Transforming
the future of steel

SSAB

# RD®-paaluseinä

## Suunnittelu- ja asennusohjeet

Ohje käsittelee SSAB:n valmistamaa poraamalla asennettavaa tukiseinäratkaisua. Ohje perustuu EN-standardijärjestelmään. Ohjeessa esitetään RD-paaluseinän suunnittelun ja mitoituksen perusteet, suosituksia paalukoon ja lukkoprofiileiden valintaan, paalujen käsittely- ja asennusohjeet sekä paalutustyön laadunvalvonnan, mittausten sekä dokumentoinnin ohjeet. Ohje sisältää suunnittelua ja toteutusta helpottavia valmiiksi laskettuja mitoitustaulukoita sekä suunnittelu- ja toteutusesimerkkejä.

**Käyttökohteet:**
- pysyvät tukiseinät
- väliaikaiset tukiseinät
- vaaka- ja pystyrasitetut rakenteet
- siltojen maatuet
- pysäköintikellarit
- vesitiiviit tukiseinät
- kallioon ulotettavat tukiseinät ja kaivannot

Paaluputket:

CE

ETA 12/0526

TEHTY SUOMESSA ®

www.ssab.fi/infra

# Sisältö


1 SOVELTAMISALA . . . 3
1.1 Sovellusesimerkkejä . . . 3
2 VIITTAUKSET . . . 6
3 TERMIT JA MÄÄRITELMÄT . . . 6
4 RD-PAALUSEINIEN VALMISTUKSESSA TARVITTAVAT TIEDOT . . . 7
4.1 Yleistä . . . 7
4.2 Erityiset tiedot . . . 7
4.3 Toteutusluokat . . . 8
5 MAASTOTUTKIMUKSET . . . 8
5.1 Maaperä- ja kallioperätutkimus . . . 8
6 MATERIAALIT JA VARUSTEET . . . 9
6.1 Paaluputket . . . 9
6.2 Lukkoprofiilit . . . 9
6.3 Porakruunut . . . 10
6.4 Lukkojen tiivisteet . . . 11
6.5 Muut materiaalit ja varusteet . . . 11
7 RD-PAALUSEINIEN SUUNNITTELU . . . 12
7.1 Yleistä . . . 12
7.2 Paalukoon valinta . . . 12
7.3 Lukkoprofiilin valinta . . . 17
7.4 Vesitiiveys ja pohjaveden hallinta . . . 18
7.5 Muut rakenneosat . . . 20
7.6 Työjärjestys . . . 22
7.7 Suunnittelussa huomioon otettavat erityisseikat . . . 23
8 RD-PAALUSEINIEN TOTEUTUS . . . 23
8.1 Yleistä . . . 23
8.2 Työmaa-alueen valmistelu . . . 24
8.3 Paaluputkien varastointi ja käsittely . . . 24
8.4 Paalujen teräsosien hitsaaminen ja leikkaaminen . . . 24
8.5 Paalujen asentaminen maahan . . . 26
8.6 Vaaka- ja pystysuuntaisen sijainnin toleranssit . . . 27
8.7 Paaluputkien sijainnin korjaaminen poraamisen aikana . . . 28
8.8 Ankkuroinnin asentaminen . . . 28
8.9 Vaakapalkit ja puristussauvat . . . 28
8.10 Kaivaminen, täyttö, veden johtaminen ja vedenpoisto . . . 28
8.11 Paaluputkien ylösnosto . . . 28
8.12 Kalliotapit ja ankkurointipultit . . . 28
8.13 Tiivistys . . . 28
8.14 Pintakäsittely ja verhoilut . . . 29
9 VALVONTA, TESTAUS JA SEURANTA- JA MITTAUSTARKKAILU . . . 29
9.1 Valvonta . . . 29
9.2 Testaus . . . 29
9.3 Seuranta- ja mittaustarkkailu . . . 29
10 TYÖMAAN DOKUMENTOINTI . . . 30
10.1 Valmistusta koskevat työmaapöytäkirjat . . . 30
10.2 Valmista työtä koskevat työmaapöytäkirjat . . . 30
11 ERITYISVAATIMUKSET . . . 30
11.1 Turvallisuus . . . 30
11.2 Vaikutus ympärillä oleviin rakennuksiin ja laitteisiin . . . 31
11.3 Meluntorjunta . . . 31
11.4 Tukiseinien veden läpäisevyys . . . 31

Liite 1. Esimerkkejä rakenteellisista detaljeista sekä toteutustavoista (ladattavissa www.ssab.fi/infra)

# 1 Soveltamisala

RD®-paaluseinä perustuu SSAB:n kierresauma- tai pituussaumahitsaamalla valmistamiin teräsputkipaaluihin sekä tehtaalla hitsaamalla kiinnitettyihin lukkoprofiileihin. Paalut porataan keskeisellä porausmenetelmällä. Teräsputkipaalun lukkoprofiileina käytetään SSAB:n tähän tarkoitukseen kehittämiä lukkoprofiileja. Avarrinkruunujen ja lukkoprofiilien yhteen sovitetut mitat mahdollistavat RDpaaluseinän asentamisen poraamalla kivien ja lohkareiden läpi sekä tarvittaessa kallion sisään. Avarrinkruununa käytetään normaalikokoa suurempaa avarrinkruunua, joka tekee maahan, kiviin ja kallioon halkaisijaltaan suurempaa reikää kuin paalun ulkohalkaisija.

**Pysyvät rakenteet**
RD-paaluseinä on parhaimmillaan pysyvissä rakenteissa, joissa vaaditaan suurta pysty- ja vaakakuorman kestävyyttä. RD-paaluseinän asentaminen on luotettavaa myös haastavissa olosuhteissa, joten ratkaisu mahdollistaa merkittäviä säästöjä rakentamisajassa ja kokonaistaloudellisen lopputuloksen. RD-paaluseinän avulla voidaan parhaimmillaan väliaikaisten tukiseinien rakentaminen välttää kokonaan.

**Väliaikaiset rakenteet**
Työnaikaisena tukiseinärakenteena RD-paaluseinä soveltuu erityisesti haastaviin pohjasuhteisiin, joissa perinteisten tukiseinärakenteiden toteuttaminen on vaikeaa tai mahdotonta.

**Vaakakuormitetut rakenteet**
Kohteessa, jossa seinältä vaaditaan suurempaa taivutusjäykkyyttä ja -kestävyyttä kuin mitä tavanomaisilla teräsponttiseinillä voidaan saavuttaa, RD-paaluseinä on hyvä ratkaisu. Suuriläpimittaisilla RD-paaluilla toteutetulla RD-paaluseinällä saavutetaan suuri taivutusjäykkyys ja -kestävyys.

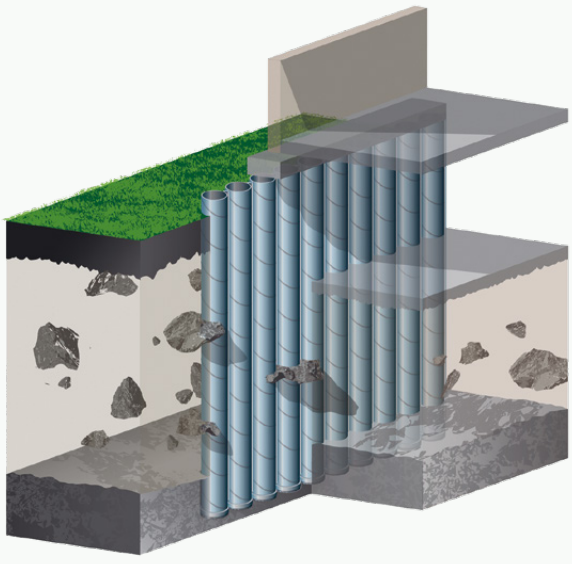
**Pystykuormitetut rakenteet**
Kun paalut ulotetaan kallioon, RD-paaluseinän pystykuorman kestävyys on erittäin suuri. Rakenne voi siis toimia yhtäaikaisesti vaakakuormitettuna maanpaineseinänä ja suuria pystykuormia kantavana perustusrakenteena.

## 1.1 Sovellusesimerkkejä

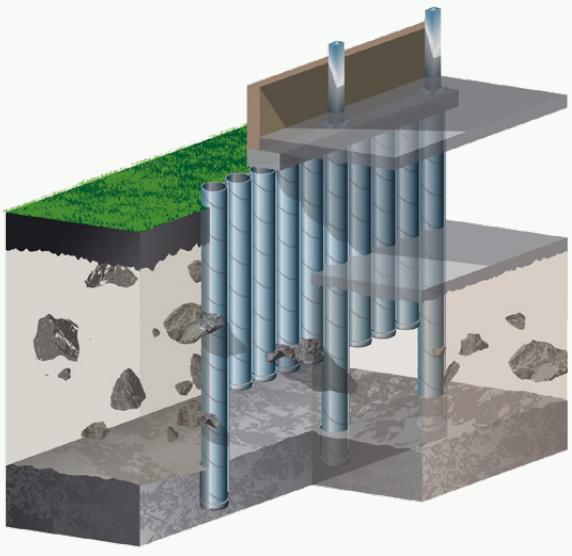
**Kellarillinen rakennus**
RD-paaluseinää voidaan hyödyntää tehokkaasti rakennuksissa, joissa on yksi tai useampia kellarikerroksia. Näissä kohteissa RD-paaluseinä toimii pysyvänä yhdistettynä rakenteena pysty- ja vaakakuormille. Ratkaisu on kustannustehokas, koska erillisiä tukiseinärakenteita ei tarvita. RDpaaluseinä voidaan pintakäsitellä ja jättää näkyväksi seinärakenteeksi esimerkiksi kellariin sijoittuvassa autohallissa ilman sisäpuolisia seinärakenteita. Esimerkki RD-paaluseinästä kellarillisessa rakennuksessa on esitetty kuvassa 1.

**Pilarirunkoinen rakennus**
RD-paaluseinä voi koostua pituudeltaan vaihtelevista paaluista. Osa RD-paaluseinän paaluista voidaan asentaa kallioon ulottuvina paaluina, jotka varmistavat seinärakenteen alapään vaakasuuntaisen tuennan ja toimivat pilarikuormia välittävinä perustuspaaluina. Esimerkki RDpaaluseinästä pilarirunkoisessa rakennuksessa ja eripituisilla paaluilla toteutettuna on esitetty kuvassa 2.

RD-paaluseinä voidaan toteuttaa myös niin sanottuna Combi-seinänä, jolloin lukkoprofiileilla varustettujen RDpaalujen väliin asennetaan teräspontit lyömällä tai täryttämällä putkipaalujen asennuksen jälkeen.



Kuva 1. RD-paaluseinä kellarillisessa rakennuksessa



Kuva 2.RD-paaluseinä pilarirunkoisessa rakennuksessa

### Työnaikainen tukiseinä

Työnaikaisissa tukiseinärakenteissa RD-paaluseinä on tehokas ratkaisu, kun maaperä sisältää vaikeasti läpäistäviä maakerroksia, tukiseinältä vaaditaan hyvää vesitiiveyttä, tukitasojen määrä halutaan minimoida tai kun tukiseinä tulee ulottaa kallion sisään. RD-paaluseinän asentaminen aiheuttaa tiiviiden maakerrosten läpäisyssä yleensä vähemmän tärinää kuin teräsponttiseinän asentaminen, jolloin RD-paaluseinä soveltuu hyvin tärinöille arkojen rakenteiden läheisyyteen. Esimerkki RD-paaluseinästä työnaikaisena tukiseinänä on esitetty kuvassa 3.

### Muodoltaan vaihtelevat tukiseinät

RD-paaluseinällä voidaan toteuttaa geometrisilta muodoiltaan erilaisia seinäkokonaisuuksia. Seinät voivat olla esimerkiksi ympyrän muotoisia tai niissä voi olla eriasteisia kulmia. Eri paalukokoja on mahdollista tarpeen mukaan yhdistellä RD-paaluseinässä. Näin seinärakenne voidaan optimoida todellisten kuormitusten mukaan. Esimerkki RD-paaluseinästä muodoltaan vaihtelevassa seinärakenteessa on esitetty kuvassa 4.

### Kallion sisään ulotettavat kaivannot ja rakenteet

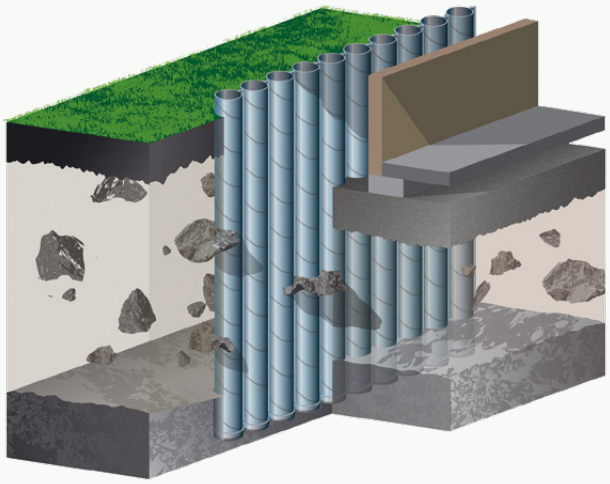
Jos tukiseinä tulee ulottaa tukiseinän alapään tuennan, kaivutason syvyyden tai vesitiiveyden takia varmasti kallioon tai useita metrejä kiviseen ja lohkareiseen moreeniin, on teräsponttiseinän käyttö mahdotonta ilman erityistoimenpiteitä kuten esiporausta, räjäytyksiä yms. Työnaikainen tai pysyvä RD-paaluseinä voidaan porata kallion sisään haluttuun tasoon. Seinän sisäpuolinen kallio voidaan louhia seinään asti ja näin säästää tilaa rakennusaikana, koska ”kalliohyllyä”, jonka päällä tukiseinä on, ei tarvita. Esimerkki RD-paaluseinästä kallion sisään ulottuvan kaivannon tukiseinänä on esitetty kuvassa 5.

### Sillan maatuki

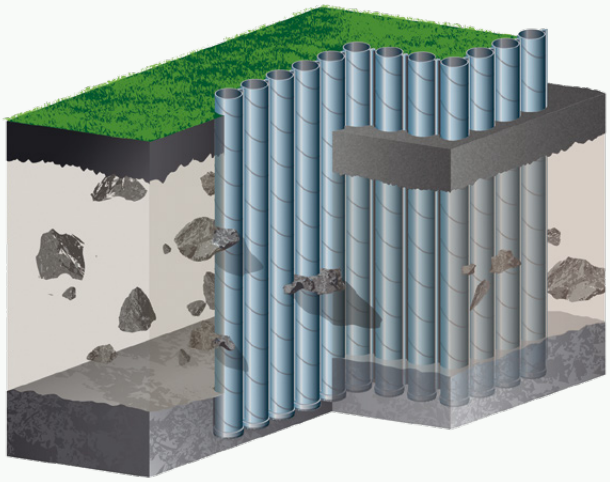
RD-paaluseinä voi toimia sillan maatukena kuvassa 6 esitetyn periaatteen mukaisesti. RD-paaluseinän avulla voidaan sillan pysty- ja vaakakuormat ja taustapenkereen vaakakuormat viedä luotettavasti kallioon ja maaperään. RD-paaluseinän käyttö maatukena mahdollistaa sillan kannen rakentamisen ennen kaivutöitä ja esimerkiksi yhdessä siltakannen siirtomenetelmän avulla lyhyen liikennekatkon rakentamisaikana.

### Sillan välituki

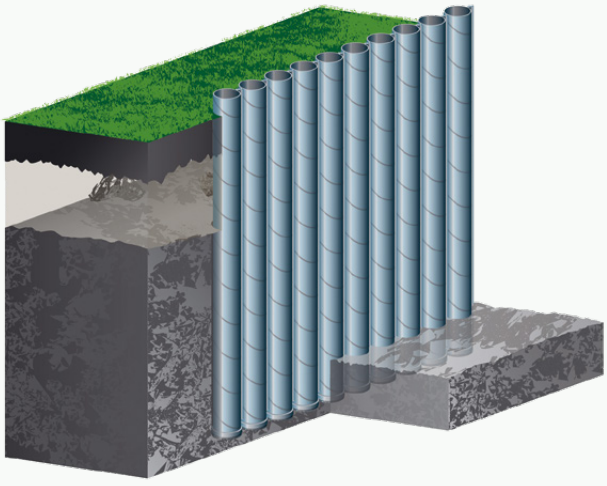
RD-paaluseinällä voidaan toteuttaa vaikeissa pohja- ja ympäristöolosuhteissa raskaasti vaakakuormitettujen esimerkiksi törmäyskuormitettujen siltojen välituet. Välituen alle voidaan tehdä kuvan 7 periaatteen mukaisesti RDpaaluseinän avulla kallioon asti ulottuva suljettu kehä, jonka yläosa tyhjennetään maa-aineksesta ja betonoidaan. Rakenne ei edellytä erillisiä työnaikaisia tukirakenteita ja perustus on mahdollista toteuttaa ahtaissa olosuhteissa.



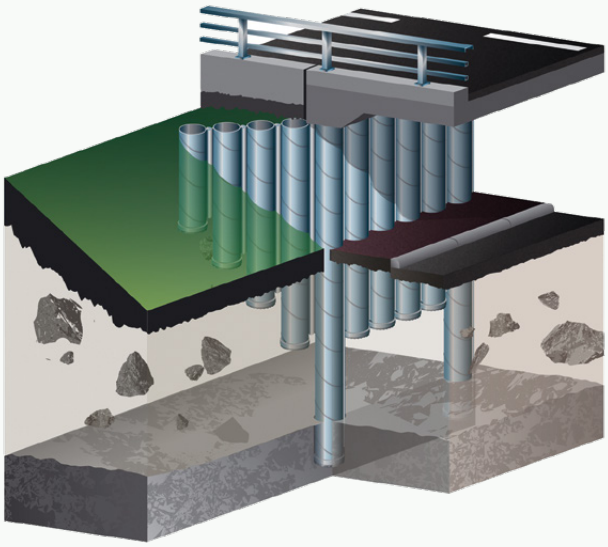
Kuva 3. RD-paaluseinä työnaikaisena tukiseinänä



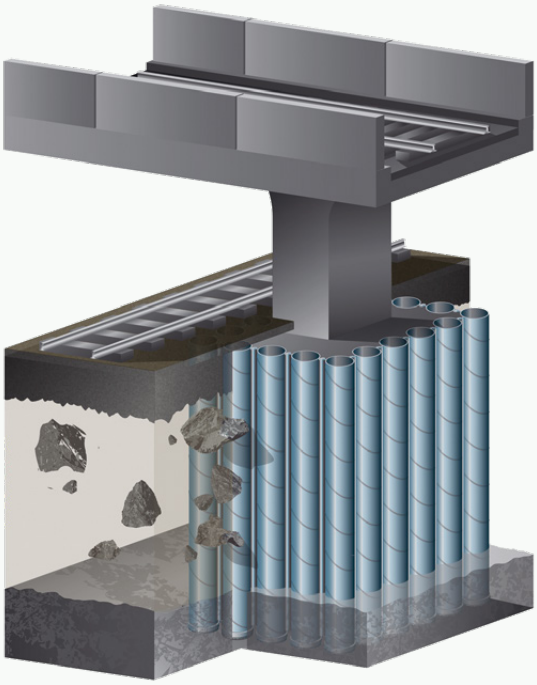
Kuva 4. RD-paaluseinä muodoltaan vaihtelevassa seinärakenteessa



Kuva 5. RD-paaluseinä kallion sisään ulottuvana kaivannon tukiseinänä



Kuva 6. RD-paaluseinä sillan maatukena



Kuva 7. RD-paaluseinä törmäyskuormitetun sillan välituessa

### Sataman reunalaituri

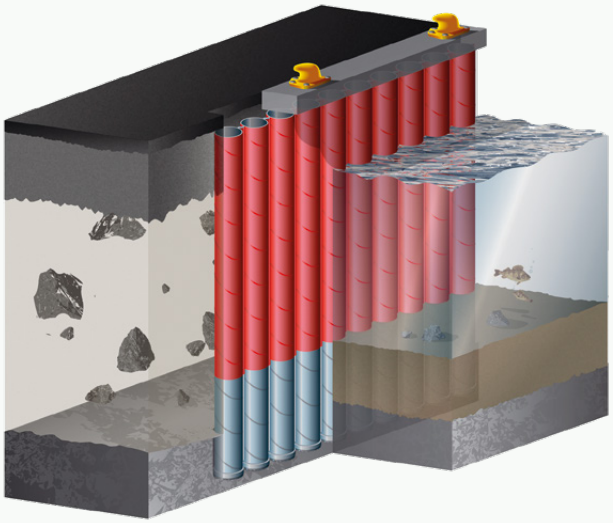
RD-paaluseinällä voidaan toteuttaa reunalaituri haastavissa pohjasuhteissa. Paalut voidaan tarvittaessa korroosiosuojata esimerkiksi maalaamalla kuvassa 8 esitetyllä tavalla. RD-paaluseinässä voidaan käyttää SSAB:n lujia teräslajin S550J2H RDs-paaluja. Luja teräslaji mahdollistaa rakenteen suuren taivutuskestävyyden suhteessa materiaalimenekkiin.

### Tuulivoimalan perustus

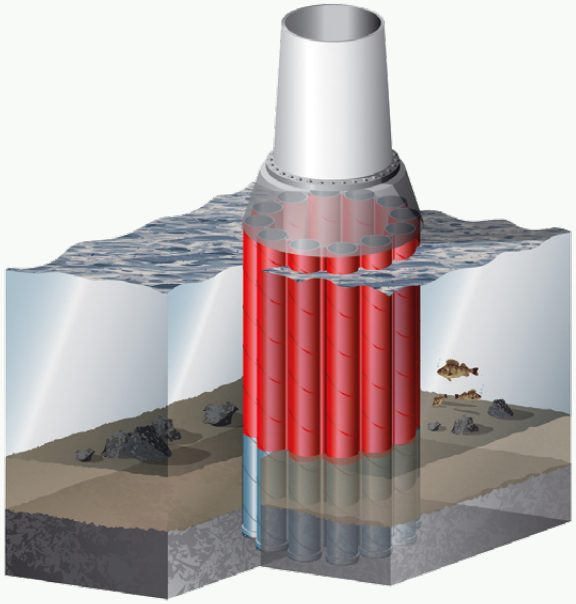
RD-paaluseinän avulla voidaan muodostaa yhtenäinen perustusseinärakenne off-shore rakenteille. RD-paaluseinäperustus on parhaimmillaan olosuhteissa, joissa suurten monopaalujen asentaminen edellyttää erikoistoimenpiteitä tai esimerkiksi kasuuniperustus edellyttää massiivista massanvaihtoa. RD-paaluseinäperustus mahdollistaa muun muassa kuvassa 9 esitetyn tuulivoimalan perustuksen toteuttamisen myös matalaan veteen kaikissa pohjasuhteissa.

### Kaukalorakenne

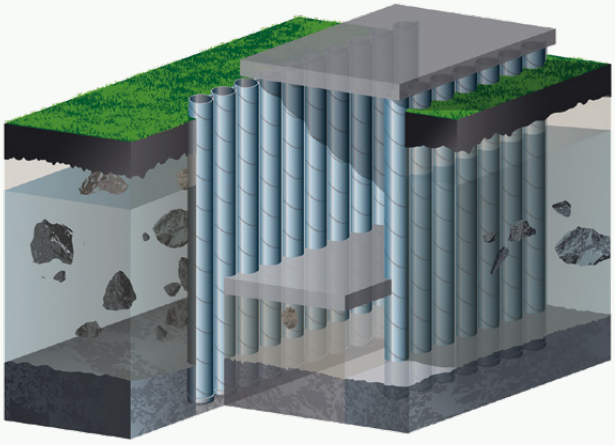
RD-paaluseinällä voidaan toteuttaa vesitiiviitä kaukalorakenteita, jolloin esimerkiksi liikenneväylä voidaan tehdä pohjavedenpinnan alapuolelle laskematta ympäristön pohjaveden pintaa. RD-paalujen ulottuessa kallioon saakka vesitiiviisti kuten kuvassa 10, ei kaukalorakenteen pohjalaattaa tarvitse ankkuroida nostetta vastaan. Työnaikaisissa tukiseinissä paaluputkia voidaan käyttää kaivannon kuivana pidossa työnaikaisina pumppauskaivoina.



Kuva 8. Korroosiosuojamaalattu RD-paaluseinä satamalaiturin rakenteena



Kuva 9. Korroosiosuojamaalattu RD-paaluseinä tuulivoimalan perustuksena



Kuva 10. RD-paaluseinä vesitiiviissä kaukalorakenteessa

# 2 Viittaukset

Tämä ohje sisältää viittauksia muihin julkaisuihin, jotka vaikuttavat tämän ohjeen sisältöön. Nämä viittaukset esitetään asiaankuuluvissa tekstikohdissa ja julkaisut luetellaan tässä kohdassa.

SFS-EN 1011-2 Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus

SFS-EN 1090-2 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset

SFS-EN 1990 Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet

SFS-EN 1993-1-1 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

SFS-EN 1993-5 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 5: Paalut

SFS-EN 1997-1 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt

SFS-EN 10020 Teräslajien määritelmät ja luokittelu

SFS-EN 10204 Metallituotteiden ainestodistukset

SFS-EN 10219-1 Kylmämuovatut hitsatut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 1: Tekniset toimitusehdot

SFS-EN 10219-2 Kylmämuovatut hitsatut teräksiset rakenneputket. Osa 2: Toleranssit, mitat ja poikkileikkaussuureet

SFS-EN 10248-1 Hot rolled sheet piling of non alloy steels. Part 1: Technical delivery conditions

SFS-EN 12063 Execution of special geotechnical work. Sheet pile walls, combined pile walls, high modulus walls

SFS-EN 16228-1 Drilling and foundation equipment. Safety. Part 1: Common requirements

SFS-EN 16228-2 Drilling and foundation equipment. Safety. Part 2: Mobile drill rigs for civil and geotechnical engineering, quarrying and mining

SFS-EN 16228-7 Drilling and foundation equipment. Safety. Part 7: Interchangeable auxiliary equipment

SFS-EN ISO 3834-3 Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 3: Vakiolaatuvaatimukset

SFS-EN ISO 4063 Hitsaus, kovajuotto, juotto ja leikkaus. Prosessien nimikkeet ja numerotunnukset

SFS-EN ISO 9001 Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset

SFS-EN ISO 9692-1 Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuodot. Osa 1: Terästen puikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, TIG- ja sädehitsaus

SFS-EN ISO 14001 Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita

SFS-EN ISO 15609-1 Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 1: Kaarihitsaus

RIL 254-2016 Paalutusohje 2016, PO-2016

RIL 263-2014 Kaivanto-ohje

# 3 Termit ja määritelmät

**Ankkurointi**
Tukiseinän ankkurointijärjestelmä, esim. ankkurilevyt tai ankkuriseinät, mukaan lukien liitostangot, (vetotangot), ruuviankkurit, maa- ja kallioankkurit, tungetut maa-ankkurit, ankkurointipaalut ja ankkurit, joissa on käytetty laastia tai paisuvia materiaaleja.

