin 1,5 MN tai enemmän ja joiden läpimitta on vähintään 300 mm. Suurpaalutusohjeen soveltamisala ei sisällä suuria, yli 300 mm halkaisijaltaan olevia porattavia teräspaaluja.

luja. Näiden paalujen osalta viitataan Tiehallinnon julkaisemaan Porapaalutusohjeeseen TIEH 2000002-01 (2001).

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL sekä Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY kiittävät ohjeen kirjoittajia, hankkeen tukijoita sekä työhön osallistuneita henkilöitä ja organisaatioita, jotka ovat kannanotoillaan ja tiedoillaan vaikuttaneet myönteisesti ohjeen sisältöön.

Tammikuussa 2007

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL ry

Jorma Haapamäki  
puheenjohtaja

Jyrki Keinänen  
toimitusjohtaja

SUOMEN GEOTEKNILLINEN YHDISTYS SGY ry

Ilkka Vähäaho  
puheenjohtaja

**SISÄLLYSLUETTELO**

1. OHJEESSA KÄSITELTÄVÄT PAALUT	11
1.1 Ohjeen soveltamisalue	11
1.2 Pienpaalutyypit	12
1.2.1 Lyöntipaalut	12
1.2.2 Porapaalut	13
1.2.2.1 Porattava teräspuutkipaalu	13
1.2.2.2 Sydänteräspaalu	14
1.2.3 Puristuspaalut	16
1.2.4 Injektoidut paalut	17
1.2.4.1 Yleistä	17
1.2.4.2 Injektoidut porapaalut	17
1.2.4.3 Injektoidut lyöntipaalut	18
1.3 Pienpaalutuskohteen vaativuus- ja paalutusluokat	18
2. OHJEEN ASEMA	22
2.1 Yleistä	22
2.2 Suunnittelua koskevat määräykset, standardit ja ohjeet	23
2.2.1 Kansalliset määräykset ja ohjeet	23
2.2.2 Eurokoodijärjestelmän suunnittelustandardit	23
2.3 Standardit	24
2.4 Ohjeet	27
3. MÄÄRITELMÄT	29
3.1 Yleismääritelmiä	29
3.2 Lyöntipaaluihin liittyviä määritelmiä	34
3.3 Porapaaluihin liittyviä määritelmiä	36
3.4 Puristuspaaluihin liittyviä määritelmiä	38
3.5 Injektoituihin paaluihin liittyviä määritelmiä	38
4. POHJATUTKIMUKSET	40
4.1 Yleiset vaatimukset	40
4.2 Paalutuskohteen vaativuuden vaikutus	41
4.2.1 Helpot kohteet (B)	41
4.2.2 Vaativat kohteet (A)	42
4.2.3 Erittäin vaativat kohteet (AA)	43
4.3 Perustusten vahvistuskohteet	44
4.4 Aggressiivinen maaperä	45
4.5 Pohjatutkimusten esittäminen	47
5. PAALUJEN MATERIAALIT JA VARUSTEET	49
5.1 Yleiset vaatimukset	49
5.2 Paalujen rakenne- ja laatuvaatimukset	50
5.2.1 Rakenneteräs	50
5.2.1.1 Teräspuutket	50
5.2.1.2 Pyörötangot	51
5.2.1.3 Kierrepintaiset tangot	52

5.2.2	Betoniteräs	52
5.2.3	Pallografiittirauta	53
5.2.4	Betonin, juotoslaastien ja injektointiaineiden ainesosat	53
5.2.4.1	Sementti ja sementtiä korvaavat seosaineet	53
5.2.4.2	Kiviaines	53
5.2.4.3	Vesi	53
5.2.4.4	Lisäaineet	54
5.2.5	Betoni	54
5.2.6	Juotoslaasti	55
5.2.7	Sementtipohjainen injektointiaine	56
5.2.8	Muut aineet	56
5.3	Jatkokset	57
5.3.1	Yleistä	57
5.3.2	Mekaaniset jatkokset	57
5.3.3	Hitsatut jatkokset	59
5.4	Paalujen kärkiosat	62
5.4.1	Lyöntipaalut	62
5.4.2	Porapaalut	64
5.4.3	Puristuspaalut	64
5.4.4	Injektoidut paalut	66
5.4.4.1	Injektoidut lyöntipaalut	66
5.4.4.2	Injektoidut porapaalut	67
5.5	Paaluhatut	68
6.	SUUNNITTELU	69
6.1	Yleisperiaatteet	69
6.2	Suunnittelujärjestelmät	72
6.2.1	Kansallinen suunnittelujärjestelmä	72
6.2.1.1	Yleistä	72
6.2.1.2	Kuormitukset	72
6.2.1.3	Paalun geotekninen mitoitus	72
6.2.1.4	Paalun rakenteen mitoitus	74
6.2.2	Eurokoodi-suunnittelujärjestelmä	74
6.2.2.1	Yleistä	74
6.2.2.2	Kuormitukset	74
6.2.2.3	Paalun geotekninen mitoitus	74
6.2.2.4	Paalun rakenteen mitoitus	75
6.3	Suunnitteluun liittyvät tehtävät	75
6.4	Tarkasteltavat rajatilat	76
6.5	Pienpaalujen soveltuminen erilaisissa pohja- ja ympäristöolosuhteissa	77
6.5.1	Yhteiset ominaisuudet	77
6.5.2	Lyöntipaalut	77
6.5.3	Porapaalut	77
6.5.4	Puristuspaalut	78
6.5.5	Injektoidut paalut	78
6.6	Koepaalutus	79
6.7	Paalutusluokat	79
6.7.1	Paalutusluokan määrittäminen	79

