

RIL 254-2011

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY ry

Paalutusohje 2011

PO-2011

Osa 1: Suunnittelun perusteet

Osa 2: Paalutusohje



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, www.ril.fi

ISBN 978-951-758-528-6

ISSN 0356-9403

Painopaikka: Saarijärven Offset Oy, 2011

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi ja saattaminen yleisön saataviin on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman nimenomaista lupaa.

© Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Alkusanat

Paalutusohjeen uudistamistyön keskeisenä tavoitteena on siirtää paalutusohjeet eurokoodiaikaan. Nykyinen kansallinen järjestelmä poistuu käytöstä vähitellen. Uudet rakentamismääräyskokoelman B-osat julkaistaan eurokoodijärjestelmän kanssa yhteensopivana asetuksena.

Uutta paalutusohjetta RIL 254 käytetään yhdessä eurokoodijärjestelmän kanssa. RIL on julkaissut kuormitusperusteita ja kuormituksia, eri materiaaleja ja geotekniikkaa koskevia eurokoodien suunnitteluohjeita (RIL 201...207). Aiempia paalutusohjeita SPO-2001 (RIL 212), LPO-2005 (RIL 223) ja PPO-2007 (RIL 230) käytetään nykyisen kansallisen järjestelmän mukaan suunniteltavissa ja toteutettavissa töissä.

Paalutusohjeen osassa 1 käsitellään suunnittelun perusteita. Eri paalutypeille on esitetty mahdollisimman yhtenäiset, toiminnalliset laatuvaatimukset. Tarkoituksena on erityisesti edistää tuotekehitystä. Osassa 2 esitetään paalutuksen toteutuksen laatuvaatimukset ja suunnittelun paalutyyppikohtaiset ohjeet.

Ohjeessa käsiteltävien paalujen materiaali voi olla terästä, pallografiittirautaa, betonia, puuta tai ne on valmistettu yhdistämällä em. materiaaleja. Maata syrjäyttävät paalut voidaan asentaa maahan lyömällä, täryttämällä, puristamalla, ruuvaamalla tai näiden menetelmien yhdistelmillä. Maata syrjäyttämättömät paalut tehdään maahan kaivamalla tai poraamalla. Paalut voivat olla esivalmistettuja tai paikalla valettuja tai ne on valmistettu näitä kahta menetelmää yhdistämällä.

Paalutustyö voidaan tehdä kolmessa paalutustyöluokassa (PTL3...PTL1). Luokka-kohtaisesti on asetettu vaatimuksia työn suoritukselle, käytettävälle kalustolle ja paalutuskoneen käyttäjälle. Paalun rakenteen pitää vastata ao. luokan vaatimuksia. Kohteen seuraamusluokka ja geotekninen luokka otetaan huomioon paalutustyöluokan valinnassa. Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen kotisivuilla www.sgy.fi on tarkempaa tietoa pätevyysvaatimuksista ja ajantasainen luettelo vaatimukset täyttävistä paaluista.

RIL 254-2011 Paalutusohje PO-2011 on toteutettu Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n toimeksiannosta yhteistyössä valmistajien, suunnittelijoiden, tutkimuslaitosten, urakoitsijoiden sekä rakennuttajien kanssa. Ohjeen ovat rahoittaneet SGY Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RTT Rakennustuoteteollisuus ry, TRY Teräsrakenneyhdistys ry, Infra ry, Liikennevirasto, Helsingin kaupunki, Espoon kau-

punki, Vantaan kaupunki, Rakennustuotteiden Laatusäätiö, Destia Oy, Ramboll Finland Oy, Pöyry Infra, SITO Oy ja FCG Planeko.

Ohjeen pääkirjoittaja on Teemu Riihimäki. Paalun rakenteellista mitoitusta koskevan osan on laatinut Jouko Törnqvist. Asiantuntijoina työhön ovat osallistuneet Hannu Jokiniemi, Juha Kinnunen, Antti Laitakari, Tim Länsivaara, Petri Mannonen, Pekka Merinen, Olli-Heikki Pietikäinen ja Veli-Matti Uotinen. Työtä on ohjannut SGY:n paa-lutustoimikunta, jonka puheenjohtajana on ollut Pentti Salo ja sihteerinä Teemu Riihimäki. RILin puolesta on julkaisuprojektista vastannut Gunnar Åström.

Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL sekä Suomen Geoteknillinen Yhdistys kiittävät ohjeen rahoittajia, kirjoittajia, lausunnonantajia ja kaikkia muita ohjeen laadintaan osallistuneita tahoja, jotka ovat kannanotoillaan ja tiedoillaan vaikuttaneet myönteisesti ohjeen sisältöön.