**Combi-seinä**
Primaari- ja sekundaarielementeistä koostuva tukimuuri. Primaarielementit voivat olla teräsputkia, palkkeja tai kotelopaaluja. Sekundaarielementit ovat tavallisesti U:n tai Z:n muotoisia teräspontteja.

**Juoksu**
Vaakasuora, tavallisesti teräspalkki tai raudoitettu betonipalkki, joka on kiinnitetty tukiseinään ja yhdistetty ankkurointeihin tai solkiin jakamaan ankkureista tai soljista tulevat voimat tasaisesti tukiseinään.

**Lisärakenteet**
Kaikki rakenteet, jotka ovat tarpeen, kun valmistetaan tukiseiniä asianmukaisesti ja turvallisesti.

**Lukkoprofiili**
Porapaaluputkiin kiinnitetty teräsprofiili, joka yhdistää ja lukitsee vierekkäiset porapaaluputket toisiinsa.

**Maastotutkimus**
Rakennuspaikan ja sen lähellä olevan alueen tutkimukset joilla selvitetään maaperän geotekniset ominaisuudet, olemassa olevat maanpääliset ja -alaiset rakenteet sekä niiden perustukset, sekä mahdolliset asennettavuuskokeet.

**Ohjainkehys**
Kehys, joka on tehty yhdestä tai useammasta jäykästä ohjauspalkista, jotka tavallisesti ovat puuta tai terästä. Sillä pontit kohdistetaan ja pidetään halutussa linjassa kohdistamisen ja upotuksen aikana.

**Ponttiseinä**
Jatkuvan seinän muodostava ponttilinja. Teräsponttien jatkuvuus syntyy toisiinsa kiinnittyvien ponttilukkojen avulla.

**Tukiseinärakenne**
Porapaaluputkista, ponttilankuista, maa- ja kallioankkureista, tuennoista ja juoksuista valmistettu maata ja vettä tukeva rakenne.

**Porapaaluseinä**
Jatkuvan seinän muodostava porapaaluseinä. Porapaalujen jatkuvuus syntyy porapaaluihin kiinnitettyjen lukkoprofiileiden avulla.

**Solki**
Pitkä, tavallisesti terästä, puuta tai raudoitettua betonia oleva puristussauva, joka tukee tukiseiniä ja joka on yleensä kiinnitetty juoksuihin.

**Telataso**
Poralaitteen telaketjun alapintaa vastaava korkeusasema.

**Tuenta**
Juoksuista ja soljista muodostettu rakennetta tukeva järjestelmä.

# 4 RD-paaluseinien valmistuksessa tarvittavat tiedot

## 4.1 Yleistä

**Seuraavien tietojen tulee olla käytettävissä ennen kuin aloitetaan tukiseinärakenteen valmistaminen:**
- rakennuspaikan sijaintikartat, mukaan lukien kulkutiet ja mahdolliset esteet
- rakennuspaikalla tai sen läheisyydessä olevien kiintopisteiden taso ja sijainti
- laitteiden ja materiaalien kulkua koskevat rajoitukset
- johtojen ja kaapeleiden kuten sähkö-, puhelin-, vesi- ja kaasujohtojen ja viemäreiden sijainti
- rakennuspaikan geotekniset tiedot
- maaperän koostumus ja kerrostuneisuus sekä niiden vaihtelu rakennuspaikalla
- maa- ja kalliokerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet
- kivien ja lohkareiden mahdollinen esiintyminen maaperässä
- koheesiomaan mahdollinen tarttuminen porapaaluputkiin niitä ylösnostettaessa (ks. kohta 8.11)
- sen alueen hydrogeologiset tiedot, jolle rakennuspaikka tullaan sijoittamaan
- tukiseinien määrittelyt, mukaan lukien kaikki yksityiskohdat kuten porapaaluputkien koot, lukkoprofiilit, luokka, suojauskäsittelymenetelmät
- rakennuspaikan läheisyydessä olevat herkästi vaurioituvat rakennukset ja/tai laitteet
- melua ja tärinää koskevat rajoitukset
- tunkemismenetelmää ja apukeinoja koskevat rajoitukset
- tukiseinän veden ja muiden nesteiden läpäisevyyttä koskevat rajoitukset
- suunnittelussa vaaditut tukiseinärakenteen valmistuksen eri vaiheet
- vesirakenteissa veden pinnan korkeudet ja niiden vaihtelu (suuruus, tiheys ja vaihtelujen syy, esim. padotun veden purkautuminen, nousuvesi jne.)
- maaperän mahdollista saastumista koskevat tiedot
- luettelo tunnistetuista erityiskysymyksistä, jotka tulee tutkia (ks. kohta 4.2).

## 4.2 Erityiset tiedot

**Seuraavien erityistietojen tulee olla käytettävissä ennen työn aloittamista:**
- kaikki erityiset suunnittelutiedot, jotka ovat tärkeitä työn suorittamisessa

- rakennuspaikalla tai sen läheisyydessä olevista maaankkureista, katodisen suojauksen laitteista ja vastaavista aiheutuvat rajoitukset
- rakennuspaikalla suoritetut aikaisemmat toimenpiteet, maassa olevat perustusten jäännökset tai muut rakennetut laitteet.

**Seuraavista seikoista tulisi olla käytettävissä tiedot ennen työn aloittamista:**

- projektikohtaiset erityistekijät kuten mahdolliset korroosio- tai kulumisongelmat
- vastaava kokemus lähistöllä suoritetuista töistä tai vastaavista töistä, jotka on suoritettu samanlaisissa olosuhteissa
- viereisten rakennusten, rakenteiden tai laitteiden kunto ja niiden perustusten luonne ja syvyys
- haitallisia sääoloja koskevat tiedot, esim. tuuliolosuhteet ja tuulten esiintymistiheys
- maaperän kova routiminen, jos se saattaa johtaa tukiseinän ylikuormittumiseen.

### 4.3 Toteutusluokat

Kaikille Eurokoodien mukaan suunniteltaville rakenteille, myös tukiseinille, on suunnittelustandardin SFS-EN 1990 mukaisesti määritettävä joko seuraamusluokka tai luotettavuusluokka. Tämän määrityksen perusteella valitaan tukiseinän teräsrakenteiden toteutuksessa käytettävä toteutusluokka SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti. Toteutusluokat ovat EXC1...EXC4, joissa vaatimustasot kasvavat EXC1:stä EXC3:een, EXC4 ollessa EXC3 lisättynä kohdekohtaisilla lisävaatimuksilla.

Pysyvät rakenteet tulee toteuttaa vähintään luokassa EXC2. Jos toteutusluokkaa ei ole määritetty, tulee pysyvillä rakenteilla käyttää luokkaa EXC2 ja väliaikaisilla EXC1.

Toteutusluokan mukaiset vaatimukset on annettu toteutusstandardeissa. Tukiseinien teräsrakenteilla noudatetaan kahta eri toteutusstandardia kyseisen rakenteen mukaan. Tukiseinän teräspaaluilla noudatetaan toteutusstandardia SFS-EN 12063 ja tukiseinän muilla teräsrakenteilla toteutusstandardia SFS-EN 1090-2.

Toteutusstandardia SFS-EN 12063 noudatetaan RD-paaluseinien teräspaaluelementtien valmistuksessa ja asennuksessa. Eri toteutusluokat huomioidaan SFS-EN 12063 standardissa kuitenkin vain paalujen hitsauksiin liittyvissä asioissa. RD-paaluseinillä eri toteutusluokkien vaatimukset koskevat lukkojen kiinnitys-, jatko- ja tiivistyshitsauksia sekä paaluputkien jatkoshitsauksia.

Tukiseinärakenteen muiden teräsrakenteiden, esim. vaakapalkit ja puristussauvat sekä näiden teräsosien liitokset, valmistuksessa ja asennuksessa noudatetaan teräsrakenteiden toteutusstandardin SFS-EN 1090-2 mukaisia toteutusluokkakohtaisia vaatimuksia.

# 5 Maastotutkimukset

Kaivannon pohjatutkimusohjelma tulee suunnitella sisällöltään ja laajuudeltaan sellaiseksi, että pohjaolosuhteiden, ympäristön ja kaivantorakenteiden vaativuus otetaan huomioon. Pohjatutkimukset jotka palvelevat rakentamisen riskienhallintaa, työnsuunnittelua ja laadunvarmistusta tulee sisällyttää tutkimusohjelmaan. Tutkimuspisteet tulee sijoittaa vastaamaan mahdollisimman hyvin kaivantorakenteiden lopullista sijaintia. Tutkimuspisteiden, joita käytetään tukiseinän tavoitetason määrittelyssä, tulee sijaita tukiseinälinjalla.

### 5.1 Maaperä- ja kallioperätutkimus

RD-paaluseinän suunnitteluvaiheessa pohjatutkimuksilla selvitetään maaperän geotekniset ominaisuudet ja pohjavesiolosuhteet tukirakenteeseen kohdistuvien maanpaineiden määrittämiseksi. Pohjatutkimuksilla selvitetään myös paalujen asennustaso, jotta paalut voidaan tilata määrämittaisena ja välttää näin ylimääräi-

**Taulukko 1. RD-paaluseinässä käytettävät paalukoot**

| | | Paino [kg/m] * | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Seinämävahvuus [mm] | | | | | | | |
| **Paalu** | **Halkaisija [mm]** | **10** | **12.5** | **14.2** | **16** | **18** | **20** | **21** | **22** |
| **RD220** | 219,1 | | 63,7 | | | | | | |
| **RD270** | 273,0 | 64,9 | 80,3 | | | | | | |
| **RD320** | 323,9 | 77,4 | 96,0 | | | | | | |
| **RD400** | 406,4 | 97,8 | 121,4 | | | | | | |
| **RD500** | 508,0 | 122,8 | 152,7 | 172,9 | 194,1 | | | | |
| **RD600** | 610,0 | 148,0 | 184,2 | 208,6 | 234,4 | 262,8 | | | |
| **RD700** | 711,0 | | 215,3 | 244,0 | 274,2 | 307,6 | 340,8 | | |
| **RD800** | 813,0 | | 246,8 | 279,7 | 314,5 | 352,9 | 391,1 | 410,2 | 429,2 |
| **RD900** | 914,0 | | 277,9 | 315,1 | 354,3 | 397,7 | 440,9 | 462,5 | 484,0 |
| **RD1000** | 1016,0 | | | 350,8 | 394,6 | 443,0 | 491,3 | 515,3 | 539,3 |
| **RD1200** | 1220,0 | | | 422,3 | 475,1 | 533,6 | 591,9 | 621,0 | 650,0 |

Teräslajit S460MH ja S550J2H
Teräslajit S355J2H, S440J2H ja S550J2H
Teräslajit S355J2H ja S440J2H
Varmista saatavuus SSAB myynnistä

* Pelkän paaluputken paino ilman lukkoja.
Pitkillä paaluilla ei suositella käytettäväksi taulukon ohuimpia seinämäpaksuuksia

nen hukka. Jos paaluseinä suunnitellaan asennettavaksi kallioon, selvitetään kalliopinnan vaihtelut ja kallion laatu riittävillä porakonekairauksilla.

Pohjatutkimusten suositeltava peruslaajuus seinälinjalta on vähintään 1 kpl / 10 m. Mikäli RD-paaluseinä on tarkoitus ulottaa kallioon, on pohjatutkimukset tehtävä porakonekairauksena ja ulotettava 3 m kallioon. Erittäin vaativissa kohteissa pohjatutkimuksia suositellaan tehtäväksi poraamalla seinälinjalta 1 kpl / 3…5 metrin välein.

Laaja pohjatutkimus yhdistettynä määrämittaisiin tehdastoimituksiin luo pohjan sekä projektin rakenteelliselle että taloudelliselle onnistumiselle ilman asennustyönaikaisia muutostarpeita. Kaivantojen ja tukiseinien edellyttämien pohjatutkimusten vaatimuksia on esitetty Kaivanto-ohjeessa RIL 263-2014.

# 6 Materiaalit ja varusteet

### 6.1 Paaluputket

RD-paaluseinässä voidaan käyttää eri paalukokoja alkaen paalusta RD220 paaluun RD1200 asti. Paalut toimitetaan täsmälleen suunnitellun pituisina ja tarvittaessa hitsausviisteillä varustettuina. RD-paaluseinässä käytettävissä olevat paalukoot on esitetty taulukossa 1.

Suurpaalujen (≥RD400) putket valmistetaan kierresaumahitsaamalla ja pienpaalujen (≤RD320) putket pituussaumahitsaamalla. Kierresaumahitsatuilla paaluilla tulisi paaluelementin pituuden olla vähintään 6 metriä. Lyhyemmillä elementtipituuksilla putken epäpyöreys saattaa aiheuttaa ongelmia porakärkien kiinnittämisessä ja toiminnassa sekä paaluputkien jatkoshitsauksissa.

### Paalujen teräslajit

RD-paaluseinässä voidaan käyttää SSAB:n paalutuskäyttöön valmistamia teräslajeja S440J2H, S460MH ja S550J2H. RD400 tai tätä suuremmilla paaluilla toteutettavassa paaluseinässä voidaan käyttää myös teräslajia S355J2H. Teräslajin valinnalla on mahdollista vaikuttaa merkittävästi paaluseinän rakenteelliseen kestävyyteen. Valitsemalla lujempi teräslaji, esimerkiksi S550J2H, voidaan paalun halkaisijaa tai seinämäpaksuutta monessa tapauksessa pienentää. Eri paalukooilla käytettävissä olevat teräslajit on esitetty taulukossa 1. Teräslajien kemialliset ja mekaaniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.

### 6.2 Lukkoprofiilit

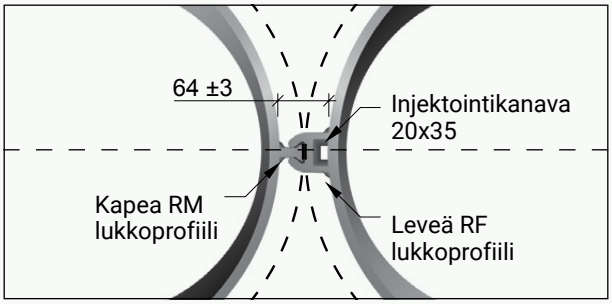
RD-paaluseinässä paaluputket kiinnitetään toisiinsa lukkoprofiileilla. Viereiset paalut lukittuvat toisiinsa aina lukkoprofiiliparilla, jossa toinen lukkoprofiileista on kapea ja toinen lukkoprofiili leveä. Kuvassa 11 on näytetty erityisesti RD-paaluseinää varten kehitetyt SSAB RM/RF lukkoprofiilit. RM/RF lukkoprofiilit mahdollistavat tiivistysmateriaalin käyttämisen naaraslukossa, jolloin voidaan huomattavasti parantaa paaluseinän vesitiiveyttä.

RM/RF lukkoprofiiliparin ja RF lukkoon integroidun injektointikanavan avulla RD-paaluseinän alapään vesitiiveys ja jäykkä kalliokontakti voidaan toteuttaa ilman erillisiä injektointiputkia. RM/RF-lukkoprofiiliparia voidaan käyttää paalukoosta RD220 alkaen paalukokoon RD1200 asti.

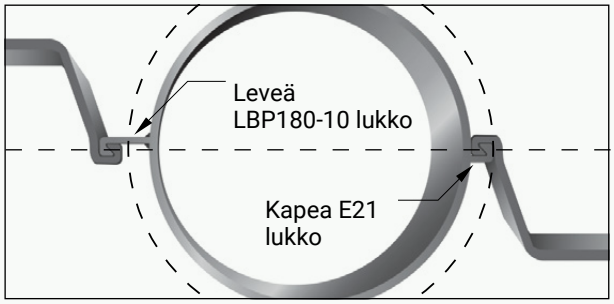
Kuvassa 12 näytettyjä LBP180-10 ja E21 lukkoja käytetään, kun RD-paaluseinä liittyy teräsponttiseinään. LBP180-10 ja E21 lukkoja käytettäessä on huomattava, ettei niitä käyttämällä voida asentaa RD-paaluseinää, joka läpäisee kovia maakerroksia tai kiveä. Taulukossa 3 esitettyjen RM/RF lukoille sovitettujen avarrinkruunujen koot eivät ole täysin sovitettuja LBP180-10 ja E21 lukkojen yhdistelmälle.

**Taulukko 2. RD-paaluseinän paalujen teräslajit**

| | Hiili-ekvivalentti | Kemiallinen koostumus, max. | | | | Mekaaniset ominaisuudet | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Iskusitkeys | |
| **Teräslaji** | **CEV max [%]** | **C [%]** | **Mn [%]** | **P [%]** | **S [%]** | **$f_y$ min [MPa]** | **$f_u$ [MPa]** | **$A_5$ min [%]** | ***T*** **[°]** | ***KV*** **min [J]** |
| **S355J2H** | 0.45 | 0.22 | 1.6 | 0.03 | 0.03 | 355 | 470-630 | 20 | -20 | 27 |
| **S440J2H** | 0.45 | 0.16 | 1.6 | 0.02 | 0.02 | 440 | 490-630 | 17 | -20 | 27 |
| **S460MH** | 0.46 | 0.16 | 1.7 | 0.035 | 0.03 | 460 | 530-720 | 17 | -20 | 40 |
| **S550J2H** | 0.47 | 0.12 | 1.9 | 0.02 | 0.02 | 550 | 605-760 | 14 | -20 | 27 |




Kuva 11. RM/RF-lukkoprofiilipari




Kuva 12. E21-lukot

### 6.3 Porakruunut

RD-paaluseinä asennetaan porakruunuilla, joiden halkaisija eroaa vakiokruunujen halkaisijoista. Porakruunun avarrinosa poraa maahan paalua suuremman tilan paalun lukkoprofiileja varten. Suositeltavat avarrinosan halkaisijat eri paaluille ja lukkotyypeille on esitetty taulukossa 3. Helpoissa maaperäolosuhteissa, joissa ei ole läpäistäviä kiviä tai kitkamaakerroksia, voidaan tapauskohtaisesti käyttää halkaisijaltaan myös pienempiä avartimia.

Varsinaisia avarrinkruunuja on kahta tyyppiä; integroitu avarrin (kiinteä, maakenkään lukittu tyyppi, kuva 13 a) ja irtoavarrin (irrallinen, maakenkään lukitsematon tyyppi, kuva 13 b). Kumpaakin tyyppiä voidaan käyttää RD-paaluseinän asennuksessa. Vaihtoehtoisesti asennuksessa voidaan myös käyttää niin sanottua siipiterää eli siipiavarrinta (kuva 13 c), jonka avarrinsiivet levittyvät porauksen alkaessa, ja vedetään suppuun porauksen päätyttyä, jolloin koko terä saadaan nostettua siipineen ylös paalusta.

Käytettäessä kiinteää tai irrallista rengasavarrinta, avarrinrengas ja maakenkä jäävät osaksi paalun kantavaa rakennetta. Siipiavarrinta käytettäessä maakenkä jää aina paaluun, mutta se ei välttämättä toimi osana paalun kantavaa rakennetta.

Avarrinrenkaan ja/tai maakengän jäädessä osaksi paalun kantavaa rakennetta, on niiden kestettävä niihin kohdistuvat rasitukset. Avarrinkruunu ei saa tukeutua kalliohyllylle mikäli paalua ei ole täytetty betonilla tai juotoslaastilla.

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.

Siipiavartimien käyttöä ei suositella mikäli kallion pinta on jyrkästi vino tai maaperä on kivistä tai lohkareista. Jos paaluja ei porata kallioon saakka, siipiavartimen siipien sulkeminen porauksen jälkeen voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta. Kyseisenlaisessa tilanteessa tila johon siivet kääntyvät voi olla täynnä maa-ainesta. Lisäksi maa-aines porakärjen alla ei välttämättä anna riittävän tukevaa vastetta siipien sisään kääntämiselle.

Maakengät ja avarrinkruunut eivät kuulu SSAB:n toimitukseen. Erikseen tilattaessa voidaan tilaajan toimittamat maakengät hitsata SSAB:n tehtaalla valmiiksi paaluputkiin.

Kuva 13. RD-paaluseinän asennuksessa käytettävää teräkalustoa (Kuva: Robit Oyj)

**Taulukko 3. Avarrinkruunujen suositellut ulkohalkaisijat eri lukkoprofiileille**

| Paalu | Paalun halkaisija [mm] | RM/RF avartimen halkaisija [mm] |
|---|---|---|
| **RD220** | 219,1 | 273 |
| **RD270** | 273,0 | 327 |
| **RD320** | 323,9 | 378 |
| **RD400** | 406,4 | 460 |
| **RD500** | 508,0 | 562 |
| **RD600** | 610,0 | 664 |
| **RD700** | 711,0 | 765 |
| **RD800** | 831,0 | 867 |
| **RD900** | 914,0 | 968 |
| **RD1000** | 1016,0 | 1070 |
| **RD1200** | 1220,0 | 1274 |

### 6.4 Lukkojen tiivisteet

Lukkoprofiileissa voidaan käyttää erilaisia tiivistemateriaaleja RD-paaluseinän vesitiiveyden parantamiseksi. Eri tiivistemateriaalien vesitiiveys riippuu paljon asennusolosuhteista, maaperäolosuhteista sekä käytettävistä tiivistemateriaaleista. Tiivistemateriaaleja on saatavilla useita erilaisia monilta eri toimittajilta. Jotkut tiivistemateriaalit voidaan asentaa lukkoihin tehtaalla ja jotkut työmaalla. Kuhunkin kohteeseen parhaiten soveltuva tiivistemateriaali on harkittava tapauskohtaisesti.

Tiivistemateriaalia valittaessa on huomioitava kohdekohtaiset ympäristövaatimukset. Esimerkiksi veden kanssa kosketuksissa olevilta tiivistemateriaaleilta voidaan edellyttää erityisiä sertifikaatteja.

RM/RF-lukkoprofiiliparin vesitiiveyksiä erilaisilla tiivistysmateriaaleilla on testattu laboratorio-olosuhteissa. Taulukossa 4 on esitetty suuntaa antavia testeissä havaittuja vesitiiviyden arvoja. Eri materiaalien soveltuvuus kunkin asennuskohteen olosuhteisiin on aina arvioitava erikseen.

**Taulukko 4. Suuntaa antavia testeissä havaittuja vedenpainetason arvoja joillekin tiivistemateriaaleille (PU = polyuretaani)**

| | Testissä saavutettu vedenpainetaso [m] | | |
|---|---|---|---|
| **Tiivistysmateriaali** | **Heti asennuksen jälkeen** | **1 vrk asennuksesta** | **1 kk asennuksesta** |
| **Pelkkä RM/RF lukkoprofiilipari** | 0 | 0 | 0 |
| **Bitumipohjainen materiaali** | 60* | 60* | 60* |
| **PU-pohjainen materiaali** | 0 | 15* | 15* |
| **Terva-rasva seos** | 0 | 0 | 0 |

*) Arvo on kyseisessä testissä käytetyllä testauslaitteistolla suurin mahdollinen saavutettava vedenpaine-ero

Vesitiiveystesteissä on mitattu myös tyhjän RM/RF-lukkoprofiiliparin läpi virtaavan veden määrää erilaisilla vedenpaineen arvoilla. Suuntaa antavia testin tuloksia on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5. Tyhjän RM/RF-lukkoprofiiliparin läpivirtaavan veden määrä eri vedenpainetasoilla**

| | Lukkoprofiiliparin läpi virtaavan veden määrä [l/h/m] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Veden paine [m] | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **Tyhjä RM/RF lukkoprofiilipari** | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |

### Materiaalien kitkavaikutus

Tiivistemateriaalien vaikutus lukkoprofiileiden väliseen kitkaan on määritetty kokeellisesti. Taulukossa 6 on annettu suuntaa antavat kitkakertoimen arvot sekä lepo- että liukukitkan osalta eräille tiivistemateriaaleille. PU-pohjaisella materiaalilla kitkakertoimet on määritetty sekä tuoreena lukkoa asennettaessa että tiivistysaineen kovetuttua kosteuden vaikutuksesta.

**Taulukko 6. Joidenkin tiivistemateriaalien vaikutus RM/RF lukkoprofiiliparin väliseen kitkaan**

| | Kokeellisesti määritetty kitkakerroin | |
|---|---|---|
| **Tiivistysmateriaali** | **Lepokitka** | **Liukukitka** |
| **Pelkkä RM/RF ukkoprofiilipari** | 0,62 | 0,50 |
| **Bitumipohjainen materiaali** | 0,27 | 0,23 |
| **PU-pohjainen materiaali tuoreena** | 0,31 | 0,27 |
| **PU-pohjainen materiaali kovettuneena** | 0,26 | 0,22 |
| **Terva-rasva seos** | 0,40 | 0,33 |

### 6.5 Muut materiaalit ja varusteet

RD-paaluseinän kapasiteettia voidaan kasvattaa ja palonkestävyyttä parantaa raudoittamalla ja betonoimalla paaluputket sisäpuolelta. RD-paaluseinän paaluputkien raudoittamisessa ja valamisessa käytetään samoja materiaaleja kuin SSAB:n paaluilla muutoinkin. Vaatimuksia materiaaleille on annettu SSAB:n paalujen suunnittelu- ja asennusohjeessa kohdassa 7.8.

RD-paaluseinien vaakatuenta on toteutettavissa teräksisillä palkistoilla ja maa-/kallioankkureilla samoin kuin teräsponttiseiniä käytettäessä. Palolle alttiit RD-paaluseinät esimerkiksi parkkikellareissa on mahdollista palosuojata erillisellä verhoilurakenteella.

