

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2024

Fanny Kunze

# Kyrön alikulkusillan rakentaminen – tuentasuunnitelmien vertailu



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2024 | 36 sivua

Fanny Kunze

## Kyrön AKS:n rakentaminen – tuentasuunnitelmien vertailu

Kaivantojen tuennat ovat haastavia ja kalliita suunnitella ja toteuttaa. Kaivantojen suunnittelu perustuu lähtökohtaisesti turvallisen ja toimivan ratkaisun löytämiseen ja kustannuksien vertailua aikataulun näkökulmasta on vaikea tehdä.

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Ralf Ajalin Oy:lle. Opinnäytetyössä tutustuttiin erilaisiin kaivantojen tuentavaihtoehtoihin ja niiden rakentamiseen vaikuttaviin tekijöihin, sekä tutkittiin ja vertailtiin alikulkusillan tuetun kaivannon suunnitelmia. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää toteutetun kohteen Kyrön aks:n rakentamisen työmaan kahden eri suunnitelmaratkaisun erot, sekä selvittää, miksi tuettu kaivanto päädyttiin toteuttamaan eri suunnitelmilla, kuin urakkalaskennan suunnitelmilla.

Opinnäytetyössä käytettiin kirjallisuuslähteitä ja toteutettiin haastattelu Kyrön aks:n rakentamisen työmaan työmaapäällikön kanssa.

Johtopäätöksenä opinnäytetyössä päädyttiin siihen, että jokaisen hankkeen olosuhteet ja rakennussuunnitelmat ovat hyvinkin kohdekohtaisia, eikä kaivantoja suunniteltaessa ole vain yhtä oikeaa ratkaisua. Kuitenkin tukiseiniä suunniteltaessa olisi hyvä tarkastella eri suunnitteluratkaisujen mahdollisuuksia pitäen mielessä eri ratkaisujen mahdolliset aikataulu- ja kustannusvaikutukset.

Asiasanat:

ponttiseinä, porapaaluseinä, tuenta

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil and Construction engineering

2024 | 36

Fanny Kunze

## Kyrö underpass bridge – a comparison of support designs

This bachelor's thesis was completed as an assignment for Ralf Ajalin Oy. Ralf Ajalin Oy was the main contractor on Kyrö underpass bridge project.

The goal of this thesis was to study different kind of supported trenches and the factors that have an influence on executing them. Another goal for this thesis was to study two different design packages for the Kyrö underpass bridge project and to find the differences between them as well as determine why the other design was used in place of the original.

The thesis was conducted by studying literature and by interviewing the site manager for the project.

The thesis demonstrates that every project is unique on the basis of soil and construction designs that supported trenches always have to be designed for the specific project. When designing the supported trenches one should always take into account factors such as costs and the effect on building time.

Keywords:

sheet pile wall, drilled pile wall, support

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Kaivannot ja niiden suunnittelu</b>	<b>7</b>
2.1 Tukemattomat kaivannot	7
2.2 Tuetut kaivannot	7
2.3 Tukiseinätyypit	7
2.3.1 Tukiseinätyypin valinta	7
2.3.2 Teräsponttiseinä	8
2.3.3 Porapaaluseinä	10
2.4 Tukiseinän tuenta	11
2.4.1 Vaakatuenta	11
2.4.2 Tukiseinän alapään tuenta	15
<b>3 Tuetun kaivannon mitoituksessa huomioitavat asiat</b>	<b>16</b>
3.1 Kuormat	16
3.1.1 Maanpaine	17
3.1.2 Vedenpaine	17
3.1.3 Pintakuormien aiheuttama maanpaine	18
3.2 Mitoitus	18
<b>4 Vesitiiviin kaivannon suunnittelu ja kaivannon kuivanapito</b>	<b>19</b>
4.1 Vesitiivis kaivanto	19
4.2 Kaivannon kuivanapito	19
<b>5 Kaivannon tuentatyyppien vaikutus rakentamiseen</b>	<b>21</b>
5.1 Tuentatyyppien vaikutus rakentamisen aikatauluun	21
5.1.1 Teräsponttiseinän rakentaminen	21
5.1.2 Porapaaluseinän rakentaminen	22
5.2 Tuentatyyppien vaikutus rakentamisen kustannuksiin	23
5.3 Pohjaveden alentamisen kustannukset ja aikatauluvaikutukset	24
<b>6 Kyrön aks:n tukiseinäsuunnitelmat</b>	<b>25</b>

6.1 Yleistä kohteesta	25
6.2 Suunnitelma 1, urakkalaskennan aikainen	27
6.3 Suunnitelma 2, urakka-aikana tehty suunnitelma	29
6.4 Valittu toteutussuunnitelma	31
<b>7 Johtopäätökset</b>	<b>33</b>
<b>Lähteet</b>	<b>35</b>

# 1 Johdanto

Infrahankkeissa on tyypillistä toteuttaa rakentamisen yhteydessä erilaisia kaivantoja. Kaivannot voidaan toteuttaa tukemattomina tai tuettuina. Tuettuja kaivantoja voidaan toteuttaa monilla eri tuentamenetelmillä, joissa on mahdollista yhdistää erilaisia tukiseiniä ja niiden tuentoja keskenään. Nämä monet eri toteutusvaihtoehdot tarkastellaan jo suunnitteluvaiheessa, ja niiden valintaan vaikuttaa kohteen rakennussuunnitelmat, maaperä, kaivannon syvyys, pohjavesiolosuhteet ja ympäröivät rakenteet.

Tuetut kaivannot sallivat usein kaivannon toteuttamisen pienemmässä tilassa, kuin tukemattomat kaivannot. Kuitenkin tuetut kaivannot ovat usein hitaampia toteuttaa, ja kaivantojen tukeminen aiheuttaa työnaikaisia kustannuksia materiaali- ja työkuluilla. Erilaiset tuentamenetelmät vaikuttavat myös eri tavoin kaivantojen toteutusten työnaikaiseen aikatauluun sekä kustannuksiin. Näitä vaikutuksia on suunnittelijan haastavaa arvioida yksiselitteisesti, koska suunnitelmilla haetaan ensisijaisesti toimivaa ja turvallista ratkaisua ja useisiin eri vaihtoehtoihin suunnitelmaratkaisuihin ei riitä aika. Eri työvaiheisiin kuluva aikaa on myös vaikea hahmottaa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on ollut tutustua ja esitellä rakennuskaivannon suunnittelun ja tukemisen yleisiä periaatteita. Opinnäytetyössä tutkitaan tuetun kaivannon erilaisia tukiseiniä ja niiden tuentoja sekä eri tukiseinien vaikutusta rakentamisen aikatauluun ja kustannuksiin. Tämä opinnäytetyö on toteutettu toimeksiantona Ralf Ajalin Oy:lle, jonka toteuttamaan alikulkusillan eli Kyrön AKS:n rakentamisen työmaan suunnitelmiin opinnäytetyössä tutustutaan.

Opinnäytetyössä keskitytään alikulkusillan työmaan kahteen tukiseinäsuunnitelmaan, joista toista on käytetty toteutuksessa. Työssä on vertailtu suunnitelmien eroavaisuuksia ja haastattelun kautta selvitetty perusteita, joilla toinen suunnitelmista valittiin toteutukseen.

## 2 Kaivannot ja niiden suunnittelu

### 2.1 Tukemattomat kaivannot

Tukemattomissa kaivannoissa kaivannon työturvallisuus on varmistettu luiskaamalla tai porrastamalla kaivanto. Mikäli kaivantoa ei pysty suunnittelemaan riittävän varmaksi sortumaa vastaan, ei kaivantoa voi suorittaa tukemattoman kaivantona. (RIL 263-2014, 44.)

Maaleikkausten suunnittelussa on varmistettava, että kaivu on mahdollista tehdä suunnitelmissa esitetyssä laajuudessa siten, että edellytetty varmuus sortumista ja pohjannousua vastaan säilyy kaikissa olosuhteissa myös työturvallisuus otettuna huomioon. Leikkauksen tekeminen luiskattuna on yleensä edullisin ja nopein vaihtoehto. Luiskattuna tehdyn leikkauksen turvallinen toteutus vaatii ympärilleen tilaa niin luiskien toteuttamiseen kuin myös kaivumassojen ja kiertotien sijoittamiseen. (Väylävirasto 2020, 60.)

