



Kari Lotvonen

COMBI-SEINÄ SATAMARAKENTAMISESSA

COMBI-SEINÄ SATAMARAKENTAMISESSA

Kari Lotvonen
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Kari Lotvonen
Opinnäytetyön nimi: Combi-seinä satamarakentamisessa
Työn ohjaaja: Vesa Kallio
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 05/2014 Sivumäärä: 76 + 9 liitettä

Satamien reunalaitureiden yleisimmiksi rakenneratkaisuiksi ovat yleistyneet teräsputkipaaluista ja ponttiprofiileista muodostettavat Combi-seinät. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja kerätä tietoja Combi-seinän asentamisesta ja asentamisen apukeinoista. Aikaisempaa yhtenäistä tietoa ei kovin paljon ole, vaan on käytetty teräsputkipaalutus ja rakennuskaivanto ohjeita.

Työssä käytettiin esimerkkityömaana Destia Oy:n Oulun Oritkarin sataman laituriurakkaa, joka tehtiin vuosina 2013–14. Työssä perehdyttiin Combi-seinän, suurpaalutuksen ja teräsponttiseinän rakentamista koskevaan kirjallisuuteen ja sähköisiin julkaisuihin. Lisäksi työssä käytettiin apuna esimerkkityömaalla esiin tulleita havaintoja, kuten paalutyypin vaihdon ja työmenetelmän muutoksen vaikutusta työtulokseen.

Opinnäytetyössä kerättiin yhteen tietoja Combi-seinän rakentamisesta ja siihen läheisesti liittyvistä suurpaalutuksesta ja teräsponttiseinistä. Työssä todettiin, että Combi-seinän asentaminen on hyvin riippuvainen pohjaolosuhteista. Työtapojen muuttaminen voi myös lisätä työn tehokkuutta huomattavasti.

Asiasanat:
Combi-seinä, teräsputkipaalu, teräspontti, suurpaalutus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Municipal Engineering

Author(s): Kari Lotvonen

Title of thesis: Combi Wall in Harbor Construction

Supervisor: Vesa Kallio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014 Pages: 76 + 9
appendices

Combi-walls made of steel pipe and sheet piles have become the most common structural solutions in wharves of the ports. The purpose of this thesis was to investigate and compile together the Combi-wall phases and installation aids. Information about Combi walls is not very consistent and to built it has been used steel pipe piling and construction trench instructions.

Literature and electronic publications about combi-walls, large diameter pipe piles and sheet piling constructions were studied. In addition, observations on a case building site were used as help, such as the effect of pile type and working method changes on the work result.

In this thesis information was collected about combi-wall construction and large diameter pipe piles and sheet piling. It was pointed out, that the combi-wall installation is very dependent on the ground conditions. The work efficiency can increase considerably, if the way of the work will be changed.

Keywords: Combi wall, Steel pipe piles, sheet piles, large diameter pipe piles

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 SATAMALAITURIRAKENTEET	8
2.1 Gravitaatiolaiturit	9
2.1.1 Kulmatukimuurilaituri	9
2.1.2 Kasuuniarkkulaituri	10
2.2 Teräslaiturit	10
2.2.1 Ponttiseinälaituri	10
2.2.2 Paalulaituri	11
2.3 Kuormat ja mitoitus	12
3 SUURPAALUT	13
3.1 Kaivinpaalut	14
3.2 Porapaalut	15
3.3 Franki-paalut	16
3.4 Vibrex- paalut	16
3.5 Lyötävät teräsputkipaalut	16
3.5.1 Kalusto	19
3.5.2 Paalutuslusta	20
3.5.3 Asennus	21
3.5.4 Sallitut sijaintipoikkeamat	23
3.5.5 Korroosio	25
3.5.6 Upotuslyönnit ja sallitut lyöntijännitykset	25
3.5.7 PDA-mittaus	26
3.5.8 Paalun tuenta ja ohjaus lyönnin aikana	26
3.5.9 Jatkaminen, hitsaus	27
3.5.10 Loppulyönnit	27
3.5.11 Paalutustyön dokumentointi	31
4 TERÄSPONTTISEINÄ RAKENTEET	32

4.1 Suunnittelu	32
4.2 Ponttiprofiilit	34
4.3 Combi-seinä, teräsputkiponttiseinä	35
4.4 Combi-seinän ja teräsponttiseinän asennus	36
4.4.1 Ponttien tunkeminen maahan	36
4.4.2 Asennus ja apukeinot	39
4.4.3 Pontin sijainnin korjaaminen tunkemisen aikana	43
4.4.4 Vaaka ja pystysuuntaisen sijainnin toleranssit	44
4.4.5 Kalusto	46
4.4.6 Tuentatavat	47
4.4.7 Tuennan rakentaminen	50
4.4.8 Työturvallisuus kaivantotöissä	52
5 CASE: ORITKARIN SATAMA, LÄNSILAITURI, VAIHE 2	53
5.1 Kohteen yleiskuvaus	53
5.2 Yleiset ohjeet	55
5.3 Teräsputkiponttiseinän asennus	60
5.4 Teräsputkipaalujen jatkaminen	64
5.5 PDA-mittaus	65
5.6 Paalulaatat	66
5.7 Teräsputkiponttiseinän ankkurointi	68
6 YHTEENVETO	71
LÄHTEET	73
LIITTEET	76

1 JOHDANTO

Satamarakentamisessa on käytetty perinteisesti suuria teräsputkipaaluja. Satamien reuna- ja pistolaiturit on perustettu usein teräsputkipaaluilla niiden erinomaisen kantavuuden, taivutusjäykkyyden ja -kestävyyden ansiosta. Teräsputkipaaluista ja ponttiprofiileista tehtävät combi-seinät ovat yleistyneet reunalaitureiden yleisimmiksi rakenneratkaisuiksi.

Combi-seinän muodostamiseen voidaan käyttää suurpaaluja, joiden kylkiin on hitsattu ponttilukot tai kokonaiset teräspontit. Putkipaalut kantavat seinään kohdistuvat kuormat, ja teräspontit väliin asennettuina tekevät seinästä yhtenäisen. Combi-seinien asentamisesta ei ole kovin paljon yhtenäistä tietoa, vaan on käytetty soveltaen teräsputkipaalutuksen ja rakennuskaivanto ohjeita.

Tämän raportin tavoitteena oli selvittää ja kerätä yhteen tietoja Combi-seinän työvaiheista, asentamisesta ja asentamisen apukeinoista. Työssä oli myös tarkoituksena kerätä tietoa Combi-seiniin liittyvistä rakenteiden, suurpaalujen, etenkin lyötävien teräsputkipaalujen sekä teräsponttiseinän asentamisesta ja tukemisesta. Combi-seinähän on periaatteessa teräsputkipaalutusta ja teräsponttiseinän asentamista. Lisäksi työssä kerrotaan pääpiirteittäin yleisimmistä satamalaiturirakenteista, niiden kuormista ja päämitoituseriaateista.

Opinnäytetyössä esitellään esimerkkitapahtuman Combi-seinän asentamista ja tukemista sekä asentamisen ongelmatilanteita. Opinnäytetyön esimerkkityömaana toimi Destia Oy:n vuosina 2013–14 Oulun kaupungin Oritkarin satamassa toteuttama laiturirakka. Pääurakoitsijana esimerkkityömaalla sekä opinnäytetyön tilaajana toimi Destia Oy.

2 SATAMALAITURIRAKENTEET

Laiturirakennetyypin valintaan vaikuttaa kohteen käyttötarkoitus, pohjaolosuhteet, luonnonolosuhteet ja taloudellisuus. Kahta erityyppistä linjausta käytetään tyypillisesti satamalaitureiden rakentamiseen. (Kuva 1.) Rannansuuntainen laiturilinja sallii aluksen kiinnittymisen sen kylkeen. Usein rannansuuntaiset laiturit rakennetaan tukimuurirakenteena, jolloin välittömästi saadaan käyttöön laiturin taustalla oleva alue, esimerkiksi nostureita ja tavaransäilytystä varten. Pistolaituri on toinen yleisesti käytetty laiturityyppi, joka on kohtisuorassa rantalinjaan nähden. (Talvinen 2009, 23.)



KUVA 1. Vuosaaren satama, pistolaituri (keskellä) ja reunamuurilaiturit (Helsingin Sataman kuvapankki / Skyfoto)

Alusten kiinnitykseen käytettävät erilliset tihtaalirakenteet kuuluvat myös satamalaiturirakenteisiin. Yleensä tihtaalit ovat yhteydessä johderakenteen ja tai kevyen kävelysillan välityksellä muihin satamalaitureihin, mutta myös irrallisia tihtaaleita on olemassa. (Talvinen 2009, 24.)

Neljä yleisimmin käytettyä laiturityyppiä ovat: kulmatukimuri-, kasuuniarkku-, teräsponsittiseinä- ja paalulaituri. Nämä laiturityypit esimerkiksi voidaan jakaa

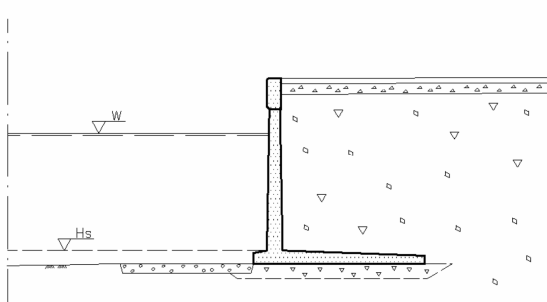
gravitaatiolaitureihin ja teräsrakenteista rakennettuihin laitureihin. (Talvinen 2009, 99.)

2.1 Gravitaatiolaiturit

Kulmatukimuurilaituri ja kasuuniarkkulaituri ovat gravitaatiolaitureita, jotka ovat massiivisia teräsbetonirakenteita. Niiden kyky kestää horisontaalikuormia ja siirtää ne perusmaahan perustuu rakenteen omaan ja tausta-täytön painoon. Gravitaatiolaiturit vaativat suuren painonsa takia suurta kantavuutta pohjamateriaalilta. Mitoituksessa on huomioitava rakenteen kaatuminen ja liukuminen ja etteivät pohjarasitukset ylitä pohjamaan kantokykyä. Gravitaatiolaiturit sopivat rakennettaviksi kohteisiin, jossa kantava pohja on riittävän lähellä perustamissyvyyttä. (RIL 165-2-2006.2006, 540; Talvinen 2009, 99.)

2.1.1 Kulmatukimuurilaituri

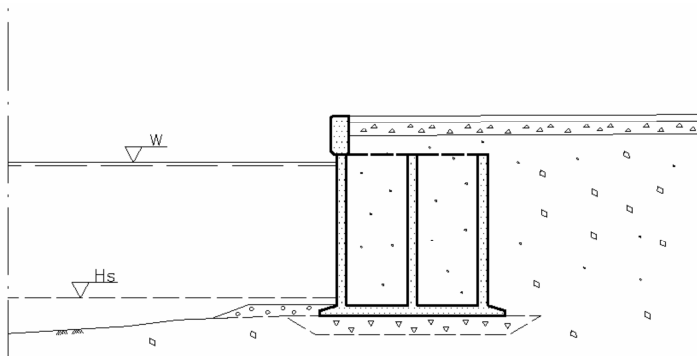
Kulmatukimuurilaituri rakennetaan teräsbetonisista kulmatukielementeistä. (Kuva 2.) Kulmatukimuurilaituri vastustaa kaatavia ja liu'uttavia voimia, oman ja muurin taakse tulevan taustatäytön painon avulla. Suurimman osan rakenteen gravitaatiovaikutuksesta aiheuttaa kulmatukimuurin pohjalaatan päälle tuleva taustatäyttö. Taustatäyttönä käytetään kitkamaata ja louhetta. Järeän rakenteen vuoksi se tarvitsee kantavan pohjan painumien ja kiertymien estämiseksi. Sopivia pohjia kulmatukimuurille ovat kantavat moreeni- tai kalliopohjat. Yhtenäinen rantamuurirakenne syntyy asennettaessa vierekkäin ja saumattaessa yhteen kulmatukimuurielementtejä. Erikoistapauksia lukuun ottamatta kulmatukimuuria käytetään vain rannansuuntaisiin reunamuurilaitureihin. (Talvinen 2009, 38.)



KUVA 2. Kulmatukimuurilaituri (Stening – Vähäkäkelä 2008, 28)

2.1.2 Kasuuniarkkulaituri

Kasuuniarkkulaituri on kulmatukimuurilaituria raskaampi ja monimutkaisempi teräsbetonirakenne. (Kuva 3.) Myös kasuuniarkkulaiturin asennustyötavat ovat monimutkaisemmat. Kasuuniarkkun etuna kulmatukimuruuriin verrattuna on kasuuniarkkun uittomahdollisuus rakennuskohteeseen ilman suuria nostureita. Kasuuniarkkulaituri ei ole enää kilpailukykyinen verrattuna kulmatukilaituriin johtuen suuremmasta teräsbetonimenekistä ja valmistuspuutteiden puutteesta. Kasuuniarkkulaituria käytetäänkin nykyään joissain erikoisrakenne tai olosuhdetapauksissa. (Talvinen 2009, 99.)



KUVA 3. Kasuunilaituri (Stening – Vähäkäkelä 2008, 29)

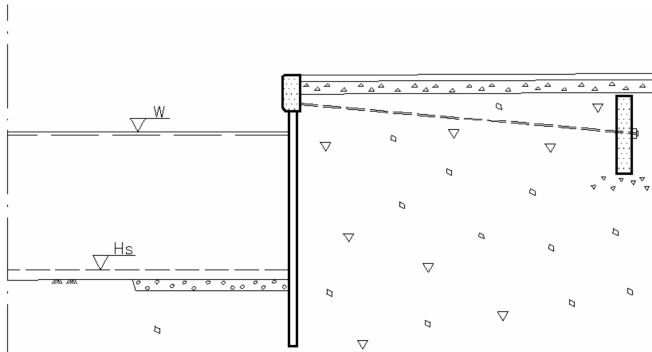
2.2 Teräslaiturit

Teknisiltä ominaisuuksiltaan ja mitoitusperusteiltaan teräslaiturirakenteet eroavat gravitaatiolaitureista selkeästi. Teräslaiturirakenteita ovat ponttiseinälaituri sekä paalulaituri. (Talvinen 2009, 99.)

2.2.1 Ponttiseinälaituri

Ponttiseinälaiturin toiminta perustuu teräsrakenteiden jäykkyyteen sekä maan aktiivi- ja passiivipaineen tasapainoon (kuva 4.) Pontin alapään ja yläpään maanpainoiden tasapainottamiseksi upotetaan ponttiseinä riittävästi satama-altaan pohjaa syvemmälle. Pelkkä ponttiseinän jäykkyys ei käytännössä riitä syvän satama-altaan tukiseinäksi, jonka vuoksi ponttilaituriratkaisut ovat aina Combi-seinä. Combi-seinistä yleisin on putkiponttiseinälaituri. Putkiponttiseinälaiturissa asennetaan putkipaaluja ponttien väliin kohdesyvyvyyteen tai tukeutu-

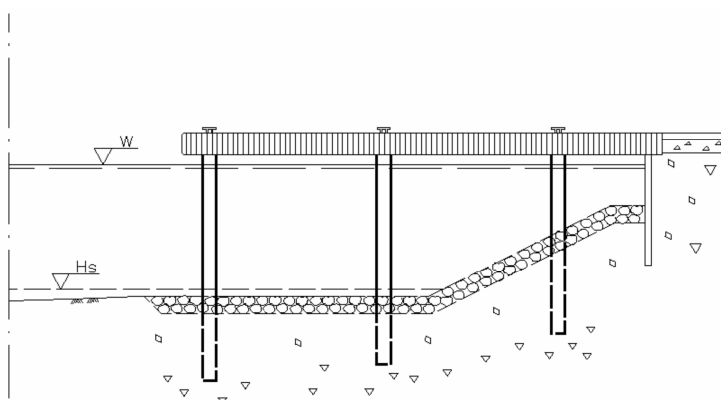
maan kallionpintaan. Betonoidut paalut antavat tarvittavan lisäjäykkyyden ja kantavuuden laturille. Ponttiseinälaituri ei vaadi kantavaa pohjaa. Liian tiivis pohjamateriaali voi ennemminkin vaikeuttaa ponttien upotusta. (Talvinen 2009, 100.)



KUVA 4. Ponttiseinälaituri (Stening – Vähäkäkelä 2008, 29)

2.2.2 Paalulaituri

Paalulaituri on teräsbetonikansirakenne, jossa teräsputkipaalujen välityksellä siirretään kuormat maahan. (Kuva 5.) Avoimissa paalulaitureissa ei ole suuren rapautumisriskin takia kannattavaa käyttää teräsbetonipaaluja. Tämän vuoksi avoimet paalulaiturit tehdään aina teräsputkipaalulaitureina. Paalulaiturit käyvät parhaiten olosuhteisiin, joissa kantava pohja on syvällä löyhän maakerroksen ala-puolella. Pistolaiturirakenteissa käytetään yleensä paalulaitureita syvenevän pohjalinjan sekä osittain ylimääräisten maansiirtotöiden välttämiseksi. Reunamuurilaitureihin rakennetaan myös paaluperustuksia. Näissä puoliavoimissa tai umpinaisissa paalulaitureissa ponttiseinä tukee taustatäyttöä. (Talvinen 2009, 100.)



KUVA 5. Paalulaituri (Stening – Vähäkäkelä 2008, 28)

2.3 Kuormat ja mitoitus

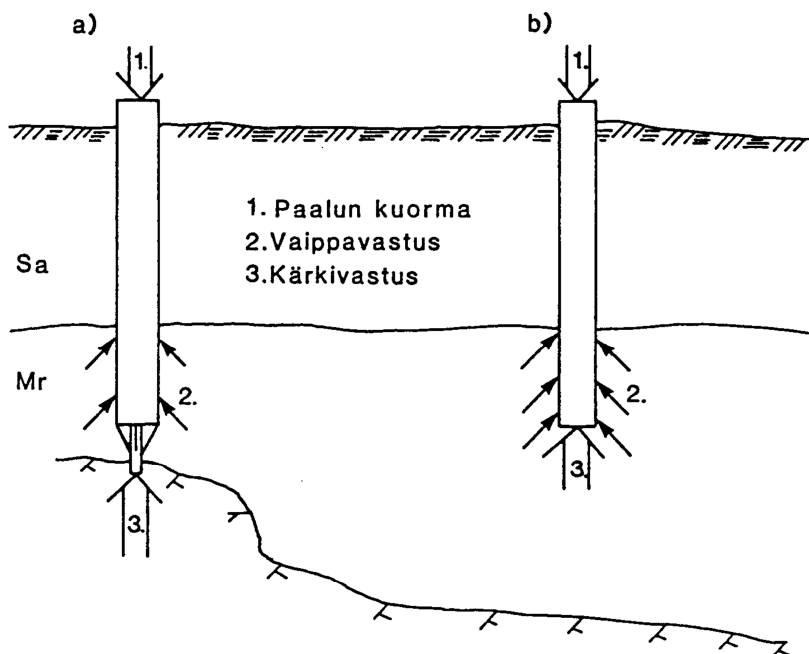
Satamalaitureita mitoittaessa otetaan huomioon kaikki sitä rasittavat kuormat. Laitureiden on kestävä luonnonvoimia sekä suuria käyttökuormia. Satamalaiturit mitoitetaan nykyään 50 vuoden käyttöiälle, joskus jopa 100 vuodelle. Satamalaiturit ovat jykeviä rakenteita ja kestävyys suunnittelu onkin tärkeää laiturin mitoitusta tehtäessä. Vesirakenteille lisähaasteita asettaa myös Suomen talven jääolosuhteet. Yleisesti mitoituksessa lähdetään liikkeelle mitoitusaluksista, maaperäolosuhteista ja pintakuormista, jotka muodostuvat käyttötarkoituksesta. Laiturin mittasuhteet määritetään mitoitusaluksen mukaan. Maaperätutkimukset kohdealueesta ennen rakentamista ovat tärkeitä, koska laiturityyppi valitaan niiden perusteella. Tukimuuri- tai tukiseinälaitureiden muureihin vaikuttavat maanpaineet määräytyvät taustatäytön geoteknisten ominaisuuksien mukaan. Laiturin päällä harjoitettavan toiminnan aiheuttama kuormitus riippuu käyttötarkoituksesta. Päämitoitustekijänä laituria suunniteltaessa ovat nosturi- ja tavarakuormat. Mitoitava nosturikuorma määritetään aina epäsuotuisimman tilanteen mukaan. Mobilenosturit aiheuttavat myös nykyään suuria tukijalkapistekuormia laiturikansiin ja maanpaineen lisäystä tukimuurirakenteeseen. Laiturirakenteisiin vaikuttavat näiden kuormien lisäksi jään vertikaali- ja horisontaaliset voimat, vedenpaine, pohjavedenpaine, tuuli- ja lumikuormat, aalto- ja virtausvoimat sekä lämpötilavaihteluista johtuvat muodonmuutosvaihtelut rakennusmateriaaleissa. Aluskuormia, joilla usein mitoitetaan laiturin yläpuoliset rakenteet, ovat pollari-, fenderi- ja potkurivoimista aiheutuvat kuormat. (Talvinen 2009, 25.)

Satamalaiturirakenteiden mitoittamisesta puuttuvat yhtenäiset laiturirakennusnormit. Laiturirakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon paikalliset rakennusnormit ja -koodit. Laiturirakentamiseen sovelletaan osittain maarakentamisen, teräs- ja betonirakentamisen sekä tielaitoksen normistoja, koska varsinaisia vesirakennusnormeja ei Suomessa ole. Rakennusmateriaalitoimittajilta löytyy usein sovellettavissa olevia ohjeita omista tuotteistaan. Suomen yleiset rakentamismääräykset ovat myös osaltaan käytössä laiturirakenteiden suunnittelussa. Teoksesta RIL 144 kuormitusohjeet löytyy Suomen rakennusinsinööriliiton tekemiä vesirakenteiden kuormitusohjeita. Laiturirakentamiseen soveltuvia osioita on myös Tielaitoksen sillanrakennusohjeissa. (Talvinen 2009, 26.)

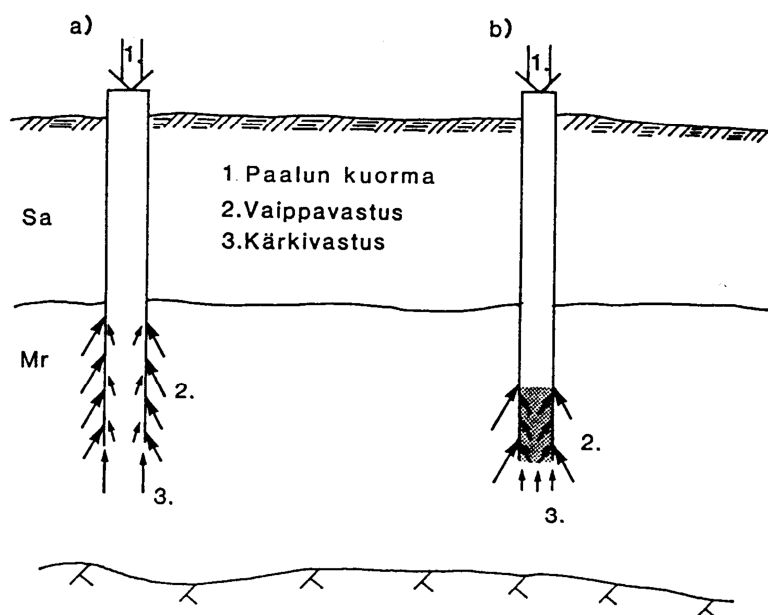
3 SUURPAALUT

Tavallisimmat suurpaalutyypit ovat: teräsputkipaalu, kaivinpaalu, Franki-paalu ja Vibrex-paalu. Tässä työssä keskitytään lähinnä lyötäviin teräsputkipaaluihin, koska esimerkkityömaana oli lyötävistä teräsputkipaaluista ja teräsponteista koostuva Combi-seinä.

Suurpaalujen kantavuus on noin 1,5 MN tai enemmän ja läpimitat vähintään 300 mm. Ne soveltuvat erityisesti käytettäviksi, kun vaaditaan suurta kantavuutta tai taivutusvastusta. Suurpaaluja käytetään myös lohkareisissa ja kivisissä maaperissä sekä täyttöalueilla, syvillä pehmeiköillä ja vesialueilla. Paalun tukeutuessa kallioon tai tiiviiseen moreeniin voidaan käyttää materiaalin lujuutta tehokkaasti hyväksi tehtäessä suurpaalut tukipaaluina. (Kuva 6.) Kitkapaalun käyttö voi tulla kysymykseen silloin, kun maakerros tai moreenikerros on paksu kallion tai tiivisrakenteisen pohjakerroksen päällä. (Kuva 7.) Pieniläpimittaisia suurpaaluja tai avoimia teräsputkipaaluja käytetään kitkapaaluina. Suomen maaperässä ei yleensä ole järkevää käyttää suurpaaluja koheesiopaaluina. (RIL 212-2001. 2001, 9.)



