

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Yhdyskuntatekniikka

Mikko Hurme

Laitaatsalmen betonisiltojen perustamistavat

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Mikko Hurme

Laitaatsalmen betonisiltojen perustamistavat, 42 sivua

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Yhdyskuntatekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Sami Kurkela, LAB-ammattikorkeakoulu ja työmaapäällikkö Aki Loikkanen, Destia Oy

Savonlinnaan rakennettiin 2016–2019 välisenä aikana kaksi Suomen suurinta jännitettyä betonista jatkuvaa laattapalkkisiltaa. Silloissa on käytetty useita eri perustamistapoja.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Laitaatsalmen pohjoisen betonisillan perustamistapoja. Työn tavoitteena oli selvittää, miten ja miksi kyseisiin ratkaisuihin on päädytty ja mitä vaihtoehtoja olisi ollut. Työn tilaaja on Destia Oy.

Opinnäytetyön materiaali on kerätty kirjallisuudesta sekä haastattelemalla hankkeen työmaapäällikkö Aki Loikkasta, Destia Oy, geosuunnittelija Mikko Smuraa, Destia Oy ja siltasuunnittelijoita Juha Litmasta sekä Pekka Lämsää, Sweco Oy.

Tutkimuksessa selvisi, että käytetyt perustamistavat ovat optimaalisimmat juuri kyseiseen siltaan, eikä parempia perustamistapoja löytynyt.

Asiasanat: Perustukset, Silta, Laitaatsalmi

Abstract

Mikko Hurme

Types of foundations in Laitaatsalmi concrete bridges, 42 Pages

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Infrastructure

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr Sami Kurkela, lecturer, LAB University of Applied Sciences and

Mr Aki Loikkanen, site manager, Destia Oy

In 2016–2019 two of Finland's largest post-tensioned concrete plate girder bridges were built in Savonlinna. Many types of foundations have been used in the bridges.

The purpose of this thesis was to study why and how exactly those types of foundations have been used in the northern bridge and what different options there would have been. Customer of this thesis is Destia Oy.

The data for this thesis has been collected from literature and by interviewing site manager Aki Loikkanen, Destia Oy, geotechnical designer Mikko Smura, Destia Oy, and bridge designers Juha Litmanen and Pekka Lämsä, Sweco Oy.

The result of this thesis was that the most optimal types of foundations were used in this bridge and no better options were found.

Keywords: Foundations, Bridge, Laitaatsalmi

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Yleisimmät perustamistavat	6
2.1	Maanvarainen perustus	6
2.2	Kallionvarainen perustus.....	8
2.3	Paaluperustukset	9
2.3.1	Paalutustekniikat	10
2.3.2	Paalutyypit.....	12
2.3.3	Paalutustyöluokat	14
3	Hanke	15
4	Siltapaikka	18
5	Sillat	20
6	Tuet	22
6.1	Tuki T1A	22
6.1.1	Maaperäolosuhteet.....	22
6.1.2	Perustamistapa	23
6.2	Tuki T2A	24
6.2.1	Maaperäolosuhteet.....	24
6.2.2	Perustamistapa	24
6.3	Tuki T3A	25
6.3.1	Maaperäolosuhteet.....	25
6.3.2	Perustamistapa	25
6.4	Tuki T4A	26
6.4.1	Maaperäolosuhteet.....	26
6.4.2	Perustamistapa	27
6.5	Tuki T5A	29
6.5.1	Maaperäolosuhteet.....	29
6.5.2	Perustamistapa	30
6.6	Tuki T6A	32
6.6.1	Maaperäolosuhteet.....	32
6.6.2	Perustamistapa	32
6.7	Tuki T7A	33
6.7.1	Maaperäolosuhteet.....	33
6.7.2	Perustamistapa	34
6.8	Tuki T8A	35
6.8.1	Maaperäolosuhteet.....	35
6.8.2	Perustamistapa	35
6.9	Painumat.....	38
6.10	Yhteenveto	38
7	Pohdinta.....	39
	Lähteet.....	41

1 Johdanto

Destia Oy rakensi Savonlinnan Laitaatsalmeen vuosina 2016–2019 kaksi Suomen suurinta jännitettyä betonipalkkisiltaa. Siltojen pituus on noin 500 metriä ja ne tunnetaan nimellä Laitaatsalmen sillat. Sillat on perustettu kahdeksalle tuelle ja niissä on käytetty useita eri perustamistapoja.

Perustukset ovat yksi tärkeimpiä osia rakennettaessa, koska ne ottavat vastaan rakenteen kuormat. Niiden tehtävänä on hallitusti välittää rakenteiden kuormitukset maapohjaan sekä estää haitallisia painumia, joista voi seurata vaurioita rakenteelle. Perustamistavan valintaan vaikuttaa moni eri asia ja usein juuri sen oikean tavan löytäminen voi olla haastavaa ja työlästä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Laitaatsalmen pohjoisen sillan perustamistapoja: miten ja miksi kyseisiin perustamistapoihin on päädytty, ja mitä muita perustamisvaihtoehtoja olisi ollut.

Opinnäytetyössä käytetään alan kirjallisuudesta sekä työmaapäällikön ja suunnittelijoiden haastatteluista kerättyä materiaalia. Tämän työn tilaajana on Destia Oy.

Työssä esitetään ensin yleisimmin käytettyjä perustamistapoja ja kerrotaan, mikä niille on tavanomaista. Sen jälkeen tutkitaan Laitaatsalmen hanketta ja siltoja. Työssä keskitytään perustamistapojen osalta ainoastaan pohjoiseen siltaan. Eteläisen sillan perustamistapoja ei tutkita. Työssä ei myöskään oteta kantaa kustannuksiin.

2 Yleisimmät perustamistavat

2.1 Maanvarainen perustus

Maanvarainen perustaminen on yksi yleisimmin käytetyistä perustamistavoista. Se on usein työtekniisesti helpoin ja taloudellisesti edullisin ratkaisu. Sitä käytetään paljon myös siltojen rakentamisessa.

Maanvaraan perustettaessa rakenteen kuormitukset välitetään pohjamaalle. Pohjamaana voi olla luonnontilainen maapohja, rakennettu maapohja eli vaihdettu maa tai maanpinnalle tehty täyttö, tai vahvistettu maapohja. Maanvaraista perustusta ei saa ikinä tehdä eloperäisten pohjamaiden varaan suurien konsolidaatiopainumien ja pitkien jälkipainumien takia (Jääskeläinen 2009, 40). Perustukset tehdään aina sulalle häiriintymättömälle maapohjalle, tai täytölle, joka on asianmukaisesti tiivistetty (Rantamäki & Tamminen 1979, 32,41).

