

# Tuetun kaivannon vedenpitävyyden varmistaminen

## Tiivistelmä

Tekijä Onni Sydänmaanlakka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 28	Valmistumisaika 2024
Työn nimi <b>Tuetun kaivannon vedenpitävyyden varmistaminen</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajaorganisaatio YIT Infra Oy		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi porapaalu- ja teräsponttiseinän vedenpitävyyden menetelmiä ja työvaiheita. Suurin osa teoriaosuudesta koostui kirjallisesta tutkimuksesta ja sen lisäksi työssä suoritettiin ankkurin läpiviennin vedentiivyyden tutkimus haastattelulla. Kohdetyömaissa käytiin läpi kahdella eri tukiseinätyypillä toteutetun kaivannon rakentamista ja pohjaveden hallinnan menetelmiä. Kohdetyömaista esiteltiin myös vedenpitävyyden ongelmia ja niiden ratkaisuja.</p> <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi YIT Infra Oy. YIT:n liikevaihto oli vuonna 2023 2,2 miljardia, josta infrarakentamisen segmentti kattoi 20 %. Tutkimus tarjosi toimeksiantajaorganisaatiolle kattavan tietopaketin tuettujen kaivantojen vedenpitävyyden menetelmistä ja niiden työvaiheista käytännössä.</p> <p>Työssä tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että kaivannon veden tiiviyksasteen määrittely ei ole niin yksinkertainen, sillä se riippuu monista tekijöistä, kuten valitusta tukiseinätyypistä, lukoissa käytetystä tiivistysaineesta ja -menetelmästä, asennustyöstä, maaperän ominaisuuksista sekä vedenpaine-erosta seinän eri puolilla.</p>		
Asiasanat Vedenpitävä tukiseinä, teräsponttiseinä, porapaaluseinä		

## Abstract

Author Onni Sydänmaanlakka	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2024
	Number of Pages 28	
Title of Publication <b>Ensuring the waterproofing of a supported trench</b>		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Civil and construction engineer		
Organisation of the client YIT Infra Oy		
Abstract <p>This thesis examined the methods and work phases of waterproofing for drilled pile walls and steel sheet piling. Most of the theoretical part consisted of a literature review, and additionally, the work included a study on the watertightness of anchor pass-throughs through interviews. At the target construction sites, the construction of excavations implemented with two different types of support walls and methods for groundwater management were reviewed. The sites also presented problems with waterproofing and their solutions.</p> <p>The client for this thesis was YIT Infra Oy. In 2023, YIT's turnover was 2.2 billion euros, of which the infrastructure construction segment accounted for 20%. The research provided the client organization with a comprehensive information package on the methods and work phases of waterproofing supported excavations in practice.</p> <p>Based on the research conducted, it can be said that determining the watertightness level of an excavation is not so straightforward, as it depends on many factors, such as the type of support wall chosen, the sealing material and method used in the joints, installation work, soil properties, and the water pressure difference across the wall.</p>		
Keywords Impervious retaining wall, steel sheet pile wall, RD-pile wall		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kaivantotyytit .....	2
2.1	Kaivantotyytin valinta .....	2
2.2	Tuetut kaivannot .....	3
2.2.1	Teräsponttiseinä .....	3
2.2.2	Porapaaluseinä.....	4
2.2.3	Settiseinä.....	6
2.3	Luiskatut kaivannot .....	6
3	Kaivannon kuivana pito.....	7
3.1	Sadevesien kuivatus .....	7
3.2	Pohjaveden alentaminen .....	7
3.3	Veden virtausyhteyden katkaiseminen kaivantoon.....	8
4	Tukiseinien vedenpitävyyden menetelmät.....	9
4.1	Teräsponttiseinän vedenpitävyys .....	9
4.2	Porapaaluseinän vedenpitävyys .....	12
4.3	Ankkurin läpiviennin vedentiiviys.....	14
5	Kohdetyömaat .....	16
5.1	Teräsponttiseinäkaivanto .....	16
5.2	Porapaaluseinäkaivanto .....	19
5.3	Teräsponttiseinän ja porapaaluseinän vertailu .....	24
6	Yhteenveto ja pohdinta .....	26
	Lähteet .....	27

## 1 Johdanto

Kaupungistuminen lisää rakentamista yhä tiiviimmäksi. Kaupunkeja rakennetaan korkeammalle, syvemmälle maanpinnan alle ja laajemmin. Laajenemisen myötä rakennuksia tehdään myös haastaville maaperille. Tällöin rakennuksen kohdalle tai niiden alapuolisille rakenteille tarvitsee usein tehdä kuoppa, jota kutsutaan kaivannoksi. Tiheään rakentaessa kaivanto joudutaan yleensä toteuttamaan tukiseinillä. Tukiseinien kyky rajoittaa tai estää pohjaveden virtausta on erittäin tärkeää yhä useammassa kohteissa. Vesitiivis tukiseinä tarjoaa taloudellisen ja turvallisen ratkaisun tilanteissa, joissa pohjavettä ei voi alentaa viereisten kiinteistöjen painuman vuoksi. Rakennuskaivannot ovat erilaisia maaperän olosuhteiden osalta ja se asettaa erilaiset vaatimukset pohjaveden hallinnalle. (ArcelorMittal 2022.)

Opinnäytetyön toimeksiantajaorganisaationa on YIT Infra Oy. YIT on Suomen suurin rakennusyhtiö, joka on toiminut 110 vuoden ajan. YIT työllistää noin 4300 työntekijää kahdeksassa maassa, jotka ovat Suomi, Ruotsi, Viro, Latvia, Liettua, Tšekki, Slovakia ja Puola. Vuonna 2023 yrityksen liikevaihto oli 2,2 miljardia euroa, josta oikaistu liikevoitto 4,1 miljonna euroa. Infrarakentamisen segmentti kattaa 20 % YIT:n liikevaihdosta. YIT toimii myös asunto- ja toimitilarakentamisessa. (YIT Oyj 2024, 3.) Opinnäytetyön tavoitteena on luoda toimeksiantajaorganisaatiolle kattava tietopaketti, jonka tarkoituksena on käsitellä tuetun kaivannon toteuttamista vedentiiviyden kannalta. Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään vain porapaalu-, teräspontti- ja settiseiniä.

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallista tutkimusta ja haastattelututkimusta. Kirjallinen tutkimus koostuu teräspontti- ja porapaaluseiniin liittyvistä suunnittelu- ja asennusohjeista, tuotevalmistajien ohjeista sekä sähköposteista. Haastattelututkimus sisältää ankkureiden läpiviennin vedentiiviyden menetelmiä. Kohdetyömaissa käydään läpi porapaaluilla ja teräsponteilla toteutetun tukiseinän rakentamista, vedenpitävyyden menetelmiä, pohjaveden hallintaa sekä tukiseinätyyppien vertailua.

## 2 Kaivantotyypit

### 2.1 Kaivantotyypin valinta

Kaivannon toiminnallisessa suunnittelussa valitaan käytetty kaivantotyyppi. Kaivanto voidaan toteuttaa joko luiskattuna tai tuettuna. Kaivannon tuennan tarpeen määrittävät alla olevat tekijät. (RIL 263-2014 2014, 44.)

#### **Kaivannon varmuus sortumista vastaan**

Valtioneuvoston asetuksen rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) 34 §:n mukaan kaivutyöstä ja kaivannon tuennasta on mainittu, että kaivutyö on suoritettava turvallisesti. Kaivutyössä on otettava huomioon maan geotekniset ominaisuudet, kaivannon syvyys, luiskan kaltevuus ja kuormitus vedestä sekä liikenteen tärinästä. Kaivannon seinämä on tuettava, jos sortuma voi aiheuttaa tapaturman. Luotettavan selvityksen perusteella työturvallisuus voidaan varmistaa tekemällä kaivanto luiskaamalla tai porrastamalla.

#### **Käytettävissä oleva tila**

Usein työmaalla tulee tilanteita, jossa käytettävissä olevaan tilaan ei mahdu luiskattu kaivanto. Luiskatun kaivannon koon vuoksi kunnallistekniikkaa joudutaan usein siirtämään. Tuetun kaivannon pienempi koko mahdollistaa, ettei kunnallistekniikkaa välttämättä tarvitse siirtää. (RIL 263-2014 2014, 44.) Kun kaivanto toteutetaan tuettuna luiskaamisen sijasta, jää kaivannon sivuille myös enemmän tilaa. Työmaalla lisätilaa tarvitaan esimerkiksi logistiikan suunnitteluun, kuten kuljetuksiin, nostoihin ja varastointiin. Lisätila parantaa myös työjärjestelymahdollisuuksia kaivantovaiheessa ja myöhemmissä rakennusvaiheissa. (RIL 263-2014 2014, 42.)

#### **Ympäristövaikutukset ja vesitiiviys**

Kaivannon rakentamisessa ympäristövaikutusten pitää rajoittua hyväksyttävään tasoon. Esimerkiksi, jos on tarve rajoittaa maapohjan muodonmuutosta, niin kaivannon toteuttaminen luiskaamalla tai useamman tukiseinätyypin käyttäminen ei ole mahdollista. (RIL 263-2014 2014, 44.) Luiskatulla kaivannolla kaivutyöt muuttavat maapohjan jännitystilaa luiskan reunoilla, josta seuraa painumia ja sivusiirtymiä. Tuetulla kaivannolla kaivutyöt aiheuttavat maanpaineen tukiseinää vastaan, joka aiheuttaa tukiseinään vasten olevaan maakerrokseen sivuttaissiirtymiä ja painumia. (RIL 263-2014 2014, 31.) Kaivanto suunnitellaan vesitiiviiksi, jos maapohjan kautta tulevaa vuotovesimäärää pitää rajoittaa esimerkiksi ympäristön pohjavesitason säilyttämiseksi tai kaivannon kuivana pidon mahdollistamiseksi, tällöin paras ratkaisu on tehdä kaivanto tuettuna. (RIL 263-2014 2014, 66.)