KUVA 6. a) Kallioon ja b) maahan tukeutuvan tukipaalun toimintatapa (Teräsputkipaalut 1999, 14)



KUVA 7. Kitkapaalun toimintatapa. a) Ulko- ja sisäpuolinen vaippakitka ja b) ulkopuolinen vaippakitka ja maatulppa (Teräspalkkipaalut. 1999, 15)

Teräspaalu tyypit voidaan jaotella asennustavan mukaan lyötäviin, porattaviin, puristettaviin ja injektoitaviin paaluihin. Halkaisijan mukaan jaottelu on pienpaalu ($d < 300 \text{ mm}$) ja suurpaalu ($d > 300 \text{ mm}$). Geometrisen muodon mukaan teräspaalu jaotellaan palkkipaaluihin, joko suljettuihin tai avoimiin ja muihin, esimerkiksi X-paalu, ratakiskot, hitsatut I, H- ja muut palkit. Toimintatavan mukaan paalu jaotellaan tuki-, kitka- ja koheesiopaaluihin. Lisäksi vielä voidaan jaotella maata syrjäyttäviin ja syrjäyttämättömiin paaluihin. (Uotinen 2012, 4.)

3.1 Kaivinpaalu

Kaivinpaalu on maata syrjäyttämätön paalu. Kilpailukykyisin kaivinpaalu on suuren paalu. Yleisimmin sen halkaisija on 900, 1200 tai 1500 mm. Tehtäessä kaivinpaalua käytetään työputkea, joka muodostuu kärkikappaleesta ja 1,5 – 6 m jatko-osista. Työkoneen ollessa vastapainona työputki upotetaan painamalla ja samanaikaisesti putkea joko pyörittäen tai hiertämällä edestakaisin. Työputki voidaan myös poikkeuksellisesti lyödä maahan. Putken sisältä poistetaan maata erikoiskauhoilla tai ruuviporalla poraten ja välillä tyhjentäen. Putki on kaivettava tyhjäksi putken upotustasoon asti. Kivisissä maissa pohjaa voidaan pehmentää hakaten raskailla meisseleillä tai uudenaikaisissa koneissa käytettävillä erikois-

sporilla. Kalliokontaktia voidaan tarvittaessa parantaa edellä mainituilla tavoilla kallioon ulottuvissa paaluissa tekemällä kallion pintaan syvennyksen. Saavutettaessa tarvittava syvyys työputken sisään asennetaan yleensä rauditus ja paalu betonoidaan samalla, kun nostetaan työputki ylös. (Jääskeläinen 2003, 70; RIL 212-2001. 2001, 10.)

3.2 Porapaalut

Porapaalut porataan yleensä kallioon asti, jotta paalujen rakenteellinen kantavuus voidaan hyödyntää täysin. Porapaalut ovat sydänteräspaaluja, porattavia teräsputki- ja läpi-injektoitavia paaluja. (Jääskeläinen 2003, 75.)

Käytettäviä porausmenetelmiä ovat epäkeskinen ja keskinen porausmenetelmä. Epäkeskisessä porausmenetelmässä käytetään pilottikruunua ja siihen kiinteästi liittyvää avarrinkruunua. Epäkeskinen avarrinkruunu avartaa porauksessa pilottikruunun tekemän reiän hieman isommaksi kuin putken halkaisija. Porakruunu vetää porattaessa maaputkea perässään. Kun saavutetaan tavoitetaso, kierretään poratankoja vastakkaiseen suuntaan kuin porattaessa, jolloin porakruunun avarrinosa sulkeutuu ja koko pora voidaan vetää putkesta ylös. Avarrinkruunun poisoton jälkeen jää putki hieman koholle, ja se täytyy lyödä pohjaansa kiinni. (RIL 254-2011. 2011, 198; Jääskeläinen 2003, 74.)

Keskisessä porausmenetelmässä kiinnitetään maakengän välityksellä avarrinkruunu porausputken alapäähän. Avarrinkruunu pääsee pyörimään ilman, että porausputki pyörii. Avarrinkruunu on porauksen aikana lukittuna pilottikruunuun. Kun avarrinkruunukin on kallion sisällä, pilottikruunu irrotetaan avarrinkruunusta ja vedetään ylös. Reikää voidaan molemmissa porausmenetelmissä syventää avarrinkruunun poiston jälkeen kalliokruunulla. Porapaalutus aiheuttaa vain vähän tärinöitä. Poraus tunkeutuu helposti kivien läpi ja jopa vanhojen puupaalujenkin läpi erikoisteriä käytettäessä. Paalujen alapään kiinnittäminen kallioon mahdollistaa liikkumattoman perustuksen. Yleensä porapaaluja ei koekuormiteta. Porapaalujen kallioon liittymisen varmistaminen ja paalutustyön valvonta riittää kuormien määrittelyyn. Maaparametrien ja vaaditun ruostumisvaran perusteella ovat valmistajat tehneet taulukoita sallittavista kuormista. (RIL 254-2011. 2011, 198; Jääskeläinen 2003, 74–78.)

Suuriläpimittaiset ja pitkät porapaalut asennetaan yleensä uppovasarakalustolla käyttäen keskistä porausmenetelmää. Porapaaluista voidaan tehdä yhtenäinen putkipaaluseinä, joka sopii vaikeasti läpäistäviin maaperäolosuhteisiin. (Suuriläpimittaiset teräsputkipaalut pohjarakentamisessa. 2010, 7–8.)

3.3 Franki-paalut

Franki-paalu on maata syrjäyttävä paalu, jonka alapäähän muodostetaan betoninen anturalevitys maahanlyönnin loppuvaiheessa. Paalun varsi tehdään betonista teräksisen työputken avulla tehtyyn reikään. Franki-paalun tekoon käytetään alapäästä vesitiiviillä betonitulpalla suljettua työputkea. Putki upotetaan maahan lyömällä betonista tulppaa järkäleellä putken sisällä. Työputki kiinnitetään paalutuskoneeseen, kun tavoitetaso on saavutettu. Putken läpimittaa suurempi antura muodostetaan paalun kärkeen lisäämällä betonia tulppaan ja lyömällä se osittain ulos putkesta. Anturalevityksen läpimitta on maaperästä ja työ tavoista riippuen 1,2—2,5-kertainen verrattuna työputken halkaisijaan. Varsiosaan asennetaan raudoitus ja paalu betonoidaan. Lopuksi työputki poistetaan käyttäen tärytystä apuna. Franki-mixte-paalussa käytetään teräsbetonista varsielementtiä. Franki-putkipaalussa jätetään työputkenä toiminut teräsputki maahan. (RIL 212-2001. 2001, 11.)

3.4 Vibrex- paalut

Vibrex-paalu on maata syrjäyttävä teräksisen työputken avulla tehty paalu. Paalun varsi tehdään teräsbetonista. Alapäästään vesitiiviisti teräslevyllä suljettu putki upotetaan tavoitetasoon lyömällä sitä pudotus-, diesel- tai hydraulijärkäleellä. Paalun saavutettua tavoitetason, asennetaan raudoitus ja paalu betonoidaan. Lopuksi työputki nostetaan ylös tärytystä apuna käyttäen. (RIL 212-2001. 2001, 12.)

3.5 Lyötävät teräsputkipaalut

Teräsputkipaaluja käytetään vesistöarakentamisessa erityisesti satamarakenteisiin ja vesistösiltoihin. Isojen teräsputkipaalujen taivutuslujuus on kaikkiin muihin paaluihin verrattuna merkittävä asia ja ne pystyvät kantamaan todella suuria kuormia. Teräsputkipaaluilla voidaan paalutus rakentaa paksujen pehmeiden

kerrosten lävitse vesistö rakentamisessa. Teräsputkipaalut pystyvät ottamaan vastaan myös suuria paalun poikkisuuntaisia rasituksia. Teräsputkipaalut voivat olla avonaisia tai umpinaisia. Umpinaiset paalut, jotka on suljettu alapäästään joko kalliokärjellä tai pohjalevyllä, on tarkoitettu lähinnä tukipaaluiksi. (Kuva 8.) Avonaisia teräsputkipaaluja käytetään lähinnä laiturirakenteissa joissa pysty-kuormitusvaatimukset eivät ole suuria. (Jääskeläinen 2003, 73–74.)



KUVA 8. Suuriläpimittaisten RR-paalujen paalukärkityypit (Suuriläpimittaiset teräsputkipaalut pohjarakentamisessa 2010, 7)

Teräspaalu soveltuu hyvin olosuhteisiin, joissa kova pohja on syvällä tai läpäistävissä maakerroksessa on kiviä ja lohkareita. Paalun upotuksen jälkeen voidaan paaluputki raudoittaa koko pituudeltaan tai osittain ja betonoida. Paalusta syntyy tällöin liittorakenne. (RIL 212-2001. 2001, 42.)

Ruukin tehdastoimitusohjelmassa kierresaumahitsattujen putkien ulkohalkaisijat ovat 406 mm:stä 1220 mm:iin ja seinämäpaksuudet 8... 20 mm:iin. Ilman jatkohitsausta tehdastilauksena voidaan valmistaa 36 m pitkiä teräsputkia ilman jatkohitsausta. Pisimmät Ruukin toimittamat teräsputkipaalut jatkohitsattuna ovat olleet 45 m pitkiä. (Ruukki, linkit Tuotteet ja ratkaisut -> Infrastruktuuriratkaisut -> Teräspaalut -> Lyötävät RR-suurpaalut.)

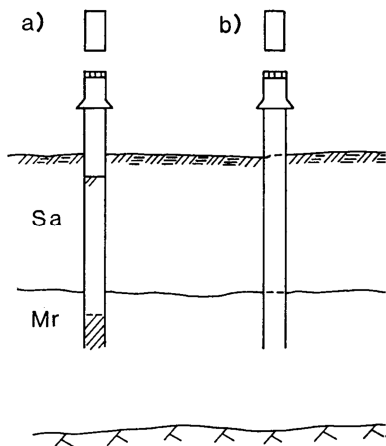
Teräsputkipaaluista voidaan tehdä myös yhtenäinen putkipaaluuseinä. Putkipaaluuseinät koostuvat teräsputkipaaluista, jotka liitetään toisiinsa paaluihin hitsattujen lukkoprofiilien avulla. (Tulevaisuus rakennetaan kestävien pohjarakenteiden varaan 2011, 6.)

Suljetut paalut

Suljettuja paaluja ovat pohjalevyillä ja kalliokärjillä varustetut teräspalkkipaalut. Paalun tukeutuessa kiviseen moreeniin tai kallioon käytetään suljettua teräspalkkipaalua useimmiten tukipaaluna. Paalun tukeutuessa kallioon on käytettävä aina kalliokärjellistä paalua. Vaikeasti läpäistävissä kerroksissa kalliokärki helpottaa paalun tunkeutumista maahan. Kalliokärkeä käyttämällä pyritään keskitämään paalun kuorma paalun kärjessä. Samalla vähennetään paalua rasittavan taivutusmomentin syntymistä. Jos kallion päällä oleva maakerros on paksu ja kantava sekä paalun geotekninen kantavuus maakerroksessa riittävä, voidaan käyttää pohjalevyillä varustettuja paaluja. (Teräspalkkipaalut. 1999, 16–17.)

Avoimet paalut

Avoimina lyötäviä paaluja ovat avoin tulppaantuva paalu ja avoin tulppaantumaton paalu. Paalun jäädessä maakerrostenvaraan voidaan käyttää avointa putkea, mutta sitä ei voida ulottaa kallioon asti. Paalu on tulppautunut, jos lyönti työn jälkeen maanpinta on painunut putken sisällä selvästi syvemmälle kuin mitä se on putken ulkopuolella. Tulppautumista ei ole tapahtunut, mikäli maanpinta putken sisä- ja ulkopuolella pysyy samalla tasolla. (Kuva 9.) Tulppautunut avoin paalu toimii maassa lähinnä tukipaaluna ja kantaa suurimman osan kuormasta kärjen varassa. Tulppautumaton avoin paalu toimii tyypillisemmin kitkapaaluna. Paalun sisällä olevia maakerroksia, joihin paalu tukeutuu, ei saa poistaa. (Jääskeläinen 2003, 74; RIL 212-2001. 2001, 14, 28.)



KUVA 9. a) Avoin tulppaantunut paalu, b) avoin tulppaantumaton paalu (Teräspalkkipaalut 1999, 20)

Maan siirtymistä ja häiriintymistä sekä huokospaineen kasvua ja tärinää voidaan vähentää avointa paalua käyttämällä. Avoin paalu soveltuu hyvin käytettäväksi vakavuudeltaan heikoissa paalutuskohteissa sekä kohteissa, joiden läheisyydessä on helposti vaurioituvia rakenteita. (RIL 212-2001. 2001, 43.)

3.5.1 Kalusto

Rakenteeltaan paalutuskalustojen on oltava sellaisia, että voidaan riittävän tarkasti seurata paalun tunkeutumista maahan paalun lyönnin aikana. Asennus pitää voida keskeyttää haluttaessa. Kaluston, jolla paalut, suojaputket ja työputket upotetaan, pitää olla sopiva. Nosturilla riiputettavaa paalujärkäläitä käytettäessä on muilla tukirakenteilla varmistettava paalun riittävän tarkka suuntaus. Kaluston on täytettävä myös työturvallisuuteen asetetut vaatimukset. (RIL 254-2011. 2011, 194–195.)

Teräsputkipaalujen lyöntiin soveltuvat pudotus-, hydraulijärkäleet tai täryttimet. Tärytintä ei loppulyönneillä käytetä, koska tällöin upotustyön perusteella ei voida arvioida paalun kantavuutta. Tulppaantuviksi tarkoitettujen avoimien putkipaalujen lyöntiin tärytin ei sovellu, koska paalujen tulppaantumista ei tapahdu tärytintä käytettäessä. Täryttimellä voidaan kuitenkin upottaa putkipaalut ennen loppulyönnejä niissä maakerroksissa, joissa ei käytetä geoteknisessä mitoituksessa hyväksi paalun vaippavastusta. Isot putkipaalut, varsinkin umpinaiset, tarvitsevat upotukseen suuria järkäleitä tai muita upotuslaitteita. Suurpaalut asennetaan yleensä pohjoismaissa hydraulijärkäleellä. Paaluja käsittelevien koneiden tulee olla järeitä, koska paalut ovat usein erittäin pitkiä. Myös Franki-menetelmällä voidaan umpinainen kalliokärjellinen teräsputkipaalu lyödä kallioon (Jääskeläinen 2003, 73; Suuriläpimittaiset teräsputkipaalut pohjarakentamisessa. 2010, 7.)

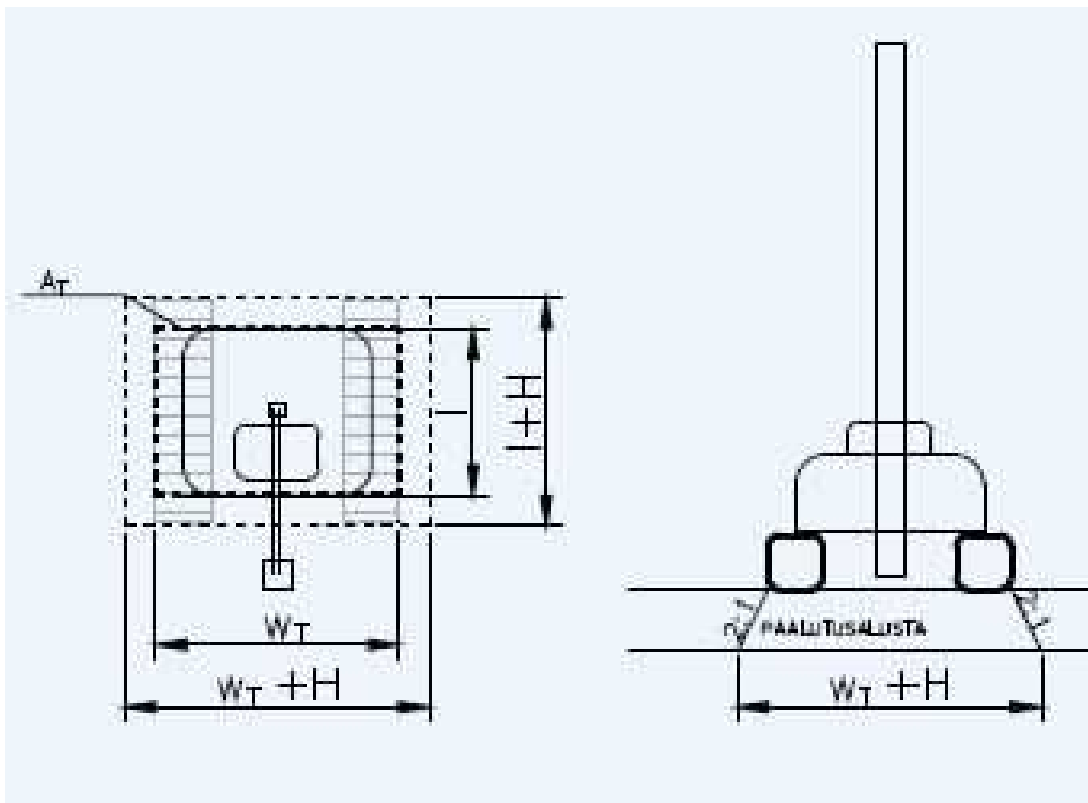
Lyömällä upotettavien putkipaalujen upotukseen käytettävän paalutuskoneen lyöntienergian oltava tarpeeksi suuri, jotta geotekninen kantavuus paalusta voidaan määrittellä. Teräksen rakenteellisen kapasiteetin hyväksi käyttämiseksi on paalutuskoneen järkäleen tai iskumännän lyöntikorkeuden tai iskunopeuden oltava tarpeeksi suuri. Pudotuskorkeus voidaan valita pudotusjärkäleelle yleensä vapaasti huomioiden kalustokohtaiset rajoitukset. Pudotus- ja hydraulijärkä-

leiden massat riippuvat käytetystä paalukoosta ja pohjasuhteista. Suositeltavat pudotus- ja hydraulijärkäleiden liikkuvan osan massat liitteessä 2. Paalutuslaitteen kaatumisen ja paalutuksen aikana tapahtuvan heilumisen estämiseksi on paalutuslaite ja paalutuslavan oltava riittävän tukeva. (RIL 212-2001. 2001, 102–103; Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 29.)

Suurpaalujen asennuksessa paalutuskoneiden painot ovat yleisimmin 30 – 80 tonnin välillä. Pohjoismaissa yleisimmin käytettyjen peruskoneiden valmistajat ovat Junttan ja ABI (Banut). Yleensä esimerkiksi Junttanin PM 25 on tarpeeksi järeä tyypillisille suurpaalukoille ja järkäleille. (Uotinen 2012, 2.)

3.5.2 Paalutuslavan

Paalutuslavan materiaalina käytetään yleisimmin murskettä tai hiekkaa. Minimipaksuutena käytetään paalutuslavalla 0,2 m teräsputkipaalutuksessa ja 0,3 m teräsbetonipaalutuksessa. Kuorma jakautuu suhteessa 2:1 paalutuslavan paksuuden mukaan (kuva 10) teräsputkipaalujen asennuksessa 50 % koneen pinta-alalle. (Sihvola 2013, 2–3.)



KUVA 10. Painon jakautuminen paalutuskoneen alla (Sihvola 2013, 3)

Hiekasta tehtynä paalutusalueesta vaatii lisää paksuutta +10...15 % verrattuna murskeeseen. Työmaaliikenne sekä työmaatoiminnot saattavat vaatia paksun työalustan. Esimerkiksi teräspalkkipaalutuksessa, jos kuivakuori > 1 m, kuoren alla savikerros on 15 m ja pohjavesi kuivakuoren alapinnassa, riittää 20 cm mursketta ($\phi = 38$) paalutusalueeksi. Kuivakuoren ollessa 0,5 m paksu riittää alustaksi pääosin 20 cm mursketta; raskaammalla kalustolla maksimi on 40 cm, kun varmuus on 1,8. (Sihvola 2013, 13–18.)

Kuivakuorikerroksen puuttuessa, pohjaveden ollessa paalutusalueen yläpinnassa ja savikerros alla riittää normaaliolosuhteissa pienissä paalutuskohteissa 20...45 cm:n paalutusalueesta. Suurissa kohteissa paalutuksen ollessa tiheä ja lisäksi muuta tärinää käytetään 20...70 cm:n paalutusalustaa. Suurissa kohteissa, joissa riskit ovat suuret, paalutusalueen vahvuus 20...90 cm. (Sihvola 2013, 13–18.)

3.5.3 Asennus

Asennustyöstä on kerrottu Ruukin suunnittelu- ja asennusohjeessa, joka perustuu RIL 254-2011 Paalutusohje 2011 -ohjeeseen. Ohjetta voidaan soveltaa sekä yksittäisille paaluille että paaluryhmille. Soveltaa voidaan teräspaaluista tehtävien tukirakenteiden, kuten paaluseinän, erilaisten Combi-seinä rakenteiden sekä muissa tukiseinissä käytettävien lyötävien ja porattavien teräspalkkipaalujen suunnittelussa ja asentamisessa. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 4.)

Paalutustyöstä laaditaan työ- ja laatusuunnitelma, jossa esitetään työtavat ja koneet, joilla päästään pohjarakennesuunnitelmassa esitettyihin vaatimuksiin. Siinä huomioidaan työn toteutushetkellä vallitsevat todelliset olosuhteet. Työ- ja laatusuunnitelma laaditaan kirjallisena selityksenä ja kuvina. (InfraRYL 2010. Väylät ja alueet, 55.)

Paalutustyön suunnittelu ja toteutus on suoritettava siten, että paalut saadaan asennettua ehjinä suunniteltuihin paikkoihin ja kaltevuuksiin. Paalujen tulee myös tunkeutua suunnitelmissa esitettyihin vähimmäistasoihin vaurioittamatta lähellä olevia rakennuksia tai rakenteita. Sellaisten täyttökerrosten läpi, jotka aiheuttavat vaurioitumisriskin, ei paaluja saa lyödä, ellei esteitä syrjäytetä tai poisteta paalujen edestä ennen asennusta. Ennen kuin paalu asennetaan, on

varmistuttava, että tehty reikä pysyy auki. On huolehdittava myös siitä, ettei jo asennettuja paaluja vaurioiteta syrjäytettävillä esteillä. (B3 (2004).2003, 27.)

Paaluputkien pystyynnostossa on erittäin tärkeää työturvallisuuden huomioiminen. Paaluputken pystyynnosto suoritetaan yleensä nostovaijerilla tai muulla vastaavalla läheltä paalun päätä nostamalla. Nostolaitteen/-ketjun kiinni pysyminen paalussa pitää varmistaa. Paalutuslaitteisto asemoidaan paalun kohdalle pystyynnoston ajaksi, ettei paalun ollessa pystyssä paalutuslaitteessa tarvitsisi paalutuslaitteistoa siirtää pientä asemointia lukuun ottamatta. 20 metriä pitkä suurpaalu voidaan nostaa pystyyn ilman tarkempaa tarkastelua. Tätä pitempien paalujen pystyynnosto pitää tapauskohtaisesti suunnitella huomioon ottaen paalun dimensiot. Paalutuskoneen stabiliteetti tulee huomioida paalun pystyynnostossa. Nostossa on myös otettava huomioon koneelle asetetut noston paino- ja ulottumarajoitukset tai -ohjeet. (Suunnittelu ja asennusohjeet 2012, 29.)

Paalu sijoitetaan tarkasti suunnitellulle paikalleen ja tarkistetaan sekä pystyysuoruus että kaltevuus. Paalun päähän kohdistuvat lyönnit tulee ohjata paalun pituusakselin suuntaisesti ja keskeisesti paalun päähän. Paalun kaltevuus ja sijainti tarkistetaan sen jälkeen, kun paalun kärki on tunkeutunut hieman maahan asennuksen alkuvaiheessa. Jos sijaintipoikkeama on liian suuri, nostetaan paalu ylös ja asemoidaan uudestaan. Asennuksen alkuvaiheessa voidaan paalua pyrkiä suoristamaan pienillä maston kaltevuuden muutoksilla, jos paalu poikkeaa vain vähän suunnitellusta kaltevuudesta. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 31.)

