

RIL 254-2016

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY ry

Paalutusohje 2016

PO-2016

Osa 1: Suunnittelun perusteet

Osa 2: Paalutusohje



RILin julkaisuilla on oma kotisivu, joka löytyy osoitteesta www.ril.fi/kirjakauppa ko. kirjan kohdalta. Sinne on koottu tiedot julkaisun painoksista sekä mahdolliset lisäinformaatiot.

JULKAISIJA JA KUSTANTAJA:

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

MYYNTI:

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
Lapinlahdenkatu 1 B, 00180 Helsinki
www.ril.fi/kirjakauppa

ISBN 978-951-758-615-3 (nid)

ISBN 978-951-758-616-0 (pdf)

ISSN 0356-9403

Painopaikka: Grano Oy, 2016

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

Paalutusohje uudistettiin vuonna 2011, jolloin uudistamistyön keskeisenä tavoitteena oli siirtää paalutusohjeet eurokoodiaikaan. Eurokoodijärjestelmää on otettu vähitellen käyttöön. 1.1.2017 otetaan käyttöön uusi kantavia rakenteita koskeva rakentamismääräyskokoelman osa, joka on eurokoodijärjestelmän kanssa yhteensopiva. Rakentamismääräyskokoelman osaan on koottu kantavia rakenteita koskevia laskioitteita, ympäristöministeriön asetuksia ja niihin liittyviä ohjeita sekä eurokoodien kansallisia liitteitä, jotka koostuvat ympäristöministeriön asetusteksteistä ja ohjeista.

RIL 254-2016 Paalutusohje PO-2016 -ohjetta käytetään yhdessä uuden rakentamismääräyskokoelman ja eurokoodijärjestelmän kanssa. RIL on julkaissut kuormitusperusteita ja kuormituksia sekä eri materiaaleja ja geotekniikkaa koskevia eurokoodien suunnitteluohjeita (RIL 201...207).

Paalutusohjeen vuoden 2016 päivityksen keskeiset muutokset ja lisäykset koskevat suunnittelun osalta paalutusalustaa ja teräsbetonipaalujen mitoitusta. Lisäksi suunnittelijoille, paalutustyön suorittajalle, työnjohdolle, paalutuskalustolle ja paalujen tuotehyväksynnälle on esitetty uusia vaatimuksia ohjeessa. Uusi ohje korvaa painoksen PO-2011 ja se otetaan käyttöön välittömästi.

Paalutusohjeen osassa 1 käsitellään suunnittelun perusteita. Eri paalutyypeille on pyritty esittämään mahdollisimman yhtenäiset, toiminnalliset laatuvaatimukset. Tällä pyritään erityisesti edistämään tuotekehitystä. Osassa 2 esitetään paalutuksen toteutuksen laatuvaatimukset ja suunnittelun paalutyypikohtaiset ohjeet.

RIL 254-2016 Paalutusohje PO-2016 on toteutettu Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n toimeksiannosta yhteistyössä paaluvalmistajien, suunnittelijoiden, tutkimuslaitosten, urakoitsijoiden sekä rakennuttajien kanssa. Ohjeen ovat rahoittaneet Liikennevirasto, Oy Atlas Copco Rotex Ab, Suomen Teräspaalaus Oy ja ohjeessa mainostaneet yritykset.

Ohjeen pääkirjoittajana on toiminut Teemu Riihimäki. Asiantuntijoina työhön ovat osallistuneet SGY:n paalutustoimikunnasta Juha Auvinen, Jukka Haavisto, Ari Kivistö, Petri Koivunen, Reijo Mustonen, Antti Perälä, Tarmo Tarkkio, Veli-Matti Uotinen ja Juha Valjus. RILin puolesta on julkaisuprojektista vastannut Gunnar Åström.

Suomen Rakennusinsinöörien 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.

