

Henri Koskelainen

## Kaivannon tukirakenteen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työjohto

Mestarityö

14.11.2014

|  |   |
|--|---|
| Tekijä<br>Otsikko<br>Sivumäärä<br>Aika   | Henri Koskelainen<br>Kaivannon tukirakenteen kehittäminen<br>31 sivua<br>14.11.2014           |
| Tutkinto   | rakennusmestari (AMK)   |
| Koulutusohjelma  | Rakennusalan työnjohto  |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Infrarakentaminen   |
| Ohjaajat   | Riikka Jääskeläinen, lehtori, Metropolia<br>Olli-Pekka Vatanen, tuotantopäällikkö, Stara      |
| <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli kunnallisteknisissä töissä käytettävät kaivannon tukirakenteet ja uuden tuentatavan kehittäminen vaikeisiin pohjaolosuhteisiin. Kehitystyö käsitti teräsponttiseinien kaivutason alapuolelle painettavaa poikittaistukea, joka tehtiin tukevan I-palkin avulla.</p> <p>Maanrakennustöissä kaivannon tuentatavan suunnittelu on yksi keskeisimpiä asioita työturvallisuuden näkökulmasta. Kaivanto-onnettomuudet ovat maanrakennusalalla valitettavan yleisiä ja usein ne ovat myös hyvin vakavia. Kaivannon sortuminen on yleensä seuraus virheellisesti toteutetusta kaivannon tukirakenteesta. Opinnäytetyössä keskityttiin kaivannon suunnitteluun ja toteutukseen eri menetelmillä, sekä erään työkohteen kaivannon tuentatavan kehittämiseen uudella menetelmällä.</p> <p>Työ tehtiin Helsingin kaupungin rakentamispalvelun eli Staran kaupunkitekniikan rakentamisen osastolle. Opinnäytetyön tekijä on toiminut yrityksessä työnjohdon harjoittelijana talvesta 2014 lähtien. Aiheeseen liittyvä teoriaosuus kaivannoista ja niiden tukemisesta on kerätty rakennusalan kirjallisuudesta. Opinnäytetyön tutkimus on tehty yrityksen vesihuollon saneerauskohteesta, joka toimi uuden tuentatavan pilottikohteena. Lisäksi aineistoa kerättiin tutkimalla valmistuneiden työkohteiden asiakirjoja sekä haastatteleamalla yrityksen sekä urakoitsijoiden työntekijöitä.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, millä eri menetelmillä luotettava kaivanto voidaan yrityksen erilaisissa kohteissa toteuttaa. Lisäksi tuloksena saatiin yksityiskohtainen selvitys uuden tukirakenteen kehittämisestä ja toteutuksesta vaikeisiin pohjaolosuhteisiin. Uudesta tukirakenteesta saatiin hyviä kokemuksia ja sitä tullaan jatkossa kehittämään ja käyttämään vastaavissa kohteissa.</p> |   |
| Avainsanat   | tuettu kaivanto, luiskattu kaivanto, massastabilointi, tuentaelementti, ponttiseinä, I-palkki |

|   |   |
|---|---|
| Author<br>Title   | Henri Koskelainen<br>Development of Supporting Structure for Excavation                                     |
| Number of Pages<br>Date   | 31 pages<br>14 November 2014  |
| Degree  | Bachelor of Construction Site Management  |
| Degree programme  | Construction Site Management  |
| Specialization option   | Infrastructures   |
| Instructors   | Riikka Jääskeläinen, Senior Lecturer, Metropolia<br>Olli-Pekka Vatanen, Production Manager, Stara           |
| <p>This thesis studies the most common ways to build a safe excavation in municipal engineering work and development of a new supporting structure for excavation in hard conditions. The development work consists of piling wall reinforcing by I-beam.</p> <p>Reinforcing and supporting the excavation is vital in designing the site since it directly affects the safety of the construction workers. Excavation accidents are far too common in construction or civil engineering and the consequences are often severe. The most common way for excavation to collapse is disregard for making an excavation without required protection.</p> <p>The thesis was done for the municipal infrastructure construction department of City of Helsinki. The author of this thesis has been working in the construction department as a trainee supervisor since the beginning of 2014. Source material related to excavations and their reinforcement techniques has been collected from literature and interviews. Research for this thesis was done on renovation of a water pipe line which can be considered a pilot for the new reinforcing technique.</p> <p>The subject of this thesis was to determine, what methods can be used for reliable excavation. The result was a detailed analysis for developing and implementing a new support structure for difficult ground conditions. The new reinforcement method was proven to work very well and it will be used and developed for new sites in the future.</p> |   |
| Keywords  | supported excavation, weathered excavation, mass stabilization, trench shoring systems, piling wall, I-beam |

## Sisällys

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto  | 1  |
| 1.1   | Työn tausta ja tavoitteet                               | 1  |
| 1.2   | Työn rajausta ja tutkimusmenetelmät                     | 1  |
| 1.3   | Yritysesittely  | 2  |
| 2     | Kaivannon rakentaminen                                  | 3  |
| 2.1   | Yleistä   | 3  |
| 2.2   | Ympäristö   | 3  |
| 2.3   | Turvallisuus ja lainsäädäntö                            | 4  |
| 2.4   | Kaivantotyyppien valinta                                | 6  |
| 3     | Kaivantotyyppit   | 8  |
| 3.1   | Luiskattu kaivanto                                      | 8  |
| 3.2   | Tuettu kaivanto   | 10 |
| 3.2.1 | Tuentaelementti   | 10 |
| 3.2.2 | Teräsponttiseinä  | 11 |
| 3.2.3 | Settiseinä  | 12 |
| 3.2.4 | Porapaaluseinä  | 13 |
| 4     | Yrityksessä yleisimmin käytetyt kaivannon toteutustavat | 15 |
| 4.1   | Luiskattu kaivanto                                      | 15 |
| 4.2   | Tuentaelementti   | 16 |
| 4.3   | Teräsponttiseinä  | 17 |
| 5     | Teräsponttiseinän alatuen kehittäminen                  | 19 |
| 5.1   | Taustaa   | 19 |
| 5.2   | Suunnittelu   | 21 |
| 5.3   | Mitoitus  | 22 |
| 5.4   | Valmistelu  | 23 |
| 5.5   | I-palkin asennus  | 25 |
| 5.6   | Tulokset ja havainnot                                   | 27 |
| 5.7   | Kehittäminen  | 28 |
| 6     | Yhteenveto  | 29 |
|       | Lähteet   | 30 |

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Maanrakennustöissä tulee turvallisen kaivannon toteuttamiseen kiinnittää erityistä huomiota. Kaivannon tukeminen on hyvin ajankohtainen aihe kaivantojen sortumisista aiheutuneiden tapaturmien vuoksi. Tästä esimerkkinä keväällä 2014 sattunut onnettomuus Espoon Mankkaalla, jossa kaksi työntekijää menehtyi, kun kaivanto sortui heidän päälleen. Maanrakennusalalla kaivannon tukemiseen tullaan tulevaisuudessa kiinnittämään yhä enemmän huomiota kaivantojen sortumisten estämiseksi. [1.]

Opinnäytetyön kohdeyrityksessä kaivannot suunnitellaan ja toteutetaan ammattitaitoisesti olosuhteista riippumatta. Talvella 2014 kaivannon tukeminen oli yrityksessä uuden vaativan vesihuollon saneerauskohteen takia hyvin ajankohtainen asia, jonka seurauksena työkohteen vaatimukseen kehitettiin täysin uusi tuentatapa. Tukirakenteen kehittäminen sai alkunsa yrityksen vesihuollon saneerauskohteessa, jossa uusittiin sadevesi- ja jätevesilinjaa. Kohteessa oli vaikeat pohjaolosuhteet, jonka takia tukiseinän alapuolinen tuenta oli välttämätöntä perinteisen ylätuennan lisäksi. Tukea kehitettiin aikaisemman kokemuksen pohjalta ja lopulta päädyttiin I-palkilla tehtävään teräspontti-seinän alapuoliseen tuentaan.

Opinnäytetyö tehtiin Helsingin kaupungin rakentamispalvelu Staran Kaupunkitekniiikan rakentaminen-osaston yksikölle rakentaminen 2 (ks. kuva 1). Opinnäytetyö toimii selvityksenä uuden tuentatavan käytöstä. Työn avulla tuentatapaa voidaan kehittää tulevia kohteita varten ja työn aikana kerättyä materiaalia voidaan käyttää suunnitelmien tekemiseen tulevissa hankkeissa.