Maanvaraiset perustukset tehdään yleensä perusmuurianturoilla tai pilarianturoilla, joskus myös yhtenäisillä jäykistetyillä laatoilla. Anturaperustusta käytetään yleensä silloin, kun perustetaan karkearakeisten maakerrosten ja moreenien varaan. Laattaperustuksia käytetään, kun perustetaan kevyitä rakennuksia hienorakeisten maakerrosten varaan. (Rantamäki & Tamminen 1979, 32–33.)

Suunniteltaessa maanvaraista perustusta on maaperän tekniset ominaisuudet tutkittava. Maaperän teknisiä ominaisuustietoja tarvitaan geotekniseen suunnitteluun, jossa mitoitetaan maaperän kantavuus- ja painumaominaisuuksia.

Perustusten geoteknisellä mitoituksella varmistetaan, että varmuus maapohjan murtumista vastaan on riittävä ja että perustuksen maapohjalle välittämistä jännityksistä ei seuraa haitallisia painumia tai sivusiirtymiä perustuksille tai ulkopuolisille rakenteille. (Rantamäki & Tamminen 1979, 34.)

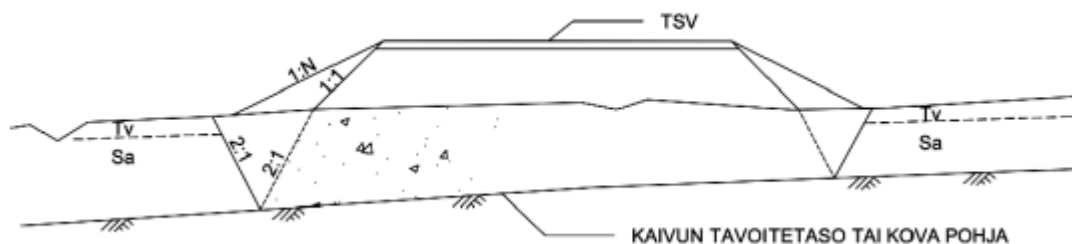
Kun geoteknisellä mitoituksella edellä mainittuja ei voida taata, voi olla vaihtoehtona muuttaa rakenneratkaisuja, joilla kuormia saataisiin pienemmiksi. Usein tämäkään ei riitä, tai ei ole teknisesti tai taloudellisesti kannattavaa, vaan vaihtoehtoiksi jää maapohjan vahvistaminen tai paaluperustus.

Massanvaihdon varaan perustus

Maanvarainen perustus massanvaihdon varaan on myös paljon käytetty menetelmä. Sitä käytetään myös siltojen rakentamisessa ja silloin kyseessä on yleensä massanvaihto kaivamalla.

Massanvaihto on itseasiassa pohjanvahvistusmenetelmä jota käytetään, kun lähellä maanpintaa on pehmeä, huonosti kantava tai kokoonpuristuva maakerros. Massanvaihdossa rakentamiselle ongelmallinen maakerros korvataan kantavalla täyttömateriaalilla ja se voidaan tehdä joko kaivamalla tai pengertämällä. (Jääskeläinen 2009, 206.)

Kaivumenetelmää käytettäessä pehmeät maakerrokset poistetaan joko tavoitesyvyyteen tai kantavaan maakerrokseen asti. Kaivettu maa korvataan kitka- ja painovoimalla, kuten hiekalla, soralla, hiekkamoreenilla tai karkeammilla maalajeilla. Periaate on esitetty kuvassa 1. Parhaana ja eniten käytettynä täyttömateriaalina pidetään louhetta. Kaivamalla tehty massanvaihto voidaan tiivistää kerroksittain edettäessä alhaalta ylöspäin, mutta se edellyttää kaivannossa mahdollisesti olevan veden poistamista. (Liikennevirasto 2011a, 10–11.)

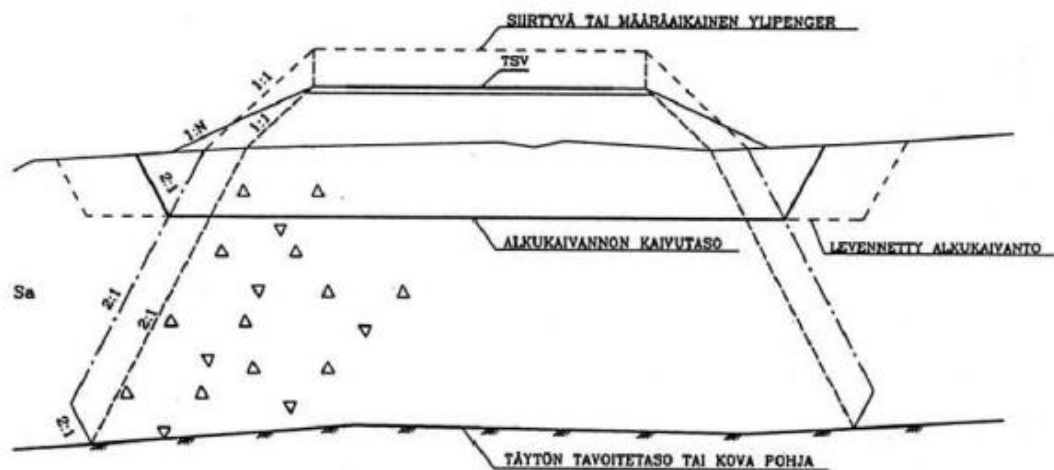


Kuva 1. Massanvaihto kaivamalla (Liikennevirasto 2011a, 11)

Hyviä käyttökohteita menetelmälle ovat esimerkiksi matalat savipehmeiköt ja matalat suot, joissa riittävän kantava pohja sijaitsee heti turpeen alla. Sitä voidaan käyttää myös lähellä herkästi vaurioituvia rakennuksia sekä paalutettujen alueiden päissä, joissa paalupituudet jäisivät lyhyiksi. Tyypillisesti massanvaihdon maksimisyvyys on 3–5 metriä, mutta syvempiäkin massanvaihtoja on mahdollista toteuttaa erikoiskalustoin- ja menetelmin. (Liikennevirasto 2011a, 10–11.)

Pengerrysmenetelmää eli pohjaantäyttöä käytetään yleensä silloin, kun pehmeikkö on niin syvä, ettei kaivumenetelmää ole mahdollista tai kannattavaa käyttää. Periaate on esitetty kuvassa 2. Tyypillinen syvyys tällä menetelmällä on 5–10 metriä, mutta syvempiäkin pohjaantäyttöjä on mahdollista toteuttaa. Pohjaantäyttöön ryhdyttäessä poistetaan ensin pintakerros alkukaivannosta, koska se voi olla esteenä täytön onnistumiselle. Täyttömateriaalina käytetään louhetta ja karkeita kitkamaita. (Liikennevirasto 2011a, 11.)

Pohjaantäyttöä ei yleensä erikseen tiivistetä, vaan penger tiivistyy työn aikaisen liikenteen ansiosta ja sen jälkeen omasta painostaan. Jos tiivistymistä halutaan nopeuttaa, voidaan täytön päälle rakentaa esikuormituspenger. (Liikennevirasto 2011a, 16.)



