

# RR<sup>®</sup>- ja RD<sup>®</sup>-paalut

## SUUNNITTELU- JA ASENNUSOHJEET

Ohje käsittelee SSAB:n valmistamia lyömällä ja puristamalla asennettavia RR- ja RRs-paaluja, poraamalla asennettavia RD- ja RDs-paaluja sekä lyömällä asennettavia injektoitavia RR-paaluja. Ohjeessa käsitellään kaikki SSAB:n teräspaalujen paalukoot. Ohje perustuu Paalutusohje PO-2016 -ohjeeseen ja Eurokoodi suunnittelujärjestelmään. Ohjeessa esitetään SSAB:n teräspaalujen ja paaluperustusten suunnittelun ja mitoituksen perusteet, suosituksia paalutyypin ja -koon valintaan, paalujen käsittely- ja asennusohjeet sekä paalutustyön laadunvalvonnan, mittausten sekä dokumentoinnin ohjeet. Ohje sisältää suunnittelua ja toteutusta helpottavia valmiiksi laskettuja mitoitustaulukoita sekä suunnittelu- ja toteutus esimerkkejä.

### Käyttökohteet:

- pientalot
- yksi- ja monikerroksiset liike-, toimisto-, teollisuus- ja varastorakennukset
- monikerroksiset asuinkerrostalot
- urheiluareenat
- perustusten vahvistus
- sillat
- väylien ja kunnallistekniikan paalulaatat ja muut rakenteet
- melusteet ja aidat
- satamat
- tuuli- ja muut voimalat



ETA 12/0526

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva pohjoismainen ja yhdysvaltalainen teräsyhtiö. Yhtiön lisäarvoa tarjoavat tuotteet ja palvelut on kehitetty tiiviissä yhteistyössä asiakkaiden kanssa. Tavoitteena on vahvempi, kevyempi ja kestävämpi maailma. SSAB:llä on työntekijöitä yli 50 maassa ja tuotantolaitoksia Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa. Yhtiö on noteerattu NASDAQ OMX Nordic Tukholmassa ja toissijaisesti NASDAQ OMX Helsingissä.

## SISÄLTÖ

1. YLEISTÄ .....	4
2. SSAB:n TERÄSPAALUT .....	4
2.1 Yleistä .....	4
2.2 Teräslajit ja standardit .....	4
2.3 Pieniläpimittaiset RR- ja RRs-paalut .....	5
2.3.1 Rakenne, teräslajit ja tunnistaminen .....	5
2.3.2 Paaluelementit ja -putket ja jatkokset .....	5
2.3.3 Paalukärjet .....	6
2.4 Suuriläpimittaiset RR-paalut .....	7
2.4.1 Rakenne, dimensiot ja teräslajien saatavuus .....	7
2.4.2 Paalukärjet .....	7
2.5 RD- ja RDs-paalut .....	9
2.5.1 Rakenne, dimensiot, teräslajivalikoima ja tunnistaminen .....	9
2.5.2 RD-paalujen jatkaminen ja teräslajivalikoima .....	10
2.6 Injektoitavat RR-paalut .....	11
2.7 Paaluhatut .....	12
2.8 Paalujen mitat ja geometriset poikkileikkaussuureet .....	12
3. SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄ JA TOTEUTUKSEN OHJAUS .....	14
4. SUOSITUKSIA PAALUTYYPIIN, PAALUKOON SEKÄ PAALUTUSTYÖLUOKAN VALINTAAN JA SUUNNITTELUUN ERI SOVELLUSKOHTEISSA .....	14
5. PAALUJEN RAKENTEEN JA GEOTEKNINEN SUUNNITTELU .....	15
5.1 Paaluperustuksen tarkasteltavat rajatilat .....	15
5.2 Teräspaaluperustuksen suunnitteluprosessi .....	15
5.3 Kuormat ja mitoitustilanteet .....	16
5.4 Pohjatutkimukset .....	16
5.5 Geoteknisen kestävyden mitoitusmenetelmät ja tarkastelut .....	16
5.5.1 Geoteknisen mitoitusmenetelmän valinta teräspaaluille .....	16
5.5.2 Paalutetun rakenteen jäykkyys .....	16
5.5.3 Iskuaaltoanalyysillä määritetyt kestävydet .....	16
5.5.4 Dynaamisilla koekuormituksilla määritetyt kestävydet .....	17
5.5.5 Paalutuskaavoilla määritetyt kestävydet .....	17
5.5.6 Pohjatutkimusten perusteella määritetyt kestävydet .....	18
5.5.7 Staattisilla koekuormituksilla määritetyt geotekniset kestävydet .....	19
5.6 Vedettyjen paalujen geotekninen mitoitus .....	19
5.7 Rakenteen kestävyys .....	19
5.7.1 RR-paalujen asennuksen aikainen kestävyys .....	19
5.7.2 Käytönaikainen rakenteen kestävyys .....	20
5.7.3 Korroosio .....	20
5.8 Paaluperustuksen pystysuuntaiset siirtymät .....	22
5.9 Negatiivisen vaippahankauksen huomioiminen mitoituksessa .....	22
5.10 Poikittaiskuormitetut teräspaalut .....	22
5.11 Lyhyet paalut .....	23
5.12 RR- ja RRs-paalujen mitoitusaulukot, paalukoot RR75–RR320/12,5 .....	23
5.13 RD- ja RDs-paalujen mitoitusaulukot, RD90–RD/RDs320/12,5 .....	23
6. PAALUPERUSTUKSEN SUUNNITTELU .....	27
6.1 Paalujen kiinnittäminen yläpuoliseen rakenteeseen .....	27
6.2 Teräspaalujen keskiöetäisyydet .....	27
6.3 Paaluanturan reunan etäisyys paaluista .....	27
6.4 Paalujen etäisyydet muista rakenteista .....	27
6.5 Paalujen kaltevuudet .....	28
6.6 Sallitut sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat .....	28
6.7 Paalutuksen vaikutus jo asennettuihin paaluihin, muihin pohjarakenteisiin ja lähiympäristöön .....	29
7. PAALUTUSTYÖ .....	29
7.1 Paalutustyöhön tarvittava aineisto, työ- ja laatusuunnitelma .....	29
7.2 Teräspaalujen varastointi, käsittely, tarkastus ja pystyynnosto .....	29
7.3 RR-paalujen asentaminen .....	30

7.3.1	Paalutuskalusto	30
7.3.2	Asennuksen aloittaminen	32
7.3.3	Upotuslyönnit ja sallitut lyöntijännitykset	32
7.3.4	RR75-RR270 paalujen asennuksen lisäohjeet ja paalun jatkaminen	33
7.3.5	RR320-RR1200 paalujen asennuksen lisäohjeet	33
7.3.6	Reikätuurnallisten kalliokärkien lisäohjeet	34
7.3.7	Tukipaalun lyönnin päättäminen pudotus- ja hydraulijärkäleillä	34
7.3.8	Tukipaalun lyönnin päättäminen hydraulii- ja paineilmavasaroilla	34
7.3.9	Tukipaalujen loppulyöntiohjeen laatiminen paalutustyöluokassa PTL3 ja PTL2 suurpaaluilla	35
7.3.10	Kitkapaalujen lopetuslyönnit	35
7.3.11	Kohdekohtainen lyöntiohje	35
7.3.12	RR-puristuspaalujen asentaminen	35
7.4.	RD-paalujen asentaminen	35
7.4.1	Paalutuskalusto ja porausmenetelmät	35
7.4.2	Asennuksen aloittaminen	36
7.4.3	RD-paalujen poraaminen	36
7.4.4	Kierteytettyjen RDT-paaluelementtien ja kierreholkkiatkosten käsittely ja asentaminen	37
7.5	Teräspaalun jatkaminen hitsaamalla	39
7.5.1	Hitsaussuunnitelma	39
7.5.2	Hitsauksen laatuvaatimukset	39
7.5.3	Hitsaajan pätevyys	40
7.5.4	Hitsausprosessit	41
7.5.5	Hitsauslisäaineet	41
7.5.6	Hitsausolosuhteet	41
7.5.7	Railot	42
7.5.8	Esilämmitys	42
7.5.9	Hitsauksen suorittaminen	43
7.5.10	Hitsijatkoksen tarkastus	43
7.6	Paalun katkaisu	44
7.7	Paalujen puhdistus	44
7.8	Paalujen raudoitus ja betonointi	44
7.9	Paaluhattujen asennus	45
7.10	Injektoitavien RR-paalujen asentaminen	45
7.10.1	Asennuskalusto	45
7.10.2	Paalun tunkeminen maahan ja paalun jatkaminen	45
7.10.3	Laastin injektointi	45
8.	PAALUTUSTYÖN JOHTAMINEN JA LAADUNVALVONTA, MITTAUKSET	46
8.1	Paalutustyön johtaminen ja valvonta	46
8.2	Materiaalien laadunvalvonta	46
8.3	Seuranta- ja mittaustarkkailu asentamisen ja tekemisen aikana	46
8.4	Paalujen testaus	47
9.	PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI	47
9.1	Yleistä	47
9.2	Paalutuspöytäkirjat	47
9.3	Paalutuksen toteutumapiirustus ja muut dokumentit	47
10.	TYÖTURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖNSUOJELU	47
11.	LOPPULYÖNTITÄULUKOT	48
11.1	Yleistä	48
11.2	Pudotus- ja hydraulijärkäleet	48
11.2.1	Mallinnuksen perusteet	48
11.2.2	Loppulyöntitaulukoiden käyttöohjeet	48
11.3	Hydrauli- ja paineilmavasarat	49
11.3.1	Mallinnuksen perusteet	49
11.3.2	Loppulyöntikuvaajien ja -taulukoiden käyttöohjeet	49
Liite 1.	Lyöntipaalujen $R_{cmax}$ -arvot ja RR-suurpaalujen ohjeellisia $R_d$ -arvoja	51
Liite 2.	Lyöntilaitekohtaiset loppulyöntitaulukot ja -käyrästöt (ladattavissa <a href="http://www.ssab.fi/infra">www.ssab.fi/infra</a> )	
Liite 3.	SSAB:n paalujen paalutuspöytäkirjamallit (ladattavissa <a href="http://www.ssab.fi/infra">www.ssab.fi/infra</a> )	
Liite 4.	S440J2H teräslaadun RR- ja RD-paalujen mitoituskestävyystaulukot (ladattavissa <a href="http://www.ssab.fi/infra">www.ssab.fi/infra</a> )	
Liite 5.	Hitsien esilämmitys ja jäähdytysajat (ladattavissa <a href="http://www.ssab.fi/infra">www.ssab.fi/infra</a> )	

## 1. YLEISTÄ

Ohje käsittelee SSAB:n valmistamia lyömällä ja puristamalla asennettavia RR- ja RRs-paaluja, poraamalla asennettavia RD- ja RDs-paaluja sekä lyömällä asennettavia injektaitavia RR-paaluja. Ohjeessa käsitellään kaikkia paaluhalkaisijoita RR75:sta RR/RD1200 saakka. Ohjeessa esitetään SSAB:n teräspaalujen suunnittelun perusteet ja paalujen käsittely- ja asennusohjeet sekä paalutustyön laadunvalvonnan, mittausten sekä dokumentoinnin ohjeet. Tämän ohjeen rinnalla on RR- ja RRs-paalujen sekä RD-paalujen tuote-esitteet, joissa on esitetty teräspaalujen käyttökohteita, materiaaleja, rakennetta ja mittoja yleisellä tasolla.

Tämä suunnittelu- ja asennusohje perustuu RIL 254-2016 Paalutusohje 2016 -ohjeeseen. Tätä ohjetta käytetään, kun kohteen suunnittelu on tehty Eurokoodijärjestelmällä. Kun kohteen paalutus on suunniteltu sallittujen paalukuormien menetelmällä, noudatetaan teräspaalujen suunnittelussa RR-paalutusohjeita ja RD-paalutusohjeita. Tässä ohjeessa esitettyjä paalujen asennus-, käsittely- ja loppulyöntiohjeita voidaan käyttää soveltaen, kun kohde on suunniteltu paalujen sallittuihin kuormiin pohjautuen.

Ohjetta sovelletaan sekä yksittäisille paaluille että paaluryhmille. Ohjetta voidaan soveltaa SSAB:n teräspaaluista tehtävien tukirakenteiden kuten RD-paaluseinän, erilaisten Combi-wall rakenteiden sekä muissa tukiseinissä käytettävien lyötävien ja porattavien teräspalkkipaalujen suunnittelussa ja toteutuksessa.

## 2. SSAB:n TERÄSPAALUT

### 2.1 Yleistä

SSAB:llä on eurooppalaiseen tekniseen arviointiin (ETA 12/0526) perustuva CE-merkintä, joka on kattavin rakenneteräksestä valmistetuille paalurakenteille myönnettävistä CE-merkinnöistä. Se käsittää koko paalun rakenteen, osoittaa paalujatkosten mekaaniset vaatimukset ja vaatimuksenmukaisuuden sekä osoittaa, että tuote on valmistettu soveltuvaksi nimenomaan paalutuskäyttöön.

CE-hyväksynnän taustalla ovat yksityiskohtaiset kuormituskokeet erityisesti jatkoksille, eri tuotantovaiheiden jatkuva laadunvalvonta ja materiaalien jäljitettävyys. Käytännöllä rakennusprojektissa SSAB:n CE-merkittyjä paaluja varmistetaan perustusten kestävyys ja toimivuus. Testatut tuotteet takaavat ongelmattoman asennuksen työmaalla.

SSAB:n teräspaalut täyttävät Paalutusohjeessa PO-2016 RIL 254-2016 esitetyt vaatimukset paalumateriaaleille ja paaluvälineille.

### 2.2 Teräslajit ja standardit

SSAB:n teräspaaluissa käytettävät teräslajit, niiden kemiallinen koostumus ja mekaaniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Teräslajien saatavuus paalutyypeittäin halkaisijan ja seinämäpaksuuden mukaan on esitetty ohjeen kohdissa 2.3.1 ja 2.4.1. Erikseen tilattaessa paalut voidaan toimittaa myös API5L standardin mukaisilla X-laaduilla.

Paalujen tekniset toimitusehdot ovat standardin SFS-EN 10219-1 mukaisia. Mitat ja toleranssit ovat standardin SFS-EN 10219-2 mukaisia. Mekaanisilla jatkoksilla jatkettavat SSAB:n teräspaalut valmistetaan SFS-EN 10219-2 standardin toleransseja tiukemmilla toleransseilla. Paalumateriaalista toimitetaan SFS-EN 10204 tyyppin 3.1 mukainen aineistodistus.

Taulukko 1. SSAB:n teräspaalujen vakioteräslajit, erikseen tilattaessa paalut voidaan toimittaa myös API5L standardin mukaisilla X-laaduilla.

Teräslaji	Hiili- ekvivalentti	Kemiallinen koostumus, max.				Mekaaniset ominaisuudet				
		CEV max.	C	Mn	P	S	$f_y$ min	$f_u$	$A_{5min}$	T
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[%]	[°C]	[J]
<b>S355J2H</b>	0,45	0,22	1,6	0,03	0,03	355	470-630	20	-20	27
<b>S440J2H</b>	0,45	0,16	1,6	0,02	0,02	440	490-630	17	-20	27
<b>S460MH</b>	0,46	0,16	1,7	0,035	0,03	460	530-720	17	-20	40
<b>S550J2H</b>	0,47	0,12	1,9	0,02	0,02	550	605-760	14	-20	27

## 2.3 Pieniläpimittaiset RR- ja RRs-paalut

### 2.3.1 Rakenne, teräslajit ja tunnistaminen

RR- ja RRs-paalujen rakenne ja osat on esitetty kuvassa 1.

RR-paalun perusteräslaji on S460MH ja RRs-paalujen teräslaji on S550J2H. RR270–RR320- paaluja voidaan toimittaa myös teräslajista S355J2H valmistettuina.

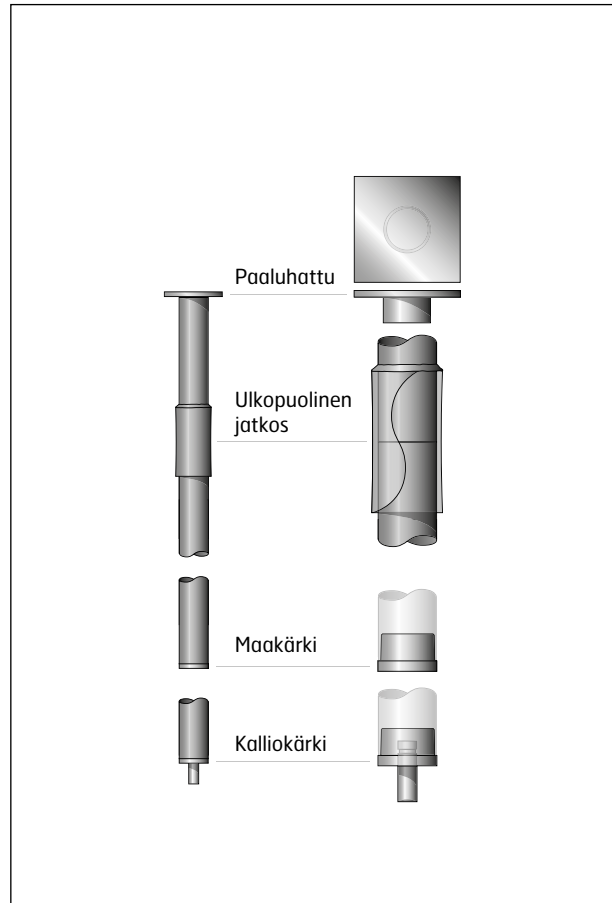
RR- ja RRs-paaluissa on mekaaniset, kitkaan perustuvat jatkokset sekä kärkikappaleet paalukokoon RRs270/12.5 saakka. Lisäksi RR320 paaluissa on mekaanisesti kiinnitettävät kärkikappaleet. RR320 paaluilla mahdollinen jatkaminen tehdään hitsaamalla.

SSAB:n RR-pienpaalun tunnistaa paalun kyljessä olevasta merkinnästä. RR-paaluelementit varustetaan lisäksi jatkokseen tai sen välittömään läheisyyteen kiinnitettyä tunnisteteipillä. Paaluniput toimitetaan taakkalapuilla varustettuina, joista ilmenee valmistajan ja mittatietojen lisäksi RR-paalujen teräslaji.

### 2.3.2 Paaluelementit, -putket ja jatkokset

Paaluelementti sisältää paaluputken ja siihen kiinnitetyn ulkopuolisen holkki-jatkoksen. RR-paaluelementtien ja ilman ulkopuolisia holkki-jatkoksia valmistettävien paaluputkien valmistuspituudet on esitetty taulukossa 2.

Kaikki teräslajista S460MH valmistetut paalukoot RR75 – RR270 voidaan jatkaa ulkopuolisilla holkki-jatkoksilla. Myös



Kuva 1. RR-paalun rakenne ja osat, paalukoot RR75–RR270.

Taulukko 2. RR- ja RRs-paalujen paaluelementtien ja paaluputkien valmistusmitat.

Paalutyyppi	Paaluelementin (sis. jatkoksen) pituus								Paaluputken (ei sis. jatkosta) pituus		
	12 m	6 m	4 m	3 m	2 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m	6 m	12 m	16 m
RR75	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
RR90	-	X	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RR115/6,3	0	X	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RR115/8	0	X	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RR140/8	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RR140/10	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RR170/10	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RR170/12,5	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RR220/10	X	0	0	0	-	-	-	-	0	X	0
RR220/12,5	X	0	0	0	-	-	-	-	0	X	0
RR245/10	0	0	0	-	-	-	-	-	0	X	0
RR245/12,5	X	0	0	-	-	-	-	-	0	X	0
RR270/10	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
RR270/12,5	X	0	0	-	-	-	-	-	0	X	0
RRs115/8	0	X	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RRs125/6,3	X	X	0	0	-	-	-	-	X	X	-
RRs140/8	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RRs140/10	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RRs170/10	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RRs170/12,5	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
RRs220/10	X	0	0	0	-	-	-	-	0	X	0
RRs220/12,5	X	0	0	0	-	-	-	-	0	X	0
RRs245/10	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
RRs245/12,5	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
RRs270/10	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0
RRs270/12,5	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0

X = varastomitta

0 = projektiokohtainen mitta

- = ei valmistuksessa

kaikki RRs-paalukoot paalukokoon RRs270 asti voidaan jatkaa ulkopuolisilla holkkijatkoksilla.

Jatkokset täyttävät PO-2016 ja standardin SFS-EN 1993-5 Teräsrakenteiden suunnittelu, Teräspaalu, Suomen kansallisen liitteen jäykkäjätköksille asetetut vaatimukset (taulukko 3). Jatkokset on testattu PO-2016 mukaisesti siten, että ne täyttävät paalutustyöluokan PTL3 vaatimukset. Vaatimukset täyttävät jatkokset mahdollistavat sen, että paalun jatkokset eivät rajoita paalun rakenteellista kapasiteettia ja mahdollistavat, että paalut saadaan asennettua mahdollisimman suorina kaikkiin maaperäolosuhteisiin.

Taulukko 3. RR- ja RRs-paalujen jatkosten lujuus- ja jäykkyyssominaisuuksien vähimmäisarvot.

Paalutyyppi	Vetokestävyys [kN]	Puristuskestävyys	Taivutuskestävyys	Taivutusjäykkyys $EI_{[0,3-0,8 M]}$
RR75	95	$N_{c,paalu}$	$M_{paalu}$	$0,75 \times EI_{paalu}$
RR90	113			
RR115/6,3	147			
RR115/8	184			
RRs115/8	220			
RRs125/6,3	197			
RR140/8	228			
RRs140/8	273			
RR140/10	281			
RRs140/10	336			
RR170/10	343			
RRs170/10	410			
RR170/12,5	422			
RRs170/12,5	505			
RR220/10	453			
RRs220/10	542			
RR220/12,5	560			
RRs220/12,5	669			
RR245/10	509			
RRs245/10	608			
RR245/12,5	629			
RRs245/12,5	752			
RR270/10	570			
RRs270/10	682			
RR270/12,5	706			
RRs270/12,5	844			

### 2.3.3 Paalukärjet

RR- ja RRs-paalujen mekaanisesti kiinnitettävät paalukärjet, maakärki ja kalliokärki, täyttävät PO-2016 vaatimukset. Kalliokärjet on testattu PO-2016 mukaisesti siten, että ne täyttävät paalutustyöluokan PTL3 vaatimukset. Kalliokärkien kärkitappi (= dubbi) valmistetaan karkaisusta erikoisteräksestä, jolla varmistetaan hyvä kärjen tunkeutumiskyky kallioon. Kalliokärkeä suositellaan aina ensisijaisesti käytettäväksi kärkityypiksi. Kohteen vastaava pohjarakennesuunnittelija voi erikseen perustelluilla syillä määritellä käytettäväksi myös muuta kärkityyppiä (maakärki, avoin paalu, tms.). Perusteltu syy voi PO-2016 mukaisesti olla esimerkiksi vähäkiviset läpäistävät maakerrokset (GEO-luokitus  $d < 60$  mm) ja paalujen tukeutuminen maakerrokseen jossa ei ole isoja kiviä (GEO-luokitus  $d < 200$  mm). Kalliokärkien avulla paalut läpäisevät paremmin ja suurempana tiiviitä ja kivisiä maakerroksia. SSAB:n kärkikappaleet on mitoitettu niin, että ne kestävät paalun asentamisen sekä käytön aikaiset rasitukset, kun asennuksessa noudatetaan kohdan 7.3 ohjeita.

Puristettavissa RR-pienpaaluissa voidaan käyttää erikoiskärkeä, minkä läpi voidaan paalun puristuksen jälkeen tehdä kärki- ja osin vaippakestävyyttä parantava jälkinjektointi.

Asennuksen aikana vaipaltaan injektoitavien RR-paalujen kärkikappaleina käytetään kohdan 2.6 mukaisia injektointikärkiä.



Kuva 2. Suuriläpimittainen RR-paalu.

Erikoistilanteissa RR270 ja RR320 paalujen kärki voidaan suojata pohjalevyllä tai hitsaamalla kiinnitettävällä kalliokärjellä. Kyseiset tilanteet ovat erikoistilauksia ja niissä tapauksissa paaluputket toimitetaan työmaalle kalliokärjet kiinnihitsattuina.

RR270 ja RR320 paalujen kärkikappaleina voidaan esimerkiksi pienikuormaisissa telinepaaluissa tai meluseinäpaaluissa käyttää keveitä hitsaamalla kiinnitettäviä kohdekohtaisesti suunniteltavia kärkiä.

Poikettaessa mekaanisesti kiinnitettävistä kalliokärjistä on huomioitava, että kärkien kestävyysmitoittavin tilanne on loppulyönnit ja/tai dynaaminen koekuormitus. Lisäksi asentamisessa on noudatettava kohdan 7.3 ohjeita.

## 2.4 Suuriläpimitat RR-paalut

### 2.4.1 Rakenne, dimensiot ja teräslajien saatavuus

Suuriläpimitat RR-paalut valmistetaan kierresauma-hitsaamalla valmistetusta teräsputkesta. Paalut voidaan valmistaa tehtaalta yksimittaisena aina pituuteen 40 metriä saakka. Paalut tilataan yleensä määrämittäisinä. Varastosta löytyvät vakiokokot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Varastoitavat suuriläpimitat RR-paalut (L=12 m)

Mitat halkaisija x seinämäpaksuus [mm]	Teräslaji
406 x 12,5	S440J2H (S355J2H)
508 x 12,5	S440J2H (S355J2H)
610 x 12,5	S355J2H
711 x 12,5	S355J2H
813 x 12,5	S355J2H

RR-suurpaalujen teräslajeina käytetään pääasiassa S355J2H, S440J2H ja S550J2H. Erikseen tilattaessa paalut voidaan toimittaa myös standardin SFS-EN 10219 mukaisilla MH-laaduilla tai API5L mukaisilla X-laaduilla. Standardimitat ja teräslajien saatavuus on esitetty taulukossa 6. Suunnittelussa ensisijaisesti suositeltavat halkaisijat ovat RR400, RR500, RR600, RR700, RR800, RR900, RR1000 ja RR1200. Tukipaaluina käytettäessä suositeltava minimiseinäpaksuus asennettavuuden kannalta on paaluilla RR400–RR800 10 mm ja paaluilla RR900–RR1200 12,5 mm.

Taulukon 6 standardimittojen lisäksi RR-paaluja voidaan valmistaa myös muilla halkaisijoilla ja asiakaskohtaisilla seinämäpaksuuksilla. Seinämäpaksuus voidaan valita 0,1 mm:n tarkkuudella. Seinämäpaksuuden ja teräslajin valinnalla rakenteet voidaan optimoida tarkasti. Asiakas- tai projektikohtainen standardimitoista poikkeaminen edellyttää hankkeelta suurehkoa kokoa ja optimoinnista on hyötyä erityisesti combi-wall tai RD-paaluseinäraakenteissa, mutta myös tukipaaluukohteissa.

RR-suurpaalun tunnistaa paalun kyljessä olevasta merkinnästä. Paaluniput toimitetaan taakkalapuilla varustettuina, joista ilmenee valmistajan ja mittatietojen lisäksi RR-paalujen teräslaji.

### 2.4.2 Paalukärjet

RR-suurpaalut varustetaan yleensä pohjoismaisissa pohjaolosuhteissa kalliokärjillä. SSAB:n vakioituilla kalliokärjillä on Väyläviraston myöntämä käyttö lupa 565/090/201 (4.10.2011) ja kalliokärkien valmistus on CE-merkittyä. Kalliokärkiä käytetään suojaamaan paalun alapäästä asentamisen aikaisia rasituksia vastaan, keskittämään paalun kärkeen kohdistuvat rasitukset mahdollisimman tasaisesti paaluputken poikkileikkaukselle sekä estämään paalun kärjen liukumista sivusuunnassa.

Taulukko 6. Suuriläpimitaisten teräsputkipaalujen standardimitat ja teräslajien saatavuus.

Paalu	Halkaisija [mm]	Seinäpaksuus [mm]									
		8	10	12,5	14,2	16	18	20	21	22	23
RR400	406,4										
RR450	457,0										
RR500	508,0										
RR550	559,0										
RR600	610,0										
RR650	660,0										
RR700	711,0										
RR750	762,0										
RR800	813,0										
RR900	914,0										
RR1000	1016,0										
RR1200	1220,0										

Teräslajit S355J2H, S440J2H ja S550J2H

Teräslajit S355J2H ja S440J2H

Varmista saatavuus SSAB myynnistä.

RR-kalliokärkiä on käytössä kolme eri tyyppiä (kuva 3). Yleisimmät kärkityypit ovat rakenneterästuurnalla ja karkaistulla kärkitapilla varustetut kalliokärjet. SSAB toimittaa myös reikätuurnalla varustettuja kalliokärkiä, jolloin kalliokärjen betonitäyteen reikätuurnan läpi voidaan porata esimerkiksi kallioon injektoitava tartuntatappi.

Rakenneterästuurnakalliokärkeä käytetään olosuhteissa, joissa paalujen tavoitetaso on karkearakeisissa – tai moreenimaakerroksissa tai olosuhteissa, missä kalliopinta on suhteellisen tasainen ja kalliopinnan päällä on tukea antavia tiiviitä maakerroksia. Rakenneterästuurnakalliokärki kestää hyvin kallion pintaan ja kallion sisään upottamisen.

Karkaistulla kärkitapilla varustettua tuurnaa käytetään olosuhteissa, joissa kallionpinta on kalteva tai kallion päältä puuttuvat tiiviit karkearakeiset – tai moreenimaakerrokset tai ne ovat ohuet ja paalun kärki halutaan ulottaa kallion pintaan. Karkaistulla kärkitapilla varustetuilla kalliokärjillä estetään paalun kärjen liukuminen sivusuunnassa luotettavasti useimmissa olosuhteissa.

Reikätuurnallisia kalliokärkiä voidaan käyttää olosuhteissa, joissa halutaan varmistaa tuurnan läpi kallioon porattavalla ja injektoitavalla terästäpilla paalun alapään paikalla pysyminen. Tyypillinen käyttökohde on sataman reunalaiturina käytettävä combi-wall rakenne, jossa paalujen tunkeutumistaso on lähellä vesiväylän pohjaa ja paaluihin kohdistuu huomattavia vaakakuormia. Tällöin reikätuurnan läpi poratuilla kalliotapeilla varmistetaan tukirakenteen stabiiliteetti. Reikätuurnallisia kalliokärkiä käytetään myös kohteissa, joissa paaluihin kohdistuu vetoa. Tällöin reiän läpi voidaan asentaa vetoankkuri.

Kivettömässä tai vähäkivisissä olosuhteissa, joissa paalun kärki suunnitellaan tukeutuvaksi maakerroksiin, voidaan paalun alapään suojaamiseksi käyttää ns. vahvistettua pohjalevyä. Suositeltavaa on kuitenkin käyttää näissä olosuhteissa vakioituja rakenneterästuurnakärkiä.

Avoimet paalut varustetaan usein paalun alapään suojaamiseksi ns. kärkivahvikkeella. Kärkivahvike on yleensä 150–500 mm leveä teräspanna, joka hitsataan paalun kärkeen vaipan ulkopinnalle. Teräspannan levypaksuus on yleensä 10, 15 tai 20 mm. Sekä kärkivahvikkeet että vahvistetut pohjalevyt valmistetaan kohdekohtaisten, asiakkaan suunnitelmien mukaisesti.

Kalliokärjet esilämmitetään ennen hitsausta ja kokoonpanohitsaus tehdään hitsausroboteilla. Kalliokärjet numeroidaan, jonka avulla varmistetaan kärkien valmistuksen ja raaka-aineiden jäljitettävyyttä.

RR-suurpaalujen vakio-kalliokärkien mitoituskestävyysarvot on esitetty taulukossa 7. Kohdekohtaiset kestävyysarvot taulukon arvoista poikkeavat kalliokärjet mitoitetaan numeerisesti Väyläviraston vaatimusten mukaisesti. Kalliokärkien mitoittavin tilanne on loppulyönnit ja/tai dynaaminen koekuormitus. Lisäksi asentamisessa, erityisesti paalun kärjen kohdatessa lohkarain tai vinon kalliopinnan, on noudatettava kohdan 7.3 asennusohjeita.

Suunnitteluvaiheessa tulee kuitenkin maksimi lyönninkestävyys rajoittaa kullakin paalukoolla enintään kunkin paalun  $R_{dL}$ -arvoon.



Kuva 3. Suuriläpimittaisten RR-paalujen paalukärkityypit.



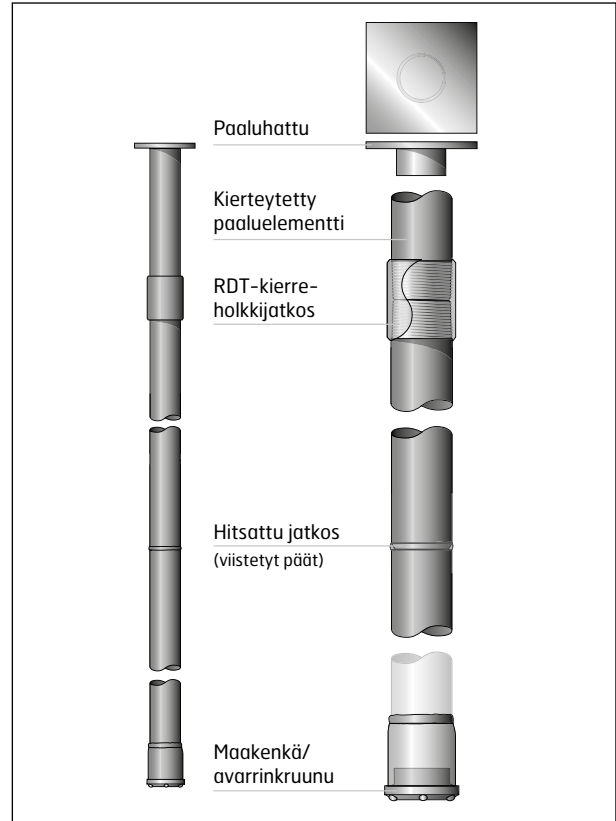
Taulukko 7. Kalliokärkien rakenteellisen kestävyuden murtorajatiljan suunnitteluarvot keskeiselle pystykuormalle asennustilanteessa (lyönti ja PDA-mittaus).

Paalu	Rakenneterästuurna $R_{dL}$ [kN]	Karkaistu kärkitappi $R_{dL}$ [kN]	Reikätuurna $R_{dL}$ [kN]
RR400	5033	4982	
RR450	6057	6032	
RR500	7672	7545	
RR550	7994	7940	
RR600	9677	9681	9285
RR650	10084	10062	
RR700	11993	11605	11370
RR750	12387	12342	
RR800	12653	12610	12188
RR900	14910	14887	14512
RR1000	18751	15691	18371
RR1200	19317	19260	

## 2.5 RD- ja RDs-paalut

### 2.5.1 Rakenne, dimensiot, teräslajivalikoima ja tunnistaminen

RD-paalun rakenne on esitetty kuvassa 4. RD90–RD320 vakioteräslaji on S460MH. RDs-paalujen teräslaji on S550J2H. RD270–RD320 paaluja voidaan toimittaa myös teräslajista S355J2H valmistettuina. RD400–RD1200 teräslajeina voidaan käyttää kaikkia SSAB:n teräspaalu-tuotteiden teräslajeja. RD-paalujen paalukoot ja teräslajien saatavuus on esitetty taulukossa 8. RD-suurpaaluina



Kuva 4. RD-pienpaalun rakenne.

suositellaan käytettäväksi dimensioita RD400, RD500, RD600, RD700, RD800, RD900, RD1000 ja RD1200.

Taulukko 8. RD-paalujen standardimitat ja teräslajien saatavuus.

Paalu	Halkaisija [mm]	Seinämäpaksuus [mm]										
		6,3	8	10	12,5	14,2	16	18	20	21	22	23
RD90	88,9											
RD115	114,3											
RDs125	127,0											
RD140	139,7											
RD170	168,3											
RD220	219,1											
RD270	273,0											
RD320	323,9											
RD400	406,4											
RD450	457,0											
RD500	508,0											
RD550	559,0											
RD600	610,0											
RD650	660,0											
RD700	711,0											
RD750	762,0											
RD800	813,0											
RD900	914,0											
RD1000	1016,0											
RD1200	1220,0											

- Teräslajit S460MH ja S550J2H
- Teräslaji S550J2H
- Teräslajit S355J2H, S460MH ja S550J2H
- Teräslaji S460MH
- Teräslajit S355J2H, S440J2H ja S550J2H
- Teräslajit S355J2H ja S440J2H
- Varmista saatavuus SSAB myynnistä.

Paalut toimitetaan joko paaluputkina tai RDT-paaluelementteinä, joissa on kiertetyt päät. Paaluputkien ja -elementtien pituudet ovat taulukon 9 mukaisia. RD90-RD320- paaluista voidaan tilauksesta tarvittaessa poistaa projektikohtaisesti putken pituussauman sisäpurse. Käytettäessä yleisimpiä pilottikruunuja ei sisäpurseen poisto ole yleensä välttämätöntä, mutta purseen vaikutus pilottikruunun valintaan on syytä ottaa huomioon.

RD-paalun tunnistaa paalun kyljessä olevasta merkinnästä. Paaluputket ja -elementit toimitetaan taakkalapuilla varustettuina, joista ilmenee valmistajan ja mittatietojen lisäksi RD-paalujen teräslaji. Ilman näitä merkintöjä paaluputkea ei saa käyttää RD-paaluissa.