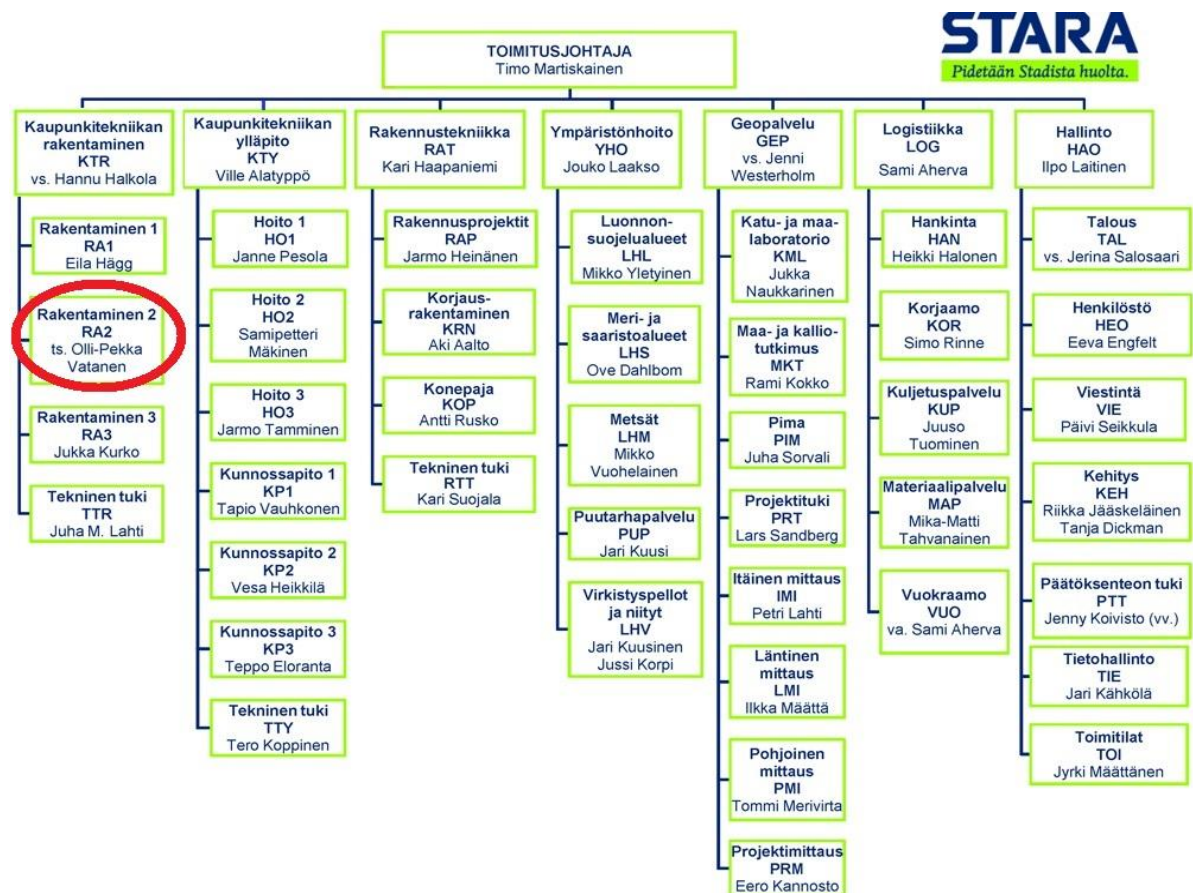
## 1.2 Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin kaivantojen tukemiseen kunnallisteknisissä töissä. Teoriaosuudessa on käsitelty kaivantoja ja niiden tukemiseen vaikuttavia tekijöitä. Myös kaivantotyyppit ja niiden ominaisuudet on käsitelty tässä osuudessa. Teoriaosuus on kerätty rakennusalan kirjallisuudesta.

Varsinaiseen tutkimukseen sisältyy kohdeyrityksessä yleisimmin käytetyt tuentatavat ja niiden käyttökokemukset. Lopuksi suurena kokonaisuutena käsitellään kaivannon tuki-rakenteen kehittäminen vaikeisiin pohjaolosuhteisiin. Tutkimuksen materiaali on kerätty hankkeiden asiakirjoista, haastatteleamalla yrityksen työntekijöitä ja urakoitsijoita. Osa työn sisällöstä on perustunut opinnäytetyön tekijän omiin kokemuksiin ja työmailta kerättyyn materiaaliin.

### 1.3 Yritysesittely

Stara on Helsingin kaupungin itsenäinen virasto, joka on rakentamisen, ympäristönhoiton ja logistiikan moniosaaja. Virasto on toiminut nimellä Stara vuodesta 2010 lähtien. Stara tuottaa ja ylläpitää Helsingin kaupungin tarvitsemia palveluja kuten rakentaa ja korjaa katuja, puistoja, rakennuksia sekä hoitaa ja ylläpitää luonnonmukaisia alueita ja katuja. Lisäksi Stara tarjoaa logistiikan ja teknisen alan palveluja. Staran palvelukseen kuuluu noin 1 600 työntekijää. Viraston liikevaihto oli noin 220 miljoonaa euroa vuonna 2013. [2.]



Kuva 1. Staran organisaatio [3]

## 2 Kaivannon rakentaminen

### 2.1 Yleistä

Kaivanto on uudisrakennus- tai korjausrakennustyön yhteydessä tehtävä kuoppa, joka sijoittuu alkuperäisen maanpinnan tason alapuolelle. Kaivanto tehdään lähes jokaisen rakennustyön yhteydessä, jossa rakenteita tai rakennuksen osia joudutaan sijoittamaan maan alle. Kaivannon tekeminen edellyttää aina huolellista suunnittelua ja toteutusta. Kaivannot ja kaivutyö koskee suurta osaa rakennusalan toimijoista, sillä maa- ja pohjarakentamista tehdään niin kadunrakennus, talonrakennus, radan rakennus ja vesihuollon työkohteissa. Kaivanto voidaan toteuttaa joko luiskattuna tai tuettuna kaivantona. [4, s. 11.]

### 2.2 Ympäristö

Kaivannon tekeminen voi olla yksinkertainen tai hyvin hankalasti toteutettava työvaihe riippuen alueella vallitsevista olosuhteista ja kaivannon erityispiirteistä. Ennen kaivutyöhön ryhtymistä alueen ympäristön olosuhteet ja kaivannon toteutus tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Lisäksi olosuhteita seurataan työn toteutuksen aikana. Kaivannon tekemiseen vaikuttaa mm:

- kaivannon syvyys
- maaperän epäedulliset ominaisuudet
- kaivannon ylettyminen pohjaveden alapuolelle
- viereisten rakennuksien ja rakenteiden sijainti
- tilanahtaus
- sää ja vuodenaika sekä
- liikenteen ja työkonien aiheuttamat vaikeudet kuten tärinät ja liikenteenohjaus. [5, s. 1.]

## 2.3 Turvallisuus ja lainsäädäntö

Rakennusalan keskeinen työturvallisuuslainsäädäntö perustuu yleiseen Työturvallisuuslakiin 738/2002 ja sen nojalla säädettyyn asetukseen 205/2009 valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Työturvallisuuslaki edellyttää kaikkia toimialoja selvittämään ja poistamaan työhön liittyvät vaaratekijät mahdollisuuksien mukaan. Valtioneuvoston asetuksessa 205/2009 rakennustyön turvallisuuden huolehtimisvelvollisuutta on jaettu hankkeen eri osapuolille. Osapuolet eli rakennuttaja, suunnittelija ja pääurakoitsija vastaavat turvallisuudesta yhdessä ja myös kukin omalta osa-alueeltaan erikseen. [4, s. 14.]

Ennen kaivutyön aloittamista rakennuttajan on huolehdittava siitä, että rakennustyö voidaan toteuttaa turvallisesti eikä siitä aiheudu vaaraa työntekijöiden terveydelle. Asetuksessa veloitetaan myös selvittämään alueen maa- tai kallioperän geotekniset ominaisuudet. Kaivannon tuentaan ja pohjarakenteisiin liittyvät suunnitelmat laatii koulutukseltaan ja työkokemukseltaan riittävän pätevyyden omaava henkilö ennen töiden aloittamista. Pääurakoitsija huolehtii, ettei työmaalla aiheudu vaaraa työntekijöille tai muille työmaan läheisyydessä oleville henkilöille. Pääurakoitsija seuraa työn toteutusta ja muuttuviin olosuhteisiin reagoidaan työmaalla nopeasti esimerkiksi sateiden tai rouhan sulamisen seurauksena. [4, s. 15–16.]

Kaivantotyöt luokitellaan lainsäädännössä vaarallisiksi töiksi. Kaivannoissa sattuu vuosittain kymmeniä tapaturmia ja vaaratilanteita. Vakavat kaivanto-onnettomuudet ovat 2000-luvulla aiheuttaneet kymmenkunta kuolemaan johtanutta onnettomuutta. Keskimäärin vuodessa kuolee yksi ihminen kaivannon sortumisen seurauksena. Viimeisimpänä vakava kaivanto-onnettomuus Espoon Mankkaalla, jossa kaksi työntekijää kuoli, kun maamassat vyöryivät noin kolmen metrin syvyydessä työskennelleiden miesten päälle. Eniten kaivanto-onnettomuuksia sattuu tukemattomissa kapeissa kaivannoissa, jotka ovat yli 2 m syviä, joihin kohdistuu tärinää ja jotka on tehty epävakaaseen maaperään. [4, s. 11.]

Kaivannot voidaan jakaa kolmeen luokkaan niiden vaativuuden perusteella. Luokat ovat

- hyvin vaativat kaivannot
- vaativat kaivannot ja
- tavanomaiset kaivannot.



Kaivannon vaativuus määritellään suunnitteluvaiheessa. Vaativuuteen vaikuttaa oleellisesti vaikeat ja vaihtelevat pohjaolosuhteet, kaivannon syvyys, pohjaveden läheisyys, läheiset rakennukset, tilan ahtaus, liikenne ja tärinät. Matalat kaivannot tehdään usein luiskattuina. Kaivanto tuetaan, kun luiskaamista ei ole mahdollista toteuttaa tai luiskauksen tekeminen ei ole järkevää toteuttaa. Tähän voi olla syynä esimerkiksi kustannussäästöt tai kaivannon ja sen ympäristön vallitsevat olosuhteet. Työn aikana kaivannon toteutustapaa voi joutua muuttamaan vaihtuvan olosuhteen seurauksena. Esimerkiksi leudon talven ja siitä seuranneen olemattoman roudan syvyyden seurauksena alun perin suunniteltu luiskattu kaivanto joudutaan tekemään tuentaelementtien avulla. [4, s. 18–20.]

Kaivannon tekemistä ei pidä kuvitella vain yksinkertaisena rutiininomaisena työvaiheena. Suunnitteluun ja toteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kaivannot eroavat toisistaan hyvin paljon vallitsevien olosuhteiden ja rakennettavan kohteen piirteiden takia. Siihen oletukseen ei voi luottaa, ettei kaivanto sortunut viime kerrallakaan. Kaivannossa työskentelyyn sisältyy useita riskejä, joita on kuvailtu alla olevassa kuvassa 2.

Kapeassa kaivantotyössä ei välttämättä tule ajatelleeksi mahdollisia vaaroja, jos niitä ei ole mietitty tarkasti ennen työn toteutusta. Esimerkkejä vaaroista ovat

- kiven tai routakamin irtoaminen kaivannon seinämästä
- kaivannon seinämän sortuminen
- pohjaveden aiheuttamat muutokset kaivannossa
- kaivannosta esiin tulevat rakenteet
- työkoneen osuminen työntekijään
- kaivantoon putoavat kivet tai materiaalit esim. betoniputki
- sivullisen henkilön putoaminen kaivantoon
- kaivumaiden läjitys kaivannon reunalle
- huono kulkutie kaivantoon. [6.]



