

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

2015

Jenni Aaltonen

TURUN PELTOLAN ALIKULKUKÄYTTÄVIEN GEOTEKNINEN TARKASTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu
Tekniikka, ympäristö ja talous
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka
Jenni Aaltonen

Opinnäytetyö

TURUN PELTOLAN ALIKULKUKÄYTVIEN GEOTEKNINEN TARKASTELU

Hyväksytty Turussa ____/____ 2015

Valvoja

DI Pirjo Oksanen

KT-vastaava

Tekn. lis. Esa Leinonen

Jenni Aaltonen

TURUN PELTOLAN ALIKULKUKÄYTTÄVIEN GEOTEKNINEN TARKASTELU

Turun Peltolan Eteläkaressa ja Kataraintentiellä sijaitsevat alikulkukäytävät ovat painuneet. Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä alustavat geotekniset suunnitelmat alikulkukäytävien uusimishanketta varten. Geoteknisiin suunnitelmiin kuuluvat uusien teräsputkisiltojen alustavat kaivantosuunnitelmat, perustamistapojen tarkastelu sekä näihin liittyvien kustannusten laskeminen. Työ tehdään Sweco Ympäristö Oy:lle, ja alustavat geotekniset suunnitelmat tilasi Turun Kiinteistöliikelaitos.

Laskelmien ja saatujen tulosten perusteella tehdään kustannusarvio kaivannoista ja siltojen perustamistavasta. Peltolassa tehdyt pohjatutkimukset on tehty ennen nykyisiä alikulkukäytäviä ja ovat siksi puutteellisia tarkkoja suunnitelmia varten. Tehdyistä pohjatutkimuksista ei saatu kaikkia laskelmissa tarvittavia tietoja, ja lisäksi pohjasuhteet ovat muuttuneet pohjatutkimusten suorittamisen jälkeen. Tästä johtuen suunnitelmat ovat alustavia, ja ennen hankkeen toteuttamista on suositeltavaa tehdä uusia pohjatutkimuksia ja yksityiskohtainen pohjarakennussuunnitelma.

Kaivannon tekoa tarkasteltiin stabiliteetilaskelmin. Kaivannon teko tulee toteuttaa tuettuna kaivantona, koska luiskatun kaivannon varmuus sortumista vastaan ei ollut riittävä. Koska laskelmissa päädyttiin tuettuun kaivantoon, määritettiin myös kohteisiin sopivat ponttityypit ja sopivat tuentatavat ponttiseinille. Alikulkujen maanvaraista perustamista tarkasteltiin painumalaskelmillä. Laskelmista saadut painumat ylittivät raja-arvot, mutta maanvaraista perustamistapaa ei voida pitää mahdottomana, koska pohjasuhteet ovat muuttuneet pohjatutkimusten teon jälkeen. Perustamistavan varmistamiseksi olisi tarpeen tehdä uusia pohjatutkimuksia. Kustannukset laskettiin tuetulle kaivannolle ja molemmille perustamistavoille.

ASIASANAT:

Alikulkukäytävä, geotekniikka, kaivanto

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

2015 | 34

Instructor: M. Sc. Pirjo Oksanen

Jenni Aaltonen

GEOTECHNICAL EXAMINATION OF UNDERPASSES IN PELTOLA OF TURKU

There are two underpasses in Peltola of Turku in Eteläkaari and Kataraistentie which have sunk. The aim of this thesis was to conduct preliminary geotechnical plans for the renovation project of the underpasses. Geotechnical plans include the preliminary excavation plans of the new tubular steel bridges, inspections in the ways of foundations and a quotation. The thesis was conducted for Sweco Ympäristö Oy and the preliminary geotechnical plans were commissioned by Kiinteistöliikelaitos of Turku.

On the grounds of the calculations and their results a quotation was placed of the excavations and the foundations. Ground surveys from Peltola had been conducted before the current underpasses and were therefore incomplete for accurate plans. The ground surveys did not include all the information needed and the situation has changed after taking the ground surveys. Therefore, the plans were preliminary and before the execution of the project it is advisable to make new ground surveys and a detailed plan for foundation work.

The execution of the trenches was explored with stability calculations. The trenching should be executed as supported excavation because of the insufficient certainty against the collapse of the unsupported excavation. After having decided to support the excavation it was also necessary to determine the suitable wall type and way to support the sheet piling. Founding on natural ground was executed by settlement calculating. The settlements exceeded the limit values but founding on natural ground cannot be considered as an impossible option because the ground situations have changed after the ground surveys have been taken. It is necessary to make new ground surveys to be sure of the right way of foundation. The quotation includes the costs of the supported excavations and the costs of founding on natural ground and with poles.

KEYWORDS:

Alikulkukäytävä, geotekniikka, kaivanto

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 PELTOLAN KOHTEIDEN ESITTELY	9
3 TERÄSPUTKISILTOJEN RAKENTAMISEEN LIITTYVÄT KAIVANNOT	13
3.1 Kaivantojen rakentaminen luiskattuina	13
3.2 Kaivantojen rakentaminen tuettuina	14
3.3 Laskelmat ja tulokset	19
4 TERÄSPUTKISILTOJEN PERUSTUS	26
4.1 Siltojen perustus maanvaraisesti	26
4.2 Siltojen perustus paaluilla	27
4.3 Laskelmat ja tulokset	29
5 KUSTANNUKSET	32
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	33
LÄHTEET	34

LIITTEET

- Liite 1. Pohjatutkimuskartta, Eteläkaari
- Liite 2. Pohjatutkimuskartta, Kataraistentie
- Liite 3. Luiskattu kaivanto, Kataraistentie
- Liite 4. Porrastettu kaivanto, Kataraistentie
- Liite 5. Ankkureilla tuettu kaivanto, Eteläkaari
- Liite 6. Ankkureilla tuettu kaivanto, Kataraistentie
- Liite 7. Vaakapalkeilla tuettu kaivanto, Eteläkaari
- Liite 8. Kustannusarvio, Eteläkaari
- Liite 9. Kustannusarvio, Kataraistentie

KUVAT

Kuva 1. Alikulkukäytävien sijainnit.	9
Kuva 2. Kataraistentien alikulkukäytävä.	10

Kuva 3. Eteläkaaren alikulkukäytävä.	10
Kuva 4. Kallioankkuri.	17
Kuva 5. HEB-palkkiin kiinnitetyt ankkurit.	18
Kuva 6. Larssen-tukiseinän profiili.	21

TAULUKOT

Taulukko 1. Maakerrosrajat ja parametrit, Eteläkaari.	19
Taulukko 2. Maakerrosrajat ja parametrit, Kataraistentie.	19
Taulukko 3. Yhteenveto tuettujen kaivantojen laskelmista.	24
Taulukko 4. Painumalaskelma C_c :n avulla, Eteläkaari.	30
Taulukko 5. Painumalaskelma C_c :n avulla, Kataraistentie.	30

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä alustavat geotekniset suunnitelmat Peltolassa sijaitsevien alikulkukäytävien uusimishankkeeseen kustannusvertailua varten. Alikulkukäytävät ovat painuneet ja saneerauksiin on annettu Turun kaupungilta kaksi eri korjausratkaisua. Vaihtoehtona on joko alikulkukäytävien purkaminen kokonaan ja uudelleenrakennus tai painuman pysäyttäminen polymeeripaaluilla. Opinnäytetyössä tarkastellaan geoteknisesti ainoastaan vaihtoehtoa, jossa vanhat alikulkukäytävät puretaan ja tilalle rakennetaan uudet teräsputkisillat. Lisäksi työn tavoitteena on määrittellä kustannukset kaivantojen rakentamiselle ja siltojen perustamistavalle.

Aiheesta tehdään samanaikaisesti myös toista opinnäytetyötä. Kyseisessä työssä vertaillaan edellä mainittuja vaihtoehtoja muun muassa kustannusten ja pidemmän aikavälin tehokkuuden perusteella. Geoteknisiä suunnitelmia ja niihin liittyvää kustannusarviota tullaan käyttämään hyödyksi kyseisessä opinnäytetyössä vaihtoehtojen vertailuun ja kustannusarvioiden tekemiseen.

Turun Kiinteistöliikelaitos on tilannut geoteknisen tarkastelun Sweco Ympäristö Oy:ltä. Toimeksianto käsittää kahden teräsputkisillan alustavat kaivantosuunnitelmat, joissa määritetään tuennan laajuus ja avokaivantojen massat, sekä alustavan perustamistavan kustannuslaskentaa varten. Työn tulee sisältää pohjatutkimuskartan ja pohjasuhdekuvauksen, avokaivantona ja tuettuna tehtävien kaivantoalueiden määrittelyn, alustavat stabiliteetti- ja tukiseinälaskelmat määrelaskentaa varten ja teräsputkisiltojen alustavan perustamistavan. Opinnäytetyö ei sisällä rakentamisen aikaisia liikenteenohjaussuunnitelmia. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 11.12.2014)

Pohjatutkimukset ovat alueelta puutteelliset kaivanto- ja perustussuunnittelua varten, minkä vuoksi laskelmat eivät ole täysin luotettavia. Esimerkiksi maakerroksia ja maalajien parametreja joudutaan arvioimaan. Lisäksi pohjavedenpinnasta ei ole varmuutta, joten sen korkeus joudutaan arvioimaan. Hankkeen edetessä tulee tehdä tarkemmat pohjatutkimukset ja pohjarakennussuunnitelmat

ennen kuin hanketta lähdetään toteuttamaan. Alustavilla suunnitelmilla saadaan kuitenkin arvioitua kustannukset kaivantojen rakentamiselle ja alikulkukäytävien perustamiselle.

2 PELTOLAN KOHTEIDEN ESITTELY

Opinnäytetyössä tutkittavat kohteet sijaitsevat Peltolan kaupunginosassa Turun eteläosassa Eteläkaarella ja Kataraisentiellä. Alikulkukäytävien sijainnit on esitetty kuvassa 1. Alikulkukäytävät on rakennettu vuonna 1982 teräsbetonelementeistä, ja ne ovat vajonneet noin 20–25 cm. Nykyiset siltarakenteet on rakennettu sorapatjalle ja ympärystyttönä on kevytsoraa. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.)

Alikulkukäytävien lähellä sijaitsee hule- ja jätevesiviemäreitä, kaivoja sekä kaapeleita, mikä tulee huomioida muun muassa kaivantojen suunnittelussa (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014).

Alikulkukäytävien purkaminen ja teräsputkisiltojen rakentaminen vaatii sekä autoliikenteen että kevyen liikenteen katkaisemista alikulkukäytävien kohdalta. Lisäksi Kataraisentien alikulkukäytävän kohdalle tulee rakentaa väliaikainen kiertotie, mutta sen geotekninen tarkastelu ei sisälly opinnäytetyöhön. Eteläkaaren alikulkukäytävä pystytään kiertämään jo olemassa olevia teitä hyödyntäen. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.)



Kuva 1. Alikulkukäytävien sijainnit (Turun kaupunki 2015).

Kohteeseen suunnitellut teräsputkisillat ovat malliltaan RN12. Teräsputkisillat on arvioitu sisämitoiltaan 5,5 m leveiksi ja 3,3 m korkeiksi. Eteläkaaren teräsputken

alapituus on 24,0 m ja yläpituus 17,4 m sekä paino on noin 12 t. Vastaavasti Kataraisentien teräsputken alapituus on 20,4 m ja yläpituus 13,8 m sekä paino noin 10 t. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.) Kuvissa 2 ja 3 nähdään tämän hetkiset betonielementeistä rakennetut alikulkukäytävät.



Kuva 2. Kataraisentien alikulkukäytävä.



Kuva 3. Eteläkaaren alikulkukäytävä.

Maapohjan kerrosrakennetta Peltolassa on selvitetty muun muassa paino- ja siipikairauksin vuonna 1980. Lisäksi kohteista on otettu häiriintyneitä maanäytteitä, joista on tutkittu vesipitoisuudet ja rakeisuudet. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.) Pohjatutkimusten sijainnit esitetään liitteinä olevissa pohjatutkimuskartoissa (liitteet 1 ja 2). Muita maaperätutkimuksia ei ole tehty. Tiedossa ei ole myöskään varmuutta pohjavedenpinnasta, joten se jää laskuissa oletuksen varaan. Kohteista annetuilla lähtötiedoilla tehdään alustavat suunnitelmat ja kustannusarvio.

Luonnollisen maanpinnan korkeus Kataraisentien alikulkukäytävän lähetyvillä on tasovälillä +13,8...+14,6 ja Eteläkaaren lähetyvillä +13,6...+15,1. Alikulkukäytävien ylimenevien tienpintojen korkeus on +16,2. Alue on pohjamaaltaan pääosin savea. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.)