Kitkapaalut lyödään normaalisti pohjatutkimusten avulla tehdyn suunnitelman sekä dynaamisten koekuormitusten ja koepaalutuksen perusteella määriteltyyn tasoon. Suurpaalujen täyttäminen vedellä helpottaa usein paalun maahan tunkeutumista, koska se vähentää paaluun kohdistuvaa nostevoimaa. Nostevoima kasvaa paaluhalkaisijan suurentuessa (ja seinämäpaksuuden pienentyessä). Paalukoon ylittäessä 800 mm on suositeltavaa ottaa noste huomioon jo suunnitteluvaiheessa. (RIL 254-2-2011. 2011, 206; Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 32.)

Asentamisen apukeinoja

Erilaisia apukeinoja voidaan joutua käyttämään paalujen asentamisen helpottamiseksi. Keinoina voidaan käyttää esireiän tekemistä lyömällä, vesihuuhtelua asentamisen aikana, esiaugerointia tai -porausta tai esiräjäytystä. Työmenetelmät eivät saa häiritä aikaisemmin asennettujen paalujen toimintaa eikä ympäröivän maa-aineksen ja viereisten rakenteiden stabiilisuutta. (RIL 254-2-2011. 2011, 180.)

3.5.4 Sallitut sijaintipoikkeamat

Suuriläpimittaiset lyötävät teräspaalut ja kaivinpaalut on asennettava seuraavien sallittujen sijaintipoikkeamien rajoissa. (Kuva 11.)(RIL 212-2001. 2001, 76.)

Pysty- ja vinopaalut ja niiden asema vaakatasossa työtasolta mitattuna:

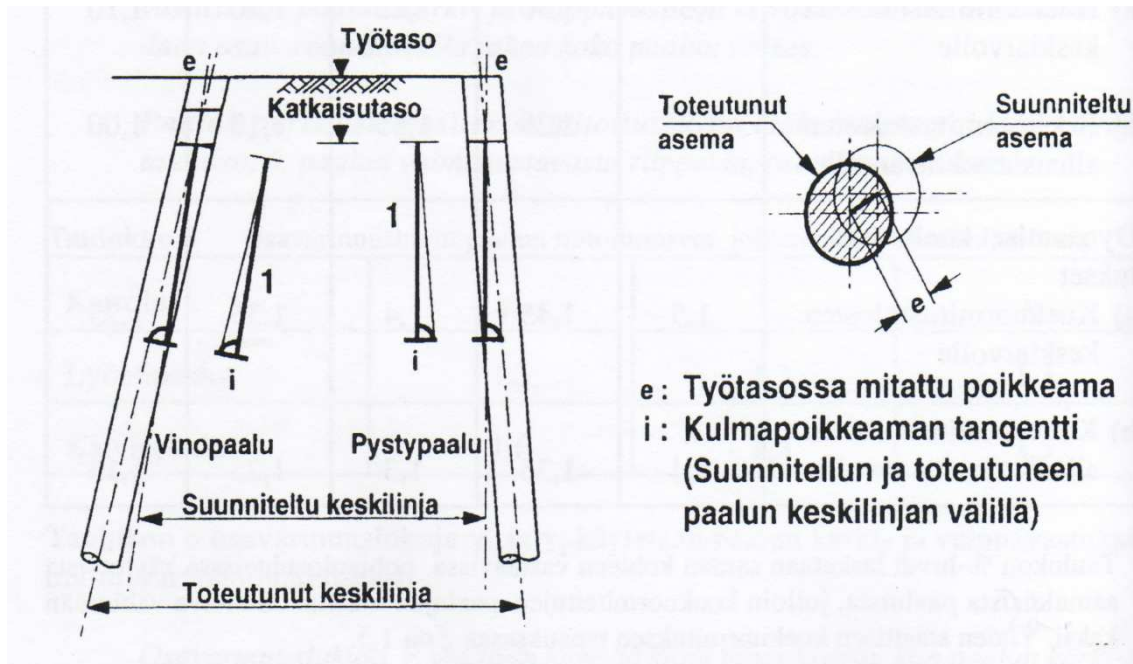
- $e \leq 0,1 \text{ m}$, kun $D \leq 1,0 \text{ m}$;
- $e = 0,1 * D$, kun $1,0 \text{ m} < D \leq 1,5 \text{ m}$ ja
- $e \leq 0,15 * D \text{ m}$, kun $D > 1,5 \text{ m}$

Pysty- tai vinopaalut, joiden kaltevuus on pienempi kuin 15:1:

- Paalun suunnitellun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti $i \leq 0,02$ ($\leq 20 \text{ mm/m}$)

Vinopaalut, joiden kaltevuus on välillä 4:1 ... 15:1:

- Paalun suunnitellun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti $i \leq 0,04$ ($\leq 40 \text{ mm/m}$)



KUVA 11. Suurpaalujen sallitut sijaintipoikkeamat (RIL 212-2001. 2001, 76)

Asettaessa edellä esitetyistä poikkeavia sijaintipoikkeamia on otettava huomioon rakenteelliset vaatimukset, pohjaolosuhteet tai käytettävä paalutuskalusto. Ennen työn aloittamista on sovittava sallituista sijaintipoikkeamista. Kun vaaditaan paaluseinältä vedenpitävyyttä, voi paaluseinän paalujen sallittu sijaintipoikkeama olla tiukempi kuin edellä esitetty. Kaltevuus paaluseinällä ei saa olla suurempi kuin 8:1. (RIL 212-2001. 2001, 76.)

Paalun sijainnin mittauksen tarkkuus on 0,01 m ennen ja jälkeen paalun asennuksen, jos suunnitelmat eivät edellytä toisin. Todellisten poikkeamien arvot määritellään paalutuksen jälkeen tehdyn paalujen asemien mittausten perusteella. Tarkastetaan pysyvätkö poikkeamat suunnitelman sallimissa rajoissa. Poikkeamien ylittäessä suunnitelman mukaiset sallitut sijainti toleranssit täytyy jokaisen rakenteen osan mahdollinen ylikuormitus tutkia ja alkaa tarvittaessa toimenpiteisiin. (RIL 254-2-2011. 2011, 174–175.)

Suurin sallittu kaltevuus suuriläpimittaisilla paaluilla, varsinkin paalutuskoneen keili eteenpäin kallistettuna, on tarkistettava tapauskohtaisesti. Huomioon on otettava paalupituus ja pohjamaan kantavuus tarkistettaessa peruskoneen stabiiliteettia. Yleensä joudutaan käyttämään lyhyitä paaluelementtejä käytettäessä suuria kallistuksia. Asennuskaluston ominaisuuksia kannattaa selvittää jo suunnit-

nitteluvaiheessa, jos paaluja suunnitellaan poikkeuksellisiin kaltevuuksiin. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 27.)

3.5.5 Korroosio

Maan sisällä tavanomaisissa olosuhteissa otaksutaan suojaamattoman teräsputken keskimääräiseksi korroosioksi vähintään 1,2 mm sadassa vuodessa paalun ulkopuolista syöpyvää pintaa kohti. Alapäästään suljettujen teräsputki-paalujen ja betonilla täytettyjen paalujen sisäpinnoilla voidaan korroosio jättää huomioimatta. Korroosion suuruus riippuu teräspaalua ympäröivistä olosuhteista. Korroosion arvioidut vaikutukset voidaan ottaa huomioon ylimitoituksella. Teräsputkipaaluissa korroosiovara mitoitetaan 100 vuoden käyttöiälle. Suositeltavia korroosiovaroja on liitteessä 3. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 20.)

3.5.6 Upotuslyönnit ja sallitut lyöntijännitykset

Lyöntienergiana käytetään pehmeissä maakerroksissa sellaista energiaa, että painuma iskuja kohti on kohtuullinen ja suuruusluokaltaan noin 100 mm. Sopivaa iskuenergiaa ja iskulukua käytetään upotuslyönneissä vastuksesta riippuen siten, että paalun upotus on tehokasta. Lyöntijännitykset eivät saa paalun asennuksen aikana ylittää PTL 3:ssa 90 % teräksen myötörajasta, PTL 2:ssa 72 % myötörajasta. Standardin (SFS-EN 12699. 2006, 16.) mukaan, jos jännityksiä mitataan tunkemisen aikana, ne voidaan ylittää 20 prosentilla. Loppulyöntiohjeissa on esitetty pudotus- ja hydraulijärkäleiden maksimipudotuskorkeudet eri paalukoille ja paalupituuksille. Näitä noudattamalla lyöntijännitykset pysyvät sallituissa rajoissa. Ennen loppulyöntejä paalun osuessa suureen kiveen maksimipudotuskorkeutena suositellaan käytettäväksi hieman pienempiä pudotuskorkeuksia (n. 0,8-kertaisia) kuin taulukoissa on. Tällöin riski lyöntijännitysten ylittymisestä ei kasva liikaa. Iskuaaltoteoriaan perustuvilla simuloinnilla voidaan arvioida lyöntijännityksiä suurpaaluille ja lyöntilaite-paalu-yhdistelmille, joita ei ole analysoitu aikaisemmin. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 31.)

Lyöntienergian tarkistaminen

Paalutuslaitteen tehokas lyöntienergia, joka siirtyy paaluun, voidaan tarkistaa iskuaaltomittauksilla dynaamisten koekuormitusten yhteydessä. Dynaamisten

koekuormitusten yhteydessä tehdään paaluun siirtyvän lyöntienergian tarkistaminen. Vinopaaluja lyötäessä samalla lyöntikalustollakin tehokas lyöntienergia voi olla merkittävästi pienempi kuin pystypaaluja lyötäessä. Suositeltavaa on tarkastaa paalutustyön alussa paaluun siirtyvä lyöntienergia ja uudestaan, jos paalutuskalusto tai sen osia vaihdetaan paalutustyön aikana. (Teräsputkipaalut 1999, 69–70.)

3.5.7 PDA-mittaus

Paalutuksen onnistumista voidaan tutkia iskuaaltoteoriaa hyödyntäen niin sanottuja dynaamisina koekuormituksina. Paalun yläpään lähelle kiinnitetään anturit, jotka ovat kytkettynä sähköisiin mittauslaitteisiin ja tietokoneeseen. Paalun yläpäässä vaikuttava voima ja partikkelinopeus saadaan mitattua paalua lyödessä. Heijastusaalto paljastuu myös ajan funktiona saatavasta mittauskuvios- ta. Paalun alapäässä vaikuttava murtovoima saadaan esille tuloksista tiettyjen laskelmien avulla. Heijastusaallossa paljastuu paalun alapään murskaantumi- nen. Samoin omat merkkinsä heijastusaaltoon heijastavat paalun varressa ole- vat halkeamat. Dynaamisen koekuormituksen suoritus on esitetty liitteessä 4. (Jääskeläinen 2003, 51.)

PDA-mittausta varten tarvitaan paalun yläpäästä $2 \times D$ verran tilaa mittausta varten, mikä tulee ottaa huomioon suurpaalujen tilauspituudessa. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 32.)

3.5.8 Paalun tuenta ja ohjaus lyönnin aikana

Lyönnin tai upotuksen alussa on paalua tuettava siten, että se pysyy suunnitel- lulla paikalla ja suunnitellussa kaltevuudessa. Paalun tuennan on toimittava paalun ohjurina lyönti- tai upotustyön kestäessä siten, että paalu on jatkuvasti tuettuna paikoilleen katkaisutasossa. Jos riittävä tuenta paalun yläpäälle on kohtuuttoman vaikea toteuttaa, on paalun yläpään asemaa ja kaltevuutta seu- rattava paalutustyön aikana. Paalun sijainti ja kaltevuus pyritään korjaamaan oikeaksi, jos havaitaan paalun poikkeavan suunnitellusta asemasta tai kalte- vuudesta. (Teräsputkipaalut 1999, 72.)

Jos maaperässä olevaan kiveen tai lohkareseen osuessaan paalun kärki pyrkii muuttamaan suuntaansa, on ohjausta pystyttävä väljentämään siten, että paalu voi väistää esteen käyristymättä. Jos joudutaan väljentämään ohjausta enemmän kuin paalun sijainnille ja kaltevuudelle määrätyt toleranssit sallivat, täytyy paaluperustuksen rakenteellinen mitoitus tarkistaa. (Teräsputki-paalut. 1999, 72; Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 31.)

3.5.9 Jatkaminen, hitsaus

Paalun yläpään kunto tarkastetaan ennen paalun jatkamista ja vaurioitunut osa korjataan tai poistetaan. Jatkos teräsputki-paalulle on tehtävä hitsaamalla. Hitsiluokan vaatimus on B, jos putki toimii osittainkin kantavana rakenteena. Jos putki ei toimi kantavana rakenteena, on hitsausluokkana C. Jatkos tehdään puikkohitsaus-, jauhe- tai kaasukaarimenetelmällä. Suositeltavin hitsausmenetelmä työmaaolosuhteissa on puikkohitsaus, koska kaasukaarihitsaus on herkkä ilmavirroille. Hitsauksista on laadittava yksityiskohtainen hitsaussuunnitelma. Luokassa C hitsauksen laadun tarkastus tehdään silmämääräisenä tarkastuksena koko sauman pituudelta. Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi tehdään luokassa B hitseille vähintään 10 % hitsisaumoista ultraäänitarkastus, joka saumakohtaisesti dokumentoidaan tarkastuspöytäkirjaan. (RIL 212-2001. 2001, 104–105.)

3.5.10 Loppulyönnit

Paalutustyöluokassa PTL 3 tehdään loppulyöntiohje dynaamisen koekuormituksen perusteella. Usein suoritetaan paalujen upotus kevyemmällä kalustolla, ja varsinainen dynaaminen koekuormitus tehdään eri laitteilla. Tukipaalun lyönti voidaan lopettaa paalun kärjen lähestyessä arvioitua tavoitetasoa ja kun määritellyt loppulyöntiehdot täyttyvät. (RIL 254-2-2011. 2011, 206.)

Tukipaalun lyönnin päättäminen pudotus- ja hydraulijärkäleillä

Käytettävää pudotuskorkeutta nostetaan vaiheittain ennen varsinaisia lopetuslyönnejä lähelle loppulyöntitaulukkojen arvoja. Järkälettä pudotetaan varsinaisessa lopetuslyöntisarjassa taulukkojen edellyttämältä korkeudelta ja mitataan 10 iskun pysyvä painuma. Kun 10 lyönnin sarjan pysyvä painuma on ≤ 10 mm, voidaan paalun asennus lopettaa. Ehdot täyttäviä loppulyöntisarjoja on tehtävä

vähintään 3 kappaletta paalujen tukeutuessa maakerrokseen. Mitatun painuman mittaustarkkuus sarjaa kohti on 1 mm. Paalun tukeutuessa kallioon riittää yleensä yksi loppulyöntisarja, kun kärkitappi on upotettu kallion sisään. Paalun upotusta jatketaan kunnes loppulyöntiehto täyttyy. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 33; InfraRYL 2010. Väylät ja alueet. 2010, 58.)

Paalun asennuksessa ei saa pitää taukoja ennen loppulyöntien aloittamista eikä loppulyöntejä saa keskeyttää. Jos loppulyönnit joudutaan keskeyttämään ja jos geoteknistä kestävyyttä paaluista ei voida pitää riittävänä jo lyötyjen sarjojen, tunkeutumistason tai kohteessa tehtyjen kantavuusmittausten perusteella, pitää paalu ”irrottaa” ennen lopetuslyöntien jatkamista. ”Irrotus” voidaan tehdä esimerkiksi 3–5 kymmenen iskun sarjalla käyttäen noin 50–70 % lyöntienergiaa lopetuslyöntiehdon edellyttämästä tasosta. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 33.)

Kallion pintaa lähestyttäessä karkaistulla kärkitapilla varustettujen kalliokärjellisten paalujen asentamisessa käytetään loppulyöntiohjetta edellyttämää tasoa pienempää lyöntienergiaa. Lyöntienergiaa nostetaan vähitellen kalliopinnan tavoittamisen jälkeen loppulyöntiohjeen edellyttämälle tasolle. Jos kalliopinta on suhteellisen tasainen ja kallion pinnan päällä on hyvin tukevia kitka- ja moreenimaakerroksia, lyöntienergia voidaan nostaa loppulyöntejä edellyttävälle tasolle melko nopeasti. Jos kärki pyrkii tällöin luistamaan tai kalliopinta on vino, pitää lyöntienergiaa pienentää. Vähäistä lyöntienergiaa käyttäen kiinnitetään kalliokärjen tuurna upottamalla kärkitappi osittain tai kokonaan kallion sisään. Tämän jälkeen nostetaan lyöntienergia/pudotuskorkeus loppulyöntiehtojen edellyttämälle tasolle. Suurilla paaluilla kärkitapin luotettava kiinnittyminen vinoon kalliopintaan edellyttää jopa tuhansia iskuja paalun saavutettua kallion. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 33.)

Ulottuessaan kallioon lyöntipaalu voi alkaa pomppimaan kalliota vasten siten, että kärki irtoaa iskun jälkeen kallion pinnasta. Paalun kiinnijäämiseksi kallioon voidaan loppulyöntisarjan jälkeen paaluun lyödä matalaa pudotuskorkeutta käyttäen muutamia iskuja. Loppulyöntien jälkeen mitataan paalun yläpään korkeusasema. Tarkistus- ja jälkilyönnit tehdään tarvittaessa. (RIL 254-2-2011. 2011, 206.)

Tukipaalujen loppulyöntiohjeen laatiminen paalutustyöluokassa PTL 3 ja PTL 2 -suurpaaluilla.

Koestettavat paalut valitaan paalutustyön alussa kohteen pohjaolosuhteita hyvin edustavilta paikoilta. Yksi tai useampi paalu valitaan paikasta, missä paalupituudet ovat suurimmillaan tai pohjaolosuhteet haastavimmat lyönnin kannalta. Koestettavat paalut ovat yleensä lopullisen rakenteen paaluja. Erillisiä koepaaluja voidaan tehdä myös tarvittaessa. Paaluja on edullista koepaalutusvaiheessa lyödä erilaisilla loppulyöntiehdolla. Tällöin ”tiukimpina” loppulyöntiehtoina käytetään loppulyöntitaulukoiden PTL 3:n loppulyöntiohjeita tai maksimipudotuskorkeuksia, mutta edullista voi olla asentaa paaluja esimerkiksi PTL 2:n loppulyöntiehdolla. Lopetuslyöntikriteerit ennen koekuormituksia määritetään tapauskohtaisesti suurpaalujen osalta, joille ei ole esitetty yleisiä loppulyöntiehtoja. Huomioon otetaan lyöntilaite, paalu (halkaisija, seinämäpaksuus ja pituus) sekä pohjaolosuhteet. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 34.)

Dynaaminen koekuormitus tehdään koepaalutusvaiheen paaluille. Erillistä koekuormitusjärkäättä suositellaan käytettäväksi hydraulij- ja painevasaralla asennettujen paalujen koekuormituksessa riittävän geoteknisen kestävyuden mobilisoinniseksi. Koekuormitukset voidaan tehdä jopa välittömästi paalun asentamisen jälkeen, jos paalutushavainnot osoittavat, että paalut tukeutuvat kallioon. Paalun asentamisen ja koestamisen väliksi suositellaan vähintään vuorokausi ja mielellään enemmänkin, jos paalut tukeutuvat maakerroksiin. Mitä pidempi odotusaika on, sitä suurempi paaluista mitattava vastus yleensä on. Suunnitteluvaiheessa määritetään dynaamisen koekuormitusten tavoitetasot. Kohteeseen sopivat loppulyöntiehdot määritetään dynaamisen koekuormituksen perusteella. Erilaisille paalupituuksille ja pohjaolosuhteille annetaan omat loppulyöntiehdot, jos paalupituudet ja pohjaolosuhteet vaihtelevat huomattavasti. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 34.)

Kitkapaalujen lopetuslyönnit

Kitkapaalut lyödään paalutustyön alussa tai ennen varsinaista paalutustyötä tehtävässä koepaalutuksessa pohjatutkimusten, staattisten kantavuuskaavojen perusteella suunniteltuun tasoon ja/tai alustavasti arvioituun tai iskuaaltoteorian perusteella analysoituun lyöntitiukkuuteen. Dynaamisilla koekuormituksilla mita-

taan geotekninen kestävyys käyttäen signaalinmallinnusta (esimerkiksi CAP-WAP-analyysi). Vaippavastus kehittyy yleensä karkearakenteisissa maakerroksissa alle viikossa, mutta odotusaika silttipitoisessa maassa voi olla paljon pitempi. Paaluille määritetään määräsyvyystaso ja/tai loppulyöntiehdot dynaamisten koekuormitusten mukaan. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 34.)

Kohdekohtainen lyöntiohje

Paalutustyöluokassa PTL 3 on aina tehtävä kohdekohtainen lyöntiohje. Lyöntiohjeessa on vähintään esitetty loppulyöntiohjeet ja maksimipudotuskorkeudet pudotus- ja hydraulijärkäleillä. Kohdekohtainen lyöntiohje laaditaan myös paalutustyöluokassa PTL 2 suurpaaluille, joille ei ole etukäteen määritetty loppulyöntiehtoja. Kohdekohtainen lyöntiohje suositellaan tehtäväksi kitkapaaluille myös PTL2:ssa. Tapauskohtaisesti annetaan tarvittaessa esimerkiksi seuraavia tarkentavia ohjeita:

- lyöntikorkeudesta tai lyönnin eri vaiheissa käytettävästä lyöntienergiasta
 - suljettujen yläpäästä lyötävien paalujen vedellä täyttämisestä
 - kalliokärjen kärkitapin lyömisestä kallioon tarkentavat ohjeet
 - menettelyohjeet lyönnin aikana odotettavissa olevien erityistekijöiden ilmenemisen varalta
 - ilmoitusvelvollisuuksista ja paalutuspöytäkirjan pitämisestä täsmennetyt ohjeet
 - dynaamisten koekuormitusten tekemisestä (määrät, ohjeet, tavoitetasot).
- (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 34.)

Mikäli paalutuksen tavoitetasoa ei saavuteta tai loppulyöntiehdot eivät täyty, on otettava yhteys suunnittelijaan tai rakennuttajan edustajaan. Riittävän geoteknisen kantokyvyn varmistamiseksi kantavuudeltaan epäilyttävät tai muista läheisistä paaluista poikkeavat paalut jälkilyödään tai koekuormitetaan dynaamisesti. (InfraRYL 2010. Väylät ja alueet. 2010, 56.)

3.5.11 Paalutustyön dokumentointi

Paalutustyöstä tehdään kaksiosainen paalutuspöytäkirja, joka sisältää yleisen ja paalukohtaisen osan. Ensimmäinen osa sisältää paalutuspaikan kuvauksen ja paalutusta koskevia yleisiä tietoja, kuten

- paalu (paalutyyppi mittoineen)
- paalutusmenetelmä
- raudoituksen ja betonoinnin laatuvaatimukset.

Paalukohtainen osa sisältää yksityiskohtaisesti taltioidut tiedot paalun tekemisestä. Paalutuspöytäkirjan yleinen osa laaditaan samansisältöisenä mutta erikseen eri paalutypeille ja paalutusmenetelmille. Pöytäkirjan paalukohtainen osa laaditaan jokaisesta paalusta. Pöytäkirjan yksityiskohdista sekä asioiden esitystavasta sovitaan ennen paalutuksen aloittamista. Kaikki pöytäkirjat tulee allekirjoittaa paalutustyön johtaja ja rakennuttajan valvoja. (RIL 212-2001. 2001, 131–132.)

Paalutuspöytäkirjojen lisäksi tarvitaan paalutuksen vaatimustenmukaisuuden todentamiseksi dokumentit materiaaleista ja työmenetelmistä sekä koestuksista ja koekuormista. Myös muita dokumentteja tarvitaan paalutuksen vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi, esimerkiksi toteutussuunnitelma, ainestodistukset ja vastaavat, ja niiden määrä ja laatu riippuu kohteen vaativuuden ja laajuuden mukaan. (RIL 254-2-2011. 2011, 252.)

Paalutustyön valmistettua laaditaan paalutuksen toteumapiirustus. Kohteen rakennuttaja vastaa toteumapiirustuksen laatimisesta. Pohjarakennesuunnittelija tai urakoitsija laatii toteumapiirustuksen riippuen siitä kumman urakkaan rakennuttaja on sen sisällyttänyt. (RIL 254-2-2011. 2011, 252.)