# 7 RD-paaluseinien suunnittelu

### 7.1 Yleistä

RD-paaluseinät suunnitellaan Eurokoodi suunnittelujärjestelmän ja sen kansallisten liitteiden sekä mahdollisten kansallisten lisävaatimusten mukaisesti. Pääasiallisesti RD-paaluseinän suunnittelussa noudatetaan SFS-EN 1993-5 standardia. Lisäksi suunnittelussa on huomioitava toteutusstandardin SFS-EN 12063 luvun 7 suunnittelua koskevat asiat.

Suomessa Eurokoodi suunnittelujärjestelmää sovelletaan talonrakentamisen kohteissa Ympäristöministeriön asetusten mukaisesti ja infratöissä Väyläviraston ohjeistuksen mukaisesti. Tarvittaessa noudatetaan viranomaisten (esim. kuntien/kaupunkien) muita ohjeita.

Joissain kohteissa suunnittelu on mahdollista tehdä myös muilla viranomaisten hyväksymillä kansallisilla suunnitteluohjeilla.

RD-paaluseinä mitoitetaan tavanomaisen tukiseinärakenteen tapaan. SFS-EN 1993-5 määritelmien mukaisesti RD-paaluseinä on niin sanottu ”jäykkä teräsprofiiliseinä”. Kun RD-paaluseinään kohdistuu merkittäviä pystykuormia, sovelletaan suunnittelussa paaluperustusten suunnittelu- ja mitoituskäytäntöjä.

Suunnittelua varten tulee olla riittävät lähtötiedot:
- pohjaolosuhteet seinän kohdalla ja riittävällä etäisyydellä seinästä
- pohjavesiolosuhteet
- ympäristön vaikutukset ja ympäristön asettamat ehdot mm. lähirakenteiden perustamistavat
- tuettavan rakenteen ja sen osien koko ja luonne
- RD-paaluseinälle tulevat kuormitukset
- suunniteltu käyttöikä.

### 7.2 Paalukoon valinta

RD-paaluseinää suunniteltaessa on käytössä SSAB:n laaja paalukoko- ja teräslajivalikoima, joka mahdollistaa kustannustehokkaiden rakenteiden suunnittelun. Paalut voidaan asentaa kaikkien maakerrosten läpi tarvittaessa peruskallion sisään asti. Paalujen sijaintipoikkeamat ja käyryydet ovat vähäisiä.

RD-paaluseinää suunniteltaessa Eurokoodi -suunnittelujärjestelmän mukaisesti tukirakenteena noudatetaan SFS-EN 1997-1 luvun 9 suunnittelu- ja mitoitusperiaatteita. Kun RD-paaluseinä toimii rakennuksen perustuksena, on pystysuuntainen tasapaino tarkistettava SFS-EN 1997-1 luvun 7 periaatteiden mukaisesti. Ehjään kallioon asennettuna paaluseinän geotekninen kestävyys on poikkeuksetta suurempi kuin seinän rakenteen kestävyys.

RD-paaluseinän rakenne voidaan suunnitella teräsrakenteena tai teräsbetoniliittorakenteena. Jos paaluseinää rasittaa taivutusmomentin lisäksi normaalivoima, on paaluseinä mitoitettava yhdistetyille rasituksille. Pitkäaikaisissa ja pysyvissä rakenteissa on huomioitava teräspaalujen korroosio, mikäli paaluja ei ole korroosiosuojattu.

Taulukoissa 7, 8 ja 9 on esitetty RD-paaluseinän poikkileikkaussuureita ja taivutusmomenttikestävyyksiä ilman korroosiovaraa sekä 1,2 mm ja 2,0 mm korroosiovaroilla.

SSAB:n mitoitusohjelmat PileCalc ja PileWallCalc ovat vapaasti ja ilmaiseksi käytettävissä yksittäisten paalujen sekä paaluseinien poikkileikkausominaisuuksien ja taivutusmomenttikestävyyksien laskemiseksi. Kummassakin ohjelmassa käsiteltävä paalurakenne voi olla joko tyhjä tai betonoitu teräspaalu, betonoitu ja raudoitettu liittorakennepaalu tai sisäputkellinen betonoitu liittorakennepaalu. Ohjelmat ovat käytettävissä osoitteessa www.ssab.fi/infra.

RD-paaluseinän suunnitteluun on osoitteesta www.ssab.fi/infra ladattavissa myös Tekla komponentit, joiden avulla seinän suunnittelu toleransseineen ja tilauslistoineen on vaivatonta.

Seinälinjaan nähden poikkisuuntaisten toleranssien suuruuteen vaikuttaa eniten asennuksen aikaiset sijaintimuutokset. Näitä sijaintimuutoksia voidaan pienentää käyttämällä paalukoko huomioiden riittävän vahvarakenteista ohjainkehikkoa, jonka läpi paalut asennetaan.

Suunnittelussa on huomioitava seinän toleranssit sekä asennuksen toleranssit. Seinälinjoja suunniteltaessa ja toteutettaessa on toleranssit huomioitava etenkin, jos seinään liittyy esimerkiksi runkopilareita.

Vapaassa tilassa asennettaessa pienin suositeltava paalukoko on RD270. Tätä pienemmällä paalukoolla lukkoprofiileiden vaatima reiän ylikoko kasvaa suhteessa pelkän paalun edellyttämään reikäkokoon. Siitä porakärjille ja -vasaroille aiheutuva lisärasitus on otettava asennustyössä huomioon.

Matalissa tiloissa, esimerkiksi rakennuksen kellarissa sekä siltojen ja kiinteiden katosten alla, rajoittaa käytettävä porauskalusto paalukokoa ja paaluelementtien mittaa. Käytännössä pienillä porauskalustoilla suurin käytettävä paalukoko on RD220 ja elementtien pituus noin 2 metriä. Ahtaissa tiloissa paaluelementtien sekä porakankien käsittely joudutaan yleensä tekemään käsin. Tällöin nosteltavien kappaleiden paino rajoittaa usein mahdollista paalukokoa ja elementtipituutta.

RD600 ja sitä suuremmilla paaluilla suositellaan käytettäväksi minimissään 12,5 mm seinämävahvuutta. Helpoissa porausolosuhteissa, esimerkiksi lyhyt poraus savi- tai hiekkamaassa, voidaan harkita myös ohuempien seinämävahvuuksien käyttämistä.

#### Paalujen jäykkyys kalliokontaktissa

Porapaalujen jäykkyys kalliokontaktissa riippuu paalun porayssyvyydestä, kallion lujuudesta ja kalliopinnan rapautuneisuudesta. Momenttijäykkä liitos vaatii paaluputkien ja kallion välisen rakotilan injektoimista.

## Taulukko 7. RD-paaluseinien poikkileikkaussuureita ja taivutusmomenttikestävyyksiä ilman korroosiovaraa, RM/RF lukot

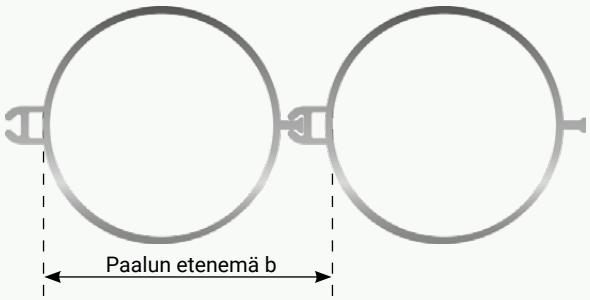
| Paalu | | | | RD-paaluseinän poikkileikkaussuureet ja taivutuskomenttikapasiteetit, korroosiovara 0,0 mm | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RD-paalu-seinä | *d* [mm] | *t* [mm] | *G** [kg/m] | *G* [kg/m²] | *b* [mm] | $W_{el}$ [cm³/m] | $W_{pl}$ [cm³/m] | *EI* [kNm²/m] | S355J2H $M_{Rd}$ [kNm/m] | S440J2H $M_{Rd}$ [kNm/m] | S460MH $M_{Rd}$ [kNm/m] | S550J2H $M_{Rd}$ [kNm/m] |
| **RD220** | 219,1 | 10,0 | 65,7 | 232,0 | 283 | 1 160 | 1 546 | 26 693 | - | - | 711 [534]** | 850 [638]** |
| | | 12,5 | 77,8 | 274,8 | 283 | 1 401 | 1 887 | 32 228 | - | - | 868 [644]** | 1038 [770]** |
| **RD270** | 273,0 | 10,0 | 79,0 | 234,3 | 337 | 1 555 | 2 053 | 44 580 | 729 [552]** | - | 945 [715]** | 1129 [855]** |
| | | 12,5 | 94,4 | 280,1 | 337 | 1 891 | 2 519 | 54 198 | 894 [671]** | - | 1159 [870]** | 1385 [1040]** |
| **RD320** | 323,9 | 10,0 | 91,5 | 235,9 | 388 | 1 935 | 2 541 | 65 822 | 902 [687]** | - | 1169 [890]** | 1 064 |
| | | 12,5 | 110,1 | 283,8 | 388 | 2 363 | 3 127 | 80 376 | 1110 [839]** | - | 1438 [1087]** | 1720 [1300]** |
| **RD400** | 406,4 | 10,0 | 111,9 | 237,8 | 470 | 2 561 | 3 341 | 109 267 | 1186 [909]** | 1 127 | 1 178 | 1274 [1408]*** |
| | | 12,5 | 135,5 | 288,1 | 470 | 3 142 | 4 124 | 134 065 | 1464 [1115]** | 1815 [1382]** | 1897 [1445]** | 1 728 |
| **RD500** | 508,0 | 10,0 | 136,9 | 239,4 | 572 | 3 340 | 4 336 | 178 134 | 1 186 | 1329 [1469]*** | 1388 [1536]*** | 1653 [1837]*** |
| | | 12,5 | 166,8 | 291,7 | 572 | 4 113 | 5 367 | 219 382 | 1905 [1460]** | 1 810 | 1 892 | 2049 [2262]*** |
| | | 14,2 | 187,0 | 327,0 | 572 | 4 625 | 6 055 | 246 708 | 2150 [1642]** | 2664 [2035]** | 2 128 | 2 544 |
| | | 16,0 | 208,2 | 364,0 | 572 | 5 156 | 6 773 | 275 016 | 2405 [1830]** | 2980 [2269]** | 3116 [2372]** | 2 836 |
| **RD600** | 610,0 | 10,0 | 162,1 | 240,5 | 674 | 4 127 | 5 342 | 264 359 | 1326 [1465]*** | 1637 [1816]*** | 1710 [1899]*** | 2032 [2270]*** |
| | | 12,5 | 198,3 | 294,2 | 674 | 5 096 | 6 622 | 326 387 | 1 809 | 2033 [2242]*** | 2124 [2344]*** | 2533 [2803]*** |
| | | 14,2 | 222,7 | 330,5 | 674 | 5 740 | 7 480 | 367 668 | 2655 [2038]** | 2 526 | 2 641 | 2861 [3157]*** |
| | | 16,0 | 248,5 | 368,7 | 674 | 6 411 | 8 378 | 410 595 | 2974 [2276]** | 2 821 | 2 949 | 3 526 |
| | | 18,0 | 276,9 | 410,8 | 674 | 7 141 | 9 362 | 457 360 | 3324 [2535]** | 4119 [3142]** | 4307 [3285]** | 3 927 |
| **RD700** | 711,0 | 10,0 | 187,0 | 241,3 | 775 | 4 911 | 6 341 | 366 623 | 1576 [1743]*** | 1943 [2161]*** | 2028 [2259]*** | 2407 [2701]*** |
| | | 12,5 | 229,4 | 296,0 | 775 | 6 074 | 7 870 | 453 446 | 2 156 | 2420 [2673]*** | 2528 [2794]*** | 3013 [3341]*** |
| | | 14,2 | 258,1 | 333,1 | 775 | 6 850 | 8 897 | 511 412 | 2 432 | 2734 [3014]*** | 2858 [3151]*** | 3410 [3768]*** |
| | | 16,0 | 288,3 | 372,0 | 775 | 7 660 | 9 974 | 571 850 | 3541 [2719]** | 3 370 | 3 524 | 3821 [4213]*** |
| | | 18,0 | 321,7 | 415,1 | 775 | 8 544 | 11 157 | 637 885 | 3961 [3033]** | 3 760 | 3 930 | 4267 [4699]*** |
| | | 20,0 | 354,9 | 458,0 | 775 | 9 413 | 12 326 | 702 757 | 4376 [3342]** | 5423 [4142]** | 5670 [4330]** | 5 177 |
| **RD800** | 813,0 | 10,0 | 212,1 | 241,9 | 877 | 5 704 | 7 353 | 486 960 | 1828 [2025]*** | 2251 [2510]*** | 2350 [2624]*** | 2784 [3137]*** |
| | | 12,5 | 260,9 | 297,5 | 877 | 7 065 | 9 134 | 603 086 | 2274 [2508]*** | 2811 [3109]*** | 2937 [3250]*** | 3497 [3886]*** |
| | | 14,2 | 293,8 | 335,0 | 877 | 7 975 | 10 333 | 680 800 | 2 831 | 3181 [3509]*** | 3324 [3669]*** | 3965 [4386]*** |
| | | 16,0 | 328,6 | 374,7 | 877 | 8 926 | 11 590 | 761 990 | 3 169 | 3565 [3928]*** | 3726 [4106]*** | 4449 [4909]*** |
| | | 18,0 | 367,0 | 418,5 | 877 | 9 968 | 12 974 | 850 895 | 4606 [3539]** | 4 386 | 4 585 | 4975 [5482]*** |
| | | 20,0 | 405,2 | 462,1 | 877 | 10 993 | 14 344 | 938 437 | 5092 [3903]** | 4 837 | 5 057 | 5491 [6046]*** |
| | | 23,0 | 462,2 | 527,0 | 877 | 12 502 | 16 372 | 1 067 227 | 5812 [4438]** | 7204 [5501]** | 7531 [5751]** | 6 876 |
| **RD900** | 914,0 | 10,0 | 237,0 | 242,4 | 978 | 6 492 | 8 356 | 623 015 | 2077 [2305]*** | 2557 [2856]*** | 2668 [2986]*** | 3156 [3570]*** |
| | | 12,5 | 292,0 | 298,6 | 978 | 8 048 | 10 388 | 772 380 | 2589 [2857]*** | 3199 [3541]*** | 3342 [3702]*** | 3976 [4426]*** |
| | | 14,2 | 329,2 | 336,6 | 978 | 9 092 | 11 756 | 872 519 | 2929 [3228]*** | 3624 [4000]*** | 3787 [4182]*** | 4514 [5000]*** |
| | | 16,0 | 368,4 | 376,7 | 978 | 10 183 | 13 194 | 977 298 | 3 615 | 4066 [4481]*** | 4249 [4684]*** | 5071 [5601]*** |
| | | 18,0 | 411,8 | 421,1 | 978 | 11 381 | 14 778 | 1 092 225 | 4 040 | 4548 [5008]*** | 4754 [5235]*** | 5677 [6259]*** |
| | | 20,0 | 455,0 | 465,3 | 978 | 12 562 | 16 347 | 1 205 592 | 5803 [4460]** | 5 527 | 5 779 | 6273 [6909]*** |
| | | 23,0 | 519,5 | 531,2 | 978 | 14 304 | 18 674 | 1 372 747 | 6629 [5078]** | 6 294 | 6 580 | 7148 [7867]*** |
| **RD1000** | 1016,0 | 12,5 | 323,4 | 299,5 | 1080 | 9 043 | 11 656 | 964 684 | 2907 [3210]*** | 3590 [3979]*** | 3749 [4160]*** | 4457 [4974]*** |
| | | 14,2 | 364,9 | 337,9 | 1080 | 10 221 | 13 196 | 1 090 371 | 3292 [3628]*** | 4071 [4497]*** | 4253 [4702]*** | 5067 [5622]*** |
| | | 16,0 | 408,7 | 378,4 | 1080 | 11 455 | 14 816 | 1 222 043 | 3693 [4067]*** | 4571 [5040]*** | 4777 [5269]*** | 5699 [6300]*** |
| | | 18,0 | 457,1 | 423,3 | 1080 | 12 811 | 16 602 | 1 366 661 | 4 548 | 5118 [5637]*** | 5349 [5893]*** | 6387 [7046]*** |
| | | 20,0 | 505,4 | 467,9 | 1080 | 14 150 | 18 373 | 1 509 519 | 5 023 | 5656 [6226]*** | 5912 [6509]*** | 7063 [7782]*** |
| | | 23,0 | 577,3 | 534,6 | 1080 | 16 128 | 21 003 | 1 720 537 | 7456 [5725]** | 7 096 | 7 419 | 8057 [8870]*** |
| **RD1200** | 1220,0 | 14,2 | 436,4 | 339,8 | 1284 | 12 484 | 16 080 | 1 599 148 | 4014 [4432]*** | 4957 [5493]*** | 5177 [5742]*** | 6153 [6866]*** |
| | | 16,0 | 489,2 | 381,0 | 1284 | 14 004 | 18 065 | 1 793 867 | 4510 [4971]*** | 5577 [6162]*** | 5827 [6442]*** | 6940 [7702]*** |
| | | 18,0 | 547,7 | 426,5 | 1284 | 15 676 | 20 256 | 2 008 156 | 5054 [5565]*** | 6255 [6898]*** | 6537 [7211]*** | 7797 [8622]*** |
| | | 20,0 | 606,0 | 471,9 | 1284 | 17 332 | 22 432 | 2 220 284 | 5590 [6153]*** | 6923 [7626]*** | 7236 [7973]*** | 8638 [9533]*** |
| | | 23,0 | 693,1 | 539,8 | 1284 | 19 785 | 25 669 | 2 534 456 | 7 024 | 7908 [8705]*** | 8267 [9101]*** | 9876 [10882]*** |

*) G [kg/m] sarakkeessa ilmoitettu paalun metripaino pitää sisällään RM/RF -lukkoprofiiliparin painon

**) Poikkileikkausluokka 1 tai 2, arvo laskettu plastisena kestävyytenä [sulkeissa annettu arvo myös elastisena kestävyytenä]

***) Poikkileikkausluokka 4, arvossa huomioitu paikallinen lommahdus [sulkeissa annettu arvo myös elastisena kestävyytenä]

Poikkileikkausluokkaan 3 kuuluville rakenteille taivutuskestävyyden mitoitusarvo on laskettu elastisena.



## Taulukko 8. RD-paaluseinien poikkileikkaussuureita ja taivutusmomenttikestävyyksiä 1,2 mm korroosiovaralla, RM/RF lukot

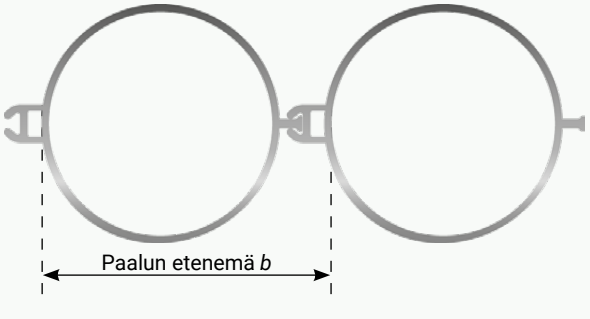
| | Paalu | | | RD-paaluseinän poikkileikkaussuureet ja taivutuskomenttikapasiteetit, korroosiovara 1,2 mm | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **RD-paalu-seinä** | ***d*** **[mm]** | ***t*** **[mm]** | ***G**** **[kg/m]** | ***G*** **[kg/m²]** | ***b*** **[mm]** | $W_{el}$ **[cm³/m]** | $W_{pl}$ **[cm³/m]** | ***EI*** **[kNm²/m]** | **S355J2H** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** | **S440J2H** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** | **S460MH** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** | **S550J2H** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** |
| **RD220** | 219,1 | 10,0 | 65,7 | 232,0 | 283 | 1 014 | 1 344 | 23 076 | - | - | 618 [467]** | 739 [558]** |
| | | 12,5 | 77,8 | 274,8 | 283 | 1 257 | 1 686 | 28 611 | - | - | 775 [578]** | 927 [692]** |
| **RD270** | 273,0 | 10,0 | 79,0 | 234,3 | 337 | 1 361 | 1 790 | 38 684 | 636 [483]** | - | 824 [626]** | 749 |
| | | 12,5 | 94,4 | 280,1 | 337 | 1 700 | 2 256 | 48 301 | 801 [603]** | - | 1038 [782]** | 1241 [935]** |
| **RD320** | 323,9 | 10,0 | 91,5 | 235,9 | 388 | 1 696 | 2 219 | 57 249 | 788 [602]** | - | 780 | 933 |
| | | 12,5 | 110,1 | 283,8 | 388 | 2 127 | 2 804 | 71 802 | 996 [755]** | - | 1290 [978]** | 1542 [1170]** |
| **RD400** | 406,4 | 10,0 | 111,9 | 237,8 | 470 | 2 246 | 2 922 | 95 271 | 1037 [797]** | 988 | 1 033 | 1114 [1235]*** |
| | | 12,5 | 135,5 | 288,1 | 470 | 2 830 | 3 706 | 120 069 | 1315 [1005]** | 1630 [1245]** | 1705 [1302]** | 1 557 |
| **RD500** | 508,0 | 10,0 | 136,9 | 239,4 | 572 | 2 931 | 3 797 | 155 613 | 1 041 | 1162 [1290]*** | 1214 [1348]*** | 1443 [1612]*** |
| | | 12,5 | 166,8 | 291,7 | 572 | 3 708 | 4 828 | 196 861 | 1714 [1316]** | 1 632 | 1 706 | 1844 [2040]*** |
| | | 14,2 | 187,0 | 327,0 | 572 | 4 223 | 5 516 | 224 188 | 1958 [1499]** | 1 858 | 1 943 | 2106 [2323]*** |
| | | 16,0 | 208,2 | 364,0 | 572 | 4 756 | 6 235 | 252 495 | 2213 [1688]** | 2743 [2093]** | 2868 [2188]** | 2 616 |
| **RD600** | 610,0 | 10,0 | 162,1 | 240,5 | 674 | 3 624 | 4 682 | 231 228 | 1161 [1287]*** | 1431 [1595]*** | 1494 [1667]*** | 1771 [1993]*** |
| | | 12,5 | 198,3 | 294,2 | 674 | 4 597 | 5 962 | 293 257 | 1 632 | 1831 [2023]*** | 1913 [2114]*** | 2279 [2528]*** |
| | | 14,2 | 222,7 | 330,5 | 674 | 5 244 | 6 820 | 334 538 | 1 862 | 2 307 | 2188 [2412]*** | 2610 [2884]*** |
| | | 16,0 | 248,5 | 368,7 | 674 | 5 917 | 7 718 | 377 465 | 2740 [2100]** | 2 603 | 2 722 | 2952 [3254]*** |
| | | 18,0 | 276,9 | 410,8 | 674 | 6 650 | 8 703 | 424 230 | 3089 [2361]** | 3829 [2926]** | 3 059 | 3 657 |
| **RD700** | 711,0 | 10,0 | 187,0 | 241,3 | 775 | 4 314 | 5 561 | 320 960 | 1379 [1531]*** | 1697 [1898]*** | 1770 [1984]*** | 2094 [2373]*** |
| | | 12,5 | 229,4 | 296,0 | 775 | 5 481 | 7 090 | 407 783 | 1763 [1946]*** | 2179 [2412]*** | 2276 [2521]*** | 2709 [3014]*** |
| | | 14,2 | 258,1 | 333,1 | 775 | 6 260 | 8 117 | 465 748 | 2 222 | 2496 [2754]*** | 2609 [2880]*** | 3111 [3443]*** |
| | | 16,0 | 288,3 | 372,0 | 775 | 7 072 | 9 194 | 526 186 | 2 511 | 3 112 | 2952 [3253]*** | 3524 [3890]*** |
| | | 18,0 | 321,7 | 415,1 | 775 | 7 960 | 10 377 | 592 222 | 3684 [2826]** | 3 502 | 3 661 | 3973 [4378]*** |
| | | 20,0 | 354,9 | 458,0 | 775 | 8 832 | 11 545 | 657 094 | 4099 [3135]** | 3 886 | 4 063 | 4 857 |
| **RD800** | 813,0 | 10,0 | 212,1 | 241,9 | 877 | 5 012 | 6 451 | 426 592 | 1599 [1779]*** | 1965 [2205]*** | 2049 [2306]*** | 2419 [2757]*** |
| | | 12,5 | 260,9 | 297,5 | 877 | 6 376 | 8 232 | 542 718 | 2050 [2264]*** | 2531 [2806]*** | 2644 [2933]*** | 3143 [3507]*** |
| | | 14,2 | 293,8 | 335,0 | 877 | 7 290 | 9 431 | 620 431 | 2348 [2588]*** | 2904 [3207]*** | 3034 [3353]*** | 3616 [4009]*** |
| | | 16,0 | 328,6 | 374,7 | 877 | 8 243 | 10 689 | 701 622 | 2 926 | 3291 [3627]*** | 3439 [3792]*** | 4103 [4534]*** |
| | | 18,0 | 367,0 | 418,5 | 877 | 9 288 | 12 072 | 790 527 | 3 297 | 3711 [4087]*** | 3879 [4272]*** | 4633 [5108]*** |
| | | 20,0 | 405,2 | 462,1 | 877 | 10 317 | 13 442 | 878 069 | 4772 [3662]** | 4 539 | 4 746 | 5151 [5674]*** |
| | | 23,0 | 462,2 | 527,0 | 877 | 11 830 | 15 470 | 1 006 858 | 5492 [4200]** | 6807 [5205]** | 5 442 | 6 506 |
| **RD900** | 914,0 | 10,0 | 237,0 | 242,4 | 978 | 5 705 | 7 334 | 546 058 | 1817 [2025]*** | 2229 [2510]*** | 2324 [2624]*** | 2738 [3138]*** |
| | | 12,5 | 292,0 | 298,6 | 978 | 7 265 | 9 366 | 695 423 | 2334 [2579]*** | 2880 [3197]*** | 3007 [3342]*** | 3572 [3996]*** |
| | | 14,2 | 329,2 | 336,6 | 978 | 8 312 | 10 734 | 795 562 | 2676 [2951]*** | 3309 [3657]*** | 3456 [3823]*** | 4116 [4571]*** |
| | | 16,0 | 368,4 | 376,7 | 978 | 9 406 | 12 172 | 900 341 | 3032 [3339]*** | 3753 [4139]*** | 3921 [4327]*** | 4677 [5173]*** |
| | | 18,0 | 411,8 | 421,1 | 978 | 10 607 | 13 755 | 1 015 268 | 3 765 | 4237 [4667]*** | 4428 [4879]*** | 5287 [5834]*** |
| | | 20,0 | 455,0 | 465,3 | 978 | 11 791 | 15 325 | 1 128 634 | 4 186 | 4713 [5188]*** | 4927 [5424]*** | 5885 [6485]*** |
| | | 23,0 | 519,5 | 531,2 | 978 | 13 538 | 17 652 | 1 295 790 | 6266 [4806]** | 5 957 | 6 227 | 6763 [7446]*** |
| **RD1000** | 1016,0 | 10,0 | 262,2 | 242,8 | 1080 | 6 406 | 8 227 | 681 727 | 2036 [2274]*** | 2494 [2818]*** | 2599 [2947]*** | 3055 [3523]*** |
| | | 12,5 | 323,4 | 299,5 | 1080 | 8 164 | 10 512 | 868 925 | 2620 [2898]*** | 3231 [3592]*** | 3373 [3756]*** | 4002 [4490]*** |
| | | 14,2 | 364,9 | 337,9 | 1080 | 9 345 | 12 052 | 994 612 | 3007 [3318]*** | 3716 [4112]*** | 3882 [4299]*** | 4619 [5140]*** |
| | | 16,0 | 408,7 | 378,4 | 1080 | 10 583 | 13 672 | 1 126 284 | 3410 [3757]*** | 4219 [4656]*** | 4409 [4868]*** | 5256 [5820]*** |
| | | 18,0 | 457,1 | 423,3 | 1080 | 11 941 | 15 458 | 1 270 902 | 3851 [4239]*** | 4768 [5254]*** | 4983 [5493]*** | 5948 [6568]*** |
| | | 20,0 | 505,4 | 467,9 | 1080 | 13 284 | 17 229 | 1 413 760 | 4 716 | 5308 [5845]*** | 5549 [6111]*** | 6627 [7306]*** |
| | | 23,0 | 577,3 | 534,6 | 1080 | 15 266 | 19 859 | 1 624 778 | 5 420 | 6 717 | 6381 [7023]*** | 7625 [8397]*** |
| **RD1200** | 1220,0 | 10,0 | 312,5 | 243,4 | 1284 | 7 809 | 10 015 | 998 351 | 2461 [2772]*** | 2997 [3436]*** | 3117 [3592]*** | 3633 [4295]*** |
| | | 12,5 | 386,3 | 300,9 | 1284 | 9 966 | 12 807 | 1 274 080 | 3186 [3538]*** | 3918 [4385]*** | 4087 [4584]*** | 4827 [5481]*** |
| | | 14,2 | 436,4 | 339,8 | 1284 | 11 417 | 14 692 | 1 459 609 | 3666 [4053]*** | 4521 [5023]*** | 4720 [5252]*** | 5600 [6279]*** |
| | | 16,0 | 489,2 | 381,0 | 1284 | 12 940 | 16 677 | 1 654 329 | 4164 [4594]*** | 5146 [5694]*** | 5375 [5952]*** | 6396 [7117]*** |
| | | 18,0 | 547,7 | 426,5 | 1284 | 14 616 | 18 867 | 1 868 618 | 4710 [5189]*** | 5827 [6431]*** | 6089 [6723]*** | 7258 [8039]*** |
| | | 20,0 | 606,0 | 471,9 | 1284 | 16 275 | 21 044 | 2 080 746 | 5248 [5778]*** | 6498 [7161]*** | 6791 [7487]*** | 8104 [8951]*** |
| | | 23,0 | 693,1 | 539,8 | 1284 | 18 733 | 24 280 | 2 394 918 | 6 650 | 7486 [8242]*** | 7825 [8617]*** | 9346 [10303]*** |