Kuva 2. Massanvaihto pengertämällä (Liikennevirasto 2011a, 11)

2.2 Kallionvarainen perustus

Kallionvaraiseen perustukseen päädytään usein, kun kallionpinta on lähellä perustamistasoa. Tätä tapaa käytetään paljon myös siltojen rakentamisessa.

Kallionvaraan perustettaessa rakenteen kuormitukset välitetään suoraan kallioon. Ehjä ja rapautumaton kallio on yleensä niin lujaa, että teräsbetonirakenteet voidaan perustaa suoraan kalliota vasten ilman anturarakenteita. Rakenteet eivät käytännössä painu, eikä kallio roudi. (Jääskeläinen 2009, 24.)

Suomessa kallio on yleensä hyvälaatuista, mutta rapautuminen ja muut geologiset prosessit ovat rikkoneet ja heikentäneet varsinkin kallioperän ylimpiä osia. Kallion laatua epäiltäessä kivilajityyppi, ruhjevyyhykkeet, halkeilusuunnat ja rakoilujen esiintyminen ovat tärkeimpiä kallioporauksella saatavia perustietoja. (Jääskeläinen 2009, 24.)

Löyhälle tai rikkonaiselle kalliolle perustettaessa suunnittelu tehdään samalla tavalla kuin maanvaraan perustettaessa ja se yleensä toteutetaan anturaperustuksena. Kallion geotekninen kantavuus on verrattavissa tiiviiseen kitkamaahan ja pohjamoreeniin. (Rantamäki & Tamminne 1979, 27.)

Suoraan kalliolle perustettaessa varmistetaan perustuksien liikkumattomuus pultituksella, vaikka kalliopinta ei olisikaan niin kalteva, että se sitä vaatisi. Pultituksella tarkoitetaan, että kallioon porataan matalia mutta teräksen tartuntapituuden ylittäviä reikiä, joihin paksut teräspultit juotetaan jääden yläpäästään anturan sisään. Reiät porataan noin 1,5 kertaa pultin halkaisijan kokoisiksi, jotta pultin ympärille saadaan suojakerros ruostumista vastaan. Kalliopultti ottaa vastaan kallion ja rakenteen välissä syntyviä leikkausvoimia. Liukumista voidaan ehkäistä myös louhimalla kallio kohtisuoraksi suurinta kuormitusresultanttia vastaan. (Jääskeläinen 2009, 27–28.)

Kallioankkureita käytetään, kun perustuksiin kohdistuu vetovoimia. Kyseessä voi olla esimerkiksi tuulikuormien rasituksille altis rakenne, ulokkeellinen rakenne tai pohjaveden alle rakennettu allas. Rakenteissa, joissa ei esiinny suuria vetojännityksiä, voidaan ankkureina käyttää myös harjateräksiä. (Jääskeläinen 2009, 29–30.)

2.3 Paaluperustukset

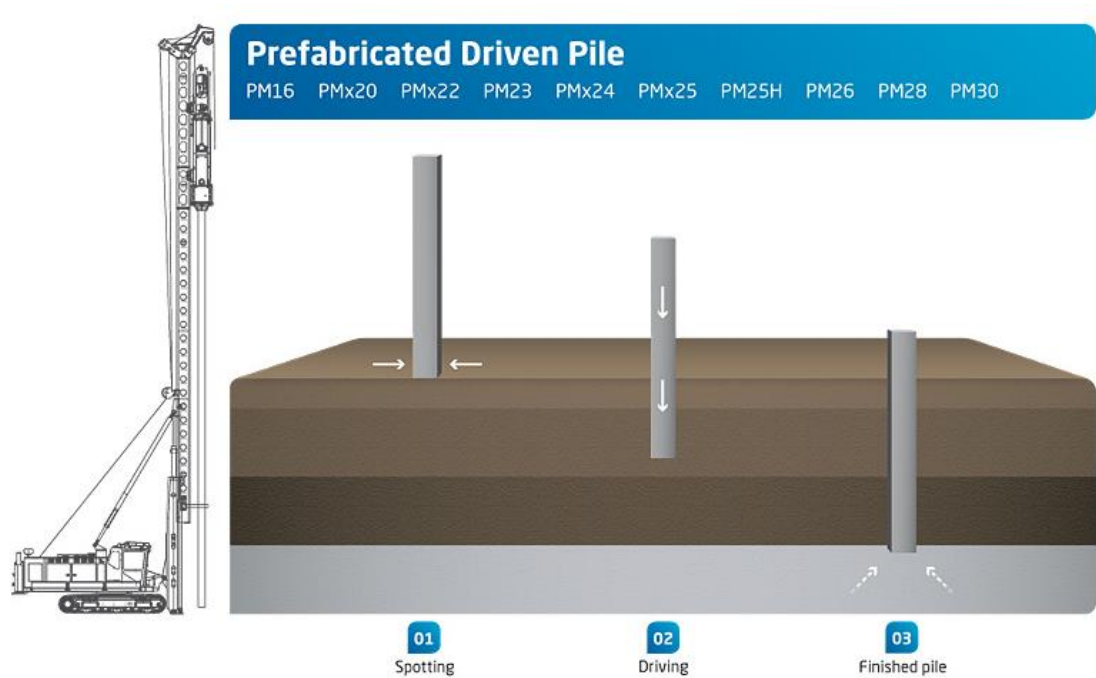
Paaluperustusta käytetään yleensä, kun maapohja on heikko ja pohjanvahvistus on työteknisesti hankalaa tai se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Sitä käytetään paljon myös siltojen rakentamisessa, joissa kuormat ovat yleensä suuria ja perustukset usein lähellä pohjavettä tai vesistön välittömässä läheisyydessä.

Paaluilla perustettaessa rakenteen kuormitukset välitetään paalujen avulla maahan tai kallioon. Paaluperustus tulee usein kyseeseen silloin, kun kantava maapohja on syvällä, eikä perusmuureilla, anturoilla tai pilareilla perustaminen kanta-
valle maapohjalle ole kannattavaa kustannusten ja työn hankaluuden vuoksi. Paalutus edellyttää aina tarkkoja pohjatutkimuksia. (Rantamäki & Tamminen 1979, 43.)