## Rakennuskustannukset

Jos molemmat kaivantotyyppien vaihtoehdot ovat mahdollisia, yleensä luiskattu kaivanto on halvempi ratkaisu. Luiskaaminen lisää kuitenkin kaivu-, täyttö- ja pintarakennetöitä maansiirtoineen. Tällöin joissakin olosuhteissa kaivannon tuenta voi tulla halvemmaksi kuin luiskaus. (RIL 263-2014 2014, 45.)

### 2.2 Tuetut kaivannot

Tuetuilla kaivannoilla tukirakenne ja maapohja mitoitetaan siten, että ne kestävät niille kaikissa työvaiheissa aiheutuvat kuormitukset. Ympäristöön aiheutuvat painumat ja siirtymät pitää pysyä sallituissa rajoissa. Mitoituksessa otetaan huomioon, ettei kaivannon rakennesosat murru, kuten tukiseinät. (RIL 263-2014 2014, 99.) Tukiseinätyypin valinnan määrittää seuraavat tekijät:

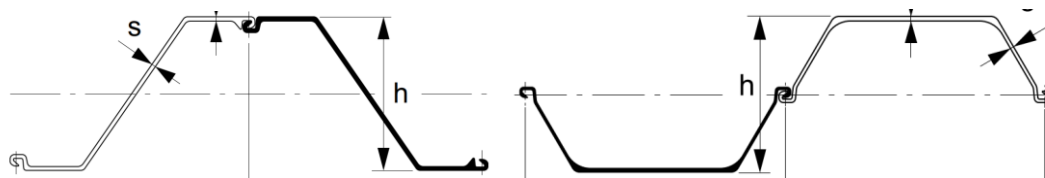
- kaivannon pohjaolosuhteet
- kaivannon ympäristöolosuhteet
- tukiseinän käyttötarkoitus
- eri tukiseinätyyppien rakennuskustannukset ja tarvittava rakennusaika.

Lähes kaikki tukiseinätyypit ovat teknisesti mahdollisia toteuttaa tavanomaisissa pohja- ja ympäristöolosuhteissa. Näissä olosuhteissa tukiseinän valinnan määrittää lähinnä rakennuskustannukset ja rakennusaika. Kun olosuhteiden vaativuus kasvaa, myös tukiseinän ominaisuuksien merkitys kasvaa ja käytettävissä olevien tukiseinätyyppien määrä vähenee. Erittäin vaativissa pohja- ja ympäristöolosuhteissa tukiseinätyyppi valitaan sille kuuluvien erityisominaisuuksien perusteella. Tukiseinälle voidaan suunnitella myös toinen käyttötarkoitus, kuten pystykuormien vastaanotto. (RIL 263-2014 2014, 45.)

#### 2.2.1 Teräsponttiseinä

Teräsponttiseinä on Suomessa käytetyin tukiseinätyyppi. Muihin tukiseiniin verrattuna ponttiseinä on yleensä kustannustehokkain, koska ponttiseinän rakentaminen ja purkaminen on nopeaa. Teräsponttiseinä koostuu maahan upotetuista teräsponteista, jotka asennetaan lukkouriin, jolloin tukiseinärakenne on yhtenäinen. Suomessa yleisimmät teräsponttiseinän poikkileikkaukset ovat U- ja Z-profiilit (Kuva 1). Ponttien käyttöä rajoittavat asennus kiviseen ja lohkaraiseen maaperään, kuten myös hyvin tiiviiseen kitkamaakerokseen. Tunkeutumista voidaan parantaa löyhdyttämällä maakerrosta aukiporaamalla, mutta se on varsin kallis toimenpide. Ponttien tunkeutumistasona voidaan pitää karkeana arviona heijarikairauksen

päättymistasoa. Täryttämällä pontit voidaan asentaa tiiviiseen moreeniin, sen häiriintyessä täryttämisestä. (RIL 263-2014 2014, 47–50.)

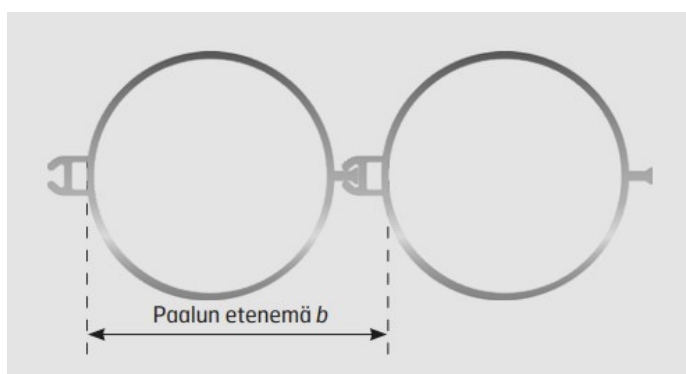


Kuva 1. Z- ja U-profiilien poikkileikkaukset (ArcelorMittal 2022)

Suomen olosuhteissa tehokkain työkone pontin asentamiseen on hydraulisella täryva-saralla varustettu tela-alustainen pontiniskijä. Suurtaajuustäryttimellä voidaan välttää reso-nanssi pontin ja sitä ympäröivän maan välillä, joten ympäristöön ei välity tärinästä haitallisia tärinäpiikkejä. Paalutuskone soveltuu lähinnä pontin asentamiseen koheesiomaissa. (RIL 263-2014 2014, 160.)

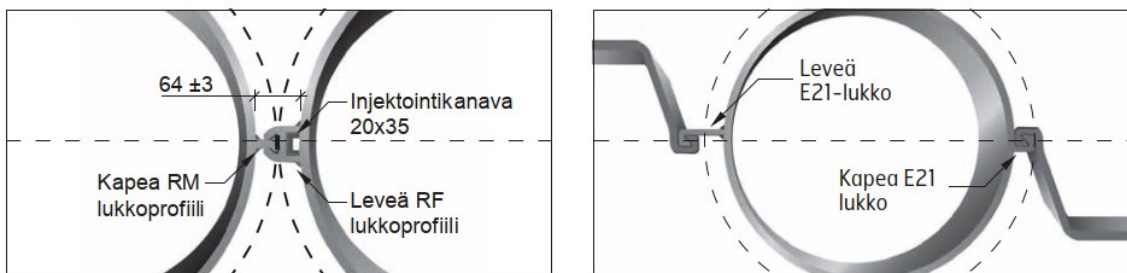
### 2.2.2 Porapaaluseinä

Porapaaluseinä (Kuva 2) koostuu pituus- tai kierresaumahitsaamalla valmistetuista teräs-putkipaaluista ja niihin hitsaamalla kiinnitetyistä lukkoprofiileista. Suomessa on tarjolla po-rapaaluseiniin paalukokoja 220...1200 mm asti. Paalut pyritään toimittamaan työmaalle suunnitellun pituisina, tarvittaessa hitsausviisteillä varustettuina.



Kuva 2. Porapaaluseinän poikkileikkaus (SSAB 2022, 15)

Paaluja on saatavilla teräslajeilla S355J2H, S440J2H, S460MH ja S550J2H. Paaluseinässä teräsputkipaalut lukittuvat toisiinsa lukkoprofiiliparilla, jossa toinen lukkoprofiileista on le-veämpi ja toinen lukkoprofiili on kapeampi. Paaluseinälle on kehitetty kaksi erilaista lukko-profiiliparia (Kuva 3).



Kuva 3. Vasemmalla RM/RF-lukkoprofiilipari ja oikealla E21-lukkoprofiilipari (SSAB 2022, 11)

RM/RF-lukkoprofiiliin on integroitu injektointikanava, jonka avulla paaluseinän alapää saadaan vesitiiviiksi ja kalliokontakti jäykäksi ilman erillistä injektointiputkea. E21-lukkotyyppejä käytetään, kun paaluseinä liitetään teräsponttiseinään. (SSAB 2022, 10–11.) Porapaaluseinän voi asentaa kivisen ja lohkaraisen maakerroksen läpi, joten se soveltuu kaikille pohjaolosuhteille asennettavaksi. Metalliomua ei saa kuitenkaan olla maaperässä. (RIL 263-2014 2014, 52.) Paaluseinä asennetaan iskevällä porausmenetelmällä ilmalla toimivalla uppovasaralla. Vesikäyttöistä vasaraa voi myös käyttää pienemmillä paaluilla ( $D \leq 323$  mm). Poraus suoritetaan keskeisellä porausmenetelmällä. (RIL 263-2014 2014, 165–166.) Porakruunu on paaluseinän asentamisessa isompi kuin vakiokruunu, että se mahtuu tekemään isomman tilan maahan lukkoprofiileja varten. Avarrinkruunuja on kolmea tyyppiä (Kuva 4).



Kuva 4. Kiinteä avarrin, irtoavarrin ja siipiavarrin (Robit Group 2023, 25)

Kiinteässä avartimessa ja irrallisessa avartimessa avarrinrenkas ja maakenkä jäävät paalun kantavaksi rakenteeksi. Porapalauseinän asentamiseen voi käyttää myös siipiterää eli siipiavarrinta, jossa avartimen siivet levittyvät porausta aloittaessa. Poraus päättyttyä

siivet vedetään suppuun, jolloin avarrin siipineen saadaan nostettua pois paalusta. Siipiavarrinta käytettäessä ainoastaan maakenkä jää paaluun, mutta se ei välttämättä ole osa porapaaluseinän kantavaa rakennetta. (SSAB 2022, 12.)