Kairaukset on aloitettu noin +14,0:n korkeudelta ja saven kuivakuorikerroksen paksuus on noin 1,2 metriä. Siipikairauksella mitattu leikkauslujuus kuivakuorisavella on 30 kN/m^2 , tilavuuspaino 16 kN/m^3 ja vesipitoisuus 40 %. Kuivakuorikerroksen alapuolella on noin kahdeksan metriä lihavaa savea. Lihavan savikerroksen leikkauslujuus on 14 kN/m^2 , tilavuuspaino 14 kN/m^3 ja vesipitoisuus 70 %. Lihava savi jatkuu vielä kolme metriä, mutta leikkauslujuus kasvaa 35 kN/m^2 :iin, tilavuuspaino $14,5 \text{ kN/m}^3$:iin ja vesipitoisuus pysyy samana. Kairaukset päättyvät tiiviiseen maakerrokseen, tässä tapauksessa oletetusti moreeniin. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.) Moreenin osalta laskelmissa käytetään Liikenneviraston sillan geotekniseen suunnitteluun tarkoitettuja taulukkoarvoja. Moreenin tilavuuspaino on täten 17 kN/m^3 ja vesipitoisuus 25 %.

Kataraisentiestä hieman poiketen Eteläkaaren lähistöllä otetusta kairauksesta selviää alueella olevan myös silttiä. Ennen alimpana olevaa moreenikerrosta on melkein yhdeksän metrin silttikerros. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014.) Siltin parametreja ei ole tutkittu, joten laskelmissa käytetään taulukkoarvoja, jolloin siltin leikkauslujuus on 16 kN/m^2 , tilavuuspaino 14 kN/m^3 ja vesipitoisuus 70 % (RIL95, 30). Silttikerroksesta johtuen kovat maakerrokset

sijaitsevat entistä syvemmällä, mikä aiheuttaa Eteläkaaren kohdalla haastavammat olosuhteet kuin Kataraintentiellä. Pohjamaa on koko alueella routivaa.

Vaikka pohjavedenpintaa ei ole määritetty, tiedetään sen olevan kuitenkin alikulkujen alapuolella, koska alikulut ovat kuivia. Laskelmissa pohjavedenpinta on arvioitu korkeudelle +9,8.

Alueen pohjasuhteet vaikuttavat ympäristölle kaivannosta aiheutuvien riskien suuruuteen ja vaikutusalueeseen. Lisäksi pohjasuhteilla on suuri vaikutus tuentatapojen ja syviin kaivantoihin tarkoitettujen tukiseinätyyppien valinnassa. Pohjasuhteet ovat yleensä määrävssä osassa, kun tarkastellaan pohjarakentamisen suunnittelua ja toteuttamisen kustannuksia. Kaivannon onnistumisessa teknisesti ja taloudellisesti korostuu nimenomaan rakennuspaikan pohjasuhteiden huolellinen tutkiminen. (Kärki 2010, 14.) Peltolan alueella tehtyjä pohjatutkimuksia on syytä täydentää ennen kuin hanketta lähdetään toteuttamaan.

3 TERÄSPUTKISILTOJEN RAKENTAMISEEN LIITTYVÄT KAIVANNOT

3.1 Kaivantojen rakentaminen luiskattuina

Kaivannon varmuus sortumista vastaan on oltava riittävä. Kaivanto tulee suunnitella tuettuna, jos luiskatun kaivannon varmuutta sortumista vastaan ei saada järkevin suunnitteluratkaisuin riittäväksi. (RIL ry 2014, 44.)

Vakavuuslaskelmien perusteella voidaan määrittää luiskatun kaivannon luiskan kaltevuus ja tätä kautta myös kaivannon tilantarve. Kaivannon luiskaus tarvitsee enemmän tilaa kuin tuettu kaivanto. Jos käytettävissä oleva tila ei ole riittävä kaivannon luiskaamiseen, kaivanto joudutaan tekemään tuettuna. Jos kaivanto tehdään luiskattuna, kaivannon vieressä oleva kunnallistekniikka joudutaan usein siirtämään uuteen paikkaan, mutta se voidaan jättää paikoilleen, kun kaivanto tehdään tuettuna. (RIL ry 2014, 44, 113.)

Alikulkukäytävien läheisyydessä sijaitsee muun muassa hule- ja jätevesiviemäreitä sekä sähkökaapeleita. Kaivannon tekeminen luiskaamalla näissä kohdissa ei ole mahdollista ilman kunnallistekniikan purkamista ja tekemällä väliaikaisia ratkaisuja niiden ylläpitoon. Mahdollista on myös ottaa kunnallistekniikka hyvin tuettuna kaivannon alueen sisäpuolelle. Kaivannon tekoon vaikuttavia rakennuksia lähistöllä ei ole.

Ennen laskelmia voidaan kuitenkin arvioida luiskatun kaivannon tilantarvetta, kun oletetaan luiskan kaltevuudeksi esimerkiksi 1:1. Teräsputkisilta on suunniteltu 5,5 m leveäksi ja kaivannon pohjan leveydeksi on määritelty 11,0 m Turun kaupungin alustavissa suunnitelmissa. Kaivanto tehdään noin 4,5 m:n syvyyteen, missä on huomioitu siltarakenteen alle tehtävä alustäyttö. Näin 1:1 kaltevuudella luiskatun kaivannon kokonaisleveydeksi saadaan 20,0 m. Tuetun kaivannon leveys voisi olla alustavien suunnitelmien mukainen 11,0 m. (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2015.)

Mikäli luiskatun kaivannon pysymiselle ei saada riittävän suurta varmuutta, on tällöin suunniteltava toimenpiteitä vakavuuden parantamiseksi. Tällaisia toimenpiteitä voi olla esimerkiksi

- kaivannon luiskan loivennus
- kevennysleikkauksen teko luiskan yläosaan
- massanvaihto luiskan juureen tai kaivannon pohjalle
- pohjaveden alennus
- kaivannon ympäristön, luiskan tai kaivannon pohjan stabilointi
- lujiterakenteiden käyttö. (RIL ry 2014, 138.)

Jos edellä mainituille toimenpiteille ei ole tilaa tai ne eivät paranna luiskan stabi-
liteettia riittävästi, kaivanto tulee suunnitella tuettuna (RIL ry 2014, 138).

3.2 Kaivantojen rakentaminen tuettuina

Kaivannot tehdään tuettuina, jos niiden tekeminen luiskattuina ei ole työturvalli-
suuden, maaperäolosuhteiden tai ahtaiden paikkojen takia mahdollista.

Kaivannon luiskaus on yleensä halvempi ratkaisu kuin kaivannon tuenta, kun
molemmat vaihtoehdot ovat kaivannon vakavuuden ja ympäristön kannalta
mahdollisia. Kaivannon luiskaus lisää kuitenkin muun muassa kaivu-, täyttö- ja
pintarakennetöitä maansiirtoineen, joten kaivannon luiskaus voi olla joskus jopa
tuentaa kalliimpi ratkaisu. (RIL ry 2014, 45.)

Tuetun kaivannon geotekninen suunnittelu sisältää yleensä seuraavat vaiheet:

- kaivannon koon ja sen ympäristön selvittäminen
- pohjasuhteiden selvittäminen
- tukiseinätyypin valitseminen
- kuormitusten laskeminen
- tukirakenteiden mitoittaminen
- kustannusarvion tekeminen
- tukiseinän ja tuennan mahdollinen tarkistaminen (Kärki 2010, 13).

Kaivannot voidaan luokitella kaivannon suunnittelun ja rakentamisen vaativuuden perusteella. Luokittelussa huomioidaan mm. pohjaolosuhteet, kaivannon syvyys, ympäristössä sijaitsevat rakennukset ja rakenteet sekä pohjavedentaso. Kaivannot luokitellaan hyvin vaativiin, vaativiin ja helppoihin kaivantoihin. Lähes aina puhutaan *hyvin vaativasta kaivannosta*, kun kyseessä on syvä tuettu kaivanto. Kaivanto voidaan luokitella hyvin vaativaksi myös, kun

- kaivanto sijaitsee eloperäisten tai hienorakeisten maalajien alueella ja kaivannon syvyys on yli 5 m
- kaivanto ulottuu pohjavedenpinnan alapuolelle ja pohjavedenpinnan aleneminen voi aiheuttaa alueella ympäristöriskejä
- kaivannon rakenteisiin kohdistuu tärinää
- tuetun kaivannon alapää jää eloperäisiin tai hienorakeisiin maakerroksiin
- tuetun kaivannon ankkurit ulottuvat viereisten rakenteiden alapuolelle.

(Liikennevirasto 2013, 19–20.)

Peltolan alikulkukäytävien kaivannoissa tuetun kaivannon alapää jää hienorakeisiin maakerroksiin, joten tämä täyttyy edellä mainituista kohdista. Kaivannot ovat lisäksi lähes viisi metriä syviä, joten kaivannot voi luokitella ainakin vaativiksi kaivannoiksi, ellei jopa hyvin vaativiksi.

Monet tekijät vaikuttavat kaivannon seinätyypin valintaan, kuten kaivannon syvyys, pohjaolosuhteet, lähistöllä sijaitsevat rakenteet, pohjaveden esiintyminen, kaivannon suuruus, aikataulu sekä kustannukset. Tärkein valintaperuste kuitenkin yleensä on seinän kustannukset. Pehmeään saveen soveltuvia tukiseiniä ovat teräsponttiseinä, combi-seinä, putkiponttiseinä, kaivinpaaluseinä ja kaivantoseinä. Näistä teräsponttiseinä on edullisin. (Kärki 2010, 37–39.)

Teräsponttiseinä muodostuu täryttämällä tai maahan lyömällä upotettavista teräsponteista, jotka lukkiintuvat toisiinsa lukkourin ja muodostavat yhtenäisenä toimivan seinärakenteen. Teräspontit voidaan asentaa myös limittäin, jolloin seinä on vettäläpäisevä ja sen jäykkyys pienenee huomattavasti. U- ja Z-profiili ovat yleisimmät teräsponttien profiilit. Kun pohjamaa on pehmeää savea, U-profiilit voivat luistaa toistensa suhteen teräsponttiseinän taipuessa maanpai-

neen vaikutuksesta, jolloin seinän jäykkyys pienenee. Luistamista ei Z-profiilin teräsponsseissa tapahdu. (RIL ry 2014, 46–47.) Savimaasta johtuen Peltolan kohteissa Z-profiilinen teräsponsittiseinä olisi siis hyvä vaihtoehto.

Tukiseinän alapään tuentatapaan vaikuttavat pohjaolosuhteet ja kaivannon syvyys. Jos seinän alapää ei ulotu kallioon vaan se jää maakerrokseen, kaivutason alapuolista osaa tukee passiivinen maapaine. Yleensä on suotavaa ulottaa tukiseinän alapää tasapainotarkastelun edellyttämän tason alapuolelle. Tämä pienentää aukkomenttia ja keventää tukirakennetta. (Kärki 2010, 45.)

Tuetun kaivannon tilantarve on arvioitu Turun kaupungin alustavissa suunnitelmissa 11,0 m leveäksi. Teräsputken molemmille puolille jätetään työskentelytilaa 2,75 m. Tällöin siltarakenteen ja kaivannon väliin jää riittävästi tilaa ympäristäytölle ja saadaan riittävä etäisyys kaivannon ulkopuolelle jäävään routivaan maahan. Tämän alueen sisäpuolelle jäävät viemärit ja kaapelit joko puretaan tai otetaan mukaan kaivantoon ja tuetaan erikseen.

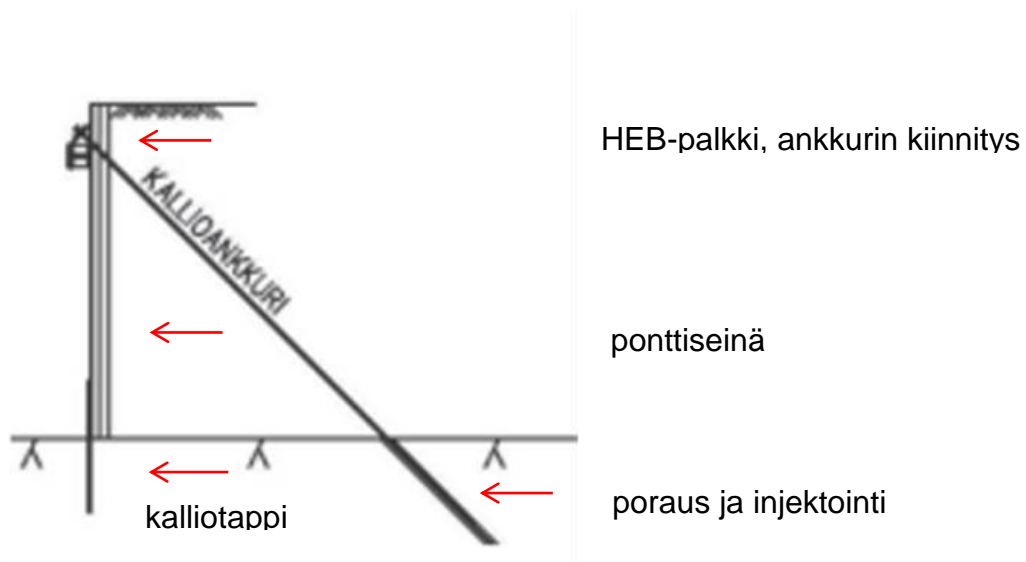
Teräsponsittiseinän jäykkyys itsessään ei ole kovinkaan suuri, joten sen tukemiseen tarvitaan erikseen oma tuentamenetelmä. Tukiseinään kohdistuvat vaakasuuntaiset kuormat voidaan ottaa vastaan joko seinän ulkopuolisilla rakenteilla tai seinän sisäpuolisilla tukirakenteilla tai näiden yhdistelmillä. Tukirakenteisiin kuuluvat seinän suuntaiset vaakajuoksut ja vinosti tai kohtisuoraan seinää tukevat rakenteet, kuten ankkurit. Lisäksi tukiseinän alapään tuentamenetelmät kuuluvat tukirakenteisiin. Kaivannon suuruus, pohjasuhteet ja ympäristötekijät vaikuttavat tukiseinän tuentatavan valintaan. (Kärki 2010, 41.)