2.3.1 Paalutustekniikat

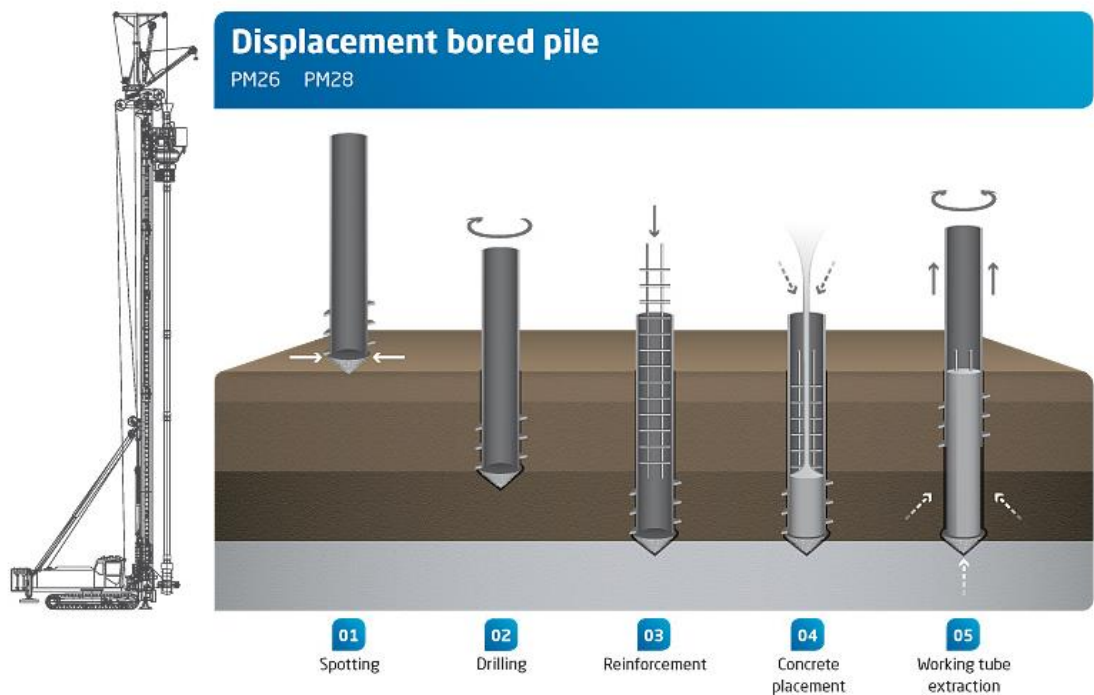
Paalut asennetaan maahan yleisimmin joko lyömällä tai poraamalla. Tässä osiossa tarkastellaan näitä kahta tekniikkaa, koska ne ovat olennaisimmat tämän työn kannalta.

Lyöntipaalutuksessa käytetään paalutuskonetta, jolla yleisimmin teräsbetoni-paalu tai teräsputkipaalu lyödään vapaasti pudotetulla tai hydraulisesti kiihdyte-
tyllä järkäleellä maahan tai kallioon. On olemassa myös paineilmakäyttöisiä junteja ja täryjunttia, jotka soveltuvat pääosin teräsponttien ja teräspaalujen lyöntiin. Lyöntipaalut varustetaan kalliokärjellä silloin kun maa on kivinen, lohkarainen, tai paalun kärki tunkeutuu kallioon. Muulloin voidaan käyttää maakenkää. Lyöntipaalutuksen periaate on esitetty kuvassa 3. Paalujen tunkeutuminen riittävän kanta-
vaan maakerrokseen tai kallioon varmistetaan loppulyönneillä. (Jääskeläinen 2009, 79–85.)



Kuva 3. Lyöntipaalaus (Junttan)

Porapaalutuksessa teräsputki porataan yleensä kallioon ja se toimii tukipaaluna. Porattu putki raudoitetaan ja valetaan täyteen betonia. Maakerroksiin tukeutuvia porapaaluja myös käytetään, kun kallion päällä on paksu karkearakeinen kerros tai moreenimaakerros. Suomessa eniten käytetty menetelmä on iskevä porausmenetelmä, joka tehdään joko päältälyövällä kalustolla tai uppoporakalustolla. Porapaalutuksen periaate on esitetty kuvassa 4. Porapaaluille ei yleensä käytetä loppulyöntejä, vaan kantavuus todetaan staattisilla koekuormituksilla tai aikaisemmin tehdyistä vastaavanlaisen paalutuksen koekuormituksista. (Tiehallinto 2001.)



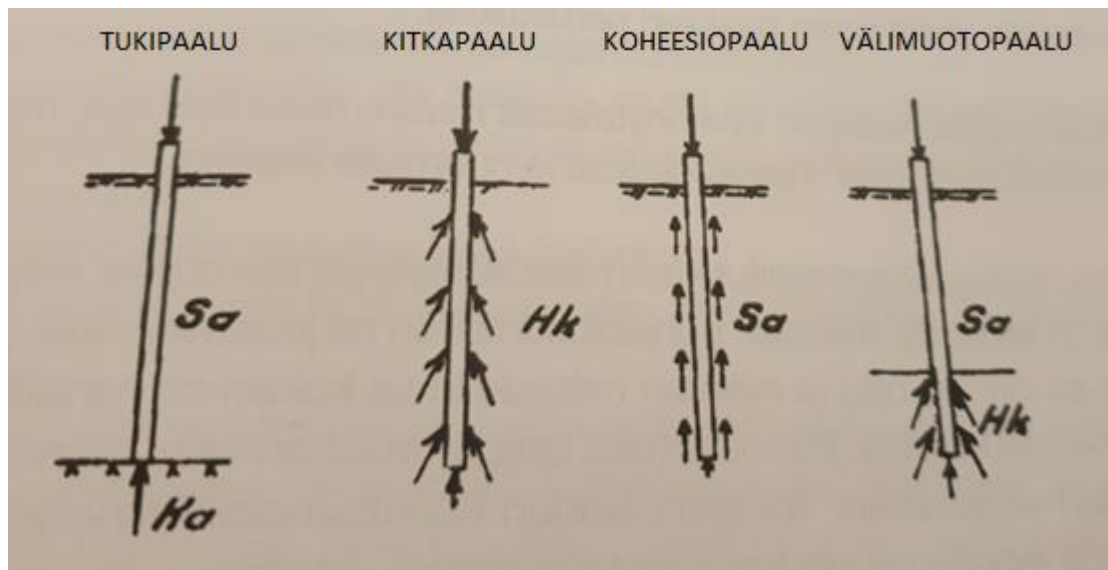
Kuva 4. Syrjäyttävä porapaalutus (Junttan)

Destia Oy:n työmaapäällikön A. Loikkasen mukaan porakaivinpaalujen käyttö sillanrakennuskohteissa on yleistymässä. Niiden käyttöä kehitetään kustannustehokkaammaksi. Porakaivinpaalutuksessa työputki porataan maahan ja sen sisälle lasketaan raudoitusväkki, jonka jälkeen työputki valetaan täyteen betonia ja lopuksi työputki vedetään pois.

Muita paalutustekniikoita ovat muun muassa lyöntivalupaalutus, kaivinpaalutus, augerpaalutus sekä suihkuinjektoimalla tehtävä paalutus. Nämä tekniikat ovat kuitenkin vähemmän käytettyjä sillanrakennuskohteissa.