4 TERÄSPONTTISEINÄ RAKENTEET

Tukiseinärakenteita, jotka perustuvat teräsputkipaaluihin, käytetään satamien reuna- ja pistolaitureissa. Myös melko yleisenä käyttökohteena ovat maanalaisen tilojen pysyvät tukiseinärakenteet. Kaivamiseen perustuvat työmenetelmät voidaan useasti korvata teräsputkipaaluihin perustuvilla tukiseinärakenteilla. Teräsputkipaalut asennetaan yleensä tukiseinärakenteissa kärjestään avoimina, mutta tarvittaessa ne voidaan varustaa myös paalukärjillä. (Suuriläpimittaiset teräsputkipaalut pohjarakentamisessa. Ruukki 2010, 8.)

Rakennus- ja johtokaivantojen työaikaiseen ja pysyvään tukemiseen soveltuu käytettäväksi teräsponttiseinät. Niitä voidaan käyttää kaikissa maakerrostumissa. Ponttien lyönnin voi kuitenkin estää tiivis tai kivinen moreeni tai tiivis karkearakeinen maakerros. Lyömällä pontit saadaan tunkeutumaan syvyyteen, jossa painokairausvastus on luokkaa 80...100 pk/0,2 m. (RIL 181-1989. 1989, 28, 108.)

4.1 Suunnittelu

Pohjatutkimukset, yleiset vaatimukset

Geoteknisten tutkimusten pitää tuottaa tarpeeksi tietoja pohja- ja pohjavesiolosuhteista rakennuspaikalla ja sen ympäristössä. Tietoja tarvitaan keskeisten maapohjan ominaisuuksien kuvaamiseen sekä maaparametrien ominaisarvojen arviointiin, joita käytetään mitoituslaskelmissa. Pohjatutkimus on ulotettava niin syväälle ja laajalle alueelle, että saadaan selville kaikki maapohjan muodostumat ja kerrostumat, joilla voi olla vaikutusta paalutustyöhön. Kokemus vastaavista pohjarakennustöistä samanlaisissa olosuhteissa ja/tai työmaan läheisyydessä otetaan huomioon pohjatutkimusten laajuutta määritettäessä. Paalutustyön suunnittelua varten selvitetään, onko tulevan tärinälähteen ympärillä 30–50 metrin säteellä tärinäherkkiä rakenteita ja laitteita. Tärinäherkät laitteet luetteloidaan ja selvitetään niiden sallitut tärinärajat. Tärinää tarkkaillaan mittauksin paalutustyön aikana ja työmenetelmiä muutetaan tarvittaessa. Pohjatutkimuksen tulee olla riittävä ennen rakennustöiden aloittamista tai sitä joudutaan täydentämään. (RIL 254-2011. 2011, 35.)

Geotekniset luokat

Geotekninen luokka määrittää rakenteen geotekniset suunnitteluvaatimukset. Geoteknisiä luokkia on kolme, jotka ovat GL1 (helpot rakenteet), GL2 (normaalit rakenteet) ja GL3 (vaikeat rakenteet). Luokka määrittelee suunnittelijan pätevyysvaatimukset, pohjatutkimusten laajuuden ja laadun sekä käytettävät mitoitust menetelmät. Mitä vaikeampia kohteet ovat, sitä laajempia ja kattavampia pohjatutkimuksien ja vastaavien seikkojen pitää olla. Geotekninen luokka voidaan valita kaaviosta liitteen 1 mukaan. (RIL 254-2011. 2011, 36.)

Seuraamusluokka

Seuraamusluokkia (taulukko 1) on CC1 (helpot rakenteet), CC2 (normaalit rakenteet) ja CC3 (vaikeat rakenteet), jotka määritetään SFS-EN 1990:n mukaan. (Uotinen 2013, 2.)

TAULUKKO 1. Seuraamusluokat. SFS-EN 1990 kansallinen liite (Uotinen 2013, 2)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

Paalutustyöluokan määrittäminen

Paalut jaotellaan paalutustyöluokkiin PTL1, PTL2 ja PTL3. Luokista vaativin on PTL3. Määrittäminen riippuu rakenteen geoteknisestä luokasta (GL1...GL3) ja seuraamusluokasta (CC1...CC3). Pääosissa hankkeita valitaan paalutustyöluokka PTL2 tai PTL3. Geoteknisen luokan ja seuraamusluokan perusteella määrittyy alhaisin vaadittava paalutustyöluokka (taulukko 2). Suurpaalujen kantavuuden varmistaminen on suoritettava aina dynaamisella kuormituskokeella. Tämän vuoksi rakenteiden optimoinnin kannalta on monesti suositeltavaa käyttää paalutustyöluokkaa PTL3. Vastaavasti RD-paaluilla suositellaan käytettäväksi alinta seuraamusluokan ja geoteknisen luokan sallimaa paalutustyöluokkaa. (RIL 254-2011. 2011, 100; Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 15.)

TAULUKKO 2. Paalutustyöluokat PTL1, PTL2 ja PTL3 tavanomaisessa rakentamisessa (RIL 254-2011. 2011, 100)

Geotekninen luokka, ks. kohta 2.3	Seuraamusluokka, ks. SFS-EN 1990		
	CC1	CC2	CC3
GL1*	PTL1...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL2...(PTL3)
GL2	PTL1...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL3
GL3	PTL2...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL3

*ei ole yleensä paaluttamista edellyttävä kohde

Paalujen kestävyys

Paaluille lasketaan suunniteltaessa murtorajatilan kestävyys R_d . Murtorajatilakestävyys perustuu paalun ominaisuuksiin ja paalutustyöluokkaan (PTL1, PTL2 tai PTL3). Teräspaalun mitoituksen periaate eurokoodien ja PO-2011:n mukaisesti on esitetty liitteessä 5.(RIL 254-2011. 2011, 100.)

4.2 Ponttiprofiilit

Teräsponttiprofiilit ryhmitellään profiilin painon ja taivutusvastuksen perusteella keveisiin, raskaisiin, erikoisponttiprofiileihin sekä putkiprofiileihin. (RIL 181-1989. 1989, 28.)

- Kevyet profiilit ovat levymäisiä tai matalasti aaltoilevia ja ne voidaan asentaa joko ponttiliitoksella tai limittäin.
- Raskaat profiloidut ponttiprofiilit ovat suunniteltu ponttiin lyötäväksi ja ovat tyypiltään joko Z- tai U-tyyppiä. Z-profiilit lukitaan paarteistaan ja U-profiileissa lukitus on uumalevyssä seinän neutraaliakselilla.
- Erikoisponttiprofiilit ovat laatikkomaisia I- tai H-profiileja ja niitä käytetään erittäin syvien kaivantojen tukiseininä. Erikoisprofiilien välissä voidaan myös käyttää Z- tai U-profiileja. Lisäksi on olemassa erityisiä kulmapontteja, joita käytetään tarvittaessa teräsponttiseinien kulmissa.
- Putkipaaluja käytetään erittäin syvien kaivantojen tukiseininä sekä erityisesti satamalaitureissa pysyvinä tukiseininä. Putkipaalutukiseinien lyönti onnistuu myös tiiviiseen moreeniin. (RIL 181-1989. 1989, 28.)

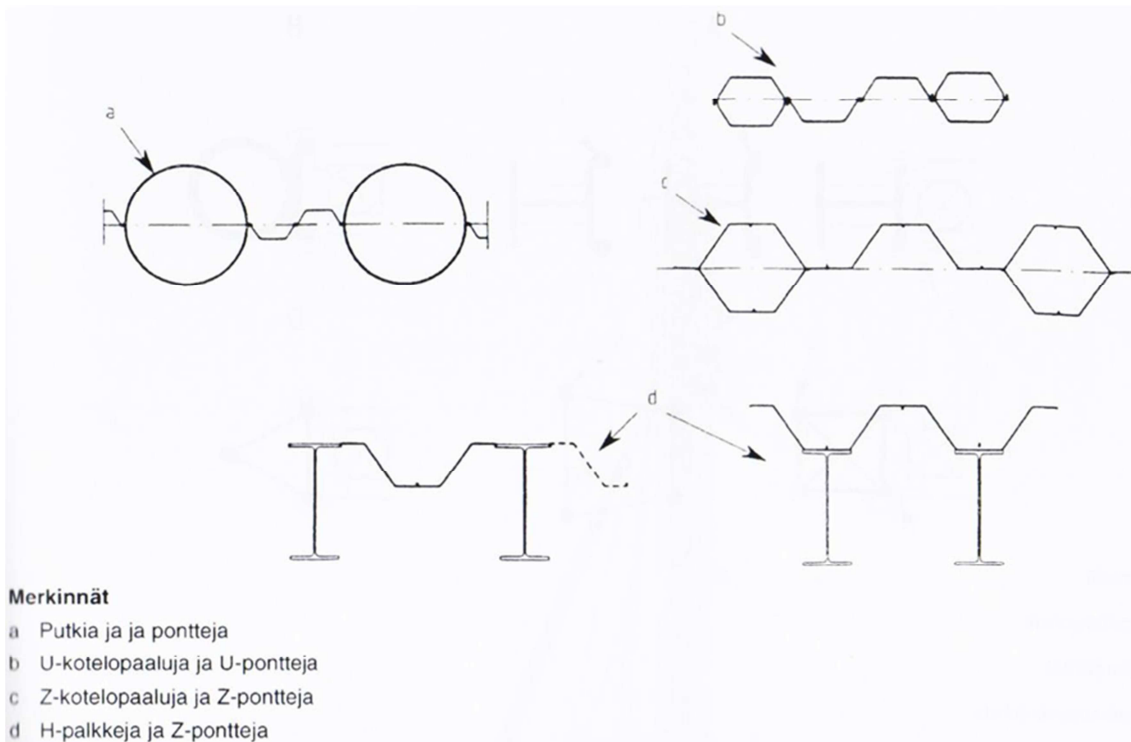
Samoja ponttiprofiileja voidaan käyttää useaan kertaan työnaikaisissa kaivannoissa. Uudelleen käytettäviä pontteja joudutaan kuitenkin usein kunnostamaan käyttökertojen välillä. Kunnostaminen parantaa seinän laatua ja helpottaa lyöntityötä. (RIL 181-1989. 1989, 28.)

4.3 Combi-seinä, teräspuikiponttiseinä

Satamien reuna- ja pistolaitureissa käytetään teräspuikipaaluihin perustuvia tukiseinärakenteita. Reunalaitureiden yleisimmiksi rakenneratkaisuiksi ovat yleistyneet teräspuikipaaluista ja ponttiprofiileista muodostettavat combi-seinät, koska niiden muunneltavuus antaa hyvät mahdollisuudet rakenteen, kapasiteetin ja muodon optimointiin. Maanalaisten tilojen pysyvä tukiseinärakenne on myös varsin yleinen käyttökohde. Työläät kaivamiseen perustuvat tukiseinärakenteiden toteutusmenetelmät voidaan usein helposti korvata teräspuikipaaluihin perustuvilla tukiseinärakenteilla. Combi- ja putkipaaluseiniä käyttämällä voidaan selvästi paremmin hallita vaaka- ja pystykuormat kuin perinteisillä teräsponttiseinillä. (Suuriläpimittaiset teräspuikipaalut pohjarakentamisessa. 2010, 3, 8.)

Yhtenäinen combi-seinä voidaan muodostaa suurpaaluista hitsaamalla paalujen kylkeen ponttilukot tai kokonaiset teräspontit. Putkipaalut kantavat combi-seinässä seinään kohdistuvat kuormat ja väliin asennettavat teräspontit tekevät seinästä yhtenäisen. Taivutusjäykkyys ja kestävyys ovat erinomaiset combi- ja putkipaaluseinillä. Käyttökohteina ovat pysyvät ja tilapäiset tukiseinärakenteet, satamalaiturit, rakennusten perustukset, liikenneväylärakenteet ja sillat. Mahdollista on myös erilaisten korroosiosuojapinnoitteiden lisääminen. (Combi-seinät. 2013, 1–2.)

Combi-seinä on tukimuuri, joka koostuu primaari- ja sekundaarielementeistä. Teräspuikia, palkkeja ja kotelopalkkeja käytetään primaarielementteinä. U:n tai Z:n muotoisia elementtejä käytetään puolestaan sekundaarielementteinä. Combi-seinä voidaan rakentaa erilaisista elementeistä. (Kuva 12.) (SFS-EN 12063.1999, 6.)



KUVA 12. Erilaisia combi-seiniä (SFS-EN 12063. 1999, 9)

Combi-seinissä käytetään esimerkiksi Ruukin paaluja RR400–RR1200. Paaluissa käytettävää teräslaatuja on useita erilaisia. Combi-seinissä voidaan käyttää erilaisia ponttityyppejä. (Combi-seinät 2013, 2.)

4.4 Combi-seinän ja teräsponttiseinän asennus

4.4.1 Ponttien tunkeminen maahan

Teräsponttiseinän asennus aloitetaan usein maanpintaan tehtävällä matalalla alkukaivannolla, jolloin saadaan poistettua ponttien tieltä maapinnalla olevat kivet ja mahdolliset päällysrakennekerrokset. Ohjauslankut asennetaan kaivannon pohjalle pitämään pontit oikeassa linjassa. Seinälle syntyy valmistajan suunnittelema jäykkyys, kun pontit lyödään uriinsa. Vesitiiviyskin tulee varsin hyväksi. Kivisissä maissa ja varsinkin ponttiseinän kulmakohdissa syntyy usein tilanteita, jossa pontit joudutaan lyömään limittäin. Rakenne jää tällöin huomattavasti heikommaksi. Teräspontit sopivatkin parhaiten juuri kivettömiin maihin. (Jääskeläinen 2003, 128.)

Suunnittelija laskee ponteilta vaadittavan jäykkyyden. Usein käytetään hieman ylijäykkiä pontteja pontitustyössä. Tällöin pontit säilyvät paremmin uusia käyttökohteita varten, koska vääntyileminen rasituksessa on vähäisempää sekä ponttien ylös nostaminen helpompaa. (Jääskeläinen 2003, 128.)

Teräsponttiseinien tekoon käytetään ehjiä ja suoria ponttiprofiileja ponttiin lyötyinä, ellei suunnitelmissa sallita muunlaista seinän tekoa. Paalut asetetaan maahan lyömällä, tärytyksellä tai puristamisella tai näiden menetelmien yhdistelmällä. Teräsponttiprofiilien lyönnissä käytetään kevyttä pudotusjärkälettä (10–20 kN), hydraulista ponttivasaraa tai täryjunttaa. Lyöntienergia mitoitetaan siten, että haluttuun syvyyteen päästään ponttiprofiileja rikkomatta. (RIL 181-1989. 1989, 108; SFS-EN 12063. 1999, 57.)

Tärytys on tehokkain menetelmä useimmissa olosuhteissa. Käytettäessä yhdessä ohjainjohteen kanssa se on myös hyvin tarkka menetelmä upotettaessa pontteja haluttuun syvyyteen. Tärytys voi olla tehotonta, jos pontteja on tungettava pohjaveden yläpuolella olevan hyvin tiiviin hiekan tai soran tai jäykkien savi-kerroksien läpi. Apukeinoja voidaan tarvita tällaisissa tapauksissa tai asennetaan pontti lyömällä. Mikäli vaikeasti läpäistäviä esteitä on maaperässä eikä niitä voida poistaa, ovat esiporaus tai huolellinen lyömällä suoritettu asennus tällöin parhaita menettelytapoja. (SFS-EN 12063. 1999, 57.)

Tunkemisen aikana tulisi pontteja ohjata yhdeltä tai useammalta tasolta. Ponttien pysyminen halutussa vaaka- ja pystylinjassa asennuksen aikana varmistetaan vakaiden ja tukevien ohjainkehysten avulla. Erityistä huomiota tulee kiinnittää sulkevien ponttien vaakasuuntaiseen sijaintiin ja pystysuoruuteen, jos tukiseinä on suljettu. Käytettäessä voiteluaineita tai bentoniittia tunkemisen helpottamiseksi, tulee noudattaa paikallisia ympäristönsuojelumääräyksiä. Voiteluaineita ei saa käyttää suorauumaisissa ponteissa, koska vetolujuus ponttilukossa saattaisi alentua. Mikäli ponteissa on uros-naaras-tyyppisiä ponttilukkoja, tulisi pontin maahan upotus tehdä urosliitin ohjaavassa päässä. (SFS-EN 12063, 31.)

Lyömällä suoritettava pontin asennus aiheuttaa ympäröivään maahan pienempää tärinää kuin täryttämällä suoritettu asennus. Suurtaajuustäryttimen pyörivän massan epäkeskisyyttä voidaan muuttaa upotuksen aloitus ja pysäytys vai-

heessa. Tämä voi merkitsevästi vähentää haitallista tärinää, jonka prosessi aiheuttaa ympäröivään maahan. (SFS-EN 12063. 1999, 57.)

Pontin lyöntiin verrattuna täryttäminen vähentää yleensä ponttien pyrkimystä kallistua tunkemisen aikana. Upotettavan pontin ja sen viereisen pontin välinen ponttilukon kitka on yleisin syy pitkittäissuuntaiselle kallistumiselle. Kyseinen kitka aiheuttaa epäkeskisyyttä ponttiin vaikuttavaan voimaan, eikä sitä yleensä voida korjata tarpeeksi siirtämällä järkäleen iskun keskipistettä. Parempi vaihtoehto on yleensä vapaan ohjaavan ponttilukon kitkan pienentäminen. Menetelmiä on useita, joilla voidaan pienentää ponttilukon kitkaa, kuten voiteluaineita käyttämällä tai upotuksen ajaksi ohjaava ponttilukko täytetään bentoniitilla tai sementin ja bentoniitin seoksella. Maa-aineksen pääsyn ponttilukkoon voidaan myös estää sulkemalla ponttilukko pontin päästä. (SFS-EN 12063. 1999, 57.)

Vähäisestä maan syrjäytymisestä huolimatta voi profiilin lyönnin aiheuttama tärinä, varsinkin täryjunttaa käytettäessä, aiheuttaa karkearakeisten maakerrosten tiivistymistä. Tiivistyminen voi johtaa vaurioihin ja painumiin ympäröivissä rakenteissa ja rakennuksissa. Myös tärinä voi lisäksi aiheuttaa vaurioita. Ponttiprofiilien käyryys ja lyönnin epäkeskeisyys lisää tärinää, jonka vuoksi on tärkeää varmistaa, että lyönti on keskeinen. (RIL 181-1989. 1989, 108.)

Tärinä, joka syntyy järkäleistä ja tärytyskalustosta, on yleensä huomattavan suuri ja saattaa siirtyä melko kauaskin. Osa tärinästä voi siirtyä tärinälle herkkiin perustuksiin. Perustukset siirtävät tärinän tukemaansa rakenteen eri rakenneosiin. Tämän takia rakennuksiin, jotka ovat tärinälähteen läheisyydessä, saattaa syntyä vaurioita. Mikäli tällaiset rakennukset on perustettu löyhälle hiekalle, erityinen varovaisuus on tarpeen. Varsinkin hiekan ollessa veden kyllästämää, voi rakennus painua äkillisesti maan tärinän takia. (SFS-EN 12063. 1999, 57.)

Ratkaisuna voi olla ponttien puristaminen maahan, jos tärinää tai melua pidetään ongelmana. Koheesiomaalajeissa puristaminen on yleensä tehokasta. Esi-poraus ja joskus vesihuuhtelu voivat olla tehokkaita apukeinoja vaikeissa maa-peräolosuhteissa. (SFS-EN 12063. 1999, 57.)

Hienorakeisen maan nousemisen ylös estämiseksi ponttiprofiilin noston yhteydessä on suositeltavaa käyttää täryjunttaa nostossa. Maahan jää kuitenkin

ponttiprofiilin levyinen rako, joka täyttyy suuremman maanpaineen suunnasta aiheuttaen vastaavan painuman. Mikäli vaurioalttiita rakenteita tai rakennuksia on ponttiseinän läheisyydessä, ei pontteja ole aina mahdollista nostaa riskittävästi, vaan ne jätetään maahan. Luonnollisesti tämä on esitettävä suunnitelmissa. (RIL 181-1989. 1989, 108.)

4.4.2 Asennus ja apukeinot

Kiviseen ja lohkareiseen maaperään ei teräsponttiprofiileita kannata lyödä niiden vääntymisen ja rikkoutumisen vuoksi. Pintakerros on ehdottomasti poistettava ennen ponttiprofiilien lyöntiä, mikäli siinä on lohkareinen ja kivinen täyttö. Lyönnin alkuvaiheessa profiilin vääntymisen estää seinän rakentamisen. Erilaisilla ohjaimilla voidaan ponttiprofiilien pysymistä pystyssä seinän teon aikana helpottaa. (RIL 181-1989. 1989, 108.)

”Kohdistista ja tunge -menetelmä”

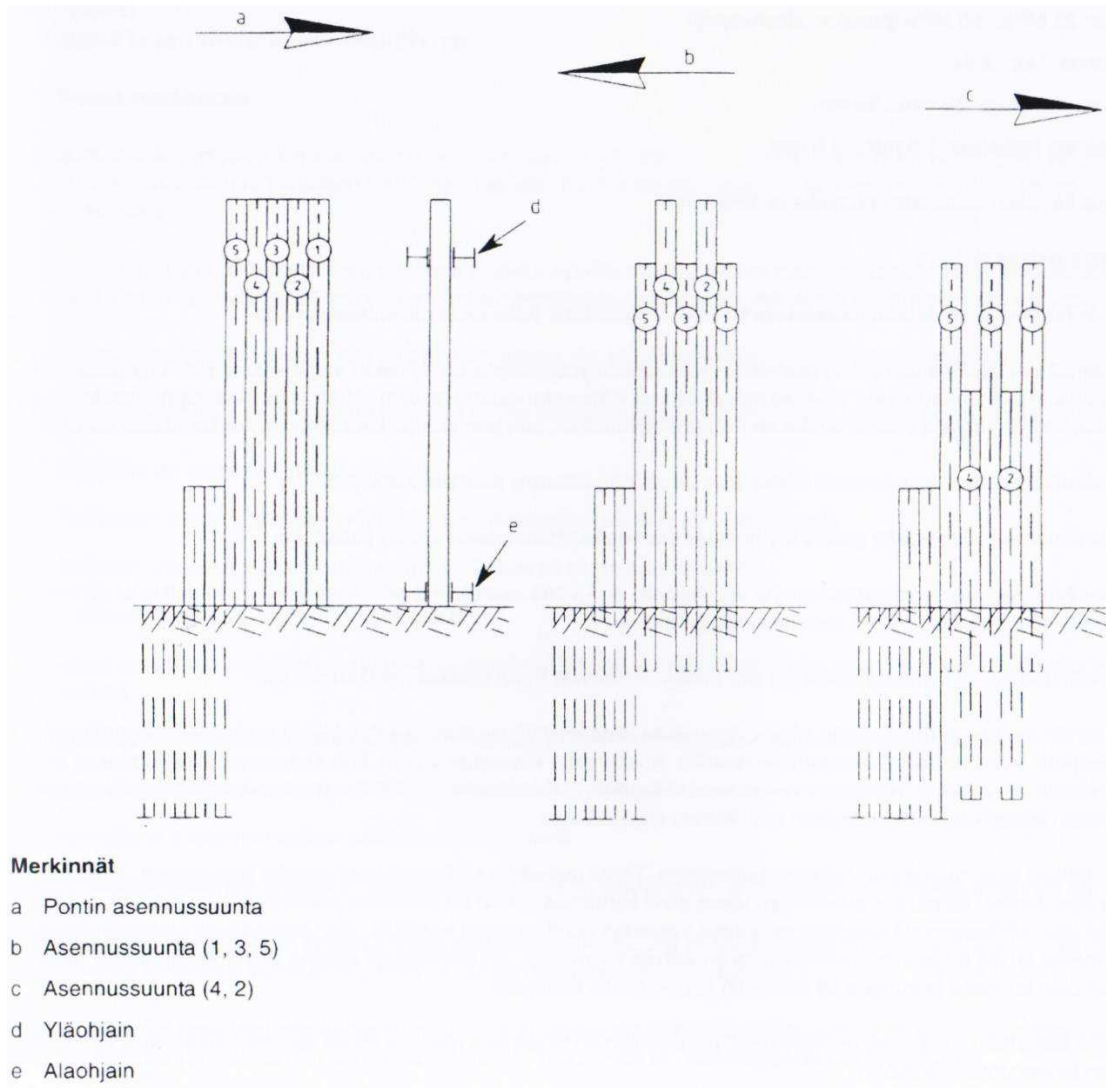
Käytettäessä kohdistista ja tunge -menetelmää, yksittäinen tai kaksinkertainen pontti tungetaan suunniteltuun syvyyteen ennen seuraavan pontin kohdistamista. Etuna tässä yksinkertaisessa menetelmässä on se, että pontin yläpäättä tarvitsee nostaa vain pontin pituuden verran maan pinnan yläpuolelle. Pontti pystytään myös helposti ohjaamaan käsin jo asennetun pontin ponttilukkaan. Upottaminen pontti kerrallaan tiiviissä hiekassa, jäykässä koheesiomaassa ja vaikeasti läpäistäviä esteitä sisältävissä maaperässä voi aiheuttaa vapaan ohjaavan ponttilukon irtoamista sekä joskus varsin suuria poikkeamia vaaditusta sijainnista. (SFS-EN 12063. 1999, 58.)