### 2.2.3 Settiseinä

Settiseinän runkona toimii maahan 1...4 m välein asennetut teräspalkit. Seinärakenteena on pystypalkkeihin tukeutuvat settilankut, jotka ovat yleensä teräspalkkeja tai puulankkuja. Seinärakenteena voidaan myös käyttää maata vasten valettuja betonipalkkeja, vaiheittain tehtävää ruiskubetoniseinää tai palkkeihin hitsattuja teräslevyjä. Settiseinä ei ole yksinään vesitiivis.

Seinän pystypalkit saadaan upotettua samanlaisiin pohjaolosuhteisiin kuin teräsponttiseinä. Kun pystypalkit korvataan porapaaluilla, saadaan ne asennettua varmasti tavoitetasoon. (RIL 263-2014 2014, 50.) Pystypalkkien asennuksessa kiinnitetään erityistä huomiota palkkien oikeaan sijaintiin ja pystysuoruuteen. Kaivu tehdään kerroksittain, mahdollisimman pystysuorilla luiskilla ja pienillä työvaroilla. Kerralla kaivettavien kerroksien paksuus vaihtelee 0,5–1 m välillä, riippuen luiskien pysyvyydestä. (RIL 263-2014 2014, 163.)

## 2.3 Luiskatut kaivannot

Suunnitellessa luiskattuja kaivantoja on kaivantopoikkileikkaus valittava siten, että päästään riittävään varmuuteen kaivannon luiskien sortumista sekä pohjamaan heikompien kerrosten kautta tapahtuvaa laajaa sortumaa vastaan. Lisäksi suunnittelussa otetaan huomioon kaivannon pohjan vakavuus ja pohjaveden hallinta. (RIL 263-2014 2014, 133.) Jos suunnitteluvaiheessa ei luiskan pysymiselle saada riittävää varmuutta, suunnitellaan toimenpiteet stabiliteetin parantamiseksi.

Luiskan stabiliteettia voidaan parantaa esimerkiksi:

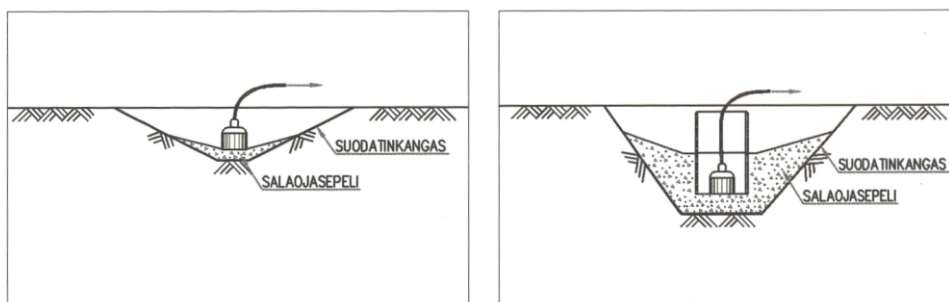
- kaivannon luiskaa loiventamalla
- suorittamalla kevennysleikkaus luiskan yläosaan
- tekemällä massanvaihdon kaivannon pohjalle tai luiskan juureen
- pohjavettä alentamalla
- stabiloinnilla
- käyttämällä erilaisia lujitusrakenteita.

Jos edellä mainituilla ratkaisuilla ei paranneta luiskan stabiliteettia tarpeeksi, on kaivanto suunniteltava tuettuna. Myös tilanteessa, jossa kaivannolle ei ole tarpeeksi tilaa, se suunnitellaan tuettuna. (RIL 263-2014 2014, 138.)

### 3 Kaivannon kuivana pito

#### 3.1 Sadevesien kuivatus

Kun kaivannossa tehdään kuivatyötä, pitää kaivannon pohja pitää kuivana sadevesistä ja sulamisvesistä. Kuivatusmenetelmässä sadevedet kerätään kaivupohjan kallistuksilla pumppauskuoppiin tai pumppauskaivoihin, joista sadevedet pumpataan pois kaivannosta (Kuva 5).



Kuva 5. Pumppauskuoppa ja pumppauskaivo (RIL 263-2014 2014, 69)

Veden virtausta pumppauskaivoihin voidaan parantaa kaivannon pohjalle sijoitettavilla työnaikaisilla salaojilla. Työnaikainen kuivatus on joskus mahdollista toteuttaa heti työn alussa. (RIL 263-2014 2014, 69.)

#### 3.2 Pohjaveden alentaminen

Sade- ja sulamisvesien kuivatus yleensä riittää, kun alin kaivutaso kaivannossa on vähintään n. 0,5...1,0 metriä pohjavesitason yläpuolella. Jos kaivannon alin kaivutaso on tätä alempana, selvitetään pohjaveden alennustarve ja suunnitellaan sen toteutus. Pohjaveden alentamiseen voidaan käyttää esimerkiksi syvää pumppauskaivoa. Syvä pumppauskaivo voi olla alapäästä rei'itetty teräsputki, joka asennetaan lyönti- tai porapaaletuskoneella. Teräsputken rei'itetty kohta koitetaan ulottaa parhaiten vettä johtavaan kerrokseen. Painovoimaisesti pumppauskaivoon virtaava vesi pumpataan putkesta uppopumpulla tai keskipakopumpulla. Rei'itetty putki liettyy helposti, joten pumppauskaivon tehoa voidaan parantaa varustelemalla putki suodattimella. (RIL 263-2014 2014, 70–71.)

Etuja kaivannon kuivana pidolle pohjavettä alentamalla on perustustöiden helpotus, luiskasortumien välttäminen ja maan kaivu- ja kuljetusominaisuuksien parantuminen. Pohjaveden alentamisessa pitää kartoittaa sen vaikutukset, kuten viereisten rakennusten painumat ja niiden rakenteiden kestävyys. Lisäksi määritetään alimman pohjaveden pinnan taso, jos alueella on puuperusteisia rakenteita. (Suomen Vesiyhdistys Ry 2005.)

Jos kaivannosta alennetaan pohjavettä ja kaivanto ei ole vesitiivis, pohjavedenpinta laskee ympäristössä. Pohjaveden pinnan laskemisen seurauksena on hienorakeisten maakerrosten ja niille perustettujen rakenteiden painuminen, negatiivinen vaippahankaus paaluihin ja puupaalujen lahoaminen. Jos vesi pääsee virtaamaan kaivantoon ruhjeisen kallion tai rikkonaisen kalliopohjan kautta, pohjaveden alennuksen vaikutusalue voi olla paljon suurempi, kuin virtaus kaivantoon pelkästään maapohjan kautta. Jos vettä johtavaan maa- tai kalliopohjaan sijoitetussa kaivannossa tullaan alentamaan pohjavettä ja pohjaveden pinta ei saa laskea haitallisesti ympäristössä, kaivanto suunnitellaan vesitiiviiksi. (RIL 263-2014 2014, 37–38.)

### 3.3 Veden virtausyhteyden katkaiseminen kaivantoon

Veden virtausyhteys kaivantoon maakerroksien kautta estetään vedenpitävällä tukiseinällä (patoseinällä), jonka alapää ulottuu vettä läpäisemättömään maakerrokseen tai ehjään kallioon. Jos vesitiiviin maakerroksen alla on vettä läpäisevä maakerros tai vettä johtava kallio, pitää vesitiiviin maakerroksen paksuus olla riittävä estämään nosteesta johtuva kaivannon pohjan hydraulinen murtuminen. Pohjan hydraulinen murtuminen on myös mahdollista kalliossa olevan vettä johtavan vyöhykkeen kautta. (RIL 263-2014 2014, 66.)

Virtausyhteys kallion ja vesitiiviin tukiseinän välistä katkaistaan vedenpitävällä liitoksella. Kalliopohjan kautta tuleva virtausyhteys kaivantoon katkaistaan verhoinjektoimalla, myös kaivannon pohjan mahdolliset ruhjekohdat injektoidaan. Verhoinjektoinnilla saadaan injektointia seinän alapuolinen kallio tiiviiksi, injektointiputken voi sijoittaa porapaaluseinällä paalujen sisälle. (RIL 263-2014 2014, 54.) Injektoinnissa sementtipohjaista injektointiainetta pumpataan paineella kallioon porattuun reikään, josta injektointiaine tunkeutuu kallion rakoihin ja kovettuu. Kun injektointia tehdään ennen louhintaa, sitä kutsutaan esi-injektointiksi. Louhinnan jälkeen tehtyä injektointia kutsutaan jälki-injektointiksi. (Väylävirasto 2019, 10.)

Pohjan vesitiiviyys varmistetaan kallioon ankkuroidulla betonilaatalla, kun vedenpitävä tukiseinä liittyy vettä johtavaan maakerrokseen. (RIL 263-2014 2014, 67.) Vesitiiviin pohjalaa-tan voi myös toteuttaa suihkuinjektoimalla. Suihkuinjektoinnissa suihkutetaan maaperään kovalla paineella veden sementin ja mahdollisesti muiden side- ja seosaineiden muodostamaa suspensiota. Injektiosuutinta pyörittäessä maahan muodostuu pyöreä pilari, jonka läpimitta on tyypillisesti 600–2000 mm. Suihkuinjektoimalla voi myös muodostaa paneelimaisia seiniä, kun suihkuinjektointisuutinta ei pyöritetä. Kovettunut sideaine ja maa muistuttavat raudoittamatonta betonista rakennetta. (Väylävirasto 2018, 7.)