Maaliskuussa 2011

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL ry

Ralf Lindberg
puheenjohtaja

Helena Soimakallio
toimitusjohtaja

SUOMEN GEOTEKNILLINEN YHDISTYS ry

Jouko Viitala
puheenjohtaja

Sisällysluettelo

OSA 1: SUUNNITTELUN PERUSTEET

1. YLEISTÄ	15
1.1 Ohjeen soveltaminen	15
1.2 Paalutyypit	15
1.2.1 Yleistä	15
1.2.2 Maata syrjäyttävät paalut	15
1.2.3 Maata syrjäyttämättömät paalut	16
1.3 Termit ja määritelmät	16
1.4 Käytetyt merkinnät	21
2. SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄ JA TOTEUTUKSEN OHJEISTUS	27
2.1 Kansalliset määräykset ja eurooppalaiset standardit talonrakentamisessa	27
2.2 Ohjeet ja eurooppalaiset standardit infra-alalla	27
2.3 Geotekninen luokka	28
2.4 Suunnittelijan pätevyys	30
2.5 Materiaalien ja tuotteiden vaatimukset	30
2.6 Eurokoodiin perustuva suunnittelujärjestelmä	31
2.7 Ohje- ja standardiluettelo	32
3. POHJATUTKIMUKSET	35
3.1 Yleiset vaatimukset	35
3.2 Perustuskohtaiset erityispiirteet	36
3.2.1 Geotekniset luokat	36
3.2.1.1 Helpot kohteet (GL1)	36
3.2.1.2 Vaativat kohteet (GL2)	37
3.2.1.3 Erittäin vaativat kohteet (GL3)	38
3.2.2 Suositeltavat kairausmenetelmät eri geoteknisissä luokissa ..	39
3.2.3 Perustusten vahvistuskohteet	40
3.2.4 Aggressiivinen maaperä	41
3.3 Pohjatutkimusten esittäminen	42
3.3.1 Vaatimukset	42
3.3.2 Geoteknisten tietojen esittäminen	43
3.3.3 Geoteknisten tietojen arviointi	44
3.3.4 Johdettujen arvojen todentaminen	46
4. SUUNNITTELU	47
4.1 Mitoitusrajatilat	47
4.2 Kuormat ja mitoitusilanteet	47
4.2.1 Yleistä	47
4.2.2 Maapohjan siirtymistä aiheutuvat kuormitukset	48
4.2.2.1 Yleistä	48
4.2.2.2 Negatiivinen vaippahankaus (negatiivinen vaippakitka)	49
4.2.2.3 Maan ja paalun nousu	52
4.2.2.4 Poikittainen kuormitus	52
4.3 Geoteknisen käyttäytymisen mitoitusmenetelmät ja -tarkastelut	52

4.3.1	Mitoitusmenetelmät	52
4.3.2	Mitoitustarkastelu	53
4.4	Paalujen koekuormitukset	54
4.4.1	Yleistä	54
4.4.2	Staattiset koekuormitukset	55
4.4.2.1	Yleistä	55
4.4.2.2	Kuormitusmenetelmä	55
4.4.2.3	Koepaalut	56
4.4.2.4	Perustuspaalut	56
4.4.3	Dynaamiset koekuormitukset	56
4.4.4	Koekuormitusraportti	57
4.5	Aksiaalisesti kuormitetut paalut	57
4.5.1	Yleistä	57
4.5.1.1	Rajatilamitoitus	58
4.5.1.2	Kokonaisvakavuus	59
4.5.2	Paalun geotekninen purituskestävyys murtorajatilamitoituksessa	59
4.5.2.1	Yleistä	59
4.5.2.2	Geotekninen purituskestävyys staattisten koekuormitusten perusteella	61
4.5.2.3	Geotekninen purituskestävyys pohjatutkimustulosten perusteella	63
4.5.2.4	Geotekninen purituskestävyys dynaamisten koekuormitusten perusteella	73
4.5.2.5	Geotekninen purituskestävyys paalutuskaavojen perusteella	76
4.5.2.6	Geotekninen purituskestävyys iskuaaltoanalyysin avulla	78
4.5.2.7	Geoteknisen kestävyuden varmistaminen jälkilyöntien yhteydessä	78
4.5.3	Vetokestävyys murtorajatilamitoituksessa	79
4.5.3.1	Yleistä	79
4.5.3.2	Vetokestävyys paalujen koekuormitusten perusteella	81
4.5.3.3	Geotekninen vetokestävyys pohjatutkimustulosten perusteella	83
4.5.4	Paaluperustusten pystysuuntaiset siirtymät	86
4.6	Poikittaiskuormitetut paalut	88
4.6.1	Yleistä	88
4.6.2	Poikittaiskuormitettujen paalujen geotekninen kestävyys koekuormitusten perusteella	88
4.6.3	Poikittaiskuormitettujen paalujen geotekninen kestävyys pohjatutkimustulosten ja paalun lujuusparametrien perusteella	89
4.6.4	Poikittaissiirtymä	94
4.7	Paalujen rakenteen mitoitus	98
4.7.1	Esivalmisteisten paalurakenteiden mitoituksessa huomioitavat olosuhteet ja rasitukset	98
4.7.1.1	Yleistä	98