Paneeleittain tunkeminen

Paneeleittain tunkemalla ja porrastetusti tunkemalla ponttien sijaintia seinässä voidaan valvoa paremmin. Ponttilukkojen irtoamisriski on samalla pienempi. Kohdistettaessa kokonaista paneelia tukiseinän valmistuksen jatkamiseksi ei kaikkia pontteja ole tarpeen tunkea lopulliseen syvyyteen. Jos vaikeasti läpäistäviä esteitä tullessa vastaan, voidaan yksittäiset pontit jättää ylös asennusprosessia keskeyttämättä. (SFS-EN 12063. 1999, 58.)

Porrastetusti tunkeminen

Vaikeissa maaperäolosuhteissa voidaan käyttää tunkemista porrastetusti, mikä on paneeleittain tunkemisen sovellus. Paneelin pontit tungetaan määrättyssä järjestyksessä. (Kuva 13.) Haittana paneeleittain tunkemisessä on se, että ponttilukkojen kiinnityksen vuoksi joudutaan pontit nostamaan niiden kaksinkertaisen pituuden verran maan pinnan yläpuolelle. (SFS-EN 12063. 1999, 58.)



KUVA 13. Esimerkki porrasmaisesti suoritettavasta ponttien asennuksesta (SFS-EN 12063. 1999, 59)

Combi-seinän primaarielementtien tunkeminen saa aikaan maan tiivistymistä paikallisesti. Tiivistyminen saattaa aiheuttaa ongelmia viereisten primaarielementtien tunkemisessä. Tämän vuoksi se tulisi ottaa huomioon valittaessa asennusjärjestystä. Ponttilukon irtoamistodennäköisyyttä voidaan pienentää

tunkemalla aluksi combi-seinän primaarielementit sekundaarielementtien suunnittelusyvyyteen. Kun primaarielementit on onnistuneesti tungettu, voidaan sekundaarielementit kohdistaa ja tunkea. Tämän jälkeen tungetaan primaarielementit lopulliseen syvyyteen. (SFS-EN 12063. 1999, 58.) Hyvin tiiviitä hiekkakerroksia on usein tarpeen löyhentää. Löyhentämisessä voidaan käyttää pienpainevesihuuhtelua, suurpainevesihuuhtelua, esiporausta tai erikoistapauksissa räjäytystä. (SFS-EN 12063. 1999, 59.)

Pienpainevesihuuhtelu

Tiiveissä kitkamaalajeissa käytetään pääasiassa pienpainevesihuuhtelua. Pienpainevesihuuhtelu pienten vesimäärien avulla suoritettuna, yhdistettynä tärytykseen, mahdollistaa ponttien tunkeutumisen hyvin tiiviiseen maaperään. Maaperän ominaisuudet muuttuvat yleensä vain vähän. Maan painuminen on myös vähäistä. Ponttien kannattaessa pystysuuntaisia kuormia on kuitenkin noudatettava erityistä varovaisuutta. Erityisesti tätä menetelmää suositellaan käytettäväksi silloin, kun suurtaajuustärytys on yhdistettynä siihen. (SFS-EN 12063. 1999, 60.)

Ennen paalutusta pienpainevesihuuhtelua käytetään joskus myös maaperän esikäsittelemiseen. Suuria vesimääriä käytettäessä pienpainevesihuuhtelu on karkea menetelmä, varsinkin silloin, kun putkia ei ole kiinnitetty pontteihin. Tämän takia sitä ei suositella käytettäväksi. (SFS-EN 12063. 1999, 60.)

Suurpainevesihuuhtelu

Suurpainevesihuuhtelulla löyhentäminen voi olla erittäin tehokasta hyvin tiiveissä maakerroksissa. Vähän matkan päähän ponttien kärjen yläpuolelle kiinnitetyistä suuttimista tulee pontteihin pieniä määriä vesihuuhtelussa käytettyä vettä tai joskus sementtibentoniittia. Tätä menetelmää käyttämällä ponttia voidaan ohjata tehokkaasti, koska vettä käytetään vähän. Ponttien kokonaistoimintaan ei vaikuteta merkittävästi, koska haitalliset vaikutukset kohdistuvat vain pienelle alueelle ponttien ympärille. (SFS-EN 12063. 1999, 60.)

Esiporaus

Maa-ainesta paikallisesti löyhentävä esiporaus suoritetaan joskus ennen ponttien tunkemista. Yleensä käytetään auger-kairaa. Usein esiporaus tehdään koh-

dassa, johon on kiinnitetty kaksinkertaisen pontin ponttilukko, mutta tehokkaampaa voi olla esiporauksen tekeminen vapaiden ponttilukkojen kohdalle. Mikäli suuria vaikeuksia arvellaan olevan upotuksessa tai erityisvaatimuksia on asetettu tukiseinän tiiveydelle, voidaan auger-kairan avulla poistaa maapilari ponttilukkojen kohdalta ja korvata se sementin ja bentoniitin seoksella. (SFS-EN 12063. 1999, 60.)

Räjäyttäminen

Mikäli ponttien on läpäistävä maassa olevia vaikeita esteitä tai jos ponttien on tukeuduttava kalliioon, käytetään murtamiseen tavallisesti räjäyttämistä. Räjäyttäminen voidaan tehdä poraamalla maaputki kiveen ja kallioporalla reikä kiveen, johon räjäytysaine asennetaan. (SFS-EN 12063. 1999, 60.)

Välppäys

Välppäys suoritetaan kaivinkoneella kaivamalla ja seulomalla eteen tulevat esteet (lohkareet, kivet ym.) pois suunnitellulta ponttilinjalta. Yleensä kaivetaan niin syvältä kuin esteitä esiintyy tai mihin koneen ulottuvuus riittää.

Pontin alapään vahvistaminen

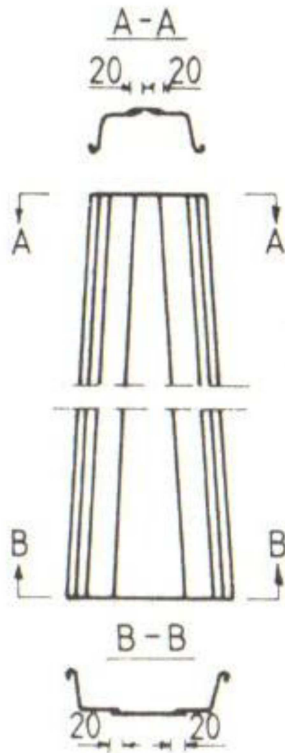
Työskenneltäessä kivisessä maaperässä, voidaan pontin kärkeä vahvistaa pontin alapäähän hitsattavalla irtonaisella metallikengällä (kuva 14.), joka samalla jäykistää teräspottia. (Strong shoes. Hammer & steel. 2014.)



KUVA 14. Teräskengä (Strong shoes. 2014)

Kiilamainen teräspontti

Seinän kallistumista upotussuuntaan voidaan yrittää oikaista kiilamaisilla lankuilla. Kuvassa 15 on kiilamaisen teräspontin periaatepiirros. (RIL 166 Pohjarakenteet. 1986, 464.)



KUVA 15. Kiilamainen teräsponttilankku (RIL 166 Pohjarakenteet. 1986, 464)

Vaijeri

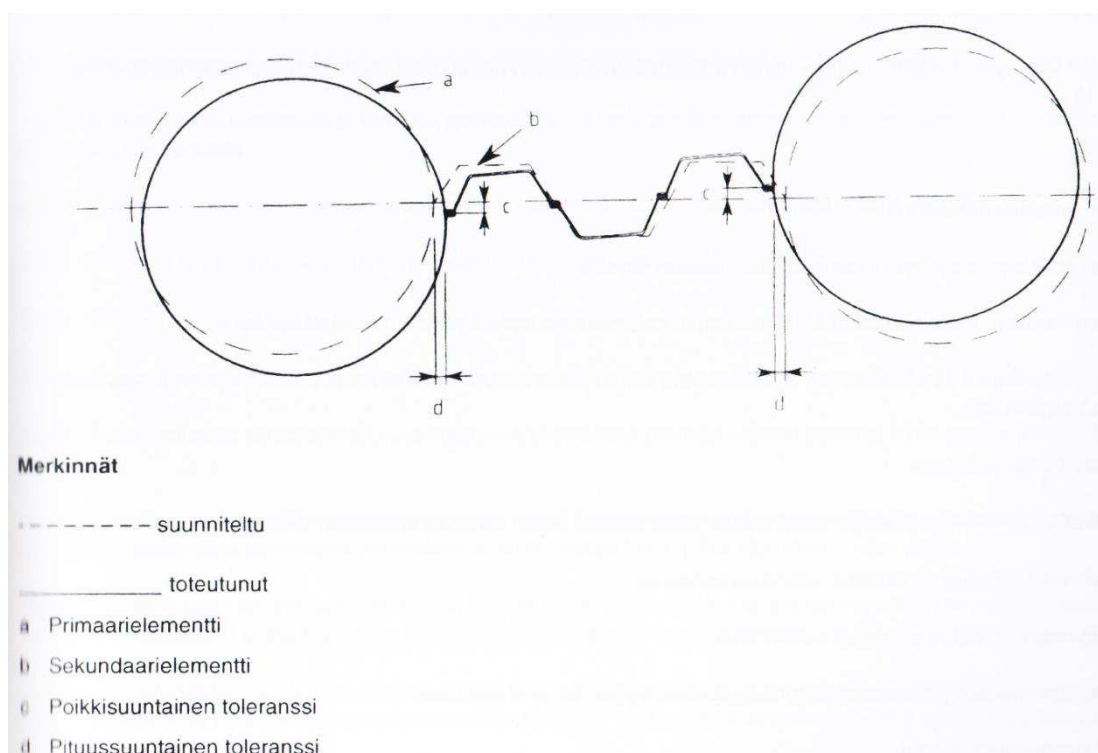
Maahan lyötäessä teräsponttilankku pyrkii kallistumaan lankutuksen etenemissuuntaan. Tätä kallistumista voidaan pyrkiä estämään kiinnittämällä lankkuun seinän suuntaisesti kiristetty vaijeri. (Rantamäki – Tamminne 1996, 117.)

4.4.3 Pontin sijainnin korjaaminen tunkemisen aikana

Kallistuksen ehkäisemiseksi ei teräspontin kärjen viistoamista tai osittaista leikkaamista saisi tehdä ponttilukon irtoamisriskin vuoksi. Pontin kallistuessa poikisuunnassa tai kiertyessä upottamisen aikana tulisi se vetää ylös ja tunkea uudestaan, jos muut toimenpiteet eivät riitä. Tunkemisen aikana ponttien kallistuessa pituussuunnassa pitäisi alkaa välittömästi toimenpiteisiin asian korjaamiseksi, esimerkiksi vetämällä tai työntämällä ponttia. (SFS-EN 12063. 1999, 33.)

4.4.4 Vaaka ja pystysuuntaisen sijainnin toleranssit

Combi-seinän sekundaarielementtien ponttien profiili valitaan lujuustarkastelun, joustavuuden ja upotettavuuden perusteella. Valintaan otetaan huomioon mahdollisesti esiintyvät toleranssit primaarielementtien upotuksen jälkeen. (Kuva 16.) (SFS-EN 12063.1999, 15.)



KUVA 16. Combi-seinän toleranssit ja elementit (SFS-EN 12063.1999, 15)

Ponttilukon irtoamisen vaara riippuu pääasiassa primaarielementtien kohdistamistarkkuudesta ja pystysuoruudesta, maaperäolosuhteista sekä ponttien muodonmuutoskäyttäytymisestä. (SFS-EN 12063.1999, 15.)

Primaarielementtien vaakasuuntaisen sijainnin ja pystysuoruuden toleranssit combi-seinissä ovat yleensä hyvin tiukat, ja sen takia tulisi käyttää erityistimenpiteitä, esimerkiksi jäykkiä ja vakaita ohjainkehysiä. (SFS-EN12063, 32.)

Mikäli primaari ja sekundaarielementtien kärkien tasot ponteissa ja combi-seinissä tunkemisen jälkeen poikkeavat suunnitellusta tasosta enemmän kuin 250 mm, on osoitettava, että suunnittelun toimintavaatimukset täyttyvät yhä. Jos yläosan tasot upotuksen jälkeen ponteissa ja primaari- ja sekundaarielemen-

teissä poikkeavat suunnittelussa määritellyssä tasosta enemmän kuin 50 mm, on osoitettava, että toimintavaatimukset edelleen täyttyvät. Pontit tulisi korjata vaatimusten mukaisiksi, jos vaatimuksia ei täytetä. (SFS-EN12063, 32.)

Ponttien vaakasuuntaisen sijainnin ja pystysuoruuden toleranssien tulisi olla asennuksen jälkeen taulukossa 3 esitettyjen arvojen mukaisia. Taulukossa esitetyt arvot koskevat normaaleja tilanteita. (SFS-EN 12063, 32.)

TAULUKKO 3. Ponttien vaakasuuntaisen sijainnin ja pystysuoruuden toleranssit asennuksen yhteydessä (SFS-EN 12063. 1999, 32)

Seinätyyppi	Asennusolosuhteet	Pontin yläpään vaakasuuntainen sijainti, mm	Pystysuoruus ²⁾ , joka on mitattu ylimmän 1 m:n matkalta, %
			Pystysuoruus kaikissa suunnissa, %
Pontti ⁴⁾	Maalla	≤ 75 ¹⁾	≤ 1 ³⁾
	Vedessä	≤ 100 ¹⁾	≤ 1,5 ³⁾
Combi-seinän primaarielementti		Nämä arvot tulisi päättää jokaisessa tapauksessa erikseen riippuen maaperäolosuhteista ja sekundaarielementtien pituudesta, muodosta, koosta ja lukumäärästä sen varmistamiseksi, etteivät ponttilukot avaudu.	

¹⁾ Kohtisuorassa seinää vastaan
²⁾ Jos suunnittelussa vaaditaan, että pontit tungetaan vinoon, taulukossa määritellyt toleranssit koskevat tätä suuntaa
³⁾ Vaikeissa maaperäolosuhteissa 2 % edellyttäen, että esim. vesitiiviydelle ei ole esitetty tiukkoja vaatimuksia ja että ponttilukkojen avautumisen kaivamisen jälkeen ei katsota olevan ongelma
⁴⁾ Ei koske suorauumaisia pontteja

HUOM. Sijainnin ja pystysuoruuden toleranssit voivat vaikuttaa toisiinsa.

Combi-seinä ja RD-paaluseinärakenteissa on usein tarkoituksenmukaista tavoitella yleisiä sijainti- ja kaltevuustoleransseja huomattavasti tiukempia toleransseja. Toimenpiteet, millä tiukkoihin toleransseihin päästään, on vähintään alustavasti suunniteltava jo suunnitteluvaiheessa. Tapauskohtaisesti on määritettävä käytettävät toleranssit. Combi-seinä rakenteiden asentamisessa yleensä käytetään järeitä teräspalkeista tehtyjä kehikoita (template). (Kuva 17.) Näitä apuna käyttäen paalut saadaan asemoitua tarkasti paikalleen. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 28.)



KUVA 17. Teräskehikko

Paaluseinärakenteissa seinälinjan aloituspaalu määrää käytännössä koko seinän suunnan ja kaltevuuden. Aloituspaalun (aloituspaalujen) asennus ja käytettävät toleranssit paaluseinissä on suunniteltava erittäin huolellisesti. (Suunnittelu ja asennusohjeet. 2012, 28.)

4.4.5 Kalusto

Ponttien asentamiseen yleisimmin soveltuvia paalutuskalustoja ovat vapaapudotus-, diesel-, hydraulinen ja paineilmajärkäleet sekä suur- ja pientaajuustäryttimet ja puristuslaitteet. (SFS-EN12063, 57.)

Paalutuskoneet sopivat hyvin ponttien upotukseen. Upotus voidaan tehdä myös muillakin koneilla. Teräspontteja voidaan upottaa esimerkiksi riiputettavilla järeillä tärytysvasaroilla. Upotukseen aikana valvotaan ponttien suunnan säilymistä. Maahan tunkeutuessaan teräspontitkin pyrkivät taipuilemaan. (Jääskeläinen 2003, 128.)

Nykyään teräsponttien lyöntiin käytetään kaivinkoneasenteisia sivuottovibroja (kuva 18), sivuotto putkeniskijöitä sekä myös paalutusvasaroita. Nämä sivuottovibrat voidaan asentaa useimpiin kaivinkoneisiin. Automaattinen ohjausjärjestelmä yhdistää kaivinkoneen ja vibran toimivaksi kokonaisuudeksi ohjaamalla kaivinkoneen hydraulikkaa ja vibran kaikkia toimintoja. Järjestelmä seuraa

myös pontitusta tai paalutusta kulma- ja paineantureilla. (Movax tuoteluettelo. 2013, 2, 7.)



KUVA 18. Sivuotto vibralla varustettu kaivinkone (Movax tuoteluettelo 2013, 4)

Samalla koneella voidaan pontti nostaa pinkasta, kuljettaa sitä, asentaa se ponttilukkoon ja lyödä pontti maahan sekä nostaa myöhemmin lyödyt pontit ylös. Kaivinkoneeseen asennettavaa putkeniskijää voidaan käyttää myös avustavana laitteena silloin, kun varsinainen paalutustyö tehdään pudotusvasaralla tai suuremmalla paalutuskoneella. Esimerkiksi Movaxin SP-70F4W sivuottoputkeniskijällä voidaan asentaa putkipaaluja, jotka ovat halkaisijaltaan pienempiä kuin 720 mm. (Movax tuoteluettelo 2013, 2, 7.)

4.4.6 Tuentatavat

Teräsponttiseinämän jäykkyys salli sen, että etenkin tiiviissä maalajeissa pystytään joskus kaivamaan kohtalainen alkukaivanto ilman tukemista. Ensimmäiseltä tasolta tehdyn tuennan jälkeen, voidaan kaivua jatkaa seuraavalle suunnitellulle tuentatasolle ja niin edelleen. Matalissa kaivannoissa riittää usein yksi tuentataso, jos pontin alapää saadaan lyötyä tarpeeksi tarvittavan kaivupohjan alle. (Jääskeläinen 2003, 129.)

Tukiseinät tuetaan joko kaivannon sisä- tai ulkopuolelle. Tuentatapa tukiseinille määräytyy kaivannon syvyyden ja laajuuden, pohjasuhteiden, kaivannon ympäristön, rakentamisjärjestyksen, työtilantarpeen ja taloudellisten näkökohtien perusteella. (RIL 181-1989. 1989, 32–33.)

Tukiseinien alapäiden tuennat tehdään joko kimmoisesti tai vapaasti kaivutason alapuoliseen maahan passiivipaineen avulla. Tukiseinän ulottuessa kallioon asti ja jos kaivutason alapuolinen maa ei anna riittävää vaakatukea, tuetaan tukiseinän alapää yleensä kallioon kalliotapeilla. Ulokkeena toimivaksi voidaan mitoittaa kahden tai useamman tukitason tukiseinän alapää. (RIL 181-1989. 1989, 33.)

Kaivannon vastakkaisiin seiniin tukeutuvia vaakatukia käytetään yleensä tukiseinän sisäpuolisessa tuennassa. Tukirakenteet voidaan tehdä pienialaisissa kaivannoissa niin jäykiksi, että ne toimivat kehärakenteena. (RIL 181-1989. 1989, 33.)

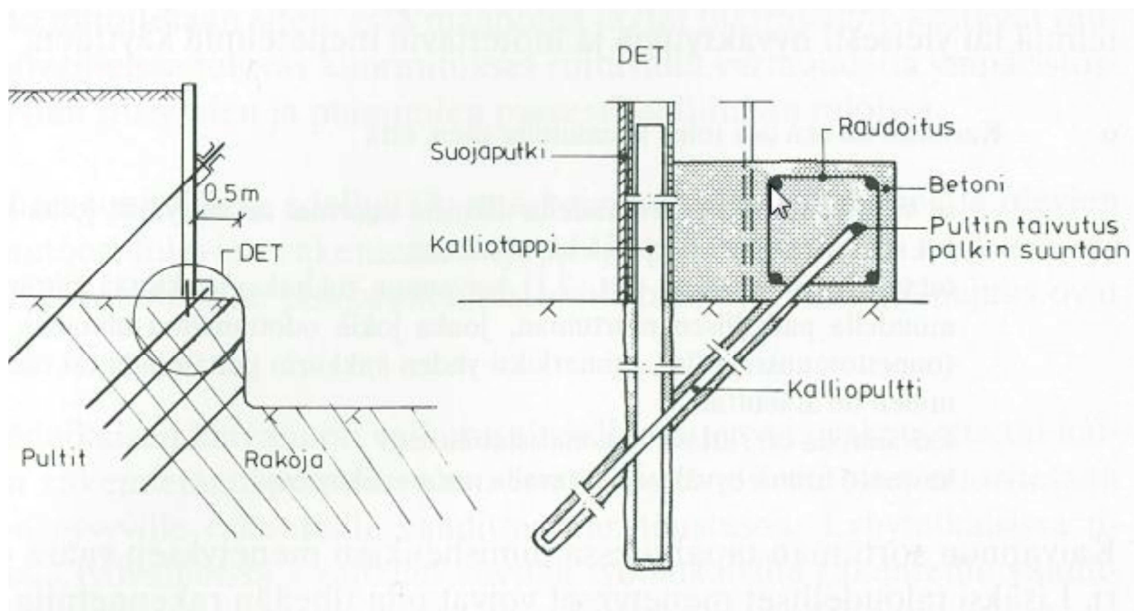
Tukiseinät voidaan tukea vinotuilla kaivannon pohjalta laajoissa avoimissa kaivannoissa tai tukiseinän alapään jäädessä pehmeisiin maakerroksiin. Työvaihesuunnittelulta edellytetään tarkkuutta tällaisella tuennalla. Kaivannon keskiosalle jo valmiiksi tehtyihin perustuksiin tai betonilaattaan vinotuet tuetaan yleensä alapäistään. Tuennan aiheuttama lisäkuorma rakenteiden alapuolisiin maakerroksiin on otettava huomioon niiden mitoitusta suunniteltaessa. Mitoituksessa on huomioitava paaluille tuleva sivukuorma, jos tukiseinä tuetaan vinotuin paaluperustuksesta. (RIL 181-1989. 1989, 33.)

Yleensä tuettaessa laajoja syviä kaivantoja tukiseinä ankkuroidaan kaivannon ulkopuolelle. Seinän tukemiseen voidaan käyttää vaakasuoria vetotankoja, jos seinän tukeminen yhdeltä tasolta riittää. Tangot kiinnitetään tukiseinän taakse ankkurilaattaan tai teräsponspprofiiliin, jotka on sijoitettu tarpeeksi etäälle tukiseinästä. Injektoituja maa- tai kallioankkureita käytetään tuentaan silloin, kun tukiseinä joudutaan ankkuroimaan useammalta tasolta. Ankkureissa käytetään esijännitysteräksiä, vetotankoja tai vaijereita. (RIL 181-1989. 1989, 34.)

Kaivutason alapuoliseen maahan tukeutuu ulokkeena toimiva tukiseinä kimmoisesti. Yhdeltä tasolta tuettu, kaivutason alapuoliseen maahan vapaasti tuettu

tukiseinä, tukeutuu passiivipaineen varaan kaivutason alapuolisessa maassa. Kimmoisasti tuettu tukiseinä kiertyy kiertopisteen ympäri kaivutason alapuoliseen maahan. Seinä taipuu taaksepäin pisteen alapuolella ja seinän alaosaan kehittyy kiinnitysmomentti. (RIL 181-1989. 1989, 36.)