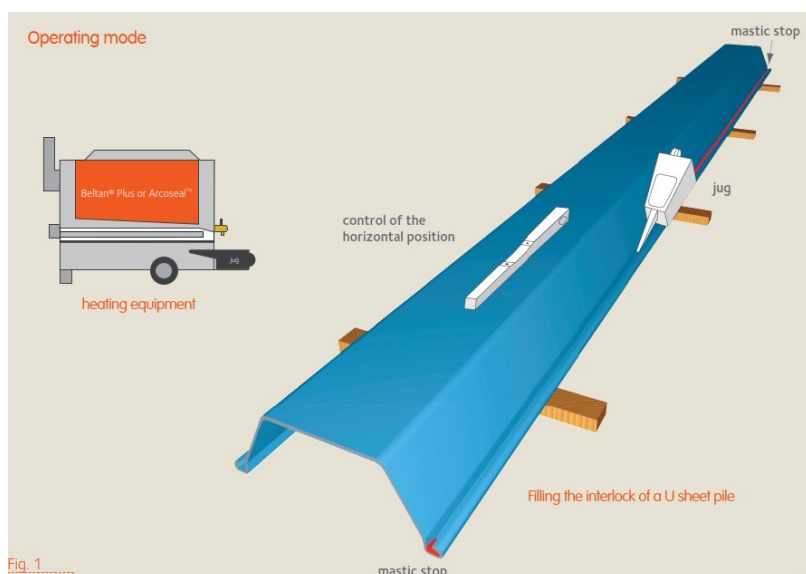
## 4 Tukiseinien vedenpitävyyden menetelmät

### 4.1 Teräsponttiseinän vedenpitävyys

#### Lukkoprofiilit

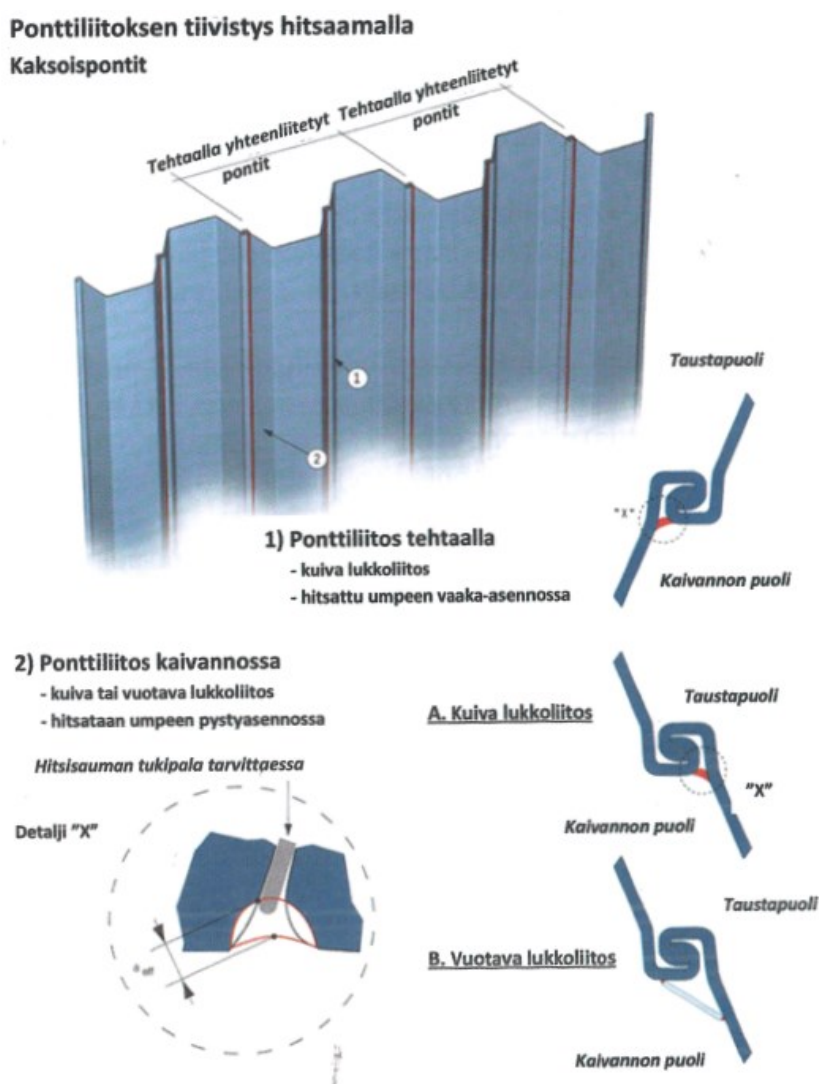
Teräsponttiseinän lukkoprofiilien liitos ei ole itsessään vesitiivis. Tukiseinän vesitiiviyteen vaikuttaa voimakkaasti maapohjan vedenläpäisevyys ja seinän eripuolten vedenpaine-ero. Maapohjan vedenläpäisevyyden ollessa pieni ja vedenpaine-eron ollessa kohtuullinen, usein vuotoveden hienoaines kulkeutuu lukkoihin ja se tukkii vedenvuodon. Tällöin ponttiseinä on useimmiten tarpeeksi vesitiivis työnaikaiseksi tukiseinäksi. Huomioitavaa on kuitenkin vaikeissa pohjaolosuhteissa, joissa voi syntyä teräsponttien asennuksessa lukkoliitosten muodonmuutoksia, jolloin riski vesivuodoille kasvaa. Lukkoprofiilien liitosten tukkeutuminen vähenee, kun maapohjan vedenläpäisevyys tai vedenpaine-ero seinän eripuolilla suurenee. Karkearakeisilla maalajeilla tai avovedessä lukon tukkeutumista ei tapahdu olenkaan. (RIL 263-2014 2014, 48.)

Teräsponttiseinän vedenpitävyyttä parannetaan asentamalla tiivistysainetta lukkoprofiileihin (Kuva 6). Bitumi- ja vahapohjaisten tiivistysaineiden käyttö soveltuu alle 100 kPa vedenpaineelle, mikä vastaa alle noin 10 metrin vedensyvyyttä. Ponttiseinän tiivistämiseen voi käyttää myös veden vaikutuksesta turpoavia tiivistysaineita. Nämä tiivistysaineet ovat polyuretaani- ja polymeeripohjaisia, joiden levityksessä niitä ei tarvitse lämmittää. Polyuretaanin tiivistysaine sopii alle 200 kPa vedenpaineelle, mikä vastaa alle noin 20 metrin vedensyvyyttä ja polymeeripohjainen alle 300 kPa, mikä vastaa alle noin 30 m vedensyvyyttä.



Kuva 6. Bitumi-/vahapohjaisen tiivistysaineen asentaminen yksittäisen pontin lukkoon (ArcelorMittal 2018, 19)

Bitumi-/vahapohjaisen tiivistysaineen asennuksessa tiivistysaine kuumennetaan ja kaadetaan kuumana nesteenä lukkoprofiileihin. Työmaolosuhteissa asentamisessa on huomioitava, että ponttien on oltava vaaka-asennossa ja päädyt tulpattuna. Lukkojen on oltava kuivia ja rasvattomia. Puhdistukseen voidaan käyttää esimerkiksi paineilmaa, teräsharjaa tai korkeapainepesuria. Tiivistysmassan tulee olla tasaisesti kuumennettu ja sekoitettu, että tiivistysaineesta saadaan homogeeninen seos. (ArcelorMittal 2018, 19.) Ponttiseinän vesitiiviys voidaan varmistaa hitsaamalla ponttiliitos umpeen (Kuva 7). (RIL 263-2014 2014, 48.)



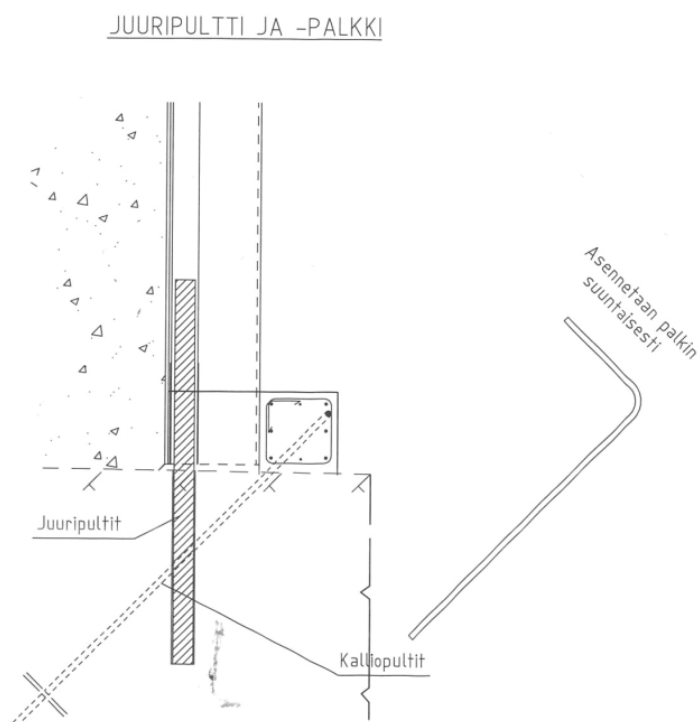
Kuva 7. Teräsponttiseinän vesitiiviöden varmistaminen hitsaamalla. (RIL 263-2014 2014, 48)

Teräsponttien lukkoliitösten hitsaukseen on kaksi eri tapaa. Teräsponttipari voidaan hitsata kuivana tiiviiksi tehtaalla tai työmaalla ennen ponttien upotusta maahan. Tässä menetelmässä hitsaus suoritetaan ponttien ollessa vaakatasossa. Toisessa tapauksessa hitsaus

suoritetaan vasta ponttien asennuksen jälkeen kaivannossa pystyasennossa. Kaivannon puolelta hitsattuihin lukkoliitoksiin suositellaan käyttämään bitumipohjaista tiivistysainetta esitiivistykseen, sillä hitsaustyö helpottuu lukon ollessa kuiva. (ArcelorMittal 2018, 30.)