Joulukuussa 2016

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL ry

Tuomas Särkilähti
puheenjohtaja

Helena Soimakallio
toimitusjohtaja

SUOMEN GEOTEKNILLINEN YHDISTYS ry

Juho Mansikkamäki
puheenjohtaja

Sisällysluettelo

OSA 1: SUUNNITTELUN PERUSTEET

1. YLEISTÄ	15
1.1 Ohjeen soveltaminen (soveltamisala)	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	28
2.3 Geotekninen luokka	29
2.4 Suunnittelijan pätevyys	31
2.5 Materiaalien ja tuotteiden vaatimukset	31
2.6 Eurokoodiin perustuva suunnittelujärjestelmä	32
2.7 Ohje- ja standardiluettelo	33
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)	37
3.2.1.2 Vaativat kohteet (GL2)	37
3.2.1.3 Erittäin vaativat kohteet (GL3)	39
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	43
4. SUUNNITTELU	45
4.1 Mitoitusrajatilat	45
4.2 Kuormat ja mitoitusilanteet	45
4.2.1 Yleistä	45
4.2.2 Maapohjan siirtymistä aiheutuvat kuormitukset	46
4.2.2.1 Yleistä	46
4.2.2.2 Negatiivinen vaippahankaus (negatiivinen vaippakitka)	47
4.2.2.3 Maan ja paalun nousu	50
4.2.2.4 Poikittainen kuormitus	50
4.3 Geoteknisen käyttäytymisen mitoitusmenetelmät ja -tarkastelut	51
4.3.1 Mitoitusmenetelmät	51
4.3.2 Mitoitustarkastelut	51
4.4 Paalujen koekuormitukset	52
4.4.1 Yleistä	52

4.4.2	Staatitset koekuormitukset	53
4.4.2.1	Yleistä	53
4.4.2.2	Kuormitusmenetelmä	54
4.4.2.3	Koepaalut	54
4.4.2.4	Perustuspaalut	54
4.4.3	Dynaamiset koekuormitukset	55
4.4.4	Koekuormitusraportti	55
4.5	Aksiaalisesti kuormitetut paalut	56
4.5.1	Yleistä	56
4.5.1.1	Rajatilamitoitus	56
4.5.1.2	Kokonaisvakavuus	57
4.5.2	Paalun geotekninen puristuskestävyys murtorajatilamitoituksessa	57
4.5.2.1	Yleistä	57
4.5.2.2	Geotekninen puristuskestävyys staattisten koekuormitusten perusteella	59
4.5.2.3	Geotekninen puristuskestävyys pohjatutkimustulosten perusteella	61
4.5.2.4	Geotekninen puristuskestävyys dynaamisten koekuormitusten perusteella	73
4.5.2.5	Geotekninen puristuskestävyys paalutuskaavojen perusteella	76
4.5.2.6	Geotekninen puristuskestävyys iskuaaltoanalyysin avulla	78
4.5.2.7	Geoteknisen kestävyuden varmistaminen jälkilyöntien yhteydessä	79
4.5.3	Vetokestävyys murtorajatilamitoituksessa	79
4.5.3.1	Yleistä	79
4.5.3.2	Vetokestävyys paalujen koekuormitusten perusteella	82
4.5.3.3	Geotekninen vetokestävyys pohjatutkimustulosten perusteella	84
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	89
4.6.3	Poikittaiskuormitettujen paalujen geotekninen kestävyys pohjatutkimustulosten ja paalun lujuusparametrien perusteella	90
4.6.4	Poikittaissiirtymä	96
4.7	Paalujen rakenteen mitoitus	100
4.7.1	Esivalmisteisten paalurakenteiden mitoituksessa huomioitavat olosuhteet ja rasitukset	100
4.7.1.1	Yleistä	100
4.7.1.2	Paalutustyöluokat	101
4.7.2	Lyömällä asennettavat paalut	102
4.7.2.1	Paalun lyönninkestävyys	102
4.7.2.2	Teräsbetonipaalun lyönninkestävyys	103
4.7.2.3	Teräspaalun rakenteen lyönninkestävyys	104

4.7.2.4	Puupaalujen rakenteen 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	113
4.7.6.2	Betonipaalun säilyvyys	116
4.7.6.3	Laastin ja betonin suojausvaikutus	117
LIITE 1.	Paalun suunnittelu	121
LIITE 2.	Paalutustyön simulointi paaluun asennuksen aikana kohdistuvien jännitysten ja loppulyöntien määrittämiseksi	125
LIITE 3.	Tavanomaisesta poikkeavat olosuhteet	131