### 2.2 Tuetut kaivannot

Tuetut kaivannot ovat rakenteita, jotka tukevat maasta, kalliosta, täytöstä koostuvaa materiaalia ja vettä sekä näiden päälle tulevia mahdollisia muita kuormia, kuten työkonekuormia. Materiaali on tuettua, jos sitä pidetään jyrkemmässä luiskassa, kuin mihin se asettuisi ilman tukirakennetta.

Tukirakenteita ovat kaiken tyyppiset seinät ja tukirakenteet, joissa rakenteisiin kohdistuu voimia tuettavasta materiaalista. (SFS-EN 1997-1 + A1 + AC, 93.)

### 2.3 Tukiseinätyypit

#### 2.3.1 Tukiseinätyypin valinta

Eri tukiseinätyypit ovat tavanomaisissa pohja- ja ympäristöolosuhteissa yleensä teknisesti käyttökelpoisia. Tällaisessa tilanteessa tukiseinätyypin valinnassa

painottuu rakennuskustannukset sekä rakentamiseen tarvittava aika. Vaativammissa pohja- ja ympäristöolosuhteissa tukiseinätyypin erityisominaisuudet nousevat määrääviksi tekijöiksi. Erityisominaisuuksia voi tukiseinältä vaatia esimerkiksi silloin, kun tukiseinällä on jokin muukin käyttötarkoitus. (RIL 263-2014, 45.)

Tukiseinätyypin valintaan vaikuttavat (RIL 263-2014, 45)

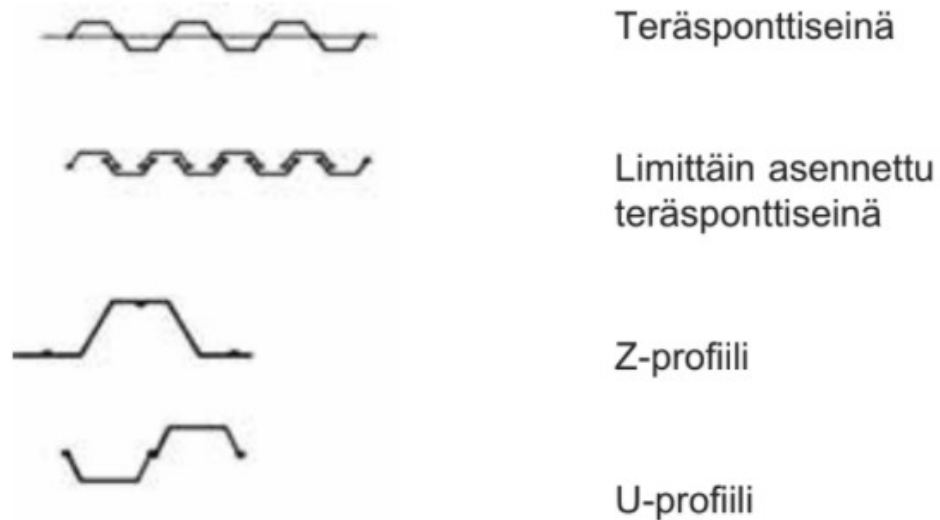
- kaivannon pohja- ja ympäristöolosuhteet
- tukiseinän käyttötarkoitus
- tukiseinätyyppien ominaisuudet
- tukiseinätyyppien rakennuskustannukset ja tarvittava rakennusaika.

### 2.3.2 Teräsponttiseinä

Teräsponttiseiniä käytetään tilapäisesti rakennuskaivantojen tukemiseen. Teräsponttiseiniä käytetään harvoin lopullisen rakenteen osana. Pointit nostetaan ylös, kun lopulliset rakenteet on tehty sekä rakenteiden ja ponttiseinän välinen tila on täytetty. (Tuhola 1998, 582.)

Teräsponttiseinä muodostuu maahan upotettavista teräsponteista, jotka lukitaan toisiinsa lukkourin muodostaen yhtenäisenä toimivan seinärakenteen. Teräsponttiseinä voidaan asentaa myös limittäin, jolloin niitä ei lukita toisiinsa ja seinän jäykkyys pienenee. (RIL 263-2014, 46–47.)

Teräspontteja on poikkileikkausprofileiltaan useita erilaisia. Yleisimmät ovat U-profiili ja Z-profiili. Kuvassa 1 on esitetty teräsponttiseinä ja teräsponttien tyypillisimmät profiilit. (RIL 263-2014, 47.)



Kuva 1. Teräsponttiseinä ja teräsponttiprofiilit (RIL 263-2014, 47).

Teräsponttiseinä on yleisin käytössä oleva tukiseinätyyppi ja se on usein kustannuksiltaan edullisin, sekä nopein rakentaa ja purkaa. Teräspontit säilyvät kivettömissä pohjaolosuhteissa usein käyttökelpoisina useamman käyttökerran. (RIL 263-2014, 50.)

Teräsponttiseinä soveltuu useimpiin pohjaolosuhteisiin. Pontteja ei saa tunkeutumaan kiviseen tai lohkareiseen maakerrokseen, eikä tiiviiseen karkeaan kitkamaakerrokseen. Tiiviiseen moreeniin ponttien upotus onnistuu usein täryttämällä. Ponttien tunkeutumista voidaan paikallisesti parantaa löyhdytysporaamalla maakerrosta, mikä on kuitenkin toimenpiteenä varsin kallis. (RIL 263-2014, 47.)

Teräsponttiseinä ei ole sellaisenaan vesitiivis, vaan seinän vesitiiviyys riippuu maapohjan vedenläpäisevyydestä ja vedenpaine-erosta seinän eri puolten välillä. Kun vedenläpäisevyys on pieni ja vedenpaine-ero kohtuullinen, vuotoveden mukana kulkeutuva hienoaines yleensä tukkii lukkoliitokset. Kun maapohjan vedenläpäisevyys ja paine-ero seinän eri puolten välillä kasvaa, lukkoliitosten tukkeutuminen vähenee. Karkearakeisissa maissa hienoaines ei tuki lukkoliitoksia, mutta seinän vesitiiviyttä voidaan parantaa esimerkiksi

täyttämällä lukourat tiivistysmassalla ennen ponttien asennusta. (RIL 263-2014, 48–49.)

### 2.3.3 Porapaaluseinä

Porapaaluseinä muodostuu toisiinsa lukkoprofiilein liittyvistä teräspaaluputkista. Paaluputket asennetaan käyttäen avarrinkruunua. Porapaaluseinän jäykkyyttä, taivutuskestävyyttä ja pystykantavuutta voidaan varioida muuttamalla seinässä käytettävän paaluputken halkaisijaa, seinämäpaksuutta ja teräslaatua. Paaluputket voidaan lisäksi raudoittaa ja betonoida sisäpuolelta. (RIL 263-2014, 51.)

Porapaaluseinää käytetään useimmiten erittäin vaativissa kaivannoissa, kun rakennuskustannuksiltaan edullisemmat tukiseinätyypit eivät sovellu kohteeseen. Porapaaluseiniä käytetään esimerkiksi, kun (RIL 263-2014, 53)

- maapohjassa on kivisiä/lohkareisia kerroksia tai hyvin tiiviitä kitkamaakerroksia
- tukiseinältä edellytetään suurta taivutusjäykkyyttä
- tukiseinälle sallitut sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat ovat pienet
- voidaan hyödyntää tukiseinän upotusta halutulle syvyydelle kallioon tai hyödyntää tukiseinää pystykuormia kantavana rakenteena.

Porapaaluseinää voidaan käyttää kaikissa pohjaolosuhteissa. Seinä voidaan asentaa kiviseen ja lohkareiseen maakerrokseen ja tällaisten maakerrosten läpi kallioon. (RIL 263-2014, 52.)