Kuva 2. Vaara vaanii kaivannossa [6]

## 2.4 Kaivantotyyppin valinta

Kaivanto voidaan toteuttaa joko luiskatun tai tuetun kaivannon avulla. Kaivannon varmuus on oltava riittävä sortumista vastaan. Riittävä varmuus kaivannolle saavutetaan, kun kaivannon suunnittelu on tehty kaivantotyyppistä riippumatta RIL 263-2014 kaivanto-ohjeen mukaisesti. Tukematon kaivanto tehdään luotettavaksi käyttämällä luiskakaltevuuksia maaperän ominaisuuksien mukaan. Tuetussa kaivannossa seinämät tuetaan erillisillä rakenteilla. Ne ovat yleensä väliaikaisia ja uudelleenkäytettäviä tukirakenteita. Joissain tapauksissa kaivannon tukirakenteena voidaan käyttää myös pysyvää rakennetta. Eri tuentatapoja on käsitelty luvussa 3. Kaivannon toteuttamiseen on useita eri tapoja, mutta olosuhteiden vaativuuden kasvaessa kaivannon toteutustavalta vaadittavien ominaisuuksien merkitys kasvaa, jolloin eri toteutustapojen määrä vähenee.

[7, s. 44–45.]

Kaivantotyyppin valintaan vaikuttaa monta eri asiaa. Keskeisiä valintaperusteita luiskatun ja tuetun kaivantotyyppin valintaan ovat yleensä

- kaivannon varmuus sortumista vastaan
- käytettävissä oleva tila
- kaivannon ympäristö
- kaivannon vesitiiveys
- rakennuskustannukset
- työmaan toimintaympäristö.

Valtioneuvoston asetuksen 205/2009 pykälässä 34 sanotaan seuraavaa [8, § 34]:

Jos sortuma saattaa aiheuttaa tapaturman, kaivannon seinämä on tuettava.

Työturvallisuus voidaan kuitenkin luotettavan selvityksen perusteella toteuttaa luiskamalla tai porrastamalla kaivanto. Luiskattu kaivanto on taloudellisesti järkevä ratkaisu pienissä kaivannoissa, joissa on hyvin tilaa. Syvissä kaivannoissa luiskien tekemisestä aiheutuvat ylimääräiset maamassojen kuljetukset nostavat kaivannon tekemisen kustannuksia, jolloin kaivanto on järkevämpää toteuttaa tuettuna. Myös kaivannon ympäristö vaikuttaa ratkaisevasti valintaan. Esimerkiksi jos kaivanto tehdään katualueella ja liikenteelle tulisi aiheutua mahdollisimman vähän haittaa, on tuettu kaivanto yleensä ainoa vaihtoehto. [5, s. 1–2.]

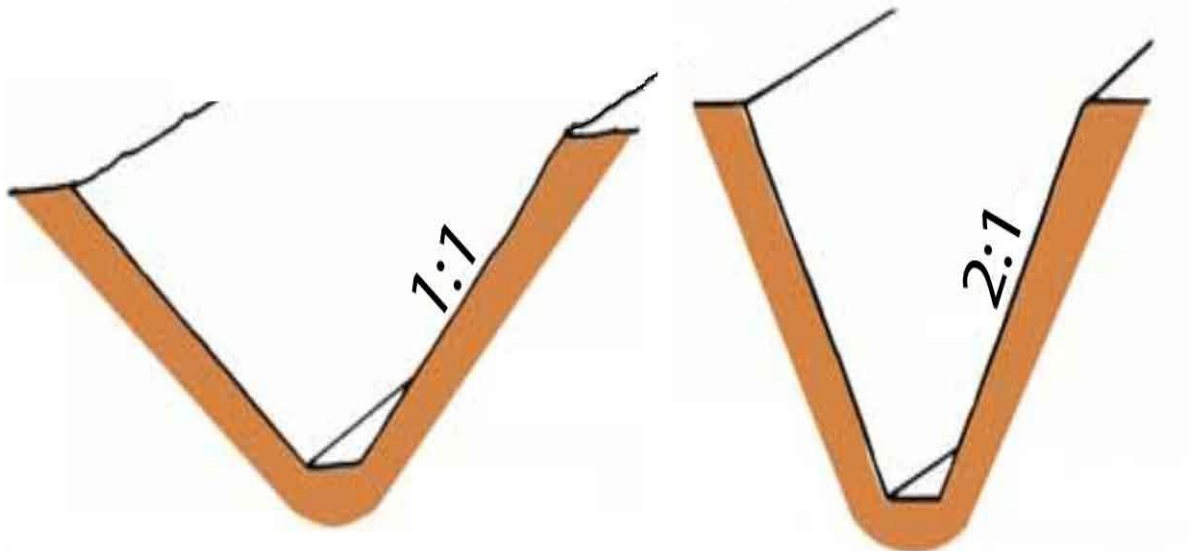
### 3 Kaivantotyypit

#### 3.1 Luiskattu kaivanto

Luiskatun kaivannon mitoitus on esitetty RIL 263-2014 kaivanto-ohjeessa. Luiskatun kaivannon suunnittelussa tärkeintä on selvittää tarvittavien luiskien riittävä stabiileetti eli vakavuus, joka lasketaan luotettavien laskelmien mukaan. Kaivannon luiskakaltevuus määräytyy vakavuuslaskelmien perusteella. Putkikaivannon luiska ei saa olla jyrkempi kuin 2:1. Luiskakaltevuuksia on havainnollistettu kuvassa 3. Vakavuudella varmistetaan riittävä varmuus kaivannon luiskien sortumista vastaan sekä pohjamaassa tapahtuvaa laaja-alaista sortumaa vastaan. Luiskatun kaivannon suunnittelussa otetaan huomioon kaikki tekijät, joilla on vaikutusta kaivannon vakavuuteen. Näitä ovat esimerkiksi vallitseva maaperä, pohjaveden ominaisuudet, maan häiriintyvyys sekä kaivantoon vaikuttavat ulkoiset kuormitukset. Luiskatun kaivannon vakavuutta voidaan parantaa esimerkiksi

- kaivannon luiskaa loiventamalla
- stabiloimalla maata
- alentamalla pohjavettä
- erilaisilla lujiterakenteilla, esimerkiksi maan naulauksella.

[7, s. 133, 138, 142.]



Kuva 3. Luiskakaltevuudet havainnollistettuna [9, s. 6]

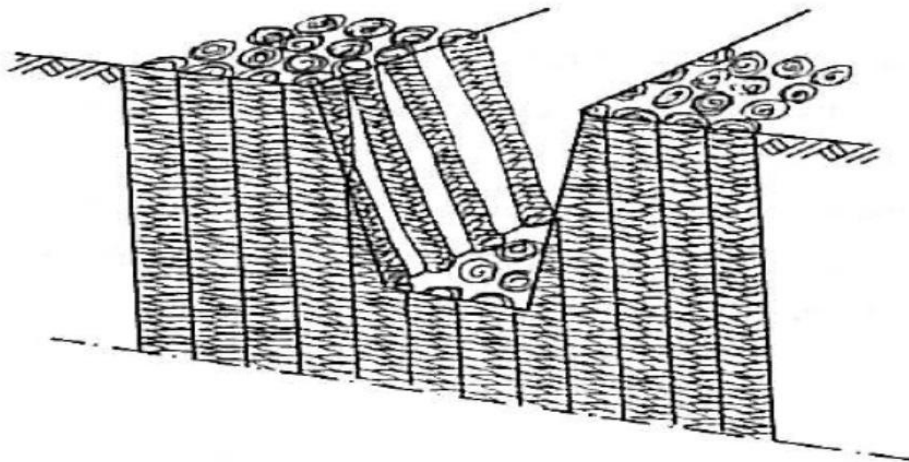
Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty ohjeellisia luiskakaltevuksia koskien putki-kaivantoja. Ohjeellisia luiskakaltevuksia voidaan käyttää, jos maaparametrit perustuvat pohjatutkimuksiin, kaivanto ei ulotu pohjavedenpinnan alapuolelle, kaivannon vaikutusalueella ei ole siirtymälle herkkiä rakenteita ja kaivannon reunalla ei ole yli 200kN:n työkonetta. [7, s. 142.]

**Taulukko 1. Ohjeellisia luiskakaltevuksia [7, s. 142]**

| Syvyys      | Maalaji.                         | Maan lujuus               | Luiskakaltevuus | Kaivumaiden sijoitus                        |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| ≤ 2,0 m     | Pehmeä savi                      | $c_{uk} = 10 \text{ kPa}$ | 1:3             | ≤ 1,0 m kerros, etäisyys <sup>a</sup> ≥ 8 m |
| ≤ 2,0 m     | Sitkeä savi                      | $c_{uk} = 20 \text{ kPa}$ | 2:1             | ≤ 2,0 m kerros, etäisyys <sup>a</sup> ≥ 5 m |
| ≤ 2,0 m     | Löyhä hiekka, keskitiivis siltti | $\varphi = 30^\circ$      | 1:2             | Etäisyys <sup>a</sup> ≥ 4 m                 |
| ≤ 2,0 m     | Keskitiivis hiekka, löyhä sora   | $\varphi = 34^\circ$      | 1:1,5           | Etäisyys <sup>a</sup> ≥ 4 m                 |
| ≤ 2,0 m     | Tiivis sora, keskitiivis moreeni | $\varphi = 38^\circ$      | 1:1,25          | Etäisyys <sup>a</sup> ≥ 4 m                 |
| 2,0...3,0 m | Keskitiivis hiekka, löyhä sora   | $\varphi = 34^\circ$      | 1:1,75          | Etäisyys <sup>a</sup> ≥ 4 m                 |
| 2,0...3,0 m | Tiivis sora, keskitiivis moreeni | $\varphi = 38^\circ$      | 1:1,5           | Etäisyys <sup>a</sup> ≥ 4 m                 |

<sup>a</sup> Tarkoittaa kaivumaiden etäisyyttä kaivannon luiskan yläreunasta

Pilari- tai massastabilointia voidaan käyttää maapohjan lujittamiseen. Sideaineena käytetään yleensä sementin ja kalkin seosta. Sideaineen kovettumisen jälkeen kaivu voidaan tehdä huomattavasti jyrkempien luiskien avulla verrattuna ilman stabilointia. Tätä menetelmää voidaan käyttää myös tukemalla toteutettavan kaivannon apuna.