### Alapään liitos kallioon

Teräsponttiseinän alapään liitos kallioon ei ole yksinään vesitiivis. Teräsponttiseinän ja kallion välistä tulevan vesivuodon rajoittamiseksi on tärkeää, että pontit saadaan upotetuksi kalliopintaan asti. Teräsponttien uppoamisen parantamiseksi maata voidaan löyhdyttää esiporaamalla. Kaivannon pohjalta jälkitiivistystä voidaan suorittaa hitsaamalla ponttien alapäiden rakoihin teräskappaleita ja tiivistää taustoja polyuretaanilla. Loput vesivuodot voidaan tiivistää betonisella juuripalkilla (Kuva 8).



Kuva 8. Teräsponttiseinän alapään tuenta ja vesitiiviyyden varmistus juuripalkilla (RIL 263-2014 2014, 68.)

Ennen juuripalkin valua tukiseinän juureen asennetaan juuripalkin suuntainen salaoja, joka johtaa vuotovedet pois. Vedenpitävyyttä voi tehostaa myös asentamalla bentoniittinauhat ja injektointiletkut kallio- ja tukiseinäpinnalle. Injektioletkuilla rajapinnat saadaan injektoitua tiiviiksi jälkikäteen.

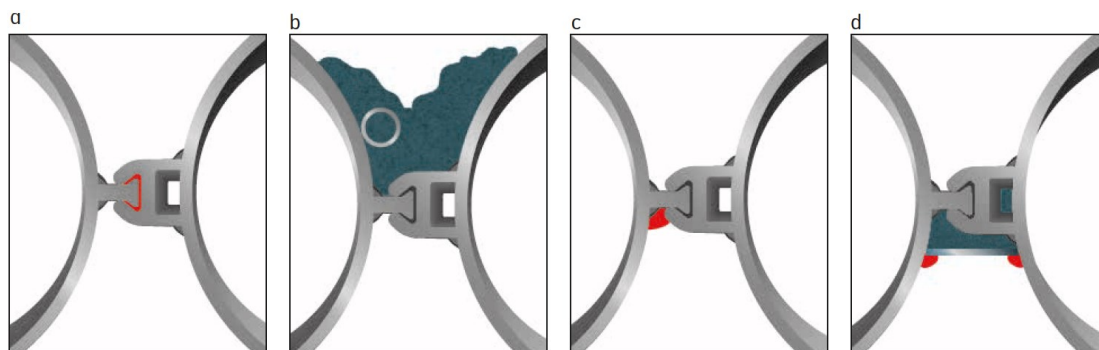
Erittäin vaativissa olosuhteissa teräsponttiseinän alapään kalliokontaktin vesitiiviyys ja pystykuormien siirtyminen kallioon pitää varmistaa ennen pohjaveden alennusta tai kaivutöitä. Tämä varmistetaan suihkuinjektoimalla teräsponttien alapäää ulkosivulta. Suihkupilarit

injektoidaan kalliopinnasta ylöspäin ja ne limittyvät ponttien alapäiden kanssa vähintään 1 m. Teräsponttiseinän ja kallion välin voi myös joissakin tapauksissa tiivistää maainjektoinilla. Maainjektointin käyttöä edellyttää, että menetelmän soveltuvuus selvitetään etukäteen. (RIL 263-2014 2014, 68.)

## 4.2 Porapaaluseinän vedenpitävyys

### Lukkoprofiilit

Joissakin olosuhteissa porapaaluseinän vesitiiviyys voi olla riittävä ilman erikoistoimenpiteitä, koska maaperän ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti paaluseinän vesitiiviyteen. Hienorakeisilla maalajeilla vedenpaineen ollessa kohtuullinen (<50...80 kPa) eri puolilla tukiseinää, lukon läpi pääsevä vesimäärä on erittäin pieni. Jos kaivanto on tehty hyvin vettä-läpäisevälle maaperälle ja vedenpaine-eron kasvaa, vesivuotojen todennäköisyys lukkojen läpi kasvaa merkittävästi ja tarvitaan lisätoimenpiteitä. Kuvassa 9 on esitetty lukkoprofiilien vesitiiviyden parantamisen menetelmiä. (SSAB 2022.)



Kuva 9. Vesitiiviyden parantaminen tiivistysaineella RM/RF-lukkoliitoksessa, taustan injektointinilla ja tiiviyden varmistaminen hitsauksella (SSAB 2022, 20)

Kun porapaaluseinälle kohdistuu selvä vesitiiviyysvaatimus, esimerkiksi tilanteessa, jossa paaluseinä asennetaan avoveteen tai pohjaveden pinnan alapuolelle, suositellaan lukkoprofiileissa käyttämään aina tiivistysainetta. Veden vaikutuksesta laajenevaa tiivistysainetta tai bitumipohjaista tiivistysainetta asennetaan tehtaalla tai työmaalla kuumana RF-lukkoprofiiliin. Kylmissä olosuhteissa bitumisen tiivistysaineen voidaan lämmittää ennen porapaalun asennusta.

Injektoimalla lukon kohta tukiseinän taustalta parannetaan lukon rakenteen vesitiiviyttä. Injektointinilla voidaan myös lujittaa taustan maaperää. Injektointiputket painetaan tai porataan seinän kaivamattomalle puolelle. Injektointiputket voidaan myös kiinnittää paaluihin ennen porausta.

Paras vesitiiviys lukkoihin saadaan hitsaamalla lukon ja paalun väli kaivun edetessä. Jos lukon välistä tuleva vesi haittaa hitsaamista, voidaan lukon etupuolelle hitsata teräslevy sekä injektoida teräslevyn ja lukon väli. (SSAB 2022, 20.)

### **Alapään liitos kallioon**

Porapaaluseinän alapään ja kallion välin vesitiiviys riippuu voimakkaasti pohjavesiolosuhteista, sekä heti kallion päällä sijaitsevien maakerrosten vedenläpäisevyydestä. Kun porapaalut asennetaan kallioon, suljetaan pohjaveden virtausreitti seinän alapäästä, joka vähentää tai estää kokonaan veden suotautumisen porapaaluseinän sisäpuolelle. Suuremmilla paaluilla ( $D \geq 500$ ) suositellaan vähintään 1,5 m porausta ehjään kallioon. Pienemmillä paaluilla ( $D \leq 500$ ) suositellaan vähintään 1 m porausta ehjään kallioon.

Vedenpitävyyttä auttaa myös, kun vierekkäiset porapaalut ulotetaan mahdollisimman lähelle samaa tasoa keskenään ja paalujen lukot ovat mahdollisimman lähellä paalun alapäätä. Kun porapaaluseinä tehdään kallioon asti, juuripalkkia ei välttämättä tarvitse tehdä tukemaan seinän alapäätä. Paaluseinän paalujen läpi voi myös tehdä seinän alapuolisen kallion tiivistysinjektointia. (SSAB 2022, 20.)

### **Lukkokanavan kautta injektointi**

RF-lukossa sijaitsevaa injektointikanavaa voidaan käyttää paaluseinän lukkojen alapuolisen tyhjätilan injektointiin. RF-lukkoprofiili varustellaan yläpäästä injektointiyhteellä, sekä alapäästä injektointiventtiileillä ja tulppauksella. Injektointi tehdään paaluseinän porauksen sekä paalujen betonoinnin jälkeen. Jos venttiilit ovat tukkeutuneet porauksessa, ne voidaan avata vesipaineella. Injektoinnissa käytetään vesisementtiseosta, jonka suositeltu vesi/sementtisuhde on 0,5. Injektointiin voidaan käyttää esimerkiksi CEM II/A-LL 42 R pikasementtiä. Injektoinnissa massa virtaa tyhjätilassa myös paaluseinän suunnan mukaisesti. Injektiomassan kovettuessa tyhjätiloissa voi osa injektioimattomista venttiileistä tukkeutua. Injektointia pitää silti yrittää kaikista paaluista, mutta venttiilien tukkiutumisten takia välttämättä kaikkia paaluja ei saada injektoidua. Injektointimassan määräksi suositellaan käytettäväksi noin kolminkertainen määrä rakotilan teoreettiseen tilavuuteen. Isommalla injektointimassan määrällä saadaan korvattua aukeamattomien venttiilien injektointi. (SSAB 2022, 21.) Porapaaluseinän alapään kalliokontaktin ja injektioitumisen tiiviys todennetaan visuaalisesti, kun kalliopintaan on päästy. Tiiviyyttä voidaan parantaa tarvittaessa juuripalkilla, suihkuinjektoinnilla, maainjektoinnilla tai kallion verhoinjektoinnilla.

RF-lukkoprofiilissa sijaitsevan injektointikanavan reiättämisellä saadaan tarvittaessa koko paalun pituus injektoidua. Koeinjektoinnin perusteella injektointikanavan reikien etäisyys toisistaan on oltava enintään 1 m ja ylimmän reiän matka maanpinnasta noin 2 m.

Injektointimassan määrä on teoreettista tilavuutta suurempi, koeinjektoinnin perusteella määrä on ainakin kolme kertaa isompi. Massa leviää helpoimmille alueille ensin ja vasta sen jälkeen muille alueille. Lukkoprofiiliin tehdyt reiät tukitaan sopivalla menetelmällä, ettei injektointikanava täyty maa-aineksella paaluseinän porauksen aikana. (SSAB 2022, 30.)

#### 4.3 Ankkurin läpiviennin vedentiiviys

Pohjaveden purkautuminen on melko yleistä, kun tukiseinään tehdään reikä pohjavedenpinnan alapuolelle. Myös orsivesikerrokset voivat aiheuttaa yllättäviä ongelmia vesienhallintaan, kuten myös sulamisvedet tukiseinän taustalla. Teräsponsittiseinät asennetaan useimmin hienorakeisempiin maalajeihin (savi ja siltti), joiden veden vuoto kaivantoon on vähäisempää. Porapaaluseinät asennetaan useimmiten kitkamaille, joilla veden vuoto on yleisempää. Kitkamailta vettä voi vuotaa paljonkin ja silloin joudutaan käyttämään hitaampia ja kalliimpia tiivistysratkaisuja. Porapaaluseiniä käytetään myös patorakenteina ja syvissä kaivannoissa, joissa vedentiiviys korostuu. Settiseinät puolestaan tehdään useimmiten pohjavedenpinnan yläpuolelle, joten niissä ei ole ankkurin läpivientien vedenhallinnassa ilmennyt ongelmia. (Salojärvi 2024.)