Ulkopuoliseen tuentaan kuuluvilla ankkureilla tarkoitetaan tukiseinän ankkurointia ulkopuolisilla vetoankkureilla. Ankkurityyppejä ovat kallioankkuri, maaankkuri ja passiiviankkuri, joka ankkuroidaan esimerkiksi ankkuripontteihin tai ankkurilaattaan. (RIL ry 2014, 61.) Peltolan kohteet suunnitellaan alustavasti kallioankkureilla. Maa-ankkureille tarvitaan pidempi tartuntapituus ja tartunnan tulee olla hyvässä kitkamaassa. Peltolan kohteissa pohjareeniin määrä ei todennäköisesti riitä, jotta ankkurit voisi jättää moreeniin. Siten ankkurit viedään todennäköisesti kallioon asti. (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 4.3.2015.)

Kallionpinnasta ei kuitenkaan ole tietoa, koska painokairaukset on lopetettu savikerroksen alapintaan. Laskelmissa ankkurin pituus joudutaan arvioimaan, mutta hankkeen edetessä uusien pohjatutkimusten tekeminen on suositeltavaa, jotta moreenikerroksen paksuudesta ja kallionpinnasta saataisiin varmuus.

Useimmiten ankkurit tehdään porakonekairauksen avulla poraamalla alaspäin suuntautuvia reikiä maahan. Jotta tarvittava tartuntalujuus injektoinnilla saavutetaan, tulee porattavat reiät ulottaa maaperään tai kallioon riittävän syvälle. Kallioankkureissa käytetään yleensä esijännitysteräksiä, vetotankoja tai vaijereita. Kun ankkureiden pituuksia määritetään, voidaan olettaa tasaisen liukupinnan muodostuvan kaivannon pohjalta lähtien yläviistoon pois päin tukiseinästä. Kalliotapin tulee sijaita liukupinnan ulkopuolella. Jos tukiseinä ei ulotu kallioon asti, ankkureita ei kannata asentaa hyvin vinoon, koska se aiheuttaa suuren pystysuuntaisen kuormituksen tukiseinälle. (Kärki 2010, 43.)

Kallioankkuri on esitetty kuvassa 4 (RIL ry 2014, 59). HEB-palkki asennetaan ponttiseinän myötäisesti pituussuunnassa koko ponttiseinän pituudelta tukipalkiksi ja ankkurit porataan palkin yläpuolelta laskelmin määritettävien väleillä. Tilanne on esitetty ponttiseinän sisäpuolelta kuvassa 5.



Kuva 4. Kallioankkuri (RIL ry 2014, 59).



Kuva 5. HEB-palkkiin kiinnitetyt ankkurit (Naavaay 2015).

Kallioankkurin kaltevuuskulma on yleensä 45° , ja sen alapää injektoidaan tartuntapituuden verran kallioreikään sementtillaastilla. Ulkopuolisen tuennan hyötyjä ovat, että kaivantoon ei tule rakentamista haittaavia tukirakenteita ja että se on teknisesti yksinkertaisempi ratkaisu laajoissa kaivannoissa kuin sisäpuolinen tuenta. (RIL ry 2014, 61.)

Toinen vaihtoehto on toteuttaa kaivannon tukeminen sisäpuolisena tuentana vaakapalkilla. Tässä tapauksessa teräsputki tulisi asentaa paikoilleen työntämällä kaivannon päädyistä. Oletuksena kuitenkin on, että teräsputki lasketaan kokonaisuena paikalleen, jolloin kaivannon sisäpuolella ei voi olla poikkitukia. Ankkurit ovat kalliimpia kuin sisäpuolinen tuenta, joten tarkastellaan myös mahdollisuus kaivannon tukemiseen vaakapalkilla. Teräsputken työntäminen paikoilleen voidaan toteuttaa esimerkiksi pyörien päällä olevilla lavoilla tai siirtopeitteillä ja lopuksi nostattaa teräsputkea, jotta lavat tai peite saadaan pois alta ennen varsinaista asentamista. Tilanpuute saattaa koitua ongelmaksi, jos alkukulku on hieman notkossa ja luiskat ovat suhteellisen jyrkkiä. Lisäksi tämä saattaisi aiheuttaa puuston karsimista alueelta, jolta siltarakenne työnnettäisiin. (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 4.3.2015.)

Vaakapalkki jäykistää vaakatasossa tukiseinää ja kuormia tukipisteille. Yleisimmin käytetty vaakapalkki on HEB-teräspalkki. Sisäpuolisen tuennan hyötyjä ovat alhaisemmat rakennuskustannukset kuin ulkopuolisella tuennalla ja vaakasuora sisäpuolinen tuenta ei aiheuta pystykuormaa tukiseinään. (RIL ry 2014, 60–61.)

3.3 Laskelmat ja tulokset

Kaivantojen mahdollisia rakentamistapoja tutkittiin GeoCalcilla. Vakavuuslaskelmilla saatiin selville, miten stabiliteetti riittää erilaisissa tapauksissa. Laskelmissa käytettiin alla olevien taulukoiden mukaisia maakerrosrajoja ja parametreja.

Taulukko 1. Maakerrosrajat ja parametrit, Eteläkaari.

Maakerros	z (m)	h (m)	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)
KaM	+16	1	20	42	0
Sr	+15	1	18	40	0
kuSa	+14	1,2	16	0	27
liSa	+12,8	8	14	0	10
liSa	+4,8	3	14,5	0	25
Mr	+1,8	3	17	36	0

Taulukko 2. Maakerrosrajat ja parametrit, Kataraistentie.

Maakerros	z (m)	h (m)	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)
KaM	+16	1	20	42	0
Sr	+15	1	18	40	0
kuSa	+14	1,2	16	0	27
liSa	+12,8	8	14	0	10
liSa	+4,8	3	14,5	0	25
Si	+1,8	8,8	14	28	0
Mr	-7	3	17	36	0

Kairaukset on tehty ennen alikulkujen rakentamista. Kairaukset on aloitettu +14,0:n korkeudesta (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014). Kairauksista selvinneiden maakerrosten lisäksi laskelmissa otettiin huomioon alikulkujen yli menevien nykyisten teiden tierakenteet, metri kalliomursketta ja metrin kerros soratäyttöä. Laskelmat alkavat siis korkeudelta +16,0.

Laskelmat aloitettiin luiskatusta kaivannosta (liite 3). Kaivannon syvyydeksi arvioitiin 4,5 m. Kuormana käytettiin 17 kPa:n pintakuormaa, joka on 200 kN:n työkone ja jonka paino jakautuu 3×4 m:n alueelle. Kuorma sijaitsee kahden metrin päässä kaivannon reunasta eikä kaivannon vaikutusalueelle huomioitu muita kuormia. Laskelmissa käytettiin Bishopin 2D-laskentateoriaa. Laskelmilla haettiin vaarallisinta liukupintaa, ja liukupinnan muodoksi valittiin ympyrä. Poikileikkaukseen määritettiin alue, jolta liukupinta alkaa ja mille alueelle liukupinta voi päättyä. Lisäksi alue, jolta liukupinnat voivat lähteä, jaettiin viiteen osaan, jotta saatiin viisi eri liukupintaa.

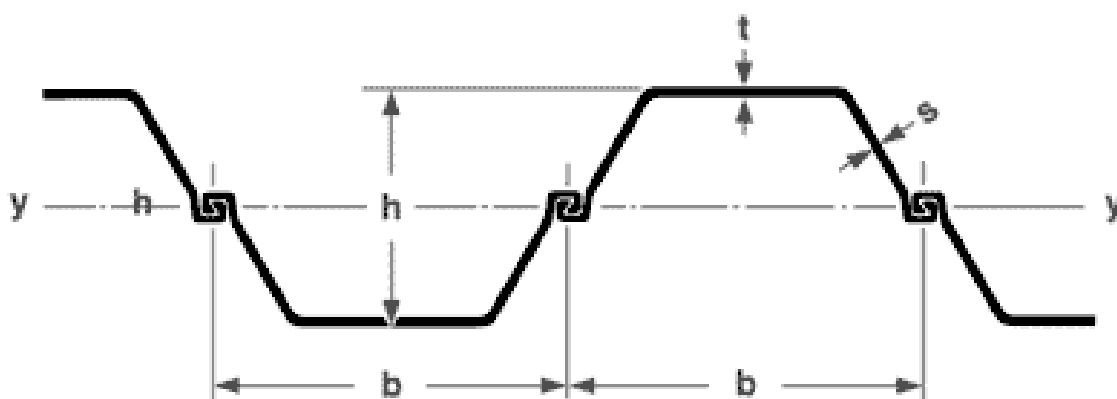
Laskelmissa käytettiin eri luiskakaltevuuksia, 1:1 ja sitä loivempia. Vaikka luiskaa loivennettiin, ei saavutettu tarvittavaa kokonaisvarmuutta ja FOS (Factor of safety) jäi reilusti alle vaaditun. Tällaisessa tapauksessa, kun on kyse väliaikaisesta kaivannosta, FOS:n tulisi olla vähintään 1,5 kokonaisvarmuuslukumenetelmällä laskettaessa (RIL ry 2014, 143), ja luiskatun kaivannon kokonaisvarmuus laskelmien perusteella oli 0,62–0,66 riippuen luiskien kaltevuudesta.

Koska luiskatun kaivannon varmuus ei ollut riittävä, tarkasteltiin porrastetun kaivannon mahdollisuutta (liite 4). Muun muassa heikkojen pohjaolosuhteiden johdosta ei kevennettykään kaivanto saavuttanut tarvittavaa varmuutta. Porrastetun kaivannon kokonaisvarmuus jäi 0,63:een. Stabiliateetilaskelmasta nähdään, että vaarallisia liukupintoja tulee kaukaa kaivannon reunasta, joten kaivannon keventämisellä ei ollut merkittävien parantavia vaikutuksia varmuuteen. Näin huonot liukupinnat aiheutuvat raskaista kadun täytöistä, jotka heikentävät stabiiliteettia aivan kuten työkonekuormat ja kaivumassat.

Varmuutta pyrittiin parantamaan luiskaa loiventamalla. Tämä johtaa tilantarpeen kasvuun, jolloin maan kaivu kasvaa ja sen myötä myös kustannukset. Ratkaisevinta kuitenkin on, että kaivantoa ei ole turvallista tehdä luiskattuna. Tällaisessa tapauksessa tuettu kaivanto on pakollinen.

Luiskatun kaivannon riittämättömän stabiliteetin seurauksena oli siis tarkasteltava tuetun kaivannon rakentamista. Tavoitteena oli selvittää ponttiseinän tyyppi ja mitat sekä arvioida ankkureiden määrä ja mitat alustavasti.

Koska tuetun kaivannon kanssa todennäköisesti tarvitaan raskaampaa työkonetta kuin luiskatussa kaivannossa, kuormana käytettiin 30 kPa:n pintakuormaa 4×4 m:n alueelle kahden metrin päähän tukiseinästä (liitteet 5 ja 6). Turun kaupungin alustavissa suunnitelmissa määriteltiin 11 m kaivannon leveydeksi riittävän ympärystytön ja kaivannon sisäpuolelle jäävän hulevesiviemärin johdosta (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014). Laskelmissa käytettiin Larssen 605 - ja 606 -tukiseiniä. Kuvassa 6 on esitetty Larssen-tukiseinän U-profiili. Seinän mitaksi maanpinnan yläpuolella määriteltiin puoli metriä pitkäksi. Eteläkaaren kaivannossa ponttiseinät ajateltiin molemmin puolin kaivantoa 24 metrin ja Kataraintentiellä 20,5 metrin matkalle. Jotta sivusiirtymät saatiin pysymään kohtuullisina, tukiseinät tuli ulottaa 16 metrin syvyyteen.



Kuva 6. Larssen-tukiseinän profiili (Hoech, 2015).

Ankkurit mitoitettiin niin, että yhdeltä tasolta tuettu ponttiseinä toi riittävän varmuuden. Ankkurien suurten kustannusten vuoksi pyrittiin välttämään tarvetta

tukea ponttiseinää useammasta tasosta. Ankkurin asennussyvyydeksi määriteltiin metri maanpinnan alapuolelle, jolloin taivutusmomentti ei kasvanut liian suureksi. Vain puolen metrin syvyyteen maan pinnasta asennettu ankkuri aiheutti suuremman taivutusmomentin ponttiseinälle.