Porapaaluseinä ei ole sellaisenaan vesitiivis, vaan seinän vesitiiviyys riippuu maapohjan vedenläpäisevyydestä ja vedenpaine-erosta seinän eri puolten välillä. Kun vedenläpäisevyys on pieni ja vedenpaine-ero kohtuullinen, vuotoveden mukana kulkeutuva hienoaines yleensä tukkii lukkoliitokset. Kun maapohjan vedenläpäisevyys ja paine-ero seinän eri puolten välillä kasvaa, lukkoliitosten tukkeutuminen vähenee. Karkearakeisissa maissa hienoaines ei tuki lukkoliitoksia, mutta seinän vesitiiviyttä voidaan parantaa esimerkiksi

täyttämällä lukkourat tiivistysmassalla ennen paaluputkien asennusta. (RIL 263-2014, 52.)

## 2.4 Tukiseinän tuenta

### 2.4.1 Vaakatuenta

Tukiseinä voidaan tukea vaakakuormia vastaan kaivannon ulkopuolisin vetoankkurein, kaivannon sisäpuolisin puristusrakentein tai näiden yhdistelmin (RIL 263-2014, 59).

Ulkopuolista tuentaa käytetään tyypillisesti laajoissa kaivannoissa, sekä syvissä kaivannoissa, jotka tuetaan useammalta tasolta. Ulkopuolinen tuenta ei vie tilaa kaivannossa, sillä kaivannon sisäpuolelle ei tule tilaa vieviä tukirakenteita. Suurissa kaivannoissa ulkopuolinen tuenta saattaa olla teknisesti yksinkertaisempi ratkaisu kuin sisäpuolinen tuenta. (RIL 263-2014, 60.)

Sisäpuolista tuentaa käytetään useasti kapeammissa kaivannoissa, sekä laajemmissa kaivannoissa, mikäli tukirakenteet eivät aiheuta kohtuutonta haittaa rakentamiselle, tai kun kaivantoa ei voida tukea ulkopuolisesti ympäristöolosuhteiden tai tukiseinän alapään pystykantavuuden puutteiden vuoksi. (RIL 263-2014, 60.)

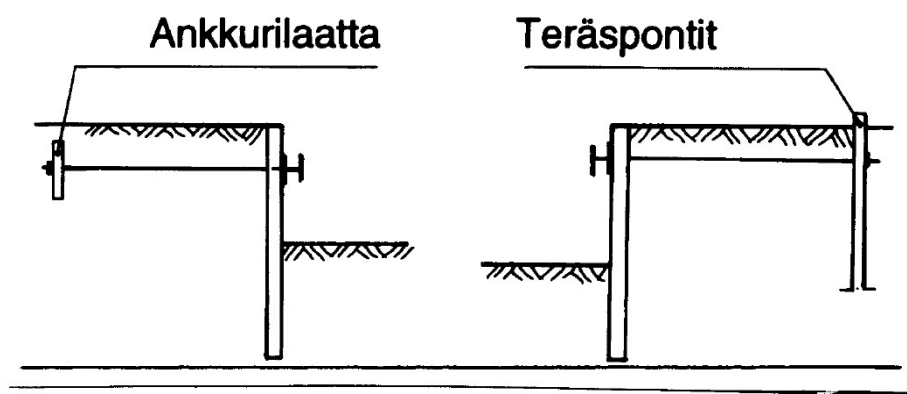
### **Ulkopuolinen tuenta**

Ulkopuolinen tuenta tarkoittaa tukiseinän ankkuroimista vetoankkureilla.

Ankkurointityyppejä ovat (RIL 263-2014, 61)

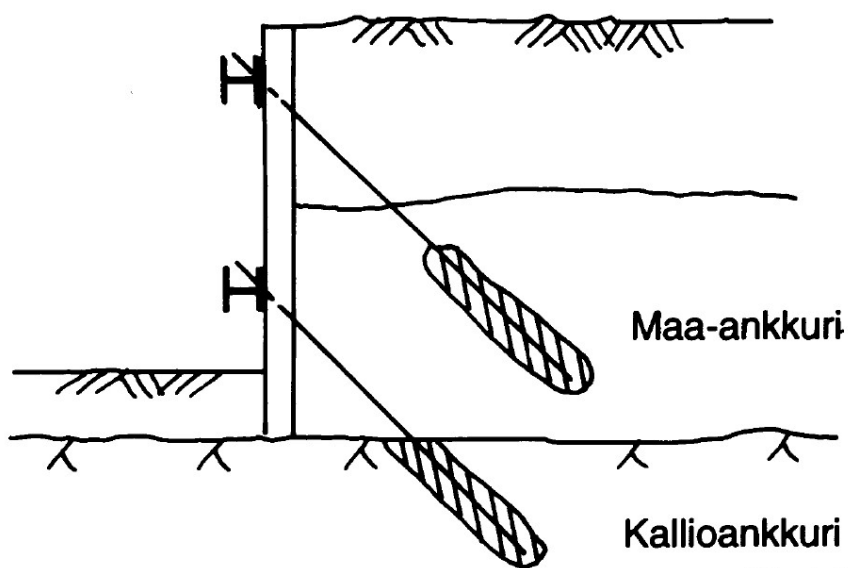
- kallioankkuri, joka porataan ja ankkuroidaan kallioon sementtilaastilla
- maa-ankkuri, joka porataan ja ankkuroidaan tiiviiseen kitkamaakerrokseen sementtilaastilla
- passiiviankkuri, joka ankkuroidaan esimerkiksi ankkuripontteihin tai ankkurilaattaan.

Mikäli kaivannon tukemiseksi riittää yksi tukitaso ja kaivannon ympäristö sen sallisi, on yksinkertaisin tapa käyttää ankkuroinnissa vaakasuoria vetotankoja, jotka kiinnitetään riittävän kauaksi tukiseinän taakse rakennettuun ankkurilaattaan tai lyötyihin teräspontteihin. Ankkurilaattaan tai teräsponttiin tukeutuva vaakasuuntainen tuenta on esitetty kuvassa 2. (Tuhola 1998, 586.)



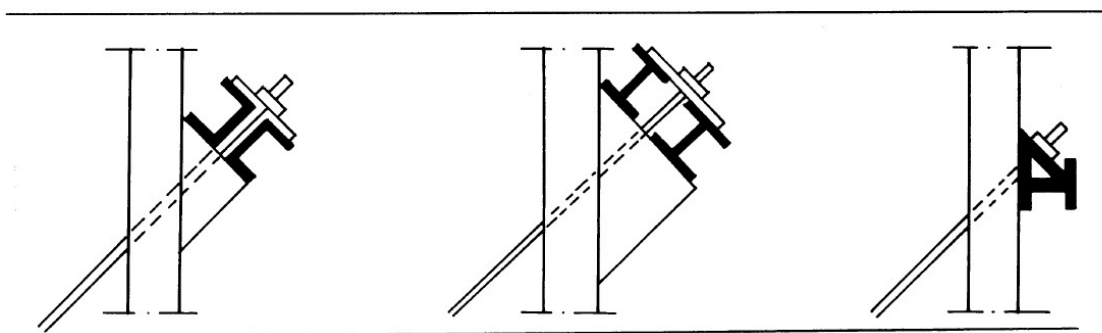
Kuva 2. Ulkopuolinen tuenta ankkurilaattaan tai teräspontteihin (Tuhola 1998, 586).

Jos tukiseinä on tuettava usealta tasolta, käytetään poraamalla tehtyjä ja injektoimalla kiinnittyviä ankkureita. Näissä maa- ja kallioankkureissa käytetään esijännitysteräksiä, vetotankoja tai vaijeripunoksia. Maa- ja kallioankkurit tehdään porakonekairauksen avulla ja ankkurit asennetaan yleensä 30–45 asteen kulmaan. Vinoon poratun ankkurin ankkurivoima aiheuttaa tukiseinälle suuren pystysuuntaisen kuormituksen, joten tukiseinän pystysuuntainen kantokyky tulee varmistaa. Tukiseinän ankkurointi maa- ja kallioankkurein on esitetty kuvassa 3. (Tuhola 1998, 586.)



Kuva 3. Tukiseinän ankkurointi maa- ja kallioankkurein (Tuhola 1998, 586).

Kaivannon sisäpuoliset tasauspalkit (ankkuripalkit) tehdään tavallisesti U- tai HE-profiileista. Erilaiset ankkuripalkkiperiaatteet esitetty kuvassa 4. (Tuhola 1998, 586–587.)