2.3.2 Paalutyypit

Paalut ryhmitellään yleensä toimintatavan, rakennustavan, materiaalin tai valmistustavan mukaan. Kuvassa 5 on esitetty paalut niiden toimintatavan mukaan ryhmiteltynä. Paaluja on saatavilla valmiina tuotteina suoraan tehtailta, tai ne voidaan tehdä paikallavalumenetelmällä työmaalla.



Kuva 5. Paalutyypit (Jääskeläinen 2009, 53)

Tukipaaluilla perustettaessa rakenteen kuormat välitetään kallioon tai kantavaan maapohjaan pääasiassa paalun kärjen kautta (Rantamäki & Tamminen 1979, 43). Paalujen materiaalina käytetään pääosin puuta, terästä tai teräsbetonia. Tukipaalu on yleisin siltojen rakentamisessa käytettävä paalutyyppi ja kyseessä on useimmiten teräsputkipaalu.

Kitkapaaluilla perustettaessa rakenteen kuormat välitetään ympäröivään kitkamaahan pääasiassa paalun vaipan ja maan välisen kitkan sekä paalun kärkivasituksen avulla (Jääskeläinen 2009, 72). Paaluina käytetään puu-, teräs- ja teräsbetonipaaluja. Kitkapaalut tulevat kyseeseen yleensä silloin, kun kallion tai tiiviin pohjakerroksen päällä on paksu karkearakeinen kerros tai moreenimaakerros (Liikennevirasto 1999). Myös kitkapaaluja käytetään siltojen rakentamisessa, jolloin kyseessä on useimmiten teräsbetoni- tai teräsputkipaalut.

Koheesiopaaluilla perustettaessa rakenteen kuormat välitetään ympäröivään koheesiomaahan pääasiassa vain paalun vaippapinnan ja maan välisen koheesioavulla. Koheesiopaaluja käytetään vain silloin, kun kyseessä oleva koheesiomaakerros on erityisen paksu tai kova. (Liikennevirasto 1999.) Paaluina on käytetty yleensä jatkamattomia puupaaluja, jotka ovat kuorittuja ja alapäästään supenevia. Betoni- ja teräspaaluja ei yleensä käytetä kuin erityistapauksissa. (Rantamäki & Tamminen 1979, 57.) Koheesiopaalujen käyttö siltojen rakentamisessa on vähäistä.

Välimuotopaalu on joidenkin edellä mainittujen yhdistelmä. Sen kantokyky koostuu silloin useammasta eri tavasta (Jääskeläinen 2009, 53). Välimuotopaaluja käytetään myös siltojen rakentamisessa.

Nykyisin puupaalujen käyttö on vähentynyt, eikä niitä käytetä kuin tilapäisissä rakenteissa, esimerkiksi telineitä perustettaessa. Teräsbetoni- ja teräspuutkipaalut ovat pääosin korvanneet puupaalut, joiden ongelmina on niiden rakenteellinen kestävyys sekä mahdollinen lahoaminen pohjavedenpinnan laskiessa.

2.3.3 Paalutustyöluokat

Paalutustyöt jaetaan kolmeen eri luokkaan, jotka määräytyvät kohteen geoteknisen luokan sekä seuraamusluokan perusteella taulukon 1. mukaan. Luokat ovat PTL1, PTL2 ja PTL3, joista PTL3 on vaativin. Paalutusohjeen 2016 mukaan siltojen paalutustyöt kuuluvat aina luokkaan PTL2 tai PTL3 (Liikennevirasto 2017, 51).

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

Taulukko 1. Paalutustyöluokat tavanomaisessa rakentamisessa (RIL 254-1-2016, 102)

Tässä työssä tutkittavat Laitaatsalmen sillat kuuluivat geoteknilliseen luokkaan GL2 ja seuraamusluokkaan CC3, joten käytetty paalutustyöluokka oli PTL3.

Paalutustyöluokka määrittää hankkeelle erilaisia vaatimuksia, jotka koskevat muun muassa suunnittelijoiden ja paalutustyönjohtajien pätevyyksiä, pohjatutkimuksia, paaluja ja paalutuskalustoa, paalutustyötä sekä laadunvarmistusta. (Liikennevirasto 2017.)

3 Hanke

Vt14 Laitaatsalmen kohta -hanke toteutettiin kahta urakkamuotoa käyttäen, jotka olivat kokonaisurakka sekä suunnittele ja toteuta. Tilaajana oli Väylävirasto, rakennuttajana toimi Ramboll CM Oy ja pääurakoitsijana Destia Oy. Siltojen suunnittelusta vastasi urakoitsijan suunnittelijana toiminut Sweco Oy. (Väylä 2019.)

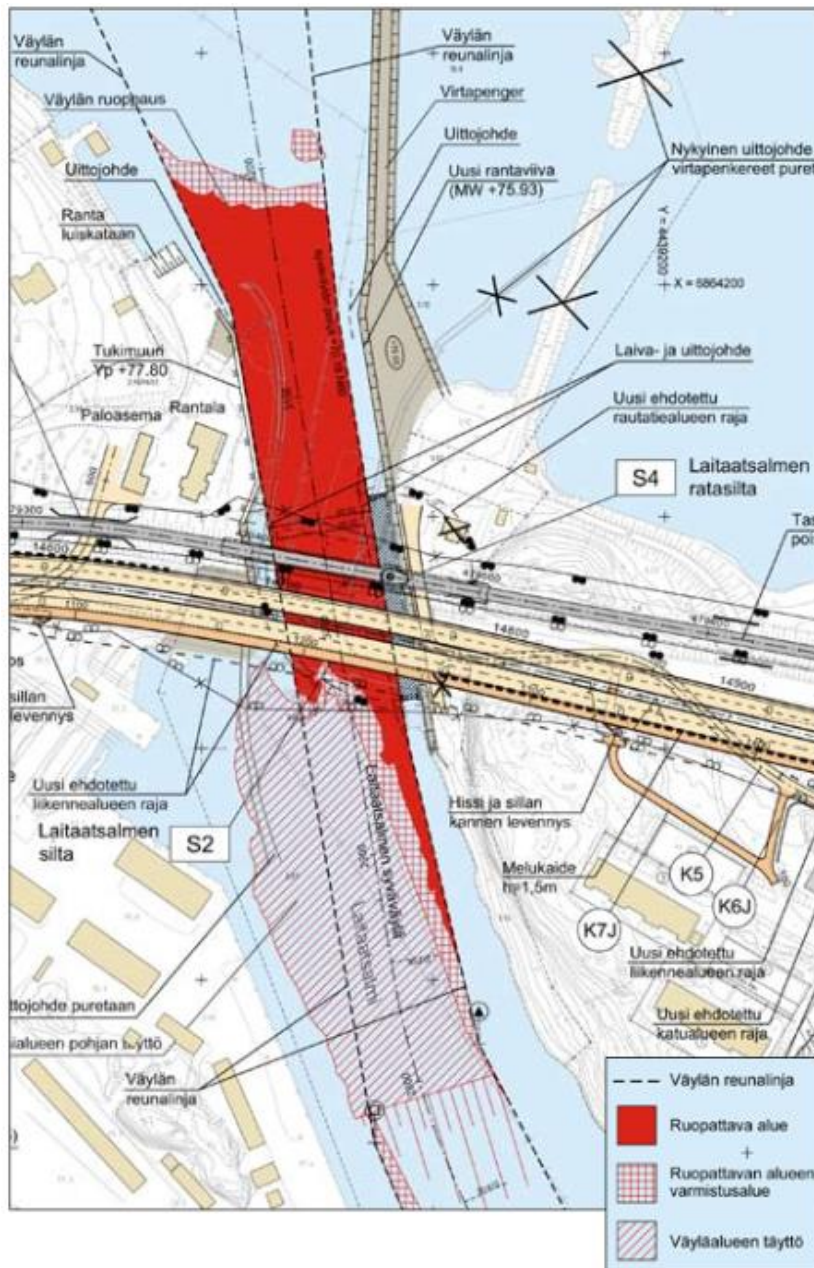
Hankeessa syväväylä siirrettiin Kyrönsalmesta, joka sijaitsee toisella puolella kaupunkia, helpommin navigoitavaan Laitaatsalmeen. Kyrönsalmessa sijaitsevat tie- ja ratasillat ovat avattavia siltoja, joten liikenne ruuhkautui pahoin siltoja avattaessa. Kuvassa 6 esitetty vanha Kyrönsalmen syväväylä oli ahdas, mutkitteleva ja voimakkaasti virtaava, joten sen ei katsottu olevan tarpeeksi turvallinen. Salmessa sijaitsee myös historiallisesti merkittävä Olavinlinna. (Liikennevirasto 2011b.)