Kuva 4. Pilaristabiloitu kaivanto [5, s. 4]

## 3.2 Tuettu kaivanto

Tuetun kaivannon mitoitus on esitetty RIL 263-2014 kaivanto-ohjeessa. Kaivannon tukirakenne ja maapohja mitoitetaan kestäväksi niille tulevat kuormitukset riittävällä varmuudella kaikissa eri työvaiheissa. Lisäksi ympäristössä syntyvät siirtymät ja painumat tulee pysyä sallituissa rajoissa. Tuetun kaivannon toteuttamiseen on useita eri toteutustapoja. Tässä opinnäytetyössä on esitelty Suomessa yleisimmin käytetyt tukiseinätyypit.

### 3.2.1 Tuentaelementti

Tuentaelementti sopii käytettäväksi kapeisiin kaivantoihin. Tuentaelementit ovat valmiita metallisia tai puisia seinäelementtejä, joilla voidaan tukea enimmillään 4,5 metriä leveää ja 5 metriä syvä kaivanto (kuva 5). Tuentaelementeillä voidaan taata riittävä turvallisuus, mutta tuentaelementit eivät estä kaivannon pohjan maanliikkeitä. Tuentaelementin yläreuna tulee olla ympäröivän maanpinnan yläpuolella. Samaa tuentaelementtiä voidaan käyttää hyvin huollettuna lukuisia kertoja. Tämä tekee tuentaelementistä varsin edullisen ja nopean tuentatavan. [10, s. 114.]

Asennus tapahtuu nostamalla tuentaelementit valmiiksi kaivettuun kaivantoon kaivinkoneen avulla, jonka jälkeen poikittaiset tuet kiristetään. Kaivantoa voidaan kaivaa syvemmäksi noin 0,5 metrin kerroksina tuen asennuksen jälkeen, jolloin tuentaelementin seiniä tulee painaa vuorotellen kaivinkoneella alaspäin. Kolme tuentaelementtiä riittää 8–10 metrin lamelleissa tehtävän putkikaivannon tukemiseen. Suomessa on saatavilla tuentaelementtejä erikokoisina riippuen kaivettavan kaivannon asettamista vaatimuksista. [11.]



Kuva 5. Tuentaelementti käytössä [12]

### 3.2.2 Teräsponttiseinä

Teräsponttiseinä muodostuu maahan upotettavista teräsponteista, jotka lukkoon lyötynä muodostavat yhtenäisen toimivan tukirakenteen. Teräspontit saadaan lukittua toisiinsa lukkoprofiilien avulla (ks. kuva 6). Pontit asennetaan maahan joko lyömällä tai täryttämällä. Teräspontteja voidaan asentaa myös irralleen toisistaan tai limittäin toisiinsa nähden, mutta silloin seinän jäykkyys pienenee merkittävästi. Teräspontteja on poikkileikkausprofiililtaan erimuotoisia, kuitenkin selvästi yleisimmin käytetyt ovat U-profiili ja Z-profiili. [7, s. 46–47.]

Teräsponttiseinä on yleisin käytössä oleva tukiseinätyyppi. Se on muihin tukiseiniin verrattuna edullinen ja nopea asentaa sekä purkaa. Ponttien asentaminen aiheuttaa aina tärinää ja maapohjan tiivistymistä asennuskohdan läheisyydessä. Maaperästä riippuen tämä voi näkyä maan pinnalla halkeiluna tai maan painumina. Teräsponttiseinä ei sovellu kivikkoiseen tai lohkaraiseen maakerrokseen. Kivettömissä pohjaolosuhteissa pontteja voidaan käyttää useita käyttökertoja. Kaivannon ulkopuolinen maanpaine aiheuttaa teräsponttiseinään muodonmuutosta. Maanpainetta vastaan teräspontti-



seinät tuetaan joko vastakkaisiin seiniin poikkitukien avulla tai kaivannon ulkopuolelle ankkurointien avulla. Ponttien alapäävät pyritään yleensä tukemaan heijarikairauksen päättymistasoon asti. Erittäin vaikeissa kohteissa voidaan teräsponttiseinistä rakentaa ns. combiseiniä teräsputkipaalujen tai palkkiprofiilien avulla, jolloin seinän jäykkyyttä saadaan parannettua. Teräsponttiseinät eivät ole sellaisenaan täysin vesitiiviitä. Niiden vesitiiveyttä voidaan kuitenkin parantaa esimerkiksi tiivistemassalla tai hitsaamalla.

[7, s. 47–49.]



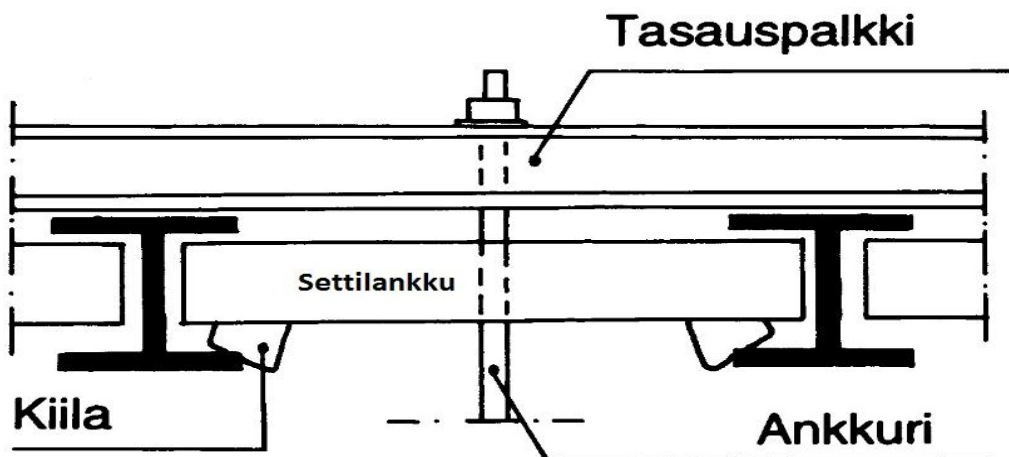
Kuva 6. Lukkoon asennetut teräsponttiseinämät ja yläpuolinen tukikehikko

### 3.2.3 Settiseinä

Settiseinä koostuu pystypalkeista ja niiden väliin tukeutuvista vaakasuorista settilankuista (kuva 7). Pystypalkit toimivat seinän runkona, ja ne ovat yleisimmin H-profiilin teräspalkkeja, joita asennetaan 1...4 m:n välein. Pystypalkit upotetaan maahan teräsponttien tavoin ja tarvittaessa ne voidaan asentaa porattavan työputken avulla, jos tavoitetasoon pääseminen on epävarmaa. Seinä tehdään settilankuilla, ja ne ovat yleensä kevyitä teräspalkkeja tai puupalkkeja. Maata vasten valetut betonipalkit voivat myös toimia seinärakenteena.



Settiseinä ei ole vesitiivis rakenne, ja sen käyttö on nykyään melko harvinaista työlään ja hitaan rakentamisen takia. Settiseinä ei sovellu pehmeään ja vetelään pohjamaahan koska seinää rakennettaessa kaivu tulee tehdä mahdollisimman pystysuorin luiskin 0,5...1,0 m:n paksuisina kerroksina. Olosuhteissa joissa teräsponttiseinän rakentaminen ei ole mahdollista, voidaan harkita settiseinän käyttöä. Settiseinän taivutusjäykkyys on usein teräsponttiseinää heikompi. [7, s. 50–51.]



Kuva 7. Settiseinän leikkauskuva [13]

### 3.2.4 Porapaaluseinä

Porapaaluseinä on kaivannon tukiseinätyyppi, joka on tarkoitettu erittäin vaativien kaivantojen tukemiseen. Porapaaluseinää käytetään, kun edullisemmat tukiseinätyypit eivät sovellu ominaisuuksiltaan kohteen asettamiin vaatimuksiin. Yleisimpiä käyttökohteita porapaaluseinälle ovat kohteet, joissa tukiseinätyypiltä vaaditaan mm. seuraavia ominaisuuksia:

- suuri taivutuskestävyys
- suuri pystykantavuus
- porattavuus kivikkoisessa tai lohkaraisessa maapohjassa
- osa pysyvää rakennetta
- pieni sijainti- ja kaltevuuspoikkeama.

Porapaaluseinä koostuu teräsputkipaaluista, joissa putken sivuihin on hitsattu erillinen lukkoprofiili (kuva 8). Asentaminen tehdään poraamalla avarrinkruunun avulla, jossa porattava reikä on hieman putkipaalun halkaisijaa suurempi. Asennustyö ei yleensä aiheuta ympäristölle haitallista tärinää. Porapaaluseinä soveltuu kaikkiin pohjaolosuh-

teisiin. Kallioon asti ulottuva tukiseinä asennetaan ehjään kallioon noin 0,5...1,5 metrin syvyyteen. Porapaaluseinän jäykkyys riippuu paaluputken halkaisijasta, seinämän paksuudesta ja teräslaadusta. Lisäksi jäykkyyttä ja pystykantavuutta voidaan parantaa entisestään raudoittamalla ja valamalla paaluputki sisäpuolelta. [7, s. 51–53.]



Kuva 8. Porapaalun lukkoprofiilit [14]

Pelkkä porapaalujen lukkoliitos ei ole täysin vesitiivis ratkaisu. Hienoainespitoisissa maissa porapaaluseinä on riittävän vesitiivis varsinkin työnaikaisena tukiseinä. Seinämän lukkoliitokset voidaan tehdä vedenpitäviksi tiivisteaineella tai hitsaamalla. Ku-  
vassa 9 on Kalasatamaan tehty vesitiivis pysyvä porapaaluseinä.

[7, s. 51–53.]