Tukiseinälaskelmissa Eteläkaaren tilanteesta ankkurin maksimitukivoimaksi saatiin 500,1 kN, seinän maksimisiirtymäksi 153,2 mm ja maksimimomentiksi 387,9 kNm. Kataraintien tilanteessa laskelmilla saatiin ankkurin maksimitukivoimaksi 493,8 kN, seinän maksimisiirtymäksi 123,6 mm ja maksimimomentiksi 378,3 kNm. Yleensä pyritään, että maksimisiirtymä olisi noin 100 mm (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2015). Saatujen tukivoimien mukaan laskettiin ankkurin pituus kalliossa. Ankkurin kulmaksi määritettiin 50° , jolloin voimille saatiin edullisempi kulma. Myöhemmissä suunnitteluvaiheissa tulee kuitenkin tarkentaa, missä kohdassa ankkurit voivat kulkea, ettei tiellä ole muita linjoja tai rakenteita. Laskelmilla saatiin selvitettyä, että ankkurien tulisi ulottua kyseisissä kohteissa neljä metriä kallioon. Moreenin kerrospaksuudeksi arvioitiin kolme metriä ja kallionpinnan oletettiin alkavan heti moreenikerroksen jälkeen. Molemmissa kohteissa ankkurit tuli ulottaa kallion pinnan alle neljä metriä. Neljän metrin tartuntapituudella todettiin 2,4 m kohteisiin sopivaksi ankkureiden asennusväliksi. Eteläkaaren tapauksessa ankkuripituudeksi saatiin 37 m ja Kataraintien 26 m.

Ankkurin työvaraksi määritettiin -0,1 m, eli paljonko kaivetaan asennustason alapuolelle ennen ankkurin asentamista. Koska työvaraksi on annettu negatiivinen arvo, tarkoittaa se, ettei asennustason alapuolelle kaiveta. Esijännitysvoima (F) jätettiin nollassa. Esijännityksiä ei ole tarpeen ottaa huomioon näissä laskelmissa, koska niillä ei ole tässä suunnitteluvaiheessa vaikutusta kustannuksiin (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2015). Erikseen tehtävästä momenttitarkastelusta nähdään, voidaanko ponttiseinälle sallia momenttia edellä mainitun verran.

Myös ponttiseinän sisäpuolista tuentaa HE240B-vaakapalkilla tarkasteltiin laskelmin (liite 7). Laskelmassa käytettiin samaa 30 kPa:n kuormaa 4×4 m:n kohteelle, ja se sijoitettiin kahden metrin päähän tukiseinästä. Vaakapal-

kin pituus on sama kuin kaivannon leveys eli 11 m. Sisäpuolisessa tuennassa ankkurin kulma on 180° , koska palkki on kohtisuorassa asennossa ponttiseinien välissä. Asennussyvyudeksi määritettiin 0,2 m maanpinnasta, ja esijännitys jätettiin tässäkin laskelmassa nolaksi. Työvaraksi ankkuritason alapuolelle määritettiin 0,3 m, eli ankkurin asentamista varten kaivetaan 0,3 m tukitason alapuolelle. Vaakapalkkien vaakajaoksi määriteltiin 3 m, eli vaakapalkkeja asennetaan kolmen metrin välein. Eteläkaaren kohteessa vaakapalkin maksimitukivoimaksi saatiin 396,7 kN, seinän maksimisiirtymäksi 111,4 mm ja seinän maksimimomentiksi 469,8 kNm. Kataraintentiellä vaakapalkin maksimitukivoimaksi saatiin 376,2 kN, seinän maksimisiirtymäksi 94,7 mm ja seinän maksimimomentiksi 432,3 kNm.

Kun laskelmilla saatiin selville ponttiseinän maksimimomentit tietyissä tilanteissa, tuli vielä tarkastaa, voidaanko ponttiseinälle sallia momenttia näiden GeoCalcista saatujen tulosten mukaisesti. Momenttitarkasteluun käytettiin Exceltaulukkoa. Exceliin kirjattiin ponttityyppi ja sen taivutusvastus sekä GeoCalcista saatu taivutusmomentti. Tarkastelu tehtiin molemmista alikuluista sekä ulkopuolisesta tuennasta että sisäpuolisesta tuennasta. Saatu taivutusmomentti redusoitiin kertomalla 1,6:lla, ja tästä saatua arvoa verrattiin maksimitaivutusmomenttiin. Tapauksissa, joissa kaivanto tuettiin ankkureilla, osamäärät olivat suurempia kuin yksi, joten taivutusmomentit olivat sallittavia. Sisäpuolisessa tuennassa arvot olivat Kataraintentiellä 0,94 ja Eteläkaareissa 0,87. Näissä tapauksissa taivutusmomentti ei pysynyt sallituissa rajoissa, joten ponttiseinäksi tuli ajatella järeämpää vaihtoehtoa kuin Larssen 605.

Sisäpuolisesta tuennasta tehtiin uudet laskelmat Larssen 606 n -ponttityypillä, jolla on suurempi taivutusvastus kuin Larssen 605:lla. Eteläkaaren tilanteessa vaakapalkin maksimitukivoimaksi saatiin 407,6 kN, seinän maksimisiirtymäksi 92,3 mm ja maksimimomentiksi 487,8 kNm. Kataraintentien laskemissa vaakapalkin maksimitukivoimaksi saatiin 394 kN, seinän maksimisiirtymäksi 80,6 mm ja maksimimomentiksi 461,8 kNm. Vaikka saadut maksimimomentit ovat suurempia kuin aiemmista laskuista saadut arvot, on myös verrattavan ponttiseinän sallittu maksimimomentti entistä suurempi. Saatuja maksimimomenttien arvoja

verrattaessa sallittuun maksimimomenttiin, voitiin todeta Larssen 606 n -ponttityypin olevan sisäpuolisessa tuennassa sopiva ponttiseinä.

Lisäksi tarkasteltiin myös HE240B-palkin mitoitus taivutukselle ja nurjahdukselle. Edellä mainitut mitoitukset tehtiin Excel-taulukolla, joka laskee GeoCalcista saadun ankkurivoiman, palkkien tukivälin, määrätyn palkin tietojen ja monen muun parametrin avulla palkille sallitun taivutusvastuksen. Excelistä saatua tulosta verrattiin palkin taivutusvastukseen, joka HE240B:llä on $938,3 \text{ cm}^3$. Jos saatu taivutusvastus oli pienempi kuin verrattava arvo, voitiin todeta, että HE240B on sopiva palkki suunniteltuun kaivantoon. Kaikissa tapauksissa sekä ulkopuolisessa että sisäpuolisessa tuennassa saadut taivutusvastukset olivat pienempiä kuin maksimitaivutusvastus.

Nurjahduksen mitoituksessa Excel-taulukon avulla verrattiin kohteen mahdollista nurjahdusta sallittuun nurjahdusarvoon. Saadun arvon ja sallitun maksiminurjahduksen osamäärän tuli olla alle yksi. Kaikissa tapauksissa tämä toteutui, joten tarkastelu osoitti Larssen 605 -ponttiseinän olevan sopiva seinätyyppi ulkopuolisessa tuennassa ja Larssen 606 n -ponttiseinän sisäpuolisessa tuennassa. Taulukkoon 3 on kerätty tulokset tuettujen kaivantojen laskelmista.

Taulukko 3. Yhteenveto tuettujen kaivantojen laskelmista.

YHTEENVETO LASKELMISTA	Ankkuri		Sisäpuolinen tuenta	
	ETELÄKAARI	KATARAISTENTIE	ETELÄKAARI	KATARAISTENTIE
Tukivoima	500,1 kN	493,8 kN	407,6 kN	394,0 kN
Momentti	387,9 kNm	378,3 kNm	487,8 kNm	461,8 kNm
Siirtymä	153,2 mm	123,6 mm	92,3 mm	80,6 mm
HE240B				
Taivutus	1,59	1,61	1,56	1,61
Nurjahdus	0,35	0,34	0,28	0,27
Tukiseinä				
	Larssen 605		Larssen 606 n	
Taivutusmomentti	1,05	1,08	1,03	1,09

Koska teräsputkien yläpituus on noin 6,5 m lyhyempi kuin alapituus ja tiepenkeeseen luiska laskee ylhäältä melko jyrkästi, ei ole taloudellisesti kannattavaa tukea kaivantoa ponttiseinillä koko suunniteltua kaivannon matkaa. Siksi tarkas-

teltiin myös vaihtoehtoa luiskatulle kaivannolle teräsputken alapinnan ulkoreunasta ulospäin noin kahden metrin matkalle. Kun teräsputki päättyy, on kaivannon syvyys enää noin metrin. Metrin syvyistä kaivantoa tarkasteltiin kaltevuudella 1:1. Stabiiliteettilaskelmilla tällaisen kaivannon kokonaisvarmuudeksi saatiin 1,81, joka ylittää annetun raja-arvon 1,5. Luiskatun kaivannon leveys olisi yläpinnasta 13 m eli kaksi metriä leveämpi kuin tuettu kaivanto. Näin säästetään kustannuksissa, kun ponttiseinää, ankkureita eikä HE240B-palkkia tarvita koko kaivannon reunan matkalle.

Jos ponttiseinä tuetaan kallioankkureilla, saven alla olevat kerrokset ja kallionpinta tulisi selvittää, koska vuonna 1980 tehdyt kairaukset on päätetty savikerroksen alareunaan. Vanhoja pohjatutkimuksia täydentämällä ja muuttuneiden pohjasuhteiden vuoksi uusia pohjatutkimuksia ottamalla saataisiin tämän hetkestä tilanteesta tehtyä luotettavat laskelmat. Maakerrosrajat voisi selvittää painokairauksilla ja kallionpinta porakonekairauksilla (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2015).

4 TERÄSPUTKISILTOJEN PERUSTUS

4.1 Siltojen perustus maanvaraisesti

Maanvarainen perustus on suunniteltava niin, että painumat pysyvät riittävän pieninä ja varmuus maanpohjan murtumista vastaan on riittävä. Rakenteet eivät saa liukua eivätkä kaatua. Perustamistapa on voitava suorittaa turvallisesti eikä ympäristölle saa aiheutua vahinkoa tai vaaraa. (Jääskeläinen 2009, 39.) Turun kaupungin alustavissa suunnitelmissa kaivantoon on suunniteltu maanvaraiseksi perustamistavaksi teräsprofiliarina. Tämä voidaan toteuttaa vain, jos edellä mainitut vaatimukset täyttyvät.

Teräsputkisilta perustetaan kaivannon pohjalle tai yhtenäisen paalulaatan päälle murskeesta tai sorasta tiivistetyn alustäytön varaan. Alustäyttö tulee ulottaa putken pituussuunnassa paksuutensa verran teräsputken molempien päiden ulkopuolelle. Alustäytön paksuus määritetään aina tapauskohtaisesti. Vähimmäispaksuus kuitenkin on 300 mm. Tarvittaessa alustäytön alaosaan tehdään joko 100–200 mm paksu suodatinkerros tai suodatinkangas. Alikulkuja rakennettaessa alustäyttöä ei kuivateta. Kun pohjamaa on routivaa, tulee putki perustaa tiivistetylle alustäytölle routimattomaan perustamissyvyyteen tai teräsputkirakenne on routasuojattava. (Liikennevirasto 2012, 55.)

Hienorakeiset maakerrokset, kuten savi, painuvat pitkäaikaisesti kuormituksen vaikutuksesta. Tällaisilla alueilla rakenteet perustetaan yleensä paaluilla. Maakerrokset kokoonpuristuvat ja viruvat kuormituksesta johtuen. Tästä seuraa jatkuvat, tosin hidastuvat, painumat. Täten hienorakeisten maakerrosten varaan perustaminen ei ole ihanteellista, mutta toisinaan ainoa vaihtoehto. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2004, 16.)

Perustamistavassa tulee huomioida myös kaivannon tekomenetelmä. Pitkien ponttiseiniä nostaminen saattaa aiheuttaa merkittäviä äkillisiä painumia ympäröiville rakenteille.

Kaivannon painuminen teräsponttiseinän purkamisen yhteydessä johtuu yleensä tärinästä, jolloin pohjamaa tiivistyy pohjamaahan jäävästä tyhjättilasta, joka täyttyy viereisellä pohjamaalla. Painuma voi aiheutua myös pohjamaan tarttumisesta pontteihin adheesiovaikutuksesta, jolloin tyhjättila maassa kasvaa. Teräspontit yleensä nostetaan maasta täryttämällä tai lyömällä, jolloin tärinävaikutusta ei voida välttää. Adheesiovaikutuksesta savi- ja silttimaissa pohjamaata voi nousta ponttiseinän mukana maasta. Tätä voi ehkäistä nostamalla pontit yksitellen tai vuorotellen kaivannon kummastakin tukiseinästä muutaman pontin ryhmissä ja jättämällä välimatkaa nostokohtien välille kaivannon pituussuunnassa. Pohjamaan painumia voi ennakoida tekemällä koeponnituksia ja samanaikaisia tärinä- ja painumamittauksia. (RIL ry 2014, 77.)