Kuva 6. Vanha ja uusi syväväylä (Liikennevirasto 2011b)

Laitaatsalmen vesiväylää oikaistiin ja levennettiin sekä syvennettiin syväväylävaatimusten mukaiseksi. Vaatimukset perustuvat pääosin väylän geometriaan

sekä syvyyteen ja ovat tapauskohtaisia. Väylää ruopattiin noin 200 metrin matkalta ylävirran suuntaan ja vastaavasti pohjaa täytettiin noin 200 metrin matkalta alavirran suuntaan, jotta saavutettaisiin mahdollisimman tasaiset virtausolosuhteet (kuva 7). Väylän länsirannalle Rantalan kiinteistön kohdalle rakennettiin noin 100 metriä pitkä tukimuuri ja salmen itäpuolelle uusi virtapenger. Siltojen mitoituksessa on otettu huomioon, että välituet sijaitsevat penkereiden sisällä noin 15 metrin päässä vedestä, joten niihin ei pääse kohdistumaan törmäyskuormia. (Liikennevirasto 2011b.)



Kuva 7. Laitaatsalmen vesiväylä (Liikennevirasto 2011b)

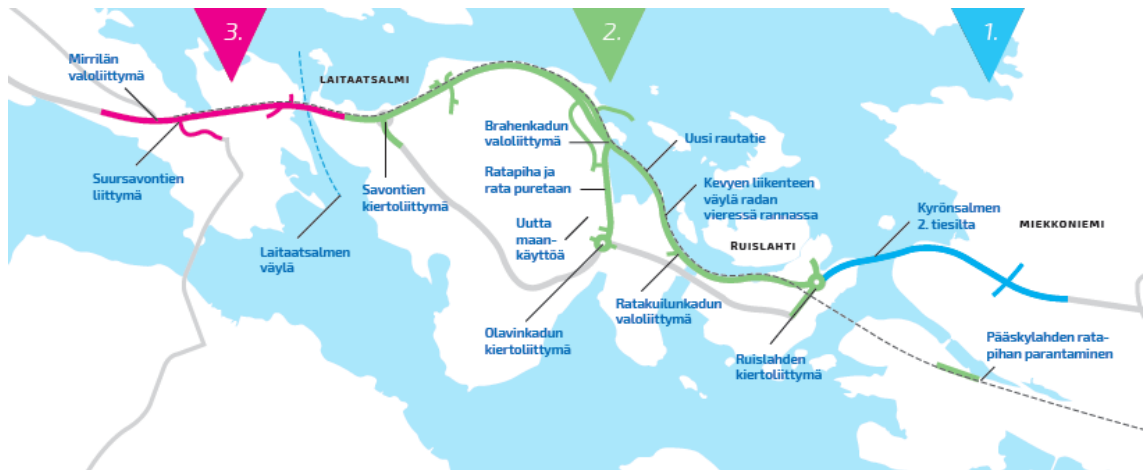
Vanha Laitaatsalmen silta korvattiin kahdella vierekkäisellä jännitetyllä betonisella jatkuvalla laattapalkkisillalla (kuva 8). Silloista tehtiin kiinteät, jotta vältettäisiin Kyrönsalmessa aikaisemmin tapahtuneet, avautuneista silloista johtuneet, liikennettä ruuhkauttaneet tilanteet. Kiinteillä silloilla taattiin myös hälytysajoneuvoille esteetön kulku. Molemmista silloista tehtiin yksisuuntaiset ja kaksikaistaiset sekä valtatie parannettiin nelikaistaiseksi noin 1,5 kilometrin matkalta liikenneturvallisuuden parantamiseksi ja liikenteen sujuvoittamiseksi. Liikennemäärä Laitaatsalmen kohdalla on noin 15 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja sen ennustetaan kasvavan noin 21 000 ajoneuvon vuoteen 2030 mennessä (Väylävirasto 2019).



Kuva 8. Laitaatsalmen sillat (Väylävirasto 2019)

Junayhteys Savonlinnasta länteen päättyi vuonna 2015, jonka jälkeen radan kiskoja ja pölkkyjä purettiin noin 700 metrin matkalta. Ratasiltaa käytettiin hankkeen aikana kevyen liikenteen väylänä sekä työmaahuollossa, kunnes sitä ei enää tarvittu, ja se purettiin vuoden 2018 syksyllä. (Väylävirasto 2019.)

Laitaatsalmen hanke oli viimeinen osa kolmen osahankkeen kokonaisuutta, jonka toteutus tapahtui 2009–2019 (Väylävirasto 2019). Osahankkeen vaiheet on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Kolmen osahankkeen kokonaisuus (Väylävirasto 2019)

Osahankkeen ensimmäisessä vaiheessa 2009–2011 Kyrönsalmeen rakennettiin uusi avattava maantiesilta sekä valtatie 14 parannettiin nelikaistaiseksi Ruislahden ja Miekkonien välillä. Toisessa vaiheessa 2010–2013 rakennettiin Laitaatsalmen ja Ruislahden välinen kaksikaistainen rantaväylä, joka korvasi aiemmin keskustan läpi kulkeneen ajoneuvoliikenteen väylän. Rautatie siirrettiin rantaväylän viereen ja Pääskynlahden ja Koululahden seisakkeet rakennettiin sekä Pääskylahden ratapihaa parannettiin. Osahankkeen toisen ja kolmannen vaiheen toteutuksesta vastasi Destia Oy. (Väylävirasto 2019.)