Kuva 9. Porapaaluseinä asennettuna Kalasatamassa 2012 [15]

## 4 Yrityksessä yleisimmin käytetyt kaivannon toteutustavat

### 4.1 Luiskattu kaivanto

Luiskattu kaivanto on yrityksessä yleisimmin käytetty kaivannon toteutustapa. Tämä johtuu tosin siitä, että suurin osa kaivannoista tehdään matalina luiskattuina kaivantoina. Kaapeliputkitukset, valaisinjalustojen asentamiset, massanvaihdot ja sihtikaivojen rakentamiset ovat esimerkkejä töistä, joissa tarvittava kaivanto ei ole kovin syvä, eikä sitä ole järkevää toteuttaa tuettuna kaivantona. Lisäksi edellä mainitut työt ovat huomattavasti nopeampia toteuttaa verrattuna esimerkiksi tuettuna kaivantona tehtävään vesihuoltotyöhön. Yhden syvän tukemalla toteutettavan kaivannon hankkeen aikana ehtii valmistua monta matalan kaivannon vaatimaa kohdetta.

Luiskakaltevuudet suunnitellaan ja toteutetaan aina työmaakohtaisesti. Luiskaaminen on pienissä kaivannoissa nopea tapa toteuttaa kaivanto. Työmaalla ei tällöin tarvita erillisiä tuentaelementtejä. Lisäksi kaivannossa ei ole ylimääräisiä esteitä, jolloin työn- teko kaivannossa on helpompaa. Kuvassa 10 yrityksen erään vesihuoltokohteen kaivu- työ tehtiin luiskattuna kaivantona, jossa olosuhteet luiskatun kaivannon toteuttamiseen olivat erittäin hyvät.



Kuva 10. Luiskattu putkikaivanto

Suuren kaivannon tekeminen luiskaamalla yleensä kariutuu tilanpuutteen takia Helsingin alueella. Rakennuskohteessa olevat kasvillisuudet, läheiset rakennukset tai liikenne ovat yleisiä syitä kaivannon tekemiseen tuettuna. Myös kaivettavan maamassan kuumiomäärä kasvaa syvissä kaivannoissa luiskakaltevuuksien mukaan usein niin suureksi, ettei sitä ole taloudellisesti järkevää toteuttaa luiskaamalla.

#### 4.2 Tuentaelementti

Tuentaelementtejä käytetään yrityksessä tavanomaisesti kohteissa, joissa rakennetaan yhtä tai kahta vesihuollon linjaa samanaikaisesti. Joissain tapauksissa samassa kaivannossa on rakennettu kolmen vesihuoltolinjan rakenteita samanaikaisesti, kuten alla olevasta kuvasta 11 näkyy. Kuva on eräästä vesihuollon kohteesta, jossa rakennettiin 150 mm vesijohtolinjaa, 250 mm paineistettua jätevesilinjaa sekä 300 mm sadevesilinjaa. Kaivanto toteutettiin tuentaelementtien avulla, joita asennettiin kahteen kerrokseen lukitsemalla elementit kiinni toisiinsa. Yrityksessä käytettävät tuentaelementit sopivat kaivantoon, jossa pohjan leveys on noin 2–4 m ja syvyys 2–5 m. Useampaa vesihuoltolinjaa rakennettaessa tukielementtien käytöstä aiheutuu tiettyjä rajoitteita, joiden takia voidaan turvautua ponttiseinämien käyttöön. Kaivannon poikki risteilevät useat kaapelit, putket sekä mahdolliset tonttiliitokset ovat käytännössä mahdottomia toteuttaa tuentaelementtejä käyttämällä.



Kuva 11. Näkymä kaivannosta tuentaelementtien suojasta



Tuentaelementit ovat melko kalliita, mutta niiden erinomainen puoli on niiden uudelleenkäytettävyys. Tukielementtejä on helppo siirrellä kaivinkoneella, joka kuuluu jokaisen työmaan vakiokalustoon. Lisäksi niiden asentaminen sujuu melko vaivattomasti kaivutyön yhteydessä, jos risteileviä olemassa olevia kaapeleita ja putkia ei osu kaivannon kanssa samalle linjalle. Tukielementtien käytössä poikittaiset tuet muodostavat omat vaikeudet, ja siksi uusien putkilinjojen asentamisessa poikittaiset tulee huomioida huolellisesti työn sujuvuuden kannalta. Kaivannossa työskennellessä poikittaiset tuet ovat usein edessä, ja niistä aiheutuu ylimääräistä työtä. Esimerkiksi rakennekerroksia tiivistettäessä täryä joudutaan nostelemaan kaivinkoneella tukien yli. Myös työntekijät joutuvat kaivannossa väistelemään poikittukia jatkuvasti.

### 4.3 Teräsponttiseinä

Yrityksessä teräsponttiseinien käyttö on viimeisten vuosien aikana lisääntynyt vesihuollon kohteissa. Uusien koneiden ja laitteiden myötä ponttien asennus onnistuu usealta urakoitsijalta. Lisäksi tilaaja yhä useammin määrittelee kaivannon toteuttamisen tuettuna teräsponttiseinää käyttämällä. Yrityksessä käytettävät pontit ovat malliltaan VL 603 ja käytettävät pituudet vaihtelevat työkohteesta riippuen. Pisimmät työkohteessa käytetyt pontit ovat olleet noin 15 metrin pituisia, kun taas jossain kohteessa ovat riittäneet noin 5 metrin mittaiset pontit. Pontit asennetaan kaivinkoneella, jossa on lisävarusteena hydraulinen täryvasara. Lisävarusteessa on voimakas tärytin, jonka avulla pontin ja maan välinen kitka saadaan pienennettyä ja pontti voidaan upottaa maahan pienemällä voimalla. Ponttiseinä soveltuu hyvin kohteeseen, jossa kaivannon poikki risteilee kaapeleita tai putkia. Ponttiseinämään voidaan jättää kapeat välit, joista esimerkiksi viereiselle tontille saa tehtyä kaikki tarvittavat tonttiliitokset. Myös ajoyhteydet kiinteistöille ovat helposti toteutettavissa ponttiseinämien päälle asennettavien ajosiltojen avulla.

Pontitetun kaivannon haittavaikutuksina voidaan pitää asennuksesta aiheutuvaa tärinää ja kovaa melua. Ponttien nostaminen on saattanut aiheuttaa ympäröivän maan liikkeitä, joka näkyy maan pinnalla ohuina halkeamina. Erityisesti maan siirtymisiä on havaittu koheesiomaissa kuten paksujen savikerroksien alueilla. Maan siirtyminen saattaa aiheuttaa vaurioita esimerkiksi kaivannon lähellä oleville rakennuksille tai pihakivetyksille. Ponttiseinämän tekeminen on melko hintava työvaihe, ja erittäin kalliiksi työvaihe tulee, jos useita pontteja vaurioituu työn aikana tai niitä joudutaan jättämään

maan sisään pysyvästi. Yhden 8 x 8 metrin kokoisen seinämän tekemiseen tarvitaan noin 8 tonnia terästä. Ponttien asentaminen vie myös oman aikansa. Yhden pontin asentamisella saavutetaan vain 0,6 metrin mittainen etenemä ja tavallisen putkikaivannon tekemiseen tarvitaan kaksi noin 6–8 metrin mittaista seinää. Näiden lisäksi yleensä tulee asentaa yksi sisäpuolinen tuki, joka estää seinämien nyrjähtämisen sisäänpäin kaivannon ulkopuolelta vaikuttavan suuren maanpaineen seurauksena.

Pontteja voidaan käyttää uudelleen varsinkin kohteessa, jossa maaperä ei sisällä suuria raekokoja. Pontin nostamisen yhteydessä se vain tärytetään puhtaaksi ja on näin valmis uudelleen käytettäväksi. Asentamista voidaan helpottaa voitelemalla pontit, jolloin pontin ja maan välinen kitka saadaan pienemmäksi. Pontti usein vaurioituu kiveen tai kallioon osuessa. Vaurioitunut pontti saadaan takaisin käyttöön katkaisemalla pontin vaurioitunut kohta. Näin ponttia ei voi tietysti useaan otteeseen korjata, sillä katkaisukohdasta riippuen pontti menettää aina pituuttaan katkaisun yhteydessä. On hyvä muistaa, että onnistuneen ponttiseinämän rakentamiseen tarvitaan myös erittäin taitava kaivinkoneenkuljettaja.



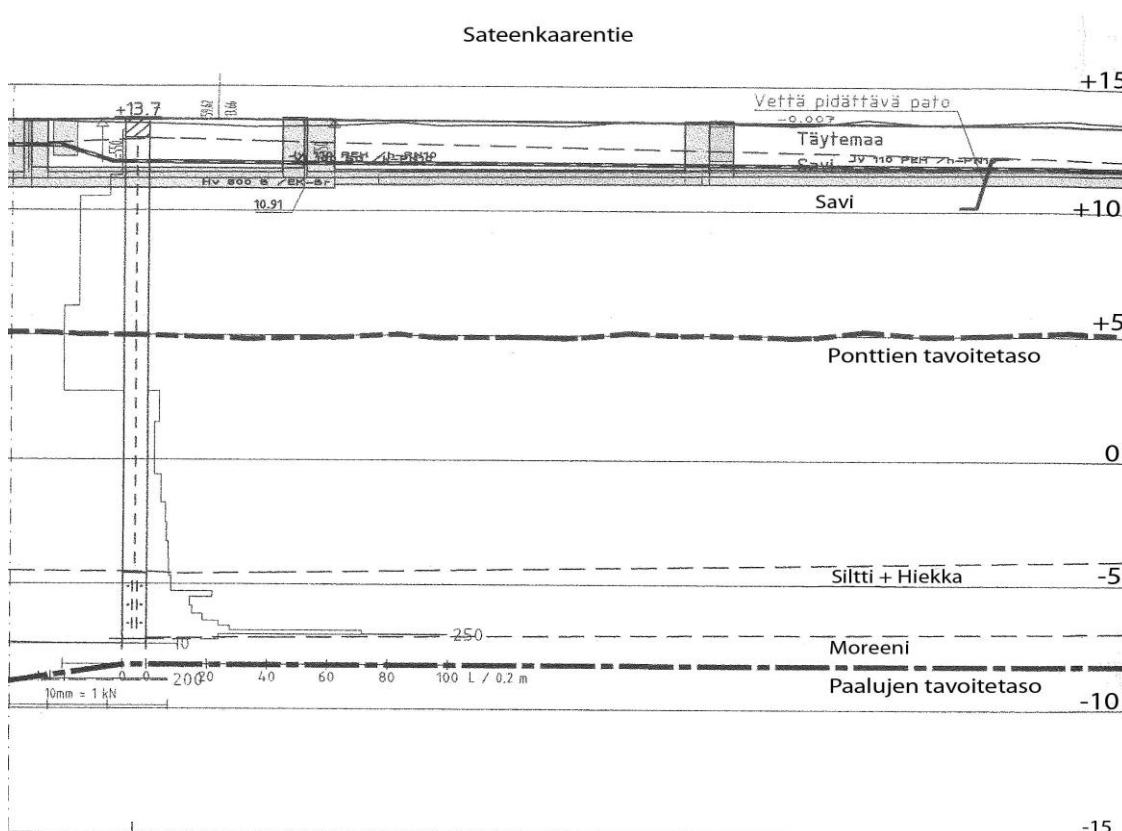
Kuva 12. Teräsponttiseinä kaivannon tukirakenteena