### 2.5.2 RD-paalujen jatkaminen ja teräslajivalikoima

RD-porapaalut jatketaan joko ulkopuolisella RDT-kierreholkki-jatkoksella (paalukokoon RD320 asti) (kuva 6) tai hitsaamalla. Mekanisoitua hitsausta käytetään erityisesti perustusten vahvistuskohteissa. Uppovasarakalustoa käytettäessä paaluput-

ken ja holkin kierteet ovat vasenkätiset ja päältätyövää vasaraa käytettäessä oikeakätiset. Ohjeet jatkosten käsittelystä ja asennuksesta sekä kierreholkki-jatkosten mitat ja suositeltavat avarrinkruunujen tyypit ja mitat on esitetty tämän ohjeen kohdassa 7.4.4. Jatkokset täyttävät PO-2016 ja standardin SFS-EN 1993-5 Teräsrakenteiden suunnittelu, Teräspaalut, Suomen kansallisen liitteen jäykkäjätköksille asetetut vaatimukset (taulukko 10). Jatkoksen vetokestävyudeksi taataan 50 % paalun puristuskestävyydestä, kun jatkoksen käsittely ja asentaminen tehdään kohtien 7 ja 8 mukaisesti. Kaikki RD-paalut ovat myös



Kuva 6. RDT-kierreholki.

Taulukko 9 a. ja taulukko 9 b. RD- ja RDs-paaluputkien sekä RDT- ja RDTs-elementtien pituusvalikoima

Paalutyyppi	Paaluputken pituus									
	1 m	1,2 m	1,5 m	2 m	3 m	4 m	6 m	12 m	12-16 m	16-40 m
RD90	0	0	0	0	0	0	X	-	-	-
RD115/6,3	0	0	0	0	0	0	X	0	-	-
RD115/8	0	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RD140-RD320	0	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RD400-RD1200	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0*
RDs115/8	0	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RDs125/6,3	0	0	0	0	0	0	0	X	-	-
RDs140-RDs320	0	0	0	0	0	0	0	X	0	-
RDs400-RDs1200	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0*

X = varastomitta  
 0 = projektikohtainen mitta  
 - = ei valmistuksessa  
 \* = paalukokohtainen maksimipituus varmistettava SSAB myynnistä

Paalutyyppi	Kiertetytyn paaluelementin pituus							
	1 m	1,2 m	1,5 m	2 m	3 m	4 m	6 m	12 m
RDT90	0	0	0	0	0	0	0	-
RDT115/6,3	0	0	0	0	0	0	0	0
RDT115/8	0	0	0	0	X	0	X	0
RDT140/8	0	0	0	0	0	0	X	0
RDT140/10	0	0	0	0	0	0	X	0
RDT170/10	0	0	0	0	0	0	X	0
RDT170/12,5	0	0	0	0	0	0	X	0
RDT220/10	0	0	0	0	0	0	X	0
RDT220/12,5	0	0	0	0	0	0	X	0
RDT270/10	0	0	0	0	0	0	0	0
RDT270/12,5	0	0	0	0	0	0	0	0
RDT320/10	0	0	0	0	0	0	0	0
RDT320/12,5	0	0	0	0	0	0	0	0
RDTs115/8	0	0	0	0	0	0	0	0
RDTs140/8	0	0	0	0	0	0	X	0
RDTs140/10	0	0	0	0	0	0	0	0
RDTs170/10	0	0	0	0	0	0	X	0
RDTs170/12,5	0	0	0	0	0	0	X	0
RDTs220/10	0	0	0	0	0	0	X	0
RDTs220/12,5	0	0	0	0	0	0	X	0
RDTs270/10	0	0	0	0	0	0	0	0
RDTs270/12,5	0	0	0	0	0	0	0	0
RDTs320/10	0	0	0	0	0	0	0	0
RDTs320/12,5	0	0	0	0	0	0	0	0



Kuva 5. RD-suurpaalun rakenne.

Taulukko 10. RDT-kierreholkki-jatkosten kestävyys.

Paalu	Vetokestävyys [kN]	Paalu	Vetokestävyys [kN]	Puristuskestävyys	Taivutuskestävyys	Taivutusjäykkyys $EI_{(0,3-0,8M)}$
RDT90*	380			$F_{paalu}$	$M_{paalu}$	$0,75 \times EI_{paalu}$
RDT115/6,3*	490					
RDT115/8	620	RDTs115/8	750			
RDT140/8	770	RDTs140/8	910			
RDT140/10	940	RDTs140/10	1120			
RDT170/10	1150	RDTs170/10	1370			
RDT170/12,5	1410	RDTs170/12,5	1680			
RDT220/10	1520	RDTs220/10	1810			
RDT220/12,5	1870	RDTs220/12,5	2230			
RDT270/10	1900	RDTs270/10	2270			
RDT270/12,5	2350	RDTs270/12,5	2810			
RDT320/10	2270	RDTs320/10	2720			
RDT320/12,5	2820	RDTs320/12,5	3370			

\*) Näillä paalukooilla RDT-kierreholkki-jatkosten taivutuskestävyys vastaa enimmillään paaluputken kimmoista taivutuskestävyyttä  $M_{el}$  jatkettavissa hitsaamalla.

## 2.6 Injektoitavat RR-paalut

Injektoitavat RR-paalut ovat pääasiassa vaipalla kantavia pienpaaluja, joissa paalun vaipan geoteknistä kestävyyttä on parannettu sementtillaastilla tehtävällä jatkuvalla vaippainjektioinnilla. Injektoitavat paalut soveltuvat käytettäväksi kitkamaakerroksissa, joissa voidaan hyödyntää injektoidun paalun suurta vaippakestävyyttä ja siten oleellisesti lyhentää paalupituutta.

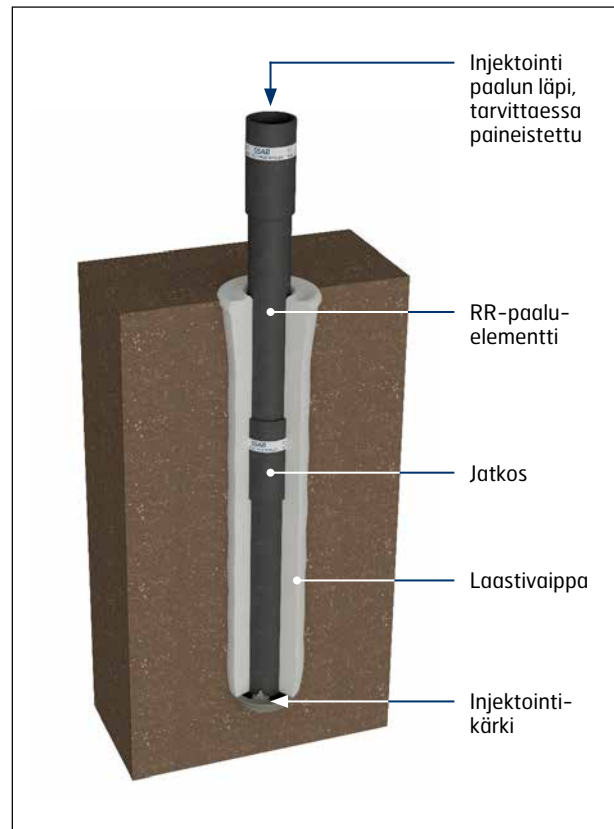
Injektoitavissa RR-paaluissa käytetään samoja ulkopuolisella holkki-jatkoksella varustettuja RR-paaluelementtejä kuin RR-pienpaaluissa. Paaluhattuina käytetään taulukon 12 mukaisia vakiopaaluhattuja ja paalukärkinä taulukon 11 mukaisia erityisesti jatkuvan vaippainjektioinnin tekemiseen kehitettyjä injektointikärkiä. Paaluelementin pituutena käytetään yleensä 6 metriä, mutta myös muut, taulukossa 2 esitetyt elementtipituudet ovat mahdollisia. Injektoitavien RR-paalujen vakioteräslaji on S460MH, mutta myös S550J2H teräslaji voidaan käyttää. Injektoitavina RR-paaluina käytetään taulukon 11 mukaisia RR- ja RRs-paalukokoja. Injektoitavan RR-paalun rakenne on esitetty kuvassa 7.

Injektoitavissa RR-paaluissa käytetään injektointikärkiä jotka on kehitetty asennuksen aikaisen jatkuvan vaippainjektioinnin tekemiseen. Asennuksessa injektointikärki asetetaan maanpinnalle asennettavan paalun kohdalle ja paaluputki asetetaan kärjessä olevaan uraan. Paaluputki kiristyy kärjen uraan kitkalla paalun lyönnin yhteydessä. Injektointikärki muodostaa maahan paaluputken halkaisijaa suuremman reiän. Paalun yläpäästä paaluputken sisään pumpattava betonilaasti purkautuu kärjen sisäpuolella olevien syvennyksien kautta paaluputken pään alta paaluputkea ympäröivään rakotilaan ja täyttää sen.

Taulukossa 11 on esitetty paalukoko-kohtaisten injektointikärkien halkaisijat. Injektointikärjet on suunniteltu siten, että laastikerroksen paksuus paalun jatkosholkkin kohdalla on 50 mm.

Taulukko 11. RR-paalujen injektointikärkien halkaisijat

Paalukoko	Paalun halkaisija $d$ [mm]	Paalun jatkosholkkin halkaisija $d_s$ [mm]	Injektointikärjen halkaisija [mm]
RR115/6,3, RR115/8 ja RRs115/8	114,3	127,0	234
RR140/8, RRs140/8, RR140/10 ja RRs140/10	139,7	159,0	260
RR170/10, RRs170/10 ja RR170/12,5	168,3	190,5	288



Kuva 7. Injektoitu RR-paalu

## 2.7 Paaluhatut

Pieniläpimittaisten RR/RRs-, RD/RDs- sekä injektoitavien RR-paalujen yläpään asennetaan yleensä paaluhattu, jonka avulla ylärakenteiden kuormat siirretään paalulle. Paaluhattujen keskitys paalun sisälle menevällä ohjainputkella. Ohjainputken tehtävänä on ainoastaan pitää paaluhattu työnaikaisesti paikallaan, sitä ei ole suunniteltu kestäväksi esimerkiksi lopputilanteessa paalulle mahdollisesti tulevia vaakakuormituksia. Paaluhattujen levy tehdään teräksestä S355J2. Vakiopaaluhattujen koot ja ohjeelliset mitoituskäytävien  $R_d$  arvot on esitetty taulukossa 12. Paaluhattujen kestävyys suositellaan tarkastettavaksi sekä paaluhattujen teräsrakenteen että paaluhattujen päällä olevan betonin puristuskestävyyden ja lävistyskapasiteetin mukaan, kun kuorman mitoitusarvo on noin 90–100 % paaluhattujen kestävyysmitoitustarvosta ja käytettäessä betonilujuuksia C30/37 ... C35/45.

Paaluhattuja voidaan valmistaa myös kohteen suunnitelmien mukaan vakiopaaluhattuja poikkeavilla mitoilla ja muodoilla, esim. reiällä varustettuina.

Taulukossa 12 on esitetty vakiopaaluhattujen lisäksi myös ohjeessa "Teräsbetoniset vakiopaaluanturat RR- ja RD-paaluilla (FPS)" käytetyt paaluhattukoot. Näiden paaluhattujen mitoituksessa on huomioitu myös paalun päällä olevassa betonissa vallitseva kaksiakselinen vetorasitus. Mitoitusperusteet ja näiden paaluhattujen käyttö on esitetty tarkemmin kyseisessä ohjeessa.

## 2.8 Paalujen mitat ja geometriset poikkileikkaussuureet

Pituussuunnassa valmistettavien pieniläpimittaisten RR- ja RD-paalujen mitat ja geometriset poikkileikkaussuureet on esitetty taulukossa 13 ja vastaavasti kierresuunnassa valmistettavien suuriläpimittaisten RR- ja RD-paalujen mitat ja geometriset poikkileikkaussuureet taulukossa 14.

Taulukko 12. Vakiopaaluhattujen mitat ja ohjeelliset mitoituskäytävien sekä vakiopaaluanturoiden paaluhattujen mitat ja tunnukset

Paalu	Vakiopaaluhattu [mm x mm x mm]	Ohjeellinen mitoituskäytävä $R_d$ [kN]	Vakiopaaluanturan paaluhattu* [mm x mm x mm]	Paaluhattun tunnus**
RR75	150 x 150 x 15	380	-	
RR/RD 90	150 x 150 x 15	450	150 x 150 x 15	1
RR/RD 115/6,3	200 x 200 x 20	780	200 x 200 x 20	2
RR/RRs/RD/RDs 115/8	250 x 250 x 25	910	250 x 250 x 25 250 x 250 x 30***	3 4
RRs125/6,3	200 x 200 x 20 250 x 250 x 25	950 1080	200 x 200 x 20 250 x 250 x 25	2 3
RR/RRs/RD/RDs 140/8	250 x 250 x 25	1240	250 x 250 x 25 250 x 250 x 30***	3 4
RR/RRs/RD/RDs 140/10	250 x 250 x 25	1240	250 x 250 x 25 250 x 250 x 30***	3 4
RR/RRs/RD/RDs 170/10	300 x 300 x 30	1810	300 x 300 x 30 300 x 300 x 40***	5 7
RR/RRs/RD/RDs 170/12,5	300 x 300 x 30	1810	300 x 300 x 30 300 x 300 x 35*** 300 x 300 x 40*** 400 x 400 x 40***	5 6 7 11
RR/RRs/RD/RDs 220/10	300 x 300 x 30	2090	300 x 300 x 30 350 x 350 x 30*** 350 x 350 x 35*** 400 x 400 x 40***	5 8 9 11
RR/RD 220/12,5	300 x 300 x 30	2090	350 x 350 x 35*** 350 x 350 x 40*** 400 x 400 x 40***	9 10 11
RRs/RDs 220/12,5	350 x 350 x 35***	2700	350 x 350 x 35*** 350 x 350 x 40*** 400 x 400 x 40***	9 10 11
RR/RRs 245/10	300 x 300 x 30	2400	300 x 300 x 30	5
RR245/12,5	300 x 300 x 30	2400	350 x 350 x 35	9
RRs245/12,5	350 x 350 x 35***	2700	350 x 350 x 35	9
RR/RD270/10	350 x 350 x 35***	2700	350 x 350 x 35*** 400 x 400 x 40***	9 12
RR/RD270/12,5	350 x 350 x 35***	2700	350 x 350 x 35*** 400 x 400 x 40*** 450 x 450 x 45***	9 12 14
RR/RD320/10	400 x 400 x 30	3480	400 x 400 x 30	12
RR/RD320/12,5	400 x 400 x 30	3480	400 x 400 x 30 450 x 450 x 40 500 x 500 x 40	12 13 15
RR/RD 270/10 S550J2H	400 x 400 x 30	2950	400 x 400 x 30	12
RR/RD 270/12,5 S550J2H	450 x 450 x 40	3750	450 x 450 x 40 450 x 450 x 45***	13 14
RR/RD 320/10 S550J2H	450 x 450 x 40	4050	400 x 400 x 30 450 x 450 x 40	12 13
RR/RD 320/12,5 S550J2H	500 x 500 x 40	4520	450 x 450 x 40 500 x 500 x 45***	13 16

\*) Anturan nurkkapaaluissa, joissa betonilla on kaksiakselinen vetorasitus ja paalulta edellytetään suurta mitoituskäytävää, on käytettävä kyseiseen tilanteeseen erityisesti mitoitettua paaluhattua. Vakiopaaluanturoiden rakenteet on esitetty SSAB:n ohjeessa "Teräsbetoniset vakiopaaluanturat RR- ja RD-paaluille (FPS)"

\*\*) Vakiopaaluanturoiden ohjeessa käytetty tunnus

\*\*\*) Ei varastoitava tuote

Taulukko 13. RR®- ja RD®- pienpaalujen mitat, geometriset poikkileikkaussuureet.

A = Teräspoikkileikkauksen pinta-ala A <sub>v</sub> = Paalun vaipan pinta-ala A <sub>b</sub> = Paalun kärjen pinta-ala						W <sub>el</sub> = Kimmoinen taipuvastus I = Jäyhyysmomentti Z = Paalun impedanssi				Korroosiovähennetyt poikkileikkaussuureet 1,2 mm ja 2,0 mm korroosiovähennyksillä.					
D [mm]	t [mm]	M [kg/m]	A [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /m]	A <sub>b</sub> [mm <sup>2</sup> ]	W <sub>el</sub> [cm <sup>3</sup> ]	I [cm <sup>4</sup> ]	EI [kNm <sup>2</sup> ]	Z [kNs/m]	A <sub>1,2</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>2,0</sub> [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>1,2</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>2,0</sub> [cm <sup>4</sup> ]	EI <sub>1,2</sub> [kNm <sup>2</sup> ]	EI <sub>2,0</sub> [kNm <sup>2</sup> ]
76,1	6,3	10,8	1381	0,24	4548	22,3	84,8	178	56,1	1099	916	65,0	52,8	137	111
88,9	6,3	12,8	1635	0,28	6207	31,5	140,2	294	66,4	1304	1089	108,4	88,7	228	186
114,3	6,3	16,8	2138	0,36	10261	54,7	312,7	657	86,8	1711	1432	244,5	201,4	514	423
114,3	8,0	21,0	2672	0,36	10261	66,4	379,5	797	108,5	2245	1966	311,3	268,2	654	563
127,0	6,3	18,8	2389	0,40	12668	68,7	436,2	916	97,0	1915	1604	342,4	282,8	719	594
139,7	8,0	26,0	3310	0,44	15328	103,1	720,3	1513	134,4	2788	2445	595,1	515,2	1250	1082
139,7	10,0	32,0	4075	0,44	15328	123,4	861,9	1810	165,4	3553	3209	736,7	656,8	1547	1379
168,3	10,0	39,0	4973	0,53	22246	185,9	1564,0	3284	201,9	4343	3928	1344,1	1202,7	2823	2526
168,3	12,5	48,0	6118	0,53	22246	222,0	1868,4	3924	248,4	5488	5073	1648,5	1507,1	3462	3165
219,1	10,0	51,6	6569	0,69	37703	328,5	3598,4	7557	266,7	5748	5205	3110,9	2794,7	6533	5869
219,1	12,5	63,7	8113	0,69	37703	396,6	4344,6	9124	329,4	7292	6749	3857,0	3540,9	8100	7436
244,7	10,0	57,9	7373	0,77	47028	415,7	5086,1	10681	299,4	6455	5848	4405,7	3963,3	9252	8323
244,7	12,5	71,6	9118	0,77	47028	503,7	6163,3	12943	370,2	8200	7594	5482,9	5040,4	11514	10585
273,0	10,0	64,9	8262	0,86	58535	524,1	7154,1	15024	335,5	7238	6560	6207,9	5590,9	13037	11741
273,0	12,5	80,3	10230	0,86	58535	637,2	8697,4	18265	415,3	9205	8527	7751,2	7134,2	16278	14982
323,9	10,0	77,4	9861	1,02	82397	750,7	12158,3	25533	400,4	8645	7839	10574,7	9538,5	22207	20031
323,9	12,5	96,0	12229	1,02	82397	916,7	14846,5	31178	496,5	11012	10206	13262,9	12226,7	27852	25676



### 3. SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄ JA TOTEUTUKSEN OHJAUS

Talonrakentamisen kohteissa noudatetaan eurokoodijärjestelmää ympäristöministeriön asetusten mukaisesti. Infratöissä noudatetaan eurokoodijärjestelmää Väyläviraston ohjeistuksen mukaan. Tarvittaessa noudetaan viranomaisten (esim. kuntien/kaupunkien) muita ohjeita.

Kohteen geoteknisen luokan (GL1, GL2, GL3) valinta tehdään PO-2016 ja RIL 207 (Eurokoodi 7 soveltaminen) mukaisesti. Kohteen vastaava pohjarakennesuunnittelija määrittää kohteen geoteknisen luokan.

GL1 kohteet eivät yleensä ole paalutusta edellyttäviä kohteita. Pääosa pohjasuhteista ja kohteista kuuluu geotekniseen luokkaan GL2. Teräspaalu- ja monipuolisista ja hyvistä ominaisuuksista johtuen teräspaaluilla on useita käyttökohteita geoteknisen luokan GL3 kohteissa.

Paalutustyöluokka (PTL1, PTL2 tai PTL3) määräytyy kohteen seuraamusluokan (CC1...CC3, vrt. SFS-EN 1990 kansallinen liite) ja geoteknisen luokan perusteella.

### 4. SUOSITUKSIA PAALUTYYPIN, PAALUKOON SEKÄ PAALUTUSTYÖLUOKAN VALINTAAN JA SUUNNITTELUUN ERI SOVELLUSKOhteissa

SSAB:n teräspaalu- ja monipuolisien paalutyypin käyttökohteita ja etuja on esitetty RR- ja RRs-paalu-, RD- ja RDs-paalu- sekä RD-paalu- ja -paaluseinä -esitteissä.

Sopivan paalutyypin valintaan vaikuttavat ensisijaisesti pohjasuhteet, mutta suuri merkitys on myös yläpuolisilla rakenteilla ja ympäristön rakenteilla. Alla on esitetty ohjeita ja suosituksia paalutyypin, paalukoon, paalutustyöluokan valintaan.

#### Paaluille tulevat kuormat

Paaluille tulevien kuormien perusteella SSAB:n teräspaalut voidaan jakaa paalukokojen ja käyttökohteiden suhteen esimerkiksi seuraavasti:

<b>RR75–RR/RD140/8</b>	pientalo- ja muut suhteellisen kevyesti kuormitettavat rakenteet
<b>RR/RD140/8–RR/RD270</b>	monikerrosrakentamisen kohteet, kerrosluku noin 3–8
<b>RR/RD220–RR/RD500</b>	raskaat monikerrosrakentamisen kohteet (kerrosluku >5) tai teollisuusrakentamisen kohteet
<b>RR/RD140–RR/RD270</b>	paalulaattakohteet
<b>RR/RD220–RR/RD400</b>	meluestepaalut (yhden paalun perustukset)
<b>RR/RD500–RR/RD1200</b>	silta- ja satamarakentaminen sekä yli 10–15 kerroksiset rakennukset

Paalukoon valinnassa RR- ja RD-paalujen kesken tulee huomioida, että ehjään kallioon tukeutuessaan, RD-paalujen kestävyysmitoitussarvo on tyypillisesti selkeästi vastaavan kokoista RR-paalu suurempi (noin 1,2–2,0 kertainen). Monipuolisesta paalukovalikoimasta johtuen perustusrakenteet on aina mahdollista optimoida käyttämällä kohteessa useampaa (tyypillisesti kahta tai kolmea) paalukokoa.

#### Paalujen asennettavuus

RD-paalut voidaan asentaa kaikkiin maaperäolosuhteisiin. Äärimmäisen haastavissa olosuhteissa, esimerkiksi isolahkareisissa paksuissa täytemaakerroksissa, pienimillä RD-paaluilla (noin paalukoot RD90–RD140) riski paalujen käyritykseen voi hieman kasvaa verrattuna suuriläpimittaisiin RD-paaluille. Kalliopinnan ollessa erityisen vino, kalliopinnan ollessa lähellä maanpintaa (<3...5 m) ja olosuhteissa, missä kalliopinnan päältä puuttuu tukea antavat kitkamaakerrokset, on RD-paalu riskitön ratkaisu paalun alapään tukeutumisen suhteen.

Lyömällä asennettavien RR- ja RRs-paalujen tunkeutumiskyky kasvaa paalukoon suureutuessa. Kivisen tai lohkaraisen maan- tai täytemaakerroksen kivisyyden/lohkarisuuden, kivi-/lohkareiden, tiivyyden tai maakerroksen paksuuden kasvaessa lyömällä asennettavien paalujen sijainti- ja kaltevuuspoikkeamien riski lisääntyy. Samoin myös riski, että paalut käyristyvät tai eivät ulotu kantavaan maakerrokseen saakka kasvaa. RR-suurpaaluilla on läpäisty useita metrejä, jopa yli 20 metriä paksuja louhetäyttöjä onnistuneesti. Usein RR170 tai RR220 on riittävän jäykkä paalu läpäisemään suhteellisen paksuja kivisiä täytemaa- ja moreenikerroksia kantavaan pohjamuodostumaan saakka, kunhan kivien ja lohkaraiden koko ja määrä ei ole poikkeavan suuri. Kalliokärki parantaa paalun tunkeutumiskykyä. Pientalokohteissa kivisissä ja paksuisissa moreenimaissa on suositeltavaa käyttää vähintään paalukokoa RR115/6,3.

#### Paaluille asetettavat sijainti- ja kaltevuustoleranssit

Kun rakenteelle asetetaan tiukat sijainti- ja kaltevuustoleranssit, kuten esim. siirtotekniikalla rakennettavissa ratasilloissa, missä suurpaalu kiinnittyy kanteen ja toimii samalla pilarina, on RD-paalu riskittömän vaihtoehto. Myös vastaavissa talonrakentamisen kohteissa, missä paalu toimii samalla pilarina, on RD-paalu suositeltavin vaihtoehto. Tiukkoja toleransseja voidaan edellyttää myös perustusten vahvistuskohteissa tai teollisuusrakentamisen kohteissa.

#### Paalutuksen ympäristövaikutukset ja ympäristön lähirakenteet

Paalutuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja paalutyypin valintaan liittyviä asioita on käsitelty tämän ohjeen kappaleessa 6.7.



### Paalutustyöluokan valinta

Paalutustyöluokka on valittavissa pääosissa hankkeita PTL2 tai PTL3 kesken. CC3 seuraamusluokan hankkeissa geoteknisissä luokissa GL2 ja GL3 on käytettävä aina paalutustyöluokkaa PTL3.

Pientalokohteissa paalukuormien ja geoteknisen kestävyiden varmistamisen kannalta suositellaan käytettäväksi paalutustyöluokkaa PTL2. Pientalokohteissa PTL3 voi tulla kyseeseen, kun pohjaolosuhteet ovat poikkeukselliset ja/tai paalujen määrä suuri (useiden pientalojen kohde).

PTL3 kannattaa harkita käytettäväksi RR- ja RRs-paaluilla, kun paalumäärät ovat vähintään kohtuulliset tai kun halutaan minimoida paalutuksen ympäristövaikutuksia. Tällöin suuremmasta paalunkestävyyden mitoitusarvosta johtuen voidaan paalujen lukumäärä vähentää PTL2:n verrattuna suurimmillaan noin 15–20 %. Suurpaaluilla kantavuuden varmistaminen on tehtävä aina dynaamisella kuormituskokeilla. Tällöin rakenteiden optimoinnin kannalta usein on suositeltavaa käyttää paalutustyöluokkaa PTL3.

RD-paaluilla on suositeltavaa käyttää alinta seuraamusluokan ja geoteknisen luokan sallimaa paalutustyöluokkaa.

### Asennuskaluston huomioiminen suunnittelussa ja paalukoon valinnassa

RR/RRs-paalut on asennettavissa kevyillä peruskoneilla (<20...25 t) noin paalukokoon RR170 saakka ja RD/RDs-paalut paalukokoon noin RD270...RD320 saakka. Kevyiden peruskoneiden avulla voidaan erityisesti hyvin pehmeillä pohjamailla käyttää oleellisesti ohuempia paalutustyöalustoja kuin painavilla (>40...60 t) paalutuskaalustoilla. Kevyen asennuskaluston aiheuttamat paalutuksen ympäristövaikutukset (lähinnä tärinä) pysyvät myös vähäisinä.

## 5. PAALUJEN RAKENTEEN JA GEOTEKNINEN SUUNNITTELU

### 5.1 Paaluperustuksen tarkasteltavat rajatilat

Paaluperustuksen suunnittelussa tulee tarkastaa PO-2016 4.1 kohdan mukaiset rajatilat ottaen huomioon kohteen ominaisuudet.

### 5.2 Teräspaaluperustuksen suunnitteluprosessi

Teräspaaluperustuksen suunnitteluun tavanomaisissa kohteissa, missä paaluihin kohdistuu pääasiassa aksiaalista kuormitusta, kuuluu:

- 1) Kohteeseen sopivan paalutyypin valinta:
  - pohjasuhteet; paalutettavuus ja paaluperustuksen toiminta
  - ylärakenteilta ja maapohjan siirtymisestä aiheutuvat kuormitukset
  - paalutusalueen ja ympäristön rakenteet ja olosuhteet
- 2) Paalutustyöluokan valinta PTL1...3 kohteen geoteknisen luokan (GL1...3) ja seuraamusluokan perusteella (CC1...3)
- 3) Paalujen geoteknisen kestävyden mitoitusarvon  $R_{d,geo}$  määrittäminen kohdan 5.5 mukaisesti
  - RR75–RR320 tukipaaluilla taulukko 22, loppulyöntiohjeet ja PTL3 lisäksi dynaamiset kuormituskokeet
  - RD-paaluilla geotekninen kestävyys ei ole yleensä mitoittava
  - RR-suurpaalut, dynaamiset kuormituskokeet
  - rakenteen jäykkyys (ei jäykkä tai jäykkä rakenne)
- 4) Paalujen rakenteellisen kestävyden mitoitusarvon  $R_{d,rak}$  määrittäminen kohdan 5.7 mukaisesti
  - korroosiovaran määrittäminen
  - RR75–RR320 ja RD90–RD320 normaalitapaukset taulukot 22 ja 23
  - RR- ja RD-paalujen mitoitusohjelma RRPileCalc ([www.ssab.fi/infra](http://www.ssab.fi/infra))
  - lyömällä asennettavilla paaluilla noudatetaan loppulyöntiohjeita (kohta 11), jolloin lyöntijännitykset pysyvät sallituissa rajoissa
  - RR270–RR1200 kalliokärjen rakenteellinen kestävyys (taulukot 4 ja 7) voi mitoittaa suurimman mahdollisen lyönnin- ja rakenteen kestävyden
- 5) Paalun kestävyden mitoitusarvon määrittäminen
  - paalun kestävyden mitoitusarvo  $R_d$  on pienempi arvo geoteknisestä  $R_{d,geo}$  tai rakenteellisesta  $R_{d,rak}$  kestävyyydestä
- 6) Paaluperustuksen siirtymien laskeminen tarvittaessa (kohta 5.8)
  - yksittäisen paalun painuma ja paaluryhmän siirtymät
- 7) Paalutuksen ympäristövaikutusten arviointi ja niihin varautuminen
  - paalutuksesta aiheutuvan tärinän, maan syrjäytymisen, huokosvesipaineen nousun ja pohjamaan tiivistymisen arviointi
  - ympäristövaikutuksiin varautuminen
    - paalutyypin valinta
    - paalutusjärjestys
    - seurantamittaukset
    - erikoistoimenpiteet

## 8) Paaluperustuksen rakennesuunnittelu

- paaluperustus suunnitellaan aina yhdessä sen varaan tulevien rakenteiden kanssa, jolloin perustuksen muoto, mitat ja jäykkyys voidaan valita koko rakenteen kannalta edullisimmaksi. Paaluperustuksen rakennesuunnittelussa otetaan huomioon mm.
  - paalujen liitokset yläpuoliseen rakenteeseen
  - sijainti- ja kaltevuustoleranssien määrittäminen paalutyyppin, pohjasuhteiden ja yläpuolisen rakenteen perusteella
  - paaluanturan korkeusasema
  - paalujen keskiötäisyydet
  - paalujen kaltevuudet
  - paalujen etäisyydet lähirakenteista
  - paaluanturan reunan etäisyys paalusta
  - muut tarkasteltavat rakenteelliset seikat

## 9) Pohjarakennussuunnitelman tulosteet

- rakennusselostus (työselitys)
  - pohjasuhteet
  - pohjarakennustyöt
    - paalutusta edeltävät työvaiheet ja työjärjestykseen vaikuttavat toimenpiteet, paalutus- alustat, kaivannot ym.
    - paalutukseen liittyvät kohdekohtaiset ohjeet mm. asentamista, paalutusjärjestyksestä, laadunvalvontamittauksista, erikoistoimenpiteistä
  - perustusrakenteet
- paaluperustuspiirustukset
- geotekniset ja rakenteen mitoituslaskelmat
  - normaalitapauksissa aksiaalisesti kuormitetun paalun rakenteen mitoituslaskelmat on helposti tehtävissä ja tulostettavissa RRPileCalc mitoitusohjelmalla ([www.ssab.fi/infra](http://www.ssab.fi/infra))
- toteumapiirustus

## 5.3 Kuormat ja mitoitusolot

Kuormien mitoitusarvojen tulee olla standardin SFS-EN 1991 eri osien ja niiden kansallisten liitteiden mukaisia. Nämä on soveltamisohjeineen sisällytetty julkaisuun RIL 201-1-2008. Maapohjan siirtymisestä aiheutuvat kuormitukset, kuten negatiivinen vaippahankaus, käsitellään mitoituksena paaluun kohdistuvana pysyvänä kuormana (tarkemmin kohdassa 5.9).

## 5.4 Pohjatutkimukset

Teräspaalujen suunnittelua varten tehtäviä pohjatutkimuksia säätelevät yleisellä tasolla Suomen rakentamismääräyskokoelma sekä standardit SFS-EN 1997-1 ja SFS-EN 1997-2. PO-2016 on esitetty talonrakentamisen pohjatutkimuksien yleiset vaatimukset, vaatimukset ja suositukset eri geoteknisissä luokissa ja perustusten vahvistuskohteissa sekä vaatimukset ja ohjeet geoteknisten tietojen esittämisestä. Infra-alalla noudatetaan voimassaolevia Väyläviraston ohjeita. Pohjatutkimusten yhteydessä on tehtävä riittävässä laajuudessa selvitykset lähirakenteista (johdot, putket, kaapelit, maanalaiset ra-

kenteet, rakennukset yms.), niiden sijainnista ja kunnosta, perustamistavoista sekä siirtymä- että värinäherkkyksistä.

Geotekniset tiedot ja geoteknisten tietojen arviointi esitetään pohjatutkimusraportissa PO-2016 osan 1 kohdan 3.3 mukaisesti. Pohjatutkimusraportista tulisi selvittää seuraavat oleellimmat seikat teräspaalujen suunnittelun ja mitoituksen kannalta:

- mitoituksessa käytettävä maan suljetun leikkauslujuuden ominaisarvo
  - tarvittaessa maakerroksittain ja/tai kohde jaoteltuna eri alueisiin, jos kohde suuri ja/tai suljettu leikkauslujuus vaihtelee huomattavasti
- mitoituksessa käytettävä korroosiovara
- arvio paalupituudesta ja mihin arvio perustuu
- arvio paalutustyöhön vaikuttavista pohjamaan ominaisuuksista kuten täyttöjen laatu, kivisyys ja paksuus, tiiviit/kiviset välikerrokset, moreenin tiiveys ja kivisyys, kallionpinnan kaltevuus
- kohteessa käytettävä lyötävän paalun kärkityyppi
- arvio negatiivisen vaippahankauksen esiintymisestä ja negatiivisen vaippahankauksen mitoitusarvon määrittäminen eri paaludimensioille ja tarvittaessa kohteen eri alueille

Kohteesta riippuen lisäksi:

- paalun aksiaalinen jousivakio käyttötilan siirtymätarkastelua varten (kts. kohta 5.8), tarvitaan periaatteessa aina PTL3:ssa, mutta myös PTL2:ssa, kun kyseessä on pitkät paalut
- maakerrosten geotekniset parametrit alustaluvun ja sivuvastuksen ääriarvojen määrittämiseksi, kun paaluihin kohdistuu vaakakuormaa ja/tai momenttia.

## 5.5 Geoteknisen kestävyden mitoitusmenetelmät ja tarkastelut

### 5.5.1 Geoteknisen mitoitusmenetelmän valinta teräspaaluille

Teräspaalujen geotekninen puristuskestävyys voidaan määrittää PO-2016 mukaisesti usealla eri tavalla, joiden käyttökelpoisuus on esitetty taulukossa 15.

### 5.5.2 Paalutetun rakenteen jäykkyys

Paalutetun rakenteen jäykkyys otetaan huomioon talonrakentamisen kohteissa PO-2016 ja infrarakentamisen kohteissa NCCI7:n ohjeistuksen mukaan. Tässä ohjeessa esitetyt korrelaatiokertoimet ja niiden avulla määritetyt mitoitusarvot perustuvat siihen, että rakenteet eivät ole ns. jykkiä rakenteita.

### 5.5.3 Iskuaaltoanalyysillä määritetyt kestävyudet

Iskuaaltoanalyysillä määritetyt loppulyöntiehdot ovat ensisijainen menetelmä lyömällä asennettaville RR75–RR320 paaluille paalutustyyloissa PTL1 ja PTL2.



Taulukko 15. Geoteknisten mitoitusmenetelmien soveltuvuus eri teräspaaluityypeille.