4 Silta paikka

Silta paikka sijaitsee Savonlinnassa valtatie 14 varrella Laitaatsalmen kohdalla (kuva 10). Uusien rakennettujen siltojen kohdalla sijaitsi vuonna 1961 valmistunut Laitaatsalmen silta, joka muodostui jännemitaltaan 45 metrin betonikotelopalkkisillasta ja jännemitoiltaan 15+15 metrin laattasillasta (kuva 11). Sillan hyödyllinen leveys oli 13,8 metriä ja alikulkukorkeus yliveden aikaan 4,4 metriä. Sillan pohjoispuolella sijaitsi vanha ristikkorakenteinen ratasilta, jonka tilalle on mahdollisesti tulossa uusi ratasilta. Vanhat sillat purettiin uusien väyläjärjestelyn tieltä. Siltojen läheisyydessä sijaitsivat myös Enso-Gutzeitin ja Savon uittoyhdistyksen alikulkukäytävät. (Smura 2017.)



Kuva 10. Laitaatsalmi, Savonlinna (Paikkatietoikkuna)



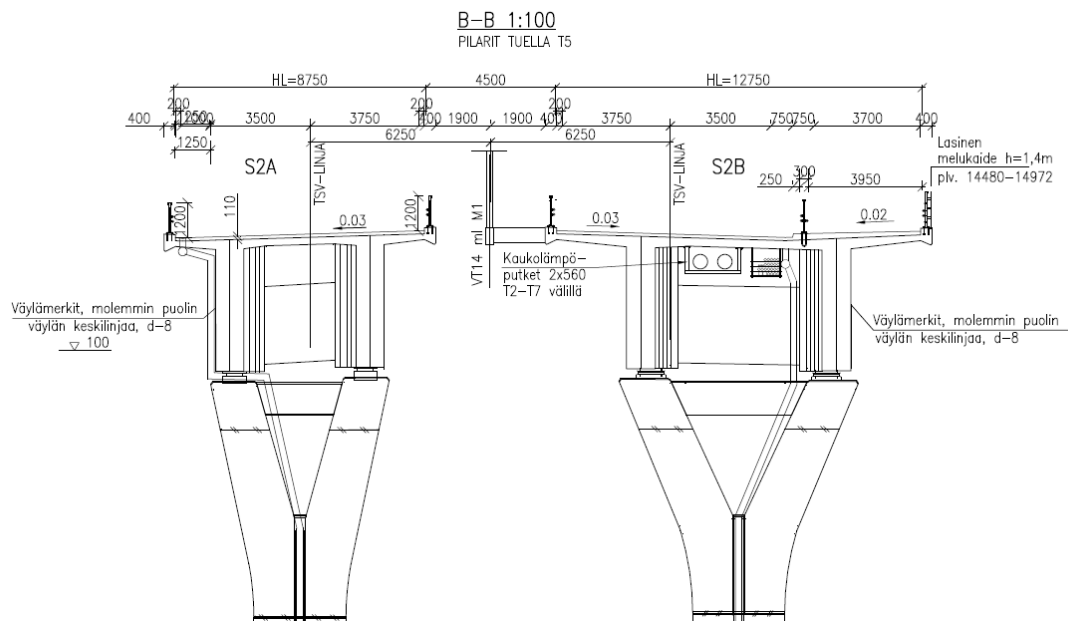
Kuva 11. Laitaatsalmen vanhat sillat (Väylävirasto 2019)

Siltapaikalta oli otettu maanäytteitä sekä suoritettu paino-, heijari-, puristinheijari- ja porakonekairauksia. Pohjavedenpinnan havainnoimiseksi oli tukien T3 ja T7 kohdalle asennettu pohjavedenpinnan havaintoputkia. Valtatien vanha tasaus sijaitsi +81,5–+85,0 korkeudella. Syväväylän itäpuolella noin 80 metrin matkalla sijaitsi kalliroleikkaus ja väylän länsipuolella tasaus noudatteli vanhaa maanpintaa, mutta nousi noin 5 metriä syväväylää lähestyttäessä. Kalliota lukuun ottamatta maaperä oli moreenia. Syväväylän hätäylivedenkorkeuden (HHW) arvona käytettiin +76,95 ja keskivedenkorkeuden (MW) arvona +75,85. Syväväylän

pohja sijaitse noin tasolla +71,0. Hankkeessa käytettiin N60-korkeusjärjestelmää. (Smura 2017.)

5 Sillat

Siltapaikalle rakennettiin kaksi vierekkäistä jännitettyä jatkuvaa betonista laattapalkkisiltaa. Tilaajan alustavan rakennussuunnitelman mukaan sillat oli suunniteltu rakennettaviksi liittorakenteisina, mutta betoniset sillat osoittautuivat edullisemmaksi vaihtoehdoksi. Eteläinen silta rakennettiin ensin ja rakennusaikana ajoneuvoliikenne kulki vielä vanhaa siltaa pitkin. Pohjoista siltaa rakennettaessa ajoneuvoliikenne kulki jo rakennettua uutta eteläistä siltaa pitkin. Vierekkäisten siltojen reunapalkkien ulkoreunojen välinen etäisyys on 3,7 metriä (kuva 12).

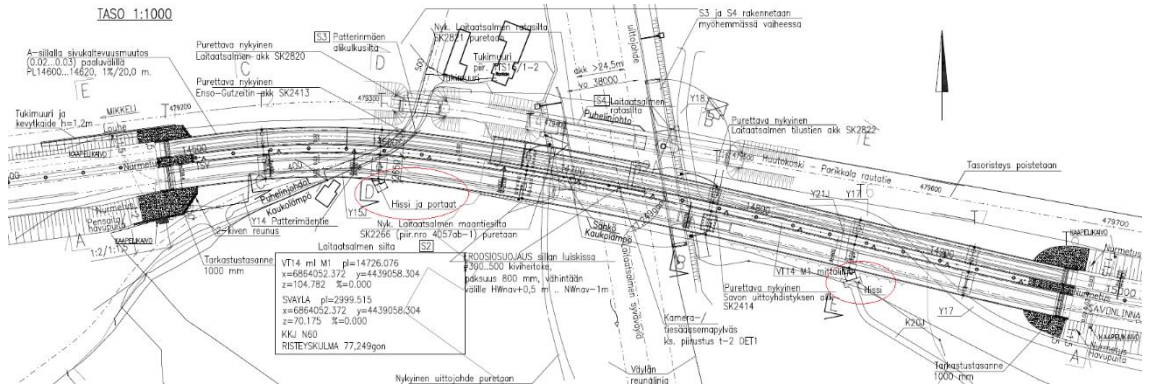


Kuva 12. Siltojen poikkileikkaus

Pohjoisella sillalla on kaksi ajorataa, joiden ajosuunta on länteen päin. Sillan hyödyllinen leveys on 8,75 metriä ja kokonaispituus 496 metriä. Silta avattiin ajoneuvoliikenteelle vuoden 2017 lopulla.