Jos alikulkukäytävät perustetaan maanvaraisesti, teräspuutkirakenteilla ja muilla lähellä sijaitsevilla putkilinjoilla sekä ympäröivillä rakenteilla on edellä mainitun ponttiseinien nostamisen takia riski painua (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 23.1.2015).

Peltoalassa suoritettavat kairaukset on tehty ennen nykyisten alikulkukäytävien rakentamista. Koska nykyiset sillat ovat painuneet, on maa sen myötä tiivistynyt. Kun vanhat betonielementtisillat puretaan ja tilalle asennetaan kevyemmät teräspuutkissillat, ei maa välttämättä enää painu, koska kuormitus pienenee ja suurimmat painumat ovat jo tapahtuneet (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 21.1.2015). Laskelmissa kuitenkin joudutaan käyttämään kairausten mukaisia maan vesipitoisuuksia, vaikka maan painuessa huokosvesi on osittain poistunut. Laskujen tulokset ovat siis todennäköisesti epäedullisemmat kuin tilanne todellisuudessa on.

4.2 Siltojen perustus paaluilla

Jos rakenteen perustaminen maan varaan ei siirtymien, painumien, kiertymien tai jonkun muun syyn, kuten ympäristössä olevien rakenteiden perustustapojen tai sijainnin vuoksi ole mahdollista, käytetään paaluperustuksia. (Jääskeläinen 2009, 52.)

Jotta paalujen ja paaluryhmien toimintatapa ja geotekniset mitoitusarvot voidaan luotettavasti määrittää, tulee pohjatutkimukset ulottaa paalujen tavoitetason alapuolelle (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2004, 16). Peltolan kohteissa tällaisia kairaustuloksia ei ole, joten paalujen määrät ja mitat joudutaan arvioimaan.

Varmuutta maapohjan murtumista vastaan tutkitaan laskelmin. Jos todetaan, että maanvarainen perustus ei ole mahdollinen, on alikulkukäytävät perustettava paaluilla.

Jos kaivannon pohjalla tullaan paaluttamaan, tulee huomioida riski kaivannon pohjan nousemisesta paalujen syrjäyttämän maan liikkeiden seurauksena. Pohjan tuleva kohoaminen tulee ennakoida syventämällä yleiskaivutasoa. Maapohjan mahdollinen tiivistyminen ja painuminen rakennustöiden aiheuttaman tärinän johdosta voidaan ennakoida nostamalla yleiskaivutasoa. (RIL ry 2014, 40.)

Kohteeseen sopiva paalutyyppi on esimerkiksi teräsputkipaalu. Niiden asentaminen häiritsee vähemmän ympäristöä kuin perinteinen teräsbetonipaalujen asentaminen. Molempien alikulkukäytävien läheisyydessä sijaitsee paljon kaapeleita ja viemäreitä, joten tärinällä voi olla haitallisia vaikutuksia. Teräsputkipaalut tulee ulottaa kovaan pohjaan asti. Koska moreenin laadusta ei ole tietoa, paalut joudutaan ulottamaan todennäköisesti lähes kallionpintaan. (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2015.) Arvioidut paalujen pituudet ovat Eteläkaareissa 21,5 m ja Kataraintentiellä 13,0 m. Paaluväliksi arvioidaan noin kolme metriä. Lisäksi paalujen yläpään asennetaan paalulaatta, jonka päälle siltarakente asennetaan. Koska työn tavoitteena on tehdä alustava suunnitelma perustamistavasta, paalujen mitoitusta ei ole tehty tarkemmin.

Jos alikulkukäytävät perustetaan paaluilla, tulee kohteisiin suunnitella myös painumaerojen tasaamiseksi siirtymärakenteet. Paaluilla perustetut alikulkukäytävät ja niiden kohdalla olevat kadut ovat painumattomia, mutta niiden vieressä painumia tapahtuu edelleen.

Alikulkujen päätyrakenteet varustetaan siirtymälaatoilla, jotka ovat sillan taustapenkereen varassa lepääviä betonilaattoja. Ne tasaavat taustapenkereiden ja

sillan painumaeroja. Siirtymälaatan pituus on tavanomaisesti 3 tai 5 m ja ne voivat olla, joko elementtirakenteisia tai paikallavalettuja. (Ruukki, 2015.) Yksityisten teiden ja kevyen liikenteen silloissa käytetään 3 m pitkää siirtymälaattaa ja muissa silloissa siirtymälaatan pituus on 5 m (Liikennevirasto, 2015). Peltolan kohteissa siirtymälaatan pituudeksi ajatellaan siis 5 m.

Siirtymälaatan lisäksi kohteisiin tarvitaan kevennysrakenne. Maapohjalle tulevan kuormituksen muuttuminen lyhyellä matkalla tai pohjaolosuhteiden vaihtelu saattaa aiheuttaa painumaeroja tiehen ja näin heikentää rakenteiden kestävyyttä ja toimintaa. Suuria painumaeroja muodostuu erityisesti pehmeikköjen reuna-alueille, siltojen kohdilla ja pohjanvahvistuksen muutoskohtiin. Kevytsora on yleisin siirtymärakenteissa käytetty kevennysmateriaali. Siirtymäkiilan kevennysmateriaalin määrä mitoitetaan niin, että kiilan paksummassa päässä painumia ei tapahdu. Kiilaa ohennetaan kiilamaisesti siten, että ohuemmassa päässä painuma on yhtä suuri kuin keventämättömällä penkereellä. Siirtymäkiilan pituus vaihtelee 5–30 m:n välillä. Ohuemmassa päässä kiilan paksuus on yleensä vähintään 0,2–0,3 m. (Liikennevirasto 2010, 19.) Peltolan kohteissa kevytsorakiilan kaltevuutena käytetään 1:5. Jos siirtymäkiila aloitetaan esimerkiksi metrin syvyydestä, on kiilan pituus tällöin viisi metriä.

4.3 Laskelmat ja tulokset

Painuma lasketaan C_c :n avulla.

Kokoonpuristuvuusindeksi C_c on kansainvälisesti käytetyin hienoraikaisen maan painumaominaisuuksia kuvaava parametri. C_c -malli on tangenttimoduulimallin erikoistapaus. Se on hyvin käyttökelpoinen, koska painumaominaisuuksia kuvataan vain yhdellä luvulla, joka korreloi muun muassa vesipitoisuuden kanssa. (Rak-50.2122, 5.)

Eteläkaareen suunnitellun teräsputken arvioitu paino on 12 t ja Kataraintien 10 t (Turun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto 24.11.2014). Laskelmissa käytettäväksi kuormaksi saatiin 17 kPa, kun siltojen oman painon lisäksi painu-

malaskelmissa tuli huomioida siltojen päälle tulevat täytöt ja tien rakennekerrokset. Liikennekuormaa ei otettu laskelmissa huomioon. Painumat laskettiin C_c -mallin Excel-taulukolla, johon syötettiin maakerrokset sekä maalajien tilavuuspainot ja vesipitoisuudet. Eteläkaaren pohjaolosuhteet olivat lievästi heikommat paksun silttikerroksen vuoksi. Eteläkaaren ja Kataraintien välillä ei kuitenkaan ollut suuria eroja painumissa, kuten taulukoista 4 ja 5 voidaan huomata.

Taulukko 4. Painumalaskelma C_c :n avulla, Eteläkaari.

Kuorma: 17 kPa

ETELÄKAARI

Kerros	Paksuus	Keskisyvyys	Tilavuuspaino	Vesipitoisuus	Kokoonpuristuvuus		Alkujännitys	Kokonaisjännitys	$\log(\sigma_z/\sigma_0)$	Δs
i	h [m]	z [m]	$\gamma/\gamma' [kN/m^3]$	w [%]	C_c	e	σ_0 [kPa]	σ_z [kPa]		[m]
kuSa	1,2	0,6	16	40	0,215035	1,06	9,6	26,6	0,443	0,046
liSa	8	5,2	4	70	0,497813	1,855	20,8	37,8	0,259	0,045
liSa	3	10,7	4,5	70	0,497813	1,855	48,15	65,15	0,131	0,023
Si	8,8	16,6	4	70	0,497813	1,855	66,4	83,4	0,099	0,017
Mr	3	22,5	7	25	0,10625	0,6625	157,5	174,5	0,045	0,003

$$s_p = 0,134 \text{ m} \\ 134 \text{ mm}$$

Taulukko 5. Painumalaskelma C_c :n avulla, Kataraintie.

Kuorma: 17 kPa

KATARAISTENTIE

Kerros	Paksuus	Keskisyvyys	Tilavuuspaino	Vesipitoisuus	Kokoonpuristuvuus		Alkujännitys	Kokonaisjännitys	$\log(\sigma_z/\sigma_0)$	Δs
i	h [m]	z [m]	$\gamma/\gamma' [kN/m^3]$	w [%]	C_c	e	σ_0 [kPa]	σ_z [kPa]		[m]
kuSa	1,2	0,6	16	40	0,215035	1,06	9,6	26,6	0,443	0,046
liSa	8	5,2	4	70	0,497813	1,855	20,8	37,8	0,259	0,045
liSa	3	10,7	4,5	70	0,497813	1,855	48,15	65,15	0,131	0,023
Mr	3	13,7	7	25	0,10625	0,6625	95,9	112,9	0,071	0,005

$$s_p = 0,119 \text{ m} \\ 119 \text{ mm}$$

Eteläkaaren alikulkukäytävän kokonaispainumaksi (s_p) saatiin 134 mm ja Kataraintien alikulkukäytävän kokonaispainumaksi 119 mm. Teräsputkisiltaa voidaan ajatella teräsrakenteena, vaikka sen pinta tullaan ruiskubetonoimaan. Teräsrakenteille asetettu kokonaispainuman raja-arvo on 80–100 mm (Jääskeläinen 2009, 46).

Laskelmilla selvitetty painumat ovat lähellä annettua raja-arvoväliä ja alueita on jo kuormitettu todennäköisesti jopa raskaammilla siltarakenteilla, joten suurimmat painumat ovat jo tapahtuneet. Jos painumia on vielä jäljellä, kuorman pienetessä painumanopeus ainakin hidastuu huomattavasti. Suositeltavaa olisi tehdä tarkempia pohjatutkimuksia perustamistavan varmistamiseksi.

Siipikairaukset olisi tullut uusina, koska lujuus on mahdollisesti muuttunut nykyisen kuormituksen alla. Kuormituksella voi olla vaikutusta myös vesipitoisuuteen. Painuma-arvio olisi voinut olla hyvä tehdä ödometrikokeiden perusteella, koska niissä olisi voinut näkyä kuormituksen vaikutus. (S. Sireni, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2015.)

Pohjaveden pinnankorkeus saatiin arvioitua kaivannon alapuolelle kuivien alikulkukäytävien perusteella. Tarkempia suunnitelmia varten on tarpeen selvittää pohjaveden pinnankorkeus. Laskelmissa käytettiin paljon taulukkoarvoja, joiden avulla saatiin riittävän tarkat alustavat laskelmat. Kuitenkin olisi ollut hyvä tehdä uusia ja tarkempia tutkimuksia, sillä olosuhteet ovat muuttuneet pohjatutkimusten teon jälkeen.

5 KUSTANNUKSET

Kustannukset on laskettu Rola-ohjelmalla (liitteet 8 ja 9). Kustannukset on jaoteltu ryhmiin: kaivannot, maanvarainen perustus ja paaluperustus. Ryhmien sisällä kustannukset on jaoteltu rakennusosiin.

Kaivantojen kustannukset koostuvat muun muassa siltakaivantojen kaivusta, massojen kuljetuksista, ponttiseinistä, ankkureista ja tukipalkeista sekä täyttömaista. Lisäksi kustannuksissa on otettu huomioon tulevat teiden rakennekerrokset ja päällystäminen sekä ylimenevällä tiellä että kevyen liikenteen väylällä.

Eteläkaaren kaivannon rakentamiskustannukset ankkureilla ovat 130 000 € ja Kataraistentiellä 110 000 €. Jos ponttiseinät tuetaan poikkipalkein, kaivannon rakentamiskustannukset ovat Eteläkaarella 110 000 € ja Kataraistentiellä 95 000 €. Eteläkaaren maanvarainen perustaminen kustantaa 7 500 € ja Kataraistentiellä 6 500 €. Paaluperustuksen kustannukset ovat 60 000 € Eteläkaarella ja Kataraistentiellä 47 000 €.