*) G [kg/m] sarakkeessa ilmoitettu paalun metripaino pitää sisällään RM/RF -lukkoprofiiliparin painon

**) Poikkileikkausluokka 1 tai 2, arvo laskettu plastisena kestävyytenä [sulkeissa annettu arvo myös elastisena kestävyytenä]

***) Poikkileikkausluokka 4, arvossa huomioitu paikallinen lommahdus [sulkeissa annettu arvo myös elastisena kestävyytenä]

Poikkileikkausluokkaan 3 kuuluville rakenteille taivutuskestävyyden mitoitusarvo on laskettu elastisena.



## Taulukko 9. RD-paaluseinien poikkileikkaussuureita ja taivutusmomenttikestävyyksiä 2,0 mm korroosiovaralla, RM/RF lukot

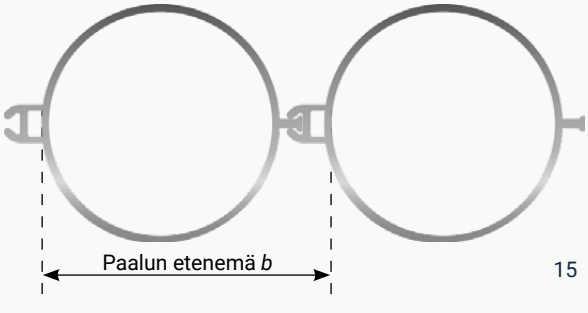
| | Paalu | | | RD-paaluseinän poikkileikkaussuureet ja taivutuskomenttikapasiteetit, korroosiovara 2,0 mm | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **RD-paalu-seinä** | ***d*** **[mm]** | ***t*** **[mm]** | ***G**** **[kg/m]** | ***G*** **[kg/m²]** | ***b*** **[mm]** | $W_{el}$ **[cm³/m]** | $W_{pl}$ **[cm³/m]** | ***EI*** **[kNm²/m]** | **S355J2H** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** | **S440J2H** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** | **S460MH** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** | **S550J2H** $M_{Rd}$ **[kNm/m]** |
| **RD220** | 219,1 | 10,0 | 65,7 | 232,0 | 283 | 918 | 1 213 | 20 731 | - | - | 558 [422]** | 667 [505]** |
| | | 12,5 | 77,8 | 274,8 | 283 | 1 163 | 1 554 | 26 266 | - | - | 715 [535]** | 855 [640]** |
| **RD270** | 273,0 | 10,0 | 79,0 | 234,3 | 337 | 1 233 | 1 618 | 34 839 | 574 [438]** | - | 744 [567]** | 678 |
| | | 12,5 | 94,4 | 280,1 | 337 | 1 574 | 2 083 | 44 457 | 740 [559]** | - | 958 [724]** | 1146 [866]** |
| **RD320** | 323,9 | 10,0 | 91,5 | 235,9 | 388 | 1 537 | 2 007 | 51 639 | 712 [546]** | - | 707 | 765 [846]*** |
| | | 12,5 | 110,1 | 283,8 | 388 | 1 971 | 2 592 | 66 193 | 920 [700]** | - | 1192 [906]** | 1 084 |
| **RD400** | 406,4 | 10,0 | 111,9 | 237,8 | 470 | 2 037 | 2 646 | 86 078 | 723 | 810 [896]*** | 846 [937]*** | 1008 [1120]*** |
| | | 12,5 | 135,5 | 288,1 | 470 | 2 624 | 3 429 | 110 876 | 1217 [932]** | 1 155 | 1 207 | 1 443 |
| **RD500** | 508,0 | 10,0 | 136,9 | 239,4 | 572 | 2 660 | 3 441 | 140 777 | 853 [944]*** | 1051 [1170]*** | 1097 [1224]*** | 1302 [1463]*** |
| | | 12,5 | 166,8 | 291,7 | 572 | 3 440 | 4 471 | 182 025 | 1 221 | 1 513 | 1433 [1582]*** | 1708 [1892]*** |
| | | 14,2 | 187,0 | 327,0 | 572 | 3 956 | 5 160 | 209 351 | 1832 [1404]** | 1 741 | 1 820 | 1971 [2176]*** |
| | | 16,0 | 208,2 | 364,0 | 572 | 4 491 | 5 878 | 237 659 | 2087 [1594]** | 2586 [1976]** | 2 066 | 2 470 |
| **RD600** | 610,0 | 10,0 | 162,1 | 240,5 | 674 | 3 290 | 4 245 | 209 358 | 1051 [1168]*** | 1293 [1448]*** | 1349 [1514]*** | 1596 [1810]*** |
| | | 12,5 | 198,3 | 294,2 | 674 | 4 265 | 5 525 | 271 387 | 1 514 | 1696 [1877]*** | 1772 [1962]*** | 2109 [2346]*** |
| | | 14,2 | 222,7 | 330,5 | 674 | 4 914 | 6 383 | 312 668 | 1 744 | 1960 [2162]*** | 2048 [2260]*** | 2443 [2703]*** |
| | | 16,0 | 248,5 | 368,7 | 674 | 5 588 | 7 281 | 355 595 | 2585 [1984]** | 2 459 | 2 571 | 2786 [3074]*** |
| | | 18,0 | 276,9 | 410,8 | 674 | 6 323 | 8 266 | 402 360 | 2934 [2245]** | 2 782 | 2 909 | 3 478 |
| **RD700** | 711,0 | 10,0 | 187,0 | 241,3 | 775 | 3 917 | 5 044 | 290 774 | 1248 [1391]*** | 1532 [1723]*** | 1597 [1802]*** | 1884 [2154]*** |
| | | 12,5 | 229,4 | 296,0 | 775 | 5 087 | 6 573 | 377 597 | 1635 [1806]*** | 2019 [2238]*** | 2108 [2340]*** | 2506 [2798]*** |
| | | 14,2 | 258,1 | 333,1 | 775 | 5 867 | 7 600 | 435 563 | 2 083 | 2338 [2582]*** | 2443 [2699]*** | 2911 [3227]*** |
| | | 16,0 | 288,3 | 372,0 | 775 | 6 681 | 8 677 | 496 001 | 2 372 | 2667 [2940]*** | 2788 [3073]*** | 3327 [3675]*** |
| | | 18,0 | 321,7 | 415,1 | 775 | 7 571 | 9 859 | 562 036 | 3500 [2688]** | 3 331 | 3 483 | 3777 [4164]*** |
| | | 20,0 | 354,9 | 458,0 | 775 | 8 445 | 11 028 | 626 908 | 3915 [2998]** | 3 716 | 3 885 | 4218 [4645]*** |
| **RD800** | 813,0 | 10,0 | 212,1 | 241,9 | 877 | 4 552 | 5 853 | 386 643 | 1446 [1616]*** | 1772 [2003]*** | 1847 [2094]*** | 2173 [2503]*** |
| | | 12,5 | 260,9 | 297,5 | 877 | 5 919 | 7 634 | 502 769 | 1900 [2101]*** | 2344 [2604]*** | 2448 [2723]*** | 2906 [3255]*** |
| | | 14,2 | 293,8 | 335,0 | 877 | 6 834 | 8 833 | 580 483 | 2200 [2426]*** | 2720 [3007]*** | 2841 [3143]*** | 3383 [3758]*** |
| | | 16,0 | 328,6 | 374,7 | 877 | 7 789 | 10 090 | 661 673 | 2 765 | 3108 [3427]*** | 3247 [3583]*** | 3873 [4284]*** |
| | | 18,0 | 367,0 | 418,5 | 877 | 8 836 | 11 474 | 750 578 | 3 137 | 3530 [3888]*** | 3689 [4065]*** | 4405 [4860]*** |
| | | 20,0 | 405,2 | 462,1 | 877 | 9 867 | 12 844 | 838 120 | 4560 [3503]** | 4 341 | 4 539 | 4925 [5427]*** |
| | | 23,0 | 462,2 | 527,0 | 877 | 11 383 | 14 872 | 966 910 | 5280 [4041]** | 5 008 | 5 236 | 5687 [6261]*** |
| **RD900** | 914,0 | 10,0 | 237,0 | 242,4 | 978 | 5 181 | 6 655 | 495 090 | 1642 [1839]*** | 2009 [2280]*** | 2093 [2383]*** | 2457 [2850]*** |
| | | 12,5 | 292,0 | 298,6 | 978 | 6 745 | 8 687 | 644 455 | 2163 [2394]*** | 2667 [2968]*** | 2784 [3103]*** | 3301 [3710]*** |
| | | 14,2 | 329,2 | 336,6 | 978 | 7 793 | 10 056 | 744 593 | 2507 [2766]*** | 3098 [3429]*** | 3236 [3585]*** | 3850 [4286]*** |
| | | 16,0 | 368,4 | 376,7 | 978 | 8 889 | 11 493 | 849 373 | 2864 [3156]*** | 3544 [3911]*** | 3703 [4089]*** | 4415 [4889]*** |
| | | 18,0 | 411,8 | 421,1 | 978 | 10 092 | 13 077 | 964 300 | 3 583 | 4030 [4441]*** | 4212 [4642]*** | 5027 [5551]*** |
| | | 20,0 | 455,0 | 465,3 | 978 | 11 279 | 14 646 | 1 077 666 | 4 004 | 4507 [4963]*** | 4711 [5188]*** | 5627 [6203]*** |
| | | 23,0 | 519,5 | 531,2 | 978 | 13 028 | 16 973 | 1 244 822 | 6025 [4625]** | 5 732 | 5 993 | 6508 [7165]*** |
| **RD1000** | 1016,0 | 10,0 | 262,2 | 242,8 | 1080 | 5 818 | 7 467 | 618 264 | 1840 [2066]*** | 2246 [2560]*** | 2338 [2676]*** | 2736 [3200]*** |
| | | 12,5 | 323,4 | 299,5 | 1080 | 7 580 | 9 752 | 805 462 | 2429 [2691]*** | 2991 [3335]*** | 3121 [3487]*** | 3696 [4169]*** |
| | | 14,2 | 364,9 | 337,9 | 1080 | 8 763 | 11 292 | 931 149 | 2817 [3111]*** | 3479 [3856]*** | 3634 [4031]*** | 4319 [4820]*** |
| | | 16,0 | 408,7 | 378,4 | 1080 | 10 002 | 12 912 | 1 062 822 | 3222 [3551]*** | 3985 [4401]*** | 4163 [4601]*** | 4960 [5501]*** |
| | | 18,0 | 457,1 | 423,3 | 1080 | 11 363 | 14 698 | 1 207 440 | 3664 [4034]*** | 4535 [5000]*** | 4740 [5227]*** | 5655 [6250]*** |
| | | 20,0 | 505,4 | 467,9 | 1080 | 12 707 | 16 469 | 1 350 298 | 4 511 | 5077 [5591]*** | 5307 [5845]*** | 6337 [6989]*** |
| | | 23,0 | 577,3 | 534,6 | 1080 | 14 693 | 19 099 | 1 561 315 | 5 216 | 5874 [6465]*** | 6141 [6759]*** | 7337 [8081]*** |
| **RD1200** | 1220,0 | 10,0 | 312,5 | 243,4 | 1284 | 7 094 | 9 092 | 905 783 | 2218 [2518]*** | 2688 [3121]*** | 2793 [3263]*** | 3234 [3902]*** |
| | | 12,5 | 386,3 | 300,9 | 1284 | 9 254 | 11 884 | 1 181 512 | 2951 [3285]*** | 3622 [4072]*** | 3776 [4257]*** | 4448 [5090]*** |
| | | 14,2 | 436,4 | 339,8 | 1284 | 10 707 | 13 770 | 1 367 041 | 3433 [3801]*** | 4230 [4711]*** | 4415 [4925]*** | 5230 [5889]*** |
| | | 16,0 | 489,2 | 381,0 | 1284 | 12 232 | 15 754 | 1 561 761 | 3934 [4342]*** | 4858 [5382]*** | 5074 [5627]*** | 6031 [6728]*** |
| | | 18,0 | 547,7 | 426,5 | 1284 | 13 910 | 17 945 | 1 776 050 | 4481 [4938]*** | 5542 [6120]*** | 5790 [6399]*** | 6899 [7651]*** |
| | | 20,0 | 606,0 | 471,9 | 1284 | 15 572 | 20 121 | 1 988 177 | 5020 [5528]*** | 6214 [6851]*** | 6494 [7163]*** | 7747 [8564]*** |
| | | 23,0 | 693,1 | 539,8 | 1284 | 18 032 | 23 358 | 2 302 350 | 6 401 | 7205 [7934]*** | 7531 [8295]*** | 8994 [9918]*** |

*) G [kg/m] sarakkeessa ilmoitettu paalun metripaino pitää sisällään RM/RF -lukkoprofiiliparin painon

**) Poikkileikkausluokka 1 tai 2, arvo laskettu plastisena kestävyytenä [sulkeissa annettu arvo myös elastisena kestävyytenä]

***) Poikkileikkausluokka 4, arvossa huomioitu paikallinen lommahdus [sulkeissa annettu arvo myös elastisena kestävyytenä]

Poikkileikkausluokkaan 3 kuuluville rakenteille taivutuskestävyyden mitoitusarvo on laskettu elastisena.

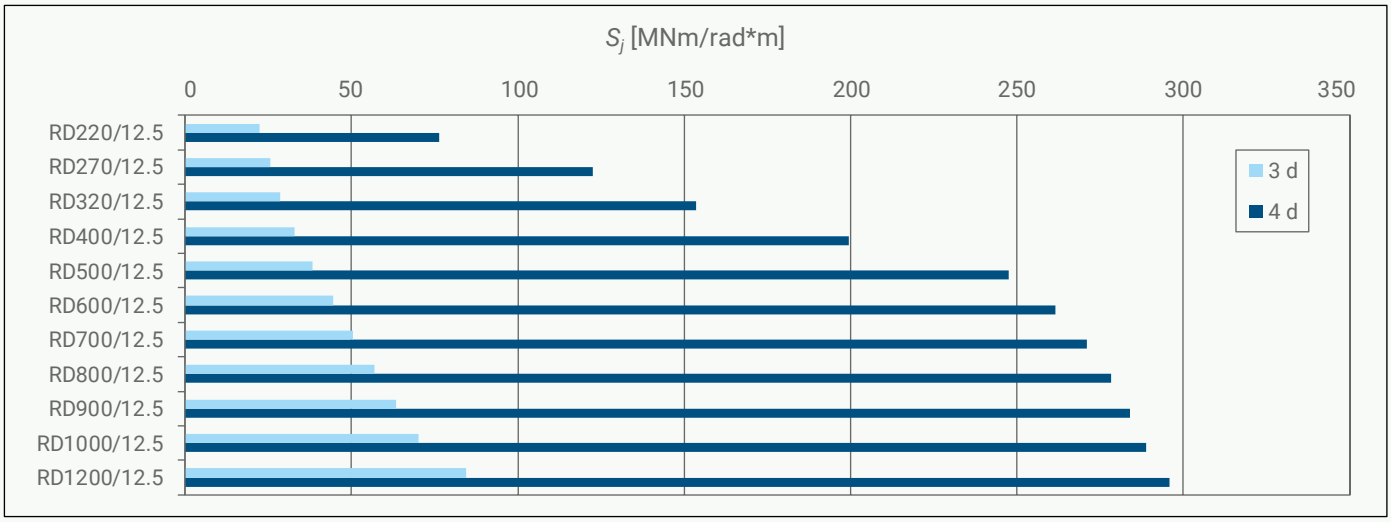


Kallioon ulotettavat paalut on suositeltavaa porata vähintään 500 mm kallioon seinän toimintatavasta riippumatta. Pystykuormia välittävät paalut sekä paalut, joiden alapäähän kohdistuu merkittävää momenttirasitusta ja/tai leikkausvoimaa, suositellaan porattavaksi 4 kertaa paalun halkaisijan verran ehjään kallioon.

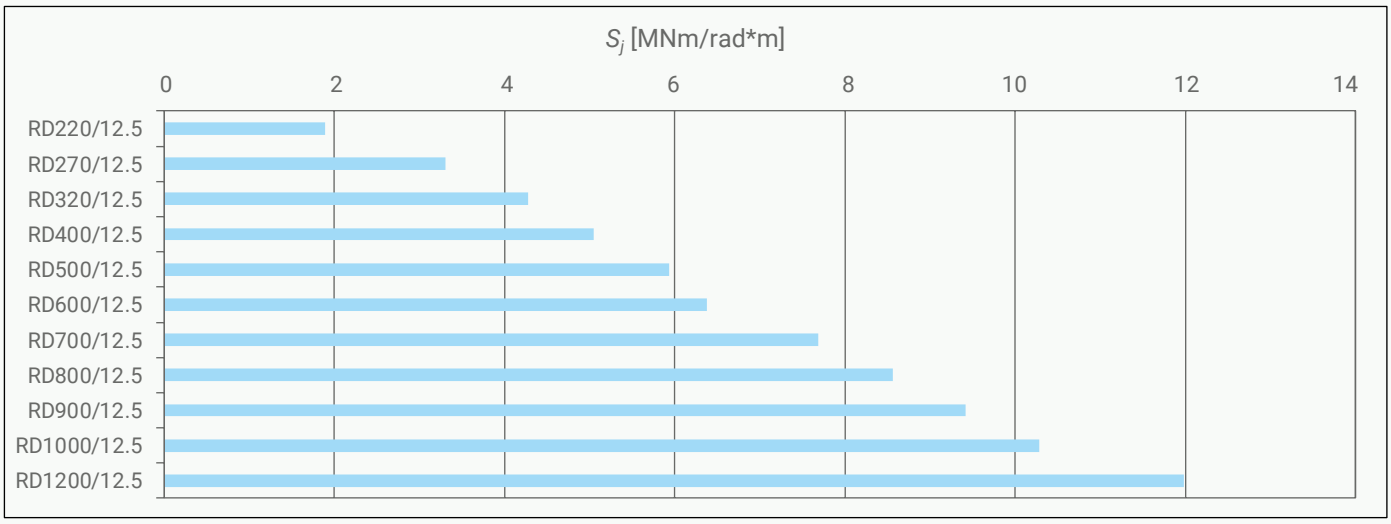
Porapaaluseinän kalliokontakti voidaan olettaa jäykäksi poraamalla paalut vähintään 4·*d* syvyydelle kalliopinnasta ja injektoimalla paaluputkien ja kallion välinen rakotila nimellislujuudeltaan vähintään C20/25 injektointibetonilla. Suuremmilla poraussyvyyksillä kontaktin jäykkyys ei enää kasva. Pienemmällä poraussyvyydellä liitoksen jäykkyys sen sijaan putoaa nopeasti, samoin jos paaluputkien ja kallion välistä rakotilaa ei injektoida. Kuvassa 14 on esitetty porapaaluseinän ohjeelliset maksimijäykkyydet $S_j$ (MNm/rad*m) RD220/12.5…RD1200/12.5 porapaaluseinillä poraussyvyydellä 4·*d* ja injektointi C20/25 massalla. Lisäksi kuvassa on esitetty liitoksen jäykkyys, jos poraus lopetetaan syvyyteen 3·*d*. Jäykkyydet on laskettu paalun elastista taivutuskestävyyttä vastaavalla taivutusmomentilla.

Kuvassa 15 on esitetty injektoimattoman porapaaluseinän jäykkyydet pienillä taivutusmomentin arvoilla (0,05·paalun elastinen taivutuskapasiteetti). Injektoimattoman porapaaluseinän jäykkyys on kaikissa tapauksissa alle 3 % injektoidun seinän jäykkyydestä.

Kallio on lähes aina epätasainen ja porari tulkitsee usein kallion alkavaksi siitä kun paalu ensimmäisen kerran koskettaa kalliota. Paalun alapään injektoitumisen voidaan olettaa onnistuvan 100 %:sti 1·*d* paalun pohjasta. Näistä syistä porapaaluseinän mitoituksessa kiertojäykkyyden arvona tulee käyttää suunnitelmiin merkattua poraussyvyyttä lyhyemmän poraussyvyyden arvoa, injektoiduissa paaluissa toteutuneesta poraussyvyydestä vähennetään 2·*d* ja injektoimattomissa 1·*d*.



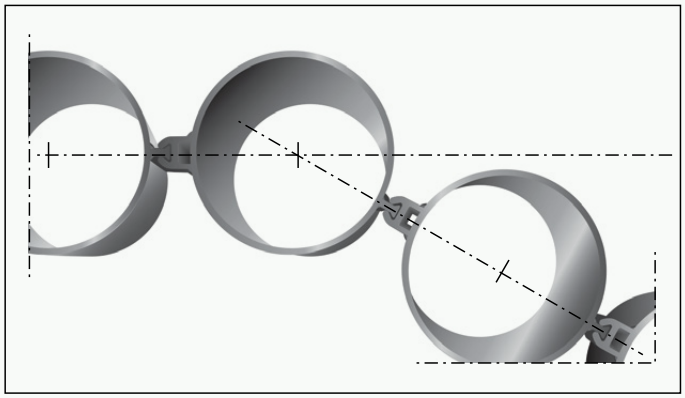

Kuva 14. RD-paaluseinän jäykkyys. Paalut RD220/12,5 … RD1200/12,5, RM/RF-lukkoprofiilit. Poraussyvyydet 3·*d* ja 4·*d* ehjään kallioon. Injektointimassan nimellislujuus C20/25.



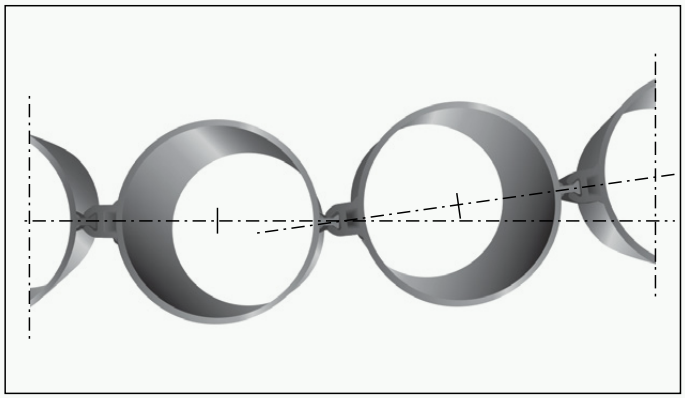

Kuva 15. Injektoimattoman RD-paaluseinän jäykkyys. Paalut RD220/12,5 ... RD1200/12,5, RM/RF-lukkoprofiilit. Poraussyvyys 3·*d* ehjään kallioon.