## 5 Teräsponttiseinän alatuon kehittäminen

### 5.1 Taustaa

Kaivannon tukirakenteen kehittäminen alkoi yrityksen yhden suuren hankkeen suunnitteluvaiheessa. Kohde sijaitsi Suutarilassa Sateenkaarentiellä Keravanjoen tuntumassa. Kyseiseen hankkeeseen kuului vesihuollon saneeraus, jossa olemassa olevat vesihuoltorakenteet korvattiin pääosin uusilla rakenteilla. Lisäksi hankkeeseen kuului katujen rakennekerrosten uusiminen sekä asfaltointi.

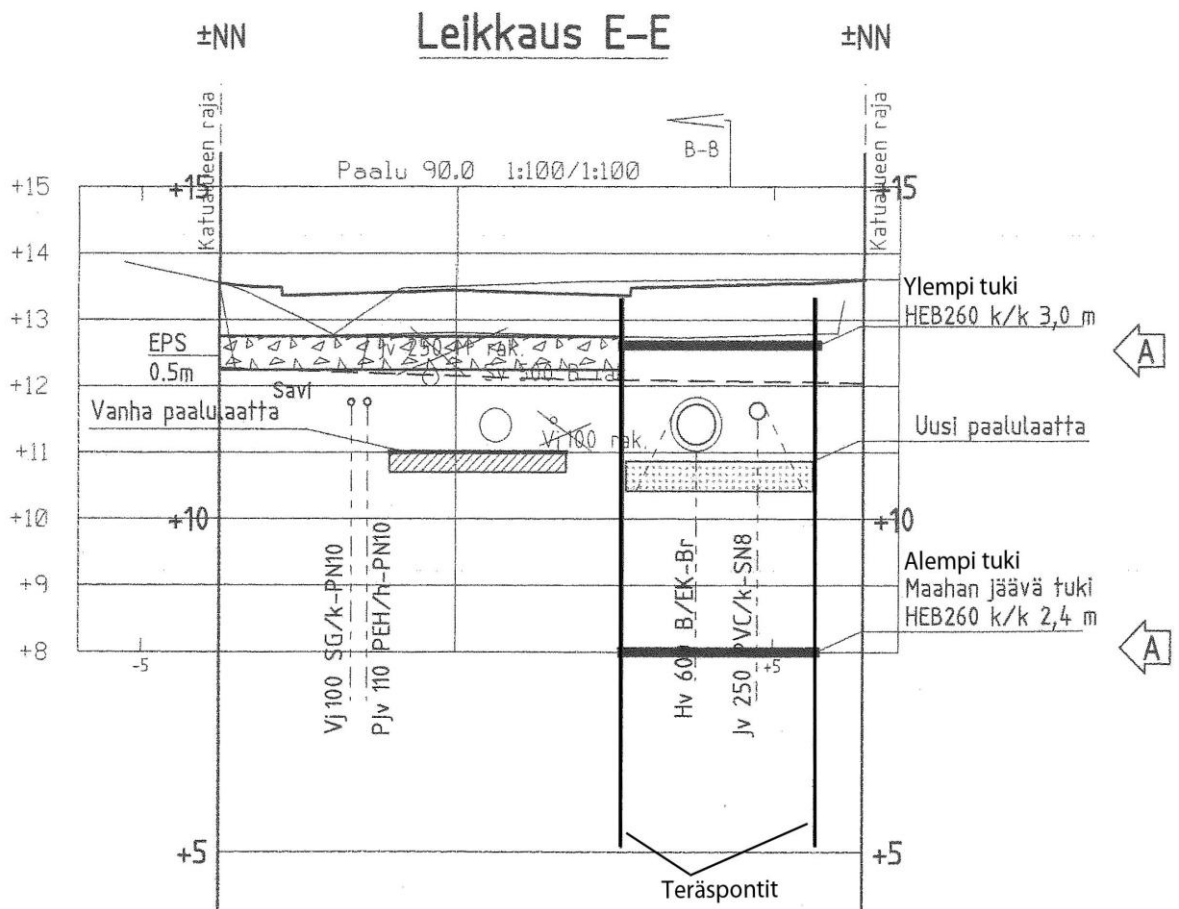
Kohde sijoittui paksulle savikkoalueelle, jossa savi oli noin 12,5–21 m kerrospaksuuden väliltä. Pohjaolosuhteet luokiteltiin vaikeiksi pohjaolosuhteiksi. Saven vesipitoisuus vaihteli 43–120 % kuivapainosta määritettynä ja suljettu leikkauslujuus välillä 10–25 kN/m<sup>2</sup>. Pohjatutkimuksien perusteella alueella todettiin olevan savikerroksen alla kitkamaita noin 3–7 m paksu kerros, jonka jälkeen moreenia. Kairaukset alueella tehtiin 17–24 metrin syvyyteen maanpinnasta. Pohjaolosuhteet näkyvät kuvassa 13. Kalliohavaintoja alueella ei tehty. [15, s. 2.]



Kuva 13. Pohjaolosuhteet [15]

Vesihuoltorakenteiden uusiminen tapahtui noin 3 m syvässä kaivannossa ja noin 6–8 metrin lamelleina. Kaivannon tuenta oli suunniteltu tehtävän pontittamalla. Pontit olivat 9 metrin pituisia, ja ne tuli lyödä lukkoon eli ponttiin. Kaivannon sisäpuolinen ylätuki suunniteltiin tehtävän tavanomaisella teräskehikolla. Ylätuki näkyy kuvassa 14 esitetyssä kaivannon leikkauskuvassa.

Kohteessa syvän kaivannon toteuttamisen edellytyksenä oli hyväksytty pohjarakennesuunnitelma. Suunnitelman yhtenä keskeisimpänä tavoitteena oli saada kaivannossa työskentely turvalliseksi. Lisäksi kaivannon tekemisestä aiheutuvat maamassojen mahdolliset siirtymät tuli hallitusti ehkäistä. Ongelmaksi kaivannon tukirakenteessa muodostui se, ettei ponttien alapäitä pystytty tukemaan paksussa savikerroksessa riittävän tukevasti ilman lisätoimenpiteitä. Eri tahojen yhteistyöllä päädyttiin lopulta ratkaisuun, jossa ponttiseinämän alapuolinen tuenta tehtiin jäykän teräksisen I-palkin avulla. Palkin asennus on esitetty yksityiskohtaisesti luvussa 5.5. Alla olevassa kuvassa 14 alapuolisena tukena käytetty I-palkki on näkyvässä kadun leikkauskuvassa +8 metrin kohdalla.

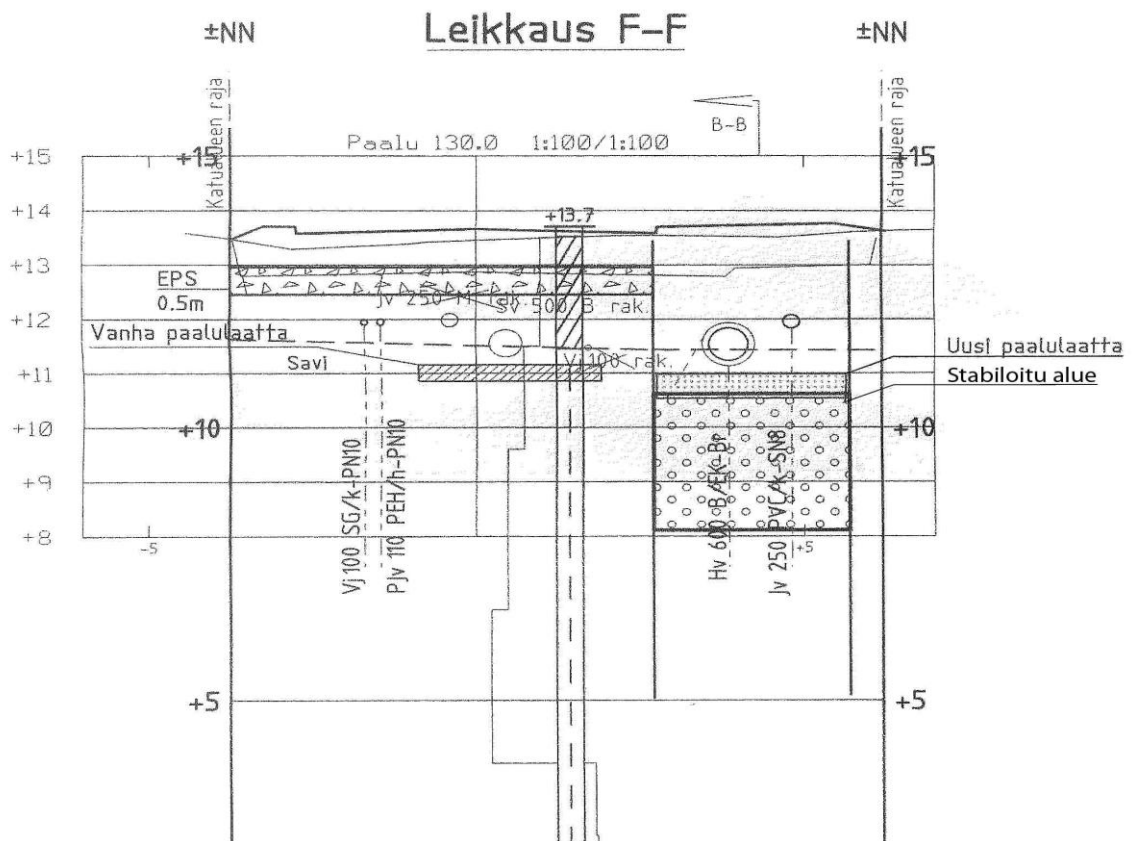


Kuva 14. Kaivannon poikkileikkaus [15]