Ankkurireiän tiivistäminen on hyvä suunnitella kunnolla suunnittelijan ja työn toteuttajan kanssa, sillä ankkurireiän tiivistäminen on työlästä ja kallista, jos sitä ei ole suunniteltu etukäteen. Ankkurireiän vuodon tiivistys pitää toteutua heti, kun ankkuri on porattu, sillä tiivistäminen jälkikäteen on vaikeaa. (Perkiö 2024.)

Kun ankkurin läpivientireiästä vuotaa vain vähän vettä, poraus ja ankkurin juottaminen suoritetaan useimmiten normaalisti. Ankkurin jännittämisen jälkeen tukiseinän ja ankkurin suoja-putken välinen reikä tukitaan paisuvalla tiivistysmassalla, kuten uretaanilla tai TACSS:illa (nykyinen HA CUT AF).

Jos läpiviennin reiästä vuotaa enemmän vettä, suoja-putken ja tukiseinän väliin sijoitetaan suoja-putken muotoinen teräslevy. Teräslevyn alapäähän tehdään reikä, josta vesi pääsee virtaamaan ulos. Teräslevy hitsataan kiinni tukiseinään ja suoja-putkeen, jonka jälkeen teräslevyn alapään reikä tukitaan mekaanisella tulpalla tai paisuvalla tiivistysmassalla.

Tilanteessa, jossa vuotaviin läpivientireikiin on valmistauduttu, voidaan ennen läpiviennin reiän tekoa hitsata tukiseinään levy. Levyyn on jo valmiiksi hitsattu oikeaan ankkurikulmaan putki/holkki, joka on hieman suurempi kuin porattava ankkurin suoja-putki. Läpiviennin ja porauksen jälkeen ankkuri-putken ja holkin väli tiivistetään esimerkiksi uretaanilla tai bentoniittinauhalla. Toinen vaihtoehto valmistautumiseen on hitsata hanaliitin teräslevyn alareunaan. Teräslevyyn tehdään läpivientireikä ja levy hitsataan kiinni tukiseinään, porauksen

jälkeen suoja-putken ja levyn väli tiivistetään. Hanaliittimen kautta vettä voi ohjata hallitusti. (Salojärvi 2024.)

Pohjaveden pinnan alla työskentely on aina haasteellista. Kun yhden vuotokohdan saa kuivaksi, alkaa seuraava kohta vuotaa ja välillä ankkureiden läpiviennin rei'istä voi purkautua vettä suuriakin määriä.

Vuotavia ankkureiden läpivientejä tukiseinissä on tukittu kemiallisella injektoinnilla. Vuoto-reiän injektointiin on käytetty HA CUT AF-injektointiainetta. Vesivuodon määrällä voidaan arvioida injektointimassan ja katalysaattorin määrä. Injektoinnissa on tärkeää pitää kemikaalit n. + 20°C lämpöisenä, sillä esimerkiksi pakkasella injektointiaine ei tule pitämään vuotoa ja itse injektointiaine myös vuotaa seinästä tulevan veden mukana. Jos vuoto tapahtuu itsessään ankkurin maaputkesta, niin putkeen asennetaan mansetti. Mansetin läpi tukiseinän tausta injektoidaan sementtilaastilla ja myöhemmin reikä porataan auki. (Mehtomaa 2024.)

## 5 Kohdetyömaat

### 5.1 Teräsponttiseinäkaivanto

Helsingin Hakaniemessä sijaitseva teräsponttiseinäkaivanto toteutettiin allianssimallilla vuonna 2022 (Kuva 10). Teräsponttiseinä toimi jätevedenpumppaamon kaivantona. Vesitii- viiksi suunniteltu ponttiseinä tuettiin sisäpuolisesti kolmella tukitasolla.



Kuva 10. Teräsponteilla toteutettu kaivanto

Kaivannon ulkomitat olivat noin 15x15 m. Teräsponttien pituudet olivat n. 7...11 m. Ponttien alapää ulottui kallioon. Kaivannon kaivutöitä häirtäsi vanhan sillan teräsbetonipaalut.

#### **Kallio- ja maaperäolosuhteet**

Maanpinta kaivannon kohdalla oli tasolla +2.2...+2.7. Kaivannon kohdalla oli noin 3–6 m kerros täytemaata. Täytemaan alapuolella oli noin 2–4 m savikerros, jonka vesipitoisuus oli 50...90 %. Saven alapuolella oli n. 1–5 m pohjamuodostuma, joka sisälsi silttiä, hiekkaa ja moreenia. Pohjamuodostuman alapuolella oli kallio. Kallionpinta sijaitsi tasolla n. -10...-5 noustien pohjoista kohti. Porakonekairauksissa ei ollut havaittu kallion rikkonaisuutta. Pohjaveden pinta on pysynyt tasolla -0.63...+0.90. (Kruunusillat 2022.)

## Rakentamisjärjestys

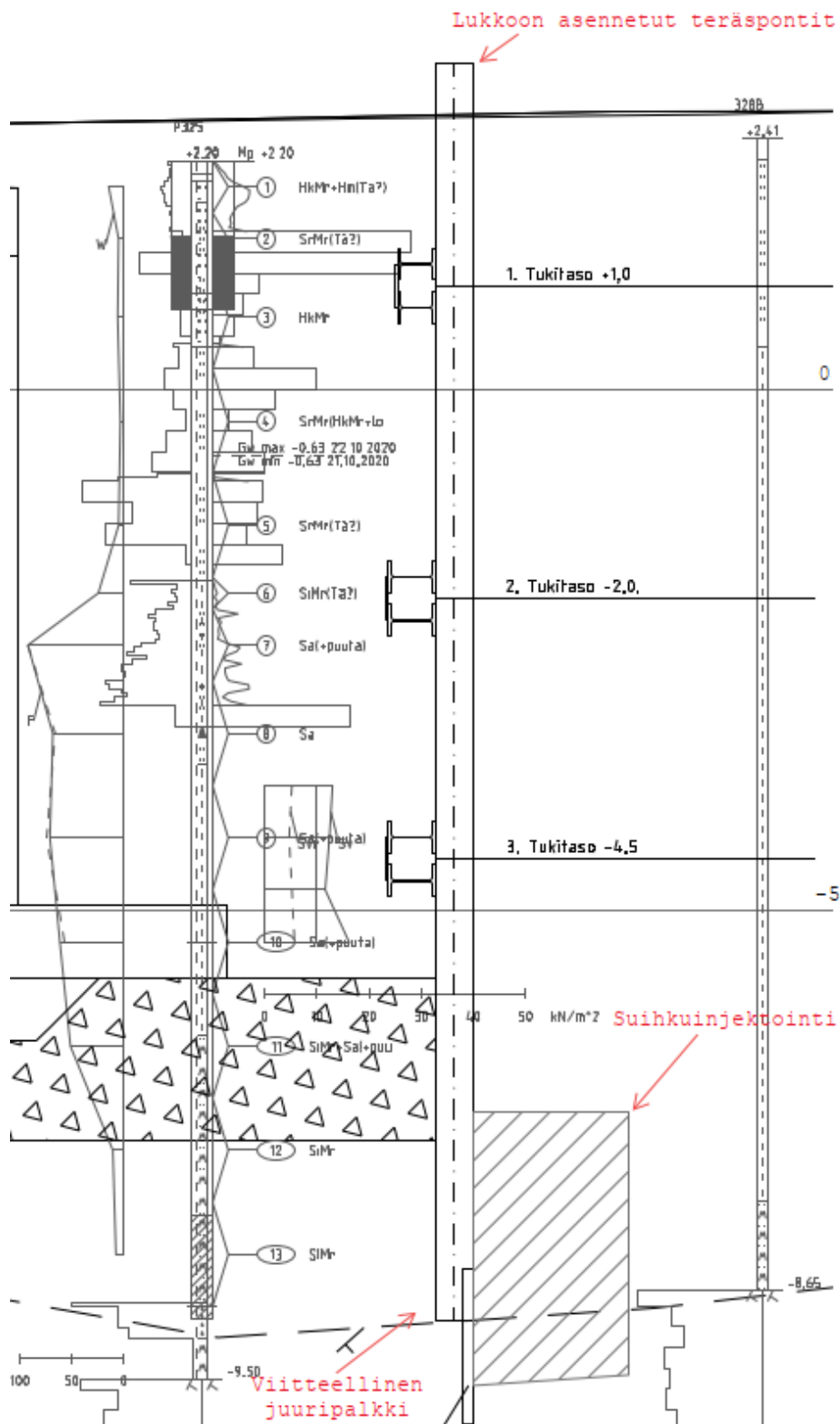
Teräsponttiseinän ohjeellinen työjärjestys oli seuraava:

- nykyisten putkien, johtojen ja kaapeleiden selvitys ja tarvittavat siirrot
- ponttien asennus lukkoon ja alapäästään kallioon
- kalliotappien asennus
- suihkuinjektointi
- kaivu 1. tukitasolle. Vaakajuoksujen ja kulmatukien asennus
- kaivu 2. tukitasolle. Vaakajuoksujen ja kulmatukien asennus
- kaivu 3. tukitasolle. Vaakajuoksujen ja kulmatukien asennus
- juuripalkin asennus.