Kuva 4. Teräsponsittiseinän sisäpuoliset ankkuripalkit (Tuhola 1998, 587).

Useasta tasosta tuetun tukiseinän vieressä kaivutyö tulee suorittaa vaiheittain tukitasolta toiselle. Edellisen tukitason ankkureiden jännittämisen jälkeen kaivu ulotetaan seuraavalle tukitasolle. (Tuhola 1998, 586.)

Ankkurointeja suunniteltaessa ja ankkurointityyppiä valittaessa on tärkeää ottaa huomioon ankkurien käyttöikä, ankkurin maaporauspituus, ympäröivät rakenteet sekä ankkurien kiinnitys tukiseinään. (RIL 263-2014, 61.)

### **Sisäpuolinen tuenta**

Sisäpuolisena tuentana käytetään useimmiten vaakatukia, jotka tukeutuvat vastakkaisiin seiniin. Mikäli kaivanto on laaja ja matalahko, saattaa olla edullista käyttää vinotukia, jotka tukeutuvat alapäästään kaivannon keskelle tehtyihin betonirakenteisiin. Sisäpuolisesti tuetuissa kaivannoissa on varottava aina kuormittamasta tavaroita tukien päälle, ellei tukia ole suunniteltu kestämään näitä kuormia. (Tuhola 1998, 585.)

Sisäpuolisessa tuennassa voidaan käyttää periaateratkaisuina esimerkiksi (RIL 263-2014, 62–63)

- puristussauvoja, joilla tukiseinät tuetaan vastakkain
- betonilaattaa, jolla tukiseinät tuetaan vastakkain lopullisella rakenteella
- puristussauvoja, joilla tukiseinät tuetaan kaivannon sisäpuoliseen rakenteeseen
- vaiheittainen kaivu ja kaivannon sisäpuoliset passiiviankkurit.

Sisäpuolista tuentaa suunniteltaessa tärkeitä seikkoja ovat puristussauvojen mitoitus erilaisille kuormituksille, kaivannon kaivutyön ja rakenteiden rakentamisen huomioon ottaminen, mahdolliset muodonmuutokset esijännityksen puuttuessa sekä rakenteen kuormitusten kestokyky käytettäessä sisäpuolista rakennetta puristussauvojen tukena. (RIL 263-2014, 63.)

## 2.4.2 Tukiseinän alapään tuenta

### **Tuenta pystykuormia vastaan**

Kaivannon tukiseinän alapään tavoitetaso suunnitellaan yleensä niin, että pystykuormat siirtyvät alapäässä riittävän kantavaan maakerrokseen. Mikäli kantava maakerros on todella syvällä, voidaan tukiseinä rakentaa siirtorakenne ankkurien kohdalle. Teräsponttiseinässä tämä tarkoittaa sitä, että vain ankkurien kohdalla olevat pontit upotetaan kantavaan maakerrokseen asti, kun muut pontit jäävät ylemmälle tasolle. (RIL 263-2014, 64.)

### **Tuenta vaakakuormia vastaan**

Tukiseinän alapään tuenta voi perustua alapään tukeutumiseen kallioon, alapään ulokkeena toimimiseen ja ylempään tukitasoon tukeutumiseen tai tukeutumiseen maan passiivipaineeseen kaivutason alapuolella. (RIL 263-2014, 64.)

Porapaaluseinän ja settiseinän, jonka pystypalkit ovat porapaaluja, alapäät voidaan tukea kallioon upottamalla porapaalut ehjään kallioon. Teräsponttiseinät, settiseinän pystypalkit ja kaivinpaaluseinät tuetaan kallioon juuripultein. Juuripultteja voidaan asentaa teräsponttien päihin, settiseinän pystypalkkiin tai kaivinpaalun raudoitukseen hitsattujen asennusputkien avulla, porausputkien avulla tai paljastamalla kallion pinta ja poraamalla juuripultit suoraan kallioon. Tukiseinän alapäätä voi tukea juuripulttien lisäksi juuripalkilla, jota käytetään myös tiivistämään tukiseinän ja kallion väli. (RIL 263-2014, 64–65.)

## 3 Tuetun kaivannon mitoituksessa huomioitavat asiat

### 3.1 Kuormat

Tukirakenteita mitoitettaessa otetaan huomioon standardin SFS-EN 1997-1 (2.4.2) mukaiset kuormat

- maan, kallion ja veden paino
- jännitykset maapohjassa
- maanpaineet
- vapaan veden paineet, mukaan lukien aallon aiheuttamat paineet
- pohjavedenpaine
- suotovirtauksesta aiheutuvat voimat
- pysyvät ja hyötykuormat rakenteista
- pintakuormat
- ankkurivoimat
- kuorman poistuminen tai maan kaivu
- liikennekuormat
- kaivostoiminnasta tai muusta luolan tai tunnelin rakentamisesta aiheutuvat liikkeet
- kasvillisuuden, ilmaston tai kosteusvaihtelujen aiheuttama paisuminen ja kutistuminen
- maamassojen virumisen, liukumisen tai painuman aiheuttamat siirtymät
- hajoamisesta, hajaantumisesta, maatumisesta, itsetiivistymisestä ja liukenemisestä aiheutuvat siirtymät
- maanjärjestyksistä, räjäytyksistä, tärinästä tai dynaamisista kuormituksista aiheutuvat siirtymät ja kiihtyvyydet
- lämpötilan vaikutukset mukaan luettuna routanousu
- jääkuormat
- maa-ankkurien ja tukien esijännitys

- negatiivinen vaippahankaus (-kitka).

Tuetun kaivannon suunnittelussa ja mitoituksessa tulee varmistaa, että (RIL 263-2014, 99)

- kaivannolla on riittävä kokonaisstabiileetti
- rakenneosat, kuten seinät, ankkurit, vaakapalkit ja puristussauvat ja näiden liitokset eivät murru
- kaivannoissa ei tapahdu maapohjan ja rakenteellisen osan yhteistä murtumista
- tukiseinän siirtymän tulee pysyä tukiseinän toiminnan ja kaivannon ympäristövaikutusten sallimissa rajoissa
- kaivannon vesitiiveys on riittävä.

### 3.1.1 Maanpaine

Tukiseinää kuormittavaa kuormaa kutsutaan aktiiviseksi maanpaineksi. Aktiivinen maanpaine vaatii muodostuakseen tukiseinän siirtymän. Mikäli tukiseinä on täysin siirtymätön, on maanpaine aktiivista maanpainetta suurempi ja sitä kutsutaan lepopaineksi. Kaivutason alapuolella olevaa tukiseinää tukevaa kuormaa kutsutaan passiivipaineksi. Passiivipaine vaatii muodostuakseen tukiseinän siirtymän. Passiivipaine voi muodostua myös tukiseinää kuormittavalle puolelle, mikäli ankkuroidun tukiseinän ankkurit jännitetään laskentakuormaa suuremmalle kuormalle. (RIL 263-2014, 79.)

Maanpaine lasketaan ottamalla huomioon maanpinnan kaltevuus, pohjasuhteet, pohjaveden taso ja sen virtaustila sekä tukiseinärakenteen muoto, asento, jäykkyys ja liikkumismahdollisuudet. Maanpaineen suuruuteen ja jakautumiseen vaikuttaa myös tukiseinän tuentatapa. (RIL 263-2014, 79.)

### 3.1.2 Vedenpaine

Kaivannon tukiseinät on mitoitettava niille vedenpinnan tasoille, joissa vedenpinta voi vaihdella kaivannon sisäpuolella ja ulkopuolella tukiseinän

käyttöaikana. Korkeimmillaan vedenpinnan taso mitoituksessa voi olla tukiseinän yläreunan taso. (RIL 263-2014, 88.)

Mikäli kaivannon pohjalla on vettä läpäisemättömiä tai huonosti läpäiseviä kerroksia, on tutkittava nosteen vaikutus ja varmistettava, että pohjan nousua ei pääse tapahtumaan. (RIL 263-2014, 88.)

### 3.1.3 Pintakuormien aiheuttama maanpaine

Tukiseinien mitoituksessa on otettava huomioon kaivannon ulkopuolella olevat pintakuormat. Pintakuormia ovat kaikki maanpainetta synnyttävällä alueella sijaitsevat rakenteet ja kaivannon reunalle nostettavat kaivumaat. (RIL 263-2014, 91.)