OSA 2: PAALUTUSOHJE

1.	SOVELTAMISALA PAALUTYYPEITTÄIN	139
1.1	Yleistä	139
1.2	Maata syrjäyttävät paalut	139
1.3	Maata syrjäyttämättömät paalut	139
2.	TERMIT JA MÄÄRITELMÄT	141
2.1	Yleismääritelmiä	141
2.2	Lyöntipaaluihin liittyviä määritelmiä	144
2.3	Kaivinpaaluihin ja porapaaluihin liittyviä määritelmiä	146
2.4	Puristuspaaluihin liittyviä määritelmiä	149
2.5	Injektoituihin paaluihin liittyviä määritelmiä	149
2.6	Ruuvipaaluihin liittyviä määritelmiä	150
2.7	Käytetyt merkinnät	150
3.	MATERIAALIT JA VARUSTEET	153
3.1	Yleiset vaatimukset	153
3.2	Rakenneteräs	153
3.2.1	Yleistä	153
3.2.2	Teräsputket	153
3.2.3	Pyörötangot	154
3.2.4	Kierrepintaiset tangot	154
3.3	Pallografiittirauta	155
3.4	Betoni	155
3.4.1	Esivalmistetut paalut	155
3.4.2	Paikallavalettavat paalut	155

3.4.2.1	Yleistä	155
3.4.2.2	Sementti	156
3.4.2.3	Kiviaines	156
3.4.2.4	Vesi	156
3.4.2.5	Lisäaineet	156
3.4.2.6	Näytteenotto ja testaus työmaalla	157
3.4.3	Injektointiaine	158
3.5	Betoniteräs	158
3.6	Jänneteräs	158
3.7	Puu	159
3.8	Pinnoitteet ja korroosionsuojauskomponentit	160
3.9	Varusteet	160
3.9.1	Yleistä	160
3.9.2	Esivalmistettujen teräsbetonipaalujen ja jännebetonipaalujen jatkaminen	161
3.9.3	Teräspaalujen jatkaminen	162
3.9.3.1	Mekaaniset jatkokset	162
3.9.3.2	Hitsatut jatkokset	163
3.9.4	Paalun kärjen suojaaminen ja kärjen tukeutuminen kallioon	166
3.9.4.1	Yleistä	166
3.9.4.2	Kalliokärjet	167
3.9.4.3	Porapaalujen kärkiosat	170
3.9.4.4	Injektoidut lyöntipaalut	171
3.9.4.5	Injektoidut porapaalut	172
3.9.5	Paaluhatut	173
4.	PAALUTUKSEN SUUNNITTELU	175
4.1	Yleiset suunnitteluperusteet	175
4.2	Työtä varten tarvittava aineisto	175
4.3	Paalujen sijoitus	176
4.3.1	Katkaisutaso	176
4.3.1.1	Paalujen katkaisu	177
4.3.1.2	Liitokset päällä olevaan rakenteeseen	178
4.3.2	Keskiöetäisyydet	179
4.3.3	Paaluanturan reunan etäisyys paaluista	180
4.3.4	Paalujen etäisyydet muista rakenteista	180
4.3.5	Paalujen kaltevuudet	181
4.4	Sallitut sijaintipoikkeamat	181
4.4.1	Yleistä	181
4.4.2	Suuriläpimittaiset teräspuutkipaalut ja kaivinpaalut	183
4.4.3	Lyötävät teräsbetonipaalut ja pienpaalut	183
4.4.4	Porapaalut	184
4.5	Asennuksen suunnittelu	185
4.5.1	Yleistä	185
4.5.2	Esivalmistettujen paalujen lyönnin suunnittelu	185
4.5.2.1	Teräsbetonipaalut	185
4.5.2.2	Teräspaalut	186
4.5.2.3	Puupaalut	186
4.5.3	Porapaalujen asennuksen suunnittelu	186
4.5.4	Puristuspaalujen asennuksen suunnittelu	187