Teräsponttiseinän suunnitelmissa kaivannon työnaikainen kuivanapito tehdään kaivannosta pumppaamalla. Ympäröivien rakenteiden siirtymiä ja tärinöitä on mitattava työn aikana. Ponttilinjalle tehdään urakaivu tai aukiporaus vaikeasti läpäistävien täyttöjen kohdalla, siten että pontit saadaan asennettua alapäästään kallionpintaan. Suunnitelmissa oli myös mainittu, että kaivannon taustan puolelle ponttiseinän alaosaan tehdään suihkuinjektointiverho vedentulon vähentämiseksi. Suihkuinjektointi suoritetaan maanpinnan tasosta. (Kruunusillat 2022.)

## Rakentaminen vesitiiviiksi

Ensimmäinen ongelma vedenpitävyyden kannalta oli ponttien asentamisessa. Pontit eivät uponneet täytemaahan, joten tukiseinän kohdalle jouduttiin suorittamaan aukiporaus. Aukiporauksessa ponttilinjalle porattiin reikiä jonossa kallion pintaan asti. Aukiporauksen ansiosta teräspontit saatiin uppoutumaan kallion pintaan asti. Kalliotappien asennuksen jälkeen ponttien alapää tiivistettiin suihkuinjektoinnilla. Kuvassa 11 on esitetty vedenpitävyyden menetelmiä suunnitelmassa.



Kuva 11. Vedenpitävyyden menetelmiä (mukailtu Kruunusillat 2022)

Suihkuinjektointi ulottui 0,5 m kalliin ja suihkupilarit injektointiin vähintään 2 m pontin alapäästä ylöspäin. Suihkupilareita tehtiin 88 kpl ja ne olivat 1200 mm halkaisijaltaan 0,9 metrin jaolla. Kaivun edetessä huomattiin pontteja, jotka eivät asettuneet pontin asennuksessa

lukkoon. Ponttien välit tiivistettiin hitsaamalla 5 mm paksuisia teräslevyjä, että vesi ja maaines ei pääse valumaan kaivantoon. Suihkuinjektointi oli onnistunut, sillä ponttien alapään ja kallion liitoksesta ei purkaantunut juurikaan vettä. Veden virtaus kaivantoon saatiin kokonaan katkaistua betonisella juuripalkilla. Juuripalkki tehtiin kaivannon pohjoissivulle, johon suoritettiin myös louhintaa.

## 5.2 Porapaaluseinäkaivanto

Porapaaluseinä toteutettiin vuonna kokonaisvastuu-urakkana 2023 ja se sijaitsee Espoon Keilaniemessä. Kaivannon ulkomitat olivat noin 8x20 m. Porapaaluseinillä toteutettu kaivanto tuettiin sisäpuolisesti kahdella tukitasolla (Kuva 12).



Kuva 12. Porapaaluilla toteutettu kaksitukinen kaivanto

Porapaaluseinässä käytettiin 75 kpl RD400/12,5 s355 paaluja, joiden pituudet olivat 10...13 m. Paalut porattiin 1 m kalliioon. Paalut varustettiin alapäästä injektointiventtiileillä ja yläpäästä injektointiyhteellä. Kaivannon pohjoispuolella sijaitsi valmis porapaaluseinä, johon tehtävä porapaaluseinä liitettiin. Porapaaluseinän alueella maaperässä oli esteitä, jotka haittasivat porapaalujen asentamista ja kaivutöitä. Kaivannon sisällä oli vanhoja kaivinpaaluja, teräsbetonipaaluja sekä puupaaluja.

### **Kallio- ja maaperäolosuhteet**

Maanpinta ennen kaivannon rakentamista oli tasolla noin +2. Maapeitteen paksuus rakennuskaivannon alueella oli noin 6 m. Kalliopinta oli tasolla noin -4. Maaperä muodostui pinnasta kitkamailta tehdystä vesistötäytöstä, alempana oli hienorakeisempia maakerroksia, savea ja silttiä. Koska kaivanto sijaitsi hyvin lähellä merenrantaa, arvioitiin pohjaveden pinnan olevan vähintään samassa tasossa meriveden pinnan kanssa.

### **Rakennusjärjestys**

Porapaaluseinän rakennusjärjestys oli seuraava:

- ympäristön seurantamittauspisteiden ja laitteiden asentaminen
- porapaalujen poraus
- pumppauskaivon poraus
- lukon kautta injektointi
- epäjatkuvuuskohtien tiivistäminen suihkuinjektoimalla (nurkat, liitokset vanhaan seinään)
- verhoinjektoinnin varausputkien asentaminen ja paalujen valut
- verhoinjektointi paalujen läpi
- kaivu 1. tukitasolle ja 1. tukitason vaakajuoksujen ja kulmatukien asentaminen
- kaivu 2. tukitasolle ja 2. tukitason vaakajuoksujen ja kulmatukien asentaminen
- kaivu kallion pintaan saakka
- juuripalkin ankkurointien asentaminen
- juuripalkin valu.

### **Rakentaminen vesitiiviiksi**

Koska porapaaluseinä oli suunniteltu vesitiiviiksi ja vedenpainetta oli paljon seinän taustalla, vaati porapaaluseinä usempaa vedentiivistys menetelmää. Kuvassa 11 on esitelty porapaaluseinän rakentamisessa käytettyjä vedenpitävyyden menetelmiä.





Kuva 14. Suihkuinjektointipilari porapaaluseinän epäjatkuvuuskohdassa

Pohjoispuolen vanhan porapaaluseinän alapää ja kallion kontakti tiivistettiin suihkuinjektioilla seinän taustapuolelta lukkojen kohdalta, sillä vanhan porapaaluseinän alapäästä ja kallion liitosta ei ollut injektoitu lukkokanavan kautta. Suihkuinjektointipilarit olivat 1000 mm halkaisijaltaan, kalliin porattiin 0,5 m ja pilarin korkeudeksi tuli 1,5 m. Suihkuinjektointin jälkeen paalut valettiin contractor-menetelmällä ja paaluihin sijoitettiin varausputket verhoinjektointia varten. Vanhassa porapaaluseinässä oli asennettuna valmiiksi verhoinjektointiputkivaraukset. Kalliota alettiin verhoinjektioimaan varausputkien läpi esi-injektointina, joka suoritettiin kolmessa vaiheessa. Hyväksytyjen kallion vesimenekkikokeiden jälkeen kaivannon kaivutyöt aloitettiin.

Kaivun edetessä, porapaaluseinän epäjatkuvuuskohtiin (kulmiin) hitsattiin teräslevyt ja niiden taustat betonoitiin. Ensimmäisen ja toisen tukitason välillä havaittiin kaivannon luoteiskulman epäjatkuvuuskohtaan tehdystä suihkuinjektointipilarista purkautuvan vettä. Veden

vuoto ei ollut suuri, mutta vettä tuli kohtuullisella paineella sillä vedenpainetta purkaukskohdalla arvioitiin olevan noin 30 kPa. Vedenvuoto kuitenkin lakkasi todennäköisesti hienoraakeisen maan täyttäessä vuotokohdan. Kulmaan hitsattiin teräslevy ja tausta betonoitiin, eikä vuotoa enää havaittu kulmassa. Teräslevyn hitsaustyö oli kulmassa hankalaa, sillä vaakapalkiston takia kulmissa työskentely oli ahdasta. Vedenvuoto arvioitiin johtuvan alueen täyttömaasta, jossa suihkuinjektointisuuttimen edessä on ollut lohkare tai kivi. Tällöin syntyy ns. varjoalue, jossa kiven/lohkareen taustalle suihkuinjektointipilari ei muodostu. Jos suihkuinjektointinissa kulmiin olisi tehty toinen suihkuinjektointipilari yhden sijasta, kaivanto olisi todennäköisesti pysynyt epäjatkuvuuskohdista vesitiiviinä.

Kaivutöiden edettyä kallion pintaan, paaluseinän alapään tiiviys tarkastettiin visuaalisesti. Vedenvuotoa havaittiin pohjoispuolen vanhan paaluseinän ja kallion liitoksesta neljän paalun kohdalta, jossa suihkuinjektointi ei ollut tiivistänyt kallion ja paaluseinän alapään liitosta (Kuva 14).



Kuva 15. Porapaaluseinän ja kallion liitoksen injektoimaton vuotokohta

Paalujen alapääät injektointiin kaivannon puolelta vesi/sementti seoksella. Kalliopinnan huuhtelun jälkeen aloitettiin juuripalkin asentaminen. Paalun seinämään tehtiin aluksi reikä polttoleikkaamalla ja paalun läpi tehtiin 120 mm reikä timanttiorauksella. Tartuntateräksien asentamisen jälkeen, kallion rajapintaan asennettiin bentoniittinauha ja jälki-injektointiletku. Juuripalkin valun jälkeen juuripalkin ja kallion väli injektointiin.

### 5.3 Teräsponttiseinän ja porapaaluseinän vertailu

Kohdetyömaiden tukiseinätyypit ovat hyvin verrattavissa, sillä kaivantojen pintamaat olivat kitkamaalla suoritettua täyttöä. Molemmat kaivannot on suunniteltu vesitiiviiksi ja tukiseinä ulottuu kallioon asti.