### 7.3 Lukkoprofiilin valinta

RD-paaluseinän tarvittavat kulmamuutokset seinälinjassa toteutetaan hitsaamalla lukkoprofiilit haluttuun kulmaan, kuten kuvassa 16. Paalun vastakkaisille puolille samaan linjaan hitsatuilla lukkoprofiileilla voidaan toteuttaa vain pieniä kulmapoikkeamia, maksimissaan noin ±5° suorasta seinälinjasta, kuva 17. Suuret kulmapoikkeamat RD-paaluseinän linjassa on aina toteutettava hitsaamalla lukkoprofiilit haluttuun kulmaan.



Kuva 16. Lukkoprofiileiden asemoinnilla toteutettu suuri kulmamuutos RD-paaluseinässä



Kuva 17. Lukkoprofiileiden toleranssilla toteutettu lievä kulmamuutos RD-paaluseinässä

RD-paaluseinän teoreettiset etenemät on esitetty taulukossa 7. Seinän todellinen etenemä vaihtelee kuitenkin hieman paalun asennuksen aikaisesta muodonmuutoksesta, paaluputken epäpyöreydestä ja lukkoprofiileiden väljyyksistä johtuen. Toisiinsa kytketyn lukkoprofiiliparin keskimääräinen leveys RM/RF-lukkoprofiiliparilla on 64 mm ja väljyystoleranssi noin ±3 mm. Standardin SFS-EN 10219 mukaan epäpyöreystoleranssi rakenneputkelle on ±2 % putken ulkohalkaisijasta. Erikseen tilattaessa epäpyöreystoleranssi kierresaumahitsatuille (≥RD400) paaluille voidaan kuitenkin rajoittaa myös tätä pienemmäksi.

### Lukkoprofiileiden rakenteellinen kestävyys

Paaluseinää asennettaessa lukkoprofiileihin voi kohdistua lukon suuntaisia veto- ja puristusrasituksia, sekä lukon poikkisuuntaisia leikkausrasituksia. Asennuksen aikaisia rasituksia voi olla vaikea arvioida tarkasti etukäteen. RM/RF lukkoprofiilit ovat osoittautuneet useissa sekä asennusolosuhteiltaan että rakenteen monimuotoisuudeltaan erilaisissa kohteissa hyvin kestäviksi asennusaikaisia rasituksia vastaan, kunhan asennustyössä noudatetaan näitä ohjeita. Jotkin muut lukkoprofiilit eivät esimerkiksi pysty välittämään puristusvoimia niiden rakenteellisen muodon vuoksi, toisin kuin RM/RF lukkoprofiilit, joilla on erinomainen puristuskestävyys.

Taulukossa 10 on esitetty E21 ja RM/RF lukkoprofiileiden asennusaikaiset rakenteelliset kestävyydet. Arvot ovat eri lukkotyypeille täyden mittakaavan veto- ja puristuskokeilla määritettyjä nimellislujuuksia (SFS-EN 1990, Annex D).

**Taulukko 10. E21 ja RM/RF lukkoprofiiliparien asennuksen aikaiset rakenteelliset kestävyydet**

| Lukko-profiili | Aksiaalinen vetokestävyys $T_d$ [kN/m] | Aksiaalinen puristus-kestävyys $C_d$ [kN/m] | Leikkauskestävyys lukon poikkisuunnassa $V_{y,d}$ [kN/m] |
|---|---|---|---|
| **E21** | 1202 | - | 374 |
| **RM/RF** | 1702 | 4260 | 790 |

RD-paaluseinärakenne voidaan suunnitella siten, että lukkoprofiilit välittävät puristus- tai vetokuormia myös valmiissa rakenteessa. Näissä tapauksissa lukon mitoituksessa on otettava huomioon korroosion vaikutus lukkoprofiileiden pitkäaikaiskestävyyteen. Taulukossa 11 on esitetty RM/RF-lukkoprofiiliparin kestävyyden vähennykset prosentteina (%) taulukon 10 asennusaikaisista kestävyyksistä eri korroosiovähennyksillä. Korroosiovähennys on tehty kaikista lukkoprofiileiden maata vasten olevista ulkopinnoista uros- ja naaraslukkoprofiileiden välistä kosketuspintaa lukuun ottamatta. On kuitenkin huomattava, että lukkoprofiileiden sijaitessa paaluseinän neutraaliakselilla, niiden vaikutus seinän taivutuskestävyyteen on minimaalinen.

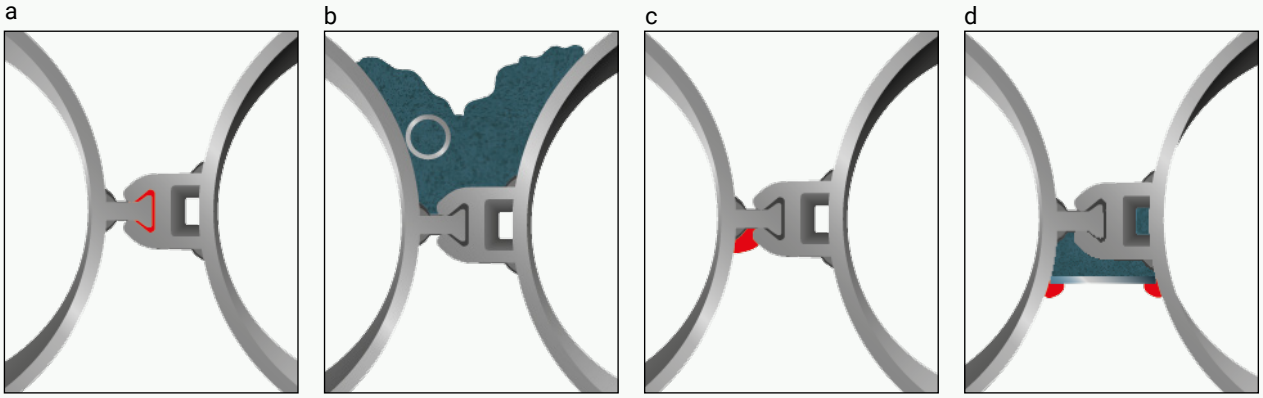
**Taulukko 11. RM/RF-lukkoprofiiliparin kestävyysvähennykset eri korroosiovaroilla.**

| Korroosiovähennys ulkopinnalta | Aksiaalisen vetokestävyyden vähennys [%] | Aksiaalisen puristuskestävyyden vähennys [%] |
|---|---|---|
| **1.2 mm** | 5 | 20 |
| **2.0 mm** | 20 | 30 |

### 7.4 Vesitiiveys ja pohjaveden hallinta

RD-paaluseinän vesitiiveys voi olla riittävä joissakin olosuhteissa ilman erikoistoimenpiteitä. RD-paaluseinän vesitiiveyteen vaikuttaa voimakkaasti maaperän ominaisuudet. Yleistäen voidaan sanoa, että maaperän vedenläpäisevyyden ollessa pieni (hienorakeiset maat) ja vedenpaine-eron ollessa eri puolilla seinää enintään kohtuullinen (<50…80 kPa), lukon läpäisevä vesimäärä on merkityksettömän pieni. Vedenpaine-eron kasvaessa ja maaperän ollessa hyvin vettä läpäisevää, todennäköisyys vesivuotoihin lukon läpi kasvaa. Asennusmenetelmästä johtuen lukkoprofiileihin ei kohdistu asennuksen aikana merkittäviä rasituksia, eikä niihin synny lukkoprofiilien muodonmuutoksista aiheutuvia vuotokohtia.

RD-paaluseinän vesitiiviyttä voidaan parantaa käyttämällä bitumipohjaista tiivistysainetta, joka asennetaan tehtaalla kuumana RF lukkoon, tai käyttämällä tiivistysainetta joka asennetaan RF-lukkoon työmaalla, kuva 18a. Käytettäessä bitumipohjaista tiivistysainetta ylimääräinen aine kuoriutuu lukosta pois asennuksen aikana, mutta sillä ei ole vaikutusta lopulliseen vesitiiveyteen. Työskenneltäessä kylmissä olosuhteissa bitumia voidaan lämmittää esimerkiksi nestekaasupolttimella ennen paalun asennusta vastaamaan normaalia käyttölämpötilaa. Bitumin liiallista kuumennusta on kuitenkin vältettävä, koska se rikkoo bitumin elastomeerien rakenteen. Vesitiiveyttä voidaan parantaa myös injektoimalla lukon kohta seinän takana, kuva 18b. Lukkoon asennettavilla tiivistysaineilla saavutettavia vesitiiveyksiä on esitetty kohdassa 6.4.



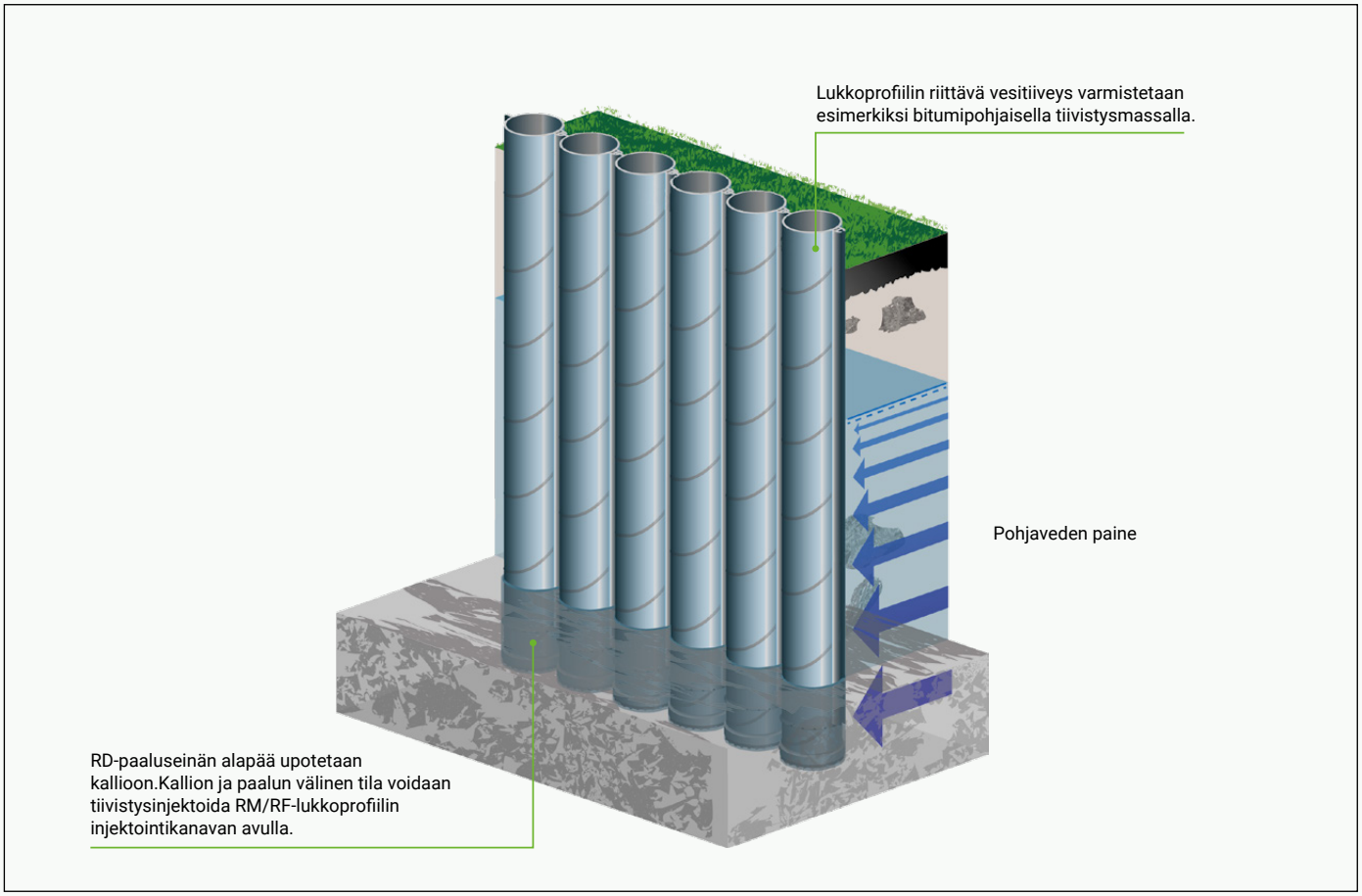

Kuva 18. RD-paaluseinän vesitiiviyden parantaminen lukkoprofiiliin asennettavalla tiivistysaineella (kuva a), taustan injektoinnilla (kuva b) ja vesitiiviyden varmistaminen hitsaamalla (kuvat c ja d).

RD-paaluseinän vesitiiveyttä voidaan parantaa hitsaamalla lukkoprofiilin ja paaluputken väli sen jälkeen kun kaivu on tehty, kuva 18c. Jos lukon läpi vuotava vesi tai lukoissa oleva tiivistysaine estää lukkoprofiileiden kiinnihitsaamisen, voidaan lukon eteen hitsata lattatanko / teräslevy sekä tarvittaessa injektoida sen ja lukkoprofiileiden välinen rakotila, kuva 18d.

Kun RD-paaluseinään kohdistuu selkeä vesitiiveysvaatimus, esimerkiksi asennettaessa RD-paaluseinää veteen tai pohjaveden pinnan alapuolelle, on suositeltavaa käyttää lukkoprofiileissa aina jotakin tiivistysainetta. Tällaisissa tilanteissa veden virtaus lukon läpi on yleensä niin voimakasta, että tiivistäminen hitsaamalla on joko erittäin vaikeaa tai mahdotonta. Tiivistysaineet, jotka eivät ole heti vedenpitäviä (esimerkiksi jotkin polyuretaanipohjaiset materiaalit), eivät sovellu tilanteisiin joissa esiintyy maan sisäistä vedenvirtausta, esimerkiksi maapatojen parannustyöt.

RD-paaluseinän alapään vesitiiveys kalliossa riippuu voimakkaasti pohjavesiolosuhteista sekä kallion ja välittömästi kallion päällä olevan maakerroksen vedenläpäisevyydestä. Tavanomaisilla teräsponttiseinillä seinän alapään riittävää vesitiiveyttä on usein vaikea saavuttaa ilman juuripallkia ja/tai maan ja kallion injektointia, koska teräsponttiseinää ei saada ulottumaan tiiviisti kallion pintaan ja veden virtaus tapahtuu kallionpinnassa seinän alitse. Kun RD-paaluseinän paalut asennetaan kallion sisään, estetään veden suora virtausreitti seinän alapään läpi, mikä merkittävästi vähentää tai voi estää kokonaan veden suotautumisen seinän sisäpuolelle. Poraussyvyydellä ehjään kallioon sekä paalujen kärkien syvyydellä suhteessa toisiinsa on suuri merkitys. Suuremmilla paaludimensioilla ($d \geq 500$) suositellaan minimi poraussyvyydeksi 1,5 m ehjään kallioon. Pienemmillä dimensiolla ($d < 500$) minimi poraussyvyydeksi suositellaan 1 m ehjään kallioon. Hyvän vesitiiveyden saavuttamista edesauttaa, jos vierekkäiset paalut voidaan ulottaa mahdollisimman lähelle samaa tasoa keskenään sekä paaluissa olevat lukot mahdollisimman lähelle paalun alapäätä asennustoleranssit huomioiden. RD-paaluseinän ulottuessa kallion sisään voidaan seinän alapään vesitiiveys varmistaa tarvittaessa injektoimalla paalujen ja kallion välissä oleva tila.

Kun RD-paaluseinän avulla tehdään kaivanto kallion pintaan saakka, on mahdollista tehdä juuripalkki seinän ja kallion rajapintaan. Paaluputkien läpi voidaan tarvittaessa tehdä tukiseinän alapuolisen kallion tiivistysinjektointia kallion kautta tapahtuvan pohjavesivirtauksen estämiseksi. RD-paaluseinän paalujen ollessa alapäistään avoimia, voidaan niitä tarvittaessa käyttää pumppauskaivoina pohjavedenpinnan alentamiseen.




Kuva 19. Vesitiivis RD-paaluseinä

### Seinän taustan salaojitus

Joissain tilanteissa, esim. satamalaitureiden tukiseinissä, saattaa olla tarpeen rajoittaa vesipinnan korkeutta seinän taustalla. Mikäli vedenpoisto on tuotava seinän läpi, voidaan RM/RF-lukkoprofiilin läpi tehdä maksimissaan 60 mm reikiä.

### Injektointi

RF-lukkoprofiilin injektointikanavaa voidaan käyttää hyväksi RD-paaluseinän alapään injektoinnissa. Sen kautta voidaan injektoida paalun ja kallion välinen rakotila ilman tarvetta muille erillisille injektointiputkille. Injektoinnin periaate on esitetty kuvassa 20a.

Mikäli injektointi suunnitellaan tehtäväksi RF-lukkoprofiilin injektointikanavan kautta, suositellaan injektointikanava varusteltavaksi yläpään injektointiyhteellä sekä alapään tulppauksella ja injektointiventtiileillä. Jatkettavilla paaluilla on huomioitava, että tehtaalla injektointikanava suljetaan yläpäästään ainoastaan ylimpään elementtiin tulevalla injektointiyhteellä. Alemmissa elementeissä injektointikanavan yläpää on suljettava väliaikaisesti työmaalla.

Injektointi suoritetaan seinän porauksen sekä paalujen sisäpuolisen betonoinnin jälkeen. Injektointiletku kiinnitetään edellä mainittuun injektointiyhteeseen G1/2” kierteellä. Vesihuuhtelua ei yleensä ole tarpeen suorittaa, mutta joissain tilanteissa voi olla tarpeen varmistaa venttiileiden aukeneminen vedellä ennen injektointia. Jos venttiileiden aukeneminen edellyttää esimerkiksi suuremman paineen käyttöä, vesi mahdollistaa kovettuvaa laastia pidemmän työskentelyajan. Myös näissä tapauksissa vesihuuhtelu lopetetaan, kun venttiilit ovat auenneet.

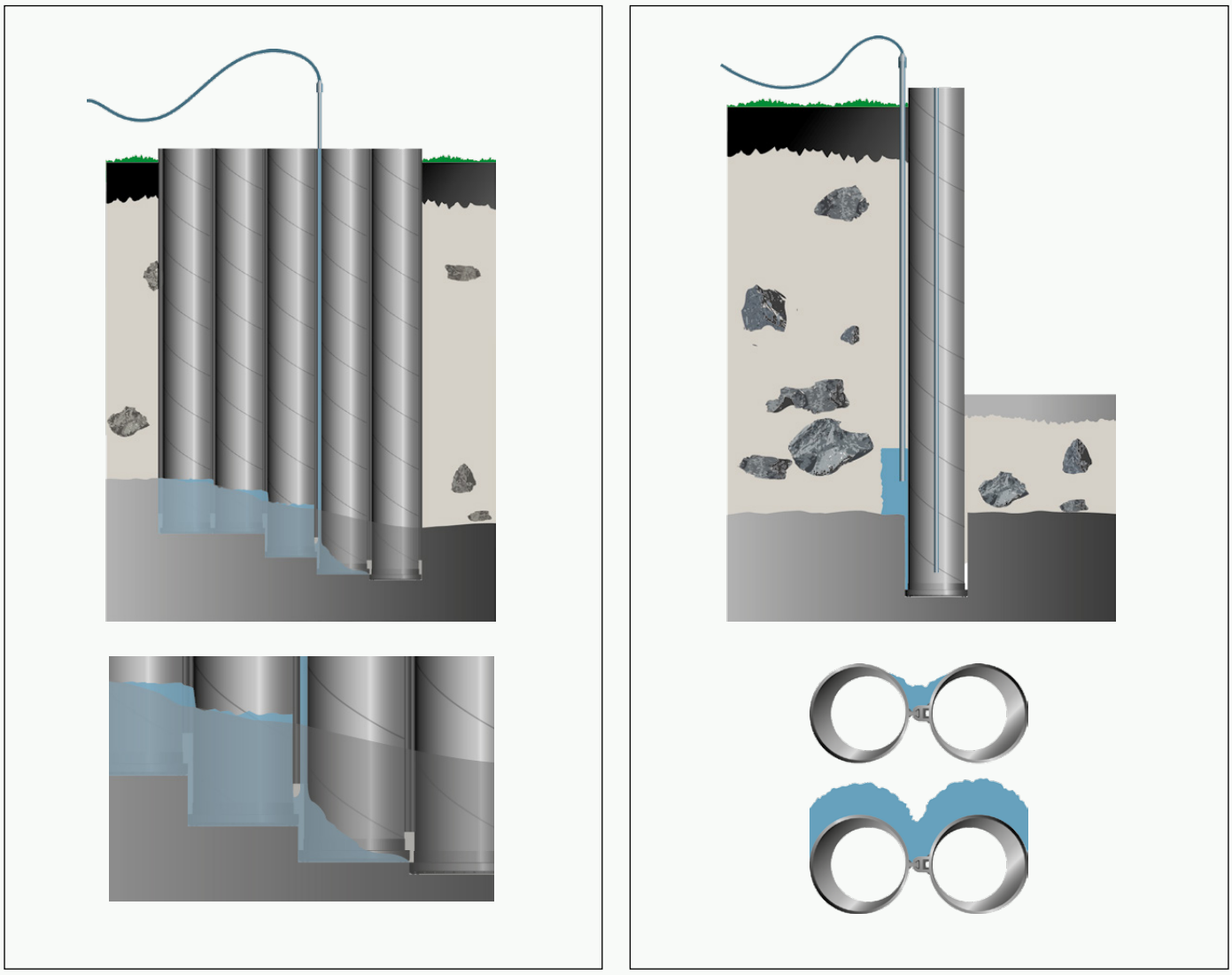
Yleensä venttiilit aukeavat 2 - 3 bar paineella. Injektointipumpun ja letkujen valinnassa on kuitenkin varauduttava selkeästi suurempiin paineisiin venttiilien mahdollisten tukkeumatilanteiden vuoksi. Injektointi tehdään vesi-sementtiseoksella, jonka suositeltu vesi/sementti suhde on 0,5. Injektoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi pikasementtiä CEM II/A-LL 42,5 R. Injektointiaine täyttää porauksen yhteydessä paaluputkien ja kallion väliseen rakotilaan jääneen kiviaineksen raot, jolloin kiviaines toimii ”runkoaineena”.

Injektoinnin aikana injektointimassa virtaa rakotilassa myös RD-paaluseinän suuntaisesti. Injektointimassan kovettuessa tämä saattaa aiheuttaa joidenkin viereisten injektoimattomien paalujen venttiilien tukkiutumisen. Injektointia tulee näin ollen ainakin yrittää kaikista paaluista, mutta edellä mainitusta syystä se voi olla mahdotonta joidenkin paalujen osalta. Injektointimassan määränä suositellaan käytettäväksi noin kolme kertaa rakotilan teoreettista tilavuutta. Tällöin ylimääräisellä injektointiaineella saadaan kompensoitua edellä mainittu joidenkin venttiileiden aukeamattomuus.

Erilaisten jälki-injektointien käyttö RD-paaluseinän kaivamattomalla puolella on myös mahdollista, jos esimerkiksi halutaan parantaa rakenteen vesitiiveyttä tai tiivistää tai lujittaa seinän taustan maaperää. RD-paaluseinän taustan injektointi voidaan tehdä poraamalla tai painamalla injektointiputket seinän taakse tai paalujen saumakohtiin seinäpaalujen asennuksen jälkeen, kuva 20b. Injektointiputket voidaan tarvittaessa myös kiinnittää paaluputkiin ennen paalujen asennusta.

a

b



Kuva 20. RD-paaluseinän alapään ja taustan injektointi.

Kaivutason alapuolisen osuuden vesitiiviyttä voidaan myös parantaa tekemällä injektointi RD-paaluseinän kaivannon puolelta kaivutason alapuolelle. RD-paaluseinän alapuolisen kallion injektointi on mahdollista asentamalla paalun sisäpuoliseen betonivaluun teräksinen suojaputki, poraamalla suojaputken läpi kallioreikä sekä injektoimalla kallio verhoinjektointina. Injektoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi sementti- tai bentoniittipohjaisia injektointiaineita.

### 7.5 Muut rakenneosat

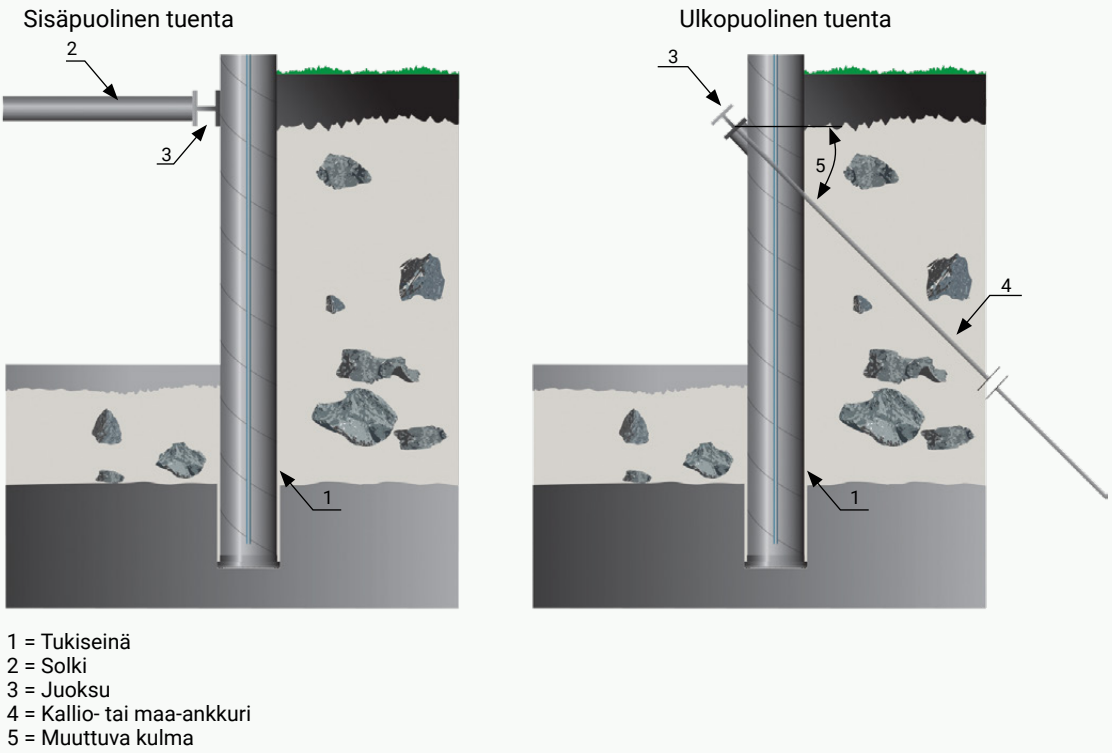
RD-paaluseinärakenne voidaan tehdä sisäpuolelta tuettuna, kuva 21, mikäli vastakkainen RD-paaluseinä tai muu rakenne, johon voidaan tukeutua, on riittävän lähellä. Pysyvissä rakenteissa esimerkiksi pohjalaatta, rakennuksen välipohjat tai kaukalon kansirakenne voivat toimia vaakatukina.