4.5.5	Ruuvipaaluen asennuksen suunnittelu	187
4.5.6	Kaivinpaalujen asennuksen suunnittelu	188
4.5.7	Asennusjärjestys	188
4.5.8	Asentamisen apukeinojen tarve	189
4.6	Paalutuksen vaikutus jo asennettuihin paaluihin, muihin pohjarakenteisiin ja lähiympäristöön	189
4.6.1	Ympäristön asettamat vaatimukset	189
4.6.2	Maan siirtyminen ja syrjäytyminen	190
4.6.3	Maan häiriintyminen, huokosvedenpaineen nousu ja paineellinen pohjavesi	191
4.6.4	Maan tiivistyminen tai löyhtyminen	192
4.6.5	Tärinä ja melu	192
4.6.5.1	Tärinän ohjearvot ja mittaus	193
4.6.5.2	Melutaso	196
4.7	Erikoistapaukset	197
4.7.1	Paalujen pohjan laajennus	197
4.7.2	Yhdistelmäpaalut	197
4.7.3	Paaluista muodostuva seinä	197
5.	PAALUTUSTYÖ	199
5.1	Paalutustyön toteutus- ja laatusuunnitelma	199
5.2	Paaluttajalle asetettavat vaatimukset	200
5.2.1	Yleiset vaatimukset	200
5.2.2	Paalutustyönjohtaja	200
5.2.3	Paalutuskoneen käyttäjä	202
5.2.3.1	Yleiset vaatimukset	202
5.2.3.2	Erytisvaatimukset eri paalutustyöluokissa	202
5.3	Työmaa-alueen valmistelu	204
5.3.1	Yleistä	204
5.3.2	Paalutusalueen suunnittelu	204
5.4	Paalutustyön toteutus	205
5.4.1	Yleistä	205
5.4.2	Paalutuskalusto	206
5.4.2.1	Yleisvaatimukset	206
5.4.2.2	Lyöntipaalutuskalustot	207
5.4.2.3	Porapaalutuskalustot ja porausmenetelmät	209
5.4.2.4	Puristuspaalujen asennuskalustot	214
5.4.2.5	Injektoitujen paalujen asennuskalustot	214
5.4.2.6	Ruuvipaalujen asennuskalustot	215
5.4.2.7	Kaivinpaalujen valmistuksessa käytettävät työkalut ja menetelmät	216
5.4.3	Paalujen varastointi ja käsittely työmaalla	216
5.4.4	Esivalmistettujen paalujen asennus	217
5.4.4.1	Teräsbetoniset lyöntipaalut	217
5.4.4.2	Teräksiset lyöntipaalut	218
5.4.4.3	Porapaalut	220
5.4.4.4	Puupaalut	222
5.4.4.5	Puristuspaalut	223
5.4.4.6	Injektoidut lyöntipaalut	223
5.4.4.7	Injektoituvat porapaalut	224