Tukiseinä suunniteltaessa kallioon asti ulottuvaksi ja tukiseinän vaakastabiiliteetin edellyttäessä tukivoimaa tukiseinän alapäähän tuetaan tukiseinän alapää kallioon kalliotapeilla. Tukiseinän ja kallion saumakohtaan tehdään teräsbetoninen juuripalkki (kuva 19) seinän pysty- ja vaakastabiiliteetin varmistamiseksi, jos kaivu ulotetaan kallioon asti ja louhintaa suoritetaan kaivannon pohjalla tukiseinän vieressä. Ennen louhintaa tehtävä juuripalkki kiinnitetään kallioon kalliopulteilla. Kalliotappien leikkausvoimaa sekä rakoilua vastaavasti on kallio esipultattava ennen louhintaa. Juuripalkkia käytetään myös vähentämään pohjavesivuotoja. (RIL 181-1989. 1989, 37.)



KUVA 19. Juuripalkki tukiseinän ja kallion saumakohtassa (RIL 181-1989.1989, 37)

Tukiseinän ulottuvuus kallioon on ehdottomasti varmistettava, jos kahden tai useamman tukitason tukiseinän alapää on mitoitettu ulokkeena toimivaksi ja kaivu ulottuu kallioon asti. Käyttäen väliaikaista sisäpuolista tuentaa ja vaiheittaista rakentamista, tehdään tarvittaessa juuripalkki stabiiliteetin varmistamiseksi. (RIL 181-1989. 1989, 37.)

4.4.7 Tuennan rakentaminen

Maan- ja vedenpaine kuormat ponttiseinissä siirretään seinän pituussuunnassa tuki- ja/tai ankkuripisteelle ankkuripalkkeilla, jotka ovat normaalisti jatkuvia teräs-palkkeja. Ankkuripalkki kiinnitetään teräsvälilevyillä ponttilankkujen uumiin siten, että voimat siirtyvät ilman vääntörasituksia ankkuripalkkeille. Käyttää voidaan myös ponttiprofiileihin hitsattuja ankkurikoteloita, joihin vaakapalkit kiilataan. Teräsrakennedetailit laaditaan teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan. Ankkuripalkkien uumat on tarpeeksi vahvistettava ankkureiden koevedosta aiheutuville rasituksille. (RIL 181-1989. 1989, 112.)

Kaivannon sisä- tai ulkopuolelle voidaan tehdä ankkuripalkkien ankkurointi tai tuenta. Tuennan mitoitus on tehtävä siten, että murtokapasiteettiin nähden tukivoimalle jää riittävä varmuus ja tukivoimalla tulevat siirtymät pysyvät hyväksytyissä rajoissa. (RIL 181-1989. 1989, 112.)

Ankkurointi

Laajoissa ja syvissä kaivannoissa tuenta joudutaan normaalisti tekemään ulkopuolisella ankkuroinnilla. Tuetuissa seinissä tämä tarkoittaa yleensä injektoimalla maahan tai kallioon kiinnitettyjä ankkureita. Voidaan käyttää myös mekaanisesti kiinnittyviä ankkureita, kuten kiila-ankkureita, paisuntakuoriankkureita ja ruuviankkureita. Ankkurit ovat tilapäisiä tai pysyviä, mikä otetaan huomioon korrosiosuojauksessa ja koevetovaatimuksissa. Ankkureiden sijaitessa toisen kiinteistön alueella on muodostettava rakennusrasite. Suunnitelmissa on maa- ja kallioankkureille määritettävä vapaa pituus ja tartuntapituus. (RIL 181-1989. 1989, 110.)

Ankkurointi edellyttää teräsponttiseinissä yleensä vaakapalkkia tuentatasolle. Kallion ollessa syvällä käytetään maa-ankkureita. Menetelmiä on käytössä useita erilaisia. Maa-ankkureiden perusajatuksena on ankkurin varsinaisen ankkurointiosan ympärille saada puristettua maahan sementtilaastia siten, että syntyy lieriömäinen betonikappale, jonka keskellä on ankkuri. Voidaan myös mennä suojaputkella ankkurointiosan alkupäähän, niin että varsinaiseksi ankkuriksi jäävällä osalla porataan eteenpäin puristaen samalla sementtilietettä ympärille. Joissakin tapauksissa huuhdotaan maaperää hienoainesten poistamiseksi ve-

dellä ennen sementtilietteen syöttämistä. Syntyvästä betonikimpaleen suuruudesta ja sen antamasta ankkurointivoimasta on olemassa laskukaavoja. Ankkurointitöitä suorittavat yritykset käyttävät etenkin kokemukseen perustuvia työtapoja. Koeveto paljastaa ankkurointityön onnistumisen. (Jääskeläinen 2003, 132–133.)

Maa-ankkuri voi aiheuttaa maaperään pieniä muodonmuutoksia, minkä vuoksi ankkuriosaa ei saisi sijoittaa liian lähelle naapurirakennuksen anturaa tai lähelle maavaraislattian pintaa. Maa-ankkurin murtokuorma kasvaa suuremmaksi sijoitettaessa maa-ankkuri syväälle, johtuen ankkuria puristavan maakerroksen paksuuntumisesta. Toisaalta, maanpainetta vastaan ottava vaakasuora komponentti muuttuu sitä pienemmäksi, mitä jyrkempään ankkuri suunnataan. (Jääskeläinen 2003, 133.)

Vetopunosankkureita käytettäessä kallioankkureina, erikoisporalla porataan maakerrosten lävitse putki kallioon asti. Kallioon porataan tämän jälkeen reikä varsinaiselle ankkuriosalle, joka injektoidaan kallioon sementtilaastilla ja porausputki vedetään pois. Seinästä jäävät näkyviin ankkuriosan jatkeena olevat esijännitysteräksien päät. Koeponnistus suoritetaan laastin kovetuttua ponttiseinän vaakapalkkia vasten. Vetovoima lasketaan sen jälkeen haluttuun esijännitysvoimaan ja vastinkappale lukitaan. (Jääskeläinen 2003, 133.)

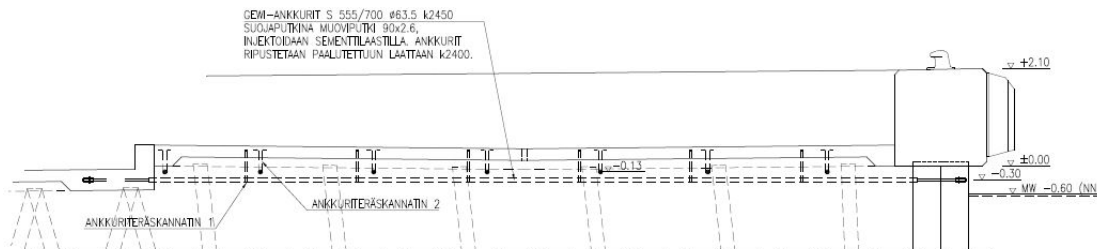
Koeveto suoritetaan kaikille maa- ja kallioankkureille. Väliaikaisissa (työnaikaisissa) ankkureissa on koevetovoima 30 % ja pysyvissä ankkureissa 50 % laskettua voimaa suurempi, kun lujuusparametrien osavarmuusluvuilla pienennetyt mitoitusarvoja on käytetty maanpaineen laskemiseen. Mikäli maapaineiden laskemisessa on käytetty mitoituksessa maaparametrien ominaisarvoja, käytetään koevetovoiman väliaikaisissa ankkureissa 50 % ja pysyvissä ankkureissa 80 % laskettua suurempaa voimaa. (RIL 121-2004. 2004, 103.)

Ankkurit yleensä esijännitetään siirtymien pienentämiseksi alkujännitysvoimaan, joka on 60...100 % mitoituskuormasta. Koeveto on suoritettava ryhmissä, jos ankkurit sijaitsevat lähekkäin. Samanaikaisesti vedetään samaan kallio- tai maakappaleeseen vaikuttavat ankkurit. Ankkurit on jännitettävä työn aikana

useammassa vaiheessa, jos lopullista kiristysvoimaa ei voida kerralla jännittää ankkuriin. (RIL 181-1989. 1989, 85.)

Ankkurien porauksesta, tartuntaosan injektoinnista ja ankkureiden koevedosta pidetään pöytäkirjaa. Pöytäkirjaan merkitään porauksessa havaitut maakerrosrajat, injektioaineen ominaisuudet, injektointimäärät, injektointipaineet ja injektointipituudet sekä koevetojen tulokset. Pöytäkirjat toimitetaan koevetojen jälkeen välittömästi rakennuttajan valvojalle sekä geotekniselle suunnittelijalle. (RIL 181-1989. 1989, 110–111.)

Combi-seinän ankkurointi voidaan tehdä kiinnittämällä ankkuriteräkset ankkurilaattoihin ja teräsputkipaaluihin. Seinän tukemiseen voidaan käyttää vaakasuoria vetotankoja, jos seinän tukeminen yhdeltä tasolta riittää. Tangot kiinnitetään tukiseinän taakse muttereilla ankkurilaattaan, joka on sijoitettu tarpeeksi etäälle tukiseinästä. Ankkuriteräkset asennetaan jokaisesta combi-seinän teräsputkipaalusta ankkurilaattaan. Kuvassa 20 on periaatekuva combi-seinän ankkuroimisesta paalulaattaan.



KUVA 20. Combi-seinän ankkurointi ankkurilaattaan

4.4.8 Työturvallisuus kaivantotöissä

Työturvallisuus kaivantotöissä varmistetaan suunnittelemalla ja rakentamalla kaivanto huolellisesti. Suunnitelmissa pitää ottaa huomioon kaivantoon kulku sekä työmaaliikenne kaivantoon ja kaivannossa. (RIL 181-1989, 115.)

Pahimpina riskeinä työturvallisuuden kannalta ovat erilaisten esineiden putoamiset tai vierimiset kaivantoon. Tuettujen kaivantojen tukiseinien on ulostuttava tarpeeksi maanpinnan tai luiskien yläpuolelle siten, ettei kaivantoon pääse putoamaan tai vierimään mitään. (RIL 181-1989, 115.)

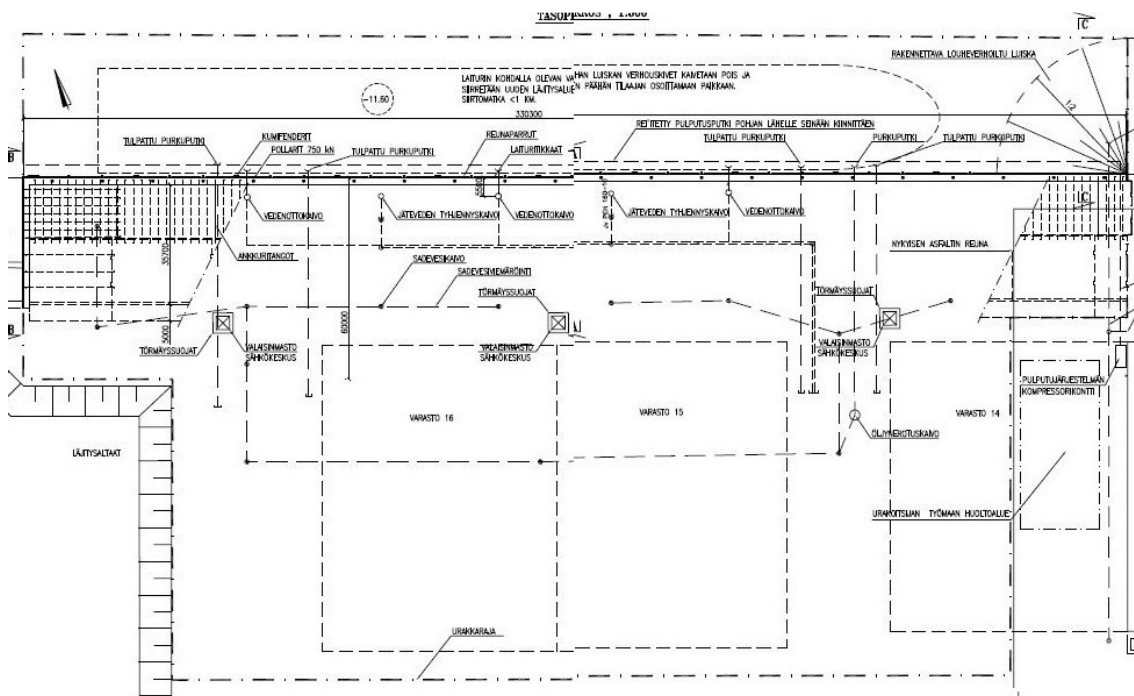
5 CASE: ORITKARIN SATAMA, LÄNSILAITURI, VAIHE 2

Esimerkkikohteena Destia Oy:n Oulun Oritkarin sataman länsilaiturin putkipont-tiseinän asentaminen ja sen tukeminen.

5.1 Kohteen yleiskuvaus

Laiturin yleiskuvaus

Länsilaiturin rakentaminen liittyy Oritkarin sataman kehittämiseen ja Oulun sa-taman syväväylän syventämiseen. Sataman syväväylä syvennetään ensi vai-heessa 12 metrin kulkusyvyydelle ja lopputilanteessa 14 metrin kulkusyvyydelle. Länsilaiturin vaiheessa 2 rakennetaan yhden laivapaikan uusi laituri nykyisellä 10 metrin kulkusyvyydellä. Kulkusyvyys voidaan myöhemmin syventää 12 met-riin ja lopputilanteessa 14 metriin. Tähän on jo varauduttu 2 vaiheen laiturin suunnittelussa. Kuvassa 21 on esitetty laiturin tasopiirustus.



KUVA 21. Tasopiirustus laiturista

Pituutta laiturilla tulee olemaan 330 metriä. Länsilaiturin vaihe 2 asettuu Oritka-rin päälaiturin länsipuolelle nykyisen satamakentän viereen, varaston 13 poh-joispuolelle. Satamakenttä on vuonna 2009 tehdyn väylän levennyksen ja huol-

toruoppauksen ruoppausmassoilla täytettyä läjitysallasta. Rakennettava laituri sijoittuu vanhan reunapenkereen luiskan yläreunan kohdalle.

Satama-alueen logistiikka ja sataman laajentumismahdollisuudet on otettu huomioon laiturin sijoittamisessa. Sataman laajentumistarpeet on lisäksi huomioitu laiturin kunnallistekniikan ja palveluiden suunnittelussa, sähkösuunnittelussa sekä nykyisten rakenteiden tulevaisuudessa korvaus- ja laajennusinvestoinneissa.

Rakennustyöt aloitettiin läjitysaltaan ja selkeytysaltaan reuna ja välipenkereiden rakentamisella sekä uuden laiturin rakentamisella. Ruoppaus ja läjitystyöt tehdään vasta näiden töiden jälkeen. Olemassa olevien täyttörakenteiden suojassa tehdään laiturin rakentaminen kuivatyönä. Laiturirakenteiden valmistuttua ruopataan laiturin edusta suunniteltuun syvyyteen. Laituri koostuu ankkuroidusta teräsponttiseinästä ja paalulaatalla varustetusta satamakentästä. Teräsponttiseinä ankkuroidaan kentän paalutettuun laattaan.

Satamakenttä asfaltoidaan sekä rakennetaan valaistus, sähköistys, viemäröinti ja vesihuollon rakenteet. Laiturikenttään asennetaan myös jäiden muodostumista laiturin kohdalle estävä pulputusjärjestelmään kuuluvan paineilmaputken suoja-putki. Louheverhoilu rakennetaan laiturin päässä oleviin luiskiin. Urakkaan kuuluu myös laiturin kohdalla olevan vanhan luiskan verhouksivien poisto ja siirtäminen läjitysalueelle.

Mitoitus laiturille tehtiin ottaen huomioon tulevaisuudessa suoritettava väylän syventäminen 14 metriin. Paalutuksella perustetut ankkurilaatat ottavat vastaan laiturin vaakakuormat. Pystysuoraa kuormaa tuli combi-seinän paaluille laiturin reunapalkin massasta. Mitoituksessa käytettiin hyväksi alueella aiemmin tehtyjä pohjatutkimuksia, kartoituksia ja koepaalutusta.

Rakenneosien mitoitus laiturissa on tehty seuraavilla kuormitusotaksujilla:

1. Veden paine
 - Vesi ponttiseinän takana tasolla MW +0.50 ja altaan puolella tasolla MW (MW=NN -0.6)
2. Laiturin tavarakuorma

- $p=50 \text{ kN/m}^2$, paalutetulla alueella
 - $p=100 \text{ kN/m}^2$, paalutetun alueen takana
3. Mobiilinosturikuorma
 - $F_z=3200 \text{ kN}$, $A=3600 \times 5000 \text{ mm}^2$
 4. Pollarikuorma
 - $F=750 \text{ kN}$
 5. Törmäyskuorma
 - $F=200 \text{ kN/m}$ fenderien tasolla. Fenderien yksittäinen kuormitus tutkitaan erikseen
 6. Jäänmurtajan sysäyskuorma
 - $F_y=350 \text{ kN/m}$ tasolla MW -0.50
 7. Kiinteän jään paine
 - $F_y=250 \text{ kN/m}$ tasolla MW
 8. Pystysuora jääkuorma
 - $F_z=\pm 80 \text{ kN/m}$

Seuraavat kuormat eivät esiinny samanaikaisesti:

- Laiturin tavarakuorma ja nosturikuormat
- Jääkuorma ja aluskuormat
- Aluksen törmäyskuorma ja jäänmurtajan sysäyskuorma

5.2 Yleiset ohjeet

Työssä sovellettiin Tiehallinnon sillanrakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia ja muita ohjeita.

Rakennustyössä noudatettavat määräykset ja asiakirjat

Rakennustyössä noudatettiin rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia, voimassa olevia rakentamista koskevia lakeja ja asetuksia sekä viranomaisten ja rakennuttajan määräyksiä.

Tärkeimmät noudatettavat normaalimääräykset ja ohjeet olivat seuraavat:

1. Rakennustöiden Rakentamismääräyskokoelma, soveltuvat osat
2. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, RYL 2000
3. By 50, Betoninormit 2004

4. RIL 147-2006, Tukitelineet
5. By 40, Betonipinnat, luokitusohjeet 2003
6. RIL 149-1995, Betonityöohjeet; betonointi, talvibetonointi, korjaus ja paikkaus.
7. RIL 173-1997 Teräsrakenteet, RakMk B7 ohjeet
8. LPO-2004, Lyöntipaalutusohjeet
9. SPO-2001, Suurpaalutusohje
10. Teräsputkipaalut. Tiehallinto 1999, TIEL 2173448-99
11. RIL 132-2000, Talonrakennuksen maatoiden työselitys
12. KT97, Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys
13. RIL 77-2005, Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket, asennusohjeet
14. Betoniputkinormit
15. PANK ry, Asfalttinormit 2011
16. Muut voimassa olevat säännökset ja viranomaisten määräykset ja ohjeet.

Tiehallinto:

17. SYL 1 Yleiset Ohjeet
18. SYL 2 Maa- ja pohjarakenteet
19. SYL 3 Betonirakenteet
20. SYL 4 Teräsrakenteet
21. SYL 5 Puurakenteet
22. SYL 6 Kannen pintarakenteet
23. SYL 7 Varusteet ja laitteet
24. SILKO ohjeet

Työmaalla käytettiin korkeusjärjestelmänä NN ja koordinaattijärjestelmänä ETRS26.

Teräsrakenteet

Oritkarin sataman Länsilaiturin rakentamisen, vaihe 2, teräsrakenteita ovat muun muassa teräsputkipontit, teräsputkipaalut, tikkaat, pollarit, ja muut teräsosat. Teräsrakenteet valmistettiin pääosin teräsputkesta ja/tai teräslevystä, jotka hitsattiin ja varustettiin rakennepiirustusten mukaisin liitos- ja varustelu-

sin. Asiakirjojen pätevyysjärjestyksestä ja osapuolten velvollisuuksia määrättiin urakkasopimusasiakirjoissa.

Teräsrakenteiden korroosiovarana käytettiin veden vaihteluvyöhykkeellä HW+1,5...NW-1 m 4 mm ja muualla 2 mm.

Teräsrakenteiden rakennustyössä noudatettavat määräykset ja asiakirjat

Teräsrakenteiden rakennustyössä noudatettiin rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia, voimassa olevia rakentamista koskevia lakeja ja asetuksia sekä viranomaisten ja rakennuttajan määräyksiä.

Tärkeimmät noudatettavat normaalimääräykset ovat seuraavat:

1. Teräsrakenteet RIL 173-1997, RakMk B7 ohjeet 1996
2. Kuumavalssatut seostamattomat rakenneteräkset SFS-EN 10025, 1994
3. Ainestodistukset SFS-EN 10204, 2004
4. Kuumavalssatut teräslevyt. Mitat ja toleranssit SFS-EN 10029,1991
5. Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu SFS-EN ISO 9013, 2002
6. Kylmämuovotut hitsatut seostamattomat rakenne- ja hienoraerakenneteräsputkipalkit SFS-EN 10219-1,2.
7. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus. Hitsiluokat SFS-EN ISO 5817
8. Hitsaus. Hitsaajan pätevyyskoe SFS-EN 287-1,1992
9. Hitsausaineet Hitsauspuikot seostamattomien terästen ja hienoterästen puikkohitsaukseen. Luokittelu SFS-EN ISO 2560, 2002
10. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuotosuositukset SFS-EN ISO 9692-1, 2004
11. Kuumasinkitys SFS-EN ISO 1461, SFS-EN ISO 10684

12. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä SFS-EN ISO 12944, Osat 1–8

13. Teräsputkipaalut. Tielaitos 1999, TIEL 2173448-99

14. Muut voimassa olevat säännökset ja viranomaisten määräykset ja ohjeet

Tielaitos:

15. SYL 1 Yleinen osa

16. SYL 4 Teräsrakenteet

Pohjaolosuhteet

Länsilaiturin vaiheen 2 rakennusalue on Oritkarin sataman täyttöaluetta. Pääosin länsilaiturin vaihe 2 sijoittuu vuonna 2009 tehdyn laivaväylän levennyksen ja huoltoruoppauksen läjitysalueen kohdalle.

Pohjatutkimukset, maanäytteiden laborioriotutkimukset ja kartoitukset on tehty suunnittelualueelle kesällä 2010 ja sekä aikaisemmissa suunnittelu- ja rakennusvaiheissa. Paalujen kantavuutta ja tavoitetasoa oli selvitetty koepaalutuksella 2013. Koepaalutus käsitti 8 koepaalua, jotka kaikki PDA mitattiin.

Maanäytteiden vesipitoisuudet määritettiin ja tulkittiin silmämääräisesti. Maalajien ja maakerrosjaon varmistamiseksi tehtiin rakeisuusmääritys valituille edustaville maanäytteille.

Sataman täyttömaat ovat pääosin ruoppausmassoja, jotka rakeisuudeltaan ovat hienoa hiekkaa. Ajettuja täyttömaita, jotka ovat hienoja hiekkoja ja osittain sekoittuneita moreenimaisia maamassoja, on myös alueen pintaosissa. Pohjalietettä on kertynyt vanhan pohjan tasolle joka on paikoitellen hienompaa silttiä ja savista silttiä.

Oritkarin alue sijaitsee niin sanotun Muhos-muodostuman alueella. Alue on savikivialuetta, jossa kiinteä kallio sijaitsee syvällä. Maakerrokset ovat alueella tyypillisesti paksuja, eteenkin pehmeät sulfidisilttikerrostumat. Paksut pehmeät maakerrokset sisältävät yleisesti yli 2 % humusta. Pehmeiden sulfidisilttikerros-

ten päällä on kerrostunut hiekkaisia silttejä ja silttipitoisia kerrostuneita hienoja hiekkvoja.

Pääasialliset maakerrokset työmaa-alueella olivat

- täyttömaakerrokset (hieno hiekka) 3...5 m paksuna kerroksena.
- vanhasta vesialueen pohjasta alkaen routiva löyhä hieno hiekka, silttinen hiekka ja hiekkainen siltti 3...6 m paksuna kerroksena
- löyhä siltti ja savinen siltti (sulfidisiltti) 8...15 m paksuna kerroksena, sisältää hiekkavälikerroksia
- sitkeä savinen siltti (jääkautinen, punSa) sulfidisiltin alla, kerrospaksuus 1...3 m
- keskitiivis-tiivis hiekka ja moreeni tason -16...-22 alapuolella.