Paalu	staattinen koekuormitus	dynaaminen koekuormitus	pohjatuksiksiin perustuva	paalutuskaavoihin perustuvat loppulyöntiohjeet/mittaukset	iskuanalyysiin perustuvat loppulyöntiohjeet	vastaavanlaisen perustuksen käyttämiseen
RR-pienpaalut/tukipaalut PTL1–2	X	XX	X	XX	XXX	X
RR-pienpaalut/tukipaalut PTL3	X	XXX	X	XX	XX	X
RR-suurpaalut/tukipaalut	-	XXX	X	XX	XX	X
RR-pienpaalut/kitkapaalut	XX	XXX	XX	XX	XX	X
RR-suurpaalut/kitkapaalut	-	XXX	XX	XX	XX	X
Injektoitavat RR-paalut/kitkapaalut	XXX	-	XX	-	X	XX
Puristuspaalut	XXX	X	XX	-	-	XX
RD-paalut	X	X	XXX*	X	X	X
Vetopaalut	XXX	X	XX	-	X	X

XXX = ensisijainen menetelmä  
 XX = soveltuu  
 X = mahdollista tehdä, soveltuvuus arvioitava kohdekohtaisesti  
 - = ei sovellu teknisesti tai on epätaloudellinen menetelmä  
 XXX\* = RD-paaluilla tarkoitetaan tässä, että kallionpinta luotettavasti määritetty tai että vaippavastukseen perustuvilla RD-paaluilla kantavuus määritetään laskennallisesti

Ohjeen kohdassa 11 ja liitteessä 2 on eri lyöntilaitteille, paaluille ja paalupituuksille (5, 10, 20 ja 30 m) määritetty loppulyöntiehtodot yksiulotteiseen iskuvaaloteoriaan perustuen GRLWEAP-ohjelmalla. Korrelaatiokertoimen  $\xi_5$  on PO-2016 osan 1 kohtien 4.5.2.4 ja 4.5.2.6 mukaisesti käytetty 1,47 (1,40 x 1,05). Loppulyöntitaulukoissa on esitetty tavoiteltu geotekninen murtokestävyyden  $R_c$  eri paalutustyöluokissa, murtokestävyyksiä vastaavat geoteknisen kestävyyden mitoitusarvot  $R_d$  ja kullekin lyöntilaitte-paalu-yhdistelmälle loppulyöntiehtodot. Mitoitusarvo  $R_d$  saadaan:

$$R_d = R_c / (\xi_5 \times \gamma_r) = R_c / (1,47 \times 1,20) = R_c / 1,764 \quad (1)$$

Loppulyöntiehtodoissa ja taulukossa 22 esitettyjä  $R_d$  arvoja voidaan käyttää suunnittelussa suoraan paalutustyöluokassa PTL1 ja PTL2 ja paalun geotekninen kestävyys on varmennettu, kun loppulyöntiohjeet ovat täyttyneet.

Taulukossa 22 PTL3:ssa geoteknisen kestävyyden mitoitusarvot on laskettu kaavan (1) mukaisesti. Mitoitusarvoja voidaan käyttää suunnittelun lähtöarvoina. Paalujen geotekninen kestävyys on aina PTL3 kohteissa varmennettava koekuormituksilla. PTL3 kohteissa myös koepaaluksen jälkeen käytettävä loppulyöntikriteeri määritetään koekuormitusten tuloksista.

#### 5.5.4 Dynaamisilla koekuormituksilla määritetyt kestävydet

Dynaamisilla koekuormituksilla määritetyt kestävydet soveltuvat kitka- ja tukipaaluille paalukooilla RR75–RR1200 kaikissa paalutustyöluokissa. Talonrakentamisen kohteis-

sa lyömällä asennettavilla paaluilla paalutustyöluokassa PTL3 on aina käytettävä dynaamisia koekuormituksia. Suuriläpimittaisilla paaluilla PTL2:ssakin on suositeltavaa tehdä aina koekuormituksia.

Korrelaatiokertoimet ja korrelaatiokertoimiin liittyvät mallikertoimet on esitetty PO-2016 osan 1 kohdassa 4.5.2.4. RRPileCalc mitoitusohjelma laskee korrelaatiokertoimet sekä koekuormitusten minimi- ja keskiarvotavoitteet automaattisesti annettujen lähtötietojen perusteella.

Dynaamisiin koekuormituksiin perustuva mitoitus voidaan tehdä periaatteessa kahdella eri tavalla.

- 1) Geoteknisen kestävyyden mitoitusarvo valitaan paalutustyöluokan perusteella taulukosta 22 ja tämän perusteella lasketaan dynaamisten koekuormitusten minimi- ja keskiarvotavoitteet.
- 2) Arvioidaan, kuinka suuri geotekninen murtokestävyyden ko. paaluityypillä kohteen pohjaolosuhteissa voidaan luotettavasti saavuttaa ottaen huomioon paalutustyöluokan suurin sallittu lyönninkestävyys (Liite 1) ja tämän ja tehtävien dynaamisten koekuormitusten perusteella lasketaan geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo.

#### 5.5.5 Paalutuskaavoilla määritetyt kestävydet

Paalutuskaavojen käyttö tulee kyseeseen paalutustyöluokassa PTL1 tai PTL2 esimerkiksi tilanteissa, missä lyöntityöhön käytetty lyöntilaitte ei loppulyöntitaulukon

mukaan pysty mobilisoimaan riittävää geoteknistä murto-kuormaa ja geotekninen kestävyys varmistetaan erillisellä koekuormitusjärjälleellä ilman dynaamista kantavuusmitausta. Paalutuskavaa käytetään PO-2016 osan 1 kohdan 4.5.2.5 mukaisesti.

### 5.5.6 Pohjatutkimusten perusteella määritetyt kestävyudet

Geoteknisen kestävyuden määrittäminen pohjatutkimusten perusteella tehdään PO-2016 osan 1 kohdan 4.5.2.3 mukaisesti. Suunnittelussa suositellaan käytettäväksi ns. vaihtoehtoista menetelmää, missä tuki- ja kitkapaaluilla käytetään mallikerrointa  $\geq 1,6$  ja koheesiopaaluilla  $\geq 1,95$  pitkäaikaisessa kuormituksessa ja  $\geq 1,40$  lyhytaikaisessa kuormituksessa.

Teräspaaluja osalta pohjatutkimustulosten perusteella voidaan määrittää sekä sileiden että injektoitujen kitkapaalujen kantavuus, mutta on suositeltavaa, että kantavuus määritetään myös staattisilla tai dynaamisilla koekuormituksilla. Kevytrakenteisten melusteiden perustuspaalujen geoteknisen puristuskestävyyden laskentaan menetelmä sopii hyvin.

Paalujen kärki- ja vaippavastusta voidaan arvioida joko maan kitkakulman tai koheesion perusteella tai suoraan kairausvastuksen perusteella PO-2016 mukaisesti.

#### 5.5.6.1 Avoimien teräspuutkipaalujen geoteknisen kestävyuden erityispiirteet

Kärkivahvistetuilla (vaipan ulkopinnalla oleva teräspanta) avoimilla teräspaaluilla alustavissa tarkasteluissa voidaan ulkopuolisen vaippavastuksen arvioida pienenevän 50 % tiiviissä karkearakeisessa maakerroksessa tai moreenikerroksessa ja löyhässä maakerroksessa 25% verrattuna PO-2016 esitettyihin taulukkoarvoihin tai staattisiin kantavuuskaarvoihin. Kärkivastus kasvaa kärjen pinta-alan kasvaessa.

Jos paalussa ei tapahdu minkäänlaista tulppaantumista, voidaan sisäpuolisen vaippavastuksen olettaa olevan alustavissa tarkasteluissa puolet ulkopuolisesta vaippavastuksesta. Sisäpuolisesta vaippavastuksesta ja paalun teräspoikkileikkausalan kärkivastuksesta muodostuva kantavuus ei kuitenkaan saa ylittää vastaavan kokaisen tulppaantuneen paalun kärkivastuksesta muodostuvaa kantavuutta.

#### 5.5.6.2 Maakerrokseen tukeutuvien injektoitavien RR-paalujen geotekninen kestävyys

Injektoitujen paalujen mitoittava geotekninen halkaisija ( $d_a$ ) voi olla suurempi kuin paalussa käytetyn avartimen halkaisija ( $d_0$ ). Halkaisijan kasvu johtuu asennustavan laastin paineistavasta vaikutuksesta, jolloin laasti sekä syrjäyttää että jossakin määrin sekoittuu paalua ympäröiviin maakerroksiin.

Mitoittava geotekninen halkaisija voidaan määrittää esimerkiksi koepaaluista tehdyillä mittauksilla tai käyttämällä tietoa vastaavissa pohjasuhteissa tehdyistä vaippainjektoituista pienpaaluista. Mitoittavan halkaisijan suuruutta voidaan arvioida kaavalla 2.

$$d_a = a \cdot d_0 \quad (2)$$

$d_a$  mitoittava geotekninen halkaisija  
 $a$  kerroin, joka riippuu maalajista, laastin paineesta jne.  
 $d_0$  paalussa käytettävän avartimen halkaisija

Eri maalajeissa kerroin  $a$  voi vaihdella seuraavasti:

savi	$a = 1,0$
siltti	$a = 1,0...1,1$
hiekkä, sora	$a = 1,1...1,2$
moreeni	$a = 1,0...1,2$

Vaippainjektoitujen RR-paalujen vaippakestävyyskerrotoimena  $K_s \tan \phi_0$  voidaan käyttää taulukon 16 vaippakestävyyskerroimia ja kärkikestävyuden osalta mitoitus tehdään vastaavasti kuin injektoimattomalla paalulla. Vaippa- ja kärkikestävyuden arvioimiseen voidaan käyttää myös kairausvastukseen perustuvia arvoja PO-2016 osa 1 taulukot 4.6 ja 4.8.

#### 5.5.6.3 Kallioon porattujen RD-paalujen geotekninen kestävyys

Ehjään suomalaiseen kallioon tukeutuvan paalun kärkikestävyys ei yleensä ole mitoittava, vaan kestävyys määrittyy paalun rakenteen kestävyuden perusteella.

Paalun kärki oletetaan kallioon tukeutuvaksi, kun sekä poraushavainnot että pohjatutkimukset tukevat tulkintaa samanaikaisesti.

RD-paalujen kalliokontaktin laatu varmistetaan poraamalla paalu vähintään  $3 \cdot d$ , kuitenkin vähintään 0,5 m ehjään kallioon. Kun kallionpinta on pohjatutkimusten perusteella todettu tai arvioidaan olevan hyvin kalteva tai

Taulukko 16. Vaippakestävyyskerroin  $K_s \tan \phi_0$  injektoiduille paaluille karkearakeisissa maalajeissa

	Maan sisäinen kitkakulma [°]							
	28	30	32	34	36	38	40	42
$K_s \tan \phi_0$	1,2	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	2,9	3,4

paalujen porausten aikana todetaan olevan hyvin kalteva (> 30 astetta), porapaalu porataan vähintään 4-d syvyyteen ehjään kallioon. Suuremmilla, yli 300 mm halkaisijaltaan olevilla porapaaluilla turvallisena upotussyvyytensä kallioon voidaan pitää 3-d, mutta yli 1,5 m syvyydelle kallioon poraaminen ei ole yleensä tarkoituksenmukaista Suomen kallioperässä. Väyläviraston siltakohteissa noudatetaan RD-paalun poraussyvydestä kallioon ja liitosjäykkyydestä ”Sillan geotekninen suunnittelu”-julkaisussa annettuja mitoitus- ja toteutusohjeita.

Ehjään kallioon yli 1,5 m syvyyteen poraaminen voi tulla kyseeseen, esim. kun paalujen asennuksen jälkeen tehdään kaivu- ja/tai louhintatöitä paalujen välittömässä läheisyydessä. Turvallisena paalujen tavoitetasona kalliossa voidaan pitää 3 metriä louhintatason alapuolella, kun louhintatyö tehdään tavanomaisesti. Mikäli tavoitetaso on em. 3 metriä ylempänä, on louhinnan suunnittelussa ja toteutuksessa otettava tarkasti huomioon kallion ominaisuudet ja louhinnassa tapahtuva kallion rikkoontuminen.

Käytettäessä porauksessa rengasavartimia, RD-paalujen alapään kalliokontakti säilyy upotuksen lopetuksen jälkeen. Kun RD-paalu täytetään juotoslaastilla tai betonilla osittain tai kokonaan, siirtyvät kuormat paalulta kallioon koko paalun pohjan pinta-alan kautta.

Rikkonaisessa kalliossa paalut porataan syvemmälle, kunnes ollaan ehjässä kalliossa tai käytetään kallion injektointia tai arvioidaan geotekninen kestävyys tapauskohtaisesti. Geoteknisen kestävyysmitoitus voidaan tehdä laskennallisesti, mikäli rikkonaisen kallion lujuusominaisuudet voidaan arvioida tai määrittää riittävällä luotettavuudella.

RD-paalujen kalliokontakti porauksen päättymisen jälkeen varmistetaan lyömällä ”loppu- tai tarkastuslyönnit” poravasaralla jokaisen paalun yläpäähän.

RD-paalujen geoteknisessä mitoituksessa voidaan käyttää hyväksi paalun vaippakestävyttä kalliossa. Vaippavastuksen hyödyntäminen saattaa tulla kysymykseen esimerkiksi, jos paalu tukeutuu kallion heikkousvyöhykkeeseen tai paaluun kohdistuu vetokuormituksia. Pystykuormitetuilla RD-paaluilla, jotka mitoitetaan vaipallaan kantaviksi, kallioreiän ja teräsosien välinen etäisyys tulee olla vähintään 15 mm. RD-paalun vaippakestävyttä kalliossa voidaan hyödyntää esimerkiksi poraamalla RD-paalu aluksi kallion pintaan, jonka jälkeen porausta jatketaan pienemmällä porakruunulla syvemmälle kallioon. Porareikä huuhdellaan puhtaaksi, täytetään betonilla, juotoslaastilla tai injektointiaineella, jonka jälkeen reikään asennetaan keskittäjillä varustettu teräsputki, minkä ulkohalkaisija on vähintään 30 mm pienempi kuin kallioreiän halkaisija. Teräksen ja juotoslaastin ja juotoslaastin ja kallion välisen tartuntajännityksen arvot on esitetty PO-2016 osan 1 taulukossa 4.9.

Väyläviraston oppaassa ”Kallioperän merkitys porapaalutuksen suunnitteluun” on kuvattu tarkemmin kallion rakenteen ja ominaisuuksien vaikutusta kallioon tukeutuviin porapaalujen toimintaan.

### 5.5.7 Staattisilla koekuormituksilla määritetyt geotekniset kestävyudet

Staattisia koekuormituksia käytetään lähinnä injektointien RR-paalujen, RR-puristuspaalujen ja vedettyjen paalujen geoteknisessä mitoituksessa. Nopeissa koekuormituksissa PO-2016 osan 1 taulukoiden 4.1 ja 4.2 korrelaatiokertoimet kerrotaan luvulla 1,2. Nopeissakin kuormituksissa suurimman kuorman kuormitusportaan siirtymää tulee seurata vähintään 5 minuutin ajan. Painumanopeus seurantajakson viiden viimeisen minuutin aikana tulee olla alle puolet ensimmäisen viiden minuutin jakson painumasta.

### 5.6 Vedettyjen paalujen geotekninen mitoitus

Vedettyjen paalujen geotekninen mitoitus tehdään PO-2016 kohdan 4.5.3 mukaisesti.

Käytettäessä mekaanisia jatkoksia paalujen jatkamisessa, vetokestävyysmitoitusarvo tulee rajoittaa maksimissaan jatkoksen vetokestävyysmitoitukseen, mikä on RR-lyöntipaaluilla 15 % puristuskestävyydestä ja RD-paaluilla 50 % puristuskestävyydestä.

RD-paaluilla, käytettäessä tavanomaisia maakenkiä ja avarrinkruunuja, ei voida ottaa huomioon mitoituksessa kallioreiän ja paaluputken väliin mahdollisesti tunkeutuvaa injektointiainetta tai betonia paalun betonoinnin jälkeen ilman tarkempaa selvitystä.

Mikäli paaluissa käytetään ankkureita, on koko paaluun kohdistuva vetovoima otettava ankkurilla.

### 5.7 Rakenteen kestävyys

#### 5.7.1 RR-paalujen asennuksen aikainen kestävyys

Lyöntipaaluilla rakenteen kestävyys tulee rajoittaa eri paalutustyöluokassa PO-2016 seuraavasti:

*Taulukko 17. Geoteknisen kestävyysmitoitusarvojen ominaisarvojen maksimiarvo lyömällä asennettavilla paaluilla ja suurin keskeinen lyöntivoima.*

Suurin sallittu puristusrasituksen aikaansaava keskeinen lyöntivoima asennettaessa* $N_{lyönti(-)}$	Suurin kestävyysmitoitusarvo $R_{C,max}$
$\leq 0,9 \times f_{yk} \times A_s$	PTL3: $R_{C,max} \leq N_{lyönti(-)}$
	PTL2: $R_{C,max} \leq 0,8 \times N_{lyönti(-)}$
	PTL1: $R_{C,max} \leq 0,6 \times N_{lyönti(-)}$
*kun jännityksiä/lyöntivoimaa mitataan lyöntityön aikana, voidaan em. jännitystaso ylittää enintään 20 % (lyöntijännitys $\leq 1,08 \times f_t$ ) (SFS-EN 12699).	

Liitteessä 1 on esitetty kaikille RR-paaluille eri paalutustyöluokkien suurimmat lyöntinoinaikaisten kestävyysmitoitusarvojen  $R_{C,max}$ -arvot.

### 5.7.2 Käytön aikainen rakenteen kestävyys

Paalun rakenteen kestävyys tarkastetaan sekä paalurakenteen että maan murtumisen suhteen Paalutusohjeen PO-2016 mukaisesti.

Paalujen puristuskestävyys nurjahduksen suhteen tarkistetaan olosuhteissa, joissa paalut saattavat nurjahtaa riittävän sivutuen puuttuessa. Maan sivutuenta ei yleensä käytetä hyväksi, kun paalun ympärillä olevan eloperäisen maakerroksen leikkauslujuus on pienempi kuin  $5 \text{ kN/m}^2$ . Tällöin paalu mitoitetaan pilarina ja nurjahduspi-tuudessa huomioidaan pohjasuhteet sekä paalujen ylä- ja alapään rakenteellinen liitos.

Aksiaalisesti kuormitetun paalun nurjahdusmurtokestävyys lasketaan PO-2016 4.7.5 esitetyllä menetelmällä, missä paalun oletetaan olevan koko nurjahduspituudeltaan hienorakeisen maakerroksen ympäröimä. Mitoituksessa käytetään pohjamaalle koko nurjahduspituudelle vakiosuuruisia jousiarvoja. Karkearakeisessa maakerroksessa esitettyä laskentatapaa voidaan käyttää arvioimalla nurjahduspituus ja käyttämällä esim. varovaista kitkamaan jousiarvoa koko nurjahduspituudelle.

Aksiaalisesti kuormitettujen paalujen nurjahdustarkasteluissa otetaan huomioon asentamisen jälkeinen alkutaipuma ennen kuormitusta. Paalun geometrinen alkutaipuman arvona suunnitteluvaiheessa voidaan käyttää taulukkoarvoja välillä  $L_{cr}/200 \dots L_{cr}/800$ . Taulukon suuremman jakajan eli suuremman kaarevuussäteen arvoja voidaan käyttää, kun asentamisolosuhteet ovat helpot ja pienemmän jakajan arvoja, kun asennusolosuhteet ovat etukäteen arvioituna hankalat. Jatketulle paalulle suositeltua arvoa käytetään ainoastaan, jos jatkos sijaitsee nurjahduspituudella  $L_{cr}$  pehmeässä maakerroksessa.

Taulukko 18. SSAB:n teräspaaluilla suunnittelussa käytettävät alkutaipuman arvot.

	Jatkamaton paalu	Jatkettu paalu
<b>Alkutaipuma <math>\delta_y</math> [m], RR- ja RRs-paalut sekä injektoidavat RR-paalut</b>	$L_{cr}/300 - L_{cr}/600$	$L_{cr}/200 - L_{cr}/400$
<b>Alkutaipuma <math>\delta_y</math> [m], RD- ja RDs-paalut</b>	$L_{cr}/500 - L_{cr}/800$	$L_{cr}/300 - L_{cr}/600$

Jos paalun suoruus mitataan esimerkiksi taskulampulla tai inklinometrillä, voidaan suunnittelussa käyttää mittaus-

ten perusteella määritettyä kaarevuussädettä. RRPileCalc mitoitusohjelmalla voidaan helposti laskea, mikä on paalun rakenteen mitoituksessa käytetty kaarevuussäde. Laskennallinen kaarevuussäde riippuu kriittisestä nurjahduspituudesta, mikä taas riippuu paalun jäykkyydestä, maan alustaluvusta ja paalun tehokkaasta leveydestä.

PO-2016 mukaisesti ja RRPileCalc mitoitusohjelmassa maan lujuuden osavarmuus kohdistetaan sivuvastuksen murtoarvoon laskennan päätteeksi.

Paalun rakenteen taivutusmurtokestävyyden laskennassa huomioidaan teräspoikkileikkausluokat standardien SFS-EN 1993-1-1 ja SFS-EN 1994-1-1 mukaisesti.

Injektoiduilla RR-paaluilla paalun tehokkaana halkaisijana nurjahdusmitoituksessa käytetään avartimen halkaisijaa. Rakenteen taivutusmurtokestävyydessä paaluputken ulkopuolista laastivaippaa ei huomioida.

Mikäli paalua kuormittaa normaalivoiman lisäksi ulkoinen taivutusmomentti ja/tai vääntömomentti ja/tai leikkausvoima, on paalut tai se osa paalua, johon kyseinen rasitus kohdistuu, mitoitettava yhdistetyille rasituksille.

Ohjeen kohdissa 5.12 ja 5.13 on valmiiksi laskettuja rakenteen kestävyuden mitoitusarvoja 1,2 mm ja 2,0 mm korroosiovaroille.

### 5.7.3 Korroosio

Suojaamattoman teräspaalun keskimääräiseksi korroosio-aksi tavanomaisissa olosuhteissa maan sisällä otaksutaan vähintään 1,2 mm sadassa vuodessa paalun ulkopuolista syöpyvää pintaa kohti. Korroosio voidaan jättää huomioon ottamatta alapäästään suljettujen teräsputkipaalujen ja betonilla täytettyjen paalujen sisäpinoilla.

Korroosion suuruus riippuu paalua ympäröivistä olosuhteista. Taulukossa 19 on esitetty suuntaa-antavia arvoja teräspaalujen korroosion aiheuttaman keskimääräisen pinnan syöpymistä varten eräissä olosuhteissa. Taulukon suositukset on alun perin esitetty standardissa SFS-EN 1993-5.

Vaihtoehtoisesti voidaan betonilla täyttämättömien paalujen korroosion suuruuden arvioinnissa käyttää eräissä tavanomaisissa olosuhteissa taulukon 20 mukaisia arvoja. Taulukko perustuu korroosiohavaintojen tilastolliseen käsittelyyn, jossa olosuhteisiin liittyvä riski on otettu huomioon ns. kuoppakorroosiotekijällä ja mahdollinen sisäpuolinen korroosio teoreettisilla laskelmilla.

Mikäli pohjasuhteet osoittautuvat tavanomaisesta poikkeaviksi, voidaan soveltaen noudattaa taulukkoa 19. Epäselvissä tapauksissa on syytä käyttää korotettua ylimitoitusta tai käyttää korroosionsuojausmenetelmiä.

Taulukko 19. Korroosion aiheuttama keskimääräinen pinnan syöpymä [mm] maassa oleville suojaamattomille teräspaaluille pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolella (SFS-EN 1993-5).

Tavoite käyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
<b>Tavanomaiset olosuhteet</b>					
Häiriintymättömät luonnonmaat (hiekkä, siltti, savi, ...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Tiivistämättömät, ei-aggressiiviset kivennäismaatäytöt (savi, hiekkä, siltti, ...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
<b>Tavanomaisesta poikkeavat tai aggressiiviset olosuhteet</b>					
Saastuneet luonnonmaat ja teollisuusalueiden maa-alueet	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressiiviset luonnonmaat (suo, räme, turve, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Tiivistämättömät, aggressiiviset täytöt (tuhka, kuona, ...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
Huom. Korroosionopeudet tiivistetyissä täytöissä ovat pienempiä kuin tiivistämättömissä. Tiivistetyissä täytöissä tiivistämättömän täytön luvut voidaan jakaa kahdella. Annetut arvot ovat ohjeellisia. Paikalliset olosuhteet täytyy ottaa huomioon. 5 ja 25 vuoden käyttöikää vastaavat arvot perustuvat mittauksiin; muut arvot on ekstrapoloitu. Korroosio ilmassa sadassa vuodessa: 1 mm normaali-ilmastossa ja 2 mm lähellä merta.					

Taulukko 20. Betonoimattomien pienpaalujen mitoittava korroosio 100 vuodessa eri olosuhteissa.\*

Olosuhteet	Korroosio 100 vuodessa [mm]
Homogeeniset luonnonmaaosuhteet pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolella	1,2
Tiivistetyt kivennäismaatäytöt pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolella	1,5
Tiivistämättömät kivennäismaatäytöt pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolella	2,0

\* Jouko Törnqvist: "Teräsputki- ja teräspaalujen korroosio – Mitoitus empiiriseen aineistoon pohjautuen", VTT 2004.

Taulukko 21. Makeaan veteen tai meriveteen asennettujen paalujen ja ponttien korroosiosta aiheutuvan paksuuden ohenemisen suositeltavat arvot [mm] (SFS-EN 1993-5).

Suunnitelmassa edellytetty käyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
Tavallinen makea vesi (joki, laivakulkuinen kanava, ...) suuren rasituksen alueella (vesiraja)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Erittäin saastunut makea vesi (viemäri, teollisuusjätevesi, ...) suuren rasituksen alueella (vesiraja)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Merivesi lauhkeassa ilmastossa suuren rasituksen alueella (matala vesi ja roiskealueet)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Merivesi lauhkeassa ilmastossa pysyvästi veden alla olevalla alueella tai vuorovesialueella	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50
Huomautukset: 1) Korroosionopeus on yleensä suurin roiskealueella tai vuorovesialueella laskuvien tasolla. Useimmissa tapauksissa suurimmat taivutusjännitykset kuitenkin esiintyvät pysyvästi veden alla olevalla alueella. 2) 5 ja 25 vuoden arvot perustuvat mittauksiin, kun taas muut arvot on ekstrapoloitu.					

Olosuhteiden tavanomaisuus todetaan pohjatutkimuksilla ja alueen historiatietojen perusteella tilanteissa, joissa ei ole aihetta olettaa maapohjan pilaantumista. Epävarmoissa olosuhteissa voidaan tehdä erityistutkimuksia, joiden perusteella todetaan, että erikseen määritetyt aggressiivisen olosuhteen raja-arvot eivät ylity. Väyläviraston siltakohteissa noudatetaan korroosiomitoituksessa ja korroosiotutkimuksissa ”Sillan geotekniset suunnitteluperusteet”-julkaisussa annettuja ohjeita.

Kevytsoratäytöissä suositellaan teoreettisen pistekorrosion estämiseksi käytettävän suojaamattomien teräs-paalujen ympärillä suodatinkangasta, rakennusmuovia tai muoviputkea, millä estetään kevytsorarakkeiden ja teräksen suora kontakti.

Veteen asennettujen paalujen korroosion arvioimisessa voidaan käyttää taulukon 21 arvoja. Ei-tavanomaisissa olosuhteissa, kuten kohteissa, missä paalujen pintaan kohdistuu mekaanista rasitusta esim. alusten potkurirroista johtuen, tulee käyttää suurempia korroosion arvoja. Taulukon suositukset on alun perin esitetty standardissa SFS-EN 1993-5.

Käytettäessä sementtipohjaista injektointiainetta, juotoslaastia tai betonia teräs-paalujen korroosiosuojauksena, voidaan korroosiomitoituksessa ja suojakerroksen paksuuden määrittämisessä käyttää PO-2016 osan 1 taulukoita 4.26 ja 4.27

Teräs-paaluissa on mahdollista käyttää ulkopuolisia pinnoitteita korroosiosuojana, vaikka seinämäpaksuuden ylimitoitus on yleensä suositeltava menetelmä. Ulkopuolisin pinnoitteina tulee kyseeseen suojaamaalaus tai kolmikerroksinen HDPE-pinnoite. Pinnoite on valittava siten, että se kestää asennusaikaiset rasitukset. Suojaamaalaus soveltuu hyvin paaluihin, jotka asennetaan veteen ja suojaamaalauksella halutaan lisätä kestoikää esim. aggressiivisimmassa roiskevyöhykkeessä. Suojaamaalauksen kestoikää voidaan arvioida standardin SFS-EN 12944-5 mukaisille suojaamaaliyhdistelmille. Maahan lyötävillä paaluilla on aina olemassa pinnoitteen vaurioitumisriski ilman erikoistoimenpiteitä. Porattavilla paaluilla olosuhteissa, missä maassa ei ole kiviä tai lohkarkeitä, voi olla mahdollista käyttää lujia DIN 30670 mukaisia kolmikerroks HDPE-pinnoitteita siten, etteivät ne vaurioidu. Pinnoitteen käyttö tulee harkita tällöinkin tapauskohtaisesti ja esim. varmistaa pinnoitteen kestävyys koeeasennuksilla.

Sähköisiä suojausmenetelmiä käytettäessä on otettava huomioon järjestelmän vaatima sähkövirta tai uhrautuvi- en anodien vaihdettavuus/kestoikä.

### **5.8 Paaluperustuksen pystysuuntaiset siirtymät**

Paaluperustuksen pystysuuntaiset siirtymät tarkastellaan tarvittaessa PO-2016 kohdan 4.5.4 mukaisesti. Yleensä tiiviiseen moreeniin tai kalliioon tukeutuvilla teräs-paaluilla painumien tarkastelua ei tarvitse tehdä, mikäli paalujen murtorajatilatarkastelut on tehty. Kuitenkin esimerkiksi

perustusten vahvistuskohteissa, erityisesti pitkillä paaluilla, paalujen kimmoinen kokoonpuristuma voi tulla mitoit-tavaksi, jonka vuoksi paalut usein esikuormitetaan.

Pystysuuntaisten siirtymien arvioinnin tulee sisältää sekä yksittäisen paalun painuman että ryhmävaikutukses-ta johtuvan painuman sekä mahdollisesta epätasaisesta painumasta aiheutuvat rakenteen kiertymät ja kaltevuuden muutokset.

Vedetyissä paaluissa ylöspäin suuntautuvien siirtymien arviointi tulee tehdä samojen periaatteiden mukaisesti. Jos käyttörajatilalle on asetettu erittäin tiukat kriteerit, ylöspäin suuntautuvista siirtymistä tulee tehdä erillinen tarkastelu.

### **5.9 Negatiivisen vaippahankauksen huomioiminen mitoituksessa**

Negatiivinen vaippahankaus otetaan huomioon PO-2016 osan 4.2.2.2 mukaisesti alaspäin vaikuttavana kuormana.

Talonrakentamisen kohteissa negatiivisen vaippahankauksen mitoitussarvo saadaan kertomalla negatiivisen vaippahankauksen ominaisarvo kertoimella 1,2. Kun lyhytaikaisen kuorman mitoitussarvo on suurempi kuin negatiivisen vaippahankauksen mitoitussarvo, ei negatiivista vaippahankauksista oteta huomioon murtorajatarkastelussa.

Infrahankkeissa ominaisarvo kerrotaan pysyvän kuorman osavarmuusluvulla (kuormayhdistelmä 6.10a). Negatiivinen vaippahankaus ei vaikuta paaluun yhtä aikaa liikennekuormista syntyvien puristusrasitusten kanssa.

Pieniläpimittaiset teräsputkipaalut ovat mitoituksellisesti edullisia vrt. perinteisiin paalutyyppeihin negatiivisen vaippahankauksen suhteen, koska paalujen vaipan pinta-ala on pieni ja paaluihin kohdistuva vaippahankaus usein jää pienemmäksi kuin lyhytaikainen kuorma. Toisaalta vähän maata syrjäyttävänä pieniläpimittaiset lyöntipaalut ja huolellisesti asennettuina suuretkaan RD-paalut eivät aiheuta maanpinnan nousua ja sen jälkeen painumaa normaalisti konsolidoituneessa savessa. Tällöin paalujen asentamisesta ei aiheudu maan huomattavaa syrjäytymistä ja tilannetta, missä negatiivinen vaippahankaus tulisi ottaa PO-2016 mukaisesti huomioon.

Yksittäiseen paaluun kohdistuvan negatiivisen vaippahankauksen tarkka laskenta edellyttää sekä paalun painuman että maakerrosten painumalaskentaa. Yksinkertainen tapa normaalitapauksissa on arvioida, että negatiivista vaippahankauksista kohdistuu koko kokoonpuristuvan kerroksen matkalta ja vaippahankauksen suuruus voidaan arvioida suljetun leikkauslujuuden ja adheesio-kertoimen perusteella.

### **5.10 Poikittaiskuormitetut teräs-paalut**

Poikittaiskuormitettujen paalujen mitoituksessa noudatetaan PO-2016 osan 1 kohdan 4.6 periaatteita. Mitoitus



yleensä tehdään mitoitusohjelmien avulla, missä voidaan ottaa huomioon paalun jäykkyys, paalun ylä- ja alapään kiinnitys sekä maakerrosten ominaisuudet. Teräspaalujen taivutusjäykkyyksiä ( $EI$ ) sekä betonoimattomana että betonoituna ja raudoitettuna voidaan vaivattomasti laskea RRPileCalc mitoitusohjelmalla.

### 5.11 Lyhyet paalut

Suunnittelussa on otettava huomioon, että pienin hyväksytty lyömällä asennettu RR-paalun pituus maassa on:

RR75-RR220	1,5 m
RR245-RR320	2,0 m
RR400-RR600	2,5 m
RR650-RR1200	3,0 m

Alle 3 metrin mittaiset paalut kiinnitetään yleensä jäykästi ylärakenteeseen kohdan 6.1 mukaisesti. Porattaessa lyhyt (paalupituus alle 3 m) RD-paalu kallion sisään vähintään  $4d$ , ei paalua ole tarpeen kiinnittää jäykästi ylärakenteeseen.

RD-paaluilla ei ole tiettyä minimipituutta maassa vaan paalun pituus määritetään kohteen ominaisuuksien mukaan ja kallioon porattava osuus kohdan 5.5.6.3 mukaisesti.

### 5.12 RR- ja RRs-paalujen mitoitusaulukot, paalukoot RR75–RR320/12,5

RR- ja RRs-paalujen geoteknisen kestävyysmitoitussarvot on määritetty kohdan 5.5.4 mukaisesti iskualtoanalyyseillä laadittuja loppulyönnejä vastaaviksi. PTL3:ssa geotekninen kestävyys tulee varmistaa dynaamisilla koe-kuormituksilla kohdan 5.5.5 mukaisesti.

Maan jousivakiota laskettaessa alustalukukertoimena on käytetty 50 ( $k_s = 50 \times C_{u,k}/d_{eff}$ ) ja sivuvastuksen ääriarvon laskennassa kerrointa 9 ( $p_m = (9 \times C_{u,k}) / \gamma_{R,e}$ ).

Paalun nurjahdustarkastelu on tehty rakennemallilla, jossa maan kestävyys osavarmuusluku kohdistuu maata kuvaavien jousien kestävyysominaisuuksiin. Itse jouset on laskettu maan ominaisarvoja käyttäen. Maan kestävyys osavarmuusluku on käytetty oletusarvoa  $\gamma_{R,e} = 1,5$  (RIL 207-2009). Teräksen osavarmuusluku on käytetty SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti  $\gamma_{Si} = 1,0$ . Paalun rakenteen mitoitus on tehty teräsrakennemitoituksena. Paalun poikkileikkauksen rakenteellisen kestävyyslaskenta on kerrottu yksityiskohtaisesti RRPileCalc mitoitusohjelman (www.ssab.fi/infra) käyttöohjeessa.

Lähtöarvojen ollessa muuta kuin yllämainitut ja taulukossa 22 esitetyt, paalujen aksiaalinen rakenteellinen kestävyys on vaivattomasti tehtävissä RRPileCalc mitoitusohjelmalla.

Paalujen geoteknisen kestävyysmitoitussarvot eivät ri-

pu käytettävästä korroosiovarasta. Mikäli lyötävät RR- tai RRs-paalut betonoidaan ja mitoitetaan liittorakenteena, voidaan paalun rakenteen mitoitusarvoina käyttää RD-paalujen mitoitusarvoja (kohta 5.13) tai ne voidaan määrittää RRPileCalc mitoitusohjelmalla.

### 5.13 RD- ja RDs-paalujen mitoitusaulukot, RD90-RD/RDs320/12,5

Maan jousivakiota laskettaessa alustalukukertoimena on käytetty 50 ( $k_s = 50 \times C_{u,k}/d_{eff}$ ) ja sivuvastuksen ääriarvon laskennassa kerrointa 9 ( $p_m = (9 \times C_{u,k}) / \gamma_{R,e}$ ).

Paalun nurjahdustarkastelu on tehty rakennemallilla, jossa maan kestävyys osavarmuusluku kohdistuu maata kuvaavien jousien kestävyysominaisuuksiin. Itse jouset on laskettu maan ominaisuuksien ominaisarvoja käyttäen. Maan kestävyys osavarmuusluku on käytetty oletusarvoa  $\gamma_{R,e} = 1,5$  (RIL 207-2009). Teräksen osavarmuusluku on käytetty  $\gamma_{Si} = 1,0$  sekä teräsrakennemitoituksessa SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti että liittorakennemitoituksessa SFS-EN 1994-1-1 mukaisesti. Betonin/juotoslaatin lujuuden osavarmuusluku on käytetty  $\gamma_{ci} = 1,5$  SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti. Betonin lujuutena on käytetty C30/37. Paalun poikkileikkauksen rakenteellisen kestävyyslaskenta on kerrottu yksityiskohtaisesti RRPileCalc mitoitusohjelman (www.ssab.fi/infra) käyttöohjeessa.

Betonin/juotoslaatin tehokkaassa kimmomodulissa ( $E_{c,eff}$ ) otetaan huomioon betonin viruma ja pysyvän kuorman osuus kokonaiskuormituksesta standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti. Virumaluku on käytetty laskennassa  $\phi_t = 1,5$  ja pysyvän kuorman osuuden oletusarvo on 0,5.