Juoksut ja soljet toteutetaan teräspalkeilla. Tukitasojen väli määräytyy maanpaineen ja tukiseinän jäykkyyden mukaan. Sisäpuolisen tuennan suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava puristussauvojen taipuma oman painon vaikutuksesta, mahdolliset kaivutyön aikana tukiin kohdistuvat koneiden kolhaisut, kuormitusten johtaminen sauvoille keskeisesti tukirakenteiden liitoskohdissa, kaivun työvaiheistukset sekä esijännittämättömän tukirakenteen muodonmuutokset kuormitusten mobilisoituessa.

RD-paaluseinän ulkopuolinen tuenta voidaan tehdä maa- tai kallioankkureilla tai vetotankojen avulla ankkurilaattoihin muiden tukiseinärakenteiden tapaan, kuva 21. Jos ulkopuolista tuentaa tarvitaan, vetoankkurit asennetaan paalun läpi. Ankkuritangon edellyttämän reiän halkaisijan ollessa korkeintaan 60 mm, voidaan vetoankkurit tarvittaessa asentaa myös lukkoprofiilin läpi. Mikäli tukitaso voidaan sijoittaa RD-paaluseinän yläpäähän, on mahdollista tehdä erillinen konsolirakenne, jolla vältetään paaluihin tehtävät ankkurireiät.

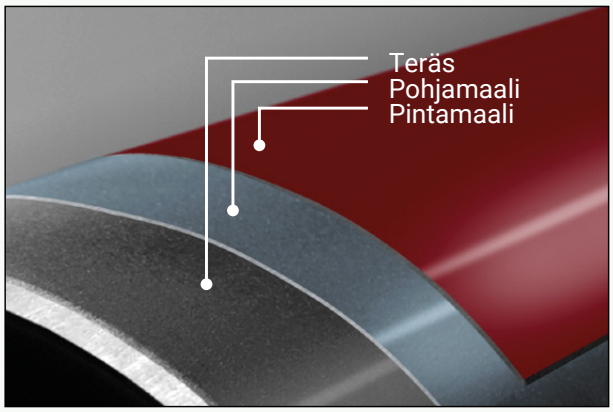
### Pintakäsittelyt ja -verhoilut

RD-paaluseinän paalut voidaan toimittaa kuvan 22 mukaisesti suojamaalattuina. Suojamaalaus toteutetaan standardin SFS-EN ISO 12944-5 mukaisilla suojamaaliyhdistelmillä. Pinnan esikäsittely, maalauksen toteuttaminen ja valvonta sekä pinnoitteelle tehtävät testaukset tehdään SFS-EN ISO 12944 standardin soveltuvien osien mukaisesti. Myös lukkoprofiilit ja mahdolliset combi-wall rakenteen teräspontit voidaan korroosiosuojata suojamaalaamalla. Ennen asennusta tehtävässä suojamaalauksessa on huomioitava, että asennusolosuhteista




1 = Tukiseinä
2 = Solki
3 = Juoksu
4 = Kallio- tai maa-ankkuri
5 = Muuttuva kulma

Kuva 21. RD-paaluseinän tuentatapoja




Kuva 22. RD-paaluseinän pinnoitus maalaamalla.

riippuen maalattuun pintaan saattaa aiheutua vaurioita asennuksen aikana.

RD-paaluseinä voidaan verhoilla erilaisilla verhousrakenteilla tarpeen mukaan. Sisäpuolinen lämmöneristys voidaan toteuttaa esimerkiksi ruiskutettavalla polyuretaanivaahdotuksella. Rakenteissa, joissa ei tarvita ehdotonta vesitiiveyttä, voidaan verhoilu tehdä esimerkiksi ruiskubetonilla ja asentaa lukkoprofiilien kohdalle pystysuuntaisia salaojarakenteita.

Käytettäessä RD-paaluseinää pysyvänä kantavana rakenteena johon voi kohdistua palokuormaa, esimerkiksi maanalainen pysäköintitila, on rakenteen suunnittelussa ja toteutuksessa noudatettava palosuojausta koskevia ohjeita ja määräyksiä.

Palomitoituksen lämpötila-aikariippuvuutta määritettäessä on suositeltavaa käyttää todelliseen palokuormaan perustuvia palosimulaatioita. Käytettäessä standardipalon mukaista palotilan lämpötilan kehittymistä palomitoituksen pohjana, muodostuu lämpörasitus usein huomattavasti todellista tilannetta suuremmaksi. Lisäksi RD-paaluseinän palotilanteen kestävyyttä mitoitettaessa on huomioitava, että lämpörasitus on ainoastaan poikkileikkauksen toisella puolella.

Mikäli RD-paaluseinä ei kestä palotilanteen rasituksia suojaamattomana, voidaan paaluputket betonoida ja tarvittaessa myös raudoittaa, jolloin saavutetaan merkittävä palonkesto. Mikäli paaluputkien betonoinnilla ja raudoituksella ei saavuteta riittävää palonkestoa, voidaan seinä pinnoittaa esimerkiksi ruiskutettavilla palosuojamateriaaleilla. Näiden suojamateriaalien mitoitus on suoritettava materiaalikohtaisesti tutkittujen ja hyväksyttyjen suojausominaisuuksien mukaan.

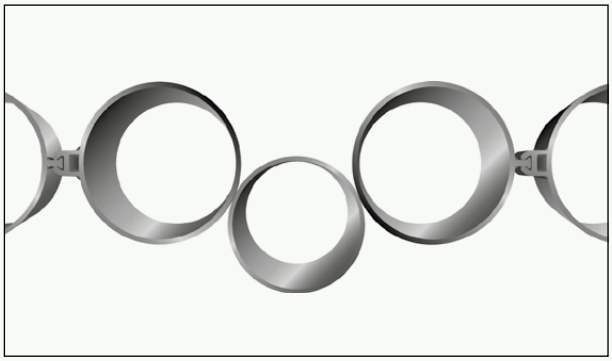
### 7.6 Työjärjestys

Lähtökohtaisesti jo seinän suunnitteluvaiheessa tulee huomioida asennuksen suorittaminen ja asennusjärjestys siten, että seinään muodostuu mahdollisimman vähän toisiinsa liitettäviä seinän päitä. Suunnitelmissa esitettäviä tietoja on esitetty kuvassa 31 sivulla 33.

Seinän pituussuuntaisista toleransseista johtuen suljetun seinän ts. seinän, jossa seinän viimeinen paalu liittyy lukolla aloituspaaluun, toteuttaminen on vaikeaa. Suljetun seinän viimeisen paaluvälin tarkkaa mittaa ei tiedetä ennen asennustyön valmistumista muilta osin.

Seinien päiden liittyminen toisiinsa voidaan tehdä limittämällä seinän päät toisiinsa nähden, kuten kuvassa 23 on esitetty. Limityksessä käytetään halkaisijaltaan pienempiä paaluja. Limitettäviä paaluja voi olla yksi tai useampia ja paalut voidaan hitsata toisiinsa kiinni limityskohdasta. Seinän päiden limitys voidaan tehdä myös käyttämällä lukkoprofiilitonta ja normaalikokoisella avartimella varustettua RD-paalua kuvassa 24 esitetyllä tavalla. Paalu tehdään seinän kaivamattomalle puolelle ja se tukeutuu aiemmin asennettuihin seinäpaaluihin.

Kuva 23. Seinän päiden liittyminen limittämällä.



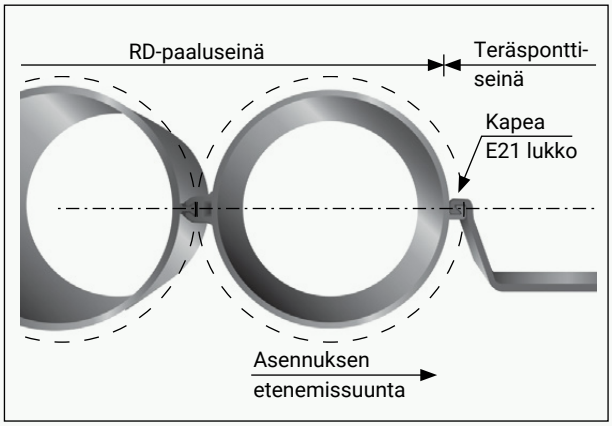
Kuva 24. Seinän päiden liittyminen RD-paalulla.

Limitysratkaisujen saaminen riittävän vesitiiviiksi voi edellyttää liitoskohdan maa-injektointia. Jo RD-paaluseinän suunnitteluvaiheessa on suositeltavaa huomioida päiden liittymäkohdat ja niissä tarvittavat RD-paalut.

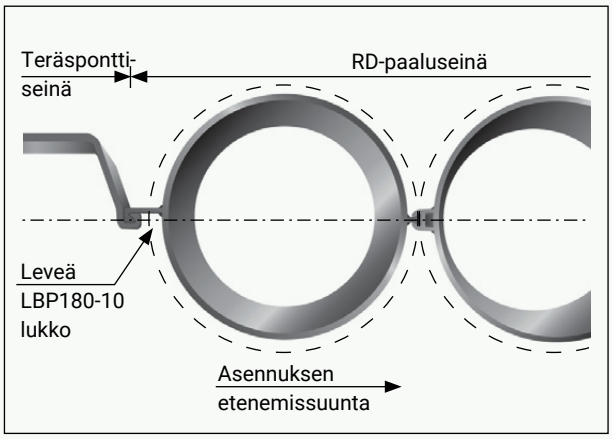
Seinien päiden liittymiskohdan tiivistämisessä voidaan käyttää myös suihkuinjektointia. Liittymiskohtaan seinän kaivamattomalle puolelle voidaan tehdä suihkuinjektointipilari vastaavasti kuten RD-paalu kuvassa 24. Kivisissä ja erityisen tiukoissa maaperissä suihkuinjektointi saattaa vaatia esiporauksen.

RD-paaluseinä on liitettävissä teräsponttiseinään, jos teräsponttiseinässä käytettävä lukkoprofiili vastaa RD-paaluseinän lukkoprofiilia. Jos liitettävissä seinissä on eri lukkoprofiilit, on käytettävä erityyppiset lukot liittävää liitosprofiilia. Jatkettaessa teräsponttiseinällä RD-paaluseinää käytetään liitoskohdan RD-paalussa kapeaa E21 lukkoa kuvan 25 mukaisesti. Jos taas RD-paaluseinällä jatketaan teräsponttiseinää, käytetään RD-paalussa leveää E21 lukkoa kuvan 26 mukaisesti.

Seinien päiden liittymiskohdan tiivistämisessä voidaan käyttää myös suihkuinjektointia. Liittymiskohtaan seinän kaivamattomalle puolelle voidaan tehdä suihkuinjektointipilari vastaavasti kuten RD-paalu kuvassa 24. Kivisissä ja erityisen tiukoissa maaperissä suihkuinjektointi saattaa vaatia esiporauksen.




Kuva 25. Kapean E21 lukon käyttö jatkettaessa RD-paaluseinää teräsponttiseinällä.




Kuva 26. Leveän E21 lukon käyttö jatkettaessa teräsponttiseinää RD-paaluseinällä.

### 7.7 Suunnittelussa huomioon otettavat erityisseikat

#### Maan siirtyminen

Maan siirtymiin RD-paaluseinän läheisyydessä vaikuttaa eniten maaperän ominaisuudet, mutta myös porausjärjestelmällä, poraustyön suorittamisella ja lukkotyypillä on vaikutusta. RD-paaluseinä asennetaan ylikoon avarrinkruunua käyttäen, jolloin paaluputkien ulkopuolelle jää teoreettinen tyhjätila. Tyhjätilan suuruus riippuu käytetystä paalukoosta ja lukkotyypistä.

Tiiviissä kitkamaissa maan siirtymät RD-paaluseinä läheisyydessä ovat vähäisiä. Käytettäessä porauksessa ilmahuuhtelua, ylikoon avarrinkruunun aiheuttama tyhjätila täyttyy osittain tai kokonaan porasoijasta. Mahdollisimman vähäisiin siirtymiin pyrittäessä, on paineilmaa ja iskuvoimaa käytettävä kuitenkin vain juuri sen verran, että huuhtelu toimii ja poraus etenee sopivalla nopeudella.

Löyhissä kitka- ja täyttömaissa sekä pehmeissä koheesiomaissa seinän välittömässä läheisyydessä voi tapahtua painumia. Painuminen voi johtua tyhjätilan täyttymisestä seinän viereisellä pohjamaalla. Painuminen voi johtua myös paineilman karkaamisesta paaluputken ulkopuolelle ja tästä aiheutuvasta maakerrosten löyhtymisestä ja häiriintymisestä. Havaittavia painumia voi tapahtua seinälinjasta noin 0.5 x paalun pituus suuruiselle etäisyydelle. Painumisen suuruus riippuu voimakkaasti maaperästä.

Pyrittäessä mahdollisimman pieniin painumiin, tulee käyttää sellaista porausjärjestelmää, jossa paineilman karkaaminen paalua ympäröivään maaperään on minimoitu.

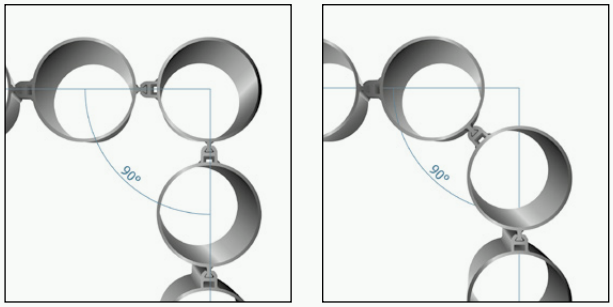
Pehmeissä koheesiomaissa painumien välttämiseksi voidaan käyttää työtekniikkaa, jossa maakerrosten läpäisy tehdään painamalla tai täryttämällä muuttuvataajuuksisella täryttimellä avoin paaluputki pehmeiden maakerrosten alapintaan saakka. Tämän jälkeen paalun asentamista jatketaan poraamalla. Työtekniikka edellyttää ns. integroidun avarrinkruunun tai siipiavartimen käyttöä.

Pienpaaluista (RD220-RD320) tehtävää RD-paaluseinää asennettaessa voidaan käyttää myös vesivasaraa ns. ulkopuolisella huuhtelulla, jolloin tyhjätila täyttyy porasoijasta ja maan siirtymät pysyvät pieninä.

Painumille ja siirtymille herkissä kohteissa, joissa painumien hallintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota, on suositeltavaa aloittaa työ koeluonteisena kauempana varottavista rakenteista tai tehdä ennen varsinaisen asennustyön aloittamista koeasennus, jonka perusteella painumia voidaan arvioida luotettavasti.

**Nurkat**

RD-paaluseinän paalujen asettelu nurkissa on huomioitava suunnitelmissa, jotta paaluputkiin kiinnitettävät lukkoprofiilit osataan kiinnittää oikeaan kulmaan. Normaalin nurkan vaihtoehtoisia toteutustapoja on esitetty kuvassa 27. RDpaaluseinässä olevien nurkkien ja kulmamuutosten toteuttamistapoja on käsitelty myös kohdassa 7.3.




Kuva 27. Esimerkkejä RD-paaluseinän paalujen asettelusta 90° nurkassa

**Asennusjärjestys**

Jos mahdollista, niin asennus kannattaa suunnitella aloitettavaksi pisimmästä paalusta ja etenemään kohti lyhintä paalua. Syynä asennusjärjestykselle on RF-lukkoprofiilin leveys, jolloin sitä ei voida asentaa edellisen paalun alapäätä syvemmälle. Mikäli tällainen työjärjestys ei ole mahdollinen ja paalu on porattava edellistä paalua syvemmälle, tulee tämä huomioida RF-lukkoprofiilin alapään etäisyydessä paalun alapäästä. Tyypillisesti etäisyys lukkoprofiilin alapäästä paalun alapäähän on noin 200 - 300 mm, jolloin sallitaan pieni porrastus paalujen poraussyvyyksissä.

Mikäli kohteessa on olemassa olevia rakenteita / rakennuksia aivan asennettavan seinän läheisyydessä, tulee seinän asennusjärjestyksessä huomioida myös mm. työkoneiden vaatima tilantarve.

# 8 RD-paaluseinien toteutus

RD-paaluseinien asennuksessa noudatetaan toteutusstandardia SFS-EN 12063 Execution of special geotechnical work. Sheet pile walls, combined pile walls, high modulus walls.

Yleisvaatimuksia RD-paalutuskalustolle on annettu SSAB:n teräspaalujen suunnittelu- ja asennusohjeen kohdassa 7.4.1. RD-paalutuskaluston yleisvaatimuksia on esitetty PO-2016 osan 2 kohdissa 5.4.2.1 ja 5.4.2.3.

## 8.1 Yleistä

RD-paaluseinä asennetaan keskeisellä porausmenetelmällä käyttäen vakioporakruunuihin verrattuna halkaisijaltaan suurempia avarrinosia. Porakruunun avarrinosa poraa maahan paalua suuremman tilan paalun lukkoja varten. Suositeltavat avarrinosan halkaisijat eri paaluille ja lukkotyypeille on esitetty taulukossa 3. Helpoissa maaperäolosuhteissa, joissa ei ole läpäistäviä kiviä tai kitkamaakerroksia, voidaan tapauskohtaisesti käyttää myös halkaisijaltaan pienempiä avartimia.

Jos RD-paaluseinän paalu toimii pystykuormia välittävänä rakenteena, on suositeltavaa, että avarrinrengas/maakenkä ulottuu porareiän pohjan tasolle. Avarrinrengas/maakenkä ei saa tukeutua kalliohyllylle mikäli paalua ei ole täytetty betonilla tai juotoslaastilla.

Siipiavarrinta käytettäessä on huomioitava maaperän kivikkoisuus sekä laitteiston riittävä teho. Kivikkoisen ja lohkareisen maaperän läpäisy saattaa joissain tilanteissa olla siipiavartimella vaikeaa ja hidasta. Jätettäessä RD-paaluseinän paalut moreenikerrokseen, voivat maakerroksen kivet estää avarrinsiipien kääntymisen suppuun ja näin ollen porakruunun nostamisen paalusta. Riittävän suureen pyöritysnopeuteen tulee kiinnittää huomiota siipiavarrinta käytettäessä.

Erityisesti käytettäessä siipiavarrinta, mutta myös käytettäessä rengasavarrinta, on huomioitava pilottiterän kärjen, maakengän ja paaluputken toleranssien yhteensopivuus. Erityisesti on huomioitava pilottiterän kärjen ja maakengän välisen toleranssin soveltuminen käytettävän paaluputkikoon epäpyöreystoleranssiin. Vaihtoehtoisena asennusmenetelmänä voidaan käyttää myös tärytystä tai tärytyksen ja porauksen yhdistelmää. Tällöin on syytä kiinnittää huomiota mahdollisten pinnalla olevien esteiden poistoon, mikä edesauttaa saavuttamaan mittatarkan seinän.

## 8.2 Työmaa-alueen valmistelu

Työmaa-alue tulee valmistella sillä tavalla, että työ voidaan suorittaa turvallisesti ja tehokkaasti.

Poravaunun painopiste on pitkän puomin ja pitkän paaluputken vuoksi korkealla. Työalustan hyvä kantavuus ja tasaisuus ovat

näin ollen oleellisen tärkeitä työturvallisuuden kannalta. Työalusta tulee suunnitella ja mitoittaa jo suunnitteluvaiheessa. Jos tukiseinälinjalta poistetaan kaivamalla porausta haittaavia esteitä, kuopat on täytettävä kerroksittain huolellisesti tiivistäen. Työalusta ei saa painua porauksen aikana.

Taso, jolta paalun poraaminen aloitetaan, ei saa olla poravaunun telatasoa alempana. Telatasoa alempaa poraaminen (”ojaan poraaminen”) on paitsi epävakaata ja epätarkkaa, se usein myös heikentää työalustan stabiliteettia ja voi näin aiheuttaa työalustan sortumisen ja koneen kaatumisen.

### 8.3 Paaluputkien varastointi ja käsittely

Paaluputkia tulee varastoida ja käsitellä työmaalla siten, että paaluputkien suoruudelle, lukkoprofiileille ja pinnoitteille ei aiheudu merkittäviä vaurioita. Paalujen varastoinnista ja käsittelystä työmaalla on SSAB:lla oma ohjeensa ”Paalut ja paalutarvikkeet, turvallisen käsittelyn suositukset asiakkaalle”.

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 taakkalapusta ja paaluputkessa olevasta merkinnästä. Paaluelementtien ja paaluvarusteiden tulee vastata suunniteltuja ominaisuuksia. Virheellistä tai väärää tuotetta ei saa asentaa.

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

Paaluputkien pystyynnosto tehdään yleensä nostovaijerilla tms. läheltä paalun päätä nostamalla. Pystyynnostossa on erittäin tärkeää huolehtia työturvallisuudesta, esimerkiksi siitä ettei nostolaite/-ketju pääse irtoamaan 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.

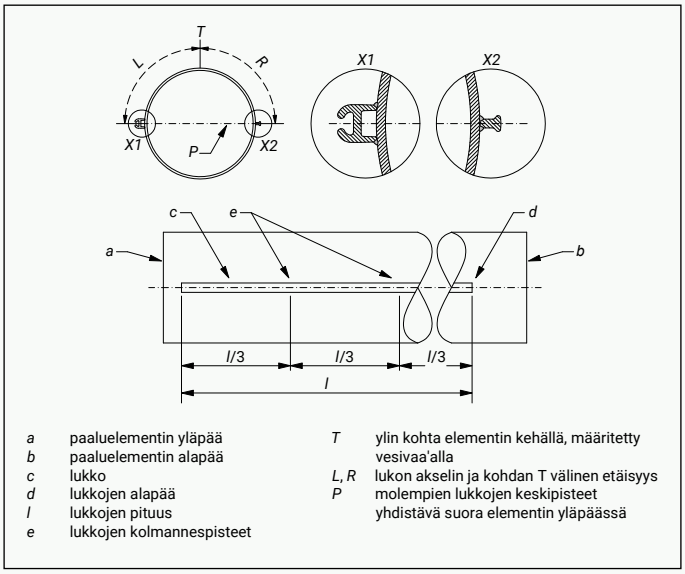
Teräspaalun omasta painosta aiheutuvan taipuman aiheuttama rasitus ei koskaan ole kriittinen RD-pienpaaluja nostettaessa. Suurpaaluilla (d≥400) rajapituus, mitä voidaan nostaa pystyyn paalun päästä ilman tarkempaa tarkastelua, on 20 metriä. Tätä pitempien paalujen pystyynnosto tulee suunnitella tapauskohtaisesti ottaen huomioon paalun dimensiot. Pystyynnostossa tulee huomioida paalutuskoneen stabiliteetti ja nostossa on huomioitava koneelle asetetut noston paino- ja ulottumarajoitukset tai -ohjeet.

### 8.4 Paalujen teräsosien hitsaaminen ja leikkaaminen

RD-paaluseinän paaluelementtien lukkoprofiilit kiinnitetään paaluputkiin SSAB:n tehtaalla. Paaluelementtien valmistuksessa noudatetaan SFS-EN 12063 annettuja vaatimuksia ja ohjeita koskien teräsosien valmistusta, mm. toleransseja ja hitsauksia, katso myös kohta 9. Myös työmaalla tapahtuvissa paaluputkiin kohdistuvissa hitsauksissa yms. on noudatettava SFS-EN 12063 vaatimuksia ja ohjeita.

RD-paaluihin hitsattujen lukkojen toleranssit ovat SFS-EN 12063 kuvan 24 ja kohdan 8.4.13 mukaisia, ja ne on esitetty myös kuvassa 28. Kuvissa lukot on esitetty 180° sijainneilla, mutta samoja toleransseja käytetään myös muissa kulmissa oleviin lukkoihin. Toleranssien tarkistusmittausten menettely on esitetty SFS-EN 12063 standardissa. Sallitut toleranssit ovat:

- lukkojen sijainti, kun L ja R mitataan elementin ulkopintaa pitkin
  L ± 10 mm
  R ± 10 mm
- suurin suhteellinen poikkeama
  2 % kulmapoikkeama
  0,2 % suoruuspoikkeama lukon pituudelle




| | | | |
|---|---|---|---|
| *a* | paaluelementin yläpää | *T* | ylin kohta elementin kehällä, määritetty vesivaa'alla |
| *b* | paaluelementin alapää | *L, R* | lukon akselin ja kohdan T välinen etäisyys |
| *c* | lukko | *P* | molempien lukkojen keskipisteet yhdistävä suora elementin yläpäässä |
| *d* | lukkojen alapää | | |
| *l* | lukkojen pituus | | |
| *e* | lukkojen kolmannespisteet | | |

Kuva 28. Lukkojen toleranssien tarkistuspisteiden sijainnit.

Lukkoprofiileilla varusteltuja RD-paaluja on mahdollista jatkaa hitsaamalla, jos tarvittava paalupituus on suurempi kuin käytettävällä porapaalutuskalustolla voidaan yksimittaisena asentaa. Jatkettavat paalut on mainittava jo tilausvaiheessa, jotta paalujen valmistuksessa voidaan jatkettavat paalut sovittaa toisiinsa ja merkitä pareiksi. Näin menetellen paalujen jatkaminen työmaalla on selvästi vaivattomampaa.