## 3.2 Mitoitus

Kaivanto mitoitetaan siten, että maapohja ja tukirakenne kestävät niille kaikissa eri työvaiheissa tulevat kuormitukset riittävällä varmuudella, ja että ympäristössä syntyvät siirtymät ja painumat pysyvät sallituissa rajoissa. (RIL 263-2014, 99.)

Kaivannon mitoituksessa tulee varmistaa, että (RIL 263-2014,99)

- kaivannolla riittävä kokonaisstabiliteetti
- rakenneosat, kuten seinät, ankkurit, vaakapalkit ja puristussauvat ja näiden liitokset eivät murre
- kaivannossa ei tapahdu maapohjan ja rakenteellisen osan yhteistä murtumista
- tukiseinän siirtymän tulee pysyä tukiseinän toiminnan ja kaivannon ympäristövaikutusten sallimissa rajoissa
- kaivannon vesitiiveys on riittävä.

## 4 Vesitiiviin kaivannon suunnittelu ja kaivannon kuivanapito

### 4.1 Vesitiivis kaivanto

Kaivannolta ei yleensä vaadita täydellistä vesitiiviyttä. Vesitiiviillä kaivannolla tarkoitetaan vettäpidättävää kaivantoa, jossa sallittu vuotovesimäärä on rajoitettu pieneksi.

Kaivannon tulee olla vesitiivis seuraavissa tapauksissa, joissa (RIL 263-2014, 66)

- kaivantoon tuleva vuotovesimäärää on rajoitettava ympäristön pohjavesitason säilyttämiseksi
- kaivantoon tulevaa vuotovesimäärää on rajoitettava kaivannon kuivanapidon mahdollistamiseksi
- kaivantorakenteet toimivat osana pysyvää patorakennetta.

### 4.2 Kaivannon kuivanapito

Kaivannon pohja tulee pitää kuivana, kun rakennustyöt kaivannossa tehdään kuivatyönä. Siten kaivantoon tulee yleensä järjestää sadevesien ja sulamisvesien kuivatus. (RIL 263-2014, 69.)

Sadevesien kuivatus riittää, kun kaivannon alin kaivutaso on vähintään n. 0,5...1,0 metriä pohjavesitason alapuolella. Kun kaivutaso on tätä alempana, tulee selvittää pohjaveden alennustarve ja suunnitella sen toteutus. Kaivupohjan tulee pysyä mahdollisimman häiriintymättömänä ja säilyttää kantavuutensa pohjaveden alentamisen aikana. (RIL 263-2014, 70.)

Rakennustyön aiheuttamaa työnaikaista pohjaveden alenemista voidaan rajoittaa tukiseinätyypin valinnalla. Työnaikainen kuivanapitotapa vaikuttaa

tukiseinän mitoittamiseen. Sen vuoksi kuivanapitotavasta on päätettävä samanaikaisesti tukiseinätyyppejä valitessa. (Tuhola 1998, 579.)

## 5 Kaivannon tuentatyyppin vaikutus rakentamiseen

### 5.1 Tuentatyyppin vaikutus rakentamisen aikatauluun

#### 5.1.1 Teräsponttiseinän rakentaminen

Teräsponttiseinän rakentamisen aikatauluun vaikuttavat käytettyjen ponttien pituus, maaperän kivikkoisuus ja ponttiseinän vaakatuennan tarve. Ponttiseinä on usein tukiseinätyypeistä nopein rakentaa ja purkaa. Käytetyn pontin paksuudella ei ole olennaista vaikutusta ponttien käsittelyyn ja ponttiseinän rakentamisen aikatauluun. Käytetyn teräspontin paksuudella saattaa olla välillisesti vaikutusta aikatauluun pontituskaluston vaatimien työpetien ja työmaateiden rakentamisen kautta, kun raskaampien ponttien käyttäminen asettaa vaatimuksia myös suurempien työkonoiden käyttöön. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Ponttiseinän sisäpuolinen vaakatuenta puristusrakenteita käyttäen on usein asennusaikataulultaan nopein ja tehokkain tapa tukea ponttiseinää vaakakuormia vastaan. Mikäli ponttiseinää ei voida kaivannon laajuuden, tarvittavien tukitasojen määrän tai kaivannon sisäpuolelle rakennettävien rakennelmien vuoksi tukea sisäpuolisella tuennalla, on kallio- ja maa-ankkureilla ponttiseinän tuenta huomattavasti aikaa vievämpi vaihtoehto. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Maa- ja kallioankkurien aikatauluvaikutukseen vaikuttavat ankkurien pituus, punosten juotospituus, juotoksen kovettumisaika ja ankkurin jännittäminen. Erilaisilla ankkureiden juotosmassoilla voi olla eri pituisia lujittumisaikoja, joihin vaikuttavat myös vaaditun jättövoiman asettamat vaatimukset massalle ja sen lujittumiselle. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Ponttiseinän ankkuroinnin aikatauluvaikutukseen vaikuttaa myös tukitasojen ja itse ankkurien määrä. Mikäli tukitasoja on paljon, joudutaan työ tekemään matalina kaivuukerroksina, rakentamaan työskentelyalustat useaan kertaan ja

kaivuutyö keskeytyy joka tukitasolla aina ankkurointien rakentamisen, juottamisen ja jännittämisen ajaksi. Ankkurien määrän kasvaessa myös hitsaustyötunnit kasvavat, kun rakennettavia ankkurilaatikoita on enemmän. Usein voikin olla aikataulullisesti kannattavaa tutkia mahdollisuutta ponttien jäykkyyden kasvattamista, joka voisi mahdollistaa tukitasojen ja ankkurien määrän vähentämisen. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Teräsponttiseinä on nopea purkaa, ja pontit ovat usein käytettävissä uudelleen useampia kertoja. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

### 5.1.2 Porapaaluseinän rakentaminen

Porapaaluseinän rakentaminen on työvuorossa saavutettavalta neliömäärältään pienempi verrattuna ponttiseinään. Porapaaluseinän etuna onkin työmaan kannalta se, että porapaaluseinä voidaan rakentaa myös kivikkoiseen maaperään. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Porapaaluseinän rakentamisen aikatauluun vaikuttavat suurimmin paalun koko, sekä upotussyvyys kallioon ja kallion laatu. Kallion laadussa vaikuttavia tekijöitä on kallion kovuus, mahdollinen kaltevuus ja rikkoisuus. Kalteva kallionpinta saattaa lähteä siirtämään porakärkeä, jolloin kallioporauksen aloitus voi olla aikaa vievämpää. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Porapaaluseinää rakennettaessa on mahdollista, että teräspaaluja tulee jatkaa työn aikana. Tällöin jokainen tehtävä jatko aiheuttaa seisahduksen varsinaiseen poraustyöhön jatkon hitsaamisen ajaksi. Mikäli porapaaluseinää rakennetaan korkeuden puolesta niin ahtaassa tilassa, että ei mahduta nostamaan tavanomaisia tehdasmittaisia paaluja pystyyn, tulee työn aikataulua suunniteltaessa ottaa huomioon lisääntynyt jatkojen teko. Tällaisia ahtaita tiloja saattaa olla esimerkiksi olemassa olevien siltojen alle rakennettavat porapaaluseinät. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Porapaaluseinän purkaminen on mahdollista, mutta vain tietyin edellytyksin. Porapaaluseinän paaluja on mahdollista nostaa vibraamalla, mutta tämä

edellyttää, että porapaaluja ei ole injektoitu. Mikäli seinän alapää on injektoitu, tulisi injektointisementti ensin rikkoa esimerkiksi poraamalla, joka ei ole kuitenkaan varma keino. Usein kuitenkin porapaaluseinät ovat suunniteltu pysyviksi rakenteiksi. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

## 5.2 Tuentatyyppien vaikutus rakentamisen kustannuksiin

Tuentatyyppistä riippuen kustannuksiin vaikuttavat työmenekki-, materiaali- ja kaivannon kuivana pitämisen kustannukset.