Hiekka tutkimusalueella ja erityisesti sulfidisiltti oli löyhää ja kuormitettaessa kokoonpuristuu kohtalaisesti tai voimakkaasti. Täyttöhiekkakerrostumien vesipitoisuus vaihtelee tutkimustulosten perusteella välillä 10...25 paino- %. Sulfidisiltin vesipitoisuus on tyypillisesti 30–50 paino- % ja enimmillään paikoitellen 50...70 paino- %. Kerrosrajojen vaihtelu oli voimakasta, eikä kaikilta osin voitu esittää tarkkoja maakerrosrajoja käytettävissä olevilla tutkimustuloksilla. Tämän takia kerrosrajat olivat osittain epätarkat leikkauspiirustuksissa.

Maanpinnan korkeus vaihtelee nykyisin vaiheen 2 kohdalla noin tasovälillä +1,5...+2 (NN). Luonnollinen pohjansyvyys on vaihdellut alueella noin tasovälillä -1...-3 (NN).

Pohjavedenpinta seuraa työmaa-alueella merivesipinnan vaihtelua. Merivesipinta vaihtelee noin tasovälillä NN-1,91 (alivesi NW)...NN+1,23 (ylivesi HW). Meriveden keskivesi MW on noin tasossa NN-0,60.

Työnaikaiset siirtymä-, painuma- ja värinämittaukset

Länsilaiturin vaiheen 2 itäpuolella sijaitsevan varaston 13 painumia ja siirtymiä sekä värinää seurattiin työaikana. Siirtymä- ja painumamittauksia tehtiin rakentamistyön aikana viikoittain.

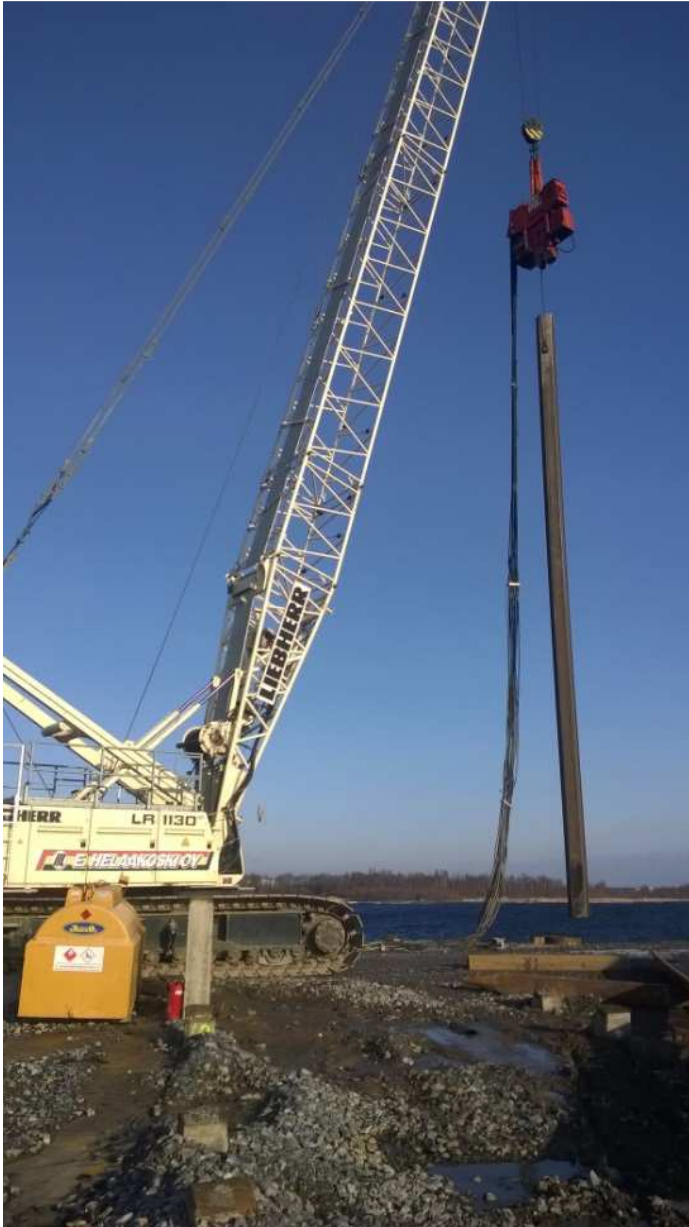
Putkien ollessa pitempään maassa ne kiinnittyvät lujasti maahan, ja putkien irti-lyöntiä auttoi raskaampi järkäle.



KUVA 23. Junttan PM 25 teräsputken lyönnissä

Teräsputkipaalut asennettiin 12 metrin mittaisina putkina, jotka jatkettiin hitsaamalla. Asennettavien putkien paino oli noin 6 500 kg/kappale. Seinän asennuksessa käytettiin `kohdista ja tunge` -menetelmää. Yksittäinen pontti tungettiin suunniteltuun syvyyteen ennen seuraavan pontin tai putkipaalun kohdistamista. Ensivaiheessa teräsputkipaalut ja teräspontit lyötiin tasolle noin +1,5m (NN) seinän asentamisen helpottamiseksi.

Teräsputkien väliin asennettiin U-profiiliset teräspontit riiputettavalla pontinlyöjällä. Pontinlyöjänä käytettiin 7 tonnia painavaa saksalaisvalmisteista PTC 34 HFV -vibraa, jonka maksimi keskipakovoima on 2 010 kN. Nosturina pontinlyöjälle käytettiin tela-alustaista Liebherr 1130 -nosturia, jonka työpaino on noin 146 tonnia ja nostoteho 130 tonnia. Isokokoista nosturia tarvittiin suurta nostokykyä ja -ulottumaa varten, johtuen teräsponttien pituudesta (20,9 m) ja lyöntivibrin painosta. (Kuva 24.) Pontinlyöjän, pontinlyöjän letkujen ja pontin yhteispaino on yli 10 tonnia.



KUVA 24. Teräspontin asennusta nosturilla ja pontinlyöjällä

Teräsputkiponttiseinän asennus aloitettiin laiturin itäpäältä. Alussa kivikoinen ja louhikkoinen maakerros, noin 5 – 6 metrin syvyydessä, hidasti teräsputkiponttiseinän asennusta. Tämä maakerros oli todennäköisesti vanhaa laiturin luiskaa, joka on rakennettu aikanaan karkealla louheella.

Teräsputkiponttien lyönti oli suunniteltu tehtäväksi auger-kalustoa hyväksikäyttämällä. Auger-porausta käytettiin paalutuksen alkuvaiheessa putkipaalujen esireikien tekemiseen. Porauksesta luovuttiin, koska auger-poran 300 mm:n halkaisijalla oleva esireikä ei auttanut paljoakaan halkaisijaltaan 1 200 mm:n put-

ken asentamista. Putkien ja ponttien siirtymät sekä kallistumat eivät pysyneet sallituissa rajoissa, joten paaluja ja pontteja jouduttiin nostamaan ylös ja asentamaan uudestaan.

Asentamisen helpottamiseksi kalliokärkiset teräsputket vaihdettiin avoimiksi teräsputkiksi, joiden alapäätt varustettiin niin sanotuilla kärkivahvikkeella. Kärkivahvike on leveä teräspanta, joka hitsataan paalun kärkeen vaipan ulkopuolelle.

Teräsputkien ja -ponttien tunkeutuminen, suunnassa pysyminen ja sijainti olivat edelleenkin huonoa johtuen syvemmällä maassa olevista kivistä ja lohkareista. Seinälinjalta ryhdyttiin tämän takia etukäteen kaivamaan pitkä puomisella kaivinkoneella 5–6 metriä syvää alkukaivantoa. (Kuva 25.)

Kivet, lohkareet, puut ja muut esteet kaivettiin pois putkien ja ponttien tieltä, ja tilalle kaivantoon laitettiin kivetöntä maata. Putkien ja ponttien upotus helpottui tämän jälkeen huomattavasti, ja nämä saatiin asennettua hyvin suunniteltuihin määräsivyyksiin.



KUVA 25. Alkukaivanto

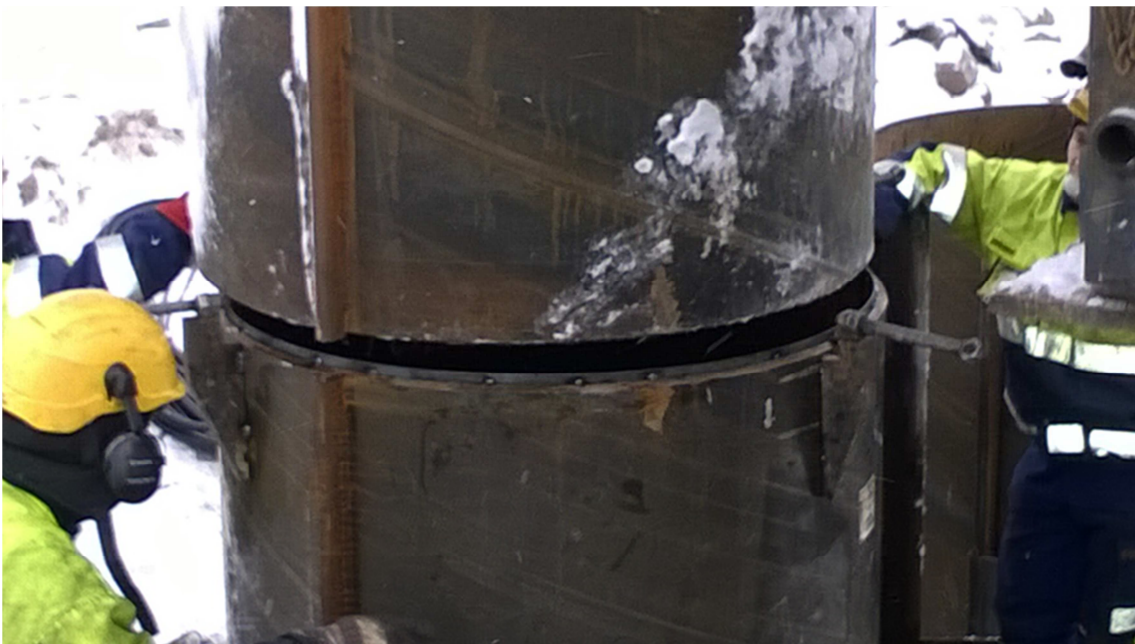
Teräsputkipaalujen päät suljettiin asennuksen jälkeen, jotta paaluputkiin ei menisi sinne kuulumattomia aineita. Paalut katkaistiin suunnitelma-asiakirjojen mukaisesta katkaisukorkeudesta kohtisuoraan paalun pituusakselia vastaan.

Paalutuksen, ankkuroinnin ja teräsponttiseinän teräsputkipaalujen sijainnit olivat toisistaan riippuvaisia, joten tarkempia mittauksia näiltä osin oli tehtävä säännöllisesti työn aikana. Seinälinjan suorana pysymisen varmistamiseksi käytettiin tasolaseria teräsputkipaalujen ja teräsponttien asentamisen apuna.

5.4 Teräsputkipaalujen jatkaminen

Paalun alaosan lyönnin jälkeen tarkistettiin putken yläpään kunto ennen paalun jatkamista, ja vaurioitunut osa korjattiin tai poistettiin. Jatkos teräsputkipaalulle tehtiin hitsaamalla. Teräsputkipaalujen ja ponttien hitsausluokka oli B (SFS–EN ISO 5817) putken toimiessa osittain kantavana rakenteena.

Paalun alaosan lyönnin jälkeen hitsattiin paalun yläpäähän paalun sisäpuolelle, hitsausta helpottava teräspanta sekä neljälle kantille putken ulkopuolelle eräänlaiset mutterit/pultit (kuva 26), joilla pystyttiin kohdistamaan paalun yläosan putki tarkasti paikoilleen. Putkipaalujatkosten suuntapoikkeama sai olla enintään 1/200.



KUVA 26. Putkipaalun jatkaminen

Teräsputkipaalut oli tehty tehtaalla 24 m:n mittaisina putkina, joihin oli hitsattu ponttilukot, ennen kuin ne oli katkaistu 12 m:n mittaisiksi. Tällä varmistettiin, että ponttilukot olivat samassa linjassa paalun ylä- ja alaosan paalunosien yhteen

asentamisen helpottamiseksi. Porrastus ponttilukoissa olisi aiheuttanut ylimääräistä kitkaa ja vaikeuttanut seuraavan elementin asennuksessa. Putkipaalut oli merkattu ja numeroitu sekaantumisen välttämiseksi.

Hitsaus tehtiin kaasukaarimenetelmällä työn nopeuttamisen takia. Työmaan ollessa avoin ja tuulinen paikka käytettiin hitsaustavasta johtuen hitsauspaikan suojana eräänlaista puolitelttä suojaamassa hitsausta ilmavirroilta ja sateilta. Hitsauksen suoritti kaksi pätevyyden omaavaa ammattihitsaajaa. Työn nopeuttamiseksi hitsaus suoritettiin kahdelta puolelta putkea ja sauma valmistui valmiiksi noin kahdessa tunnissa.

Teräsputkipaalujen jatkosten päittäishitseille tehtiin 10 %:lle ultraäänitarkastus. Kaikki liitokset tarkistettiin silmämääräisesti (SFS-EN ISO 17637). Ultraäänitarkastus suoritettiin lisäksi, jos se silmämääräisen tarkastuksen perusteella katsottiin tarpeelliseksi.

5.5 PDA-mittaus

Teräsputkipaalut

Paalujen kantavuus oli PDA-mittaustulosten perusteella riittävä. Teräsputkipaalun dynaamisia koekuormituksia (PDA) tehtiin 2.12.2013 mittauslaitteistolla FPDS-8.1 Heavy Duty System ja paalutuskoneella Junttan 25, joka oli varustettuna 7 tonnia painavalla kiihtyvällä järkäleellä. Pudotuskorkeutena käytettiin mittauksissa 0,8 – 1,0 m. Paalun toimiessa osana tukiseinää (putkiponttiseinä) oli paalulle laskettu maksimipystykuormaksi 750 kN.

PDA-mittausten mukaan mitatun paalun murtokuorman arvot olivat vielä irrotuksen jälkeen kaksinkertaiset maksimikuormaan nähden. Murtokuorma mobilisoituu paalun vaipalle. PDA-mittauksia tehdään tarvittaessa lisää, esimerkiksi jos pohjaolosuhteet muuttuvat tai jos lyöntikalustoa muutetaan tai vaihdetaan. Teräsputkipaalun mittaustulokset on esitetty liitteessä 6.

Teräsbetonipaalu

Teräsbetonipaalujen dynaamisia koekuormituksia (PDA) tehtiin 2.4.2013 mittauslaitteistolla FPDS-8.1 Heavy Duty System ja paalutuskoneella Junttan 25, joka oli varustettuna 5 tonnia painavalla kiihtyvällä järkäleellä. Pudotuskorkeu-

tena käytettiin mittauksissa 1,0 – 1,2 m. Paalut olivat 300 x 300 mm² IB-luokan betonipaaluja.

Paalut oli mitoitettu Lyöntipaalutusohjeen LPO-05 IB-luokan mukaan, jolloin paalulle sallitaan kuormaksi 810 kN. Mitattujen paalujen murtokuormien arvot PDA-mittausten mukaan olivat kaksinkertaiset sallittuun kuormaan nähden. Mitattujen paalujen murtokuormat mobilisoituvat myös paalujen vaipalle. Mittausten perusteella ei paalujen loppulyöntitiukkuus vaikuta paljonkaan murtokuorman suuruuteen, vaan vaippakitkan vaikutus korostuu murtokuormassa löysem্পään jätetyillä paaluilla. Teräsbetonipaalujen mittaustulokset on esitetty liitteessä 7.

5.6 Paalulaatat

Laiturirakenteen takalaatta ja ankkurituki perustettiin teräsbetonisilla lyöntipaaluilla tiiviin pohjamuodostuman varaan. Paalujen tavoitesyvyys oli - 17...- 20 m. Lyöntipaalutus suoritettiin Lyöntipaalutusohjeen LPO-2005 paalutusluokan IB vaatimusten ja ohjeiden mukaan. Paalutustyössä noudatettiin soveltuvin osin myös Infra RYL 2010 kohdassa 13211 mainittuja ohjeita ja laatuvaatimuksia.

Betoniset lyöntipaalut olivat jatkettuja paaluja varustettuna maakärjellä. Paalut olivat kitkapaaluja. Paalujen sallittu sijaintipoikkeama oli 200 mm teoreettisesta sijainnistaan ja suoruusvaatimus teoreettisesta 20 mm/jm. Teräsbetonipaalujen $P_{max} = 810$ kN.

Teräsbetonipaalujen asennuksessa käytettiin Junttan PM 20 -paalutuskonetta varustettuna 5 tonnin kiihdytetyllä hydraulijärkäleellä. Koepaalutuksen ja PDA-mittauksen perusteella loppulyöntiehto oli betonisille 300 x 300 mm² lyöntipaaluille $S < 20$ mm/iskusarja, kun kiihdytetyn 50 kN:n (5 tn) järkäleen pudotuskorkeus oli 0,35 m.

Teräsbetonisien lyöntipaalujen lukumäärä:

- Pystysuorat teräsbetonipaalut 300 x 300, 119 kpl
- Vinot teräsbetonipaalut 300 x 300, 2 146 kpl

Laiturin taustalle rakennettiin paalutettu laatta ja paalutettu ankkurilaatta. Laituri tukeutuu vetotangoilla ankkurilaattaan. Laatan ja ankkurilaatan betonipaaluista pääosa oli vinoja paaluja. Maksimikaltevuus betonipaaluilla oli 3,5:1.

Kaivu ulotettiin paalulaatan alueella 0,3 m rakenteen alapinnana alapuolelle. Rakenteiden alle tehtiin 0,3 m paksu työalusta murskeesta KaM 0/55, jonka pinta tasattiin kalliomurskeella 0/32. Kaivun tarkkuusvaatimus oli rakennusalueella +0...-100 mm (- tarkoittaa ylikavua).

Suodatinkangas luokka N3 asennettiin työalustan alle. Työalustan tiiviysvaatimus oli $D > 92\%$, kantavuusarvo levykuormituskokeessa $E2 > 100\text{ MPa}$ ja kantavuussuhde $E2/E1 < 2,2$.

Ankkurilaatta rakennettiin ensimmäisenä, jotta vetotangot saataisiin asennettua ankkurilaatan ja ponttiseinän välille. Tämän jälkeen rakennettiin ankkurilaatan ja ponttiseinän välinen laatta. Kuvassa 27 on ankkurilaatta valettuna.



KUVA 27. Ankkurilaatta valettuna, jossa 4 varauskoloa ankkureiden kiristämistä varten

Paalujen tyhjennys

Teräsputkipaalujen yläpäät täytyi tyhjentää maista 3 metriä katkaisukohtasta alapäin raudoitusta ja betonointia varten. Paalut tyhjennykseen käytettiin rapi-

kauhalla varustettua autonosturia. (Kuva 28.) Paalun tyhjennyksen jälkeen paalu raudoitettiin suunnitelmien mukaisesti ja betonoitiin.

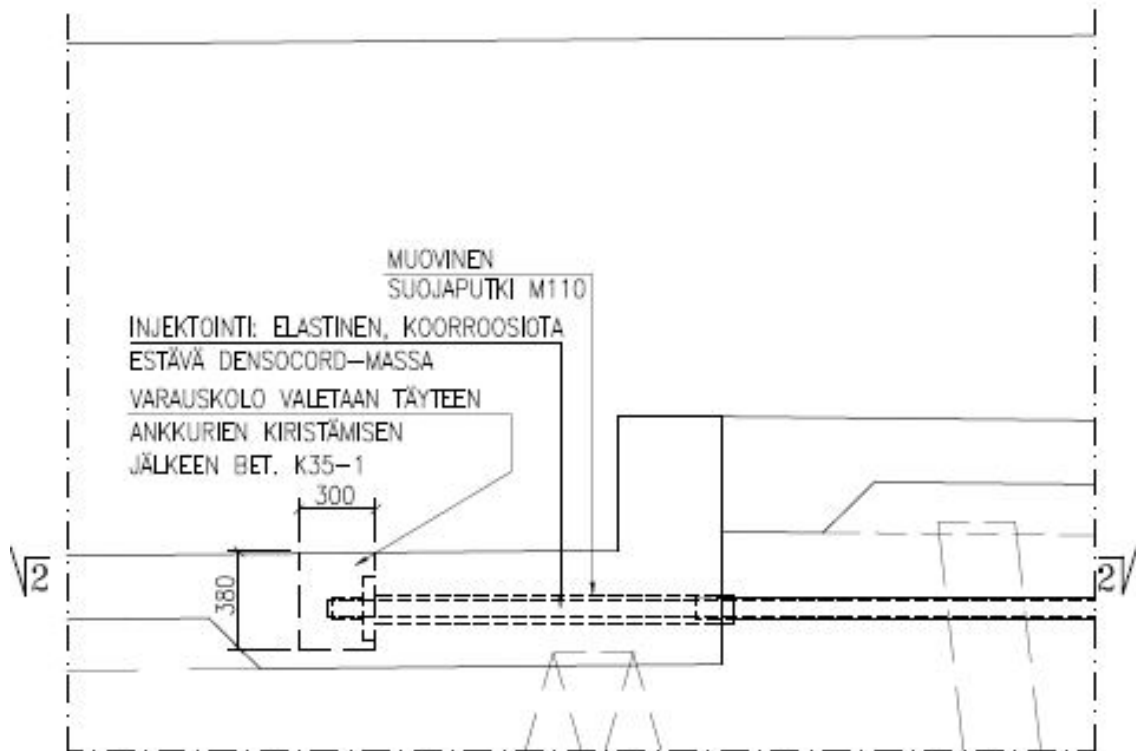


KUVA 28. Paalun yläpään tyhjennys

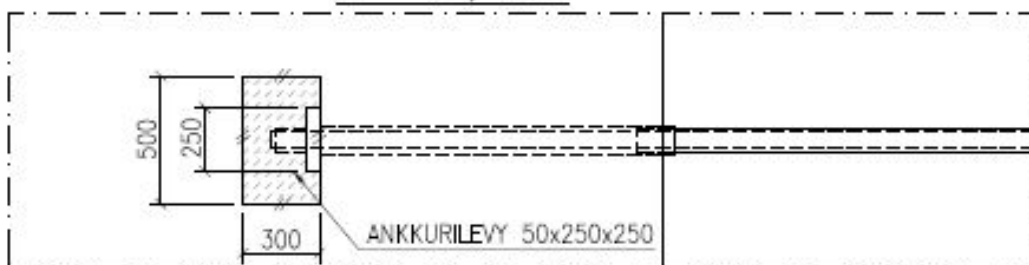
5.7 Teräspuikiponttiseinän ankkurointi

Ponttiseinän ankkurointiteräksien laatuna oli Gewi St 555/700. Ankkuriteräkset kiinnitettiin ankkurilaattoihin ja teräspuikipaaluihin mutterilla ja aluslevyllä kuvien 29 ja 30 mukaisesti. Combi-seinän jokaisesta teräspuikipaalusta asennettiin ankkuriteräkset seinän ja ankkurilaatan välille.

C - C , 1:20



2 - 2 , 1:20



KUVA 29. Ankkurointiterästen kiinnitys ankkurilaattoihin

Ankkuriteräkset asennettiin keskeisesti muoviputkeen. Muoviputken päät ja putken saumat tehtiin vesitiiviiksi ja injektoitiin injektointilaastilla. Hiekan suurin raekoko oli 1 mm, ja sen rakeisuuskäyrän oli oltava jatkuva. Laasti oli varustettu paisuttavalla lisäaineella, ja laastin notkeus oli käytetyn työtavan edellyttämä. Injektointilaastin lujuusluokka oli K35-1, P30.

6 YHTEENVETO

Tämän raportin tarkoituksena oli selvittää combi-seinän asentamista ja asentamisen apukeinoja. Combi-seiniin liittyvinä rakenteina selvitettiin myös suurpaalujen, etenkin teräsputkipaalujen, sekä teräsponttiseinän asentamista ja tukemista. Lisäksi kerrottiin pääpiirteittäin yleisimmistä satamalaiturirakenteista, niiden kuormista ja mitoitusperiaatteista.

Raportti tehtiin pääosin rakennusalan kirjallisuuteen ja sähköisiin julkaisuihin perustuen. Lisäksi raportissa hyödynnettiin erillisen esimerkkityömaan suunnitelma-asiakirjoja.

Satamalaiturirakenteiden mitoittamisesta puuttuvat yhtenäiset laiturirakennusnormit. Laiturirakentamiseen sovelletaan osittain maarakentamisen, teräs- ja betonirakentamisen sekä tielaitoksen normistoja, koska varsinaisia vesirakennusnormeja ei Suomessa ole. Sovellettavissa olevia ohjeita omista tuotteista löytyy usein rakennusmateriaalitoimittajilta.