Jos teräsputket perustetaan maanvaraisesti ja ponttiseinät tuetaan ankkureilla, yhteiskustannukset ovat noin 254 000 € ja paaluperustuksella ja ankkuroinnilla 340 000 €. Jos pontit tuetaan poikkipalkein, yhteiskustannukset maanvaraisen perustamisen kanssa ovat 220 000 € ja paaluperustuksella 310 000 €. Edellä mainitut hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vaikka pohjatutkimukset olivat hieman puutteelliset ja laskelmat pohjautuivat osittain oletuksiin, saatiin aikaan alustavat geotekniset suunnitelmat alikulkujen kaivantojen rakentamiselle ja perustamiselle sekä kustannusarvio.

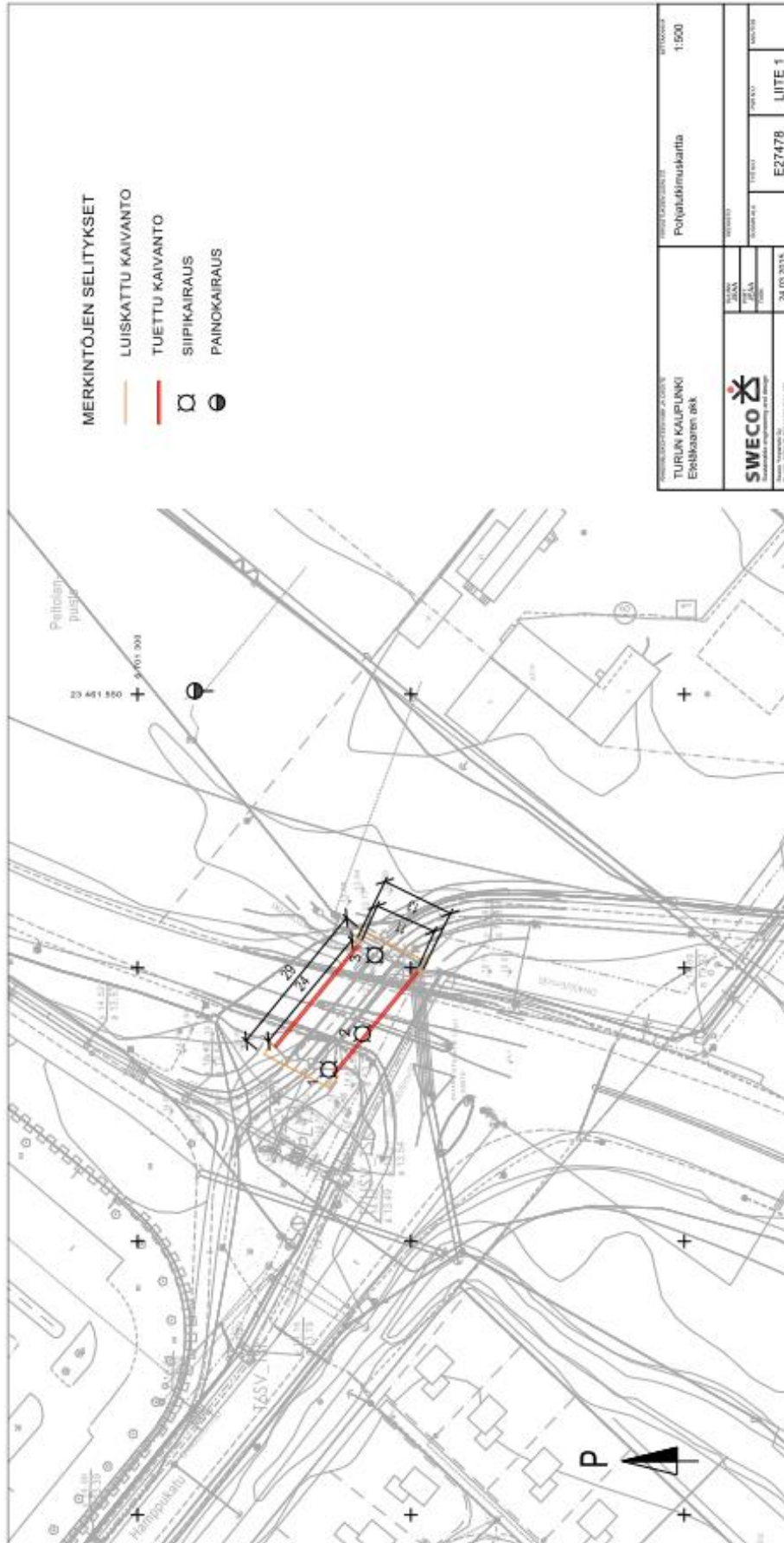
Kaivannon toteutustapa selvitettiin GeoCalcilla stabiliteetilaskelmin. Pohjasuhteista ja raskaista kadun täytöistä johtuen luiskattu kaivanto ei saavuttanut riittävää kokonaisvarmuutta, joten päädyttiin kaivannon tukemiseen. Eteläkaaren ja Kataraistentien tapauksia tuli tarkastella erikseen erilaisten pohjasuhteiden vuoksi. Eteläkaari oli haasteellisempi kohde paksun silttikerroksen johdosta. Molemmille kohteille saatiin laskelmilla todettua sopiva ponttityyppi ja sen mitat sekä ankkureiden määrät ja mitat alustavasti.

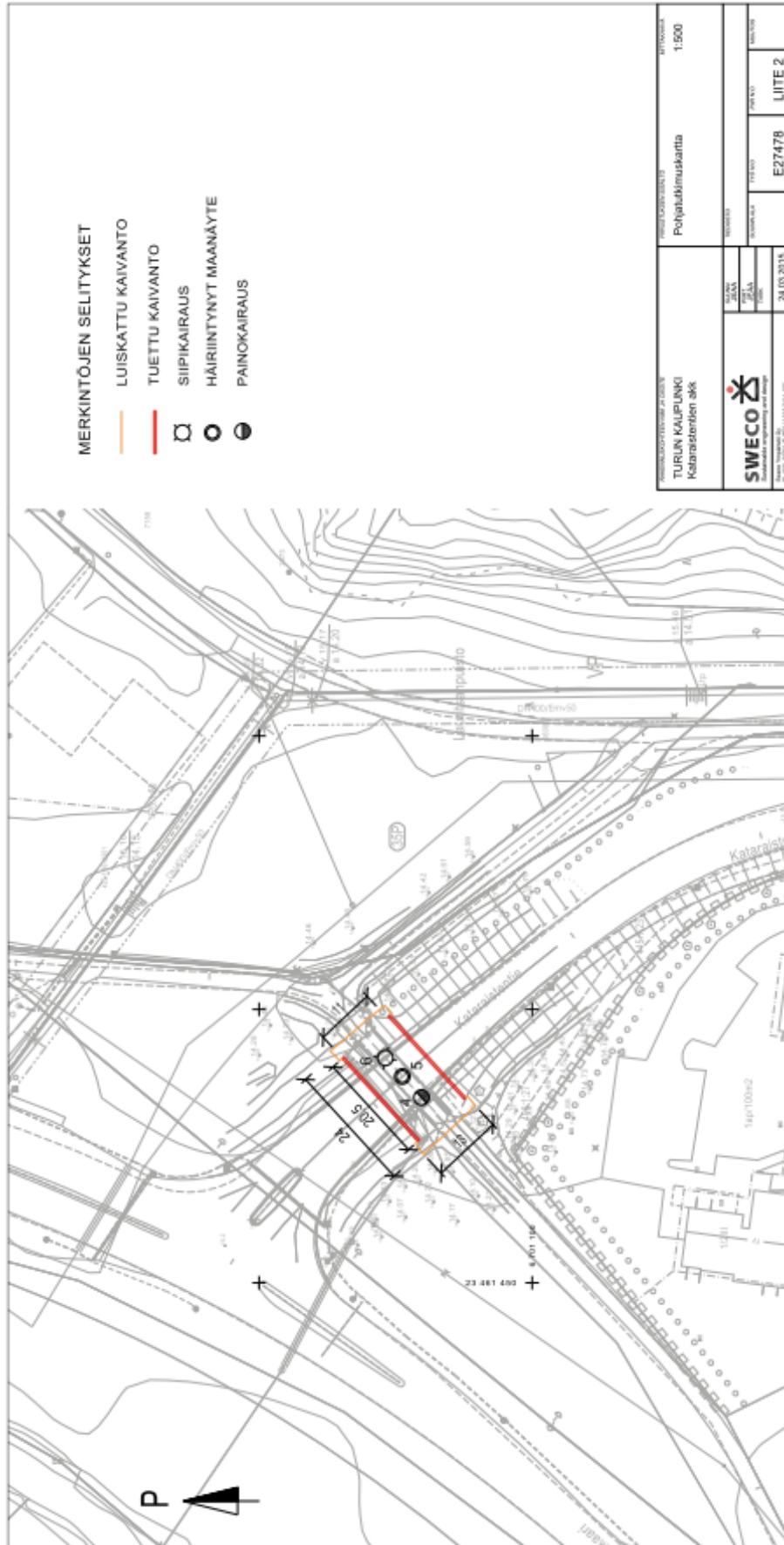
Teräsputkisiltojen perustamistapoina tarkasteltiin maanvaraista perustamista teräslevyarinalla sekä paaluperustusta. Maanvaraista perustamista tutkittiin painumalaskelmin. Saadut painumat ylittivät maksimipainuman raja-arvon, mutta tuloksissa ei ole huomioitu pohjasuhteiden muuttunutta tilannetta. Laskelmissa käytettiin tuloksia pohjatutkimuksista, jotka oli tehty ennen alikulkujen rakentamista. Maa on pohjatutkimusten teon jälkeen painunut ja uudet teräsputket ovat vanhoja siltarakenteita kevyemmät, joten painumat eivät ole todennäköisesti niin suuria kuin laskelmat osoittavat. Näiden tulosten perusteella ei voida todeta, että alikulut olisi pakko perustaa paaluilla. Tulosten pohjalta suositellaan täydentävien pohjatutkimusten tekoa. Lisäksi tulee huomioida sillan ja lähellä olevien rakenteiden, kuten viemäreiden ja kadun mahdollinen painuminen ponttiseinien nostovaiheessa. Paaluperustamisessa tämä ei ole ongelma sillalle, mutta mahdollisesti ympäröiville rakenteille.

Kaivannon teolle laskettiin kustannukset tuennasta sekä kaivantojen massoista ja perustamistavoille laskettiin sekä maanvaraisen perustamisen että paaluperustuksen kustannukset. Riippuen valitusta tuenta- ja perustamistavasta kaivantojen teon ja alikulkukäytävien perustamisten yhteiskustannuksiksi muodostui noin 220 000 €–340 000 €.

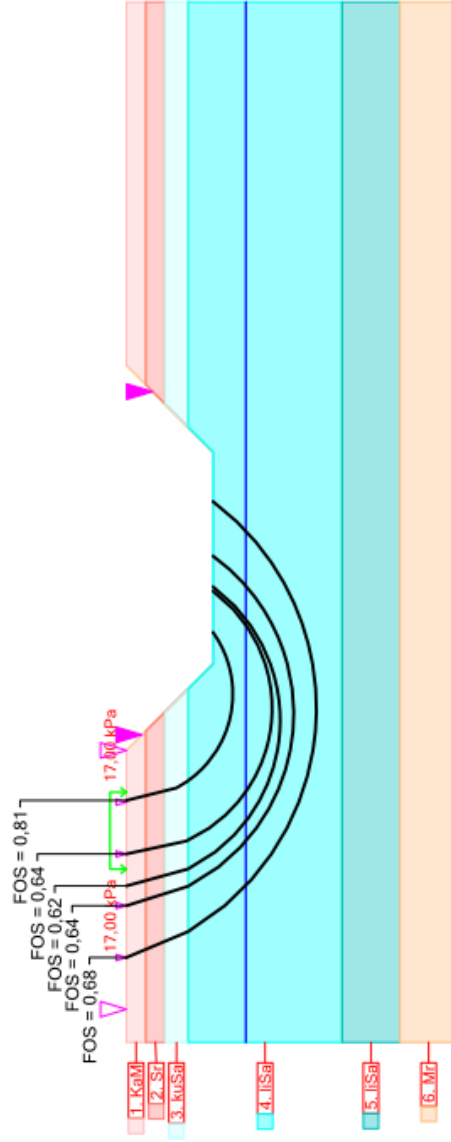
LÄHTEET

- Hoech. Spundwand und profil. Viitattu 21.3.2015
<http://www.spundwand.de/lieferprogramm/larssen-profile/print.html>.
- Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. 2., uudistettu painos. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kela, O. 2010. Teräsputkisillan rakentamisprosessi. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Kärki, T. 2010. Syvien kaivantojen maanpaineseinät. Diplomityö. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Espoo: Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu.
- Liikennevirasto 2011. Kevennysrakenteiden suunnitteluohje 9.3.2011. Viitattu 10.4.2015
www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf.
- Liikennevirasto 2011. Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu – NCCI7 10.6.2011. Viitattu 16.12.2014
www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-20_ncci_1_web.pdf.
- Liikennevirasto 2012. Teräsputkisillat. Suunnitteluohje 2.2.2012. Viitattu 20.1.2015
www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-10_terasputkisillat_suunnitteluohje_web.pdf.
- Liikennevirasto 2012. Sillan geotekninen suunnittelu 1.7.2012. Viitattu 16.12.2014
www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-11_sillan_geotekninen_web.pdf.
- Liikennevirasto 2013. Vaara vaanii kaivannossa. Tutkimushanke kaivantojen turvallisuudesta 9/2013. Viitattu 16.12.2014
www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-09_vaara_vaanii_web.pdf.
- Naavaay 2015. Sheet piling to use of various purposes-13. Viitattu 24.3.2015
<http://naavaay.com/sheet-piling-to-use-of-various-purposes-13/>.
- Turun kaupunki. Turun seudun karttapalvelu. Viitattu 14.1.2015
<http://opaskartta.turku.fi/ims/>.
- Tielaitos 1999. Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa 1.12.1999. Viitattu 4.3.2015
alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/prakos99.pdf.
- Rak-50.2122 Geotekniikan perusteet. Viitattu 21.1.2015
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/rak-50.../Rak-50_2122_luento1b.pdf.
- Ruukki 2013. Easy Bridge. Suunnitteluohje. Viitattu 13.4.2015
http://www.ruukki.fi/~media/Files/Infrastructure-solutions/Bridge%20brochures%20and%20data%20sheets/FI_EasyBridge_Suunnitteluohje.pdf.
- RIL 95-1974 Pohjarakennus 1974. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. Helsinki.
- RIL 263-2014 Kaivanto-ohje 2014. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. Helsinki.
- RT RakMK-21228. B3 Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Rakennustieto Oy.