5.4.4.8	Ruuvipaalut	225
5.4.4.9	Väliaikaisen suojaputken avulla tehtävä paalu	225
5.4.5	Kaivinpaalujen tekeminen	226
5.4.5.1	Yleistä	226
5.4.5.2	Paalukaivantojen tukeminen suojaputkien avulla	228
5.4.5.3	Tukemattomat kaivannot	229
5.4.5.4	Paalun kärjen luistamisen estäminen kaltevilla kallion pinnalla	230
5.4.5.5	Paalun ankkurointi vetovoimia vastaan	231
5.4.5.6	Paalun kalliokontaktin parantaminen injektoinnilla	232
5.4.5.7	Kaivinpaaluseinät	232
5.5	Rauditus	233
5.5.1	Yleistä	233
5.5.2	Paalujen raudoittaminen tangoilla	233
5.5.3	Paalujen raudoittaminen teräsputkilla tai -profiileilla	235
5.5.4	Raudituskehikkojen kokoaminen	235
5.5.5	Liitokset	236
5.5.6	Ohjaimet ja keskistäjät	237
5.5.7	Asennus	237
5.6	Paalujen jatkaminen	238
5.6.1	Mekaaniset jatkokset	238
5.6.2	Jatkaminen hitsaamalla	238
5.7	Betonointi	240
5.7.1	Yleistä	240
5.7.2	Itsetiivistyvän betonin käyttö paalujen valussa	242
5.7.3	Betonointi kuivissa olosuhteissa	243
5.7.4	Vedenalainen betonointi	243
5.7.4.1	Vedenalaisen betonin valuputken tai työputken nouseminen	245
5.7.5	Paalut, joissa on esivalmistettuja betonielementtejä, raudoitusputkia tai maahan jääviä suojaputkia	245
5.7.6	Suojaputkien vetäminen ylös	246
5.7.7	Maahan jäävät suojaputket tai vaippaputket	246
5.7.8	Paikalla valettavien paalujen ulkopuolinen injektointi	247
5.8	Paalujen esikuormitus perustusten vahvistuskohteissa	247
6.	LAADUNVALVONTA, SEURANTA- JA MITTAUSTARKKAILU JA TESTAUS	249
6.1	Valvonta	249
6.1.1	Yleistä	249
6.1.2	Materiaalien laadunvalvonta	250
6.1.3	Paalutustyön johtaminen ja valvonta	250
6.2	Seuranta- ja mittaustarkkailu asentamisen ja tekemisen aikana	252
6.2.1	Maata syrjäyttävät paalut	252
6.2.1.1	Paalujen painuman mittaus asennuksen aikana	253
6.2.1.2	Lyöntipaalun jouston mittaus	254
6.2.1.3	Teräsputkipaalujen suoruuden mittaus	255
6.2.1.4	Paalutuksen sijainnin ja korkeustason mittaukset	255
6.2.2	Kaivettavat paalut	256
6.2.3	Porapaalut	257

6.2.4	Ruuvipaalut	258
6.3	Testaus	258
6.3.1	Koekuormitukset	258
6.3.1.1	Staattinen koekuormitus	259
6.3.1.2	Dynaamiset koekuormitukset	262
7.	PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI.	265
7.1	Rakennustyön tarkastusasiakirja	265
7.2	Paalutuspöytäkirja	265
7.2.1	Yleistä	265
7.2.2	Yleinen osa	266
7.2.3	Paalutustyötä koskevat erityistiedot	267
7.3	Muut dokumentit	270
7.4	Paalutuksen toteutumapiirustus	270
8.	ERITYISVAATIMUKSET	273
8.1	Yleistä	273
8.2	Turvallisuus	273
8.3	Melun ja värinän torjunta	273
8.4	Ympäristöhaitat, häiriöt ja saastuminen	274
8.5	Vaikutukset ympäröiviin rakenteisiin ja luiskiin	275
8.6	Päästöt ja vaaralliset aineet	275
LIITE 1:	Rakenneterästen toleranssivaatimukset	277
LIITE 2:	Esivalmistettujen teräsbetonipaalujen toleranssivaatimukset	279
LIITE 3:	Paalutustyönjohtajan antama todistus paaluttajan pätevydestä	283
LIITE 4:	Esimerkkilaskelma: Paalutusalueen stabiliteetti	285
LIITE 5:	Esimerkki: Koekuormitusraportti	293

Ilmoittajat

Ilmoitukset julkaisun osan 1 ja osan 2 lopussa.

Osan 1 jälkeen

Suomen Teräspaalaus Oy
Lemminkäinen Infra Oy
Inspecta Oy
Ramboll Finland Oy
Destia Oy
Taratest Oy
Uudenmaan pohjatutkimus Oy
Pöyry Finland Oy
Arcus Oy
Finmap Infra Oy
SSAB
Junttan Oy
Sito Oy
Kreate Oy

Osan 2 jälkeen

Oy Atlas Copco Rotex Ab
Destia Engineering Oy
E.M. Pekkinen Oy
HTM Yhtiöt Oy
Kantolan Paalaus Oy
Lujabetoni Oy
Niskasen Maansiirto Oy
Motocut Oy
Robit Oyj
Kankareen Paalaus Oy
Styrud Boreal Oy
Maasto-Seppo Oy
Maanliike Oy
Solcon Oy
Leimet Oy
Emeca Oy