4.7.1.2	Paalutustyöluokat	99
4.7.2	Lyömällä asennettavat paalut	100
4.7.2.1	Paalun lyönnin- ja momentinkestävyys	100
4.7.2.2	Jatketun paalun lyönninkestävyys	104
4.7.3	Poraamalla ja puristamalla asennettavat paalut	105
4.7.4	Rakenteen käsittelyn ja kuljetuksen aiheuttama dynaaminen kuormitus	105
4.7.5	Aksiaalisesti kuormitetun paalun nurjahduskestävyys	106
4.7.5.1	Yleistä	106
4.7.5.2	Paalun nurjahdusmurtokestävyuden laskeminen	106
4.7.6	Käytön aikaiset paalumateriaalien ja rakenteiden pysyvyyteen vaikuttavat olosuhteet	112
4.7.6.1	Teräspaalujen korrosio	114
4.7.6.2	Betonipaalun turmeltuminen	115
4.7.6.3	Laastin ja betonin suojausvaikutus	115
LIITE 1.	Paalun suunnittelu: lyömällä asennettava teräsbetonipaalu	117
LIITE 2.	Paalutustyön simulointi paaluun asennuksen aikana kohdistuvien jännitysten ja loppulyöntien määrittämiseksi	121
LIITE 3.	Tavanomaisesta poikkeavat olosuhteet	128

OSA 2: PAALUTUSOHJE

1.	SOVELTAMISALA PAALUTYYPEITTÄIN	135
1.1	Yleistä	135
1.2	Maata syrjäyttävät paalut	135
1.3	Maata syrjäyttämättömät paalut	135
2.	TERMIT JA MÄÄRITELMÄT	137
2.1	Yleismääritelmiä	137
2.2	Lyöntipaaluihin liittyviä määritelmiä	140
2.3	Kaivinpaaluihin ja porapaaluihin liittyviä määritelmiä	142
2.4	Puristuspaaluihin liittyviä määritelmiä	145
2.5	Injektoituihin paaluihin liittyviä määritelmiä	145
2.6	Käytetyt merkinnät	146
3.	MATERIAALIT JA VARUSTEET	149
3.1	Yleiset vaatimukset	149
3.2	Rakenneteräs	149
3.2.1	Teräspuutket	149
3.2.2	Pyörötangot	150
3.2.3	Kierrepintaistiset tangot	150
3.3	Pallografiittirauta	150
3.4	Betoni	151
3.4.1	Esivalmistetut paalut	151