2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 0,62

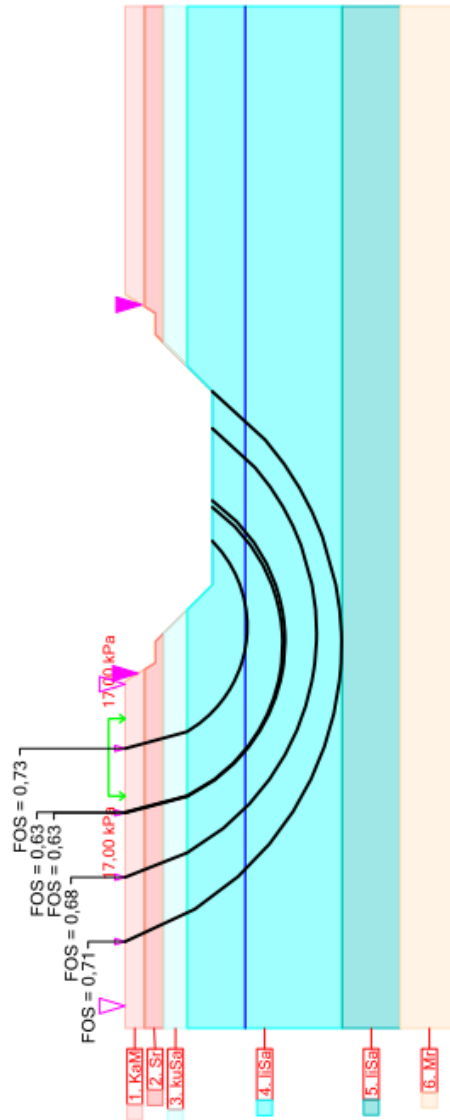


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \phi$ [°/m]	Material Type	ru	ruq	ru'
1	KaM	20,00		0,00	42,00			Independent on depth			
2	Sr	18,00		0,00	40,00			Independent on depth			
3	kuSa	16,00		27,00	0,00			Independent on depth			
4	lSa	14,00		10,00	0,00	1,00		Independent on depth			
5	lSa	15,50		25,00	0,00	0,00		Independent on depth			
6	Mr	17,00		0,00	36,00			Independent on depth			

Pore Pressure Settings: GW on, PW off, PPC off, ru off, ruq off, ru' off

/Luiskattu_kaivanto_1.1_Kataraistentie
LIITE 3
JEAA/
Hemsoft/GeoCase 3.0 28.02.2013 12:59

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 0,63

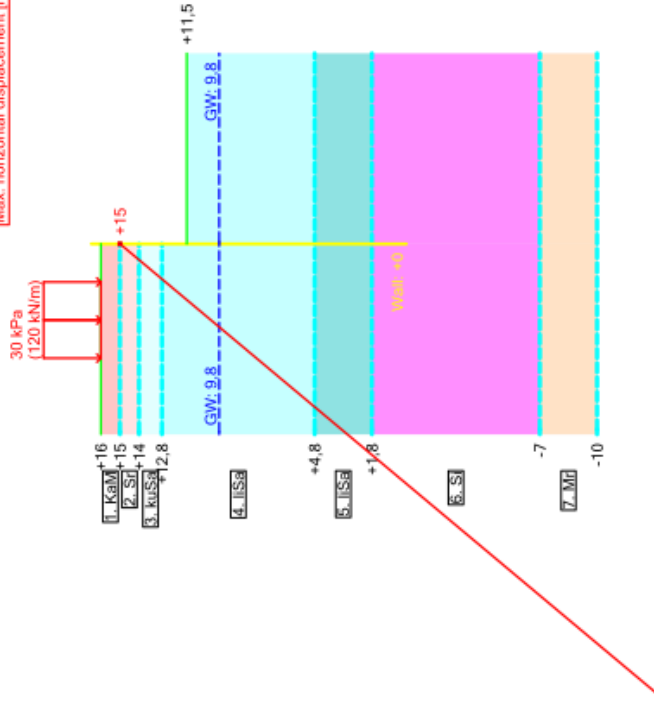


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \phi$ [°/m]	Material Type	ruq/ru'
1	KaM	20,00		0,00	42,00			Independent on depth	
2	Sr	18,00		0,00	40,00			Independent on depth	
3	KuSa	16,00		27,00	0,00			Independent on depth	
4	iSa	14,00		10,00	0,00	1,00		Independent on depth	
5	iSp	15,50		25,00	0,00	0,00		Independent on depth	
6	Mr	17,00		0,00	36,00			Independent on depth	

Pore Pressure Settings: GW on, PW off, PPC off, ru off, ruq off, ru' off

/Porrastettu_kavanto_Kaaraistenlie
LITTE 4
JEAÄ/
Housprojeetti/Geotekninen/2013/12/17

Result	Value
Anchor 1: Max. force [kN]	500.1
Max. bending moment [kNm]	387.9
Max. horizontal displacement [mm]	153.2



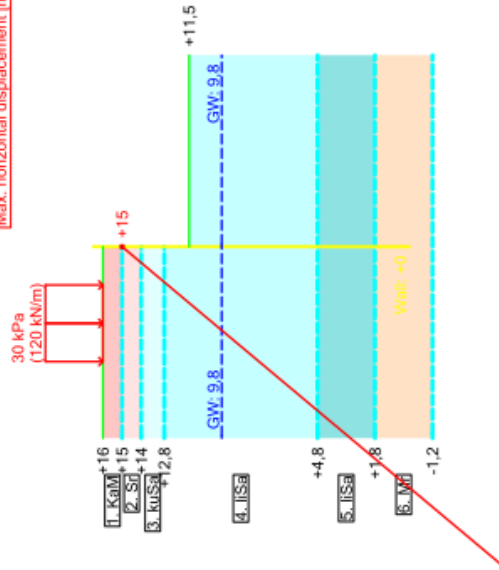
Wall Type	Sheetpile
Name	Larssen 605
Manufacturer	ThyssenKrupp
Cross Section Area [m ²]	0.01773
Calculation Width [m]	1
Inertia Modulus [m ⁴]	0.0004242
Section Modulus [m ³]	0.00202
Elastic Modulus [kPa]	210000000
Flexural Stiffness [kNm ²]	89082
Axial Stiffness [kNm ² /m ²]	3723300
Length of Wall [m]	16

Name	A [mm ²]	L [m]	α [°]	h [m]	F [kN]	Elastic Modulus [kPa]	Overdig [m]	Horizontal distribution [m]
Ankkuri	1200	37	50	1	0	210000000	-0,1	2,4

Id	Layer Name	z [m]	h [m]	γ [kN/m ³]	φ [°]	c [kPa]	Δc [kPa/m]	Ko Model	Ko	Earth Pres. Model	Ka	Kp	d/dud	Material Model	tyyl	tyyl	tyyl	tyyl	tyyl	m	n	k
1.	KaM	16	1	20	42	0	0	Jaky	0,33	Coulomb	0,2	5,04	Drained	MCM					800	0,5	0,5	
2.	Sr	15	1	18	40	0	0	Jaky	0,36	Coulomb	0,22	4,6	Drained	MCM					50	0,5	0,5	
3.	kuSa	14	1,2	16	0	27	0	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM					20	1	1	
4.	liSa	12,8	8	14	0	10	1	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM					50	0	1	
5.	liSa	4,8	3	14,5	0	25	0	Jaky	1	Coulomb	0,36	2,77	Drained	MCM					60	0,5	0,5	
6.	SI	1,8	8,8	14	28	0	0	Jaky	0,53	Coulomb	0,26	3,85	Drained	MCM					800	0,5	0,5	
7.	Mr	-7	3	17	36	0	0	Jaky	0,41	Coulomb			Drained	MCM								

Tukiseinä_ankkuri_Eteläkaari
LIITE 5
JEAV
Newpoint GeoCalc 10.20.03.2013 10:16

Result	Value
Anchor 1: Max. force [kN]	493,8
Max. bending moment [kNm]	378,3
Max. horizontal displacement [mm]	123,6

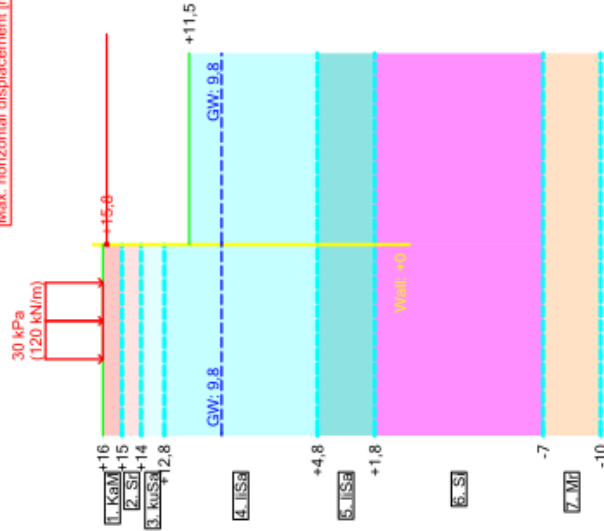


Wall Type	Sheetpile
Name	Larsen 605
Manufacturer	ThyssenKrupp
Cross Section Area [m ²]	0.01773
Calculation Width [m]	1
Inertia Modulus [m ⁴]	0.0004242
Section Modulus [m ³]	0.00202
Elastic Modulus [kPa]	210000000
Flexural Stiffness [kNm ² /m ²]	89082
Axial Stiffness [kNm ² /m ²]	3723300
Length of Wall [m]	16

Name	A [mm ²]	L [m]	a [°]	h [m]	F [kN]	Elastic Modulus [kPa]	Overdig [m]	Horizontal distribution [m]													
Ankkuri 1	1200	26	50	1	0	210000000	-0,1	2,4													
Id	Layer Name	z [m]	h [m]	y [m]	φ [°]	c [kPa]	Δc [kPa/m]	Ko Model	Ko	Earth Pres. Model	Ka	Kp	d/ud	Material Model	δy	δyp	δ50a	δ50p	m	n	k
1.	KaM	16	1	20	42	0	0	Jaky	0,33	Coulomb	0,2	5,04	Drained	MCM					600	0,5	0,5
2.	Sr	15	1	18	40	0	0	Jaky	0,36	Coulomb	0,22	4,6	Drained	MCM					600	0,5	0,5
3.	kuSa	14	1,2	16	0	27	0	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM					50	0	1
4.	IIISa	12,8	8	14	0	10	1	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM					20	1	1
5.	IIISa	4,8	3	14,5	0	25	0	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM					50	0	1
6.	Mr	1,8	3	17	36	0	0	Jaky	0,41	Coulomb	0,26	3,85	Drained	MCM					600	0,5	0,5

Projekointi: ankkuri_Kataraistentie
 LIITE 6
 JEAAV
 Microsoft Office 3.0. (26.03.2019, 13:20)

Result	Value
Anchor 1: Max. force [kN]	407.6
Max. bending moment [kNm]	487.8
Max. horizontal displacement [mm]	92.3



Wall Type	Sheetpile
Name	Larsen 606 n
Manufacturer	ThyssenKrupp
Cross Section Area [m ²]	0.02
Calculation Width [m]	1
Inertia Modulus [m ⁴]	0.00054375
Section Modulus [m ³]	0.0025
Elastic Modulus [kPa]	21000000
Flexural Stiffness [kNm ²]	114187.5
Axial Stiffness [kNm ² /m ²]	4200000
Length of Wall [m]	16

Name	A [mm ²]	L [m]	Ia [m ⁴]	Ih [m ⁴]	F [kN]	E [kN]	Elastic Modulus [kPa]	Overdig [m]	Horizontal distribution [m]
HE240B	10600	11	180	0.2	0	21000000	0.3	3	