Lähtöarvojen muuttuessa paalujen aksiaalinen rakenteellinen kestävyys on vaivattomasti laskettavissa RRPileCalc mitoitusohjelmalla.

Taulukko 22a. RR- ja RR<sub>s</sub>-paalujen rakenteen puristuskestävyyden mitoitusarvot sekä geoteknisen kestävyysmitoitussarvot eri paalutustyöluokissa. Rakenteen puristuskestävyys mitoitettu teräsrakenteena.

Korroosiovara 1,2 mm											
Paalu	Teräslaji	Alkutaipuma	Rakenteen puristuskestävyyden mitoitusarvo $R_d$ [kN] suljettu leikkauslujuus $c_{uk}$ [kPa]						Geoteknisen kestävyysmitoitussarvot $R_d$ [kN]		
			$\delta_g$	5	7	10	15	20	30	PTL1	PTL2
RR75	S460MH	$L_{cr}/400$	210	257	318	359	377	398	195	259	324
		$L_{cr}/600$	245	298	346	377	395	415			
RR90	S460MH	$L_{cr}/400$	274	336	406	439	458	481	230	307	384
		$L_{cr}/600$	320	389	427	460	479	501			
RR115/6,3	S460MH	$L_{cr}/400$	421	516	562	600	622	648	301	401	502
		$L_{cr}/600$	489	550	590	628	649	672			
RR115/8	S460MH	$L_{cr}/400$	464	568	694	751	786	826	376	502	627
		$L_{cr}/600$	541	657	730	788	822	860			
RR <sub>s</sub> 115/8	S550J2H	$L_{cr}/400$	464	568	703	854	903	961	450	600	749
		$L_{cr}/600$	541	657	807	896	946	1002			
RR <sub>s</sub> 125/6,3	S550J2H	$L_{cr}/400$	504	616	729	787	821	859	402	536	670
		$L_{cr}/600$	582	704	766	823	856	892			
RR140/8	S460MH	$L_{cr}/400$	653	799	901	965	1004	1048	466	621	777
		$L_{cr}/600$	758	877	947	1011	1047	1088			
RR <sub>s</sub> 140/8	S550J2H	$L_{cr}/400$	653	799	988	1107	1162	1225	557	743	929
		$L_{cr}/600$	758	921	1066	1160	1214	1275			
RR140/10	S460MH	$L_{cr}/400$	710	870	1078	1177	1233	1299	574	765	956
		$L_{cr}/600$	829	1007	1140	1236	1291	1353			
RR <sub>s</sub> 140/10	S550J2H	$L_{cr}/400$	710	870	1078	1334	1414	1509	686	915	1143
		$L_{cr}/600$	829	1007	1237	1401	1482	1577			
RR170/10	S460MH	$L_{cr}/400$	975	1194	1384	1488	1549	1621	700	934	1167
		$L_{cr}/600$	1134	1343	1455	1559	1618	1684			
RR <sub>s</sub> 170/10	S550J2H	$L_{cr}/400$	975	1194	1477	1700	1789	1893	837	1116	1396
		$L_{cr}/600$	1134	1377	1632	1784	1872	1971			
RR170/12,5	S460MH	$L_{cr}/400$	1057	1295	1604	1797	1887	1992	862	1149	1436
		$L_{cr}/600$	1234	1501	1736	1887	1976	2076			
RR <sub>s</sub> 170/12,5	S550J2H	$L_{cr}/400$	1057	1295	1604	2031	2158	2310	1030	1373	1717
		$L_{cr}/600$	1234	1501	1844	2133	2263	2413			
RR220/10	S460MH	$L_{cr}/400$	1519	1802	1929	2048	2118	2199	925	1233	1542
		$L_{cr}/600$	1751	1895	2023	2139	2204	2277			
RR <sub>s</sub> 220/10	S550J2H	$L_{cr}/400$	1519	1858	2193	2365	2466	2582	1106	1475	1843
		$L_{cr}/600$	1756	2117	2302	2474	2572	2679			
RR220/12,5	S460MH	$L_{cr}/400$	1654	2026	2331	2505	2607	2726	1142	1523	1904
		$L_{cr}/600$	1922	2265	2451	2624	2722	2832			
RR <sub>s</sub> 220/12,5	S550J2H	$L_{cr}/400$	1654	2026	2506	2865	3013	3185	1366	1821	2277
		$L_{cr}/600$	1922	2336	2752	3004	3151	3315			
RR245/10	S460MH	$L_{cr}/400$	1826	2072	2208	2334	2407	2492	1038	1384	1730
		$L_{cr}/600$	2025	2178	2313	2434	2501	2577			
RR <sub>s</sub> 245/10	S550J2H	$L_{cr}/400$	1826	2232	2522	2704	2810	2931	1241	1655	2069
		$L_{cr}/600$	2106	2448	2646	2826	2926	3038			
RR245/12,5	S460MH	$L_{cr}/400$	1992	2438	2682	2866	2974	3099	1284	1712	2140
		$L_{cr}/600$	2310	2619	2817	2998	3100	3215			
RR <sub>s</sub> 245/12,5	S550J2H	$L_{cr}/400$	1992	2438	3015	3293	3449	3629	1535	2047	2559
		$L_{cr}/600$	2310	2805	3183	3405	3603	3773			
RR270/10	S460MH	$L_{cr}/400$	2188	2674	2518	2651	2728	2817	1163	1551	1939
		$L_{cr}/600$	2332	2494	2635	2760	2831	2910			
RR <sub>s</sub> 270/10	S550J2H	$L_{cr}/400$	2188	2396	2540	2671	2748	2835	1391	1855	2319
		$L_{cr}/600$	2351	2514	2655	2779	2848	2926			
RR270/12,5	S460MH	$L_{cr}/400$	2391	2867	3074	3268	3382	3513	1441	1921	2401
		$L_{cr}/600$	2767	3016	3225	3414	3520	3639			
RR <sub>s</sub> 270/12,5	S550J2H	$L_{cr}/400$	2391	2926	3491	3770	3934	4123	1722	2296	2871
		$L_{cr}/600$	2767	3359	3665	3945	4104	4280			
RR320/10	S460MH	$L_{cr}/400$	2432	2555	2663	2763	2821	2889	1389	1852	2314
		$L_{cr}/600$	2553	2672	2773	2862	2913	2972			
RR <sub>s</sub> 320/10	S550J2H	$L_{cr}/400$	2739	2908	3056	3192	3270	3361	1660	2214	2767
		$L_{cr}/600$	2877	3045	3187	3312	3381	3460			
RR320/12,5	S460MH	$L_{cr}/400$	3177	3559	3786	3997	4120	4261	1722	2296	2870
		$L_{cr}/600$	3483	3740	3966	4166	4279	4405			
RR <sub>s</sub> 320/12,5	S550J2H	$L_{cr}/400$	3177	3883	4331	4636	4813	5016	2059	2745	3432
		$L_{cr}/600$	3663	4211	4542	4842	5010	5195			



Taulukko 22b. RR- ja RR<sub>s</sub>-paalujen rakenteen puristuskestävyyden mitoitusarvot sekä geoteknisen kestävyysmitoitussarvot eri paalutustyyloissä. Rakenteen puristuskestävyys mitoitettu teräsrakenteena.

Korroosiovara 2,0 mm											
Paalu	Teräslaji	Alkutaipuma	Rakenteen puristuskestävyyden mitoitusarvo $R_d$ [kN] suljettu leikkauslujuus $c_{uk}$ [kPa]						Geoteknisen kestävyysmitoitussarvot $R_d$ [kN]		
			$\bar{\sigma}_g$	5	7	10	15	20	30	PTL1	PTL2
RR75	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	191	234	284	307	321	338	195	259	324
		L <sub>cr</sub> /600	223	271	299	323	336	351			
RR90	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	251	308	350	376	391	408	230	307	384
		L <sub>cr</sub> /600	292	341	368	393	408	424			
RR115/6,3	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	388	453	484	513	530	550	301	401	502
		L <sub>cr</sub> /600	441	476	507	536	551	569			
RR115/8	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	435	532	623	671	699	732	376	502	627
		L <sub>cr</sub> /600	506	604	655	703	730	761			
RRs115/8	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	435	532	659	766	807	851	450	600	749
		L <sub>cr</sub> /600	506	614	734	803	844	890			
RRs125/6,3	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	464	567	631	676	701	731	402	536	670
		L <sub>cr</sub> /600	535	614	662	706	730	757			
RR140/8	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	613	751	808	861	892	928	466	621	777
		L <sub>cr</sub> /600	711	791	848	900	930	962			
RRs140/8	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	613	751	915	991	1036	1088	557	743	929
		L <sub>cr</sub> /600	711	863	961	1038	1082	1131			
RR140/10	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	675	827	999	1080	1128	1185	574	765	956
		L <sub>cr</sub> /600	787	956	1051	1133	1180	1232			
RRs140/10	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	675	827	1024	1228	1298	1380	686	915	1143
		L <sub>cr</sub> /600	787	956	1171	1289	1359	1438			
RR170/10	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	929	1138	1274	1364	1417	1479	700	934	1167
		L <sub>cr</sub> /600	1079	1242	1339	1428	1478	1535			
RRs170/10	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	929	1138	1407	1564	1641	1730	837	1116	1396
		L <sub>cr</sub> /600	1079	1310	1509	1640	1715	1799			
RR170/12,5	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	1016	1245	1542	1682	1762	1855	862	1149	1436
		L <sub>cr</sub> /600	1185	1441	1630	1765	1844	1932			
RRs170/12,5	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	1016	1245	1542	1906	2021	2156	1030	1373	1717
		L <sub>cr</sub> /600	1185	1441	1770	2002	2118	2250			
RR220/10	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	1451	1663	1773	1876	1936	2005	925	1233	1542
		L <sub>cr</sub> /600	1623	1748	1858	1957	2012	2075			
RRs220/10	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	1451	1774	2024	2172	2259	2358	1106	1475	1843
		L <sub>cr</sub> /600	1675	1962	2123	2271	2353	2444			
RR220/12,5	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	1594	1952	2187	2343	2434	2540	1142	1523	1904
		L <sub>cr</sub> /600	1850	2132	2299	2452	2539	2636			
RRs220/12,5	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	1594	1952	2414	2687	2819	2971	1366	1821	2277
		L <sub>cr</sub> /600	1850	2248	2590	2816	2946	3091			
RR245/10	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	1745	1911	2028	2137	2200	2273	1038	1384	1730
		L <sub>cr</sub> /600	1875	2008	2123	2226	2283	2348			
RRs245/10	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	1745	2036	2197	2355	2450	2562	1241	1655	2069
		L <sub>cr</sub> /600	1974	2152	2318	2475	2566	2671			
RR245/12,5	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	1921	2342	2515	2680	2776	2887	1284	1712	2140
		L <sub>cr</sub> /600	2225	2464	2641	2801	2891	2992			
RRs245/12,5	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	1921	2351	2851	3086	3225	3386	1535	2047	2559
		L <sub>cr</sub> /600	2225	2701	2994	3231	3367	3516			
RR270/10	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	2050	2188	2312	2426	2492	2569	1163	1551	1939
		L <sub>cr</sub> /600	2156	2297	2417	2542	2583	2651			
RRs270/10	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	2055	2192	2313	2423	2487	2561	1391	1855	2319
		L <sub>cr</sub> /600	2160	2297	2415	2517	2575	2640			
RR270/12,5	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	2308	2696	2881	3055	3156	3273	1441	1921	2401
		L <sub>cr</sub> /600	2626	2835	3022	3188	3282	3387			
RRs270/12,5	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	2308	2823	3282	3532	3678	3845	1722	2296	2871
		L <sub>cr</sub> /600	2667	3174	3444	3693	3834	3988			
RR320/10	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	2221	2325	2416	2499	2548	2606	1389	1852	2314
		L <sub>cr</sub> /600	2328	2427	2511	2586	2629	2678			
	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	2508	2651	2775	2888	2954	3030	1660	2214	2767
		L <sub>cr</sub> /600	2632	2772	2889	2992	3050	3116			
RR320/12,5	S460MH	L <sub>cr</sub> /400	3069	3343	3546	3734	3843	3969	1722	2296	2870
		L <sub>cr</sub> /600	3281	3512	3712	3889	3989	4101			
	S550J2H	L <sub>cr</sub> /400	3069	3375	3579	3766	3875	3999	2059	2745	3432
		L <sub>cr</sub> /600	3310	3542	3742	3919	4017	4128			

Taulukko 23. RD- ja RDs-paalujen rakenteen puristuskestävyyden mitoitusarvot.

Paalun rakenteen $R_d$ -arvot			Teräsrakennemitoitus											Liittorakennemitoitus C30/37						
			Korroosiovara 1,2 mm						Korroosiovara 2,0 mm					Korroosiovara 2,0 mm						
Paalu	Teräslaji	$\delta_0$	Leikkauslujuus $c_{uk}$ [kPa]						Leikkauslujuus $c_{uk}$ [kPa]					Leikkauslujuus $c_{uk}$ [kPa]						
			5	7	10	15	20	50	5	7	10	15	20	50	5	7	10	15	20	50
RD90/6,3	S460	$L_{cr}/400$	274	336	406	439	458	504	251	308	350	376	391	425	259	317	383	412	429	468
		$L_{cr}/600$	320	389	427	460	479	521	292	341	368	393	408	439	301	366	401	431	448	483
RD115/6,3	S460	$L_{cr}/400$	421	516	562	600	622	673	388	453	484	513	530	569	404	494	556	594	615	663
		$L_{cr}/600$	489	550	590	628	649	694	441	476	507	536	551	586	467	542	583	619	639	682
RD115/8	S460	$L_{cr}/400$	464	568	694	751	786	865	435	532	623	671	699	764	446	546	672	726	758	830
		$L_{cr}/600$	541	657	730	788	822	895	506	604	655	703	730	789	520	632	706	760	791	857
RDs115/8	S550	$L_{cr}/400$	464	568	703	854	903	1017	435	532	659	766	807	900	446	546	676	758	789	855
		$L_{cr}/600$	541	657	807	896	946	1054	506	614	734	803	844	931	520	632	735	789	819	878
RDs125/6,3	S550	$L_{cr}/400$	504	616	729	787	821	896	464	567	631	676	701	759	486	594	687	726	748	793
		$L_{cr}/600$	582	704	766	823	856	925	535	614	662	706	730	782	561	669	714	751	771	809
RD140/8	S460	$L_{cr}/400$	653	799	901	965	1004	1090	613	751	808	861	892	964	635	777	905	969	1007	1091
		$L_{cr}/600$	758	877	947	1011	1047	1125	711	791	848	900	930	993	737	878	948	1012	1048	1124
RDs140/8	S550	$L_{cr}/400$	653	799	988	1107	1162	1286	613	751	915	991	1036	1138	635	777	951	1015	1050	1125
		$L_{cr}/600$	758	921	1066	1160	1213	1330	711	863	961	1038	1082	1175	737	895	991	1053	1086	1152
RD140/10	S460	$L_{cr}/400$	710	870	1078	1177	1233	1362	675	827	999	1080	1128	1239	691	847	1049	1155	1208	1328
		$L_{cr}/600$	829	1007	1140	1236	1291	1410	787	956	1051	1133	1180	1281	806	980	1119	1210	1261	1372
RDs140/10	S550	$L_{cr}/400$	710	870	1078	1334	1414	1600	675	827	1024	1228	1298	1458	691	847	1049	1204	1256	1368
		$L_{cr}/600$	829	1007	1237	1401	1482	1660	787	956	1171	1289	1359	1511	806	980	1164	1255	1305	1406
RD170/10	S460	$L_{cr}/400$	975	1194	1384	1488	1549	1690	929	1138	1274	1364	1417	1538	958	1173	1401	1507	1569	1707
		$L_{cr}/600$	1134	1343	1455	1559	1618	1746	1079	1242	1339	1428	1478	1587	1114	1353	1470	1575	1635	1760
RDs170/10	S550	$L_{cr}/400$	975	1194	1477	1700	1789	1992	929	1138	1407	1564	1641	1815	958	1173	1451	1575	1635	1760
		$L_{cr}/600$	1134	1377	1632	1784	1872	2061	1079	1310	1509	1640	1715	1876	1114	1353	1533	1637	1693	1805
RD170/12,5	S460	$L_{cr}/400$	1057	1295	1604	1797	1887	2094	1016	1245	1542	1682	1762	1946	1037	1271	1575	1777	1863	2058
		$L_{cr}/600$	1234	1501	1736	1887	1976	2169	1185	1441	1630	1765	1844	2014	1211	1473	1716	1863	1948	2128
RDs170/12,5	S550	$L_{cr}/400$	1057	1295	1604	2031	2158	2457	1016	1245	1542	1906	2021	2286	1037	1271	1575	1851	1936	2119
		$L_{cr}/600$	1234	1501	1844	2133	2263	2551	1185	1441	1770	2002	2118	2372	1211	1473	1783	1931	2014	2180
RD220/10	S460	$L_{cr}/400$	1519	1802	1929	2048	2118	2277	1451	1663	1773	1876	1936	2073	1513	1851	2060	2195	2272	2443
		$L_{cr}/600$	1751	1895	2023	2139	2204	2346	1623	1748	1858	1957	2012	2133	1751	2010	2157	2287	2360	2512
RDs220/10	S550	$L_{cr}/400$	1519	1858	2193	2367	2466	2693	1451	1774	2024	2172	2259	2453	1513	1851	2173	2303	2374	2523
		$L_{cr}/600$	1756	2117	2302	2474	2572	2778	1675	1962	2123	2271	2353	2529	1751	2111	2259	2384	2449	2578
RD220/12,5	S460	$L_{cr}/400$	1654	2026	2331	2505	2607	2841	1594	1952	2187	2343	2434	2642	1643	2012	2405	2587	2693	2932
		$L_{cr}/600$	1922	2265	2451	2624	2722	2934	1850	2132	2299	2452	2539	2727	1910	2321	2523	2704	2806	3022
RDs220/12,5	S550	$L_{cr}/400$	1654	2026	2506	2865	3013	3349	1594	1952	2414	2687	2819	3117	1643	2012	2489	2704	2806	3022
		$L_{cr}/600$	1922	2336	2752	3004	3151	3465	1850	2248	2590	2816	2946	3223	1910	2321	2632	2811	2906	3098
RD270/10	S460	$L_{cr}/400$	2188	2674	2518	2651	2728	2904	2050	2188	2312	2426	2492	2644	2211	2663	2844	3008	3102	3310
		$L_{cr}/600$	2332	2494	2635	2760	2831	2985	2156	2297	2417	2542	2583	2716	2548	2790	2970	3128	3214	3395
RDs270/10	S550	$L_{cr}/400$	2188	2674	2890	3082	3192	3441	2093	2485	2662	2827	2922	3135	2211	2702	3015	3169	3252	3424
		$L_{cr}/600$	2519	2820	3029	3216	3320	3542	2405	2608	2788	2947	3035	3224	2548	2948	3125	3268	3343	3490
RD270/12,5	S460	$L_{cr}/400$	2391	2867	3074	3268	3382	3641	2308	2696	2881	3055	3156	3387	2402	2939	3312	3533	3661	3945
		$L_{cr}/600$	2767	3016	3225	3414	3520	3751	2626	2835	3022	3188	3282	3487	2782	3226	3468	3685	3805	4057
RDs270/12,5	S550	$L_{cr}/400$	2391	2926	3491	3770	3934	4304	2308	2823	3282	3532	3687	4006	2402	2939	3489	3705	3823	4072
		$L_{cr}/600$	2767	3359	3665	3945	4101	4441	2667	3174	3444	3693	3834	4131	2782	3378	3630	3838	3947	4164
RD320/10	S460	$L_{cr}/400$	2750	2926	3082	3225	3308	3499	2540	2693	2827	2950	3021	3186	2966	3445	3661	3855	3965	4208
		$L_{cr}/600$	2892	3068	3218	3351	3425	3591	2669	2820	2949	3062	3125	3268	3354	3604	3817	4000	4100	4311
RDs320/10	S550	$L_{cr}/400$	2900	3334	3558	3765	3884	4152	2776	3080	3273	3451	3553	3783	2966	3624	3899	4075	4168	4362
		$L_{cr}/600$	3242	3499	3723	3921	4030	4266	3008	3421	3421	3589	3683	3884	3409	3827	4030	4191	4274	4438
RD320/12,5	S460	$L_{cr}/400$	3177	3559	3786	3997	4120	4400	3069	3343	3546	3734	3843	4093	3222	3944	4248	4507	4655	4983
		$L_{cr}/600$	3483	3740	3966	4166	4279	4526	3281	3512	3712	3889	3989	4208	3720	4157	4441	4691	4828	5117
RDs320/12,5	S550	$L_{cr}/400$	3177	3883	4331	4636	4813	5210	3069	3750	4068	4340	4497	4850	3222	3940	4492	4739	4872	5150
		$L_{cr}/600$	3663	4211	4542	4842	5010	5366	3533	3968	4264	4529	4677	4992	3720	4381	4663	4895	5016	5256

## 6. PAALUPERUSTUKSEN SUUNNITTELU

### 6.1 Paalujen kiinnittäminen yläpuoliseen rakenteeseen

Paalun ja yläpuolisen rakenteen liitos mitoitetaan yleensä nivelenä. Paalut katkaistaan niin, että paalujen yläpäät ulottuvat vähintään 50 mm paaluanturaan tai yläpuoliseen betonirakenteeseen ellei rakenteen suunnittelu tai paalujen kiinnittäminen muuta edellytä. Liitettäessä paalu em. mukaisesti yläpuoliseen betonirakenteeseen, ei paaluhattua ole tarpeen kiinnittää hitsaamalla paaluputkeen.

Lyhyet, alle 3 metrin pituiset lyöntipaalut pyritään aina kiinnittämään ylärakenteeseen jäykästi. Rakenteesta riippuen voidaan paalu kiinnittää jäykästi ylärakenteeseen myös pittemillä paaluilla. RR75...RR/RD245-paaluilla paalu kiinnittyy jäykästi ylärakenteeseen, kun paalun pää on vähintään  $2 \cdot d$ , kuitenkin vähintään 200 mm, betonin sisällä. Uputettaessa paalun yläpää em. mukaisesti betonirakenteen sisään, ei paaluhattua ole tarpeen kiinnittää hitsaamalla paaluputkeen. Liitettäessä paalun yläpää suoraan yläpuoliseen teräsrakenteeseen, saadaan jäykkä kiinnitys hitsaamalla. Raudoitetuilla paaluilla kiinnitys yläpuoliseen rakenteeseen tehdään yleensä tuomalla paalujen sisäpuoliset raudotteet betonirakenteiden sisään. Jäykästi kiinnitettäessä tulee paalun yläpäähän momentinkestävyys tarkistaa.

Uputettaessa paalun yläpää em. mukaisesti betonirakenteen sisään on varmistuttava myös betonirakenteen toiminnasta. Huomioitavia asioita ovat muun muassa pääraudoituksen sijoittelu tukipinnan (paaluhattun yläpinta) suhteen, riittävä rakennepaksuus paaluhattun päällä sekä mahdollinen tarvittava halkaisuraudoitus.

Aksiaalisesi puristetuissa RR- ja RD-paaluissa voidaan käyttää taulukon 12 mukaisia vakioaaluhattuja.

### 6.2 Teräspaalujen keskiöetäisyydet

Paalujen väliset etäisyydet määritetään suunnitelma-asiakirjoissa. Suositeltavat minimikeskiöetäisyydet ovat eri paaluhalkaisijoilla taulukon 24 mukaiset.

Taulukko 24. SSAB:n teräspaalujen PO-2016 mukaiset keskiöetäisyyksien suositeltavat vähimmäisarvot [mm]

Paalu	min k/k [mm]
RR75	800
RR/RD90	800
RR/RD115	800
RRs/RDs125	800
RR/RD140	800
RR/RD170	800
RR/RD220	800
RR245	800***
RR/RD270	800*
RR/RD320	850**
RR/RD400	1000
RR/RD500	1200
RR/RD600	1350
RR/RD700	1550
RR/RD800	1700
RR/RD900	1850
RR/RD1000	2050
RR/RD1200	2400

\* PO-2016 mukaisesti RR/RD270 paalulla suositeltava minimikeskiöetäisyys 800 mm on voimassa noin paalupituuteen 15 m, minkä jälkeen minimikeskiöetäisyyttä on suurennettava paalupituuteen 25 metriä saakka 950 mm:iin.

\*\* vastaavasti RR/RD320 keskiöetäisyys 850 mm on voimassa paalupituuteen 10 m, minkä jälkeen keskiöetäisyys kasvaa lineaarisesti 1150 mm paalupituuteen 25 m.

\*\*\* RR245 keskiöetäisyys 800 mm on voimassa paalupituuteen 20 m, minkä jälkeen keskiöetäisyys kasvaa lineaarisesti 860 mm paalupituuteen 25 m.

RD-paaluilla, jotka saadaan asennettua suoraan tai suunniteltuun kaltevuuteen ja paalut varmasti tukeutuvat kallioon, voidaan harkiten käyttää myös taulukossa 24 esitettyjä pienempiä keskiöetäisyyksiä. Suunnitelmaessa paaluryhmä alaspäin hajaantuvaksi voidaan paalujen yläpäät sijoittaa taulukkoarvoja pienemmin keskinäisiin etäisyyksiin.

Risteävillä tukipaaluilla hienorakeisissa maakerroksessa lähellä maanpintaa voidaan pitää paalujen halkaisijan suuruista vapaa väliä riittävänä, mikäli paalu voidaan asennettaessa suunnata siten, että se ei osu viereisiin paaluihin. Karkearakeisissa maakerroksissa erityisesti lyöntipaaluilla em. vapaa väli on valittava huomattavasti suuremmaksi. Paalujen risteämiset pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle maanpintaa. RR-suurpaaluilla risteävien paalujen minimietäisyys määritetään yhtälöstä:

$$e_r = 50 l_r \geq e_r \quad (3)$$

$e_r$  risteävien paalujen minimietäisyys toisistaan [mm]

$l_r$  risteyskohdan syvyys [m]

$e_r$  yhdensuuntaisten vaippapintojen lyhin etäisyys =  $300 + 0,7 \cdot d$  [mm]

### 6.3 Paaluanturan reunan etäisyys paaluista

Anturan on kestettävä paaluvoimien aiheuttamat jännitykset eikä anturan reunan lohkeamisvaara saa olla. Normaalityapauksessa paaluanturan reunan etäisyys lähimmän paalun ulkopinnasta tai paaluhattun reunasta tulee olla vähintään puolet paalun halkaisijasta tai paaluhattun sivumitasta. Suunnitteluvaiheessa anturan mitoissa tulee ottaa huomioon paalujen sallitut sijaintipoiikkeamat.

### 6.4 Paalujen etäisyydet muista rakenteista

Paalujen minimietäisyydet muista rakenteista suunnitellaan kussakin tapauksessa erikseen ottaen huomioon paalutuskaaluston, paalutyypin, paalutuksesta aiheutuvien värinän, maan tiivistymisen, löyhtymisen tai syrjäytymisen, pohjasuhteiden ja ympäröivien rakenteiden aiheuttamat erityisvaatimukset ja rajoitukset.

Mikäli ainoa rajoittava tekijä on paalutuskaalusto ja käytettävissä oleva tila, on minimietäisyys selvitettävä käytettävän paalutuskaaluston ja kohteen ominaisuuksien perusteella. Pieniläpimitäiset RR- ja RD-paalut voidaan asentaa hyvinkin lähelle esimerkiksi olemassa olevaa seinä- tai anturalinjaa pienikokoisista asennuskalustoista johtuen. Ilman tarkempaa selvitystä, ei ole kuitenkaan syytä suunnitella kokoluokan RR/RD220...RR/RD270 ja sitä pienempiä paaluja siten, että paalun reunan ja rakenteen väli on vähemmän kuin 200...300 mm (jos paalutustason yläpuolella ei ole paalutusta rajoittavia rakenteita kuten räystäitä jne.).

## 6.5 Paalujen kaltevuudet

Vinopaaluilla voidaan lisätä paaluperustuksen vakavuutta halutulla tavalla. Käytettäessä vinopaaluja on kuitenkin otettava huomioon maakerrosten mahdollisten muodonmuutosten vinopaaluihin aiheuttamat rasitukset.

Paalusuuntien suurin poikkeama pystysuorasta, eli rajakaltevuus, riippuu käytettävästä paalutuskalustosta sekä maakerrosten rakenteesta perustuksen kohdalla. Asennettaessa RR-paaluja teräsbetonipaaluksessakin käytettävillä kalustoilla tai RD-paaluja raskailla paalutuskalustoilla, voidaan pieniläpimittaiset teräspaalut yleensä asentaa sekä eteen että taakse kallistettuina 3,5:1 kaltevuuteen. Suuriläpimittaisilla paaluilla suurin sallittu kaltevuus, erityisesti (keili) eteen kallistettuna, on tarkistettava peruskoneen stabiliteetin perusteella ottaen huomioon käytettävä paalupituus sekä pohjamaan kantavuus tapauskohtaisesti. Kevyillä ja keskiraskailla paalutuskalustoilla asennettaessa pieniläpimittaiset RR- ja RD-paalut pystytään asentamaan hyvin kaltevaan, aina vaakatasoon saakka, mikäli asennuskoneen rakenne ja stabiliteetti sen mahdollistavat. Suuria kallistuksia käytettäessä yleensä joudutaan käyttämään lyhyitä paaluelementtejä.

Suunnitteluvaiheessa on hyödyllistä selvittää asennuskalustojen ominaisuuksia, jos paaluja suunnitellaan poikkeuksellisiin kaltevuuksiin.

## 6.6. Sallitut sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat

Paalut pyritään asentamaan tarkalleen suunnitelmassa esitettyyn paikkaan ja asentoon. Paalua ei kuitenkaan saa vääntää teoreettiseen asemaansa asennuksen aikana tai sen jälkeen.

Paalun sijainnin mittauksen tarkkuus ennen ja jälkeen paalun asennuksen on 0,01 m, elleivät suunnitelmat toisin edellytä.

Elleivät rakenteelliset vaatimukset, viranomaisten rakenteita koskevat tarkemmat ohjeet, pohjasuhteet, käytettävä paalutuskalusto tai hyvin syvällä oleva katkaisutaso toisin edellyttä, käytetään seuraavia sallittuja sijaintipoikkeamia:

*Pieniläpimittaiset RR- ja RD-paalut sekä injektoidavat RR-paalut (RR75-RR/RD320):*

- yksittäinen pysty- ja vinopaalu, paalulaatan tai paaluhatturakenne:  
 $e \leq e_{\max} = 0,10 \text{ m}$
- pienen paaluryhmän (2-8 paalua) yksittäinen paalu  $e \leq e_{\max} = 0,15 \text{ m}$ , tätä suuremman paaluryhmän yksittäinen paalu  $e \leq e_{\max} = 0,20 \text{ m}$ , kuitenkin koko ryhmän painopisteen  $e \leq e_{\max} = 0,05 \text{ m}$
- talonrakentamisen paaluperustuksissa  $e \leq e_{\max} = 0,15 \text{ m}$ , erityisen vaikeissa olosuhteissa, kuten esilävistettävien täyttöjen, kevennyskairauksen tms. alueilla  $e \leq e_{\max} = 0,20 \text{ m}$

- paalurivin yksittäisen paalun  $e \leq e_{\max} = 0,15 \text{ m}$ , kuitenkin koko rivin painopisteen  $e \leq e_{\max} = 0,05 \text{ m}$  riviin nähden kohtisuorassa suunnassa (paaluriviksi käsitetään pitkänomaisen anturan alla olevat paalut, kun paaluja on vain yksi kappale poikkileikkauksessa)
- yksittäiset pystypaalut tai vinopaalut  $i \leq i_{\max} = 0,04$  (0,04 m/m) samansuuntaisten paalujen ryhmässä  $i \leq i_{\max} = 0,02$  (0,02 m/m)
- kaltevien paalujen horisontaalisuunta (projektiio vaakatasossa) saa poiketa korkeintaan  $2^\circ$  ( $i_{\max} = 0,035 \text{ m/m}$ ) suunnitelmassa esitetystä suunnasta.

Perustusten vahvistuskohteissa näistä arvoista joudutaan usein eri syistä johtuen poikkeamaan selvästi.

*Suuriläpimittaiset RR- ja RD-paalut (RR/RD400-RR/RD1200):*

- pysty- ja vinopaalut: sijainti vaakatasossa mitattuna työskentelytasolta:  
 $e \leq e_{\max} = 0,10 \text{ m}$  RR/RD400-RR/RD1000  
 $e \leq e_{\max} = 0,12 \text{ m}$  RR/RD1200
- pystypaalut tai vinopaalut, joiden kaltevuus  $n \geq 15$  ( $\Theta \geq 86^\circ$ ): kaltevuuden poikkeama  
 $i \leq i_{\max} = 0,02$  (0,02 m/m)
- vinopaalut, joiden kaltevuus  $4 \leq n < 15$  ( $76^\circ \leq \Theta < 86^\circ$ ): kaltevuuden poikkeama  
 $i \leq i_{\max} = 0,04$  (0,04 m/m)

RD-paaluilla, erityisesti käytettäessä keskistä porausmenetelmää, päästään yleensä suhteellisen helposti ylläolevia toleransseja tarkempiin toteutumiin. RD-paaluille on suositeltavaa käyttää tiukempia toleransseja, mikäli rakenteen ja kuormitusten kannalta on tarkoituksenmukaista tavoitella tiukempia rakentamistoleransseja ja pohja- ja asennusolosuhteet mahdollistavat niiden saavuttamisen. Tiukempien toleranssien saavuttaminen edellyttää sekä paalun paikalleen mittaukselle että työn suoritukselle erityistä huolellisuutta.

Työn suorituksen kannalta ei kuitenkaan ole syytä käyttää ilman perusteltua syytä tiukempia sijaintitoleransseja RD-paaluille kuin:

- pysty- ja vinopaalut: sijainti vaakatasossa mitattuna työskentelytasolta:  
 $e \leq e_{\max} = 0,025 \text{ m}$
- pystypaalut tai vinopaalut, joiden kaltevuus  $n \geq 15$  ( $\Theta \geq 86^\circ$ ) kaltevuuden poikkeama:  
 $i \leq i_{\max} = 0,015$  (0,015 m/m)
- vinopaalut, joiden kaltevuus  $4 \leq n < 15$  ( $76^\circ \leq \Theta < 86^\circ$ ) kaltevuuden poikkeama:  
 $i \leq i_{\max} = 0,025$  (0,025 m/m)

Combi-wall ja RD-paaluseinärakenteissa on usein tarkoituksenmukaista pyrkiä edellä mainittuja yleisiä sijainti- ja kaltevuustoleransseja huomattavasti tiukempiin toleransseihin. Käytettävät toleranssit on määritettävä tapauskohtaisesti ja jo suunnitteluvaiheessa vähintään alustavasti on suunniteltava toimenpiteet, millä tiukkoihin toleransseihin päästään. Ko. rakenteiden toleransseja on käsitelty tarkemmin RD-paaluseinän Suunnittelu- ja asennusohjeessa.

Combi-wall rakenteissa yleensä käytetään riittävän järeitä teräspalkeista tms. rakennettuja kehikoita (template), joiden avulla paalut saadaan asemoitua tarkasti paikalleen. RD-paaluseinärakenteissa seinälinjan aloituspaalu määrää käytännössä koko seinän suunnan ja kaltevuuden, joten aloituspaalun (aloituspaalujen) asennus ja käytettävät toleranssit on suunniteltava hyvin huolellisesti. Ko. rakenteiden asennusta ja huomioon otettavia asioita on käsitelty tarkemmin RD-paaluseinän Suunnittelu- ja asennusohjeessa.

Asennuksen yhteydessä syntyvät poikkeamat paalujen sijainnissa ja kaltevuuksissa otetaan huomioon paaluperustusta suunniteltaessa. Asennuksen jälkeen mitataan paalujen todelliset asemat ja kaltevuudet. Mikäli suunnitelman mukaiset sallitut sijaintitoleranssit ylitetään, tulee tutkia jokaisen rakenteen osan mahdollinen ylikuormitus ja ryhtyä tarvittaessa tarpeellisiin toimenpiteisiin.

### **6.7 Paalutuksen vaikutus jo asennettuihin paaluihin, muihin pohjarakenteisiin ja lähiympäristöön**

Rakennuskohteen pohjarakennustyöt paalutustyöt mukaan lukien suunnitellaan ja suoritetaan siten, etteivät ne vähennä aiemmin asennettujen paalujen kestävyyttä, eivätkä aiheuta vahinkoa tai haittaa rakennuspaikan lähiympäristössä. Mikäli rakennuspaikan lähiympäristössä on vaurioitumiselle alttiita rakenteita, on ne selvitettävä riittävässä laajuudessa pohjatutkimusten yhteydessä tai viimeistään ennen paalutustöitä. Tarvittaessa lähirakenteiden kunto on selvitettävä katselmuksilla.

Lyönti- ja porapaalutuksen ympäristövaikutuksia voidaan arvioida PO-2016 osan 2 kohdassa 4.6 esitetyllä tavalla. Paalutyyppin, paalutusmenetelmän ja paalutuskaluston valinnalla voidaan vaikuttaa huomattavasti paalutuksen ympäristövaikutuksiin.