6.7.2	Paalutusluokka III	80
6.7.3	Paalutusluokka II	81
6.7.4	Paalutusluokka I	81
6.8	Paalujen ja paaluryhmien kuormitukset	82
6.8.1	Yleistä	82
6.8.2	Asennettuun paaluun vaikuttavat ulkoiset kuormitukset	82
6.8.2.1	Pystykuormitus	82
6.8.2.2	Vaakakuormitus ja momenttikuormitus	83
6.8.2.3	Sivukuormitus	83
6.8.2.4	Negatiivinen vaippahankaus	84
6.9	Paalujen geotekninen mitoitus	86
6.9.1	Yleistä	86
6.9.2	Paalun geotekninen murtokestävyys puristuskuormituksessa	87
6.9.2.1	Yleistä	87
6.9.2.2	Maakerrokseen tukeutuvan paalun geotekninen murtokestävyys staattisella kantavuuskaavalla	88
6.9.2.3	Maakerrokseen tukeutuvan paalun geotekninen murtokestävyys kairausvastuksen perusteella	92
6.9.2.4	Kallioon tukeutuvan paalun geotekninen murtokestävyys	92
6.9.3	Paalun geotekninen murtokestävyys vetokuormituksessa	95
6.9.4	Paalun sivukuormakestävyys	97
6.9.4.1	Yleistä	97
6.9.4.2	Sivukuormitetun paalun käyttäytymismekanismit	97
6.9.4.3	Sivuvastuksen ja sivukuormituksen ääriarvot	99
6.9.4.4	Sivusuuntaiset siirtymät	100
6.9.4.5	Mitoitus syklistä sivukuormitukselle	103
6.9.5	Paalun pystysuuntaiset siirtymät	104
6.9.6	Paaluryhmän geotekninen mitoitus	105
6.9.6.1	Paaluryhmän geotekninen kantavuus	105
6.9.6.2	Paaluryhmän sivukuormakestävyys	107
6.9.7	Lyhyet paalut	108
6.10	Paalun rakenteen mitoitus	109
6.10.1	Yleistä	109
6.10.2	Korroosio	109
6.10.3	Aksiaalisesti kuormitetun paalun nurjahduskestävyys	112
6.10.4	Tartuntalujuus laastin ja teräksen välillä	118
6.10.5	Asennuksenaikainen kestävyys	119
6.11	Paalutuksen vaikutus jo asennettuihin paaluihin, muihin pohjarakenteisiin ja lähiympäristöön	123
6.11.1	Ympäristön asettamat vaatimukset	123
6.11.2	Maan syrjäytyminen	123
6.11.3	Maan häiriintyminen, huokospaineen nousu ja paineellinen pohjavesi	124
6.11.4	Maan tiivistyminen tai löyhtyminen	125
6.11.5	Tärinä ja melu	126
6.12	Asennuksen lopettaminen	129
6.12.1	Lyöntipaalut	129

6.12.1.1	Yleiset edellytykset	129
6.12.1.2	Tukipaalujen loppulyönnit	130
6.12.1.3	Kitkapaalujen loppulyönnit	133
6.12.2	Porapaalut	134
6.12.3	Puristuspaalut	134
6.12.4	Injektoidut paalut	135
6.13	Paalun esikuormitus	135
6.14	Paaluperustuksen rakennesuunnittelu	136
6.14.1	Yleisperiaatteet	136
6.14.2	Paaluperustuksen rakenteen suunnittelu	137
6.14.3	Paaluanturan korkeusasema	138
6.14.4	Paalujen sijoitus	138
6.14.5	Sallitut sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat	140
6.15	Pienpaalut pohjarakennesuunnitelmassa	142
7	PAALUTUSTYÖ	144
7.1	Pienpaalutustyötä varten tarvittava aineisto	144
7.2	Paalutustyön suunnittelu, johtaminen ja valvonta	145
7.2.1	Työ- ja laatusuunnitelman laatiminen	145
7.2.2	Paalutustyönjohtaja	146
7.2.3	Paalutustyönjohtajan apulainen	147
7.2.4	Paalutustyön johtaminen ja valvonta	147
7.3	Paalutuskalustot	149
7.3.1	Yleisvaatimukset	149
7.3.2	Lyöntipaalutuskalustot	149
7.3.2.1	Peruskoneet	149
7.3.2.2	Lyöntilaitteet	150
7.3.3	Porapaalutuskalustot	153
7.3.3.1	Yleistä	153
7.3.3.2	Peruskoneet	153
7.3.3.3	Porauslaitteet ja -menetelmät	153
7.3.4	Puristuspaalujen asennuskalustot	157
7.3.5	Injektoidujen paalujen asennuskalustot	157
7.3.5.1	Yleistä	157
7.3.5.2	Peruskoneet	157
7.3.5.3	Lyönti- ja porauslaitteet	157
7.3.5.4	Injektointiaineen pumppauskalusto	158
7.4	Paalujen käsittely	159
7.5	Paalujen asennus	159
7.5.1	Yleisvaatimukset	159
7.5.2	Lyöntipaalut	159
7.5.3	Porapaalut	160
7.5.4	Puristuspaalut	163
7.5.5	Injektoidut paalut	163
7.5.5.1	Yleistä	163
7.5.5.2	Injektoidut lyöntipaalut	164
7.5.5.3	Injektoidut porapaalut	165
7.6	Paalujen jatkaminen	165