3.4.2	Paikallavalettavat paalut	151
3.4.3	Betonin, juotoslaastien ja injektointiaineiden ainesosat	152
3.4.3.1	Sementti ja sementtiä korvaavat seosaineet.	152
3.4.3.2	Kiviaines	153
3.4.3.3	Vesi	153
3.4.3.4	Lisäaineet	153
3.5	Betoniteräs	153
3.6	Jänneteräs.	154
3.7	Puu	154
3.8	Varusteet	155
3.8.1	Yleistä	155
3.8.2	Esivalmistettujen teräsbetonipaalujen ja jännebetonipaalujen jatkaminen.	156
3.8.3	Teräspaalujen jatkaminen	157
3.8.3.1	Mekaaniset jatkokset.	157
3.8.3.2	Hitsatut jatkokset	158
3.8.4	Paalun kärjen suojaaminen ja kärjen tukeutuminen kallioon . .	161
3.8.4.1	Maakärjet	161
3.8.4.2	Kalliokärjet	162
3.8.4.3	Porapaalujen kärkiosat	165
3.8.4.4	Injektoidut lyöntipaalut	166
3.8.4.5	Injektoidut porapaalut	166
3.8.5	Paaluhatut.	168
4.	PAALUTUKSEN SUUNNITTELU	169
4.1	Yleiset suunnitteluperusteet	169
4.2	Työtä varten tarvittava aineisto	169
4.3	Paalujen sijoitus	170
4.3.1	Katkaisutaso	170
4.3.1.1	Liitokset päällä olevaan rakenteeseen	170
4.3.2	Keskiöetäisyydet	171
4.3.3	Paaluanturan reunan etäisyys paaluista	172
4.3.4	Paalujen etäisyydet muista rakenteista	173
4.3.5	Paalujen kaltevuudet	173
4.4	Sallitut sijaintipoikkeamat	173
4.4.1	Yleistä	173
4.4.2	Suuriläpimittaiset teräspalkkipaalut ja kaivinpaalut	175
4.4.3	Lyötävät teräsbetonipaalut ja pienpaalut	175
4.4.4	Porapaalut.	176
4.5	Asennuksen suunnittelu	176
4.5.1	Yleistä	176
4.5.2	Esivalmistettujen paalujen lyönnin suunnittelu	177
4.5.2.1	Teräsbetonipaalut	177
4.5.2.2	Teräspaalut	177
4.5.2.3	Puupaalut.	178
4.5.3	Porapaalujen asennuksen suunnittelu	178
4.5.4	Puristuspaalujen asennuksen suunnittelu	178
4.5.5	Kaivinpaalujen asennuksen suunnittelu	179
4.5.6	Asennusjärjestys.	179
4.5.7	Asentamisen apukeinojen tarve	180

4.6	Paikalla valettavien paalujen raudoittaminen	180
4.6.1	Yleistä	180
4.6.2	Paalujen raudoittaminen tangoilla	181
4.6.3	Paalujen raudoittaminen teräsputkilla tai -profiileilla	182
4.7	Paalutuksen vaikutus jo asennettuihin paaluihin, muihin pohjarakenteisiin ja lähiympäristöön	183
4.7.1	Ympäristön asettamat vaatimukset	183
4.7.2	Maan siirtyminen ja syrjäytyminen	183
4.7.3	Maan häiriintyminen, huokosvedenpaineen nousu ja paineellinen pohjavesi	184
4.7.4	Maan tiivistyminen tai löyhtyminen	185
4.7.5	Tärinä ja melu	185
4.7.5.1	Tärinän ohjearvot ja mittaus	186
4.7.5.2	Melutaso	189
4.8	Erikoistapaukset	189
4.8.1	Paalujen pohjan laajennus	189
4.8.2	Yhdistelmäpaalut	190
4.8.3	Paaluista muodostuva seinä	190
5.	PAALUTUSTYÖ	191
5.1	Paalutustyön toteutus- ja laatusuunnitelma	191
5.2	Paaluttajalle asetettavat vaatimukset	192
5.2.1	Yleiset vaatimukset	192
5.2.2	Paalutustyönjohtaja	192
5.2.3	Paalutuskoneen käyttäjä	193
5.3	Työmaa-alueen valmistelu	193
5.4	Paalutustyön toteutus	194
5.4.1	Yleistä	194
5.4.2	Paalutuskalusto	194
5.4.2.1	Yleisvaatimukset	194
5.4.2.2	Lyöntipaalutuskalustot	195
5.4.2.3	Porapaalutuskalustot ja porausmenetelmät	197
5.4.2.4	Puristuspaalujen asennuskalustot	201
5.4.2.5	Injektoitujen paalujen asennuskalustot	201
5.4.2.6	Kaivinpaalujen valmistuksessa käytettävät työkalut ja menetelmät	202
5.4.3	Paalujen varastointi ja käsittely työmaalla	203
5.4.4	Esivalmistettujen paalujen asennus	203
5.4.4.1	Teräsbetoniset lyöntipaalut	203
5.4.4.2	Teräksiset lyöntipaalut	205
5.4.4.3	Porapaalut	207
5.4.4.4	Puupaalut	209
5.4.4.5	Puristuspaalut	209
5.4.4.6	Injektoidut lyöntipaalut	210
5.4.4.7	Väliaikaisen suojaputken avulla tehtävä paalu	211
5.4.5	Kaivinpaalujen tekeminen	211
5.4.5.1	Yleistä	211
5.4.5.2	Paalukaivantojen tukeminen suojaputkien avulla	213
5.4.5.3	Kaivu pitkillä augerruuveilla	215
5.4.5.4	Tukemattomat kaivannot	216