### **Työmenekkien aiheuttamat kustannukset**

Työmenekiltään pontti- ja porapaaluseinien erot tulevat esille asennus- ja tuentavaiheissa. Ponttien iskeminen ponteille sopivaan maaperään on nopeampaa, kuin porapaalujen poraus. Ponttiseinän m<sup>2</sup>-saavutus työtunnille on siis suurempi. Kuitenkin vaakatuennan tarve porapaaluseinällä on yleisesti vähäinen, jolloin aikataulussa porapaaluseinän rakentaminen voi olla kokonaiskuvassa kannattavampaa, sillä vaakatuentojen rakentaminen ponttiseinäkaivannossa voi olla itse ponttien iskemistä työläämpi ja aikaa vievämpi työvaihe. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

### **Materiaalien aiheuttamat kustannukset**

Ponttiseinässä ja porapaaluseinässä käytettävä materiaali on teräs. Koska käytettävä materiaali on samaa, tulee materiaalikustannusten erot käytännössä käytetyn teräksen määrässä. Ponttiseinä saavuttaa suuremman hyötysuhteen kg/m<sup>2</sup> kuin porapaaluseinä, ja tällöin ponttiseinä itsessään on usein materiaaleiltaan edullisempi vaihtoehto kuin porapaaluseinä. Mikäli ponttiseinä on vaakatuettu joko sisäpuolisella tuennalla tai ulkopuolisilla ankkurituennalla, tulee kuitenkin ponttiseinän kustannuksiin lisätä tuentojen materiaalikustannukset. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

### 5.3 Pohjaveden alentamisen kustannukset ja aikatauluvaikutukset

Kaivannon kuivana pidon ja varsinkin pohjaveden hallinnalla voi olla suuria vaikutuksia työmaan aikatauluun ja kustannuksiin. Pohjaveden alentamiseen työnaikaisesti on monia toteutusvaihtoehtoja, joiden jokaisen kustannukset ja aikatauluvaikutukset on arvioitava kohdekohtaisesti. (Tamminen, M., haastattelu 22.10.2024.)

Pohjavettä on mahdollista alentaa työnaikaisesti erilaisilla pumppausmenetelmillä, joita ovat esimerkiksi tyhjiöpumppaus, suodatinkaivopumppaus ja pumppaus suoraan kaivetusta kaivannosta. Pohjaveden alennustapa valitaan huomioiden maa- ja kallioperäolosuhteet, pohjavesiolosuhteet, maaperän rakeisuus ja vedenläpäisevyys, sekä kohteen vaatimukset. (Väyläviraston ohje 35/2020.)

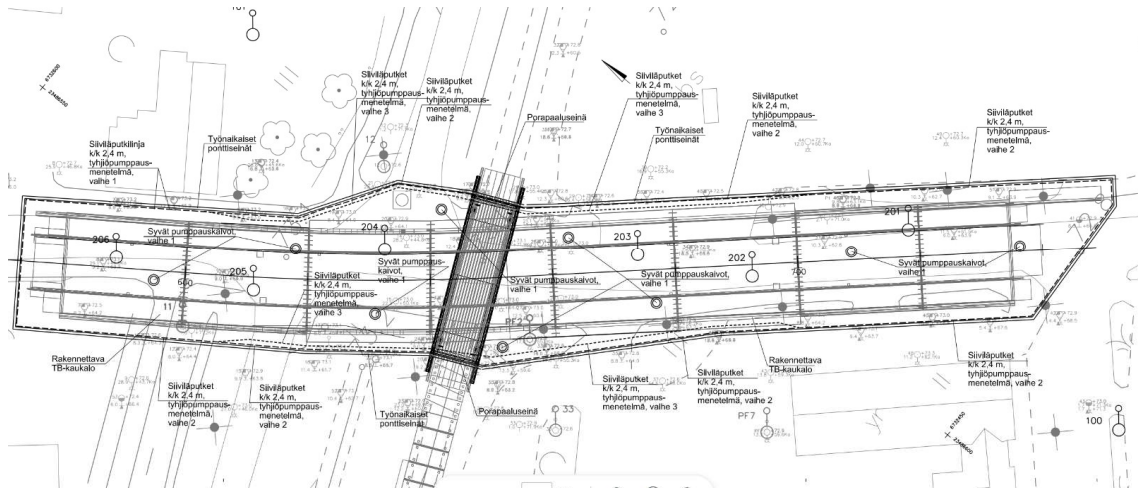
## 6 Kyrön alikulkusillan tukiseinäsuunnitelmat

### 6.1 Yleistä kohteesta

Esiteltävänä kohteena on urakka alikulkusillan rakentamisesta eli Kyrön AKS:n rakentaminen. Kohteessa korvattiin maantiellä 2250 Pöytyän kunnassa, Kyrön taajamassa, oleva tasoristeys uudella Kyrön alikulkusillalla. Alikulku toteutettiin paikallavalurakenteena. Rakenteet tulivat suurelta osalta niin syväälle, että työt oli toteutettava tuetun kaivannon sisällä. Mahdollisia tuentaratkaisuja olivat ankkuroitu ponttiseinä ja ankkuroimaton porapaaluseinä. Maaperän ollessa hyvin soveltuvaa pontitukselle oli suunnittelun lähtökohtana suunnitella tukiseinä käyttämällä pontteja kalliimman ja järeämmän porapaaluseinän sijaan. Urakan tilaajana toimi Liikennevirasto sekä katutöiden osalta Pöytyän kunta.

Kohteessa tehtiin pohjatutkimuksia paino-, porakone-, puristinheijari-, CPTU- ja siipikairauksilla. Useimmat kairaukset päättyivät kallioon, kiveen tai lohkareseen tai tiiviiseen maakerrokseen. Maanpinta alueella on keskimäärin tasossa +72...+74 ja kairaukset ovat päättyneet tasoon +65...+55. Syvimmillään kairaus on ulottunut tasolle +44.4, jossa kairaus on päättynyt kallioon. Kuvassa 5 on esitetty ote kohteen pohjatutkimuskartasta.





Kuva 6. Suunnitellut pohjavedenalennusmenetelmät.

Hanke on kilpailutettu Liikenneviraston teettämällä suunnitelmissa (jäljempänä suunnitelma 1). Urakoitsija on havainnut suunnitelmissa kehittämismahdollisuuden ja yhteistyössä Tilaajan kanssa teettänyt vaihtoehdoisen suunnitelmaratkaisun (jäljempänä suunnitelma 2).

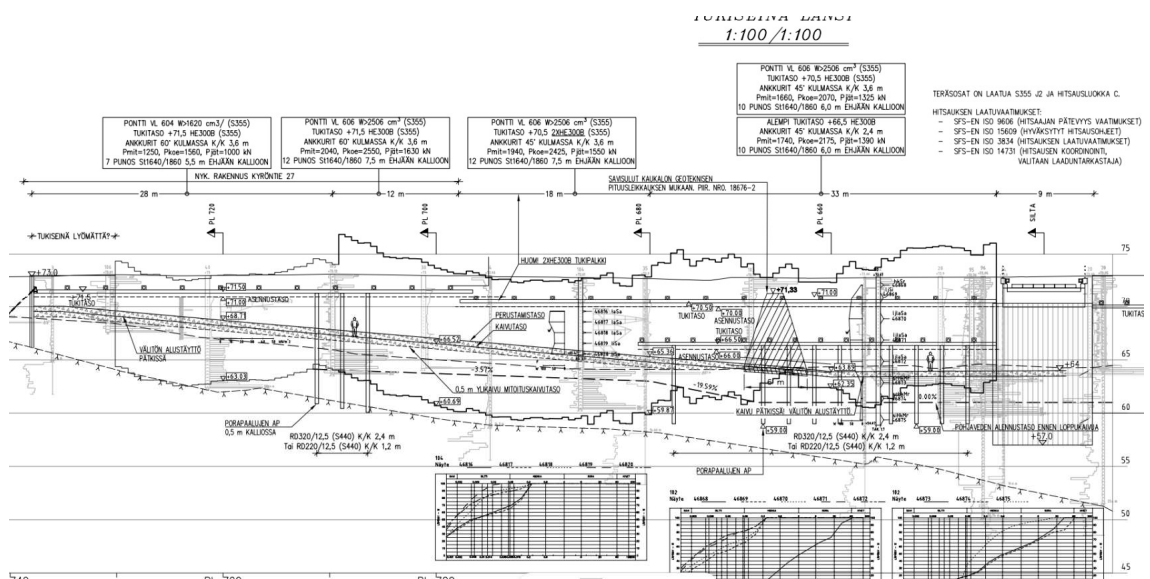
## 6.2 Suunnitelma 1, urakkalaskennan aikainen

Urakkalaskennan aikaisessa suunnitelmassa tuetun kaivannon tuentatyyppinä on käytetty teräsponttiseinää ja kallioankkureita. Uuden sillan kohdalla tuettu kaivanto on toteutettu pysyvänä porapääaluseinä. Kuvassa 7 on esitetty pohjavahvistuskartassa ponttiseinien ja porapääaluseinien sijainti sekä kallioankkureiden sijainnit ja asennuskulmat.