## 5.2 Suunnittelu

Sateenkaarentien vesihuoltotyön pohjarakennesuunnitelman teki Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto. Suunnitelman yhtenä lähtökohtana oli esittää yksityiskohtainen selvitys kaivannon toteuttamisesta. Aluksi pohjarakennesuunnitelman mukaan kaivannon tukemiseen ponttiseinämän lisäksi olisi käytetty massastabilointia. Kuvassa 15 on esitetty kaivannon poikkileikkaus, jossa näkyy suunniteltu stabiloitava alue. Stabiloimalla tehtävä kaivannon vahvistustapa haluttiin kuitenkin muuttaa pääurakoitsijan eli Staran puolesta. Massastabilointi osoittautui työn toteutuksen kannalta erittäin vaikeaksi toteuttaa pitkän kuivumisajan takia. Massastabiloinnin kuivumisaika olisi ollut 1–2 kk. Tämä olisi tarkoittanut sitä, että jokaisen noin 6–8 metrin pituisen kaivannon tekemiseen olisi kulunut yli kuukausi aikaa stabilointiaineen kuivumiseen. Lisäksi massastabiloinnin kustannukset olisivat nostaneet urakan hintaa merkittävästi.



Kuva 15. Kaivannon poikkileikkaus jossa massastabilointi kuvattuna [15]

Urakoitsijan ehdotus I-palkin käyttämisestä ponttiseinämien alapuolisena tukena tuntui myös tilaajan ja geosuunnittelijan puolesta erittäin varteenotettavalta vaihtoehdolta. I-palkin asentaminen ponttiseinämien väliin vaikutti huomattavasti kustannustehokkaammalta ratkaisulta verrattuna massastabilointiin. Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto mitoitti I-palkin korvaamaan aikaisemmin suunnitellun massastabiloinnin. Tuloksena saatiin uusi pohjarakennesuunnitelma, joka korvasi aikaisemman pohjarakennesuunnitelman massastabiloinnin osalta. Suunnitelmassa oli työn toteutuksen kannalta vaativin vaihe se, miten lähes kaivannon levyinen I-palkki saataisiin suunnitelman mukaiseen noin 2 metrin syvyyteen kaivutason alapuolelle.

### 5.3 Mitoitus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain Sateenkaarentien vesihuollon saneerauskohteen kaivannon tukirakenteen mitoitukseen, joten tätä työtä ei voi käyttää muiden kohteiden kaivannon tukirakenteiden mitoitusohjeena.

Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto mitoitti kohteessa käytetyn kaivannon tukirakenteen. Mitoitettava rakenne oli kahdelta tasolta tuettu ponttiseinä, jonka kuormat muodostuivat maanpaineesta, kaivannon ympärillä olevista rakennuksista, työkoneista ja liikenteestä. Ponttiseinän yläpuolinen tuki suunniteltiin tehtävän perinteisellä kehikkorakenteella. Kehikossa käytettiin teräksestä valmistettua I-palkkia HEB 260, josta hitsattiin suorakaiteen muotoinen kehikko. Kehikko oli kooltaan 6000 x 3400 mm. Se kiinnitettiin jokaisesta kulmasta ketjujen avulla kahden vastakkaisen ponttiseinän väliin. Kehikolla tuettiin 9 metrin korkuisten ponttiseinämien yläpuolista maanpainetta. [15.]

Alapuoliseksi tueksi mitoitettiin myös I-palkki HEB 260. Palkki toimi ponttiseinien alapuolisena tukena noin 5,5 metrin syvyydessä ponttiseinän yläpäästä mitattuna. Palkki tuli asentaa vaakatasoon sekä kohtisuorasti kaivannon ponttiseinämiin nähden. Lisäksi palkki tuli asentaa ponttiprofiilien syvennyksiin sivuttaisliikkeiden estämiseksi. Alapuolisia tukia tuli asentaa kaivantoon noin 2,5 metrin välein, ja ne suunniteltiin maahan jätettäväksi. I-palkki on esitettyä kuvassa 16. Kohteessa käytetyn I-palkin tekniset tiedot olivat

- tyyppi HEB 260
- korkeus: 260 mm

- syvyys: 260 mm
- teräslaji: S355J2
- myötälujuus: 355N/mm<sup>2</sup>
- iskutkeysluokka: J2
- paino: 93.00 kg/m
- standardi: EN 10025. [15.]



Kuva 16. I-palkin asennusvaihe

Aikaisempaa kokemusta vastaavanlaisesta tuentatavasta ei ollut pääurakoitsijan, tilaajan tai suunnittelijan tiedossa. Yrityksessä oli ainoastaan käytetty eräässä kohteessa ponttiseinämän alapuoliseen tuentaan kaivannon pohjalle laitettavia paksuja puupalkkeja. Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteessa puupalkkeja ei voitu käyttää, sillä puupalkkeja ei voitu järkevästi mitoittaa kohteen asettamiin vaatimuksiin. Lisäksi puupalkin painaminen maan sisälle arvelutti puupalkin kestävyyskannalta. Aikaisemman kokemuksen puutteen takia I-palkin käyttöä alapuolisena tukena päätettiin silti toiveikkaasti kokeilla työkohteessa heti ensimmäisen syvän vesihuoltolinjan kaivannon yhteydessä.

#### 5.4 Valmistelu

Ennen työn toteutusta I-palkin upottamiseen ponttiseinämän väliin noin 2 metrin syvyyteen kaivutason alapuolelle oli kehitelty teräksinen apuväline nimeltä haarukka. Sen avulla I-palkki pystyttiin painamaan 25-tonnisella kaivinkoneella ponttiseinämän väliin noin 2,5 metrin syvyyteen kaivutason alapuolelle. Haarukka näkyy kuvassa 17. Koh-

teessa käytettiin Liebherr 924 Compact -merkkistä kaivinkonetta, joka oli varustettu Movax -pontiniskijällä. Monipuolisen pontiniskijän avulla kaivinkoneella tehtiin kohteessa normaalien kaivu- ja täyttötöiden lisäksi pontitus ja I-palkin asennus. Myös putkipaalujen asennus suoritettiin samalla koneella.



Kuva 17. I-palkin painaminen haarukan avulla

Suunnittelutyö saatiin ajoissa valmiiksi ennen työn toteutusta. Kohteessa rakennettiin ensin muut vesihuoltorakenteet ennen päälinjan rakentamista, jossa uutta tuentatapaa oli tarkoitus käyttää. I-palkit tilattiin työmaan välivarastoon 12 metrin mittaisina. Yhteensä niitä tilattiin 25 kappaletta. I-palkit katkaistiin määrämittäisiksi vasta työmaalla vastaamaan mahdollisimman hyvin olemassa olevan kaivannon leveyttä. Katkaistun palkin asennustoleranssi oli 100 mm. Työkohteessa onnistuttiin asentamaan palkit noin 50 mm:n asennustoleranssilla. Toleranssin avulla palkki saatiin painettua määräsyvyyteen muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.

## 5.5 I-palkin asennus

Kaivannon alapuolisena tukena käytettävä I-palkki asennettiin, kun kaivanto oli kaivettu suunnitelman mukaiselle kaivutasolle. Tuen asentaminen toteutettiin työkohteessa seuraavalla tavalla.

1. I-palkille valitaan sopiva väli ponttiseinämien syvennyksien mukaan.
2. I-palkki leikataan sopivaksi valitun välin mukaan. Molempiin päihin jätetään pieni pelivara asennusta varten. Asennustoleranssi oli 100 mm (ks. kuva 18).



Kuva 18. I-palkin leikkaus määrämittäiseksi

3. Kaivinkoneen avulla palkki pujotetaan ponttiseinämien ylätuen läpi. Samanlaisesti palkin päät kohdistetaan keskelle ponttiseinämän uraa (ks. kuva 19).
4. Palkki lasketaan ponttiseinämien uraa pitkin kaivutasolle tasakylki alaspäin.



Kuva 19. Palkin ujutus kaivantoon



5. Kaivinkoneella otetaan haarukka ponttivasaran leukojen väliin ja painetaan haarukka keskelle kaivannon pohjalla olevaa palkkia.
6. Ponttivasaran avulla palkkia ryhdyttiin painamaan tasaisesti alaspäin ja tarvittaessa myös tärytetään. Samanaikaisesti haarukka pyritään pitämään suorassa ja keskellä painettavaa palkkia asennuksen ajan (ks. kuva 20).



Kuva 20. Palkin painaminen määräsyyvyteen

7. Painamista jatketaan, kunnes palkki on saavuttanut määräsyyvyden.
8. Määräsyyvyden saavutettua täryttäminen ja painaminen lopetetaan ja haarukka nostetaan ylös (ks. kuva 21).
9. Kaivannon pohjalle jäänyt palkin kokoinen ja noin 2 m syvä rako tulee täyttää varovasti murskeella.



Kuva 21. Haarukan nostaminen

## 5.6 Tulokset ja havainnot

Uuden tuentatavan käytöstä saatiin paljon hyviä kokemuksia. Sen käytön helppous yllätti, vaikka menetelmää ei ollut aikaisemmin missään käytetty. I-palkin käytölle asetetuissa vaatimuksissa onnistuttiin työmaalla varsin hyvin. Työt onnistuttiin tekemään suunnitelmien mukaisesti, eikä I-palkin asentamisesta aiheutunut koko työmaan aikana suurempia ongelmia. Kaivinkone lisävarusteineen toimi luotettavasti maan alle painettavien I-palkkien osalta. Maan alle jätetyn teräspalkin erinomainen puoli oli kaivannon hyvä työskentelytila. Kaivannon pohjalla ei ollut poikittaisia tukirakenteita hankaloittamassa työntekoa. Työmaan aikana kaikki suunnitellut I-palkit saatiin onnistuneesti painettua haluttuihin kohtiin, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Hankaluuksia alatu- en asentamiselle työmaalla aiheutti mm.