Pieniläpimittaiset RR-lyöntipaalut syrjäyttävät kanta- vuuteensa suhteutettuna erittäin vähän maata. Tällöin huokosvesipaineen nousu, maan sivusiirtymät ja maan nouseminen paalutusalueella ja sen läheisyydessä jäävät yleensä hyvin pieniksi. Pienestä poikkileikkauspinta-alasta johtuen paalut voidaan upottaa vähäisellä lyöntienergialla löyhissä silti- ja hiekkamaissa pohjavedenpinnan alapuolelle, jolloin em. tiivistyvien kerrosten tiivistyminen paalutuksesta johtuen jää vähäiseksi. Vastaavasti tiivien, tärinää aiheuttavien maakerrosten läpäisy, voidaan suorittaa suhteellisen vähäisellä lyöntienergialla, jolloin paalutuksesta aiheutuva tärinä jää alhaiseksi. Erityisesti käytettäessä kevyitä paalutuskalustoja ja lyöntilaitteita,

RR-lyöntipaalut voidaan asentaa yleensä turvallisesti hyvin lähelle olemassa olevia rakenteita. Lyöntipaalutuksen ympäristövaikutuksia voidaan lisäksi minimoida käyttämällä paalutustyöluokkaa PTL3 sekä RRs-paaluja.

RD-paalut ja erityisesti pieniläpimittaiset RD-paalut asennusohjeiden mukaisesti asennettuna eivät syrjäytä maata tai poista ylimääristä maata, jolloin paalutuksen ympäristövaikutukset kuten maan siirtymiset, tiivistymiset, tärinät ja huokosvesipaineen nousu ovat erittäin vähäiset. Suurilla RD-paaluilla ( $\geq$ RD400) suuremmasta huuhteluaineen (yleensä paineilman) käytöstä ja suuremmasta oppovasarakalustosta johtuen paalutuksesta voi aiheutua vähäisiä ympäristövaikutuksia, jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja toteutuksessa, kun RD-paaluja asennetaan olemassa olevien rakenteiden välittömään läheisyyteen.

Perustusten vahvistuskohteissa käytettävä RR-puristuspaalu on yleensä vähiten ympäristövaikutuksia aiheuttava paalutyyppi, joiden asentamisen melutaso on myös erittäin pieni.

Pehmeillä pohjamailla raskaiden (>40...60 t) paalutuskalustojen liikkuminen voi aiheuttaa suuremman tärinän kuin itse paalun asentaminen.

## **7. PAALUTUSTYÖ**

### **7.1 Paalutustyöhön tarvittava aineisto, työ- ja laatusuunnitelma**

Paalutustyöhön tarvittava aineisto, työ- ja laatusuunnitelma on esitetty PO-2016 osan 2 kohdassa 5.1.

### **7.2 Teräspaalujen varastointi, käsittely, tarkastus ja pystyynnosto**

Paalujen varastoinnista ja käsittelystä työmaalla on oma ohjeensa "Paalut ja paalutarvikkeet, turvallisen käsittelyn suositukset asiakkaalle" ([www.ssab.fi/infra](http://www.ssab.fi/infra)).

Paalujen ja niiden varusteiden vastaanottotarkastus tehdään välittömästi toimituksen tullessa työmaalle. Vastaanottotarkastuksessa tarkistetaan silmämääräisesti, että toimitus on tilauksen mukainen ja vastaa kuormakirjaa. Paalujen teräslaji ja dimensiot tarkistetaan taakkalasta ja paaluputkessa olevasta merkinnästä. Paaluelementtien ja paaluvälineiden tulee vastata suunniteltuja ominaisuuksia. Virheellistä tai väärää tuotetta ei saa asentaa.

Kiertettyjen RDT-paaluelementtien ja RD-kierreholkien käsittelystä on esitetty tarkemmat ohjeet kohdassa 7.4.4.

Ennen paalujen asentamista paalut ja niiden varusteet tarkastetaan. Ennen asennusta tapahtuvassa tarkastuksessa varmistetaan vielä, että paalut eivät ole vahingoittuneet työmaalla tapahtuneen käsittelyn ja varastoinnin aikana.



Paaluelementtien ja paaluputkien pystyynnosto tehdään yleensä nostovaijerilla tms. läheltä paalun päätä nostamalla. Pystyynnostossa on erittäin tärkeää huolehtia työturvallisuudesta, esimerkiksi siitä ettei nostolaite/-ketju pääse irtomaahan paalusta. Paalun pystyynnosto suositellaan tehtäväksi siten, että paalutuslaitteisto on asemoitu paalun kohdalle pystyynnoston aikana, ettei paalutuslaitteistoa tarvitse siirtää pientä asemointia lukuun ottamatta paalun ollessa pystyssä paalutuslaitteessa.

Teräspaalun omasta painosta aiheutuvan taipuman aiheuttama rasitus ei koskaan ole kriittinen RR- tai RD-pienpaaluja nostettaessa. Suurpaaluilla rajapituus, mitä voidaan nostaa pystyyn paalun päästä ilman tarkempaa tarkastelua on 20 metriä. Tätä pidempien paalujen pystyynnosto tulee suunnitella tapauskohtaisesti ottaen huomioon paalun dimensiot. Pystyynnostossa tulee huomioida paalutuskoneen stabiilitteetti ja nostossa on huomioitava koneelle asetetut noston paino- ja ulottumaraajoitukset tai -ohjeet.

### 7.3 RR-paalujen asentaminen

RR-paalujen asentamisessa noudatetaan maata syrjäyttävien paalujen toteutusstandardia SFS-EN 12699.

#### 7.3.1 Paalutuskalusto

##### 7.3.1.1 Yleistä

Paalutuskaluston yleisvaatimukset on esitetty PO-2016 kohdassa 5.4.2.1.

RR-paalujen asentamiseen soveltuvat lyöntilaitteet voidaan jakaa seuraaviin pääluokkiin:

- pudotus- ja hydraulijärkäleet
- hydraulii- ja paineilmasaroihin
- muut lyöntilaitteet
- hydrauliset tunkit

Paalutustyöluokassa PTL2 ja PTL3 lyöntilaitteen valmistajan, maahantuojan tai käyttäjän on selvitettävä paalutukseen olennaisesti vaikuttavat tekijät, kuten lyönnin kokonaistehokkuus, soveltuvat iskusuojat paalun lyöntiin ja iskusuojan vaikutus paaluun välittyviin jännityksiin. Yllä mainitut asiat voidaan tarkistaa esim. iskuaaltomittauksilla ja on suositeltavaa, että paalutusurakoitsijat arkistoiivat ja tarvittaessa analysoivat iskuaaltomittauksensa. Lyöntilaitteen olennaisten muutostöiden yhteydessä tai uusia paalutustyyppisiä asianomaisella laitteella asennettaessa, tiedot päivitetään.

Paalutettaessa RR-paaluja nosturiin ripustetulla lyöntilaitteella on paalu tuettava riittävästi muilla tukirakenteilla. Koko paalutuslaitteisto on oltava siten tuettu ja kooppantu, ettei se heilu paalutettaessa.

##### 7.3.1.2 Pudotus- ja hydraulijärkäleet

Pudotusjärkäleen pudotuskorkeus voidaan valita yleensä vapaasti ottaen huomioon kalustokohtaiset rajoitukset. Sopivien pudotus- ja hydraulijärkäleiden massat riippuvat käytetystä paalukoosta ja pohjasuhteista. Lyötäessä RR-pienpaaluja tiiviiseen maahan painavasta järkäleestä voi olla etua, mutta samalla riski paalun käyritymiselle kasvaa.

Suosittelavat liikkuvan osan minimi- ja maksimimassat ovat taulukon 25 mukaiset.

Taulukko 25. RR-paalujen asennuksessa käytettävien pudotus- ja hydraulijärkäleiden liikkuvan osan massan suositellavat minimi- ja maksimimassat.

Paalu	Paalun paino	Järkäleen liikkuva osa [kg]	
	[kg/m]	min	max
RR75	10,8	300	1000
RR90	12,8	350	1500
RR115/6,3	16,8	500	1500
RR115/8	21,0	500	2000
RRs125/6,3	18,7	500	2000
RR140/8	26,0	500	3000
RR140/10	32,0	500	3000
RR170/10	39,0	1000	4000
RR170/12,5	48,0	1000	5000
RR220/10	51,6	1500	5000
RR220/12,5	63,7	1500	6000
RR245/10	57,9	1500	6000
RR245/12,5	71,6	2000	8000
RR270/10	64,9	1500	6000
RR270/12,5	80,3	2000	8000
RR320/10	77,4	2000	8000
RR320/12,5	96,0	2000	9000
RR400 (10...12,5)	97,8 ... 121,4	3000	9000
RR500 (10...14,2)	122,8 ... 172,9	3000	12000
RR600 (10...18)	148,0 ... 262,8	4000	-
RR700 (10...20)	172,9 ... 340,8	4000	-
RR800 (10...20)	198,0 ... 391,1	4000	-
RR900 (10...20)	222,9 ... 440,9	4000	-
RR1000 (10...20)	248,1 ... 491,3	4000	-
RR1200 (10...20)	298,4 ... 591,9	4000	-

RR-paaluja lyötäessä ei yleensä tarvitse käyttää iskutyynyä. Kun iskutyynyä ei käytetä, järkäleen ja paalun välissä käytetään paksusta teräslevystä valmistettua vastinta. Paalun pää sovitetaan iskutyynyn tai vastimen kehysten sisään siten, että isku välittyy keskeisesti paaluun.

Kehyksen ollessa teräsbetonipaaluksessa käytettävä neliömäinen "pesä", ohjeena on, että paalutustyöluo-

kassa PTL3 aina käytetään teräksistä sovitinkappaletta paalun päässä. Sovitinkappaleen yläosan tulee olla mahdollisimman tarkkaan samankokoinen kuin kehyksen muodostama "pesä" ja alaosan tulee "istua" ilman suurempaa välystä paaluputken ulko- tai sisäpuolelle. Sovitinkappaleen käyttöä suositellaan käytettäväksi paalutustyöluokassa PTL2. PTL2:ssa RR220-paaluja asennettaessa 250x250 "pesällä", RR270-paaluja asennettaessa 300x300 "pesällä" ja RR320-paaluja asennettaessa 350x350 "pesällä" riittävä lyönnin keskeytyminen saavutetaan myös ilman sovitinkappaletta.

Asennettaessa ulkopuolisella holkkiatkokksella varustettua paalua holkki ylöspäin, on suositeltavaa käyttää sovitinkappaletta, joka välittää lyönnin paaluputkeen holkin ohi. Uputuslyönnit pehmeissä maakerroksissa voidaan kuitenkin asentajan harkinnan mukaan lyödä holkkiin, mikäli sillä ei aiheuteta vaurioita holkkiin tai sen hitsiin. Tiiviissä maakerroksissa sekä asennuksen loppulyöntien aikana on käytettävä sovitinkappaletta, joka välittää lyönnin paaluputkeen holkin ohi.

Suurpaalujen asentaminen suomalaisissa tukipaalumaaperäolosuhteissa onnistuu yleensä suhteellisen pienillä järkäleillä riittävään tunkeutumistasoon. Paksuissa kitkamaa- ja moreenikerroksissa on käytettävä riittävän suurta lyöntienergiaa, jotta paalun tunkeminen on tehokasta. Alustavissa tarkasteluissa voidaan arvioida, että taulukon 26 mukaisilla järkäleillä ja paaludimensioilla on asennuskalustolla riittävä lyöntienergia ja ko. järkäleellä koekuormitusten yhteydessä on mahdollista mobilisoida riittävä geotekninen staattinen vastus PTL2:ssa ja PTL3:ssa. Todelliset mobilisoituvat vastukset ovat voimakkaasti riippuvaisia paalukoosta, paalupituudesta ja pohjaolosuhteista. Lyhyillä ja kalliioon varmasti tukeutuvilla paaluilla on helpompi saavuttaa riittävä staattinen vastus kuin pitkillä moreenikerroksiin tukeutuvilla paaluilla.

Usein on tarkoituksenmukaista käyttää pienempää lyöntilaitetta/lyöntienergiaa suurpaalun upotukseen ja tehdä varsinainen dynaaminen koekuormitus suuremman lyöntienergian omaavalla lyöntilaitteella.

*Taulukko 26. Järkäleen paino [t]–max. paalukoko yhdistelmä, millä voidaan mobilisoida tavanomaisesti riittävä staattinen vastus PTL2/PTL3:ssa.*

Järkäle [t]	max. RR-paalu
5	RR400...RR500
7	RR500...RR700
9	RR700...RR800

### 7.3.1.3 Hydraulivasarat

Hydraulivasarat ovat RR-pienpaalujen asentamiseen erittäin hyvin soveltuvia nopeaiskuisia lyöntilaitteita.

Ne soveltuvat myös suurempien paalujen asentamiseen, jos paaluilta ei edellytetä täyttä geoteknistä puristuskestävyyttä. Hydraulivasaroiden etuja RR-paalujen asentamisessa on mm. suuri iskuluku ja lyöntivoima, joten paalun asentaminen on nopeaa; paalut saadaan asennettua useimmissa tapauksissa hyvin suoraan ja lyöntilaitteisto on kevyt ja asennettavissa monenlaisiin peruskoneisiin.

Eri vasaratyyppien soveltuvuus eri paalukooille ja -pituuksille on määritetty iskuaaltoteoriaan perustuvilla simuloinneilla. Loppulyöntiohjeissa on esitetty em. analyysiin perustuen eri vasaroille soveltuvia paalukokoja ja -pituuksia.

Hydraulivasarat ovat tehokkaita pienpaalujen asennuskalustoja ja kokemusten mukaan hydraulivasaroilla tietyissä olosuhteissa paalut tunkeutuvat syvemmälle kuin heijarikairaukset. Monissa tapauksissa, vaikka simulointi ei osoita riittävää mobilisoituvaa geoteknistä staattista vastusta pienestä yhden iskun aiheuttamasta pysyvistä painumasta johtuen, on paalun kärki luotettavasti kalliiossa tai erittäin tiiviissä pohjamoreenissa. Selkeissä tukipaaluolosuhteissa voidaankin usein riittävällä varmuudella käyttää vasara-paaluyhdistelmää, missä laskennallisesti mobilisoituvaa geotekninen staattinen vastus ei täytä loppulyöntikriteerejä. Tällöin paalujen geotekninen kestävyys on varmistettava dynaamisilla koekuormituksilla (PDA-mittauksilla) tai paalutuskavaoihin perustuvilla tarkastelulla. Koekuormituksissa on käytettävä suuremman lyöntienergian omaavaa lyöntilaitetta, kuten pudotus- tai hydraulijärkälettä.

Lyönnin keskittämiseksi ja paalun pään suojaamiseksi on paalun ja terän välissä käytettävä teräksistä sovitinkappaletta (kuva 12)

Paalutustyöluokassa PTL3 on lyönnin paalun suuntaisen lyönnin varmistamiseksi käytettävä paalutuslaitteistoa, missä hydraulivasara liikkuu paalutusmastossa. Em. lyöntitapa on suositeltavaa myös muissa paalutustyöluokissa.



*Kuva 12. Esimerkki hydraulivasaran terän ja paalun välistä lyönninaikaisesta sovitinkappaleesta.*

#### 7.3.1.4 Paineilmavasarat

Paineilmavasaroilla on hieman pienempi iskuluku kuin hydraulivasaroilla. Eri vasaratyyppien soveltuvuus eri paalukooille ja -pituuksille on määritetty iskuaaltoteoriaan perustuvilla simuloinneilla. Loppulyöntiohjeissa on esitetty em. analyysiin perustuen eri vasaroille soveltuvia paalukojoja ja -pituuksia. Simulointien perusteella hieman paalukuormaan nähden alitehoisia paineilmavasaroita käytettäessä voidaan menetellä geoteknisen kestävyuden varmistamisen suhteen samoin hydraulivasaroilla.

Paineilmavasaran alaosan tulee olla muotoiltu siten tai on käytettävä sovitinkappaletta siten, että lyönti on keskeinen. Paalutustyöluokassa PTL3 on lyönnin paalun suuntaisen lyönnin varmistamiseksi käytettävä paalutuslaitteistoa, missä paineilmavasara liikkuu paalutuskeilissä tai -mastossa. Em. lyöntitapa on suositeltavaa myös muissa paalutustyöluokissa.

Paineilmavasaroitten todellinen tehokkuus riippuu huomattavasti käyttöolosuhteista ja laitteiden kulumisesta.

#### 7.3.1.5 Hydrauliset tunkit

Perustuksen vahvistuskohteissa puristuspaalut asennetaan hydraulisilla tunkeilla. Käytettävä asennuskalusto ja puristusmenetelmä on oltava sellaisia, että paalut voidaan turvallisesti puristaa suunniteltuun puristusvoiman arvoon siten, että työ ei aiheuta vaurioita läheisillä rakenteille. Asennuskalustoon liittyvä puristusvoiman mitauslaite on oltava sellainen, että puristusvoima voidaan mitata luotettavasti.

#### 7.3.1.6 Täryttimet

Täryttimen käyttö RR-paalujen asentamisessa voi olla edullista tapauksissa, joissa paalut asennetaan määräsivyyteen, kuten esimerkiksi melusteiden paaluperustuksissa. Suositeltava täryttimen taajuus on yli 25 Hz. Tärytin voi kiinnittyä joko paalun päähän tai keskelle paalun varrella. Paalun tunkeutumista voidaan tehostaa vetämällä tai painamalla paalua alaspäin. Täryttimen soveltuvuus ja valinta eri paalukooille riippuu paitsi pohjasuhteista myös paalun pituudesta (massasta). Pohjaolosuhteissa, missä kallion päällä olevat karkearakeiset maakerrokset eivät sisällä kiviä, eivät ole erityisen tiiviitä ja ovat suhteellisen ohuita, voidaan sopivaa tärytintä käyttäen RR-paalut asentaa varsin luotettavasti kallionpintaan saakka. Tärytintä voidaan käyttää myös muissa pohjaolosuhteissa paalun upotukseen esimerkiksi kantavan moreenikerroksen yläosaan saakka, minkä jälkeen upotus lopulliseen tasoon ja loppulyönnit tehdään toisella lyöntilaitteella, jolloin myös mekaaniset jatkokset kiristyvät.

Asennettaessa paaluja täryttimillä on huomioitava ympäröivän maaperän mahdollinen häiriintyminen tärinän johdosta. Joissain tilanteissa häiriintyminen voi johtaa mm. huomattavan suuriin paalujen sijaintipoikkeamiin. Täryttimet aihe-

uttavat myös suuria väsyttäviä kuormituksia asennettavalle paalulle. Väsyttävä kuormitus voi aiheuttaa paalun vaurioitumisen ja katkeamisen asennuksen yhteydessä.

Mikäli täryttimillä asennetuille paaluille on suunniteltu merkittäviä pystykuormia, on asentamisen lopetuskriteeri varmistettava muilla lyöntilaitteilla tehtävillä tarkastuslyönneillä tai koekuormituksilla. Tarkastuslyönnit ovat tarpeen myös asennettaessa täryttimillä paaluja joissa on jatkosholkki. Holkkijatkokset saattavat jäädä kiristymättä, ellei niihin kohdistu asennuksen aikana riittävän suurta puristusvoimaa. Paalutustyöluokassa PTL1 selkeissä ja riittävästi tutkituissa pohjaolosuhteissa voidaan riittävästä geoteknisestä kestävyudesta varmistua, jos paalupi- tuudet ja pohjatutkimustulokset tukevat toisiaan.

Täryttimen käyttöä teräspaalun asentamisessa on käsitelty tarkemmin esimerkiksi julkaisussa *Pålkommissionen, Vibratorers användningsmöjligheter vid drivning av pålar och spont, Rapport 99. Linköping 2000.*

#### 7.3.2 Asennuksen aloittaminen

Paalu asemoidaan tarkasti suunnittelulle paikalleen ja paalun pystysuoruus tai kaltevuus tarkistetaan esim. vatu- passilla tai paalutuslaitteessa olevilla kallistuksenmittareilla. Lyönnit ohjataan paalun pituusakselin suuntaisesti ja keskeisesti paalun päähän. Lyönnin keskittämisessä noudatetaan kohdan 7.3.1 ohjeita eri paalutuskalustoille. Asennuksen alkuvaiheessa, kun paalun kärki on tunkeutunut hieman maahan, tarkistetaan paalun kaltevuus ja sijainti. Mikäli sijaintipoikkeama arvioidaan tai mitataan liian suureksi, paalu nostetaan ylös ja asemoidaan uudelleen. Lievästi suunnittelusta kaltevuudesta poikkeavaa paalua voidaan pyrkiä suoristamaan pienillä maston kaltevuuden muutoksilla asennuksen alkuvaiheessa.

#### 7.3.3 Uputuslyönnit ja sallitut lyöntijännitykset

Pehmeissä maakerroksissa käytetään sellaista lyönti- energiaa, että painuma iskua kohti on kohtuullinen ja suuruusluokaltaan noin 100 mm, jolloin riski pienpaalujen mekaanisten jatkosten irtoamisesta vältetään.

Uputuslyönneissä käytetään vastuksesta riippuen sopivaa iskuenergiaa ja iskulukua siten, että paalun upotus on tehokasta.

Paalun asennuksen aikana lyöntijännitykset eivät saa ylittää 90 % teräksen myötörajan. Loppulyöntiohjeissa on esitetty pudotus- ja hydraulijärkäleille eri paalukooille (RR400 saakka) ja paalupituuksille maksimipudotuskorkeudet (=suurimmat esitetyt pudotuskorkeuden arvot PTL3:ssa), joita noudattamalla lyöntijännitykset pysyvät 90 %:ssa tai sen alapuolella. Paalun osuessa ennen loppulyöntejä isoon kiveen, suositellaan, että maksimipudotuskorkeutena käytetään kiven läpäisemisessä hieman pienempiä pudotuskorkeuksia (n. 0,8-kertaisia) kuin mitä taulukossa on esitetty, jotta riski lyöntijännitysten ylittymisestä ei kasva liikaa.



Hydrauli- ja paineilmasarasroilla lyöntijännitykset asennuksen aikana voivat lähestyä 90 % rajaa tai ylittyä niillä vasara-paalu yhdistelmillä, missä loppulyöntikuvaajiin on merkitty tehokkuutta 80 % pienempi arvo tai käytetäessä lyöntienergialtaan liian suurta vasaraa ja paalu tunkeutuminen äkillisesti pysähtyy esim. paalun kohdassa ison kiven. Tällöin suositellaan, että vasaran lyöntivoimaa lasketaan. Loppulyöntiohjeissa kullekin vasaralle on esitetty pienin paalukoko, jonka asentamisessa ko. vasaraa suositellaan käytettäväksi. Mikäli vasaralla asennetaan suositeltavaa paalukokoa pienempää paalua, on lyöntitehoa rajoitettava maksimiarvoa pienemmäksi.

Vinopaaluja asennettaessa on huomioitava, että paaluun siirtyvä lyöntienergia voi olla merkittävästi pienempi kuin pystypaaluja lyötessä.

Suurpaaluilla ja lyöntilaite-paalu -yhdistelmillä, mitä ei ole aiemmin analysoitu, lyöntijännityksiä voidaan arvioida iskuaaltoteoriaan perustuvilla simuloinneilla.

Lyöntijännitysten suuruus ja samalla lyönnin keskeisyys voidaan parhaiten saada selville dynaamisilla kantavuusmittauksilla.

Jos paalun katkaisutaso on maan- tai vedenpinnan tason alapuolella, lyöntilaitteen kehysten ja paalun pään väliin voidaan asentaa paalun pituusakselin suuntainen apupaalu. Apupaalulla tulee olla suunnilleen sama impedanssi kuin paalulla eli apupaaluna käytetään teräspoikkipinta-alaltaan vastaavaa tai lähes vastaavaa (+/-20 %) teräsputkea kuin itse paalu. Apupaalun tulee olla hyvin ohjattu ja sen tulee asettua tiiviisti paalun päähän.

### **7.3.4 RR75-RR270 paalujen asennuksen lisäohjeet ja paalun jatkaminen**

RR75-RR270-paalun lyönti aloitetaan yleensä jatkosettomalla paalun osalla, esimerkiksi aiemmin katkaistun paalun osalla. Ennen asentamista RR-paalun aloitusputken alapäähän kiinnitetään kärkekappale (kallio- tai maakärki) esimerkiksi lekalla lyömällä. Kalliokärjen karkaisuun kärkitappiin ei saa sirpaleen lohkeamisvaaran vuoksi lyödä. Kärkekappaleessa on työstetty ura ja kärkekappale asemoidaan siten, että ura tulee paaluputken sisäpurseen kohdalle. Kitkalla kiinnittyvä kärkekappale on kiinnitettävä riittävän tiukasti paaluputkeen, ettei se pääse irtoamaan lyönnin aikana vetojännityksestä. Lopullisesti kärkekappale "kiristyy" loppulyöntien aikana. Kiinnittämisen yhteydessä on huolehdittava, että kärkekappale on samassa linjassa paaluputken kanssa.

Jos paalut ovat riittämättömästi tuettuja vaakasuunnassa, otetaan asennusenaikainen nurjahdusriski huomioon esimerkiksi valitsemalla sopiva asennuskalusto ja elementtipituus paalulle.

RR-paalun ulkopuolinen jatkosholkki voi olla joko alas- tai ylöspäin. Asennettaessa paalua holkki ylöspäin, on suositeltavaa käyttää sovitinkappaletta, joka välittää lyönnin paaluputkeen holkin ohi. Uputuslyönnit pehmeissä maakerroksissa voidaan kuitenkin asentajan harkinnan mukaan lyödä holkkiin, mikäli sillä ei aiheuteta vaurioita holkkiin tai sen hitsiin. Tiiviissä maakerroksissa sekä asennuksen loppulyöntien aikana on käytettävä sovitinkappaletta, joka välittää lyönnin paaluputkeen holkin ohi.

Ennen paalun jatkamista tarkastetaan paalun yläpään kunto ja vaurioitunut osa korjataan tai poistetaan.

### **7.3.5 RR320-RR1200 paalujen asennuksen lisäohjeet**

Paalu on tuettava lyönnin tai upotuksen alussa siten, että se pysyy suunnitellulla paikalla ja suunnitellussa kaltevuudessa. Lyönti- tai upotustyön kestäessä paalun tuennan on toimittava paalun ohjurina siten, että paalu on jatkuvasti tuettuna paikoilleen katkaisutasossa. Jos paalun yläpään riittävä tuenta on kohtuuttoman vaikea toteuttaa, paalutustyön aikana on seurattava paalun yläpään asemaa ja kaltevuutta. Jos paalun havaitaan poikkeavan suunnitellusta asemasta tai kaltevuudesta, paalun sijainti ja kaltevuus on pyrittävä korjaamaan oikeaksi. Jos paalun kärki kohtaa maaperässä olevan kiven tai lohkareen ja pyrkii muuttamaan siitä suuntaansa, ohjausta on voitava väljentää siten, että paalu voi käyritymättä väistää esteen. Jos ohjausta on tarpeen väljentää enemmän kuin paalun sijainnille ja kaltevuudelle määrätty toleranssit sallivat, tämä edellyttää paaluperustuksen rakenteellisen mitoituksen tarkistamista.

RR320-RR1200 paalut jatketaan hitsaamalla kohdan 7.5 mukaisesti. Ennen paalun jatkamista tarkastetaan paalun yläpään kunto ja vaurioitunut osa korjataan tai poistetaan.

Vesistöön tai pohjavedenpinnan alapuolelle suljetulla kärkekappaleella varustettuja suurpaaluja asennettaessa, kohdistuu paaluun nostevoima, mikä voi ylittää paalun painon ja vaippakitkan vastuksen lyöntityön keskeytyksen aikana koheesiomaissa tai löyhissä kitkaissa. Tällöin paalu voi nostevoimasta johtuen nousta ylös tai nostevoima voi hankaloittaa paalun tunkeutumista. Näissä olosuhteissa yksinkertaisena tapana on täyttää paalut osittain tai kokonaan vedellä riittävän vastapainon saavuttamiseksi. Nostevoiman suuruus kasvaa paaluhalkaisijan kasvaessa (ja seinämäpaksuuden pienentyessä) ja noste on suositeltavaa ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa noin paalukoosta RR800 lähtien.

Suurpaalujen tilauspituudessa tulee huomioida, että PDA-mittausta varten tarvitaan paalun yläpästä 2-d verran "tilaa" mittausta varten.

### 7.3.6 Reikäturnallisten kalliokärkien lisäohjeet

Käytettäessä suurpaaluissa reikäturnallisia kalliokärkiä, on reiän suppeneman ehkäisemiseksi reikä aina valettava täyteen betoniam ennen lyöntityön aloittamista. Asennuksen jälkeen reikä porataan auki esimerkiksi ankkuritangon asentamista varten.

Asennuksessa on suositeltavaa käyttää riittävän painavaa järkälettä, jotta vaadittu pudotuskorkeus pysyy maltillisena. Lisäksi ensimmäisten paalujen lyöntijännityksiä on suositeltavaa mitata niiden asennuksen aikana dynaamisilla kantavuusmittauksilla, jotta varmistetaan ettei asennuksen aikana paaluun synny vahingollisia jännityksiä.

### 7.3.7 Tukipaalun lyönnin päättäminen pudotus- ja hydraulijärkäleillä

Tukipaalun lyönti voidaan lopettaa, kun paalun kärki on lähellä suunnitelmassa arvioitua tavoitetasoa ja kun ennalta määritetyt loppulyöntiehdot täyttyvät. Paalutustyöluokassa PTL2 lopetuslyöntiehtoina paalukooilla RR75–RR400 voidaan käyttää liitteessä 2 esitettyjä loppulyöntiehtoja. Ennen varsinaisia lopetuslyöntejä käytettävää pudotuskorkeutta vaihteittain nostetaan lähelle loppulyöntitaulukoissa esitettyjä arvoja. Varsinaisessa lopetuslyöntisarjassa järkälettä pudotetaan taulukkojen edellyttämältä korkeudelta ja 10 iskun pysyvä painuma mitataan. Kun 10 iskun pysyvä painuma  $\leq 10$  mm, voidaan paalun asennus lopettaa. **Paalujen tukeutuessa maa-kerrokseen, on ehdot täyttäviä loppulyöntisarjoja tehtävä vähintään 3 kpl. Kallioon tukeutuvana, kun kärkitappi on upotettu kallion sisään, yleensä riittää yksi loppulyöntisarja.** Mikäli em. painuma ylittyy, jatketaan paalun upotusta, kunnes loppulyöntiehto täyttyy.

Ennen loppulyöntien aloittamista ei paalun asennuksessa saa pitää taukoa ja loppulyönnit on lyötävä keskeytyksettä. Mikäli lopetuslyönnit joudutaan keskeyttämään, eikä paalujen geoteknistä kestävyyttä voida jo lyötyjen sarjojen, tunkeutumistason tai kohteessa tehtyjen kantavuusmittausten perusteella voida pitää riittävänä, on paalu ”irrotettava” ennen lopetuslyöntien jatkamista esimerkiksi 3–5 kymmenen iskun sarjalla käyttäen noin 50–70 % lyöntienergiaa lopetuslyöntiehdon edellyttämästä tasosta.

Karkaistulla kärkitapilla varustettujen kalliokärjellisten paalun asentamisessa kallion pintaa lähestyttäessä käytetään loppulyöntiohjeen edellyttämää tasoa pienempää lyöntienergiaa. Kalliopinnan tavoittamisen jälkeen lyöntienergiaa nostetaan vähitellen loppulyöntiohjeen edellyttämälle tasolle. Olosuhteissa, missä kallionpinta on suhteellisen tasainen ja kalliopinnan päällä on hyvin tukea antavia kitka- ja moreeni- ja maakerroksia, voidaan lyöntienergia nostaa varsin nopeasti loppulyöntejä edellyttävälle tasolle. Mikäli kärki tällöin pyrkii luistamaan tai kallionpinta on vino, on lyöntienergiaa pienennettävä ja käyttäen matalaa lyöntienergiaa kalliokärjen tuurna kiinnitetään upottamalla kärkitappi joko osittain tai kokoaan kallion sisään, minkä jälkeen lyöntienergia/pudotuskorkeus nostetaan loppulyöntiehtojen edellyttämälle tasolle. Pienillä paaluilla kärki-

tapin luotettava kiinnittyminen vinoon kallio-pintaan edellyttää vähintään 300–500 iskua sen saavutettua kallion ja suurilla paaluilla jopa tuhansia iskuja. RR400–RR1200 rakenneterästuurnallisten kalliokärkien lyömisessä kallion pintaan noudatetaan vastaavia periaatteita.

Kallioon ulotettu lyöntipaalu voi pomppia kalliota vasten lyödessä niin, että kärki irtoaa iskun jälkeen kallionpinnasta. Tällöin paaluun lyödään viimeisen loppulyöntisarjan jälkeen muutamia iskuja matalaa pudotuskorkeutta, jotta paalun kärki jää kiinni kallioon.

Paalutustyöluokassa PTL3 loppulyöntiehdot määritetään kohdan 5.5.4 mukaisella tavalla dynaamisten koekuormitusten perusteella.

### 7.3.8 Tukipaalun lyönnin päättäminen hydraulijä ja paineilmavasaroilla

Tukipaalun lyönti voidaan lopettaa, kun paalun kärki on lähellä suunnitelmassa arvioitua tavoitetasoa ja kun ennalta määritetyt loppulyöntiehdot täyttyvät. Paalutustyöluokassa PTL2 lopetuslyöntiehtoina paalukooilla RR75–RR170 voidaan käyttää liitteessä 2 esitettyjä loppulyöntiehtoja. Ennen varsinaisia lopetuslyöntejä käytettävää lyöntienergiaa ja iskuluku nostetaan vasaran maksimiarvoja vastaaviksi, jos upotuksen aikana on käytetty alhaisempia arvoja. Varsinaisessa lopetuslyöntisarjassa mitataan paalun pysyvää painumaa 30 sekunnissa asennettaessa paalua vasaran täydellä iskuvoimalla ja iskuluvulla. **Loppulyöntiehdot täyttäviä loppulyöntisarjoja tehdään kolme kappaletta. RR-paalun selkeästi kallioon tukeutuvana loppulyöntisarjan pituutena voidaan käyttää 10 sekuntia, jolloin loppulyöntitaulukoiden painuma-arvot on jaettava 3:lla.** Kun loppulyöntitaulukoissa on esitetty tehokkuuslukuna  $<80$  %, ei loppulyöntejä tehdä vasaran täydellä iskuvoimalla lyöntijännitysten takia. Tällöin iskuvoimana on käytettävä esitettyä tehokkuuslukua.

Ennen loppulyöntien aloittamista ei paalun asennuksessa saa pitää taukoa ja loppulyönnit on lyötävä keskeytyksettä. Mikäli lopetuslyönnit joudutaan keskeyttämään, eikä paalujen geoteknistä kestävyyttä voida jo lyötyjen sarjojen, tunkeutumistason tai kohteessa tehtyjen kantavuusmittausten perusteella voida pitää riittävänä, on paalu ”irrotettava” ennen lopetuslyöntien jatkamista esimerkiksi 60 sekunnin lyöntisarjalla.

Kalliokärjellisten RR-paalujen asentamisessa vinoa kallion pintaa lähestyttäessä käytetään vasaran maksimilyöntivoimaa ja iskulukua pienempiä arvoja. Kalliopinnan tavoittamisen jälkeen iskuvoimaa ja -lukua nostetaan vähitellen vasaran maksimitasoon. Mikäli kärki tällöin pyrkii luistamaan, on iskuvoimaa pienennettävä ja käyttäen pientä iskuvoimaa, kalliokärjen tuurna kiinnitetään upottamalla kärkitappi joko osittain tai kokoaan kallion sisään. Tämän jälkeen iskuvoima ja iskuluku nostetaan vasaran maksimitasolle. Kärkitapin luotettava kiinnittyminen vinoon kallio-pintaan edellyttää yleensä vähintään 1–2 minuutin iskusarjaa (vähintään 300–500 iskua) maksimite-

hoa pienemmällä iskuvoimalla. Paalutustyöluokassa PTL3 loppulyöntiehdot määritetään kohdan 5.5.4 mukaisella tavalla dynaamisten koekuormitusten perusteella.

### **7.3.9 Tukipaalujuen loppulyöntiohjeen laatiminen paalutustyöluokassa PTL3 ja PTL2 suurpaaluilla**

Paalutustyön alussa asennetaan koestettavia paaluja kohteen pohjaolosuhteita hyvin edustaviin paikkoihin. Yleensä yksi tai useampi paalu asennetaan kohtaan, missä paalupituudet ovat suurimmillaan tai pohjaolosuhteet lyönnin kannalta haastavimmat. Yleensä koestettavat paalut ovat lopullisen rakenteen paaluja, mutta tarvittaessa voidaan tehdä erillisiä koepaaluja.

Koepaalutusvaiheessa on edullista lyödä paaluja eri loppulyöntiehdoin, jolloin ”tiukimpina” loppulyöntiehtoina käytetään loppulyöntitaulukoiden PTL3 loppulyöntiohjeita tai maksimipudotuskorkeuksia, mutta paaluja voi olla edullista asentaa esim. PTL2 loppulyöntiehdoin. Suurpaalujuen osalta, joille ei ole esitetty yleisiä loppulyöntiehtoja, lopetuslyöntikriteerit ennen koekuormituksia määritetään tapauskohtaisesti lyöntilaite, paalu (halkaisija, seinämävahvuus ja pituus) ja pohjasuhteet huomioiden.