#### **Tukiseinän asentaminen ja tuenta**

Paaluseinän asentamiseen työmaalla oli paljon tilaa, eikä paalujen porausjärjestykselle aiheutunut rajoitteita. Lohkareisen ja kivisen maaperän läpi porapaalujen asentaminen kävi nopeasti, eikä maaperän mahdollisiin vanhoihin paaluihin osuttu. Teräsponttiseinän asennuksessa pontit lähtivät osittain kallistumaan, eikä ne tunkeutuneet tavoitetasoon. Ponttilinjalle jouduttiin suorittamaan aukiporaus, jotta pontit saatiin tunkeutumaan kallion pintaan asti. Molempien tukiseinien tuenta suoritettiin sisäpuolisena tuentana. Porapaaluseinän tuennassa etuna oli suora seinälinja. Teräsponttiseinällä tuentatyö oli vaikeampaa, sillä tukiseinälinja ei ollut suora. Teräsponttiseinän kulmatuet oli suunniteltu putkipaaluilla, joiden oikean pituuden mittaus ja määrämittäiseksi polttoleikkaaminen vaati paljon resursseja. Porapaaluseinän kulmatuet olivat HEB-palkkeja, joiden asentaminen onnistui huomattavasti nopeammin.

#### **Lukkoprofiilit ja epäjatkuvuuskohdat**

Teräsponttien lukkoliitoksista ei havaittu vuotoja, mutta lohkareisen täyttömaan takia teräsponttiseinään syntyi muodonmuutoksia ja kaikki pontit eivät asettuneet lukkoon. Porapaaluseinän etuna oli, että asennuksessa lukkoprofiileihin ei synny muodonmuutoksia. Tällöin lukkoprofiilit asettuvat lukkoon ja välttyään lukkoprofiilien rakojen umpeen hitsaukselta. Porapaaluseinän kulmia ei kuitenkaan saada lukkoon ilman lukkorakenteen hitsaamista toiseen kulmaan.

#### **Tukiseinän alapään liitos kallioon**

Molemmissa tukiseinissä käytettiin suihkuinjektointia tukiseinän ja kallion liitoksen vuotovesien tukkimiseksi. Suihkuinjektoinnilla oli tarkoitus saada rakenteesta vesitiivis, mutta molemmilla tukiseinillä havaittiin hyvin pientä vuotoa. Porapaaluseinää voi kuvailla

tiivimmäksi, sillä pohjavedenpaine oli suurempaa syvemmän kaivannon ja korkeammalla olevan pohjaveden pinnan takia.

### **Toteutusmuoto**

Toteutusmuotoina hankkeissa käytettiin allianssia ja kokonaisvastuu-urakkaa. Molemmat toteutusmuodot koettiin hyväksi, sillä rakentajalla oli hyvät vaikutusmahdollisuudet kaivannon suunnittelussa. Lisäksi työnaikaiset suunnitelmien muutokset urakoitsijan aloitteesta onnistui nopeasti.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda toimeksiantajaorganisaatiolle tietopaketti, jonka tarkoituksena on käsitellä tuetun kaivannon toteuttamista vedentiiviuden kannalta. Työssä paneuduttiin syvällisesti teräsponsittiseinän ja porapaaluseinän vedenpitävyyden työvaiheisiin. Kohdetyömaissa esiteltiin kaivantojen tiivistysmenetelmät ja niiden ongelmat. Työssä myös vertailtiin kahden eri tukiseinätyypin rakentamista.

Kun tuetun kaivannon alueella ei saa alentaa pohjavettä, niin kaivanto toteutetaan vesitiiviinä. Kaivannon veden tiivysasteen määrittely ei ole niin yksinkertainen, sillä se riippuu monista tekijöistä, kuten valitusta tukiseinätyypistä, lukoissa käytetystä tiivistysaineesta ja -menetelmästä, asennustyöstä, maaperän ominaisuuksista sekä vedenpaine-erosta seinän eri puolilla. Onnistunut suunnitteluprosessi on tärkeää ennen kaivannon toteutusta, koska sillä rajoitetaan/estetään pohjaveden virtausta kaivantoon. Suunnittelu onnistuu paremmin, kun myös kaivantotyön suorittaja (urakoitsija) voi olla suunnitteluvaiheessa mukana.

Haastattelututkimus toi hyvin lisäarvoa opinnäytetyölle, sillä tukiseinän pohjavedenpinnan alapuolisesta ankkuroinnista on erittäin vähän kirjallista tietoa. Haastattelusta myös havaittiin, että ankkuroinnin läpivientien vuotaessa, niiden sopivat tukkimismenetelmät arvioidaan työnaikaisesti työmaalla. Mahdollisesti vuotavat ankkuroinnin läpiviennit olisi myös hyvä arvioida etukäteen ennen ankkurointia, sillä tiivistäminen on helpompaa ja nopeampaa, jos siihen on varauduttu. Kohdetyömaiden vertailun tuloksesta korostui porapaaluseinän etu teräsponsittiseinään verrattuna kivisellä ja lohkareisella maaperällä. Porapaaluseinän lukkoprofiilit pysyvät paremmin kuivina, kuten myös tukiseinän alapään ja kallion liitos on vesitiiviimpi. KVR-urakka ja allianssi todettiin hyvinä toteutusmalleina, sillä urakoitsija pääsee molemmissa vaikuttamaan suunnitteluun. Vertailussa ei käyty tukiseinien rakennuskustannuksia, jotka hyvin usein määrittelevät tukiseinätyypin valinnan.

Jatkokehittämistutkimukseksi ehdotan porapaaluseinän RF-lukkoprofiilin injektointikanavan reiättämisellä tehtyä koko paalun mittaisen injektoinnin tutkimista. Injektointimenetelmästä oli mainittu SSAB:n suunnittelu ja asennusohjeessa vain koeinjektoinnista. Injektointimenetelmästä voisi tutkia tarkemmin massan kulkeutumista ja lukkojen vedenpitävyyttä. Lisäksi ohjeessa on mainittu, että lukkoprofiilin reikien tukkiminen pitää tehdä jollakin sopivalla menetelmällä, ettei paalujen porauksessa injektointikanava täyty maa-aineksella estäen injektoinnin. Sopivat menetelmät reikien tukkimiseen porauksen ajaksi olisi myös hyvä tutkia.

## Lähteet

ArcelorMittal. 2018. Impervious steel sheet pile walls Design & Practical approach. Viitattu: 2.1.2024. Saatavissa [https://sheetpiling.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2018/03/AMCRPS\\_ImperviousSSPWAll\\_GB\\_web.pdf](https://sheetpiling.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2018/03/AMCRPS_ImperviousSSPWAll_GB_web.pdf)

ArcelorMittal. 2022. Piling Handbook. Viitattu 2.1.2024. Saatavissa [https://sheetpiling.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2022/05/AMCRPS\\_Piling\\_Handbook\\_9th\\_Revision\\_2022\\_web.pdf](https://sheetpiling.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2022/05/AMCRPS_Piling_Handbook_9th_Revision_2022_web.pdf)

Kruunusillat. 2022. Työselostus Näkinsillan pumppaamo. Viitattu 22.2.2024. Saatavissa rajoitetusti <https://kruunusillat-raiotie.cloudvault.m-files.com/Default.aspx?#C09C8AE5-A0F4-464C-BB0A-6969E533DA8D/object/20A334AB-D550-4AB9-8673-5A0B36B85A6F/latest>

Kruunusillat. 2023. Näkinsillan pumppaamo kaivantosuunnitelma Viitattu 2.5.2024. Saatavissa rajoitetusti <https://kruunusillat-raiotie.cloudvault.m-files.com/Default.aspx?#C09C8AE5-A0F4-464C-BB0A-6969E533DA8D/object/51F1B5BE-B451-42AD-9929-4FC1FA7610E1/latest>

Mehtomaa, J. 2024. Rakennustyöntekijä. YIT Infra Oy. Haastattelu 12.4.2024.

Perkiö, K. 2024. VS: Vedenpitävyyden menetelmät tukiseinän ankkuroinnissa opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Sydänmaanlakka, O. Lähetetty 12.4.2024.

RIL 263-2014. 2014. Kaivanto-ohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Robit Group. 2023. Robit Geotechnical Catalogue 5-2023. Viitattu 22.3.2024. Saatavissa <https://www.robitgroup.com/wp-content/uploads/2023/05/Robit-Geotechnical-Catalogue-05-2023.pdf>

Salojärvi, S. 2024. VS: Vedenpitävyyden menetelmät tukiseinän ankkuroinnissa opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Sydänmaanlakka, O. Lähetetty 12.4.2024.

SSAB Europe. 2022. SSAB RD® Paaluseina - Suunnittelu ja asennusohje. Viitattu 21.9.2023. Saatavissa [https://www.ssab.com/-/media/files/fi/infra/ssab\\_rd-paaluseina---suunnittelu-ja-asennusohje\\_fi.pdf?m=20220830085701](https://www.ssab.com/-/media/files/fi/infra/ssab_rd-paaluseina---suunnittelu-ja-asennusohje_fi.pdf?m=20220830085701)

Sitowise. 2023. Kuilu K4, Kaivantosuunnitelma. Viitattu 2.5.2024. Saatavissa rajoitetusti: <https://cloud.sokopro.fi/fi/projects/64459648/files/64471600/preview/6f7d7824-a749-47b2-a8b4-ad087e646ccc/revision/f4d34906-3b6d-4967-b0d3-11f1f98da2d2>

Suomen Vesiyhdistys Ry. 2005. Pohjavesitutkimusopas. Viitattu 20.3.2024. Saatavissa <https://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Pohjavesiopas.pdf>

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. Viitattu 22.4.2024 Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>

Väylävirasto. 2018. Suihkuinjektointiohje. Viitattu 11.3.2024. Saatavissa [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2018-16\\_suihkuinjektointiohje\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-16_suihkuinjektointiohje_web.pdf)

Väylävirasto. 2019. Kalliotunnelin Kalliotekninen Suunnitteluohje. Viitattu 3.4.2024. Saatavissa [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2019-28\\_kalliotunnelin\\_kalliotekninen\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-28_kalliotunnelin_kalliotekninen_web.pdf)

YIT Oyj. 2024. YIT Annual Report FI. Viitattu 29.2.2024. Saatavissa <https://mb.cision.com/Main/13643/3931001/2612154.pdf>