- kaivannon ponttiseinämän ulkopuolelta tulevat vesihuoltorakenteiden putkilinjat
- vanhan purettavan paalulaatan puupaalut
- uuden rakennettavan paalulaatan teräsputkipaalujen sijainti
- ponttiseinän yläpuolinen tuki eli kehikko.

Työn toteutuksen aikana kohteessa tehtiin muutamia havaintoja alapuolisen tuen asentamisesta, jotka helpottivat työn toteutusta. Havaittiin, että I-palkki upposi saveen huomattavasti sulavammin tasakylki edellä. Näin palkkia painettaessa palkki syrjäytti savea paremmin kuin palkin sakarat alaspäin painettaessa.

Työkohde sijaitsi pientalovaltaisella asuinalueella, jossa lähimmät rakennukset olivat alle 10 metrin päässä kaivannosta. Lisäksi suurin osa alueen rakennuksista oli perustettu maanvaraisesti paksujen savikerrosten varaan. Alueella oli jatkuva tärinä ja painumaseuranta. Palkin asentamisesta oletettiin aiheutuvan suuria tärinöitä, mutta tarkkojen tärinämittareiden ja työntekijöiden kokemusten perusteella tärinät jäivät oletettua pienemmiksi. Palkkien asentamisesta ei ollut merkittävää haittaa ympäröivien rakennuksien rakenteille.

Kohteessa käytetyn kaivannon tukirakenteen tekemisen edellytyksenä oli erittäin ammattitaitoinen kaivinkoneen kuljettaja ja nykyaikainen kaivinkone. I-palkin onnistunut asentaminen vaati, että ponttiseinien tuli olla täysin pystysuoria ja vastakkaisien ponttiseinien uraprofiilien tuli edetä yhdenmukaisesti. Esimerkiksi kaivannon ponttiseinämän pieni kaltevuus olisi voinut jumittaa palkin asentamisen ennen määräsyyvyyden saavuttamista.

I-palkin asentamisen jälkeen kaivannon pohjalle jäävä railo oli täytettävä murskeella. Kohteessa railo täyttyi aina pohjavedellä I-palkin asentamisen yhteydessä, jolloin sitä oli vaikea erottaa kaivannon pohjalta. Ennen railon täyttämistä siinä oli suuri kompastumisen vaara kaivannossa työskenteleville. Railo näkyy kuvassa 18.



Kuva 22. I-palkin asennuksen jälkeinen railo kaivannon pohjalla

## 5.7 Kehittäminen

Sateenkaarentien vesihuollon työkohteessa yritys sai kaivannon ponttiseinämien alapuolisesta tukemisesta hyviä kokemuksia, vaikka kyseistä menetelmää ei ole missään aikaisemmin käytetty. Tuentamenetelmää tullaan jatkossa käyttämään yrityksessä vastaavissa olosuhteissa. Tuentatavan käyttöä on jo alustavasti suunniteltu esimerkiksi syvän jätevesipumppaamon kaivannon tekemiseen, jossa I-palkkeja painettaisiin ristiin neliön muotoisen pontitetun kaivannon kaivutason alapuolelle. Lisäksi I-palkki voitaisiin korvata erimuotoisella profiililla, jolloin se syrjäyttäisi savea tehokkaammin ja kappaaleen upottaminen kävisi kevyemmin. Teräksinen palkki voisi olla myös mahdollista korvata toisella materiaalilla esimerkiksi puulla. Puun käsittely työmaalla olisi huomattavasti helpompaa kuin teräksen, mutta puun heikompi lujuus saattaa aiheuttaa tiettyjä rajoitteita kaivannon tukirakenteen toteuttamiseen.

Noin 4 metriä leveä I-palkki painui saviseen maahan työkohteessa melko kevyesti, joten upotettavan I-palkin kokoa olisi mahdollista kasvattaa, jos kaivannon tulisi olla leveämpi. Vastaavasti kapeassa kaivannossa voitaisiin käyttää kapeampaa I-palkkia.



## 6 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin työturvallisen kaivannon toteutustapoja kunnallisteknisessä rakentamisessa, johon opinnäytetyön kohdeyrityksen työkohteessa kehiteltiin uusi kaivannon tuentaan liittyvä menetelmä. Kaivantoihin perehdyttiin yleisesti teoriaosuudella, jonka jälkeen käytiin läpi yrityksessä käytettyjä kaivannon toteutustapoja ja esiteltiin yksityiskohtaisesti uuden tuentatavan kehittämisen vaiheet.

Luotettavan kaivannon tekeminen on hankkeen onnistumisen kannalta erittäin tärkeä osa. Se on edellytys kaivannossa työskentelylle ja maamassojen liikkeiden hallittuun ehkäisyyn. Kaivannon tekeminen tulee suunnitella erityisen huolellisesti ennen töiden aloittamista. Lisäksi työn toteutusta tulee jatkuvasti tarkkailla työmaalla. Kaivannon toteuttamiseen on useita eri menetelmiä, ja ne tuleekin tarkkaan miettiä työmaan ympäristön, työn toteutuksen ja muiden ominaisuuksien mukaan. Kaivantojen tekemiseen on viimeisten vuosien aikana kiinnitetty erityistä huomiota, ja niin tullaan myös tulevaisuudessa tekemään kaivanto-onnettomuuksien välttämiseksi.

Tämän opinnäytetyön tuloksena voidaan todeta, että ponttiseinämien väliin upotettava I-palkki toimi erittäin hyvin pilottikohteen mukaisissa olosuhteissa. Kohdeyrityksessä tullaan sopivissa olosuhteissa myös jatkossa käyttämään vastaavaa kaivannon tuentatapaa. Kaivannon tukirakenteen mitoitus tulee kuitenkin aina suunnitella hankekohtaisesti. Tässä työssä kuvailtu uusi tuentatapa on vain yksi esimerkki, miten perinteisestä tuentatavasta voidaan kehittää työmaan tarpeisiin erinomaisesti soveltuva tukirakenne. Opinnäytetyön tekeminen oli opettava kokemus perehtyä erilaisiin kunnallisteknisiin työkohteisiin ja selvittää, kuinka kaivannossa työskentely voidaan tehdä turvallisesti eri menetelmillä.

Kaivannoissa piilee aina sortumisen vaara. Tämä riski usein tiedostetaan, mutta silti kaivantoja toteutetaan miten sattuu varsinkin pienissä kunnallisteknisissä töissä. Kaivannon sortumista pidetään liian usein mahdottomana tapahtumana osua omalle kohdalleen. Tämän opinnäytetyön yksi tavoitteista on saada lukija miettimään ennen kaivantotyöhön ryhtymistä — *mitä jos?* Kukapa haluaisi kaivannon sortumisen tapahtuvan omalle kohdalleen.

## Lähteet

1. Vaara vaanii kaivannossa. Verkkodokumentti. Rakennusteollisuus. <http://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiedotteet-kansio/2014/Vaara-vaanii-kaivannossa/>. Päivitetty 12.5.2014. Luettu 24.7.2014.
2. Stara lukuina. Verkkodokumentti. Stara. <http://www.hel.fi/www/stara/fi/staran-esittely/stara-lukuina/>. Päivitetty 30.5.2014. Luettu 28.7.2014.
3. Stara organisaatio. Kuva. Stara. <http://www.hel.fi/www/stara/fi/staran-esittely/organisaatio/>. Päivitetty 30.5.2014. Luettu 28.7.2014.
4. Vaara vaanii kaivannossa. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2013-09\\_vaara\\_vaanii\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-09_vaara_vaanii_web.pdf). Luotu. 9/2013. Luettu 13.6.2014.
5. Pohjarakennus. Verkkodokumentti. Aalto Yliopisto. [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/rak-50.2122/luennot/Rak-50\\_2122\\_luentoaineisto\\_5.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/rak-50.2122/luennot/Rak-50_2122_luentoaineisto_5.pdf). Luettu 13.6.2014.
6. Vaara vaanii kaivannossa. Verkkodokumentti. Infra ry. 2003. [http://www.infrary.fi/files/4773\\_Vaaravaaniikaivannossa\\_opas.pdf](http://www.infrary.fi/files/4773_Vaaravaaniikaivannossa_opas.pdf). Luettu 5.9.2014.
7. RIL 263-2014. Kaivanto-ohje. 2014. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
8. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Verkkodokumentti. 2009 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>. Luettu 22.9.2014.
9. Kapeat kaivannot. Verkkodokumentti. Työsuojeluhallinto.2010. [http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2010/07/TSO\\_15.pdf](http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2010/07/TSO_15.pdf). Luettu 2.9.2014.
10. Rantamäki Martti & Tammirinne Markku. Pohjarakennus 465. 9. 1994. Muuttumaton painos. Hämeenlinna. Karisto Oy.
11. Tukielementit. Verkkodokumentti. KT-Tuenta Oy. <http://www.kt-tuenta.fi/index.php?id=3>. Luotu 2007. Luettu 10.10.2014.
12. "Eroon tapaturmaisista kuolemista" on nyt rakennusalalla monen yhtiön yhteinen tavoite. Verkkodokumentti. Rudus oy [http://www.rudus.fi/image/24228/20100604094512/IMG\\_5100.jpg?width=700&height=700&mode=max](http://www.rudus.fi/image/24228/20100604094512/IMG_5100.jpg?width=700&height=700&mode=max). Luotu 04.06.2010. Kopioitu 10.10.2014.
13. Tuhola Markku. Rakennuskaivannon rakentaminen. Verkkokuva <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK98s579.pdf>. Kopioitu 10.10.2014.

14. RD-paaluseinät. Ruukki. Verkkokuva.  
<http://www.ruukki.fi/Teras/Infrastrukturiratkaisut/Tukiseinarakenteet/RD-paaluseinat>. päivitetty 18.3.2013. Luettu 20.10.2014.
15. Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto. GEO12168. Helsinki. 30.7.2014