Koepaalutusvaiheen paaluille tehdään dynaaminen koekuormitus. Hydraulii- tai paineilmasaralla asennettujen paalujuen koekuormituksessa suositellaan käytettäväksi erillistä koekuormitusjärkälettä riittävän geoteknisen kestävyuden mobilisoimiseksi. Mikäli paalutushavainnot osoittavat, että paalut tukeutuvat kalliioon, voidaan koekuormitukset tehdä hyvin pian, jopa välittömästi paalun asentamisen jälkeen. Maakerroksiin tukeutuvien paalujuen osalta on suositeltavaa, että paalun asentamisen ja koestuksen väli on vähintään vuorokausi, mielellään enemmän. Yleisesti paaluista mitattava vastus on suurempi mitä pidempi odotusaika on. Dynaamisten koekuormitusten tavoitetasot määritetään suunnitteluvaiheessa kohdan 5.5.4 mukaisesti.

Dynaamisten koekuormitusten perusteella määritetään kohteeseen sopivat loppulyöntiehdot. Mikäli paalupituudet tai pohjaolosuhteet vaihtelevat huomattavasti, annetaan eri paalupituuksille ja pohjaolosuhteille omat loppulyöntiehdot.

### **7.3.10 Kitkapaalujuen lopetuslyönnit**

Paalutustyön alussa tai ennen varsinaista paalutustyötä tehtävässä koepaalutuksessa kitkapaalut lyödään tavalisesti pohjatutkimusten, staattisten kantavuuskaavojen perusteella suunniteltuun tasoon ja/tai alustavasti arvioituun tai iskuaaliteorian perusteella analysoituun lyöntitiukkuuteen. Geotekninen kestävyys mitataan dynaamisilla koekuormituksilla käyttäen signaalinmallinnusta (esim. CAPWAP-analyysi). Karkearakeisissa maakerroksissa vaippavastus yleensä kehittyy alle viikossa, mutta silttipitoisessa maassa odotusaika voi olla huomattavasti pidempikin. Dynaamisten koekuormitusten perusteella määritetään paaluille määräsyyvyystaso ja/tai loppulyöntitiukkuus.

### **7.3.11 Kohdekohtainen lyöntiohje**

Paalutustyöluokassa PTL3 on aina laadittava kohdekohtainen lyöntiohje, missä on vähintään esitetty lopetuslyöntiehdot ja maksimipudotuskorkeudet pudotus- ja hydraulijärkäleille. Suurpaaluilla, joille ei ole etukäteen määritetty loppulyöntiehtoja, kohdekohtainen lyöntiohje laaditaan myös paalutustyöluokassa PTL2. Kitkapaaluille suositellaan myös tehtäväksi kohdekohtainen lyöntiohje myös PTL2:ssa. Tarvittaessa annetaan tapauskohtaisesti esimerkiksi seuraavia tarkentavia ohjeita:

- lyöntikorkeudesta tai käytettävästä lyöntienergiasta lyönnin eri vaiheissa
- ohjeet suljettujen yläpäästä lyötävien paalujuen täyttämistä vedellä
- tarkentavat ohjeet kalliokärjen kärkitapin lyömisestä kalliioon
- menettelyohjeet lyönnin aikana odotettavissa olevien erityistekijöiden ilmenemisen varalta
- ohjeet ilmoitusvelvollisuuksista ja täsmennetyt ohjeet paalutuspöytäkirjan pitämisestä
- ohjeet dynaamisten koekuormitusten tekemisestä (määrät, odotusajat, tavoitetasot)

### **7.3.12 RR-puristuspaalujuen asentaminen**

RR-puristuspaalut asennetaan yleensä hydraulisilla tunkeilla. RR-puristuspaalujuen asennuskaluston tulee olla PO-2016 osan 2 kohdan 5.4.2.4 mukaisia ja asentamisessa noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 5.4.4.5.

## **7.4. RD-paalujuen asentaminen**

### **7.4.1 Paalutuskalusto ja porausmenetelmät**

RD-paalutuskaluston yleisvaatimukset on esitetty PO-2016 kohdassa 5.4.2.1.

RD-paalujuen asentamisessa käytettävät porauslaitteet ovat joko päältälyövään tai uppovasaraan perustuvia. Molemmilla laitteilla voidaan käyttää joko epäkeskistä tai keskistä porausmenetelmää.

#### **7.4.1.1 Päältälyövään vasaraan perustuvat laitteet**

Päältälyövään porauslaitteen poravasara on yleensä joko pneumaattinen tai hydraulinen. Porauslaitteeseen liittyvät myös hydraulinen pyöritysyksikkö ja poratangot. Päältälyövällä porauslaitteella voidaan porata halkaisijaltaan enintään RD170 paaluja.

Poravasaran isku kohdistuu yleensä paalun sisällä olevaan poratankoon, jota pyöritetään samanaikaisesti, ja edelleen RD-paalun kärjessä olevaan maakenkään. Tällöin porausteho laskee paalupituuden ja poratankojen jatkosten lukumäärän kasvaessa. Suurin mahdollinen paalupituus päältälyövällä porauslaitteella on yleensä noin 30 m, joskin myös 50 m:n paalun asentaminen on mahdollista paksuun pehmeään ko-

heesiomaakerrokseen. Eräissä päättälyövissä laitteissa osa poravasaran iskusta kohdistuu myös RD-paaluputkeen.

#### 7.4.1.2 Uppovasaraan perustuvat laitteet

Uppovasaraan perustuvan porauslaitteen poravasara on yleensä joko pneumaattinen tai vesikäyttöinen. Porauslaitteeseen liittyvät myös hydraulinen pyöritysyksikkö ja poratangot.

RD-paalun sisällä olevat poratangot kiinnittyvät ohjausholkin välityksellä uppovasaraan, joka edelleen kiinnittyy porakruunuun kruunun päällä olevan ohjausosan niskakappaleen välityksellä. Isku kohdistuu ohjainosasta maakenkään, jolloin RD-paalu "vedetään" maahan. Pyöritysyksikkö, joka puolestaan sijaitsee RD-paalun pään yläpuolella, pyörittää poratankoja.

Uppovasaraan perustuvilla porauslaitteilla on mahdollista porata suurpaaluja aina RD1200 paalukokoon saakka. Paalun pituudella ei käytännössä kysymykseen tulevilla paalupituuksilla ole suurta vaikutusta poraustehoon ja asennusnopeuteen.

Kokemuksen mukaan uppovasaralla asennetut RD-paalut ovat yleensä hieman suurempia kuin päättälyövällä vasaralla asennetut RD-paalut.

#### 7.4.1.3 Epäkeskinen porausmenetelmä

Epäkeskisessä porausmenetelmässä käytetään pilottikruunua ja tähän kiinteästi liittyvää epäkeskistä avarrinkruunua. Menetelmää voidaan käyttää sekä uppovasaraan että päättälyövään vasaraan perustuvilla porauslaitteilla.

Porauksessa epäkeskinen avarrinkruunu avartaa pilottikruunun tekemän porareian hieman suuremmaksi kuin RD-paalun ulkohalkaisija. RD-paalu vedetään maahan porakruunun ja paaluputkeen hitsatun maakengän avulla.

Huhteluaine siirtää osan poistettavasta maasta ympäröivään maahan. Osa maa-aineksesta huuhdellaan RD-paalun ulkopintaa pitkin ylös maanpinnalle ja osa siirtyy RD-paalun sisälle ja sitä kautta ulos.

Kun tavoitesyvyys on saavutettu, poratankoja kierretään vastakkaiseen suuntaan kuin porattaessa, jolloin porakruunun avarrinosa sulkeutuu ja porakruunut, poratangot ja mahdollinen poravasara voidaan poistaa RD-paalun sisältä. Porausta voidaan jatkaa kallioporauksena joko erillisellä kalliokruunulla tai tietyissä tapauksissa myös samalla kruunulla.

Epäkeskisellä porausmenetelmällä kallioon asennetun RD-paalun alapää jää käytettäessä perinteisiä yhden avarrinkruunun kalustoja (ODEX tai vastaava) aina "hyllyn" varaan, jonka dimensiot määräytyvät käytetyn porakruunun perusteella. Kalliohyllyn vaikutus paalun geotekniseen kestävyteen on otettava huomioon paalujen suunnittelussa ja tarkastustoimenpiteissä.

#### 7.4.1.4 Keskinen porausmenetelmä

Keskisessä porausmenetelmässä käytetään kolmen tyyppiä porakruunuja. Varsinaisia avarrinkruunuja on kahta

tyyppiä; integroitu avarrin (kiinteä, maakenkään lukittu) ja irtoavarrin (irrallinen, maakenkään lukitsematon). Porausken aikana avarrinkruunu on lukittuna pilottikruunuun. Porausken päätyttyä pilottikruunu irrotetaan avarrinkruunusta ja nostetaan ylös. Lisäksi käytössä on niin sanottu siipiterä, eli siipiavarrin, jonka avarrinsiivet levittyvät porausken alkaessa ja vedetään suppuun porausken päätyttyä, jolloin koko terä saadaan nostettua siipineen ylös paalusta. Siipiterällä porattaessa myöskään maakenkä ei välttämättä jää osaksi paalun kantavaa rakennetta.

Eryteisesti käytettäessä siipiavarrinta, mutta myös käytettäessä rengasavarrinta, on huomioitava pilottiterän kärjen, maakengän ja paaluputken toleranssien yhteensopivuus. Eryteisesti on huomioitava pilottiterän kärjen ja maakengän välisen toleranssin soveltuminen käytettävän paaluputkikoon epäpyöreystoleranssiin.

Porattavien paalujen ollessa pitkiä tai maaperäolosuhteiden hankalia ja kivisiä, vaikuttaa maakengän malli asennusvarmuuteen. Tällaisissa kohteissa on havaittu lattateräksestä muovatun, paaluputken sisäpintaan kiinnitettävän ja ainoastaan pintakarkaistun maakenkämallin olevan altis muokkautumiselle ja myös vaurioitumiselle asennuksen yhteydessä.

Tarvittaessa porausta voidaan jatkaa kallioporauksena. Markkinoilla on myös olemassa porakruunujärjestelmiä, missä kallioporaus voidaan jatkaa samalla pilottikruunulla, ns. läpiporattavat avarrinkruunut.

Menetelmää voidaan käyttää sekä uppovasaraan että päättälyövään vasaraan perustuvilla porauslaitteilla. Kokemuksen mukaan keskisellä porausmenetelmällä yleensä saavutetaan suurempia RD-paaluja kuin yhteen avarrinkruunuun perustuvilla epäkeskisillä menetelmillä. Hankalissa (lohkareita, kiviä sisältävä maa) olosuhteissa rengasavartimella varustettu porakruunu on yleensä luotettavampi ja nopeampi kuin epäkeskinen menetelmä ja siipiavarrin.

#### 7.4.2 Asennuksen aloittaminen

Paalu asemoidaan tarkasti suunnittelulle paikalleen ja paalun pystysuoruus tai kaltevuus tarkistetaan esim. vatupasilla. Kohteissa, missä RD-paaluille on asetettu tiukat sijainti- ja kaltevuustoleranssit, on mittaustoihin kiinnitettävä erityistä huomiota. Asennuksen alkuvaiheessa, kun paalun kärki on tunkeutunut hieman maahan, tarkistetaan paalun kaltevuus ja sijainti. Mikäli sijaintipoikkeama arvioidaan tai mitataan liian suureksi, paalu nostetaan ylös ja asemoidaan uudestaan. Lievästi suunnitellusta kaltevuudesta poikkeavaa paalua voidaan pyrkiä suoristamaan pienillä keilin kaltevuuden muutoksilla asennuksen alkuvaiheessa.

#### 7.4.3 RD-paalujen poraaminen

RD-paalujen poraamisessa noudatetaan vasaran ja porakruunuvälittäjän ohjeita ja suosituksia. Maakenkä tai intergoitu maakenkä-rengaskruunu kiinnitetään yleensä hitsaamalla RD-paaluputkeen välittäjän ohjeiden mukaisesti. Keskisessä porausmenetelmissä käytettävät avarrinkruunut tai pyörivät rengaskruunut kiinnitetään maakenkään valmis-

tajan ohjeiden mukaisesti. Maakengän ja porakruunun (avarrinkruunun) on kestettävä kuormaa käytön aikana vähintään yhtä paljon kuin paalun edellytetään kestävän. Maakengän- ja porakruunun kestävydestä vastaa niiden valmistaja PO-2016 osan 2 kohdan 3.9.4.3 mukaisesti.

Porauksen aikana on syöttövoiman aiheuttama paine pilottikruunun alla pienempi kuin huuhtelupaine, jolloin kruunun huuhtelureiät pysyvät auki koko porauksen ajan. Jos huuhtelureiät tukkeutuvat, voidaan niitä yrittää aukaista nostamalla huuhtelupaine suurimpaan sallittuun arvoon sekä muuntelemalla pyöritys- ja syöttövoimaa. Reikien aukaisua voidaan yrittää myös vaihtamalla huuhteluaine nesteestä ilmaksi. Jos huuhtelureikiä ei saada aukaistua, nostetaan pilottikruunu ylös porausputkesta, puhdistetaan reiät ja vasta sitten jatketaan porausta.

RD-paalun kohdatessa suuren kiven, lohkareen tai kallion, pidetään syöttövoima pienenä ja nostetaan pyöritysnopeutta. Menettelyllä vähennetään riskiä paalun liialliselle sivusiirtymälle, kallistumiselle ja käyristymiselle.

Jos RD-paalun asentamisessa on riski, että paalu kohtaa maaperässä puuainesta, on suositeltavaa käyttää erikoiskruunuja porauksen nopeuttamiseksi ja läpäisemisen onnistumisen varmistamiseksi. Isommilla RD-paaluilla käytettäessä tavanomaisia porakruunuja läpäisy yleensä onnistuu, mutta porausnopeus hidastuu, pienemmillä RD-paaluilla riski porauksen epäonnistumisesta puuaineksen läpi on suurempi. Maaperässä olevien metallikappaleiden läpäisy poraamalla ilman kaluston merkittävää rikkoontumisriskiä on epävarmaa.

Jos RD-paalu katkeaa tai porakruunu tai maakenkä vaurioituu porauksen aikana siten, että upotus ei ole enää mahdollista, pyritään koko RD-paalu nostamaan ylös. Jos tämä ei ole mahdollista, paalu yleensä hylätään. Perustusten vahvistamistöissä on yleensä tarkoituksenmukaista tehdä erillinen selvitys vaurioituneen RD-paalun geoteknisestä tai rakenteen kestävydestä. Selvityksen perusteella määritetään aste, jolla vaurioitunutta RD-paalu voidaan hyödyntää perustuspaaluna.

RD-paalujen porauksen aikana tarkkaillaan asentamisen vaikutuksia ympäröivään maaperään ja haitalliset vaikutukset otetaan huomioon asennuksessa.

Poraus karkearakeisissa maakerroksissa voi aiheuttaa tiiviiden maakerrosten löyhtymistä tai löyhien maakerrosten tiivistymistä. Paalu tukeva maa löyhtyy, jos porauksen aikana poistuvan maa-aineksen tilavuus on suurempi kuin RD-paalun tilavuus.

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

Häiriintymistä ja huokosvedenpaineen kasvua voidaan ehkäistä esimerkiksi:

- valitsemalla pohjasuhteisiin sopiva porausmenetelmä
- rajoittamalla käytettävää huuhtelupainetta
- jaksottamalla paalujen porausta tai pidentämällä paalutuksen kestoa.

Porauksen huuhteluaineena voidaan käyttää ilmaa, vettä, polymeerejä tai sementtilaastia. Huuhteluaineen mukana maaperästä poistuvan maa-aineksen tilavuuden tulisi olla hieman pienempi tai enintään sama kuin RD-paalun tilavuus ja poistuvan veden määrän tulisi vastata huuhtelussa käytettävän veden määrää.

Huuhteluaineen mukana ylös nouseva liiallinen vesi ja/tai maa-aines voi aiheuttaa:

- paalu ympäröivien maakerrosten häiriintymistä
- viereisten tai vahvistettavien rakenteiden perustusten alapuolisten maakerrosten kestävyden menetystä
- lähellä olevien juuri asennettujen injektointien paalujen kovettumattomien mantteleiden tai muiden maassa olevien kovettumattomien betonointien vaurioitumista.

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

- löyhissä tasarakeisissa maakerroksissa
- pehmeissä hienorakeisissa maakerroksissa
- muuttuvissa maakerroksissa
- käytettäessä uppovasarain perustuvaa porauslaitetta suorahuuhtelulla pohjaveden pinnan alapuolella.

Jos huuhteluaineena käytettävä ilma ei poistu maasta RD-paalun läheisyydestä, keskeytetään poraus.

RD-paalu porataan kallioon suunnitelmien mukaiseen syvyyteen. Kallioporausvaiheessa kiinnitetään huomiota porauslietteen väriin, porauksen tunkeutumisnopeuteen ja huuhteluveden ylösvirtaukseen. Näiden perusteella on mahdollista arvioida kallion laatua.

Kallioon ulottuvilla RD-paaluilla varmistetaan porauksen saavutettua tavoitesyvyyden kalliossa, että kantavana rakenteena toimiva RD-paaluputki tukeutuu luotettavasti kallioon. Erityistä huomiota tähän seikkaan on kiinnitettävä käytettäessä epäkeskistä porausmenetelmää tai siipiavarrinta.

Kallioon tukeutuvat RD-paalut tarkastuslyödään aina poratankojen ja pilottikruunun ylösnoston jälkeen. RD-paaluputki voi nousta irti kallionpinnasta, kun pilottikruunu ja poratangot vedetään pois RD-paalusta. Epäkeskisessä porausmenetelmässä, käytettäessä yhteen avarrinkruunu perustuvaa porakruunua ja keskisessä porausmenetelmässä, käytettäessä siipiavarrinta, RD-paalu jää aina irti kallion pilottikruunussa olevan avarrinosan korkeuden verran.

Tarkastuslyönnit voidaan tehdä esimerkiksi lyömällä poravasaralla RD-paalun yläpäähän.

#### 7.4.4 Kiertetyttyjen RDT-paaluelementtien ja kierreholkki-jatkosten käsittely ja asentaminen

##### 7.4.4.1 Vastaanottaminen ja tarkastus

Paaluelementit toimitetaan työmaalle kartiokierteet kevyesti suojaöljyllä ja muovikalvolla suojattuina. Vastaanoton yhteydessä tulee tarkistaa, että paalutuotteiden materiaalit sekä mitat vastaavat suunniteltuja.

Paaluelementeistä tulee myös tarkistaa, ettei niiden kierreosissa ole kolhuja tai muita vaurioita. Kierre-jatkosten suojausten poistoa ja paaluelementinippujen tarpeetonta purkua ennen asennusta on vältettävä.

##### 7.4.4.2 Kierteiden kätsisyys

Paalujen asennuksessa käytettävä asennuskalusto vaikuttaa paalujen kierteityksiin. Uppovasarakalustoa (DTH) käytettäessä porakärjen pyörimissuunta on myötäpäivään. Tällöin myös paalu asennusvaiheessa pyrkii pyörimään myötäpäivään. Jatkosten kiinni pysymisen varmistamiseksi paalujen ja holkkien kierteiden tulee siten olla vasenkätiset. Päättälyövää kalustoa (Top hammer) käytettäessä porakärjen pyörimissuunta on vastapäivään, jolloin vastaavasti paalujen ja holkkien kierteiden tulee olla oikeakätiset.

Kätsisyyden voi tarkistaa kiertämällä holkkia paaluun kiinni. Oikeakätinen kierre kiristyy pyöritettäessä holkkia myötä-

päivään. Vasenkätinen kierre kiristyy pyöritettäessä holkkia vastapäivään.

##### 7.4.4.3 Siirrot ja varastointi

Paaluelementtejä tulee käsitellä kuljetuksessa ja työmaalla siten, että kierteet eivät kolhiinnu. Paaluelementit voidaan varastoida ulkotiloissa, mutta kierteiden ruostumisen estämiseksi paalut on syytä suojata peitteillä. Peitteet tulee asentaa siten, että paaluniput pääsevät kuivumaan. Kierreholkit suositellaan varastoitavaksi sisätiloissa.

Huolellisella paalutuotteiden käsittelyllä ja varastoinnilla estetään vaurioiden syntyminen ja varmistetaan jatkosten vaivaton asennus.

##### 7.4.4.4 Asentaminen

###### Porakruunut

Ennen porauksen aloittamista on suositeltavaa varmistaa, että käytettävän avarrinkruunun ulkohalkaisija on yhteensopiva jatkosholkin ulkohalkaisijan kanssa. Taulukossa 27 on esitetty suositeltavia porakruunuja normaaleihin maaperäolosuhteisiin. Jos maaperä sisältää vaikeasti läpäistäviä esteitä, kuten puupaaluja tai betonirakenteita, tulee harkinnan mukaan käyttää tarkoitusta varten kehitettyjä erikoiskruunuja.

Taulukko 27. Kierreholkki-jatkosten mitat, kiristysmomentit sekä suositeltavat avarrinkruunujen tyypit ja mitat

RDT-paalu	Jatkosholkki		RDTs-paalu	Jatkosholkki		Jatkoksen kiristysmomentti-vaatimus, RD- ja RDS-paalut [kNm]	TerraRoc	Avarrinkruunun ulkohalkaisija [mm]	Robit	Avarrinkruunun ulkohalkaisija [mm]
	D [mm]	L [mm]		D [mm]	L [mm]					
RDT90/6,3	101,6	160		-	-	-	Symmetrix P89/6.3-54 *	107	ROX+ XL 88,9/8 *	105
RDT115/6,3	126,9	160		-	-	-	Symmetrix P114/8-61 Symmetrix P114/10-75	132 129	DTH PRIME 114,3/10	135
RDT115/8	126,9	160	RDTs115/8	126,9	160	1	Symmetrix P114/8-61 Symmetrix P114/10-75	132 129		
			RDTs125/6,3	-	-	-	-	-	DTH-ROX+ XL 127/10	145
RDT140/8	152,4	160	RDTs140/8	152,4	160	1	Symmetrix P140/10-82 Symmetrix P140/10-100	158 160	DTH PRIME 139,7/10	161
RDT140/10	152,4	160	RDTs140/10	152,4	160	1	Symmetrix P140/10-82 Symmetrix P140/10-100	158 160		
RDT170/10	181,9	200	RDTs170/10	181,9	200	1	Symmetrix P168/12,7-103 Symmetrix P168/12,7-125	188 190	DTH PRIME 168,3/12,7	191
RDT170/12,5	181,9	200	RDTs170/12,5	181,9	200	1	Symmetrix P168/12,7-103 Symmetrix P168/12,7-125	188 190		
RDT220/10	234,9	200	RDTs220/10	234,9	200	3	Symmetrix P219/12,7-146 Symmetrix P219/12,7-171	240 242	DTH PRIME 219,1/12,7	241
RDT220/12,5	234,9	200	RDTs220/12,5	234,9	200	3	Symmetrix P219/12,7-146 Symmetrix P219/12,7-171	240 242		
RDT270/10	292,0	245	RDTs270/10	292,0	245	3	Symmetrix P273/12,7-227	302	DTH PRIME 273/12,7	303
RDT270/12,5	292,0	245	RDTs270/12,5	292,0	245	3				
RDT320/10	343,0	245	RDTs320/10	343,0	245	3	Symmetrix P324/12,7-273	353	DTH PRIME 323,9/12,7	350
RDT320/12,5	343,0	245	RDTs320/12,5	343,0	245	3				

Huom. Kaikki porakruunut ovat uppovasarakalustolle, paitsi tähdellä (\*) merkityt, jotka ovat tarkoitettu päättälyövälle kalustolle. Uppovasarakalustoa käytettäessä paalujatkosten kierteityksen tulee olla vasenkätinen ja päältä lyövää kalustoa käytettäessä oikeakätinen.



Pituussaumahitsatun putken valmistusvaiheessa putken sisäpintaan muodostuu sisäpurse. Purseen poisto ei yleisimpiä pilottikruunuja käytettäessä ole yleensä välttämätöntä, mutta sisäpurseen vaikutus on syytä ottaa huomioon pilottikruunun valinnassa. Erikseen tilattaessa sisäpurse voidaan poistaa paaluputken valmistusvaiheessa.

#### Kierteiden suojaus

Paaluelementin pystyyn nostamisen aikana on kiinnitettävä huomiota siihen, etteivät kierreteet vaurioitu. Kevyet paaluelementit voidaan nostaa pystyyn ilman mekaanista päiden suojausta. Raskaammat paaluelementit suositellaan suojattavaksi esim. muovista tai metallista valmistetulla suojahatulla tai -holkillä. Suoja voi olla esimerkiksi elementin kierreille asennettava tai putken päälle mekaanisesti lukittava suoja.

#### Puhdistus ja voitelu

Ennen holkin kiertämistä paikoilleen tulee varmistua sekä paaluelementin pään että holkin kierteiden puhtaudesta ja ehjyydestä. Tarvittaessa kierreteet puhdistetaan huolellisesti esimerkiksi harjaamalla, vedellä tai paineilmalla. Jos kierreisiin on varastoinnin aikana muodostunut pintaruostetta, on ruoste suositeltavaa poistaa ennen asennusta esim. teräsharjalla.

Kierreholkki-jatkoksen kiinni kiristymisen varmistamiseksi paaluelementin ja/tai kierreholkin puhdistetut kierreteet on syytä voidella esimerkiksi luonnossa hajoavalla voiteluaineella ennen holkin asettamista paikoilleen. Jäykän voitelurasvan käyttö saattaa etenkin kylmissä olosuhteissa vaikeuttaa jatkoksen kiristämistä.

#### Kiristäminen

Jatkoksen asennuksessa on varmistuttava, että kierreteet kohdistuvat oikeille kierreille. Holkki kierretään asennettuun paaluelementtiin käsin. Mikäli loppukiristys tehdään paalutuskoneen leuoilla, on suositeltavaa esikiristää holkki ketjuavaimella. Esikiristuksen jälkeen seuraava paaluelementti asennetaan holkkiin ja jatkos loppukiristetään vähintään vaadittuun kiristysmomenttiin. Loppukiristys voidaan tehdä ketjuavaimella, paalutuskoneen leuoilla tai paaluputken pyöritysyksiköllä (ns. spinnerillä). Pyöritysyksikön käyttö on suositeltavaa RDT170 ja sitä isommilla paaluilla sujuvamman asennuksen takaamiseksi. Paalukoko-kohtaiset kiristysmomenttien vähimmäisarvot on esitetty taulukossa 27. Vähimmäisarvojen käyttäminen edellyttää, että kierreteet ovat puhtaat eikä niissä ole mekaanisia vaurioita.

Vaihtoehtoisesti holkki voidaan esikiertää seuraavaksi asennettavaan paaluelementtiin. Tässäkin tapauksessa on suositeltavaa kiertää holkki ensin käsin oikeille kierreille ja esikiristää sen jälkeen ketjuavaimella. Holkki ja seuraava paaluelementti asennetaan yhdessä kiinni jo asennettuun paaluelementtiin ja loppukiristys tehdään samoin kuin edellä on kerrottu.

Loppukiristystä tehdessä on huomioitava ettei holkista puristeta siten, että jatkoksen kiristyminen estyy. Kiristysote tulisi ottaa alemmasta ja ylemmästä paaluelementistä eikä holkista, etenkin koneellisesti kiristettäessä.

Kierreholkki-jatkos on mitoitettu siten, että jatkos täyttää sille asetetut vaatimukset taulukossa 27 esitellyillä kiristysmomenttien vähimmäisarvoilla, vaikka paaluelementtien päät eivät olisi kontaktissa toisiinsa. Paaluelementtien päiden kontaktin saavuttaminen vaatii yleensä suositeltua suuremman kiristysmomentin.

### 7.5 Teräspaaluun jatkaminen hitsaamalla

Kaikki SSAB:n teräspaaluissa käytettävät teräslaadut ovat termomekaanisesti valssattuja. Kaikki teräslaadut ovat hyvin hitsattavia.

#### 7.5.1 Hitsaussuunnitelma

Osana työ- ja laatusuunnitelmaa laaditaan hitsaussuunnitelma. Siitä tulee käydä ilmi mm. seuraavat asiat:

- teräslaji
- hitsien laatuvaatimus (hitsiluokka)
- hitsausmenetelmä
- hitsauslisäaineet
- mahdollinen esikuuminen
- hitsausolosuhteet
- railomuodot
- hitsausasennot
- hitsausohjeet (WPS)
- menetelmäkokeet vaadittaessa
- työkokeet vaadittaessa
- hitsaajien pätevyudet
- mahdolliset hitsien jälkikäsittelyt
- hitsien tarkastusohje

#### 7.5.2 Hitsauksen laatuvaatimukset

Hitsauksen, tarkastuksen ja testauksen sekä niihin liittyvien toimintojen tulee täyttää vähintään standardin SFS-EN ISO 3834-4 mukaiset vaatimukset.

Huolellisesti tehtyjen hitsausliitosten lujuus ja sitkeys ovat yleensä riittävät. Vaativissa kohteissa hitsiliitoksen mekaaniset ominaisuudet voidaan lisäksi varmistaa menetelmä- ja/tai työkokein.

Mikäli suunnitelmissa ei toisin esitetä, riippuvat paalujen jatkoksille vaaditut standardin SFS-EN ISO 5817 mukaiset hitsiluokat taulukon 28 mukaisesti.

Taulukko 28. Teräspaaluun jatkoksille vaaditut hitsiluokat (SFS-EN ISO 5817)

Paalutus- työluokka	Seuraamusluokka		
	CC1	CC2	CC3
PTL3	C	C	B
PTL2	C	C	C
PTL1	D	-	-

Mikäli RR- tai RD-paalu toimii ainoastaan suojaputkena (ei kantavana rakenteellisena osana) hitsausluokka on D.

Mikäli taulukon 28 hitsiluokkavaatimuksesta poiketaan, on hitsiluokan valinnassa otetaan huomioon rakenteelle tulevat staattiset ja dynaamiset kuormitukset, rakenteen käyttöolosuhteet sekä mahdollisesta vauriosta aiheutuvat seuraukset ja hitsauksen jälkeen tehtävät käsittelyt. Rakenteeseen kohdistuvien kuormitusten osalta on tarkasteltava sekä paalujen asennusvaiheessa että käytössä esiintyvät kuormitukset.

### 7.5.3 Hitsaajan pätevyys

Hitsaajilla on oltava standardin SFS-EN ISO 9606-1 (Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset)

edellyttämä pätevyys. Hitsaustyöurakoitsija vastaa omalta osaltaan, että hitsaajien pätevyystodistukset ovat voimassa. Pätevyyskokeen on vastattava työn vaatimuksia. Huomioon otettavia asioita ovat mm. hitsausmenetelmä, liitosmuoto, teräslaji, ainepaksuus, putken ulkohalkaisija ja hitsausasento standardin esittämällä tavalla. Pätevyyskoe tulee hitsata pääsääntöisesti putkelle. Jos hitsattavien paalujen halkaisija on suurempi kuin 500 mm, koe voidaan hitsata myös levyille.

Puikkohitsaajan pätevyys voidaan varmistaa esimerkiksi seuraavalla yhdeltä puolelta, ilman juuritukea putkelle hitsatulla kokeella.

Taulukko 29. Esimerkki puikkohitsaajan pätevyyskokeesta.

<b>SFS-EN ISO 9606-1: 111 T BW 2.1 B t10.0 D168 PC ss nb</b>	
<b>Selitys</b>	
<b>111</b>	Puikkohitsaus
<b>T</b>	Putki
<b>BW</b>	Päittäisliitos
<b>2.1</b>	Perusaineryhmä raporttien CEN ISO/TR 15608 ja CEN ISO/TR 20172:2009 mukaan (pätevoittää SSAB:n teräslajeihin S355-S460 ja X60)
<b>B</b>	Emäspuikko
<b>t10.0</b>	Koe hitsattu 10 mm:n seinämänvahvuudelle, pätevoittää paksuudet t = 3–20 mm
<b>D168</b>	Koeputken halkaisija 168 mm, pätevoittää halkaisijat D ≥ 84 mm
<b>PC</b>	Hitsausasento PC, putki pystyasennossa, pätevoittää myös jatkohitsauksen
<b>ss</b>	Yhdeltä puolen hitsaus
<b>nb</b>	Ilman juuritukea, pätevoittää myös mm. hitsauksen juuritukea vasten

Teräslajien S550J2H ja X70 hitsaaminen edellyttää pätevyyskokeen suorittamista perusaineryhmän 2.2 teräksellä

Taulukko 30. Hitsauslisäaineen valinta.

<b>Teräslaji</b>	<b>Hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet (SFS-EN ISO 2560 ja 18275 hitsauspuikoille sekä SFS-EN ISO 14341, 17632 ja 18276 täytelangoille)</b>			
	<b>Myötölujuus<sup>1</sup></b>	<b>Iskusitkeys<sup>2</sup></b>	<b>Esimerkkipuikkoja</b>	<b>Esimerkkitäytelankoja</b>
<b>S355J2H</b>	35	2	ESAB OK 48.00	TRI-MARK TM-770, ESAB OK Tubrod 15.14
<b>S440J2H ja S460MH</b>	46	2	ESAB OK 55.00, ESAB OK 48.08	TRI-MARK TM-770, ESAB OK Tubrod 15.14
<b>S550J2H</b>	55	2	ESAB OK 74.78	TRI-MARK TM-881 K2, ESAB Dual Shield 55, ESAB Coreweld 55 LT H4
<b>X60</b>	42	2	ESAB OK 48.00	TRI-MARK TM-770, ESAB OK Tubrod 15.14
<b>X70</b>	50	2	ESAB OK 74.78	TRI-MARK TM-881 K2, ESAB Filarc PZ 6138

<sup>1</sup> Puhtaan hitsiaineen myötölujuusarvot  
 35 = vähimmäismyötölujuus: 350 MPa  
 42 = vähimmäismyötölujuus: 420 MPa  
 46 = vähimmäismyötölujuus: 460 MPa  
 50 = vähimmäismyötölujuus: 500 MPa  
 55 = vähimmäismyötölujuus: 550 MPa

<sup>2</sup> Puhtaan hitsiaineen 47 J:n iskuenergian testauslämpötila: 0=0 °C, 2=-20 °C.



## 7.5.4 Hitsausprosessit

Perinteinen teräsmaalujen asennustyömailla käytetty hitsausprosessi on puikkohitsaus. Se on monipuolinen ja joustava menetelmä, jonka laitteet ovat yksinkertaisia ja helposti siirrettäviä.

Uudempi hitsausprosessi on täytelankahitsaus. Sen etuina ovat tehokkuus, tasainen hitsin laatu ja mekanisointavuus. Täytelankahitsauksen mekanisointiin on markkinoilla erilaisia putkeen kiinnitettäviä ja suutinta siirtäviä kuljettimia. Mekanisointi parantaa mahdollisuuksia hitsata ahtaissa tiloissa, esimerkiksi saneerauskohteissa, joissa paalu on saatava lähelle seinää. Paalun ja seinän välinen etäisyys voi olla jopa 150 mm. Suojakaasulla hitsattaessa on tarvittaessa käytettävä suojaa, joka estää tuulen ja vedon haitalliset vaikutukset. Markkinoilla on myös ilman suojakaasuja hitsattavia täytelankoja.

Konepajahitsauksessa voidaan käyttää kaikkia hiiliterästen hitsausprosesseja.

## 7.5.5 Hitsauslisäaineet

Hitsauspuikkoja koskevia standardeja ovat SFS-EN ISO 2560 (Hitsausaineet. Hitsauspuikot seostamattomien ja hienoraeterästen puikkohitsaukseen. Luokittelu) ja SFS-EN ISO 18275 (Hitsausaineet. Hitsauspuikot lujien terästen puikkohitsaukseen. Luokittelu).

Täytelankoja koskevia standardeja ovat SFS-EN ISO 17632 (Hitsausaineet. Täytelangat seostamattomien terästen ja hienoraeterästen täytelankahitsaukseen suojakaasun kanssa ja ilman suojakaasua. Luokittelu), SFS-EN ISO 14341 (Hitsauslangat ja hitsiaineet seostamattomien terästen ja hienoraeterästen metallikaasukaarihitsaukseen) ja SFS-EN ISO 18276 (Hitsausaineet. Täytelangat lujien terästen MAG-hitsaukseen ja suojakaasuttomaan täytelankahitsaukseen. Luokittelu).

Hitsauslisäaineiden tulee täyttää em. standardien vaatimukset.

Hitsauslisäaineet valitaan paalujen teräslajin lujuus- ja iskutietovaatimusten perusteella taulukon 30 tai SSAB:n ohjeen ”Kuumavalssatut kelat ja -levyt, Materiaalivalinta, Hitsausaineet” mukaisesti. Taulukossa 30 esitettyjen hitsauslisäaineiden täydelliset SFS-EN -standardien mukaiset luokittelumerkinnot ovat taulukon 31 mukaiset:

*Taulukko 31. Hitsauspuikkojen ja täytelankojen luokittelumerkinnot.*

### Hitsauspuikot:

ESAB OK 48.00: EN ISO 2560: E 42 4 B 42 H5  
ESAB OK 48.08: EN ISO 2560: E 46 5 1Ni B 32 H5  
ESAB OK 55.00: EN ISO 2560: E 46 5 B 32 H5  
ESAB OK 74.78: EN ISO 18275: E 55 4 MnMo B 32

### Täytelangat:

TRI-MARK TM-770: EN ISO 17632 T 42 2 P M 2 H10  
TRI-MARK TM-881 K2: AWS E81T1-K2J, E81T1-K2 MJ H8  
ESAB OK Tubrod 15.14: EN ISO 17632 T 46 2 P M/C 2 H10  
ESAB Dual Shield 55: EN ISO 18276-A, T55 4 Z P M H5  
ESAB Filarc PZ 6138: EN ISO 17632-A, T 50 6 1Ni P M21 1 H5  
ESAB Coreweld 55 LT H4: EN ISO 18276-A, T 55 6 Z M21 2 H5

Hitsattaessa lujuudeltaan tai tyyppiltään erilaisia paalun osia toisiinsa valitaan lisäaine yleensä pehmeämmän tai vähemmän seostetun teräslaadun mukaan. Kuitenkin esimerkiksi hitsattaessa paaluun kiinnikkeitä tms. valitaan lisäaine seostetumman (paalun) teräksen mukaan, jotta putken seinämän osaksi tuleva hitsiaine olisi riittävän seostettu.