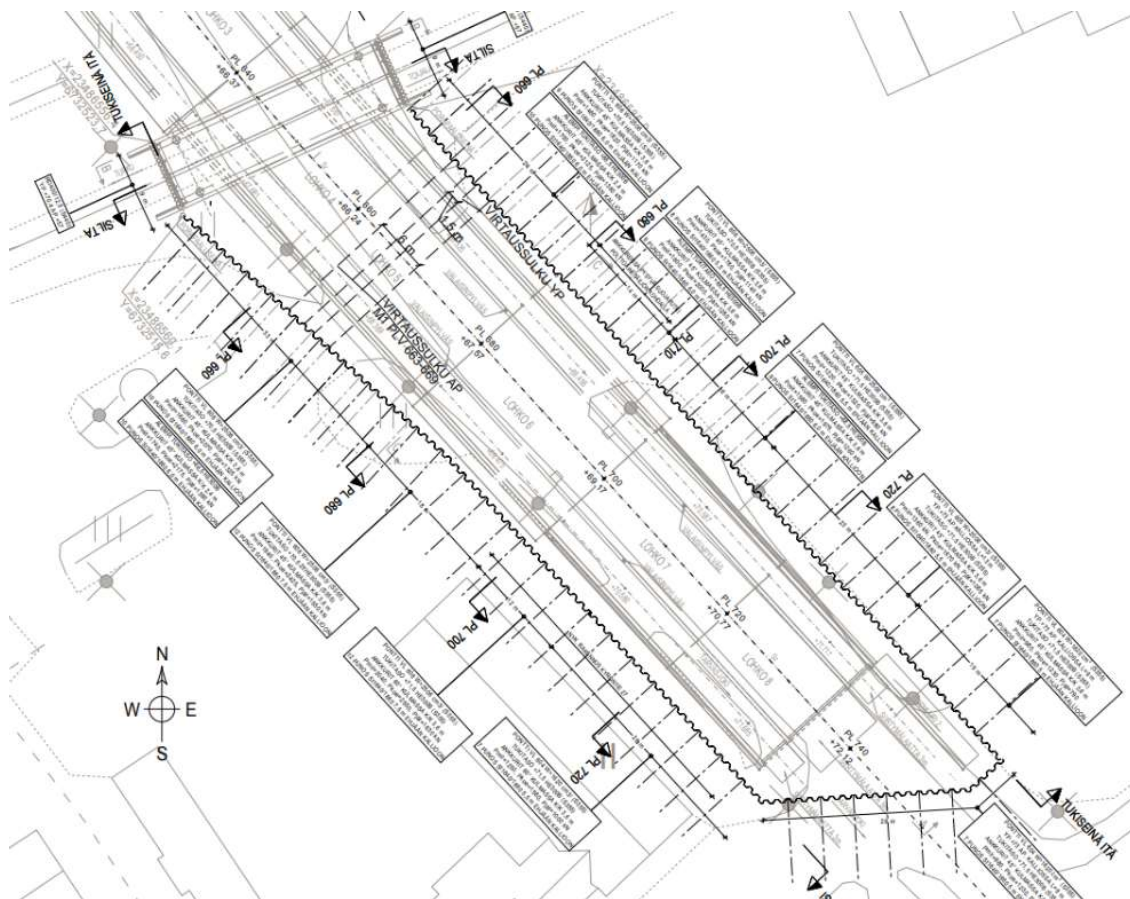
### 6.3 Suunnitelma 2, urakka-aikana tehty suunnitelma

Urakkasopimuksen solmimisen jälkeen urakoitsijan teettämässä suunnitelmassa tuetun kaivannon tuentatyyppinä on käytetty urakkalaskennan aikaista suunnitelmaa vahvempaa ponttia ja kallioankkureita. Ponttina on käytetty L606:ta, jonka taivutusvastus on  $2\,500\text{ cm}^3/\text{m}$ . Sillan kohdalla käytettiin pysyvää porapaaluseinää suunnitelma 1 tavoin. Kuvassa 9 on esitetty kaivannon länsipuolen tuentasuunnitelma, jossa on nähtävissä sillan porapaaluseinä, ja kahden ankkuritason käyttö L606-ponttiseinällä.



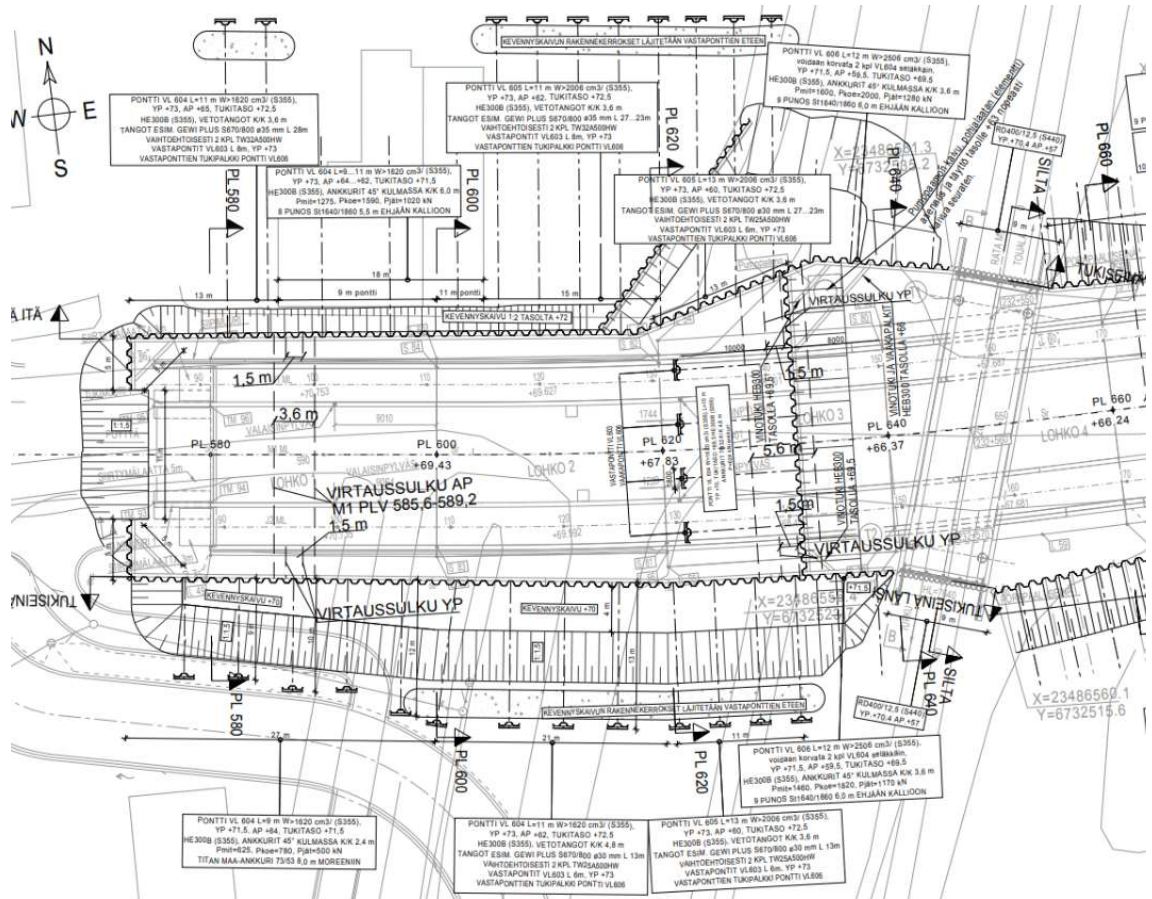
Kuva 9. Ote urakka aikana teetetystä suunnitelmasta, jossa on nähtävissä vain kaksi tukitasoa teräsponttiseinässä.