Lukoilla varustetun teräspaalun jatkaminen hitsaamalla työmaaolosuhteissa edellyttää erityistä tarkkaavaisuutta. Tärkeintä on ylemmän ja alemman paaluelementin lukkojen linjaaminen, jotta varmistetaan viereisten paalujen RM ja RF lukkoprofiileiden liukuminen sisäkkäin. Ylemmän ja alemman paaluputken välille voidaan sallia sijaintipoikeama, mutta ei ylemmän ja alemman lukon välille. Lisäksi on huomioitava ettei päällekkäisten paaluelementtien välille synny kulmamuutosta. Jatkettavilla paaluilla lukkojen kiinnityshitsauksia ei tehdä aivan paaluelementtien päihin asti. Tällä mahdollistetaan pienen lukon pätkän poistaminen ja täysin paaluputken ympäri ulottuvan jatkoshitsin tekeminen. Paaluputken jatkoshitsauksen jälkeen poistetut lukkojen pätkät voidaan hitsata takaisin paikoilleen jotta varmistetaan RD-paaluseinän vesitiiveys. RR- ja RD-paalujen suunnittelu- ja asennusohjeessa annetaan lisätietoja RD-paalujen hitsejä koskevista vaatimuksista sekä ohjeita. Tämän ohjeen liitteessä 5 annetaan ohjeita hitsien edellyttämästä esilämmityksestä sekä jäähdytysajoista ennen NDT-testauksien suorittamista. Hitsien vaatimuksia, mm. hitsausluokkia ja NDT määriä eri toteutusluokissa on annettu taulukossa 12.

## Taulukko 12. EN 12063 mukaiset vaatimukset RD-paaluseinien hitsauksille

| Hitsauskokoonpanon kuvaus | Hitsityyppi ja viittaus EN 12063 kuvaan | Hitsityyppi | Railomuoto | Sallitut hitsausprosessit * | Toteutusluokka | Hitsausohjeiden hyväksyntä / kuvaus | | Hitsiluokat EN ISO 5817 mukaisesti | Tarkastusmenetelmä ** | Tarkastuslaajuus |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yleistä | | | | | | EN ISO 3834-3 | EN ISO 3834-3 | | | |
| Paalujen jatkaminen | Päittäishitsi, Kuva 13 a | Päittäishitsi V-railolla tai puoli-V-railolla | V-railo (1.3) tai puoli-V-railo (1.9.2) ilman juuritukea EN ISO 9692-1 mukaisesti | 111, 114, 121, 122, 131, 135, 136 ja 138 EN ISO 4063 mukaisesti | EXC1 | - | - | Ei vaatimusta, voidaan sopia | Sovittava erikseen | Sovittava erikseen |
| | | | | | EXC2 | - | EN ISO 15609-1 | C | Silmämääräinen UT | 100 % 10 % hitseistä |
| | | | | | EXC3 | - | EN ISO 15609-1 | C | Silmämääräinen UT | 100 % 10 % hitseistä |
| Lukkojen liittäminen paaluihin | T liitos, Kuva 16 | Yhdeltä tai molemmilta puolilta hitsattu pienihitsi I-railolla | I-railo (3.1.1) EN ISO 9692-1 mukaisesti | 111, 114, 121, 122, 131, 135, 136 ja 138 EN ISO 4063 mukaisesti | EXC1 | | - | Ei vaatimusta, voidaan sopia | Sovittava erikseen | Sovittava erikseen |
| | | | | | EXC2 | EN ISO 15607 | EN ISO 15609-1 | C | Silmämääräinen PT tai MT | 50 % 10 % hitseistä |
| | | | | | EXC3 | EN ISO 15607 | EN ISO 15609-1 | C | Silmämääräinen PT tai MT | 50 % 10 % hitseistä |
| Lukkojen jatkaminen, ei rakenteelliset hitsit | Päittäishitsi | Päittäishitsi V-railolla tai puoli-V-railolla | V-railo (1.3) tai puoli-V-railo (1.9.2) ilman juuritukea EN ISO 9692-1 mukaisesti | 111, 114, 121, 122, 131, 135, 136 ja 138 EN ISO 4063 mukaisesti | EXC1 | - | - | Ei vaatimusta, voidaan sopia | Sovittava erikseen | Sovittava erikseen |
| | | | | | EXC2 | - | EN ISO 15609-1 | D | Silmämääräinen | 100 % |
| | | | | | EXC3 | - | EN ISO 15609-1 | D | Silmämääräinen | 100 % |
| Lukkojen vesitiiveys, ei rakenteelliset hitsit | Päittäishitsi, Kuva 23 | Päittäishitsi V-railolla | - | 111, 114, 121, 122, 131, 135, 136 ja 138 EN ISO 4063 mukaisesti | Kaikki | - | - | Ei vaatimusta, voidaan sopia | Sovittava erikseen | Sovittava erikseen |

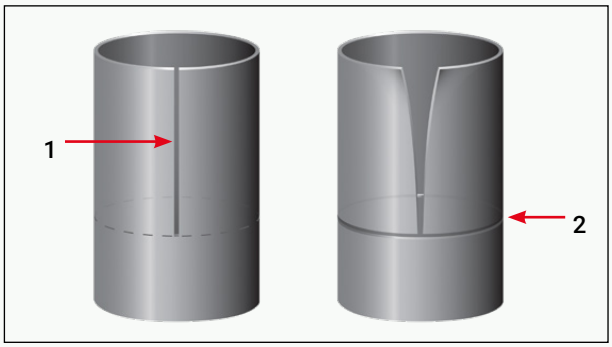
*) 111 = Puikkohitsaus
114 = Täytelankahitsaus ilman suojakaasua
121 = Jauhekaariumpilankahitsaus; jauhekaarihitsaus umpilangalla
122 = Jauhekaarinauhahitsaus; jauhekaarihitsaus hitsausnauhalla
131 = MIG-umpilankahitsaus; MIG-hitsaus umpilangalla
135 = MAG-umpilankahitsaus; MAG-hitsaus umpilangalla
136 = MAG-jauhetäytelankahitsaus; MAG-hitsaus jauhetäytelangalla
138 = MAG-metallitäytelankahitsaus; MAG-hitsaus metallitäytelangalla

**) UT = Ultraäänitarkastus
PT = Tunkeumanestetarkastus
MT = Magneettijauhetarkastus

Kun RD-paalun tavoitetaso on saavutettu, maanpinnan yläpuolelle jäänyt paalun osa voidaan katkaista. Katkaisun tarve riippuu käytettävästä porapaalutuskalustosta. Mikäli asennettavana olevan paalun RF-lukko saadaan kytkettyä edellisen, jo asennettun ja mahdollisesti paljonkin maanpinnan yläpuolelle ulottuvan, paalun RM-lukkoon, ei edellistä paalua ole tarvetta katkaista työteknisistä syistä.

Lopullinen paalujen katkaisu tehdään suunnitelmien mukaisista katkaisukorkeuksista kohtisuoraan paalun pituusakselia vastaan. Paalujen katkaisu voidaan tehdä esimerkiksi polttoleikkaamalla tai plasmaleikkurilla.

Työjärjestykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota katkaistaessa 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 29 esitetyssä järjestyksessä. Paalun pituussuuntainen, poistettavan 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 29. RD-paalun katkaiseminen ”kuorimalla”

### 8.5 Paalujen asentaminen maahan

RD-paaluseinän asentaminen ei vaadi asennuskalustolta erityisiä ominaisuuksia, joten asennus voidaan yleensä tehdä normaalilla porapaalutuskalustolla. Kaluston osalta on kuitenkin huomioitava, että paalujen kylkiin hitsatuille lukkoprofiileille on leuoissa ja muissa koneen osissa tilaa ja riittävä ohjaus. Paaluja asennettaessa on suositeltavaa, että porausvaunun leuoissa on tuet joihin lukkoprofiili voi tukeutua kahdessa suunnassa. Seinän pituussuunnassa tuki auttaa paalua asemoitaessa ja porausta aloitettaessa, RF-lukkoprofiilin asettaminen oikeaan asemaan RM-lukkoprofiiliin liityttäessä. Seinän poikkisuunnassa tuki estää paalun pyörähtämisen asentamisen aikana.Paalun ohjaaminen porapöydän tai leukojen avulla on tärkeää paaluseinän pystysuoruuden kannalta.
Paaluseinän asentamisen kannalta on edullista, että paalut pystytään asentamaan mahdollisimman pitkistä elementeistä jatkoshitsaukset minimoiden. Mikäli RD-paaluseinälle sallitaan vain pieni sijaintipoikkeama, tulisi käyttää maahan asennettuja teräspalkkeja ohjaamassa seinälinjaa. Palkit asennetaan työalustojen teon yhteydessä. Sekä RD-paalujen että RD-paaluseinän asennuksessa tulee poraustarkkuuden ja porausstabiliteetin varmistamiseksi huolehtia, että poratangot ja uppovasara pysyvät keskeisesti paalussa ja poramaston alapää tukevasti telatasossa. Epästabiili porausasema voi aiheuttaa sijaintipoikkeamia, lukkoprofiileiden jumiutumista, lukkojen repeytymistä tai maakengän irtoamisen, jos paalujen pituusakselit eivät pysy keskenään yhdensuuntaisina.

#### Ensimmäinen paalu

Kallioon ulotettavan RD-paaluseinän teko pyritään aloittamaan kohdasta, jossa kallion pinta on syvimmillään. Seuraava paalu voidaan porata edellistä paalua syvemmälle, mutta syvempi upotus on huomioitava RF-lukkoprofiilin pituudessa. Seuraavaa paalua voidaan porata ainoastaan sen verran edellistä paalua syvemmälle, kuin mitä RF-lukkoprofiilia puuttuu paalun kärjestä, kuten kuvassa 30 on esitetty.

Ensimmäisen paalun asennuksessa on varmistettava, että lukkoprofiilit pysyvät halutussa linjassa, eikä paaluputki pääse pyörähtämään. Paras tapa varmistaa ensimmäisen paalun asento ja seinän lähtösuunta on käyttää paalutuslaitteen leuoissa tukea, johon lukkoprofiilit tukeutuvat asennettaessa. Ensimmäistä paalua asennettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota paalun suoruuteen, jotta seinästä tulee mittatarkka. Myös seuraavien paalujen porausta aloitettaessa on paalun suoruuteen kiinnitettävä huomiota. Liian vinoon porattu paalu voi vaurioittaa lukkoprofiileita tai pyrkiä ”kaatamaan” seinää. Tosin seuraavat paalut tukeutuvat aina edelliseen, joten ne pysyvät paremmin linjassa. Jos paalujen linjaus on erityisen tarkka, paalut on suositeltavaa asentaa maanpinnan tasoon rakennetun ohjainkehikon läpi.

Ensimmäisenä porattavassa RD-paaluseinän paalussa ei saa olla RF lukkoprofiilia, katso kuva 11. Porakruunun avarrinosat tekevät maahan reikää, johon mahtuu vain RM lukkoprofiili. Vaikka RD-paaluseinän asennus jatkuisi vain yhteen suuntaan ensimmäisestä paalusta, on ensimmäisessä paalussa yleensä kaksi RM lukkoprofiilia. Syynä on paaluputken epäpyöreyden parempi hallinta lukkojen hitsauksen yhteydessä. Mikäli ensimmäisestä paalusta jatketaan seinää molempiin suuntiin, on ensimmäisessä paalussa oltava kaksi RM lukkoprofiilia suunnitelman mukaisissa suuntakulmissa.

#### Seuraavat paalut

RD-paaluseinä voidaan asentaa joko seinälinjan suuntaisesti porapaalutuskalusto perä edellä ajaen tai seinälinjan sivusta, riippuen käytettävästä kalustosta. Seinä voidaan asentaa kummalta puolelta seinää tahansa tai kumpaan suuntaan tahansa. Asennus suoritetaan kuitenkin aina niin, että RM-lukkoprofiili on paalussa seinän etenemissuunnan puolella. Asennus voidaan aloittaa myös seinälinjan keskeltä tai kulmakohdasta paalulla, johon on asennettu kaksi RM-lukkoprofiilia.

Porausta aloitettaessa on RF-lukkoprofiili aina saatava lukkiutumaan edellisen paalun RM-lukkoprofiiliin. RF-lukkoprofiilin alapään ja paalun alapään välisen mitan kasvaessa suureksi, saattaa tämä olla mahdotonta ja paalun paikalleen saaminen, linjaaminen sekä porauksen aloittaminen saattavat hankaloitua. Ennakoimalla poraussyvyyden muutosta seinän edetessä voidaan porrastusta jakaa useammalle paalulle. Vaihtoehtoisesti voidaan tarvittaessa kaivaa porattavan paalun kohdalta pintamaata pois siten, että poraaminen alkaa alemmalta tasolta ja lukkoprofiilit saadaan kytkettyä ennen poraamisen aloitusta. Väliaikaisen jatkopalan käyttäminen edellisen paalun yläpään jatkeena mahdollistaa myös RF-lukon liittämisen edellisen paalun RM-lukkoon heti porauksen alussa. Kun paalu on porattu, voidaan väliaikainen jatkopala poistaa edellisestä paalusta.

RD-paalun kohdatessa suuren kiven, lohkareen tai kallion, pidetään syöttövoima pienenä ja nostetaan pyöritysnopeutta. Menettelyllä vähennetään ilmiötä, jossa paalu pyrkii muuttamaan porauksen edetessä suuntaansa. Tällöin varmistetaan asentamisen luotettava eteneminen lukkoprofiileihin kohdistuvien rasituksien ja kitkan pysyessä pieninä.

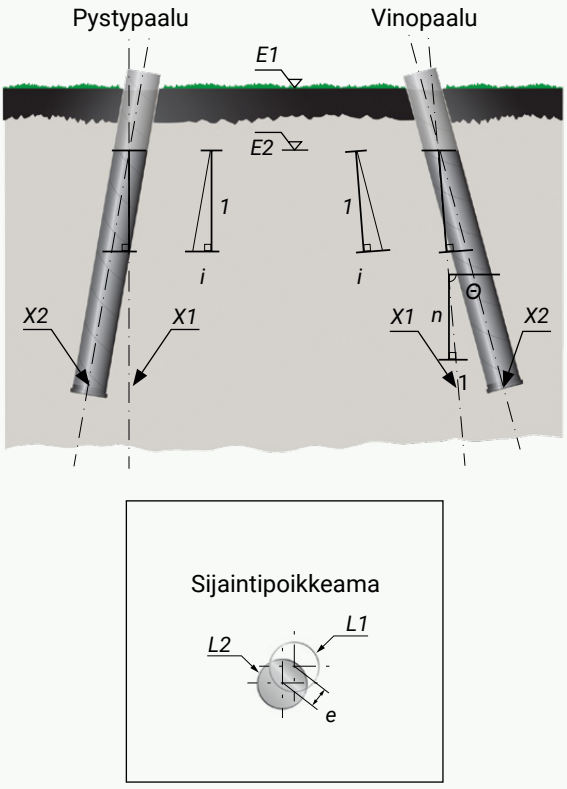
Vinolla kalliopinnalla RD-paaluseinän paalut on suositeltavaa asentaa nousevan kalliopinnan suuntaan, jolloin lukkoprofiilit voidaan ulottaa lähelle paaluputken alapäätä. Mikäli on oletettavissa, että kallionpinta laskee asennussuunnassa ja paalu on asennettava syvemmälle kuin edellinen, RF-lukkoprofiili ei voi ulottua paalun päähän asti, katso kuva 30. Jos RF-lukkoprofiili ulottuu paalun alapäähän, lukkoprofiili törmää edellisen paalun avarrinrenkaaseen tai kallioon ja asennus edellistä paalua alempaan tasoon ei ole mahdollista. Niissä paaluseinissä joiden alaosalle on asetettu vedenpitävyysvaatimuksia, on lukkoprofiilit ulotettava niin alas kuin mahdollista.

Jos paalu halutaan asentaa esimerkiksi 3 metriä edellistä syvemmälle, on RF-lukkoprofiilin päätyttävä vähintään 3 metriä ennen paalun päätä, kuten kuvassa 30 on esitetty. Koska tässä tapauksessa paalun asennuksen 3 ensimmäistä metriä on asennettava ilman, että vierekkäiset paalut on kytketty lukkoprofiileilla toisiinsa, on asennuksessa suositeltavaa käyttää asennuskehikkoa, jotta paalut pysyvät asennuslinjassa ja lukkoprofiilit saadaan kytkeytymään toisiinsa. Vaihtoehtoisesti asennettavan paalun kohdalta voidaan poistaa pintamaata, jolloin kyseisen paalun asentaminen voidaan aloittaa alemmalta tasolta ja näin saadaan lukkoprofiilit kytkeytymään toisiinsa.

Kuva 30. Porattaessa RD-paalu edellistä paalua syvemmälle, ei leveä lukkoprofiili saa ulottua paalun kärkeen asti

Paalutustyön kaikissa vaiheissa on huolehdittava työturvallisuudesta. Asennettuihin paaluihin voi porauksen aikana muodostua painetta, joka purkautuessaan äkillisesti paalua pitkin ylös aiheuttaa vaaratilanteen. Paalujen päiden sulkeminen paineiskun ja putoamisvaaran takia on tehtävä luotettavasti.

Jos seinä ei liity päistään muihin rakenteisiin tai pystysuoruudella ei muuten ole merkitystä, käytetään asennuksessa porapaalujen yleisiä asennustoleransseja.




*E1:* Työskentelytaso
*E2:* Katkaisutaso
*X1:* Suunniteltu keskilinja
*X2:* Toteutunut keskilinja
*i:* Poikkeamakulman (paalun suunnitellun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti)
*n:* Suunnitellun keskilinjan ja vaakasuoran välinen vinous
*Θ:* Suunnitellun keskilinjan ja vaakasuoran välinen kulma
*L1:* Suunniteltu sijainti
*L2:* Toteutunut sijainti
*e:* Poikkeama vaakatasossa mitattuna työskentelytasolta

Kuva 31. Geometristen rakentamistoleranssien määritelmät

### 8.6 Vaaka- ja pystysuuntaisen sijainnin toleranssit

RD-paaluseinän sijaintipoikkeamat ovat porausmenetelmän johdosta yleensä vähäisiä. Maapohjan kivisyys ja lohkareisuus eivät yleensä heikennä RD-paaluseinän sijaintitarkkuutta. Sijaintitarkkuutta voidaan tarvittaessa parantaa käyttämällä porapaalujen upotuksessa ohjainrakenteita.

RD-paaluseinän etenemä asennussuunnassa riippuu useasta tekijästä, muun muassa paaluputken pyöreydestä, lukkojen välisestä välyksestä ja asennuksesta. Toteutuneiden kohteiden perusteella RD-paaluseinän etenemä on yleensä hieman suurempi kuin teoreettinen etenemä.

RD-paaluseinän paalujen pystysuoruuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, jos seinästä tehdään suljettu rakenne tai jos joku muu seikka asettaa seinän pystysuoruudelle normaaleja porapaalujen asennustoleransseja tiukempia vaatimuksia.

Porapaalujen sijainnin mittauksen tarkkuus ennen ja jälkeen paalun asennuksen on 10 millimetriä, elleivät suunnitelmat toisin edellytä. Kuvassa 31 on esitetty rakentamistoleranssien määritelmät.

Toleransseista voidaan sopia erikseen ennen työn aloittamista, mikäli rakenteelliset vaatimukset, pohjaolosuhteet tai käytettävä paalutuskalusto edellyttävät tiukempia toleransseja tai sallivat suuremmat toleranssit kuin esitetyt toleranssit. RD-paaluseinien sallitut sijaintipoikkeamat on esitetty taulukossa 13.

**Taulukko 13. RD-paaluseinien sallitut sijaintipoikkeamat**

| RD-paaluseinän käyttötarkoitus | Yläpään sijainti-poikkeama vaakata-sossa | Kaltevuus-poikkeama pysty- tai vinopaalut, joiden kaltevuus $n \geq 15$ ($\Theta \geq 86°$) | Kaltevuus-poikkeama vinopaalut, joiden kaltevuus $4 \leq n < 15$ ($76° \leq \Theta < 86°$) |
|---|---|---|---|
| **Väliaikainen rakenne, ei pystykuormia** | ≤ 50 mm | ≤ 2 % (0,02 m/m) | ≤ 4 % (0,04 m/m) |
| **Pysyvä rakenne tai pystykuormia** | ≤ 25 mm | ≤ 1,5 % (0,015 m/m) | ≤ 2,5 % (0,025 m/m) |

### 8.7 Paaluputkien sijainnin korjaaminen poraamisen aikana

Poraus menetelmänä sekä RD-paaluputkien jäykkyys pienentävät seinän taipumusta kallistua etenemissuuntaan asennuksen aikana. Kallistumista saattaa kuitenkin esiintyä varsinkin käytettäessä suuria ja tehokkaita porauskalustoja. Kallistumista voidaan vähentää käyttämällä riittävän jäykkää ja vakaata ohjainkehystä sekä pienentämällä syöttönopeutta. Tällöin yleensä varmistetaan asentamisen luotettava eteneminen lukkoprofiileihin kohdistuvien rasituksien ja kitkan pysyessä pieninä.

### 8.8 Ankkuroinnin asentaminen

RD-paaluseinän ankkurointiin voidaan käyttää samoja ankkurityyppejä kuin teräsponttiseinässäkin. Ankkurin asentamiseksi porapaaluseinään tehdään riittävän suuri reikä esimerkiksi timanttiporauksella. Ankkurireikä pyritään ensisijaisesti tekemään keskelle paalua, mutta tarvittaessa voidaan myös porata lukon kohdalle. Haastavissa olosuhteissa maa- ja vesivuodon hallintaan ankkurireiästä on kiinnitettävä huomiota, esimerkiksi paineellisen pohjaveden alla tai jos maa-aines on erityisen hienoa. Purkautuvan maa- ja vesimassan hallintaan voidaan käyttää esimerkiksi pikabetonia tai erillistä suojaputken ympärille asennettavaa kaulusta, joka asennetaan ankkuroinnin yhteydessä ja jää tukiseinään. Pikabetonin kohdalla on huomioitava toimenpiteet ankkurien jännityksen jälkeen. Mikäli kyseessä on vesitiivis tukiseinä, suojaputken ja kallion välisen liitoksen tiiveyteen on myös kiinnitettävä huomiota.

### 8.9 Vaakapalkit ja puristussauvat

Tukiseinärakenteen muiden teräsrakenteiden kuin teräspaalujen (esim. vaakapalkit, puristussauvat sekä niiden väliset liitokset ja detaljit) toteutuksessa noudatetaan teräsrakenteiden toteutusstrandardin SFS-EN 1090-2 vaatimuksia ja ohjeita.

Vaakapalkit ja puristussauvat toteutetaan teräsrakenteisina. Profiileina voidaan käyttää putkipalkkeja tai HEB-profiileita. Vaakapalkkien jatkoksista ja kiinnityksistä tulee olla yksityiskohtaiset rakennepiirustukset, joiden mukaan rakenteet tehdään. Jatkokset tulee sijoittaa suunnitelmissa määritettyihin paikkoihin.

Kuormitusten tulee kohdistua keskeisesti puristussauvoille. Tästä syystä puristussauvojen päiden katkaisuun ja puristussauvojen ja vaakapalkkien liitosten tekemiseen on kiinnitettävä erityistä huolellisuutta.

Tukirakenteet tulee kiinnittää paaluseinään siten, etteivät ne irtoa työkoneiden kolhaisun tai tukiseinän muodonmuutosten seurauksena.

### 8.10 Kaivaminen, täyttö, veden johtaminen ja vedenpoisto

Kaivu toteutetaan kaivantosuunnitelman mukaisesti tukitaso kerrallaan. Kaivutyössä on huolehdittava, että kaivuluiskalla on riittävä varmuus sortumista vastaan. Kaivinkoneen kaivaessa työtasonsa alapuolelle, koneen ja mahdollisen työalustan paino kuormittavat kaivuluiskaa. Rakennustyöt kaivannossa tehdään yleensä kuivatyönä, jolloin kaivannon pohja tulee pitää kuivana. Kaivantoon tulee yleensä järjestää vähintään sadevesien ja sulamisvesien kuivatus.

Alennettaessa pohjavettä kaivannossa, on pohjaveden alennustoimenpiteet ja kaivuvaiheistus koordinoitava keskenään. Pohjaveden aleneminen on todennettava kaivantoalueelle asennettavista havaintoputkista.

### 8.11 Paaluputkien ylösnosto

Väliaikaisissa rakenteissa RD-paaluseinän paalut voidaan käyttää uudelleen useita kertoja. RD-paalut tulee täyttää tarvittaessa maa-aineksella ennen paalujen ylösnostoa, jotta paalujen poistosta ei aiheudu merkittäviä painumia tai vaaratilanteita. Väliaikaisen paaluseinän kohdan pohjamaa ja mahdolliset rakennekerrokset on tiivistettävä kohteen vaatimuksien edellyttämään tiiviyteen RD-paaluseinän poistamisen jälkeen.

Paalujen ylösnosto voidaan tehdä esimerkiksi ponttivasaralla. Ylösnostettavissa RD-paaluseinissä tulee huomioida mahdollisen maakenkään lukitun avarrinrenkaan vaikutus paalun ylösnostamiseen.

### 8.12 Kalliotapit ja ankkurointipultit

RD-paaluseinän alapään tuenta kallioon voidaan tehdä poraamalla seinän kaikki paalut tai osa paaluista kallioon. Alapään tuenta kallioon voidaan tehdä myös poraamalla erilliset ankkurit, kalliotapit tai pienemmät porapaalut paaluputkien läpi kallioon. Kun paalut asennetaan kallioon, ei juuripalkkia normaalisti tarvita seinän alapään tuennassa.

RD-paaluseinän alapään ollessa maakerroksissa, RD-paaluseinän alapää tukeutuu maassa passiivisen maanpaineen varaan tavanomaisen tukiseinärakenteen tavoin. RD-paaluseinän suuresta taivutusjäykkyydestä johtuen tukitasojen määrä ei kasva suureksi. Asentamalla RD-paaluseinä riittävästi kallion sisään ja injektoimalla liitoskohta, tukiseinä toimii osittain momenttijäykkänä mastorakenteena, jolloin tukitasojen tarve vähenee. RD-paaluseinän tuenta voidaan tehdä sisäpuolisena tai ulkopuolisena tuentana.