Hitsauspuikkojen on oltava emäspäällysteisiä, jonka tunnus luokittelumerkinnot on B (basic, emäs).

Pohjapalon hitsauksessa voidaan tarvittaessa, osapuolien niin sopiessa, käyttää lujuudeltaan perusainetta alemmaa lisäainetta. Hitsauspuikkojen päällysteet ja osittain myös täytelankojen täytteet ovat hygroskooppisia, mistä syystä ne imevät herkästi kosteutta ympäröivästä ilmasta. Kosteus voi aiheuttaa huokosia, roiskeita ja pahimmassa tapauksessa vetyhalkeamia hitsiin. Tästä syystä hitsauspuikkojen ja täytelankojen huolellinen käsittely ja varastointi on tärkeää. Urakoitsijan on huolehdittava siitä, että lisäaineet pysyvät kuivina työmaalla. Hitsauslisäaineet säilytetään kuivassa ja lämpimässä varastotilassa, jolloin estetään myös kosteuden tiivistyminen lämpötilavaihteluiden takia pakkauksen sisäpuolella.

Varsinaisella hitsauspaikalla lisäaineet on suojattava sateelta yms., ja puikot säilytetään erillisessä lämmitettävässä puikkosäiliössä, josta hitsaaja ottaa puikot yksitellen käyttöönsä. Hitsauspuikkoja toimitetaan myös ilmatiiviisti pakattuina. Näissä pakkauksissa puikkoja on vain pieni määrä ja puikot voidaan hitsata 4 tunnin kuluessa pakkauksen avaamisen jälkeen ilman kostumusvaaraa.

Kostuneita tai muuten vaurioituneita hitsauslisäaineita ei saa käyttää. Kostuneet hitsauspuikot voidaan kuivata uudelleen valmistajan ohjeen mukaisesti, esim. +300–400 °C:ssa, 2–3 tunnissa.

Täytelankakelat tulee poistaa koneesta hitsauksen lopettamisen jälkeen ja viedä kuivaan, lämpimään varastoon säilytykseen.

## 7.5.6 Hitsausolosuhteet

Ympäristöolosuhteet vaikuttavat oleellisesti hitsien laatuun ja hitsaajien työolosuhteisiin. Hitsausolosuhteet on järjestettävä niin, että suunnitelman mukainen laatutaso on mahdollista saavuttaa. Hitsauspaikka on tarvittaessa suojattava tuulelta ja sateelta. Sen tulee olla myös riittävästi valaistu. Hitsausalustan tulee olla tasainen ja vaka, jotta hitsaaja pystyy suorittamaan työnsä kunnolla ja turvallisesti.

Hitsauksessa pakkasolosuhteissa on huolehdittava hitsaajan työolosuhteista. Kylmässä ilmassa kosteus kondensoituu metallipinnoille, jolloin ne on lämmitettävä +50–100 °C kosteuden poistamiseksi, vaikka teräs itsessään ei esilämmitystä vaatisikaan.

Hitsauksen laadun varmistamisessa kunnollinen maadoitus on olennainen tekijä. Maadoituskaapeli on mitoitettava yhtä suureksi kuin hitsauskaapeli. Se on kytkettävä suoraan työkappaleeseen. Maadoituskohdan on oltava metallisen puhdas.

Kosteissa ja märissä olosuhteissa on huolehdittava hit-saajan turvallisuudesta sähkötapaturmia vastaan.

### 7.5.7 Railot

Tehdastoimituksissa paaluputkien päissä on yleensä valmiina hitsausviisteet, joiden kulma on 30° ja juuripinta 1,6 mm +/-0,8 mm. Työmaalla paalut katkaistaan tavallisesti polttoleikkaamalla tai hiomalla. Katkaisulinja on syytä merkitä ympäri paalun, jotta katkaisu tapahtuu kohtisuoraan paalun keskiliinjaa kohti. Jos käsinleikkauksessa katkaisu ei ole riittävän suora ja lisäksi leikkauspinta on epätasainen, katkaisujälki on korjattava hiomakoneella. Viisteet tehdään polttoleikkaamalla ja/tai hiomalla. Polttoleikattu pinta tulee aina hioa puhtaaksi ennen hitsausta. Mekanisoidussa hitsauksessa viisteet on tehtävä sorvaamalla.

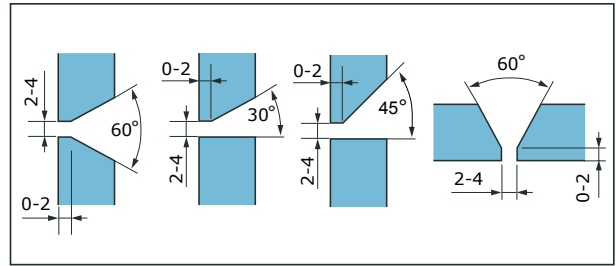
Putkipaalujen hitsaus tehdään ulkopuolelta, jolloin railomuodon on oltava sellainen, että saavutetaan riittävä läpihitsautuminen ja tasainen juuren kupu sisäpuolelle. Erityisesti ilmaroon on oltava oikea, koska se varmistaa läpihitsautumisen.

Standardi SFS-EN ISO 9692-1 (Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuotosuositukset. Osa 1: Terästen puikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, TIG- ja sädehitsaus) antaa suosituksia liitoksen railomuodoista. Tavallisimmin käytettyjä railomuotoja ovat 1/2-V- ja V-railo. V-railo soveltuu hitsaukseen kaikissa asennoissa. 1/2-V -railoa käytetään yleensä pystyasentoisen paalun hitsauksessa. Tehtaalta toimitettuja täysmittaisia paaluja jatkettaessa railomuotona käytetään V-railoa. Mikäli työmaalla joudutaan katkaisemaan paaluja, niin railo voi olla silloin myös 1/2-V -railo eli toisen katkaistun paalun pää on suora ja toisen viistetty. Kuljetuksessa tai asennuksessa vaurioituneiden paalujen päät on korjattava ennen jatkohitsausta. Railomuotosuositukset ilman juuritukea tapahtuvaan hitsaukseen on esitetty kuvassa 13.

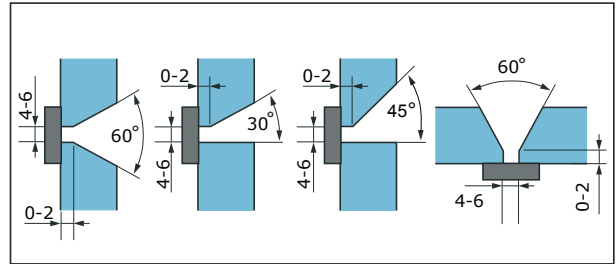
Paalujen jatkohitsauksessa on suositeltavaa käyttää juuritukea railon sisäpuolella. Kiinteän juurituen materiaalin on oltava samaa terästä kuin paalun materiaali. Myös ke-raamista juuritukea voidaan käyttää. Juurituen leveyden tulee olla riittävä, yleensä vähintään 50 mm ja paksuuden 5 mm. Juurituki asennetaan symmetrisesti railoon nähden ja kiinnitetään valmiiksi paalun sisäpuolelle joko katkohitsein (kiinteä juurituki) tai esim. teipillä (keraaminen juurituki).

Juuritukea käytettäessä on putken sisäpuolinen hitsin kupu hiottava putken pinnan tasoon. Juurituen ja putken seinämän väliin ei saa jäädä ilmarakoa. Railomuotosuositukset juurituelliseen hitsaukseen on esitetty kuvassa 14.

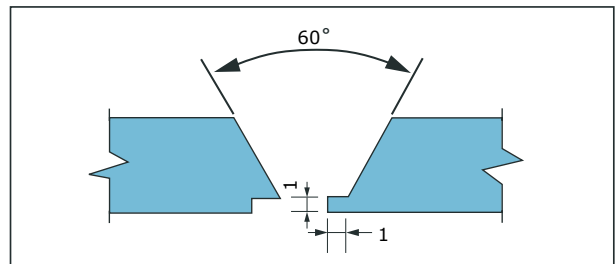
Mekanisoidussa hitsauksessa voidaan käyttää kuvassa 13 esitettyjä railomuotoja, jos juuripalkko hitsataan käsin. Kuvassa 14 esitettyjä railomuotoja voidaan käyttää täysin mekanisoidussa hitsauksessa. Tässä hitsaustavassa myös juuripalkko pyritään hitsaamaan mekanisoidusti. Tätä varten on kehitetty railotyyppi, jossa osana railoa on koneistettu "pontti", joka toimii juuritukena. Railotyyppi on esitetty kuvassa 15. Kyseistä railotyyppiä käytettäessä hitsausparametrit on valittava siten, että koneistettu juurituki ("pontti") sulaa, saavutetaan liitoksen läpihitsautuminen sekä vältetään liitosvirheet ja vajaa hitsautumissyvyys ("juurivirhe").



Kuva 13. Railomuodot ilman juuritukea tapahtuvaan hitsaukseen.



Kuva 14. Railomuodot juurituelliseen hitsaukseen



Kuva 15. Railomuodot täysin mekanisoituaan hitsaukseen

### 7.5.8 Esilämmitys

Esilämmitys hitsauksessa hidastaa liitoksen jäähtymisnopeutta ja vähentää karkenemistä. Tämä ehkäisee kovan ja hauraan vyöhykkeen syntymistä hitsin muutosvyöhykkeelle ja samalla myös vetyhalkeamien syntymistä. Esilämmitystarpeeseen vaikuttavat teräslaji, ainepaksuus, hitsauslisäaine (vetytipitoisuus), lämmöntuonti ja hitsausolosuhteet. Esilämmitystarvetta lisäävät luja teräs, suuri ainepaksuus, korkea vetytipitoisuus (esim. kosteat puikot) ja pieni lämmöntuonti. Tarkempia ohjeita SSAB:n paalutuotteiden hitsausten esilämmityksestä on annet-

tu liitteessä 5. Sen mukaan SSAB:n paalutuotteiden hitsauksessa ei yleensä tarvita esilämmitystä edellyttäen, että hitsauspuikot ovat emäspäällysteisiä ja kuivia. Kosteat puikot tulee aina kuivata. Hitsauksessa alle +10 °C lämpötilassa esilämmitetään paalujen päät +50–100 °C:een ennen hitsauksen aloittamista.

### 7.5.9 Hitsauksen suorittaminen

Paalujen päiden on oltava ulko- ja sisäpuolelta puhtaita n. 50 mm railon molemmilta puolilta ja ne on tarvittaessa puhdistettava liasta, rasvasta, kosteudesta, ruosteesta yms., koska nämä aiheuttavat hitsausvirheitä ja siten heikentävät hitsin laatua. Mahdollinen juurituki on myös tarvittaessa puhdistettava.

Railon valmistuksen ja puhdistuksen jälkeen paalujen päät keskitetään ja sovitetaan huolellisesti toisiinsa niin, että jatkettavat paalut ovat sisäpinnoiltaan (juuripinnat) kohdakkain ja niiden väliin jää vaadittava ilmarako (kuvat 13 ja 14). Kun paalujen päitä sovitetaan vastakkain, niin apuna voidaan käyttää toisen paalun kylkeen hitsattuja ohjauspaloja, jotka poistetaan silloituksen jälkeen. Markkinoilla on myös erilaisia putkien keskitykseen tarkoitettuja työkaluja. Vaadittavan ilmaraon varmistamiseksi voidaan käyttää ilmaraon paksuisia kiiloja tai esim. puikon sydänlankaa (esim. 3,2 mm), jotka poistetaan silloituksen jälkeen. Mikäli ilmaraon suuruus vaihtelee, on huolehdittava, että se pienimmilläänkin täyttää vaatimuksen.

Jos juuripinnan korkeus vaihtelee, se on korjattava hiomalla ennen sovittamista. Tämän jälkeen paalujen päät silloitetaan toisiinsa lyhyillä siltahitseillä. Mikäli siltahitsi jätetään railoon osaksi pohjapalkoa, siltahitsin päät on huolellisesti hiottava mahdollisten imuonteloiden (paippi) poistamiseksi ja läpihitsauksen varmistamiseksi.

Käsin hitsattavan pohjapalon hitsaukseen suositellaan 2,5 mm:n puikkoa. Täyttöpaloit hitsataan yleensä 3,2 mm:n puikolla. Paksuseinämäisissä paaluissa voidaan täyttöpaloissa käyttää myös paksumpia puikkoja. Täytelangoilla yleisin halkaisija on 1,2 mm. Lankoja on kuitenkin saatavana mitta-alueella 0,9–1,6 mm käyttökohteesta ja tarpeesta riippuen.

Mekanisoidussa hitsauksessa laitetoimittaja antaa laitteiden käyttökoulutuksen.

Paalutustyötä voidaan jatkaa, kun hitsi on jäähtynyt alle 500 asteen lämpöiseksi.

### 7.5.10 Hitsijatkoksen tarkastus

Hitsausliitokset tarkastetaan suunnitelmissa esitettyjen tarkastusvaatimusten ja tarkastuslaajuuden mukaisesti. Ellei suunnitelmissa ole muuta määritetty, noudatetaan tarkastusvaatimuksissa ja tarkastuslaajuudessa seuraavaa:

Paalutustyöluokan 1 kohteissa paalujen hitsausliitokset tarkastetaan vähintään silmämääräisesti. Silmämääräisessä tarkastuksessa tutkitaan mm. hitsin mitat, sovitusvirheet, reuna- haava ja mahdolliset pintaan ulottuvat virheet.

Paalutustyöluokan 2 kohteissa edellytetään yleensä, että hitsaaja tekee ennen työn alkua ns. työkokeen, jossa asennusolosuhteita vastaavissa olosuhteissa hitsataan kaksi paaluputkea toisiinsa hitsausohjeen mukaisesti. Tuloksen on täytettävä vaaditun hitsiluokan vaatimukset havaittavien virheiden osalta. Työkokeen tulokset kirjataan paalutustyön tarkastusasiakirjaan.

Paalutustyöluokan 3 kohteissa edellytetään työkokeen ja silmämääräisen tarkastuksen lisäksi yleensä, että vähintään 10 % hitseistä tarkastetaan rikkomattomilla aineenkoetusmenetelmillä (NDT), kuten ultraäänitarkastuksella. Tarkastuspituus on koko hitsi eli yksi hitsi kymmenestä tarkastetaan kokonaan, ellei muuta erikseen sovita.

Taulukossa 32 on esitetty hitsausjatkosten NDT-testausmäärä eri paalutustyöluokissa ja seuraamusluokissa.

*Taulukko 32. Puristuskuormitettujen teräspaalujen hitsausjatkosten NDT-testausmäärä eri paalutustyöluokissa ja seuraamusluokissa (PO-2016, osa 2, taulukko 3.4).*

Paalutustyö- luokka	NDT-tarkastusten määrä (%) hitseistä		
	CC1	CC2	CC3
PTL3	-	10	15
PTL2	-	-	10

NDT-tarkastukset puristuskuormitetuilla paaluilla voidaan tehdä heti hitsauksen jälkeen, kun hitsi on jäähtynyt riittävästi NDT-tarkastuksen tekemiseen. Vetopaaluilla noudatetaan SFS-EN 1090-2 taulukon 23 hitsien vähimmäisjähdytysaikoja ennen kuin NDT-tarkastukset tehdään, ellei hankekohtaisesti toisin sovita. Lisätietoja vähimmäisjähdytysajoista on annettu liitteessä 5.

Käytettäessä mekanisoitua hitsausta esimerkiksi perustusten vahvistuskohteissa, joissa paalua kohti tulevien jatkosten lukumäärä on suuri, tarkastusten määrä esitetään aina suunnitelmissa. Yleensä tarkastuksia tehdään 10%:lle kaikista paaluista ja vähintään kahdelle hitsille/paalu. Tarkastus aloitetaan ensimmäisestä hitsistä, josta tarkastetaan mm. hitsin sisäisiä virheitä ja hitsin juuren puolen virheitä. Standardin SFS-EN ISO 5817 mukaisten hitsiluokkien raja-arvot ylittävät merkittävimmät hitsin lujuuteen vaikuttavat 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. Riittävänä pätevyytensä voidaan pitää standardin SFS-EN ISO 9712 tasoa 2. Tarkastukset dokumentoidaan saumakohtaisesti tarkastuspöytäkirjaan, joka liitetään paalutustyön tarkastusasiakirjaan.

### 7.6 Paalun katkaisu

Teräspaalut katkaistaan suunnitelman mukaisista katkaisukohtaisista kohtisuoraan paalun pituusaksella vastaan. Katkaisu voidaan tehdä katkaisulaikalla tai polttoleikkaamalla. Mahdolliset katkaisun epätasaisuudet poistetaan laikalla hiomalla. Valmiin katkaistun pään suorakulmaisuusvaatimus on <2,0 %

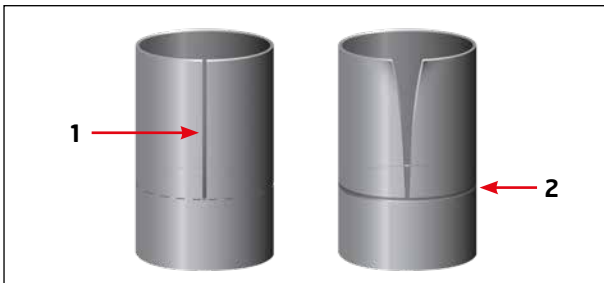
ja pään tasomaisuus <2 mm paalun akselin kohtisuoruuteen nähden ellei suunnitelmassa toisin mainita.

Kaikkien muiden kuin paalukatkaisijoiden oleskelu ja työskentely katkaistavien paalujen välittömässä läheisyydessä on kielletty. Suojaetäisyys on 2x katkaistavan paaluosan pituus, kuitenkin vähintään 5 m.

Paalut katkaistaan mahdollisuuksien mukaan niin, että paalu on vielä koneessa kiinni. Tarvittaessa paalu lyhennetään heti lyönnin jälkeen, jolloin paalukone voi nostaa paaluosan turvallisesti maahan. Paaluputken pituus on ennakoitava ennen lyöntiä sopivaksi, jotta pitkiä kantoja ei jää ja katkaisu olisi mahdollisimman helppoa. Pitkät paalukannot (suorat paalut yli 3 m ja vinot paalut yli 2 m) sahataan ja kaadetaan yhteistyössä kaivurin kanssa paalu kerrallaan. Kun kannon pituus on 1-3 m, käytetään kannon kaatamisessa apuna kiiloja tai vastaavia aputyökaluja, joilla varmistetaan paalun kaatuminen oikeaan, turvalliseen suuntaan.

Teräspaalujen päät suositellaan suljettavaksi katkaisun jälkeen, jotta paaluputkeen ei joudu sinne kuulumattomia aineita. RD-paaluseinärakenteissa paalujen päiden luotettava sulkeminen on työturvallisuuden kannalta olennaista, koska porattaessa lähellä tavoitetasoa, on olemassa riski, että paineilma ja porasoija pääsee purkautumaan äkillisesti viereisistä jo asennetuista paaluista ylös.

Työjärjestykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota katkaistaessa RR/RD-paalua erityistilanteessa siten, että poistettavaa osaa ei voida normaalisti nostaa/kaataa suoraan pois (esim. jos paalukone ja porapaalun poraputket ovat paikoillaan paalua katkaistaessa). Tällöin poistettava osa on yleensä "kuorittava" auki. Paaluputkien valmistustavasta johtuen saattaa niissä olla jännitystiloja. Jännityksistä johtuen on paalun katkaisu suoritettava "kuorimalla" kuvassa 16 esitettyssä järjestyksessä. Paalun pituussuuntainen, poistetavan osan pituinen, leikkaus on tehtävä aina ensin. Pituussuuntaisen leikkauksen jälkeen teräspaalu voidaan katkaista normaalisti suunnitelman mukaisesta katkaisukorosta. Paaluputken katkaiseminen on aloitettava pituussuuntaisen leikkauslinjan kohdasta.



Kuva 16. Paalun katkaisu "kuorimalla"

## 7.7 Paalujen puhdistus

Betonoitavien alapäästä suljettujen RR-paalujen ja RD-paalujen puhdistus tarkistetaan ennen niiden betonointia ja mahdolliset epäpuhtaudet poistetaan.

RD-paalut yleensä puhdistetaan (paineilma)huuhtelulla pilottikruunun ylösnostamisen yhteydessä. RD-paaluihin mahdollisesti jäänyt porausliete huuhdellaan vedellä. Paalun voidaan normaalisti olettaa olevan puhdas, kun ylösnouseva vesi on puhdasta.

Alapäästä avoimien lyöntipaalujen mahdollinen puhdistus suunnitellaan ja toteutetaan tapauskohtaisesti.

## 7.8 Paalujen raudoitus ja betonointi

Betoniterästen tulee olla SFS-EN 10080 mukaisia, muita teräksiä voidaan käyttää, mikäli terästen ominaisuudet täyttävät SFS-EN 1992-1 vaatimukset.

Raudoitettaessa teräspaaluja tangoilla, suunnittelussa noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 5.5.2, ottaen huomioon mm. pitkittäisterästen vähimmäismäärät, terästankojen vapaaväli, rajoitukset samankeskeisille pitkittäistankokerroksille, poikittaisteräkset. EN 12699 (Maata syrjäyttävät paalut) standardin mukaan betonipeite paaluputken sisäpinnasta pääraudoitteen ulkopintaan tulee olla vähintään 40 mm. Käytettäessä raudoitteena pienempää putkea, minimibetonipeite on 25 mm PO-2016 mukaisesti.

Raudoituskehikkojen kokoamisessa ja liitoksessa noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtia 5.5.4 ja 5.5.5 ja raudoitteiden ohjaimissa ja keskittäjissä sekä asennuksessa PO-2016 kohtia 5.5.6 ja 5.5.7. Ennen raudoituksen asennamista paaluun, on paalun oltava puhdas.

Betonoinnissa noudatetaan PO-2016 kohtia 5.7.1, 5.7.2, 5.7.3 ja 5.7.4 teräspuutkipaaluja koskevilta osin.

Betonin valmistus tehdään ja kelpoisuus todetaan standardin SFS-EN 206 mukaisesti.

Betonin, juotoslaastin tai injektointiaineen tulee olla vähintään suunnittelulujuusluokkaa C20/25 ja betonimassan ominaisuuksien PO-2016 osan 2 kohdan 3.4.2 mukaisia, kun teräspaalut mitoitetaan liittorakennemitoitettuna. Mikäli betoni tai juotoslaasti toimii ainoastaan täyttöaineena, millä halutaan estää vähäinen paalujen sisäpuolinen korrosio, voidaan käyttää myös lujuusluokkaa C16/20 ja pieniläpimittaisissa alapäästä suljetuissa RR-paaluissa myös C12/15, kun oletetaan, että betoniin ei kohdistu mitään kemiallista tai sulamisjäätymisriskiä.

Betonin, juotoslaastin ja injektointiaineen valmistuksessa käytettävien ainesosien tulee olla PO-2016 sekä SFS-EN 206 mukaisia.

Juotoslaastia käytettäessä runkoaineen rakeisuus- jakauma on seuraavien vaatimusten mukainen:

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

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

Juotoslaastin vesisementtisuhde on enintään 0,6.

Paalun halkaisijan ollessa alle 200 mm (paalut RR75–RR/ RD170) paalujen betonoinnissa käytetään juotoslaastia, tätä suuremmissa voidaan käyttää betonia.

Betonointi suoritetaan aina kun mahdollista kuivavaluna. Ennen betonointia tulee tarkistaa, että paaluputki on puhdas. Vedellä täyttyneet paaluputket pumpataan ennen betonointia tyhjiksi. Mekaanisilla kärkikappaleilla ja jatkoksilla varustettuihin lyöntipaaluihin saattaa päästää kärkikappaleen tai jatkosten kautta vettä. Yleensä veden tulo paaluputkeen on kuitenkin niin hidasta, että paalut voidaan valaa kuivavaluna, kun paalun pumppaus tyhjäksi tehdään hieman ennen valua.

Kallioon poratuilla RD-paaluilla, vettä voi tulla avoimen pohjan kautta niin runsaasti, että kuivavalua ei voida suorittaa. Tällöin voidaan paalun pohjalle valaa betonitulp-pa vedenalaisena valuna. Betonimassan erottuminen on tällöin pyrittävä minimoimaan esimerkiksi suhteituksen tai tarkoitukseen sopivien lisäaineiden tai valusukan avulla. Kun paalun pohja on saatu vedenpitäväksi, vesi pumpataan pois, paalu raudoitetaan ja valetaan.

Kun paalut mitoitetaan ja toteutetaan liittorakenteisina tai kun suurpaaluissa teräspalkkipaalu toimii lopullisessa rakenteessa ainoastaan valumuottina, paalujen yläpäiden betonimassan jälkitärytys tehdään 1,5 m:n matkalla. Ennen jälkitärytystä täytyy betonin pinnalta poistaa erottunut huonolaatuinen massa.

### 7.9 Paaluhattujen asennus

Vakiopaaluhatut (taulukko 12) asennetaan paaluputkeen keskeisesti hatussa olevan ohjainputken avulla, katso kohdat 2.7 ja 6.1. Betonoitavilla paaluilla paaluhattu painetaan betonoinnin jälkeen paaluun päähän keskeisesti. Paalujen varaan tulevia betonirakenteita tärytettäessä valun yhteydessä, on kiinnitettävä huomiota siihen, että paaluhattu ei nouse.

Liittorakennemitoitetuilla paaluilla teräspaalujen valuun ja hattujen huolelliseen asennukseen on kiinnitettävä huomiota. Paaluhatun levyn alapinnan ja betonin väliin ei saa jäädä tyhjättilaa. Tarvittaessa käytetään reiällisiä paaluhattuja, joiden avulla mahdollinen tyhjättila hatun alla voidaan jälki-injektoida.

### 7.10 Injektoitavien RR-paalujen asentaminen

Injektoitavien RR-paalujen asentamisessa noudatetaan maata syrjäyttävien paalujen toteutusstandardia SFS-EN 12699.

#### 7.10.1 Asennuskalusto

Injektoitava RR-lyöntipaalu voidaan asentaa samoilla lyöntilaitteilla kuin injektioimaton RR-lyöntipaalu. Hidas-

iskuisten pudotus- tai hydraulijärkäleiden käyttö injektoidun paalun asennuksessa voi aiheuttaa sementin erottumista ja vaikeuttaa laastin syöttöä. Paineilma- ja hydraulivasaroilla riski on huomattavasti pienempi.

Injektoitava RR-paalu on myös mahdollista asentaa tunkkien avulla puristamalla. Tällöin laastin syötössä on käytettävä erillistä paineistavaa pumppua.

#### 7.10.2 Paalun tunkeminen maahan ja paalun jatkaminen

Injektoitava RR-paalu on asennettava keskeytyksettä ja paalua vaurioittamatta. Upotuksen on tapahduttava paalun pituusakseliin nähden keskeisellä lyönneillä. Upotuksessa noudatetaan RR-paaluille esitettyjä ohjeita (kohta 7.3).

Asennusta aloitettaessa injektointikärki (taulukko 11) asetetaan maanpinnalle asennettavan paalun kohdalle ja paaluputki asetetaan kärjessä olevaan uraan. Paaluputki kiristyy kärjen uraan kitkalla paalun lyönnin yhteydessä.

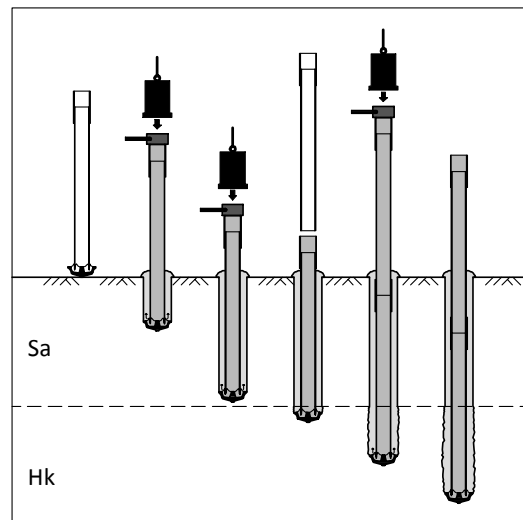
Injektoitava RR-paalu jatketaan kuten injektioimaton RR-paalu. Paalun jäädessä maakerrosten varaan on jatkosten riittävään kiristymiseen kiinnitettävä huomiota. Tarvittaessa jatkos on hitsattava kiinni paaluputkeen liittoksen varmistamiseksi.

Paalun upotus lopetetaan tavoitesyvytyteen. Pääasiassa kärjellä kantavaksi suunnitellun injektoidun RR-paalun upotus voidaan myös lopettaa loppulyöntiehtojen toteuttua.

Injektoitavan RR-paalun asennus on esitetty kuvassa 17.

#### 7.10.3 Laastin injektointi

Injektioinnissa käytetty laasti syötetään paaluputkeen jatkuvana ja samanaikaisesti paalun upotuksen kanssa.



Kuva 17. Injektoidun RR-paalun asentamisen vaiheet: 1) Kärjen ja paalun aseointi, 2) lyönnin aloitus ja laastin syöttö, 3) paalun upotus ja laastin syöttö, 4) paalun jatkaminen ulkopuolisella holkkijatkoksella, 5) paalun upotuksen jatkaminen ja laastin syöttö, 6) valmis paalu

Paalun asennusta aloitettaessa on suositeltavaa upottaa paalua noin 0,5 m ennen laastisyötön aloittamista. Pieni upotus ehkäisee laastin leviämistä maanpinnalla laajalle alueelle.

Paalun upotusnopeus tulee säätää laastin injektointinopeutta vastaavaksi. Injektoitavalla RR-paalulla ja RR-puristuspaalulla sekoittimelta tuleva laasti syötetään paalujen yläpäähän kiinnitetyn adapterin kautta paaluputken sisälle.

Injektoitavien RR-paalujen asennuksessa käytettyjen asennuskalustojen isku aiheuttaa laastiin lyhytaikaisia, jopa yli 1 MPa (10 bar) paineiskuja, jotka tehostavat laastin tunkeutumista paaluputkea ympäröivään, injektointikärjen tekemään, rakotilaan. Laastin injektointi voi olla joko painovoimaista, jolloin laasti virtaa vapaasti paaluputkeen tai pumpulla paineistettua. Tavallisesti voidaan käyttää painovoimaista injektointia. Pitkillä, yli 15 m, tai huomattavasti pohjaveden pinnan alapuolella menevillä paaluilla suositellaan käytettäväksi laastin paineistusta. Pitkillä paaluilla painovoimaisen pumpauskaluston injektointiteho voi olla riittämätön. Pohjaveden paine työntää veden paaluputkeen, jos injektointipaine on pienempi kuin vallitseva vedenpaine.

Laastia paineistettaessa riippuu käytettävä paine läpäistävästä maakerroksista ja niiden mahdollisesta leikkautumisesta. Suositeltava tavanomainen injektointipaine on 0,5...2,5 MPa (5...25 bar).

Laastina voidaan käyttää joko injektointiainetta, juotoslaastia tai juotosbetonia. Injektointiaine on veden ja sementin seos, missä voi olla runkoainetta (maksimiraekoko alle 2 mm) enintään saman verran painoprosenttina kuin sementtiä. Juotoslaastissa on veden ja sementin lisäksi runkoainetta, jonka maksimiraekoko on alle 4 mm. Juotosbetonissa on veden ja sementin lisäksi runkoainetta, jonka maksimiraekoko on yli 4 mm sekä mahdollisesti kalkkia. Laastissa voidaan tarvittaessa käyttää myös lisäaineita, kuten esim. notkistimia ja hidastimia.

Laastin vesi-sementtisuhteen on oltava pohjasuhteisiin soveltuvaa, kuitenkin alle 0,55. Laastin kuutiopuristuslujuuden on 28 päivän ikäisenä oltava vähintään 30 MPa (C25/30). Käytetty laasti ei saa sisältää korroosiolle altistavia tai sitä lisääviä ainesosia.

Paalun suunnittelija antaa ohjeet laastin sekoittamisesta, lisäaineista sekä laastin käyttöä edeltävistä kokeista, kuten notkeudesta, erottumisesta ja kutistumisesta. Injektoinnissa käytetty laasti sekoitetaan aina suunnittelijan antamien ohjeiden mukaisesti.

## 8. PAALUTUSTYÖN JOHTAMINEN JA LAADUNVALVONTA, MITTAUKSET

### 8.1 Paalutustyön johtaminen ja valvonta

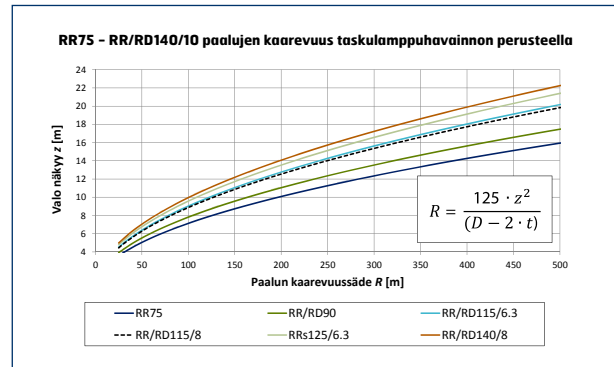
Teräspaalutustyön johtaminen ja valvonta suoritetaan PO-2016 osan 2 luvan 6.1 mukaisesti. Teräspaalutustyön laadunvalvonta perustuu kohteen paalutustyön toteutus- ja laatusuunnitelmaan (PO-2016 osa 2 kohta 5.1). Laadunvalvonnasta ja siihen liittyvistä toimenpiteistä vastaa paalutustyönjohtaja. Paalutustyönjohtajan lisäksi paalutustyön valvontaa voi suorittaa ulkopuolinen valvoja ja/ tai asiantuntijavalvontaa kohteen vastaava pohjarakennesuunnittelija. Infrahankkeissa noudetaan paalutustyön johtamisen ja valvonnan osalta Väyläviraston voimassa olevia ohjeita ja määräyksiä.

### 8.2 Materiaalien laadunvalvonta

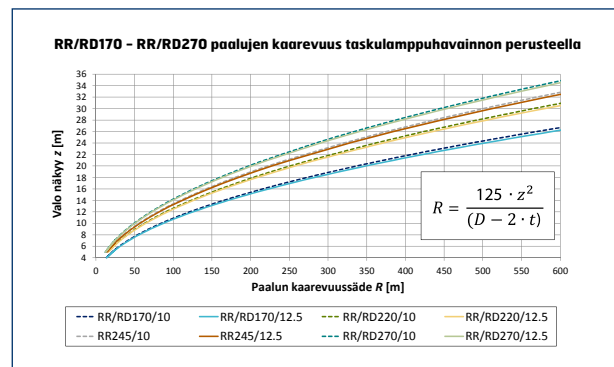
Materiaalien laadunvalvonnassa noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 6.1.2 ja niiden dokumentoinnissa PO-2016 osan 2 kohtaa 7.3.

### 8.3 Seuranta- ja mittaustarkkailu asentamisen ja tekemisen aikana

Seuranta- ja mittaustarkkailussa asentamisen ja tekemisen aikana noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 6.2. Infrahankkeissa noudatetaan voimassa olevia Väyläviraston ohjeita. Seuranta- ja mittaustarkkailu dokumentoidaan



Kuva 18. RR75–RR/RD140/10-paalujen kaarevuuden arviointi taskulamppuhavainnolla.



Kuva 19. RR/RD170/10–RR/RD270/12,5-paalujen kaarevuuden arviointi taskulamppuhavainnolla.



PO-2016 osan 2 kohdan 7.3 mukaisesti.

RR- ja RD-paalujen suoruus tarkastetaan ja dokumentoidaan paalun asennuksen jälkeen. Suoruutta voidaan arvioida ns. taskulamppumittauksella. Mittauksessa taskulamppu lasketaan paaluputkeen mittanauhan varassa ja mitataan syvyys, missä suora valohavainto taskulampun valolähteestä katoaa. Kuviin 18 ja 19 on valmiiksi laskettu eri paaluille taskulamppuhavainnon perusteella laskettu- ja kaarevuussäteitä. Kuvissa esitetyssä kaavassa paalun halkaisijan ja seinämäpaksuuden yksikkönä käytetään millimetrejä.

Taskulamppuhavainnolla saadaan arvio paalun yläpään kaarevuussäteestä siihen syvyyteen, kun valo katoaa. Pitkillä paaluilla valonlähteen katoamissyvyyden alapuolella kaarevuussädettä ei taskulamppumenetelmällä voida arvioida. Kun valo näkyy paalun pohjalle saakka, kaarevuussäde on minimissään kuvista 18 tai 19 määritetty, mutta yleensä se on huomattavasti suurempikin, erityisesti paalukoon kasvaessa. Isommilla paaluhalkaisijoilla voidaan silmämääräisesti havainnoida valohavainnon perusteella, onko paalussa esim. paikallisesti kaarevampia osuuksia ennen paalun pohjaa.

Tarvittaessa paalujen kaarevuus on tarkemmin mitattavissa inklinometrilaitteiston avulla. Inklinometrimittaukset yleensä tulevat kyseeseen paksuissa koheesiomaissa olevilla paaluilla ja niitä käytetään etupäässä perustusten vahvistuskohteissa.