Opinnäytetyössä todettiin, että combi-seinää suunniteltaessa on otettava lukuisia asioita huomioon parhaimman työmenetelmän löytämiseksi. Esimerkiksi combi-seinän asentaminen on varsin riippuvainen pohjaolosuhteista. Pohjaolosuhteiden ollessa hyvin tiivis, kivikkoinen tai louhikkoinen asentaminen vaikeutuu huomattavasti, varsinkin lyötävien paalujen osalta. Porapaalujen asentaminen sen sijaan onnistuu parhaiten näissä olosuhteissa.

Esimerkki kohteesta voitiin havaita, että auger-poraus ei helpota combi-seinän asentamista, jos maa sisältää kiviä ja lohkareita ja muita esteitä. Putken ollessa reilusti suurempi kuin auger-poran tekemä reikä ei putken sijainnissa pysyminen, pystysuorassa pysyminen ja tunkeutuminen helpottunut juuri lainkaan. Samoin teräsputkipaalujen kalliokärjistä ei ollut hyötyä tässä esimerkkikohteessa.

Teräsputkipaalujen kalliokärkien vaihdolla avoimiksi teräsputkiksi, joiden alapääät varustettiin kärkivahvikkeella, sekä seinälinjalta etukäteen kaivamalla ja

välppäämällä esteet pois pystyttiin Combi-seinän asentamista helpottamaan ratkaisevasti.

Esimerkki työmaasta voitiin myös huomata, että asennus/suunnitelmat voivat muuttua useasti, ennen kuin päästään asennuksessa vaadittuun suunnitelman edellyttämälle tasolle. Asennusmenetelmiä joudutaan myös vaihtamaan. Paaluja voidaan joutua vaihtamaan erityyppisiksi. Joudutaan kaivamaan syvää aloitusojaa välpäten esteet pois tulevalta seinälinjalta. Tämä onkin varmaan paras menetelmä, jos kaivaminen vain on mahdollista.

Ponttien leveys ja paksuus vaikuttavat myös seinän asentamiseen ja pystyssä pysymiseen. Mitä kapeampi ja paksumpi teräspontti, sitä vähemmän tulee kallistumisia ja vääntymiä. Kivikkoisessa ja muita esteitä sisältävässä maaperässä voi porapaaluista tehtävä paaluseinä olla paras ratkaisu asenneltavuudeltaan.

Paalutustyö on myös muutakin, kuin vain paalujen asennustyötä. Jo suunnitteluvaiheessa pitää ottaa huomioon useita eri asioita. Esimerkki työmaasta huomasi, kuinka tärkeitä paalutustyömaalla ja yleensäkin rakennustyömaalla ovat hyvin suunnitellut työmaajärjestelyt. Työt on suunniteltava tehtäväksi siten, että ne mahdollisimman vähän haittaavat toisia työmaan töitä ja työvaiheita.

Teräsputkipaalu-/ponttikuormat täytyy päästä purkamaan tarpeeksi lähelle paalutuskohdetta. Paalujen varastointi ei saisi kuitenkaan haitata liikaa muuta työmaatyöskentelyä. Tämän vuoksi paaluja ei monestikaan tilata työmaalle kuin vain muutaman päivän asennustyön verran. Mielestäni esimerkkityömaalla työmaajärjestelyt näyttivät toimivan hyvin.

Työturvallisuutta ei voi myöskään unohtaa työmaajärjestelyitä suunniteltaessa. Se onkin varmaan tärkein asia työmaalla, ja siinä ei voi koskaan olla liian tarkka.

LÄHTEET

B3 (2004).2003. Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004. B3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/17075-B3s.pdf>. Hakupäivä 28.1.2014.

Combi-seinät 2013. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Tukiseinarakenteet/Combi-seinat>. Hakupäivä 20.1.2014.

Infra RYL 2010. 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1. Väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustieto Oy. Saatavissa: [https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi.pdf](https://www.rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi.pdf). (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 29.1.2014.

Jääskeläinen, Raimo 2003. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammer-tekniiikka.

Lyötävät RR-suurpaalut. 2013. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Teraspaalut/Lyotavat-RR-suurpaalut>. Hakupäivä 18.1.2014.

Movax tuoteluettelo 2013. Esite. Movax Oy. Saatavissa: <http://www.movax.com/pdf/Movax-catalogue-2013-FIN2.pdf>. Hakupäivä 1.3.2014.

Rantamäki, Martti – Tammirinne, Markku 1996. Pohjarakennus. Hämeenlinna: Otatieto Oy.

RIL 121-2004. 2004. Pohjarakennusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL.

RIL 165-2- 2006.2006. Liikenne ja väylät 2. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL.

RIL 181-1989. 1989. Rakennuskaivanto-ohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

RIL 212-2001. 2001. Suurpaalutusohjeet 2001 SPO-2001. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

RIL 254-2011.2011. Paalutusohje 2011 PO-2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Ruukki RD-paaluseinä. 2013. Ruukki. Saatavissa:

<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Tukiseinat%20esitteet%20ja%20ohjeet/Ruukki-Esite-RD-paaluseina.pdf>. Hakupäivä 23.2.2014.

SFS-EN 12063. 1999. Pohjarakennustyöt. Tukiseinät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 12699. 2001. Pohjarakennustyöt. Maata syrjäyttävät paalut. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sihvola, Aino 2013. Paalutusalan mitoittaminen. Paalutusohje PO-2011 koulutustilaisuus 20.3.2013. Suomen geotekninen yhdistys. Saatavissa: <http://www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=383132&cc=3&refid=6>. Hakupäivä 9.3.2014.

Skyfoto. Vuosaaren satama ilmakekuva. 2013. Saatavissa:

http://www.portofhelsinki.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/helsinginsatama/generated/72e206778696528.jpg. Hakupäivä 10.2.2014.

Stening, Mikael – Vähäkäkelä, Markku. 2008. Tielaitureiden inventointiohje.

Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa:

http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/laitureiden_inventointi.pdf. Hakupäivä 10.2.2014.

Strong shoes 2014. Hammer & steel. Saatavissa:

<http://www.hammersteel.com/dawson-strong-shoes.html>. Hakupäivä 25.3.2014.

Suunnittelu- ja asennusohjeet. Ruukin teräspaalut 2012. Ruukki. Saatavissa:

[http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%](http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20)

[20ohjeet/Tekninen%20ohje%20EUROCODE%20-%20Ruukin%20teraspaalut%20Suunnittelu%20ja%20Asennusohjeet.pdf](#). Hakupäivä 14.1.2014.

Suuriläpimittaiset teräsputkipaalut pohjarakentamisessa. 2010. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Teraspaalut/Ruukki-Suuril%C3%A4pimittaiset-ter%C3%A4sputkipaalut-pohjarakentamisessa.pdf>. Hakupäivä 20.2.2014.

Talvinen, Toni 2007. Satamalaiturirakenteiden teknistaloudellinen tarkastelu. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu, insinööritieteiden ja arkkitehtuurintiedekunta.

Teräsputkipaalut. 1999. Helsinki: Tiehallinto, Siltayksikkö. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf>. Hakupäivä 31.1.2014.

Tulevaisuus rakennetaan kestävien pohjarakenteiden varaan. 2011. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Ruukki-Pohjarakenteet.pdf>. Hakupäivä 1.2.2014.

Uotinen, Veli-Matti 2013. Paalutustyöluokat paalutusurakoitsijan kannalta. PO-2011 Koulutustilaisuus. Suomen Geoteknillinen yhdistys. Saatavissa: <http://www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=383132&cc=3&refid=1>. Hakupäivä 1.4.2014.

Uotinen, Veli-Matti 2012. Teräsmaalut Rak-50.212. Ruukki: Aalto Yliopisto Tekninen Korkeakoulu. Saatavissa: https://Fnoppa.aalto.fi%2FnoppaRak-50_2122_teraspaalut. Hakupäivä 1.2.2014.

LIITTEET

Liite 1 Geoteknisen luokan valintataulukko

Liite 2 Järkäleen liikkuvan osan massat

Liite 3 Korroosio

Liite 4 Dynaamisen koekuormituksen kulku

Liite 5 Teräspaalun mitoituksen periaate

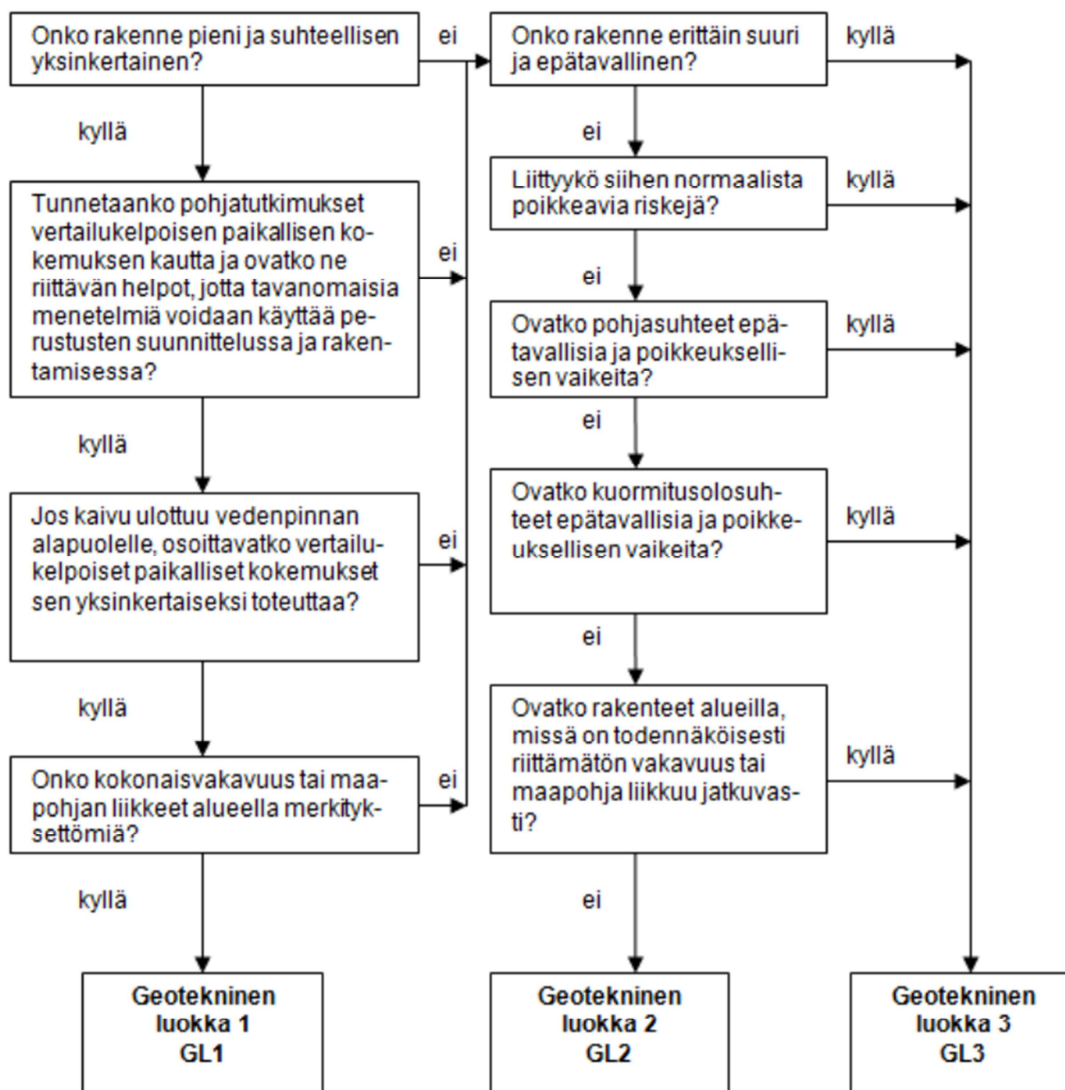
Liite 6 Teräspuutkipaalun PDA-mittaustulokset

Liite 7 Teräsbetonipaalujen PDA-mittaustulokset

Liite 8 Laiturin länsipään ankkurointipiirustus

Liite 9 Laiturin itäpään ankkurointipiirustus

Geotekninen luokka voidaan valita kuvan mukaisesti. (RIL 254-1-2011, 29)

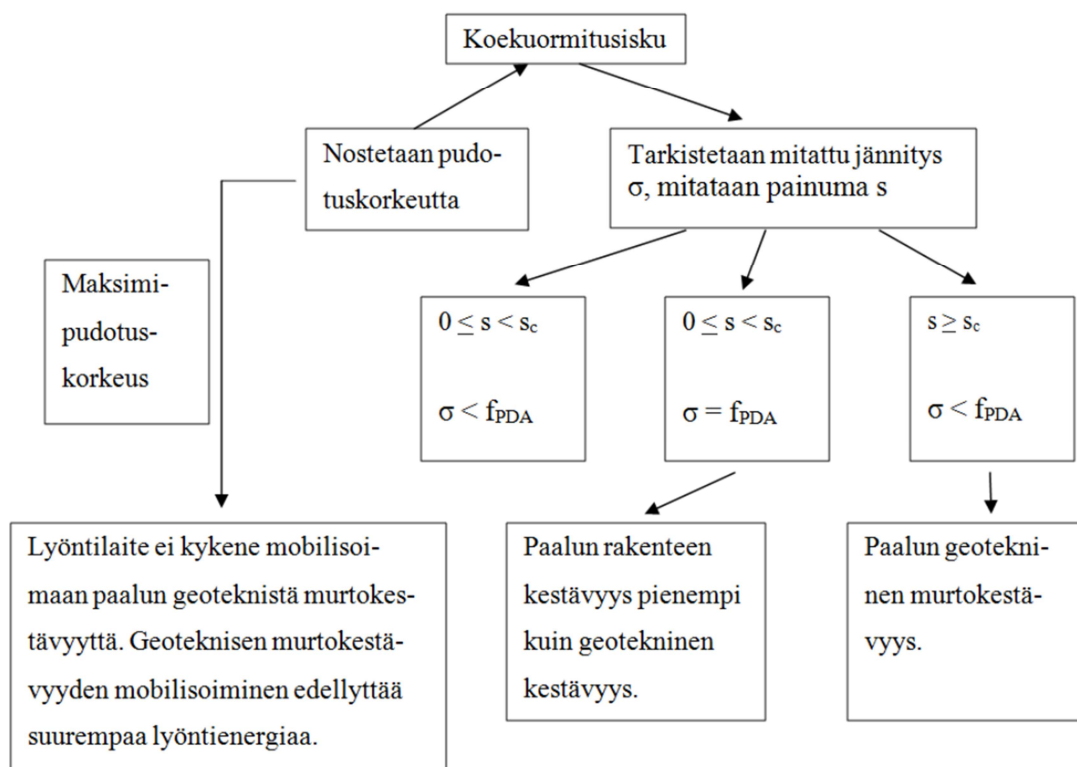


RR-paalujen asennuksessa käytettävien pudotus- ja hydraulijärkäleiden liikkuvan osan massan suositeltavat minimi- ja maksimimassat. (Suunnittelu ja asennusohjeet 2012, 29)

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

Korroosion aiheuttavan ohenemisen suositeltavat arvot. Makeaan veteen tai meriveteen asennettujen paalujen ja ponttien korroosiosta aiheuttavan paksuuden ohenemisen suositeltavat arvot (mm). (Suunnittelu ja asennusohjeet 2012, 21)

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



Sivun kuvaajasta nähdään dynaamisen koeuormituksen kulku, jossa s_c on painuma, jolla paalun murtokestävyys mobilisoituu PDA mittauksessa, tavallisesti $s > d/120$

f_{PDA} on paalumateriaalin maksimijännitys PDA-mittauksessa. SFS-EN12699: teräkselle $1,08 f_{yk}$.

(RIL 254-2-2011. 2011, 74)

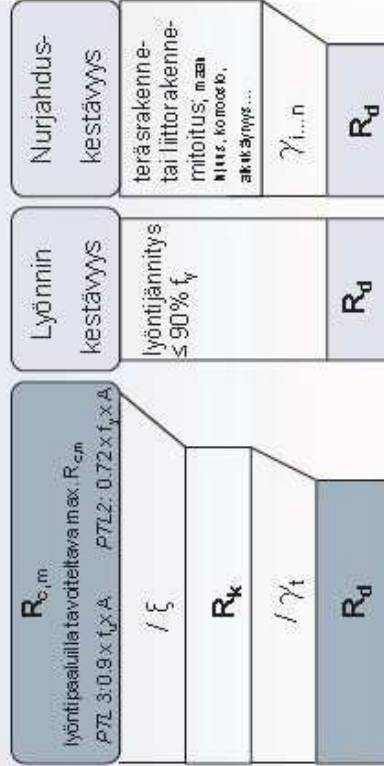
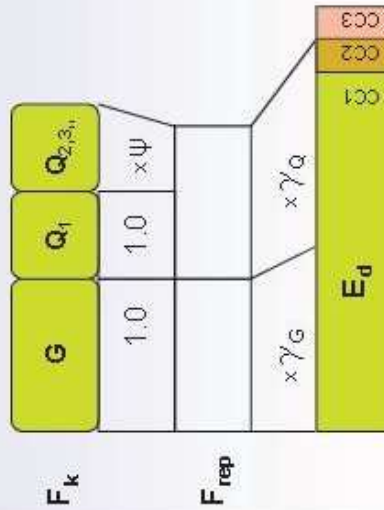
Teräspaalun mitoituksen periaate eurokoodien ja PO-2011 mukaisesti

KUORMIEN LASKENTA PAALUN KESTÄVYYDEN LASKENTA

CC1	CC2	CC3
PTL 1...3	PTL 2...3	PTL 2...3
GL1	PTL 1...3	PTL 3
GL2	PTL 2...3	PTL 3
GL3	PTL 2...3	PTL 3

Rakenteen kestävyys (STR) DA2*

Geotekninen kestävyys (GEO) DA2*



Kuormien laskenta joko DA2 tai DA2* ei aiheuta eroa, kun vaakakuormat otetaan vinopaaluilla

E_d ≤ R_d

pienin R_d mitoitettavin



MITTAUSTULOKSET

Yhteenveto mittaustuloksista on esitetty alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Dynaamisten koekuormitusten (PDA-mittausten) tulosten yhteenveto.

Paalu No	Paalun kärjen syvyys (m) ¹⁾	Paaluun siirtynyt energia E_{max} (kNm) ²⁾	Painuma s/1 isku (mm) ⁴⁾	Murtokuorma R_c (MN) ⁵⁾
2	23,0	51,1	5 (2)	3105
2	22,9	65,0	6 (4)	2983

¹⁾ Paalun kärjen syvyys työnaikaisesta lyöntitasosta

²⁾ Paaluun siirtynyt energia koekuormituksen yhteydessä

³⁾ Mitattu painuma koekuormituksen yhteydessä (suluissa mitattu jousto)

⁴⁾ Mobilisoitunut geotekninen murtokuorma

Murtokuorma on määritetty mittaustuloksista $CASE_{max}$ -menetelmällä käyttäen dynaamisena vaimennuskertoimena $J_c = 0,6$.

2. MITTAUSTULOKSET

Yhteenveto mittaustuloksista on esitetty alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Dynaamisten koekuormitusten (PDA-mittausten) tulosten yhteenveto.

Paalu No	Paalun kärjen syvyys (m) ¹⁾	Paaluun siirtynyt energia E_{max} (kNm) ²⁾	Painuma s/10 isku (mm) ³⁾	Painuma s/1 isku (mm) ⁴⁾	Murtokuorma R_u (kN) ⁵⁾
KP1	23,0	47,0	< 20	5 (25)	1683
KP2	29,4	38,7	> 20	3 (20)	2117
KP3	20,4	38,2	n. 30	5 (19)	1869
KP4	22,3	44,1	n. 20	6 (23)	1738
KP5	17,3	44,9	n. 10	3 (23)	2384
KP6	21,0	48,1	> 20	4 (24)	2164
KP7	21,3	40,9	n. 30	5 (19)	2219
KP8	19,4	45,2	< 10	4 (25)	2115

¹⁾ Paalun kärjen syvyys työnaikaisesta lyöntitasosta (maanpinta)

²⁾ Paaluun siirtynyt energia koekuormituksen yhteydessä

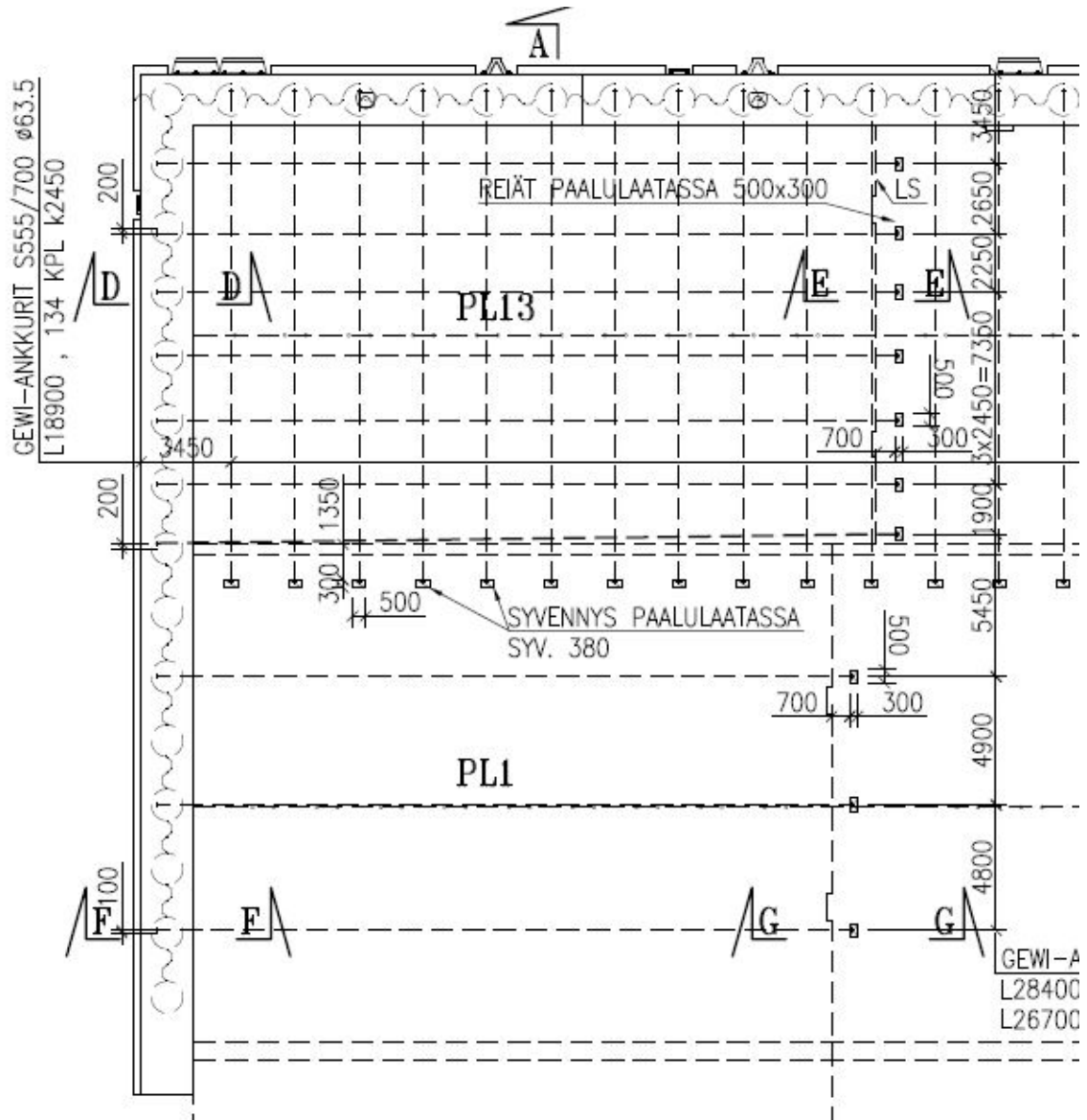
³⁾ Viimeisen 10 iskun sarjan painuma ennen koekuormitusta

⁴⁾ Mitattu painuma koekuormituksen yhteydessä (suluissa mitattu jousto)

⁵⁾ Mobilisoitunut geotekninen murtokuorma

Murtokuormat on määritetty mittaustuloksista $CASE_{max}$ -menetelmällä käyttäen dynaamisena vaimennuskertoimena $J_c = 0,6$.

Laiturin länsipään ankkurointi



Laiturin itäpäähän ankkurointi