### 8.13 Tiivistys

RD-paaluseinän lukkojen vesitiiviyttä voidaan parantaa kohdissa 6.4 ja 7.4 esitetyillä menetelmillä. Lopullinen vesitiiviyden aste riippuu käytetystä tiivistysaineesta ja -menetelmästä, asennustyöstä, maaperästä sekä vedenpaine-erosta seinän eri puolilla.

Lukkojen tiivistämisen lisäksi voidaan seinän takapuolinen maa injektoida vesitiiviiksi kohdan 7.4 periaatteiden mukaisesti. Injektointi voidaan suorittaa joko RF-lukkoprofiilissa olevan injektointikanavan kautta, käyttämällä erillistä injektointikanavaa, tai suihkuinjektoinnilla.

Rei'ittämällä RF-lukkoprofiilissa oleva injektointikanava, saadaan injektointi suoritettua tarvittaessa koko paalun pituudelle. Koeinjektointien perusteella reikien välimatkan on oltava maksimissaan yksi metri ja ylimmän reiän etäisyys maanpinnasta noin kaksi metriä. Injektointimassaa on käytettävä selkeästi teoreettista määrää enemmän, koeinjektointien perusteella ainakin kolminkertainen määrä. Massa kulkeutuu ensiksi niille alueille, joille se helpoiten pääsee. Vasta niiden täytyttyä massa täyttää muita alueita. Reiät tulee tukkia jollakin sopivalla menetelmällä paalujen porauksen ajaksi, jottei injektointikanava täyty maa-aineksella estäen injektoinnin.

RD-paaluseinän alapään injektoituminen ja kalliokontaktin tiiveys todennetaan visuaalisesti, kun kalliopinta on saavutettu. Tarvittaessa tiiveyttä voidaan parantaa maainjektoinnilla, juuripalkilla, suihkuinjektoinnilla tai kallion verhoinjektoinnilla.

### 8.14 Pintakäsittely ja verhoilut

RD-paaluseinän paalut voidaan toimittaa valmiiksi pinnoitettuina kohdassa 7.5 esitetyn mukaisesti. Pinnoitteen säilyminen ehjänä ja siistinä riippuu suuresti asennustyöstä ja maaperäolosuhteista.

Pinnoitettaessa RD-paaluseinä työmaalla valmiina, voidaan se pinnoittaa erilaisilla maaleilla tai massoilla käyttötarpeen mukaan. Ennen pinnoitteen asentamista on paalujen pinta puhdistettava käytettävän pinnoitteen edellyttämään puhtausasteeseen.

RD-paaluseinä voidaan myös verhoilla esimerkiksi erilaisilla levytyksillä tai kaseteilla. Verhoilu voidaan kiinnittää joko suoraan paaluihin tai erilliseen runkoon. Käytettäessä erillistä runkoa, voidaan myös oikaista seinässä olevat mahdolliset sijaintipoikkeamat.

# 9 Valvonta, testaus ja seuranta- ja mittaustarkkailu

SSAB noudattaa toiminnassaan EN ISO 9001 laatujärjestelmä- ja EN ISO 14001 ympäristöjärjestelmästandardien mukaisia toimintatapoja. Laatujärjestelmillä varmistetaan prosessien toimivuus raaka-aineiden hankinnasta aina lopputuotteen asiakkaalle toimittamiseen asti.

SSAB:n valmistamat teräsputkipaalut perustuvat Raahen terästehtaalla valmistettuun korkealaatuiseen teräkseen. Halkaisijaltaan ≥ RD400 teräsputkipaalut valmistetaan kierresaumahitsaamalla ja pieniläpimittaiset ≤ RD320 paaluputket valmistetaan pituussaumahitsaamalla. Lukkoprofiilien hitsaus RD-paaluihin tehdään automatisoidulla tuotantolinjalla yhtäaikaisesti molemmille puolille putkea. Lukkoprofiilien hitsauksen aiheuttamien teräsputken muodonmuutosten hallintaan on kiinnitetty erityistä huomiota.

SSAB:n RD-paaluseinissä käytettävät teräspaalut ovat CE-merkittyjä tuotteita ja niille on myönnetty Eurooppalainen Tekninen Arviointi ETA 12/0526.

### Tekniset toimitusehdot

Paaluputkien tekniset toimitusehdot ovat standardin SFS-EN 10219-1 mukaisia. Mitat ja toleranssit ovat standardin SFS-EN 10219-2 mukaisia. Paaluputkilla $d \leq 350$ mm toleranssit ovat tiukemmat ja niiden osalta noudatetaan eurooppalaista teknistä hyväksyntää ETA 12/0526. Paalumateriaalista toimitetaan SFS-EN 10204 tyypin 3.1 mukainen ainestodistus.

Paaluputkiin kiinnitettävät lukkoprofiilit ovat standardin SFS-EN 10248-1 mukaisia. Lukkoprofiileiden kiinnittämisessä paaluputkiin noudatetaan SFS-EN 12063 mukaisia toleransseja sekä vaatimuksia ja ohjeita hitsauksille ja niiden tarkastuksille.

### 9.1 Valvonta

Kaikkien tukiseinärakenteen valmistamiseen liittyvien töiden valvonta tulee suorittaa vähintään SFS-EN 1997-1 luvun 4 mukaisesti. Lisäksi paalutustyöhön kuuluvia töitä valvotaan SFS-EN 1997-1 luvun 7 mukaisesti. Rakennustoiminnan ja työnsuorituksen valvonta sekä rakenteen toiminnan tarkkailu rakentamisen aikana ja sen jälkeen tulee määritellä geoteknisiin suunnitelmiin sisältyvässä valvontasuunnitelmassa.

Valvontasuunnitelmassa on määriteltävä valvonnan tyyppi, laatu ja tiheys, joiden on oltava oikeassa suhteessa seuraaviin seikkoihin nähden:

- suunnitteluoletusten epävarmuuden aste
- kuormitus- ja pohjaolosuhteiden monimutkaisuus
- potentiaalinen murtumisriski rakentamisen aikana
- suunnitelmanmuutosten tai korjaustoimien tekemisen toteutettavuus rakentamisen aikana.

Lisäksi valvontasuunnitelmassa tulee esittää hyväksyttävät rajat valvonnassa saataville tuloksille. Työmaalla tulee olla käytössä valvontasuunnitelman perusteella laadittu valvonta-aikataulu. Valvonta-aikataulussa tulee olla kirjattuna vähintään seuraavat seikat:

- kunkin tarkistuksen toistumistiheys
- kunkin tarkastuksen sisältö
- muodonmuutosten, voimien ja vedenpinnan tasojen kriittiset arvot.

### 9.3 Testaus

Maaperän testaukset tulee suorittaa SFS-EN 1997-1 kohdan 3 mukaisesti.

Mahdollisten RD-paaluille sekä RD-paaluseinän primääri- ja sekundäärielementeille suoritettavien koekuormituskokeiden tulee olla SFS-EN 1997-1 kohdan 7.5 mukaisia.

Teräsrakenteiden hitsausten tarkastuksissa noudatetaan paaluelementeillä SFS-EN 12063 ja muilla teräsrakenteilla SFS-EN 1090-2 mukaisia vaatimuksia ja ohjeita.

### 9.3 Seuranta- ja mittaustarkkailu

RD-paaluseinän asennustyön eri työvaiheita tulee tarkkailla seuranta- ja mittaustarkkailun avulla. Tarkkailun tulee olla paalutustyön menetelmäkuvauksen ja toteutussuunnitelman mu-

kaista. Menetelmäkuvauksen ja toteutussuunnitelman tulee olla suunnittelun ja SFS-EN 1997-1 mukaisia.

Mikäli projekti sijaitsee rakennetulla alueella, tulee työmaan sekä lähirakennusten tärinä- ja melutasoja seurata ja kirjata säännöllisesti. Lisäksi paalutuksen mahdollisia vaikutuksia läheisiin herkästi vaurioituviin rakennuksiin tai epästabiileihin luiskiin tulee tarkkailla. Tarkkailumenetelmiä voivat olla esimerkiksi tärinän, huokosvedenpaineen, muodonmuutosten ja kallistumisen mittaukset. Mittaukset tulee suorittaa paikallisen käytännön mukaisesti, jotta tuloksia voidaan verrata aluetta koskeviin kriteereihin.

Tarkkailutiheys tulee määrittää ja siitä tulee sopia ennen paalutustyön aloittamista. Tarkkailupöytäkirjat laaditaan sovituin aikavälein ja ne on pidettävä työmaalla saatavilla koko paalutustyön ajan. Työn päätyttyä ne arkistoidaan.

Kaikkien seuranta- ja mittaustarkkailussa käytettävien laitteiden tulee olla tarkoitukseensa sopivia ja kalibroituja.

Kaikki työn toteutuksen aikana syntyneet poikkeamat suunnitelmista on ilmoitettava sekä dokumentoitava.

Kallioon ulottuvilla porapaaluilla porauksen aikaisten havaintojen perusteella ja porausputken painumanopeuden perusteella kokenut porari voi arvostella kallioon ehjyyttä. Tätä kautta vastaava pohjarakennesuunnittelija voi arvioida geoteknisen kestävyyden riittävyyden. Tarvittaessa paalun geotekninen murtokestävyys voidaan mitata staattisella tai dynaamisella koekuormituksella.

Asennettujen paalujen siirtymiä seurataan jatkuvasti asennustyön aikana. Paalutustyön päätyttyä mitataan paalujen sijaintipoikkeamat katkaisutasossa. Jos paalujen sijaintipoikkeamat ovat suurempia kuin suunnitelmissa on sallittu, vastaava pohjarakennesuunnittelija tarkistaa, miten sijaintipoikkeaman ylitys vaikuttaa paaluihin ja ylärakenteisiin syntyviin rasituksiin. Tarkastelujen perusteella päätetään voidaanko paalut vielä hyväksyä.

Paalutustyön jälkeen toteutunut rakenne dokumentoidaan. Dokumentointiin kirjataan paalujen sijainnit ja mitat sekä niiden ylä- ja alapäiden tasot. Mittaukset suoritetaan mahdollisimman pian asennuksen jälkeen. Sijainnin mittauksen tarkkuus on 10 mm, korkeustason 5 mm, kaltevuuden 0,5 % ja suunnan 5 gon.

Paalujen tarkastusasiakirjat ja mahdolliset muut rakennusasiakirjat tulee säilyttää arkistoissa sopimuksen ja lakisääteisten vaatimusten edellyttämällä tavalla.

Paalujen suoruus tarkastetaan ja dokumentoidaan asennuksen jälkeen. Asennuksen jälkeen tyhjinä ja kuivina pysyville paaluille tarkastus voidaan tehdä laskemalla paaluputkeen taskulamppu mittanauhan varassa. Paalut, jotka eivät täytä suoruusvaatimusta, ilmoitetaan kohteen vastaavalle pohjarakennesuunnittelijalle joka päättää jatkotoimenpiteistä.

Mikäli pohjaveden pinnan tai vapaan vedenpinnan tasot ovat suunnittelussa kriittisiä parametreja, on niitä seurattava ja mitattava niin usein, että niistä saadaan luotettava kuva. On suositeltavaa jatkaa pohjaveden pinnan tasojen tai huokosvedenpaineen seuranta- ja mittaustarkkailua työn valmistumisen jälkeen. Tarkkailua jatketaan siihen saakka, kunnes on selvitetty, että haittavaikutuksia ei ole.

Tukiseinän yläpinnan vaakasuuntaista siirtymää tulisi mitata säännöllisesti etukäteen määritetyissä kohdissa riittävällä tarkkuudella sillä tavalla, että tuloksia voidaan verrata oletettuihin suunnitteluarvoihin. Kun tukiseinärakenteen lähellä on herkkiä rakennuksia tai laitteita, tulee edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi ainakin seuraavatseikat selvittää:
- siirtymän mittaaminen valitulla syvyydellä
- näiden rakennusten ja laitteiden painuman mittaaminen
- ankkurointivoimien mittaaminen.

# 10 Työmaan dokumentointi

Työmaapöytäkirjojen, jotka koskevat kohdassa 9 esitettyjä pysyvien tukiseinärakenteiden valvontaa, testausta ja seuranta- ja mittaustarkkailua koskevia seikkoja, tulee olla saatavilla työmaalla.

### 10.1 Valmistusta koskevat työmaapöytäkirjat

Työmaapöytäkirjojen, jotka koskevat kohdassa 9 esitettyjä pysyvien tukiseinärakenteiden valvontaa, testausta ja seuranta- ja mittaustarkkailua koskevia seikkoja, tulee olla saatavilla työmaalla.

### 10.2 Valmista työtä koskevat työmaapöytäkirjat

Lopullisissa työmaan dokumentaatioissa tulee olla kirjattuina seuraavat tiedot:
- tukiseinärakenteen ja maahan jäävien lisärakenteiden toteutuneet sijainnit kiintopisteiden tai -linjojen suhteen
- luettelo rakenteen käyttöä, kunnossapitoa ja tarkastusta koskevista merkittävistä tiedoista
- suunnitteluraportissa esitetyt tiedot pohjaveden pinnan tasoista ja huokosvedenpaineesta
- erityisohjeet toimenpiteistä, jotka on suoritettava työn valmistumisen jälkeen, jos ne katsotaan tarpeellisiksi rakentamisen aikana tehtyjen havaintojen vuoksi
- kuivatusjärjestelmien kunnossapidon ohjeet, käytettävät menetelmät ja kunnossapidon tiheys
- seinän takana olevia lisäkuormia koskevat rajoitukset
- tukiseinän rakentamisen aikaiset siirtymät
- tapahtumat jotka haittasivat rakentamista sekä se, miten niiden vaikutuksia käsiteltiin
- viereisten rakennusten vaurioitumispöytäkirjat
- tunkemis- ja kuormitustestien tulokset.

# 11 Erityisvaikutukset

Niin kauan, kun käytettävissä ei ole vastaavia eurooppalaisia standardeja, paalutustöissä tulee noudattaa asiaan kuuluvia kansallisia standardeja, määrittelyjä ja lainsäädännön vaatimuksia, lakeja sekä muita normeja ja ohjeita, jotka koskevat:
- työalueen turvallisuutta
- työmenetelmien turvallisuutta
- paalukaivannon sisäpuolella tapahtuvien käsin tehtävien työvaiheiden ja tarkastusten lainmukaisuutta
- paalutuskoneiden ja paalutuksessa käytettävien muiden laitteiden sekä työkalujen toimintavarmuutta.

### 11.1 Turvallisuus

Tukiseinärakennetta valmistettaessa tulee noudattaa turvallisuutta koskevia lainsäädännön vaatimuksia sekä eurooppalaisia ja kansallisia standardeja ja laatuvaatimuksia. Paalutuksessa käytettävien koneiden ja laitteiden tulee olla standardien SFS-EN 16228, -2 ja -7 mukaisia.

Työssä tulee noudattaa turvallisuusnäkökohtia, jotka koskevat:
- työalueen turvallisuutta
- paalutuskoneen ja paalutuksessa käytettävien muiden laitteiden sekä työkalujen toiminnallista turvallisuutta
- työmenetelmien turvallisuutta.

Erityisesti on kiinnitettävä huomiota:
- kaikkiin työvaiheisiin, jotka edellyttävät työntekijöiden työskentelyä raskaiden laitteiden ja raskaiden työkalujen läheisyydessä
- avoimien paalukaivantojen/avoimena oleviin paaluputkien vaarallisuuteen
- käsin tehtäviin työvaiheisiin ja tarkastuksiin, jotka suoritetaan paalukaivannon sisäpuolella
- paalujen ja raudoitteiden nostojen ja siirtojen suorittamiseen.

Käsinkaivu tulee pitää mahdollisimman vähäisenä. Se tulee lisäksi rajoittaa kuiviin olosuhteisiin, joissa maaperä on luonnostaan stabiilia tai joissa kaivannon seiniä tuetaan jatkuvasti.

### 11.2 Vaikutus ympärillä oleviin rakennuksiin ja laitteisiin

Jos rakennustyömaan läheisyydessä on herkästi vaurioituvia rakenteita tai laitteita, niiden kunto tulee selvittää ja kirjata huolellisesti ennen työn suorittamista.

Paalutustyöstä aiheutuvat häiriöt ja ympäristöhaitat pidetään mahdollisimman vähäisinä annettujen rajojen puitteissa.

Häiriöitä tai ympäristöhaittoja voivat olla:
- maakerrosten siirtyminen ja/tai tiivistyminen
- maakerrosten häiriintyminen ja huokosvedenpaineen kasvu
- porapaalujen porauksen poistama maa-aines sekä porauksen huuhteluaineet
- tärinä
- melu
- maan, veden ja ilman saastuminen.

Mahdollisen häiriön tai ympäristövaikutuksen laatu ja laajuus riippuu:
- paalutuspaikasta
- paalutuspaikan maaperä- ja pohjavesisuhteista
- paalutusmenetelmästä
- työjärjestyksestä ja -vaiheesta.

Paalutustöissä noudatetaan ympäristön suojauksen ja päästörajojen osalta kansallisia ohjeita ellei eurooppalaisia standardeja ole. Käytettävien materiaalien soveltuvuus ympäristöön tulee olla osoitettavissa. Tästä tulee sopia tilaajan kanssa, joka vahvistaa materiaalien tai apuaineiden käytön.

### 11.3 Meluntorjunta

Erityistoimenpiteitä on suoritettava sen varmistamiseksi, että melun taso pysyy kansainvälisten tai kansallisten ohjeiden mukaisissa rajoissa.

Jos läheisyydessä olevat henkilöt saattavat altistua melulle, melutason odotusarvot tulee osoittaa joko koepaalutuksen tai vertailukelpoisten kokemusten perusteella ja arvioida, onko paalutustapahtuma hyväksyttävissä. Tarvittaessa paalutustyön aikana tulee suorittaa seurantaja mittaustarkkailua sen varmistamiseksi, että melun taso pysyy sovituissa rajoissa.

Työmaa-alueella, missä melu ylittää 80 dB, on käytettävä kuulonsuojaimia. Ulkopuolisten pääsy melualueelle on estettävä.

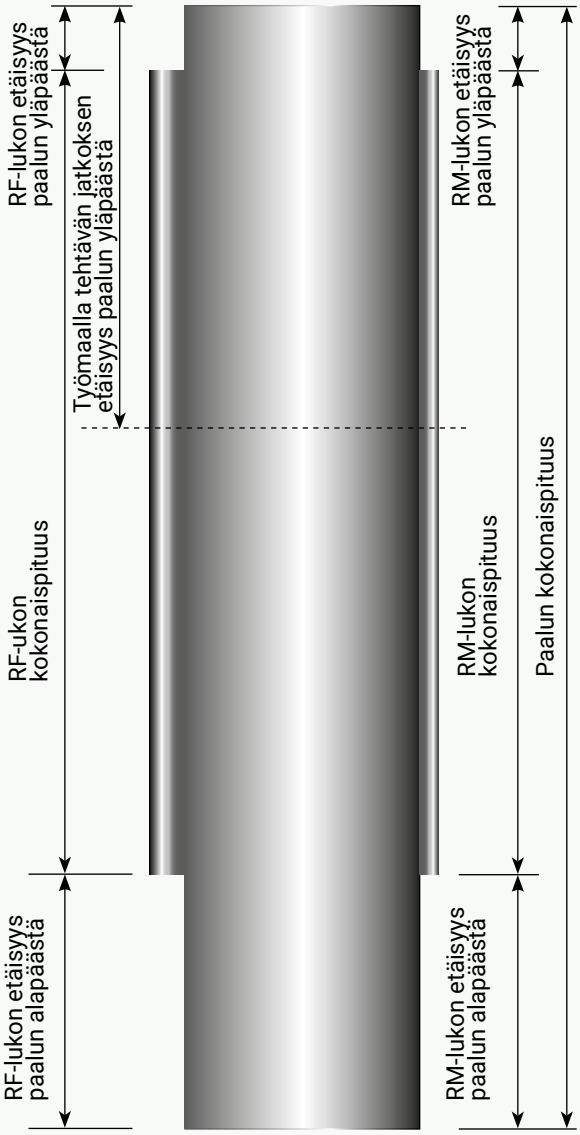
### 11.4 Tukiseinien veden läpäisevyys

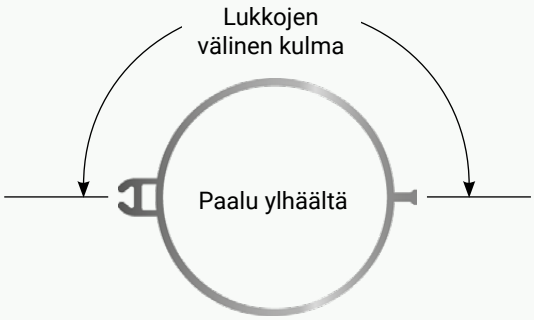
RD-paaluseinän veden läpäisevyyteen vaikuttaa voimakkaasti maaperän ominaisuudet. Yleistäen voidaan sanoa, että veden läpäisevyyden ollessa pieni (hienorakeiset maat) ja vedenpaine-eron ollessa eri puolilla seinää enintään kohtuullinen (<50…80 kPa), lukon läpäisevä vesimäärä on merkityksettömän pieni. Vedenpaine-eron kasvaessa ja maaperän ollessa hyvin vettä läpäisevää, todennäköisyys vesivuotoihin lukon läpi kasvaa.

RD-paaluseinän veden läpäisevyyttä voidaan vähentää käyttämällä bitumipohjaista tiivistysainetta, joka asennetaan joko tehtaalla tai työmaalla kuumana RF-lukkoprofiiliin, tai veden vaikutuksesta laajentuvaa tiivistemassaa, kuva 18a. Vesitiiveyttä voidaan parantaa myös injektoimalla lukon kohta seinän takana, kuva 18b.

RD-paaluseinän vesitiiveyttä voidaan parantaa hitsaamalla lukkoprofiilin ja paaluputken väli sen jälkeen kun kaivu on tehty, kuva 18c. Jos lukkoprofiileiden läpi virtaava vesi tai lukoissa oleva tiivistysaine estää niiden tiivistämisen hitsaamalla, voidaan lukon eteen hitsata lattatanko/teräslevy, kuva 18d.

RD-paaluseinän alapään vedenläpäisevyys kalliossa riippuu voimakkaasti pohjavesiolosuhteista ja kallion ja välittömästi kallion päällä olevan maakerroksen vedenläpäisevyydestä. Kun RD-paaluseinän paalut asennetaan kallion sisään, estetään veden suora virtausreitti seinän alapään läpi, mikä merkittävästi vähentää tai voi estää kokonaan veden suotautumisen seinän sisäpuolelle. RD-paaluseinän ulottuessa kallion sisään voidaan seinän alapään veden läpäisevyys tarvittaessa estää kokonaan injektoimalla paalujen ja kallion välissä oleva tila.




Oletuksesta poiketen:
RM-lukko ☐
Ei lukkoa ☐

Oletuksesta poiketen:
Ei lukkoa ☐

**Paalun yksilöintitunnus:** _____

**Paalukoko:** _____

**Seinämäpaksuus:** _____

**Paalun teräslaji:**
S355J2H ☐
S440J2H ☐
S460MH ☐
S550J2H ☐

**Lukkotyyppi:**
RM/RF ☐
E21 ☐
LBP180-10 ☐

**Jatkaminen työmaalla:**
kyllä ☐
ei ☐

Tarvittavat päiden viisteet on esitettävä tilausvaiheessa.

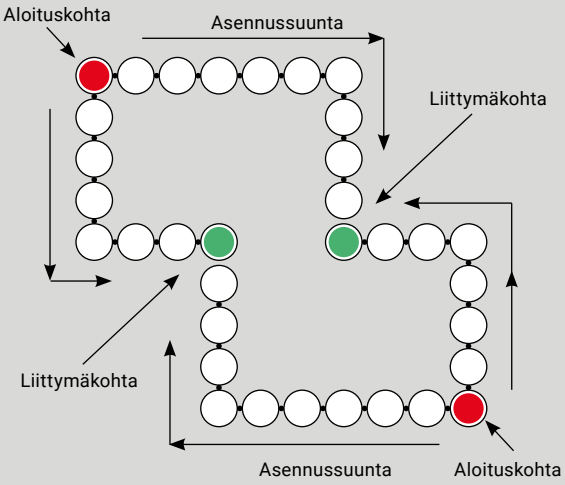
**Paalujen varustelu:**
Injektointivarustelu ☐
Muuta varustelua ☐

Kaikista varusteluista on esitettävä suunnitelma.

RD-paaluseinän paalukartassa esitettävä:

- Paalut yksilöidyin tunnuksin; koodi tai väri
- Asennuksen aloituskohdat
- Asennussuunta
- Mahdolliset seinän päiden liittymäkohdat ja -detaljit

Periaatteellinen esimerkki:




Kuva 32. RD-paaluseinän suunnitelmissa esitettäviä asioita

## MUISTIINPANOJA

## MUISTIINPANOJA

## MUISTIINPANOJA

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva pohjoismainen ja yhdysvaltalainen teräsyhtiö, joka rakentaa vahvempaa, kevyempää ja kestävämpää maailmaa lisäarvoa tuottavien terästuotteidensa ja -palveluidensa avulla. Yhteistyössä kumppaneidensa kanssa SSAB on kehittänyt SSAB Fossil-free™ -teräksen ja aikoo luoda fossiilivapaan arvoketjun kaivoksesta loppuasiakkaalle. Samalla poistamme suurelta osin oman toimintamme hiilidioksidipäästöt. SSAB Zero™, suurelta osin hiilidioksidipäästötön kierrätysteräkseen perustuva teräs, vahvistaa entisestään SSAB:n johtoasemaa ja kattavaa, raaka-aineesta riippumatonta kestävän kehityksen mukaista tarjontaamme. SSAB:llä on työntekijöitä yli 50 maassa ja tuotantolaitoksia Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa. Yhtiö on noteerattu Nasdaq Tukholmassa ja toissijaisesti Nasdaq Helsingissä. Tervetuloa matkallemme!
**www.ssab.com**, **Facebook**, **Instagram**, **LinkedIn**, **X** ja **YouTube**.

VASTUUVAPAUSLAUSEKE

Tämän asiakirjan tiedot ja tekstit on annettu ainoastaan yleisessä tiedonantotarkoituksessa 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 välillistä 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 © 2025 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