Suoruuksivaatimuksen alittavat paalut ilmoitetaan kohteen vastaavalle pohjarakennesuunnittelijalle, joka päättää jatkotoimenpiteistä.

Taskulamppuhavainnon perusteella arvioitua tai inklinometrimittauslaitteistolla mitattua kaarevuussädettä verrataan mitoituksessa käytettyyn kaarevuussäteeseen. Vertailussa tulee ottaa huomioon maakerrokset; paalun rakenteen kestävyys on yleensä mitoitettu heikoimman maakerroksen osuudella. Paalun kaarevuus voi olla huomattavasti pienempi karkearakeisissa maakerroksissa maan hyvän sivutuen ansiosta kuin koheesiomaakerroksessa. Mikäli kaarevuussäde on tai arvioidaan olevan suunnittelussa käytettyä pienempi, lasketaan kaarevuussäteen perusteella paalun rakenteen kestävyuden mitoitussarvo ja verrataan sitä paalulle tulevan kuorman mitoitussarvoon.

#### **8.4 Paalujen testaus**

Noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 6.3. Teräspaaluihin soveltuvista testausmenetelmistä on kerrottu kohdassa 5.5. Testaukset dokumentoidaan PO-2016 osan 2 kohdan 7.3 mukaisesti.

## **9. PAALUTUSTYÖN DOKUMENTOINTI**

### **9.1 Yleistä**

Talonrakentamisen hankkeissa paalutuksen osalta kootaan kaikki paalutukseen liittyvät dokumentit rakennustyön tarkastusasiakirjaan PO-2016 osan 2 kohdan 7.1 mukaisesti. Infrahankkeissa dokumentoinnin osalta noudatetaan Väyläviraston voimassa olevia ohjeita tai hankkekohtaisia ohjeita.

### **9.2 Paalutuspöytäkirjat**

Paalutustyön dokumentoinnissa noudatetaan standardia SFS-EN 1997-1 ja PO-2016 osa 2 kohtaa 7.2. SSAB:n teräspaaluille soveltuvat paalutuspöytäkirjat on esitetty liitteessä 3.

### **9.3 Paalutuksen toteutumapiirustus ja muut dokumentit**

Paalutustyön toteutumapiirustus laaditaan paalutustyön valmistuttua. Toteutumapiirustuksen sisällön ja laatimisen suhteen noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 7.4. Seuranta- ja mittaustarkkailu dokumentoidaan PO-2016 osan 2 kohdan 7.3 mukaisesti.

## **10. TYÖTURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖNSUOJELU**

Työturvallisuudessa ja ympäristönsuojelussa noudatetaan PO-2016 osan 2 kohtaa 8.

SSAB:n paalujen turvallisesta käsittelystä on laadittu ohje: *Paalut ja paalutarvikkeet, Turvallisen käsittelyn suositukset työmaalle*, missä kuvataan paalutuotteiden ja varusteiden turvallinen käsittely ennen varsinaista paalutustyötä. Paalutustyön osalta noudatetaan tämän ohjeen kohtaa 7. Teräspuutkipaalutustöihin liittyvä erityinen työturvallisuusnäkökulma on avoimien paaluputkien luotettava päiden sulkeminen asentamisen jälkeen.

## 11. LOPPULYÖNTITÄULUKOT

### 11.1 Yleistä

Loppulyöntitaulukot ja -kuvaajat on laadittu iskuaal-toteoriaan perustuvalla GRLWEAP-ohjelmalla tehdyillä analyyseilla PO-2016 osan 1 liitteen 2 pääperiaatteiden mukaisesti.

Loppulyöntitaulukoissa on esitetty kullekin paalukoolle, paalupituudelle ja lyöntilaitteelle 5 eri geoteknisen murtokuorman  $R_c$  arvoa. Paalutustyöluokkia PTL1–3 vastavien maksimiarvojen  $R_{c,max}$ -arvojen lisäksi taulukoissa on esitetty PTL2:ssa ja PTL3:ssa maksimiarvoja pienemmät arvot. PTL2:n alennettu arvo on noin 88–90 % PTL2:n maksimiarvosta ja PTL3 alennettu arvo on PTL2 ja PTL3 maksimiarvojen keskiarvo eli vastaa lyöntijännitystä 80 % teräksen myötörajan. Alennetut arvot on esitetty helpottamaan sopivien loppulyöntiehtojen määrittämistä tilanteissa, missä ei pyritä saavuttamaan ko. paalutustyöluokkien maksimiarvoja. Hydraulii- ja paineilmapasaroille on laadittu myös loppulyöntikäyrät geoteknisen murtokuorman ja loppulyöntipainuman funktiona. Loppulyöntitaulukot ja -kuvaajat soveltuvat tukipaaluina toimiville teräspaaluille.

Loppulyöntitaulukoissa on esitetty paalujen geoteknisen kestävyuden mitoitusarvot  $R_d \cdot R_d$ -arvot pätevät, kun rakenteen oletetaan olevan ns. ei-jäykkä. PTL3:ssa  $R_d$ -arvo on laskettu käyttäen korrelaatiokerrointa  $\xi_5 = 1,47$ .

Loppulyöntiehdot on laskettu neljälle eri paalupituudelle; 5, 10, 20 ja 30 m.

### 11.2 Pudotus- ja hydraulijärkäleet

#### 11.2.1 Mallinnuksen perusteet

Pudotus- ja hydraulijärkäleiden loppulyöntien määrittämisessä maamallin luomisessa paalun vaippakestävyden suuruutena on käytetty 10 % paalun kokonaiskestävyydestä ja vaippakestävyys jakautuu tasaisesti alaspäin kasvavaksi kolmioksi. Smithin vaimennuskertoimen  $J_s$  on käytetty 0,23 s/m, mikä vastaa yllämainitulla vaippakestävyden jakautumisella tyypillistä paalutusolosuhdetta, missä noin puolet paalusta on koheesiomaassa ja puolet kitkamaassa. Maamallin luomisessa muutoin käytetään PO-2016 osan 1 liitteessä 2 esitettyjä dynaamisia maaparametreja:

- kärjen alla olevan maan kimmainen kokoonpuristuminen ennen murtumista (quake)  $q_t = D/120$  [mm]
- paalun vaippaa ympäröivän maan kimmainen kokoonpuristuminen ennen murtumista (quake)  $q_s = 2,5$  mm
- Smithin vaimennuskerroin paalun kärjessä  $J_t = 0,5 \cdot (25/\sigma_t)$  [s/m], ( $\sigma_t$  [MPa] paalun kärjen alla olevan maan murtojännitys)

Pudotus- ja hydraulijärkäleet 2000 kg saakka on analysoitu GRLWEAP:iin laadituilla SELF PJ järkälemalleilla, joissa on käytetty järkälepainon perusteella tyypillisiä liikuvan osan dimensiota. Pudotus- ja hydraulijärkäleet on laskettu samalla lyöntilaitemallilla siten, että pudotusjärkäleen tehokkuutena on käytetty 80 % ja hydraulijärkäleille 90 % tehokkuutta.

3000–9000 kg pudotus- ja hydraulijärkäleiden mallinnuksessa on käytetty Junttanin HHK-järkäleiden malleja seuraavalla tavalla:

- pudotusjärkäleinä laskettuna tehokkuutena on käytetty 80 %
- hydraulijärkäleinä laskettuna tehokkuutena on käytetty 95 %

Mallinnuksessa on käytetty 3000 ja 4000 kg järkäleissä paalukokoon RR170/12,5 saakka Junttanin ilmoittamia iskusuojan arvoja. Muilla lyöntilaitte-paaluyhdistelmillä laskenta on tehty ilman iskusuojaa.

Poikkeuksena edellä mainittuun on 1360 kg hydraulijärkäle, joka on analysoitu Movax:n DH-15 järkälemallilla, 95% tehokkuudella sekä ilman iskusuojaa.

#### 11.2.2 Loppulyöntitaulukoiden käyttöohjeet

Paalujen loppulyöntipainuma järkäleillä on PTL1:ssä ja PTL2:ssa aina 10 mm/10 isku. PTL3:ssa loppulyöntipainumaehto on 7 mm/10 isku.

Taulukoissa on esitetty 0,05 m tarkkuudella vaadittu pudotuskorkeus ko. järkäleen painon, paalukoon ja paalupituuden sekä tavoiteltavan geoteknisen murtokuorman ja geoteknisen kestävyuden mitoitusarvon yhdistelmälle. Suurimpana sallittuna pudotuskorkeutena käytetään em. yhdistelmälle esitettyä suurinta arvoa. Kun suurimman pudotuskorkeuden yhteydessä on suluisia merkitty arvo, tarkoittaa se sitä, että maksimipudotuskorkeutta käyttäen paalussa on suurimmillaan mallinnuksen mukaan 90 % jännitys ja että ko. pudotuskorkeudella saavutetaan laskennallisesti suluisia oleva geoteknisen murtokuorman arvo. Pudotuskorkeudet paalupituuden suhteen voidaan interpoloida.

Paalutustyöluokassa PTL3 loppulyöntitaulukoiden pudotuskorkeudet ovat alustavia. Mobilisoituva geotekninen murtokuorma ja paalun lyönnin aikaiset jännitykset on määritettävä PDA-mittausten perusteella.

Mikäli lyöntilaitteessa on luotettavaksi todettu iskuenergiamittari, voidaan tarvittava iskuenergia määrittää seuraavalla periaatteella: tarvittava iskuenergia [kJ] = taulukossa esitetty järkälepaino [kg] x pudotuskorkeus [m] x taulukossa esitetty tehokkuus [-] x 0,00981. Vastaavasti, jos lyöntilaitteen tehokkuuden tiedetään mittausten pe-

rusteella olevan joku muu kuin taulukoidut 80 % tai 95 %, voidaan pudotuskorkeutta muuttaa todellista tehokkuutta vastaavaksi

#### *Esimerkki 1:*

Paalu RR170/10, paalupituus 20 m, lyöntilaite 4 t hydraulijärkäle, suunnitelmassa esitetty geoteknisen kestävyysmitoitussarvo PTL2 maksimiarvo  $R_d=893$  kN.

Loppulyöntitaulukon mukaan pudotuskorkeus 0,65 m, loppulyöntipainuma  $\leq 10$  mm/10 isku.

#### *Esimerkki 2:*

Paalu RR170/10, paalupituus 17 m, lyöntilaite 4 t kiihdytetty hydraulijärkäle (tehokkuus mitattu olevan 100 %),  $R_d=893$  kN.

Interpoloidaan pudotuskorkeus 10 ja 20 m paalupituuden mukaan  $\rightarrow 0,6$  m, huomioidaan lyöntilaitteen tehokkuus, pudotuskorkeus on  $95\%/100\% \cdot 0,6$  m = 0,57 m, pyöristetään 0,55 m, loppulyöntipainuma  $\leq 10$  mm/10 isku.

### **11.3 Hydraulijä- ja paineilmasasarat**

#### **11.3.1 Mallinnuksen perusteet**

Maamallin luomisessa paalun vaippakestävyys suuruutena on käytetty 1 % paalun kokonaiskestävyydestä ja vaippakestävyys jakautuu tasaisesti alaspäin kasvavaksi kolmioksi. Maamallin luomisessa muutoin käytetään PO-2016 osan liitteessä 2 esitettyjä dynaamisia maaparametreja.

Vasarat on mallinnettu ohjelmaan maahantuojilta tai valmistajilta saatujen tietojen ja ominaisuuksien perustella. Iskumännän tehot ja vasaran iskuluvut perustuvat puolestaan näkemykseen tai mittauksiin. Vasaran tehoina on käytetty 80 %. Joillakin vasara-paalu-yhdistelmällä on käytetty pienempää tehokkuutta. Tällöin tehokkuus on esitetty ko. yhdistelmän loppulyöntikuvaajan ja -taulukon yhteydessä.

#### **11.3.2 Loppulyöntikuvaajien ja -taulukoiden käyttöohjeet**

Loppulyöntitaulukoissa on esitetty kullekin vasaralle, paalukoolle ja paalupituudelle geoteknistä murtokuormaa  $R_c$  ja geoteknisen kestävyysmitoitussarvoa  $R_d$  vastaava loppulyöntipainuma mm/30 s. Laskennallisen loppulyöntipainuman ollessa yli 100 mm/30 s, taulukossa on rajattu loppulyöntipainuma arvoon 100 mm/30 s. Yli 100 mm:n loppulyöntipainumaa/30 s voidaan tapauskohtaisesti käyttää, mutta tällöin on huomioitava, että vasaroiden todellinen iskuluku voi laskea painuman kasvaessa. Mikäli vasara ei simuloinnin perusteella kykene mobilisoimaan

vaadittua geoteknistä murtokuormaa, on taulukkoon esitetty mobilisoitunut geotekninen murtokuorma, kun painuma on  $< 2$  mm 30 sekunnissa.

Loppulyöntikuvaajissa on esitetty laskennallinen geotekninen murtokuorma  $R_c$  loppulyöntipainuman suhteen. Mikäli tavoiteltava geoteknisen kestävyysmitoitussarvo  $R_d$  paalutustyöluokissa PTL1 ja PTL2 poikkeaa valmiiksi taulukoiduista arvoista, voidaan se interpoloida taulukon arvojen perusteella tai määrittää loppulyöntikuvaajista seuraavasti: geoteknisen kestävyysmitoitussarvo  $R_d$  kerrotaan kertoimella 1,764 (1,47 x 1,2), jolloin saadaan sitä vastaava geotekninen murtokuorma  $R_c$  ja tämän perusteella voidaan kuvaajasta lukea loppulyöntipainuma.

Mikäli vasara ei pysty simuloinnin perusteella mobilisoimaan riittävää geoteknistä kestävyyttä, tulee tällöin geotekninen kestävyys varmistaa esimerkiksi erillisellä koekuormitusjärkäleellä ja dynaamisella kantavuusmittauksella tai vaihtoehtoisesti joustomittauksella ja dynaamisella kantavuuskaavalla.

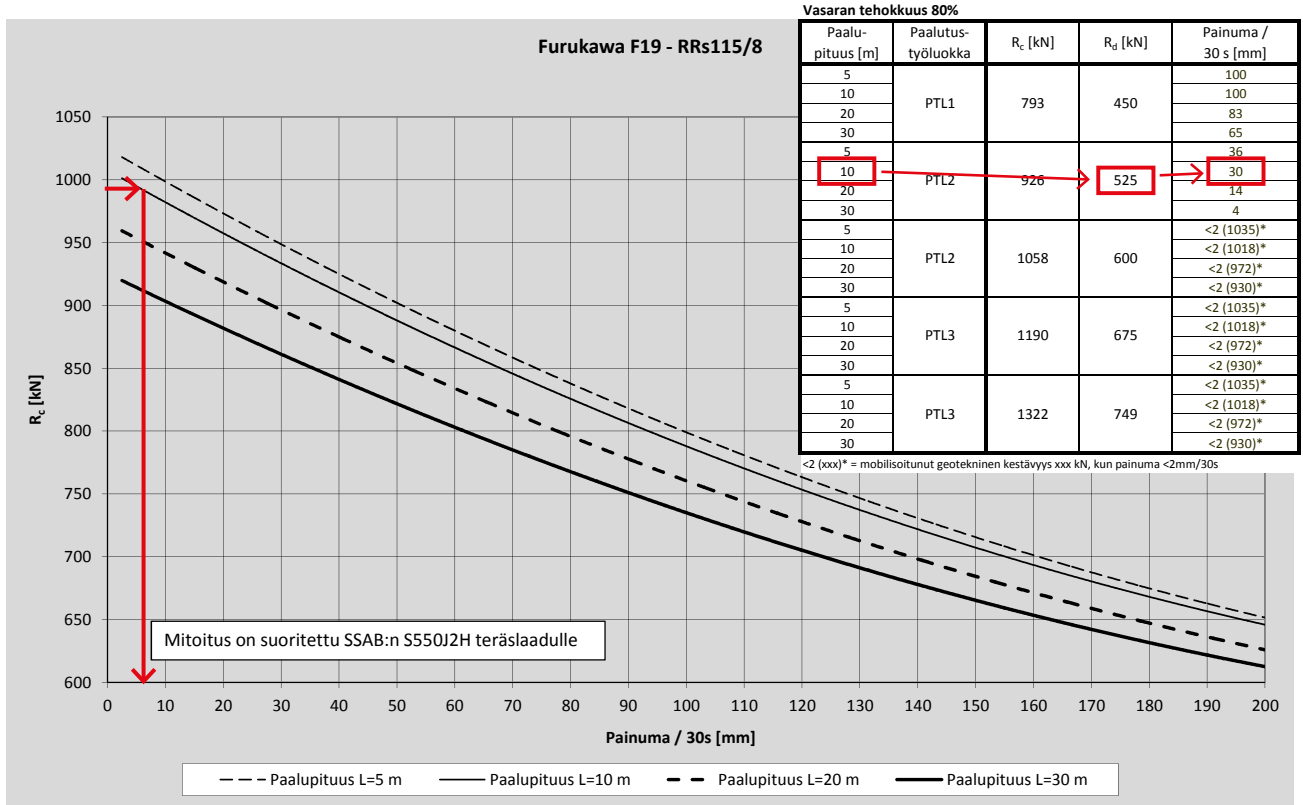
Paalutustyöluokassa PTL3 on geotekninen murtokuorma määritettävä dynaamisten kantavuusmittausten perusteella.

Mikäli loppulyöntikuvaajiin on merkitty pienempi tehokkuus kuin 80 % on paalun asennuksessa noudatettava ohjeen 7.3.3 ja 7.3.7 ohjeita.

Esimerkki: lyöntilaite Furukawa F19, paalu RRs115/8, paalutustyöluokka PTL2, paalupituus 10 m. Paaluilla kaksi  $R_d$ -arvoa, 525 kN ja 560 kN.

$R_d$ -arvoa 525 kN vastaava loppulyöntipainuma on esitetty taulukossa 30 mm/30 s

$R_d$ -arvo 560 kN muutetaan geotekniseksi murtokuorman arvoksi  $R_c$ -arvoksi  $1,764 * 560 \text{ kN} = 988 \text{ kN}$ . Loppulyöntikuvaajan perusteella loppulyöntipainuma on noin 8 mm/30 s.



## Liite 1 SSAB:n teräspaalut

Suunnittelu- ja asennusohjeet

# Lyöntipaalujen $R_{c;max}$ -arvot ja RR-suurpaalujen ohjeellisia $R_d$ -arvoja

**Taulukko 1A:** Lyötävien RR75–RR320 -paalujen  $R_{c;max}$  -arvot eli lyönninkestävyyden maksimiarvot paalutustyöluokittain

**Taulukko 1B:** Paalujen RR400–RR1200 vastaavat arvot sekä RR400–RR1200 vakiokalliokärkien keskeisen kuormituksen kestävyysmitoitussarvot

**Taulukko 1C:** RR400–RR1200 -paalujen ohjeellisia geoteknisen kestävyysmitoitussarvoja  $R_d$  [kN]

Taulukko 1A. RR75–RR320 -paalujen  $R_{c;max}$  -arvot [kN]

Paalu	Teräslaji	PTL1	PTL2	PTL3
RR75	S460MH	343	458	572
RR90	S460MH	406	541	677
RR115/6,3	S460MH	531	708	885
RR115/8	S460MH	664	885	1106
RRs115/8	S550J2H	793	1058	1322
RRs125/6,3	S550J2H	710	946	1183
RR140/8	S460MH	822	1096	1370
RRs140/8	S550J2H	983	1311	1638
RR140/10	S460MH	1012	1350	1687
RRs140/10	S550J2H	1210	1614	2017
RR170/10	S460MH	1235	1647	2059
RRs170/10	S550J2H	1477	1969	2462
RR170/12,5	S460MH	1520	2026	2533
RRs170/12,5	S550J2H	1817	2423	3029
RR220/10	S460MH	1632	2176	2720
RRs220/10	S550J2H	1951	2601	3252
RR220/12,5	S460MH	2015	2687	3359
RRs220/12,5	S550J2H	2410	3213	4016
RR245/10	S460MH	1832	2442	3053
RRs245/10	S550J2H	2190	2920	3650
RR245/12,5	S460MH	2265	3020	3775
RRs245/12,5	S550J2H	2708	3611	4514
RR270/10	S460MH	2052	2737	3421
RRs270/10	S550J2H	2454	3272	4090
RR270/12,5	S460MH	2541	3388	4235
RRs270/12,5	S550J2H	3038	4051	5064
RR320/10	S460MH	2450	3266	4083
	S550J2H	2929	3905	4881
RR320/12,5	S460MH	3038	4050	5063
	S550J2H	3632	4842	6053

Taulukko 1B. RR400–RR1200 -paalujen  $R_{c,max}$  -arvot [kN]

Paalu	Paalutustyöluokka PTL1			Paalutustyöluokka PTL2			Paalutustyöluokka PTL3			Vakio- kalliokärki $R_{dL}$
Teräslaji	S355J2H	S440J2H	S550J2H	S355J2H	S440J2H	S550J2H	S355J2H	S440J2H	S550J2H	
RR400/8	1919	2379	2974	2559	3172	3965	3199	3965	4956	4900
RR400/10	2387	2959	3699	3183	3945	4931	3979	4931	6164	4900
RR400/12,5	2965	3675	4594	3954	4900	6125	4942	6125	7657	4900
RR450/8	2163	2681	3352	2884	3575	4469	3605	4469	5586	5920
RR450/10	2692	3337	4171	3589	4449	5561	4487	5561	6951	5920
RR450/12,5	3346	4147	5184	4462	5530	6912	5577	6912	8640	5920
RR500/8	2409	2986	3732	3212	3981	4976	4015	4976	6220	7550
RR500/10	2999	3717	4647	3999	4956	6195	4999	6195	7744	7550
RR500/12,5	3730	4623	5779	4974	6164	7705	6217	7705	9632	7550
RR500/14,2	4223	5234	6543	5631	6979	8723	7038	8723	10904	7550
RR500/16,0	4741 *	5876 *		6321 *	7835 *		7901 *	9793 *		7550
RR550/8	2655	3290	4113	3540	4387	5484	4424	5484	6855	7940
RR550/10	3306	4098	5122	4408	5464	6830	5511	6830	8537	7940
RR550/12,5	4114	5099	6374	5485	6799	8499	6857	8499	10623	7940
RR550/14,2	4659	5775	7218	6212	7699	9624	7765	9624	12030	7940
RR550/16	5232 *	6485 *		6976 *	8647 *		8720 *	10808 *		7940
RR600/8	2900	3595	4494	3867	4793	5991	4834	5991	7489	9680
RR600/10	3613	4479	5598	4818	5972	7464	6022	7464	9331	9680
RR600/12,5	4498	5575	6969	5997	7433	9292	7497	9292	11615	9680
RR600/14,2	5095	6315	7894	6794	8420	10525	8492	10525	13157	9680
RR600/16	5724	7094	8868	7632	9459	11824	9540	11824	14780	9680
RR600/18	6418	7954		8557	10605		10696	13257		9680
RR650/8	3141	3893	4867	4188	5191	6489	5236	6489	8111	10060
RR650/10	3915	4852	6065	5219	6469	8086	6524	8086	10108	10060
RR650/12,5	4874	6042	7552	6499	8055	10069	8124	10069	12586	10060
RR650/14,2	5523	6845	8556	7364	9127	11409	9205	11409	14261	10060
RR650/16	6206	7691	9614	8274	10255	12819	10343	12819	16024	10060
RR650/18	6960	8626		9279	11501		11599	14376		10060
RR700/8	3387	4198	5247	4516	5597	6997	5645	6997	8746	11610
RR700/10	4222	5233	6541	5629	6977	8721	7036	8721	10901	11610
RR700/12,5	5258	6517	8147	7011	8690	10862	8764	10862	13578	11610
RR700/14,2	5959	7386	9232	7945	9848	12310	9932	12310	15387	11610
RR700/16	6697	8300	10376	8929	11067	13834	11162	13834	17293	11610
RR700/18	7512	9311	11639	10017	12415	15519	12521	15519	19398	11610
RR700/20	8323	10316		11097	13754		13872	17193		11610
RR750/8	3633	4503	5628	4844	6003	7504	6055	7504	9380	12340
RR750/10	4529	5613	7017	6038	7484	9355	7548	9355	11694	12340
RR750/12,5	5642	6993	8742	7523	9324	11655	9404	11655	14569	12340
RR750/14,2	6395	7926	9908	8527	10568	13210	10658	13210	16513	12340
RR750/16	7188	8910	11137	9585	11879	14849	11981	14849	18562	12340
RR750/18	8065	9996	12495	10754	13328	16661	13442	16661	20826	12340
RR750/20	8937	11077		11916	14770		14895	18462		12340
RR800/8	3878	4807	6009	5171	6409	8012	6464	8012	10015	12530
RR800/10	4836	5994	7492	6448	7992	9990	8060	9990	12487	12530
RR800/12,5	6026	7469	9336	8035	9959	12448	10044	12448	15561	12530
RR800/14,2	6831	8467	10584	9108	11289	14111	11385	14111	17639	12530
RR800/16	7680	9519	11898	10240	12692	15864	12800	15864	19830	12530
RR800/18	8618	10682	13352	11491	14242	17803	14364	17803	22253	12530
RR800/20	9552	11839		12735	15785		15919	19731		12530
RR800/23	10943 *	13563 *		14590 *	18084 *		18238 *	22605 *		12530
RR900/10	5444	6748	8435	7259	8997	11246	9074	11246	14058	14890
RR900/12,5	6787	8411	10514	9049	11215	14019	11311	14019	17524	14890
RR900/14,2	7695	9537	11922	10260	12717	15896	12825	15896	19870	14890
RR900/16	8653	10725	13406	11537	14300	17875	14422	17875	22344	14890
RR900/18	9713	12039	15048	12951	16051	20064	16188	20064	25080	14890
RR900/20	10768	13346		14357	17795		17947	22244		14890
RR900/23	12342 *	15297 *		16456 *	20396 *		20570 *	25495 *		14890
RR1000/10	6059	7509	9387	8078	10012	12515	10098	12515	15644	15690
RR1000/12,5	7554	9363	11704	10073	12484	15605	12591	15605	19507	15690
RR1000/14,2	8567	10619	13273	11423	14158	17698	14279	17698	22122	15690
RR1000/16	9636	11943	14929	12848	15924	19905	16060	19905	24881	15690
RR1000/18	10819	13409	16761	14425	17879	22348	18031	22348	27936	15690
RR1000/20	11997	14869		15996	19826		19994	24782		15690
RR1000/23	13755 *	17048 *		18340 *	22731 *		22924 *	28413 *		15690
RR1200/10	7287	9032	11290	9716	12043	15053	12145	15053	18817	19260
RR1200/12,5	9090	11267	14083	12120	15022	18778	15150	18778	23472	19260
RR1200/14,2	10312	12781	15976	13749	17041	21301	17186	21301	26627	19260
RR1200/16	11602	14379	17974	15469	19173	23966	19336	23966	29957	19260
RR1200/18	13030	16150	20188	17374	21533	26917	21717	26917	33646	19260
RR1200/20	14454	17915		19272	23886		24090	29858		19260
RR1200/23	16580 *	20550 *		22107 *	27400 *		27634 *	34251 *		19260

\*) paalukoko ei normaalissa valmistuksessa, varmista saatavuus SSAB myynnistä



Taulukko 1C. RR400-RR1200 -paalujen ohjeellisia geoteknisen kestävyuden mitoitusarvoja  $R_d$  [kN]

Taulukon 1C arvot on laskettu taulukon 1B  $R_{c,max}$ -arvoista käyttäen korrelaatiokerrointa  $\xi_s = 1,47$  ja osavarmuuskertoimen  $\gamma_t = 1,20$ . Suurpaaluilla käytettävän korrelaatiokerroimen suuruus määräytyy yleensä tehtävien PDA-mittausten määrän perusteella, jolloin  $R_d$ -arvot vaihtelevat jonkin verran taulukossa esitetyistä.

Paalu	Paalutustyöluokka PTL1			Paalutustyöluokka PTL2			Paalutustyöluokka PTL3			Vakio-kalliokärki $R_{d,L}$
	S355J2H	S440J2H	S550J2H	S355J2H	S440J2H	S550J2H	S355J2H	S440J2H	S550J2H	
RR400/8	1088	1349	1686	1451	1798	2248	1814	2248	2810	4900
RR400/10	1353	1677	2097	1804	2237	2796	2256	2796	3495	4900
RR400/12,5	1681	2084	2604	2241	2778	3473	2802	3473	4341	4900
RR450/8	1226	1520	1900	1635	2027	2533	2044	2533	3167	5920
RR450/10	1526	1891	2364	2035	2522	3152	2543	3152	3941	5920
RR450/12,5	1897	2351	2939	2529	3135	3919	3162	3919	4898	5920
RR500/8	1366	1693	2116	1821	2257	2821	2276	2821	3526	7550
RR500/10	1700	2107	2634	2267	2810	3512	2834	3512	4390	7550
RR500/12,5	2115	2621	3276	2819	3495	4368	3524	4368	5460	7550
RR500/14,2	2394	2967	3709	3192	3956	4945	3990	4945	6182	7550
RR500/16,0	2688 *	3331 *		3583 *	4441 *		4479 *	5552 *		7550
RR550/8	1505	1865	2332	2007	2487	3109	2508	3109	3886	7940
RR550/10	1874	2323	2904	2499	3097	3872	3124	3872	4840	7940
RR550/12,5	2332	2891	3613	3110	3854	4818	3887	4818	6022	7940
RR550/14,2	2641	3274	4092	3522	4365	5456	4402	5456	6820	7940
RR550/16	2966 *	3676 *		3955 *	4902 *		4944 *	6127 *		7940
RR600/8	1644	2038	2547	2192	2717	3397	2740	3397	4246	9680
RR600/10	2048	2539	3174	2731	3385	4232	3414	4232	5289	9680
RR600/12,5	2550	3160	3951	3400	4214	5267	4250	5267	6584	9680
RR600/14,2	2888	3580	4475	3851	4773	5967	4814	5967	7458	9680
RR600/16	3245	4022	5027	4326	5362	6703	5408	6703	8378	9680
RR600/18	3638	4509		4851	6012		6063	7515		9680
RR650/8	1781	2207	2759	2374	2943	3679	2968	3679	4598	10060
RR650/10	2219	2750	3438	2959	3667	4584	3699	4584	5730	10060
RR650/12,5	2763	3425	4281	3684	4567	5708	4605	5708	7135	10060
RR650/14,2	3131	3880	4851	4174	5174	6467	5218	6467	8084	10060
RR650/16	3518	4360	5450	4690	5814	7267	5863	7267	9084	10060
RR650/18	3945	4890		5260	6520		6576	8150		10060
RR700/8	1920	2380	2975	2560	3173	3966	3200	3966	4958	11610
RR700/10	2393	2966	3708	3191	3955	4944	3989	4944	6180	11610
RR700/12,5	2981	3695	4618	3975	4926	6158	4968	6158	7697	11610
RR700/14,2	3378	4187	5234	4504	5583	6978	5630	6978	8723	11610
RR700/16	3796	4705	5882	5062	6274	7842	6327	7842	9803	11610
RR700/18	4259	5278	6598	5678	7038	8797	7098	8797	10997	11610
RR700/20	4718	5848		6291	7797		7864	9747		11610

\*) paalukoko ei normaalissa valmistuksessa, varmista saatavuus SSAB myynnistä

Paalu	Paalutustyöluokka PTL1			Paalutustyöluokka PTL2			Paalutustyöluokka PTL3			Vakio- kalliokärki $R_{d,L}$
	S355J2H	S440J2H	S550J2H	S355J2H	S440J2H	S550J2H	S355J2H	S440J2H	S550J2H	
<b>RR750/8</b>	2059	2552	3191	2746	3403	4254	3432	4254	5318	12340
<b>RR750/10</b>	2567	3182	3978	3423	4243	5304	4279	5304	6629	12340
<b>RR750/12,5</b>	3199	3964	4956	4265	5286	6607	5331	6607	8259	12340
<b>RR750/14,2</b>	3625	4493	5617	4834	5991	7489	6042	7489	9361	12340
<b>RR750/16</b>	4075	5051	6313	5433	6734	8418	6792	8418	10522	12340
<b>RR750/18</b>	4572	5667	7084	6096	7556	9445	7620	9445	11806	12340
<b>RR750/20</b>	5066	6280		6755	8373		8444	10466		12340
<b>RR800/8</b>	2199	2725	3406	2932	3633	4542	3664	4542	5677	12530
<b>RR800/10</b>	2742	3398	4247	3655	4531	5663	4569	5663	7079	12530
<b>RR800/12,5</b>	3416	4234	5293	4555	5646	7057	5694	7057	8821	12530
<b>RR800/14,2</b>	3873	4800	6000	5163	6400	8000	6454	8000	10000	12530
<b>RR800/16</b>	4354	5396	6745	5805	7195	8993	7256	8993	11242	12530
<b>RR800/18</b>	4886	6055	7569	6514	8074	10092	8143	10092	12615	12530
<b>RR800/20</b>	5415	6711		7220	8948		9025	11185		12530
<b>RR800/23</b>	6203 *	7689 *		8271 *	10252 *		10339 *	12814 *		12530
<b>RR900/10</b>	3086	3825	4782	4115	5100	6376	5144	6376	7969	14890
<b>RR900/12,5</b>	3847	4768	5961	5130	6358	7947	6412	7947	9934	14890
<b>RR900/14,2</b>	4362	5407	6758	5816	7209	9011	7270	9011	11264	14890
<b>RR900/16</b>	4905	6080	7600	6540	8106	10133	8176	10133	12666	14890
<b>RR900/18</b>	5506	6825	8531	7342	9099	11374	9177	11374	14218	14890
<b>RR900/20</b>	6104	7566		8139	10088		10174	12610		14890
<b>RR900/23</b>	6996 *	8672 *		9329 *	11562 *		11661 *	14453 *		14890
<b>RR1000/10</b>	3435	4257	5321	4579	5676	7095	5724	7095	8869	15690
<b>RR1000/12,5</b>	4283	5308	6635	5710	7077	8847	7138	8847	11058	15690
<b>RR1000/14,2</b>	4857	6020	7524	6476	8026	10033	8095	10033	12541	15690
<b>RR1000/16</b>	5463	6770	8463	7283	9027	11284	9104	11284	14105	15690
<b>RR1000/18</b>	6133	7602	9502	8177	10135	12669	10222	12669	15837	15690
<b>RR1000/20</b>	6801	8429		9068	11239		11335	14049		15690
<b>RR1000/23</b>	7797 *	9664 *		10397 *	12886 *		12996 *	16107 *		15690
<b>RR1200/10</b>	4131	5120	6400	5508	6827	8534	6885	8534	10667	19260
<b>RR1200/12,5</b>	5153	6387	7984	6871	8516	10645	8589	10645	13306	19260
<b>RR1200/14,2</b>	5846	7245	9057	7794	9661	12076	9743	12076	15095	19260
<b>RR1200/16</b>	6577	8152	10190	8769	10869	13586	10961	13586	16983	19260
<b>RR1200/18</b>	7387	9155	11444	9849	12207	15259	12311	15259	19074	19260
<b>RR1200/20</b>	8194	10156		10925	13541		13656	16926		19260
<b>RR1200/23</b>	9399 *	11650 *		12532 *	15533 *		15665 *	19416 *		19260

\*) paalukoko ei normaalissa valmistuksessa, varmista saatavuus SSAB myynnistä



SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva pohjoismainen ja yhdysvaltalainen teräsyhtiö. Yhtiön lisäarvoa tarjoavat tuotteet ja palvelut on kehitetty tiiviissä yhteistyössä asiakkaiden kanssa. Tavoitteena on vahvempi, kevyempi ja kestävämpi maailma. SSAB:llä on työntekijöitä yli 50 maassa ja tuotantolaitoksia Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa. Yhtiö on noteerattu Nasdaq OMX Nordic Tukholmassa ja toissijaisesti Nasdaq OMX Helsingissä. [www.ssab.com](http://www.ssab.com)

## VASTUUVAPAUCLAUSEKE

Tämän asiakirjan tiedot ja tekstit on annettu ainoastaan yleisessä tiedonanto-tarkoituksessa ja ilman minkäänlaista takuuta. SSAB Europe Oy:tä (tai samaan yritysryhmään kuuluvaa yhtiötä) ei voida pitää vastuussa näihin tietoihin liittyvistä virheistä, laiminlyönneistä tai väärinkäytöistä ja ne irtisanoutuvat kaikesta tietojen käyttämiseen tai käyttämättä jättämiseen liittyvästä vastuusta. Kaikki materiaalin käyttö tapahtuu käyttäjän omalla vastuulla. Missään tapauksessa SSAB Europe Oy:tä (tai samaan yritysryhmään kuuluvaa yhtiötä) ei voida pitää vastuussa vahingoista mukaan lukien tulonmenetyksestä, toteutumatta jääneistä säästöistä tai muista liitännäisistä tai välillisistä vahingoista, jotka aiheutuvat tämän tiedon käyttämisestä tai käyttämättä jättämisestä. SSAB:n paalujen kokoluokkaa ja niiden teknisiä ominaisuuksia sekä tämän asiakirjan sisältöä voidaan muuttaa ilman tiedonantoa.

Copyright © 2022 SSAB. Kaikki oikeudet pidätetään. SSAB ja SSAB:n tuotenimet ovat SSAB:n tavaramerkkejä tai rekisteröityjä tavaramerkkejä

SSAB  
Harvialantie 420  
13300 Hämeenlinna

Puh. 020 5911

[www.ssab.fi/infra](http://www.ssab.fi/infra)

**SSAB**