Id	Layer Name	z [m]	h [m]	γ [kN/m ³]	φ [°]	Δc [kPa/m]	Ko Model	Ko	Earth Pres. Model	Ka	Kp	d/ud	Material Model	δy	δz	50a	ξ	50p	m	n	k
1.	KaM	16	1	20	42	0	Jaky	0.33	Coulomb	0.2	5.04	Drained	MCM						600	0.5	0.5
2.	Sr	15	1	18	40	0	Jaky	0.36	Coulomb	0.22	4.6	Drained	MCM						600	0.5	0.5
3.	KuSa	14	1.2	16	0	27	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM						50	0	1
4.	IISa	12.8	8	14	0	10	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM						20	1	1
5.	IISa	4.8	3	14.5	0	25	Jaky	1	Coulomb	1	1	Undrained	MCM						50	0	1
6.	Si	1.8	8.8	14	28	0	Jaky	0.53	Coulomb	0.36	2.77	Drained	MCM						60	0.5	0.5
7.	Mr	-7	3	17	36	0	Jaky	0.41	Coulomb	0.26	3.85	Drained	MCM						600	0.5	0.5

TUKSISAIMÄ_ vaakapaikka_Eteläkaari
LIITE 7
JEAV
Näkökulma: Eteläkaari 3.0. 2010.03.2013.12.20

**LIITE 8
KUSTANNUSARVIO, ETELÄKAARI**


Projekti: Turku > Peltola, alikulut
 Laskelma: Eteläkaaren alikulun kaivanto ja perustaminen
 Hankkeen tyyppi: Investointi
 Aluekerroin: 0,96
 Kustannusindeksi: 112,70 (2010=100)

Laskelman kustannukset yhteensä: 288 900 €

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä	
Kaivannot					0,00 €	141 137 €
1151	Asfalttipäällysteiden poisto, kaatopaikalle (kuljetus < 15 km) *	m2tr	115	12,27 €	1 411 €	
	KLV					
1151	Asfalttipäällysteiden poisto, kaatopaikalle (kuljetus < 15 km) *	m2tr	160	12,27 €	1 963 €	
1421	EPS-routaeriste, 100 mm	m2tr	215	8,39 €	1 804 €	
1613	+maan vastaanottomaksu	m3ktr	955	14,19 €	13 555 €	
	Siltakaivannon massat					
1624	Siltakaivanto, laajuus 200-1000 m3ktr TAI normaalit olosuhteet	m3ktr	955	6,62 €	6 318 €	
1624	+ Lisäkustannus tuetulle siltakaivannolle (kuiva)	m3ktr	900	4,20 €	3 782 €	
1624.1	+kuljetuksen lisäkustannus (15-20 km), rakennus- ja siltakaivannot	m3ktr	955	6,78 €	6 479 €	
1632	Väliaikainen teräsponsseina	m2tr	770	40,32 €	31 047 €	
1834	Alustäyttö murskeesta	m3rtr	370	13,87 €	5 134 €	
1834.1	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), alustäytöt	m3rtr	370	4,82 €	1 782 €	
1835	Ympäristäyttö murskeella, KaM Q/63 *	m3rtr	350	28,00 €	9 800 €	
1835.1	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), ympäristäytöt	m3rtr	350	4,82 €	1 686 €	
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3rtr	m3rtr	24	20,87 €	501 €	
	KLV					
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3rtr	m3rtr	25	20,87 €	522 €	
2131.5	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), sitomattomat kantavat kerrokset	m3rtr	49	4,82 €	236 €	
2141.13	ABK 22 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on alle 200 m2)	m2tr	125	9,05 €	1 132 €	
	KLV					
2141.13	ABK 22 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on alle 1500 m2)	m2tr	320	7,33 €	2 347 €	
	80 mm, 160 m2					
2141.3	SMA 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	320	10,13 €	3 241 €	
4999	Ankkuri, 10 m *	kpl	20	760,00 €	15 200 €	
4999	Ankkuri, lisäpituus *	m	540	30,00 €	16 200 €	
	Lisäpituus 27 m / ankkuri					
4999	HEB 240 poikkipalkki *	m	48	125,00 €	6 000 €	
	Ankkureiden kiinnitykseen					
4999	HEB 240 poikkipalkki *	m	88	125,00 €	11 000 €	
	Sisäpuolisen tuennan vaihtoehto/poikkipalkki					

Sivu 1 / 2

Turku > Peitola, alikulut

Maanvarainen perustus				0,00 €	7 724 €
1334	Teräslevyarina	m2tr	285	25,33 €	7 218 €
2112	Suodatinkangas N4	m2tr	285	1,78 €	506 €
Ei tarvita, jos teräslevyarina					
Paaluperustus				0,00 €	58 718 €
1321.211	Teräsputkipaalu RR75, määrä 500-2000 m/normaalit olosuhteet 21,5 m x 36 kpl	mtr	775	22,71 €	17 600 €
1326	Paalulaatta, normaalit kohteet	m2tr	285	94,94 €	27 059 €
1613	+maan vastaanottomaksu	m3ktr	60	14,19 €	852 €
1624	Siltakaivanto, laajuus 200-1000 m3ktr TAI normaalit olosuhteet	m3ktr	60	6,62 €	397 €
1624.1	+kuljetuksen lisäkustannus (15-20 km), rakennus- ja siltakaivannot	m3ktr	60	6,78 €	407 €
2121.2	Jakava kerros KaM 0-63, alle 1500 m3tr	m3tr	20	18,63 €	363 €
2121.8	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), jakavat kerrokset	m3tr	20	4,82 €	94 €
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3tr	m3tr	8	20,87 €	167 €
2131.5	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), sitomattomat kantavat kerrokset	m3tr	8	4,82 €	39 €
2151	Siirtymäkullan teko *	m3tr	60	5,00 €	300 €
4244.1	Sillan siirtymälaatat, valmisbetoni C25/30 (K30) L=5 m, h=300 mm	m3	33	308,46 €	10 179 €
4999	Kevytsora *	m3	33	38,25 €	1 262 €
1000-4000	Rakennusosat yhteensä				207 579 €
Työmaatehtävät					
5100	Rakentamisen johtotehtävät				10 379 €
5300	Rakentamisen työmaatehtävät ja erityiset työmaakulut				4 152 €
5400	Työmaapalvelut				4 152 €
5500	Työmaan kalusto				2 076 €
5200	Urakoitsijan yritystehtävät				22 834 €
5761.31	Hintatason muutokset				0 €
	Työmaatehtävät yhteensä				43 592 €
1000-5500	Rakennusosat ja työmaatehtävät yhteensä				251 171 €
Tilaaajatehtävät					
5600	Suunnittelutehtävät				18 838 €
5700	Rakennuttamis- ja omistajatehtävät				18 901 €
	Tilaaajatehtävät yhteensä				37 738 €
1000-5580	Rakennusosat, työmaatehtävät ja tilaaajatehtävät yhteensä				288 909 €
Muut kustannukset					
Nimi	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä	
Muut kustannukset yhteensä					
Koko hanke yhteensä	(Alv. 0%)				288 900 €
	(Alv. 24%)				69 300 €
Koko hanke yhteensä	(Alv. 24%)				358 200 €

**LIITE 9
KUSTANNUSARVIO, KATARAISTENTIE**


Projekti: Turku > Peltola, alkulut
 Laskelma: Kataraistentien alikulun kaivanto ja perustaminen
 Hankkeen tyyppi: Investointi
 Aluekerroin: 0,96
 Kustannusindeksi: **112,70 (2010=100)**

Laskelman kustannukset yhteensä: 236 400 €

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä	
Kaivannot					0,00 €	116 511 €
1151	Asfalttipäällysteen poisto, kaatopaikalle (kuljetus < 15 km) *	m2tr	140	12,27 €	1 718 €	
1151	Asfalttipäällysteen poisto, kaatopaikalle (kuljetus < 15 km) *	m2tr	100	12,27 €	1 227 €	
	KLK					
1421	EPS-routaeriste, 100 mm	m2tr	185	8,39 €	1 552 €	
1613	+maan vastaanottomaksu	m3ktr	780	14,19 €	11 071 €	
	Siltakaivannon massat					
1624	Siltakaivanto, laajuus 200-1000 m3ktr TAI normaalit olosuhteet	m3ktr	780	6,62 €	5 160 €	
1624	+ Lisäkustannus tuetulle siltakaivannolle (kuiva)	m3ktr	740	4,20 €	3 109 €	
1624.1	+kuljetuksen lisäkustannus (15-20 km), rakennus- ja siltakaivannot	m3ktr	780	6,78 €	5 292 €	
1632	Väliaikainen teräsponttiseinä	m2tr	660	40,32 €	26 612 €	
1834	Alustäyttö murskeesta	m3tr	320	13,87 €	4 440 €	
1834.1	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), alustäytöt	m3tr	320	4,82 €	1 541 €	
1835	Ympäristäyttö murskeella, KaM 0/63 *	m3tr	330	28,00 €	9 240 €	
1835.1	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), ympäristäytöt	m3tr	330	4,82 €	1 589 €	
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3tr	m3tr	22	20,87 €	459 €	
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3tr	m3tr	21	20,87 €	438 €	
	KLK					
2131.5	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), sitomattomat kantavat kerrokset	m3tr	43	4,82 €	207 €	
2141.13	ABK 22 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on alle 200 m2)	m2tr	120	9,05 €	1 086 €	
	KLK					
2141.13	ABK 22 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on alle 1500 m2)	m2tr	280	7,33 €	2 054 €	
	80 mm, 140 m2					
2141.3	SMA 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	280	10,13 €	2 836 €	
4999	HEB 240 poikkipalkki *	m	75	125,00 €	9 375 €	
	Sisäpuolisen tuennan vaihtoehto/poikkipalkki					
4999	HEB 240 poikkipalkki *	m	41	125,00 €	5 125 €	
	Ankkureiden kiinnitykseen					
4999	Ankkuri, lisäpituus *	m	290	30,00 €	8 700 €	
	Lisäpituus 16 m / ankkuri					
4999	Ankkuri, 10 m *	kpl	18	760,00 €	13 680 €	

Sivu 1 / 2

Turku > Pellola, alikulut

Maanvarainen perustus				0,00 €	6 775 €
1334	Teräslevyarina	m2tr	250	25,33 €	6 331 €
2112	Suodatinkangas N4	m2tr	250	1,78 €	444 €
	Ei tarvita, jos teräslevyarina				
Paaluperustus				0,00 €	46 547 €
1321.211	Teräsputkipaalu RR75, määrä 500-2000 m/normaalit olosuhteet 12,7 m x 32 kpl	mtr	405	22,71 €	9 197 €
1326	Paalulaatta, normaalit kohteet	m2tr	245	94,94 €	23 261 €
1613	+maan vastaanottomaksu	m3ktr	60	14,19 €	852 €
1624	Siltakaivanto, laajuus 200-1000 m3ktr TAI normaalit olosuhteet	m3ktr	60	6,62 €	397 €
1624.1	+kuljetuksen lisäkustannus (15-20 km), rakennus- ja siltakaivannot	m3ktr	60	6,78 €	407 €
2121.2	Jakava kerros KaM 0-63, alle 1500 m3rtr	m3rtr	18	18,63 €	335 €
2121.8	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), jakavat kerrokset	m3rtr	18	4,82 €	87 €
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3rtr	m3rtr	8	20,87 €	157 €
2131.5	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), sitomattomat kantavat kerrokset	m3rtr	8	4,82 €	36 €
2151	Siirtymäkällän teko *	m3rtr	60	5,00 €	300 €
4244.1	Sillan siirtymälaatat, valmisbetoni C25/30 (K30) L=5 m, h=300 mm	m3	33	308,46 €	10 179 €
4999	Kevytsora *	m3	35	38,25 €	1 339 €
1000-4000	Rakennusosat yhteensä				169 833 €
Työmaatehtävät					
5100	Rakentamisen johtotehtävät				8 492 €
5300	Rakentamisen työmaatehtävät ja erityiset työmaakulut				3 397 €
5400	Työmaapalvelut				3 397 €
5500	Työmaan kalusto				1 698 €
5200	Urakoitsijan yritystehtävät				18 682 €
5761.31	Hintatason muutokset				0 €
Työmaatehtävät yhteensä					35 665 €
1000-5500	Rakennusosat ja työmaatehtävät yhteensä				205 497 €
Tilajatehtävät					
5600	Suunnittelutehtävät				15 412 €
5700	Rakennuttamis- ja omistajatehtävät				15 464 €
Tilajatehtävät yhteensä					30 876 €
1000-5580	Rakennusosat, työmaatehtävät ja tilajatehtävät yhteensä				236 373 €
Muut kustannukset					
Nimi	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä	
Muut kustannukset yhteensä					
Koko hanke yhteensä				(Alv. 0%)	236 400 €
				(Alv. 24%)	56 700 €
Koko hanke yhteensä				(Alv. 24%)	293 100 €