7.6.1	Hitsaus	165
7.6.2	Kitkajatkokset	167
7.6.3	Kierrejatkokset	168
7.7	Paalujen katkaisu	169
7.8	Paalujen puhdistus	169
7.9	Paalujen raudoitus	169
7.10	Paalujen betonointi	170
7.11	Paalun esikuormitus	171
8.	LAADUNVALVONTA JA MITTAUKSET	172
8.1	Laadunvalvonta	172
8.2	Materiaalien laadunvalvonta	172
8.3	Paalutuksen valvontamittaukset	173
8.3.1	Paalujen painuman mittaus asennuksen aikana	173
8.3.2	Paalujen suoruuden mittaus	173
8.3.3	Paalutuksen sijainnin ja korkeustason mittaukset	174
8.4	Paalujen koekuormitukset	175
8.4.1	Yleiset vaatimukset	175
8.4.2	Lyöntipaalun jouston mittaus	175
8.4.3	Dynaamiset koekuormitukset	176
8.4.4	Staattiset koekuormitukset	177
9.	PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI	179
9.1	Rakennustyön tarkastusasiakirja	179
9.2	Paalutuspöytäkirjat	179
9.2.1	Yleistä	179
9.2.2	Yhteinen osa	179
9.2.3	Asennusta koskeva osa	180
9.3	Paalutuksen yhteenveto	180
9.4	Muut dokumentit	181
9.5	Paalutuksen toteutumapiirustus	181
10.	TYÖTURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖNSUOJELU	182
10.1	Työturvallisuus	182
10.2	Paalutuksen ympäristövaikutukset	182
10.2.1	Yleistä	182
10.2.2	Tärinä	183
10.2.3	Melu	183
10.2.4	Päästöt ja vaaralliset aineet	183
11.	MITOITUSESIMERKIT	185
11.1	Yleistä	185
11.2	Lähtötiedot	185
11.2.1	Pohjatutkimukset ja maaperäolosuhteet	185
11.2.2	Tarkasteltavat paalut	185
11.3	Geotekninen mitoitus	187
11.3.1	Laskentaperusteet	187
11.3.2	Lyöntipaalu	187

11.3.2.1	Pinta-alat ja yksikkövastukset	187
11.3.2.2	Geotekninen murtokestävyys kairausvastuksen perusteella	188
11.3.2.3	Tukipaalun loppulyöntivaatimukset	189
11.3.2.4	Geotekninen kestävyys iskuaaltomittausten perusteella	189
11.3.3	Injektoitu lyöntipaalu	191
11.3.3.1	Pinta-alat ja yksikkövastukset	191
11.3.3.2	Geotekninen murtokestävyys kairausvastuksen perusteella	192
11.4	Rakenteen mitoitus	194
11.4.1	Korroosiovarat	194
11.4.2	Nurjahduskestävyys	194
11.4.2.1	Maan ominaisuudet	194
11.4.2.2	Lyöntipaalu	195
11.4.2.3	Injektoitu paalu	197
11.4.3	Lyöntipaalun asennuksenaikainen kestävyys	201
11.5	Yhteenveto ja mitoitusehdot	202
	MERKINTÖJÄ	204
	LIITTEET	
	Liite 1. SFS-EN 1997-1 kansallisen liitteen osavarmuusluvut ja korrelaatiokertoimet	207
	Liite 2. Paalutuspöytäkirjamallit	209
	Yleinen osa	210
	Lyöntipaalut	211
	Porapaalut	214
	Puristuspaalut	217
	Injektoidut lyöntipaalut	220
	Injektoidut porapaalut	223
	Paalutustyön yhteenveto	226

### Ilmoittajahakemisto

Ilmoitukset julkaisun lopussa.

DE NEEF Finland Oy  
 Geopalvelu Oy  
 Insinööritoimisto Geotesti Oy  
 Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy  
 Kankareen Paalutus Oy  
 Lemcon Infra  
 Riihi Rent Oy  
 Robit Rocktools Ltd  
 Ruukki  
 Skanska Tekra  
 Taratest Oy