5.4.5.5	Paalun kärjen luistamisen estäminen kaltevalla kallion pinnalla	216
5.4.5.6	Paalun ankkurointi vetovoimia vastaan	217
5.4.5.7	Paalun kalliokontaktin parantaminen injektioinnilla	218
5.4.5.8	Kaivinpaaluseinät	218
5.5	Raudoitus	219
5.5.1	Raudoituskehikkojen kokoaminen	219
5.5.2	Liitokset	219
5.5.3	Ohjaimet ja keskistäjät	220
5.5.4	Asennus	221
5.6	Paalujen jatkaminen	222
5.6.1	Mekaaniset jatkokset	222
5.6.2	Jatkaminen hitsaamalla	222
5.7	Betonointi	224
5.7.1	Yleistä	224
5.7.2	Betonointi kuivissa olosuhteissa	225
5.7.3	Vedenalainen betonointi	226
5.7.3.1	Vedenalaisen betonin valuputken tai työputken nouseminen	228
5.7.4	Paalut, joissa on esivalmistettuja betonielementtejä, raudoitusputkia tai maahan jääviä suojaputkia	228
5.7.5	Suojaputkien vetäminen ylös	229
5.7.6	Maahan jäävät suojaputket tai vaippaputket	229
5.7.7	CFA-paalujen betonointi	229
5.7.8	Paikalla valettavien paalujen ulkopuolinen injektointi	230
5.8	Paalujen esikuormitus perustusten vahvistuskohteissa	231
6.	LAADUNVALVONTA, SEURANTA- JA MITTAUSTARKKAILU JA TESTAUS	233
6.1	Valvonta	233
6.1.1	Yleistä	233
6.1.2	Materiaalien laadunvalvonta	233
6.1.3	Paalutustyön johtaminen ja valvonta	234
6.2	Seuranta- ja mittaustarkkailu asentamisen ja tekemisen aikana	236
6.2.1	Maata syrjäyttävät paalut	236
6.2.1.1	Paalujen painuman mittaus asennuksen aikana	237
6.2.1.2	Lyöntipaalun jouston mittaus	238
6.2.1.3	Teräsputkipaalujen suoruuden mittaus	238
6.2.1.4	Paalutuksen sijainnin ja korkeustason mittaukset	239
6.2.2	Kaivettavat paalut	239
6.2.3	Porapaalut	241
6.3	Testaus	241
6.3.1	Koekuormitukset	241
6.3.1.1	Staattinen koekuormitus	242
6.3.1.2	Dynaamiset koekuormitukset	244
7.	PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI	247
7.1	Rakennustyön tarkastusasiakirja	247
7.2	Paalutuspöytäkirja	247
7.2.1	Yleistä	247

7.2.2	Yleinen osa	248
7.2.3	Paalutustyötä koskevat erityistiedot	249
7.3	Muut dokumentit	252
7.4	Paalutuksen toteutumapiirustus	252
8.	ERITYISVAATIMUKSET	253
8.1	Yleistä	253
8.2	Turvallisuus	253
8.3	Melun ja värinän torjunta	253
8.4	Ympäristöhaitat, häiriöt ja saastuminen	254
8.5	Vaikutukset ympäröiviin rakenteisiin ja luiskiin	254
8.6	Päästöt ja vaaralliset aineet	255
LIITE 1:	Rakenneterästen toleranssivaatimukset	257
LIITE 2:	Esivalmistettujen teräsbetonipaalujen toleranssivaatimukset	259

Ilmoittajat

Ilmoitukset julkaisun lopussa.

Auran Paalutus Oy
 Emeca Oy
 FinMeas Oy
 Geomachine Oy
 Geopalvelu Oy
 Geotek Oy
 Ilmi Foundation Oy
 Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy
 ITS-Vahvistus Oy
 Junttan Oy
 Junttapojat Oy
 Leimet Oy
 Lemminkäinen Infra Oy
 Lujabetoni Oy
 Maanrakennusliike E.M. Pekkinen Oy
 Niskasen Maansiirto Oy
 Parma Oy
 Pöyry Finland Oy
 Ramboll Finland Oy
 Oy Robit Rocktools Ltd
 Rudus Betonituote Oy
 Ruukki
 Saint-Gobain Weber Oy Ab
 Sito Oy
 Solcon Oy
 Styrod Boreal Oy
 Suomen Teräspaalaus Oy
 Suunnittelutoimisto Aluetekniikka Oy
 Taratest Oy
 Unisto Oy
 Uudenmaan Pohjatutkimus Oy
 WSP Finland Oy
 YIT Rakennus Oy