Urakan aikana teetetyn suunnitelman suunnittelu eteni työmaan töiden etenemisen mukana. Suunnitelmat tehtiin osissa, ja ensimmäisenä tehtiin sillan eteläpuolisen kaivannon suunnitelmat. Kuvassa 10 on esitetty eteläpuolen kaivannon tasopiirustus.



Kuva 10. Ote urakan aikana teetetystä suunnitelmasta, sillan eteläpuoli.

Suunnitelma 2:n suunnittelun edetessä työmaan käynnissä olon aikana tuli tarpeelliseksi jakaa kaivanto kahteen alueeseen. Sillan eteläpuolinen tuettu kaivanto suunniteltiin ja toteutettiin ensimmäisenä, ja sillan pohjoispuoleinen kaivanto jälkimmäisenä. Etelä- ja pohjoispuolen väliin suunniteltiin myös väliaikainen poikkiseinä teräsponteista. Pohjoispuolen suunnitelmissa pystyttiin myös jättämään pois osa kallioankkureista ja korvaamaan ne vastaponteilla. Kuvassa 11 on esitetty vastaponttien sijaintia.



Kuva 11. Ote urakan aikana teetetystä suunnitelmasta, sillan pohjoispuoli. Kuvassa havaittavissa laskenta-aikaiseen suunnitelmaan poiketen vastaponttien käyttö ankkurien sijasta.

#### 6.4 Valittu toteutus suunnitelma

Kyrön AKS:n rakentamisen työmaalla päädyttiin käyttämään urakan aikana tehtyä suunnitelmaa, jossa käytettiin L606 ponniteja. Suunnitelman valintaan vaikutti tuetun kaivannon rakentamisajan lyheneminen. Laskennallisesti Kyrön AKS:n rakentamisen työmaalla jokaisen tukitason läpimenoaika olisi ollut 5–7 viikkoa, jolloin aikatauluun saatiin yhden tukitason vähenemisellä 5-7 viikon säästö. Suunnitelmassa oli alkuperäistä urakkalaskennassa ollutta suunnitelmaa enemmän rautakiloja, mutta kokonaiskustannuksiltaan aikataulusäästö ja porattujen ankkurien väheneminen oli kannattavampi vaihtoehto. Pohjaveden hallinta toteutettiin alkuperäisen laskenta-aineiston

suunnitelmien mukaisesti, jolloin tukiseinäsuunnitelmien muuttuminen ei vaikuttanut pohjavesien hallintaan.

Aikataulu oli kyseiselle projektille kriittinen, sillä junaliikenteeseen vaikuttavien töiden työajat ja junaliikenteeseen vaikuttavat katkot oli sovittu jo ennen urakan alkamista.

Suunnitelmavaihtoehtojen kustannukset arvioitiin ennalta samoiksi ja niitä seurattiin tarkasti koko hankkeen ajan. Jälkilaskennassa havaittiin, että korkeammista materiaalikustannuksista huolimatta läpimenoajan lyhentäminen vaikutti kokonaiskustannuksiin niin paljon, että kokonaistaloudellisesti suunnitelmavaihtoehto 2 oli edullisempi.

Tehdyt havainnot ovat hankekohtaisia ja työnaikaiseen seurantaan perustuvia. Suunnitelman toteutuksen onnistuminen on kuitenkin aina tapauskohtaista ja riippuvainen useista osatekijöistä, kuten valikoiduista työmenetelmistä, käytettävissä olevista resursseista ja projektijohdosta.

(M. Tamminen, henkilökohtainen tiedonanto, 22.10.2024)

## 7 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia tapoja tukea kaivantoja. Yleisimmät tuentamenetelmät ovat teräsponttiseinät ja porapaaluseinät tai niiden yhdistelmät. Kaivannon tukiseiniä on mahdollista tukea myös ulko- tai sisäpuolisilla tuennoilla, joita ovat erilaiset palkit ja ankkuroinnit. Jokaisen tuentatyyppin rakentamisen aikatauluun ja kustannuksiin vaikuttavat erilaiset pohjaolosuhteet, materiaalimenekit, työmenekit ja pohjavesiolosuhteet. Työn tarkoituksena oli tutkia näitä erilaisia vaikutteita, jotta voitiin tutustua toteutetun kohteen, Kyrön alikulkusillan, tuetun kaivannon kaksiin eri suunnitelmiin.

Suunnitelmien erilaisuudesta ja suunnittelijoiden lähtötietojen eriäväisyyksistä voidaan päätellä, että tuettuja kaivantoja voidaan suunnitella tehtäväksi hyvin eri tavoin, vaikka suunnitelmat täyttäisivätkin määräykset ja suunnitelmien laskelmat olisivat oikeellisia. Usein hankkeissa kannattavin suunnitelmavaihtoehto löytyy urakoitsijan ja suunnittelun yhteistyönä. Kannattavuuteen vaikuttaa urakoitsijan käytössä olevat materiaalit ja resurssit.

Hankkeen toteutukseen valittu suunnitelma osoittautui suuremmista materiaalikuluista huolimatta kokonaiskustannuksiltaan yhtä edulliseksi, kuin alkuperäinen suunnitelma. Kehitetyn suunnitelman etuna oli kuitenkin huomattavasti lyhyempi urakka-aika, sekä aikatauluun liittyvien riskien parempi hallinta. Aikatauluun vaikutti suurimmalta osalta se, että kyettiin vähentämään ankkurien ja tukitasojen määrää, jolloin aikaa säästettiin sekä kaivuuvaiheessa, että ankkurien asentamisessa. Aikatauluun liittyvät riskit olivat myös paremmin hallittavissa, sillä työvaiheita voitiin suorittaa suurempina kokonaisuuksina, jolloin yksittäisissä työvaiheissa olleita aikatauluongelmia oli lukumäärällisesti vähemmän, kuin jos peräkkäisiä työvaiheita olisi tehty pienempinä osakokonaisuuksina. Voidaan todeta, että suunnitteluratkaisua valittaessa on tärkeää urakoitsijan toteutukseen liittyvä kokemus ja hankekohtaiset erityispiirteet.

Erilaisten tukiseinäratkaisujen rakentamisen kustannukset ja aikatauluun vaikuttavat seikat ovat hyvin kohdekohtaisia, joten on mahdotonta todeta

yksiselitteisesti yhden tukiseinäratkaisun olevan muita parempi aikataulullisesti tai edullisempi rakentamiskustannuksiltaan. Kuitenkin jokaisessa kohteessa olisi hyvä tukiseinäsuunnittelussa ottaa huomioon myös mahdolliset aikatauluun vaikuttavat seikat materiaali- ja työkustannusarvioiden lisäksi.

Jokaisessa suunniteltavassa kohteessa pohjaveden alentamisen ja kaivannon kuivanapidon mahdolliset aikataulu- ja kustannusvaikutukset tulisi arvioida jo tukiseinätyyppiä valitessa. Kokonaiskustannuksiltaan ja -aikataulultaan jokaisen hankkeen onnistumiseen vaikuttaa kaivantojen osalta moni osatekijä, joihin jokaiseen vaikuttaa kyseisen kohteen erityispiirteet ja mahdolliset urakoitsijan resurssit.

## Lähteet

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

Väyläviraston ohjeita 35/2020. 2020. Tie- ja rataleikkausten suunnitteluohje. Helsinki: Väylävirasto.

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2020-35\\_tie\\_rataleikkausten\\_suunnitteluohje\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-35_tie_rataleikkausten_suunnitteluohje_web.pdf). Viitattu 9.11.2024.

SFS-EN 1997-1 + A1 + AC. 2014. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

Tuhola Markku. Rakennuskaivannon rakentaminen. 1998. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Tamminen, M. 2024. Työmaapäällikkö Kyrön AKS:n kohteessa, Ralf Ajalin Oy. Haastattelu 22.10.2024.