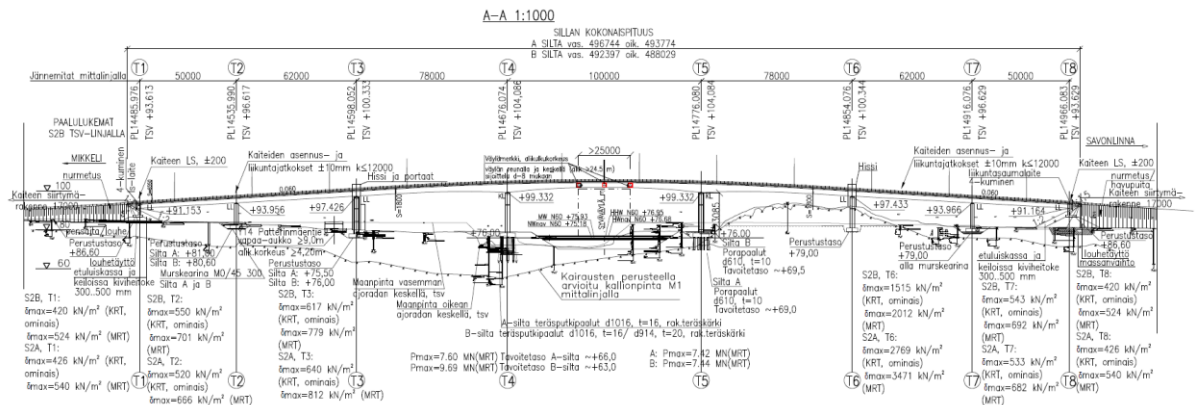
Eteläisellä sillalla on kaksi ajorataa, joiden ajosuunta on itään päin sekä kevyen liikenteen väylä. Sillan yhteydessä on myös kaksi hissitornia, jotka sijaitsevat tukien T3B ja T6B kohdalla (kuva 13). Sillan hyödyllinen leveys on 12,75 metriä ja

kokonaispituus 492 metriä. Ajoneuvoliikenteelle silta avattiin vuoden 2018 lopulla.



Kuva 13. Siltojen tasopiirustus

Siltojen jännemitat ovat 50+62+78+100+78+62+50 metriä (kuva 14). Päällysrakenteen korkeus vaihtelee 2,3–4,6 metrin välillä ja pääpalkkien leveys tukien kohdalla 1,65–1,8 metrin välillä. Siltojen pituuskaltevuus on jyrkimmillään 6 % ja koska kyseessä on syväväylän ylittävät sillat, alituskorkeus on 24,5 metriä.



Kuva 14. Siltojen pituusleikkaus

Pohjoisen sillan päällysrakenteessa on käytetty noin 4200 m³ betonia, noin 490 000 kg raudoitusterästä sekä noin 220 000 kg jänneterästä. Päällysrakenne valettiin kertavaluna, joka kesti noin 4,5 vuorokautta. Alusrakenteessa on käytetty betonia noin 1800 m³, raudoitusterästä noin 300 000 kg sekä 242 metriä paaluja.

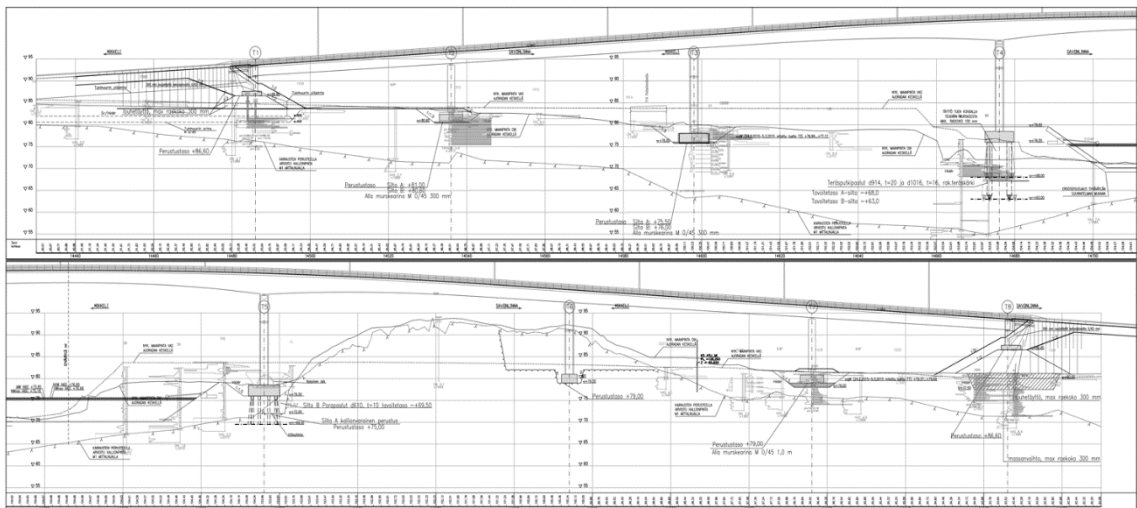
Eteläisen sillan päällysrakenteessa on käytetty noin 5100 m³ betonia, noin 590 000 kg raudoitusterästä sekä noin 280 000 kg jänneterästä. Päällysrakenne valettiin myös kertavaluna, joka kesti noin 5 vuorokautta. Alusrakenteessa on

käytetty betonia noin 2000 m³, raudoitusterästä noin 370 000 kg sekä 240 metriä paaluja. Kuormat on esitetty siltojen pituusleikkauksessa kuvassa 14.

6 Tuet

Kummassakin sillassa on käytetty samoja perustamistapoja, joten tässä opinnäytetyössä tutkitaan perustamistapojen osalta pääosin vain pohjoista siltaa, josta käytetään nimeä S2A. Eteläisestä sillasta käytetään nimeä S2B.

Sillat on perustettu kahdeksalle tuelle, jotka koostuvat kahdesta maatuesta ja kuudesta välituesta (kuva 15). Pohjoisen sillan tuet on nimetty T1A–T8A kasvavan paalulukeman mukaan lännestä itään päin. Eteläisen sillan tuet on nimetty T1B–T8B.



Kuva 15. Geotekninen pituusleikkaus (Smura 2018)

6.1 Tuki T1A

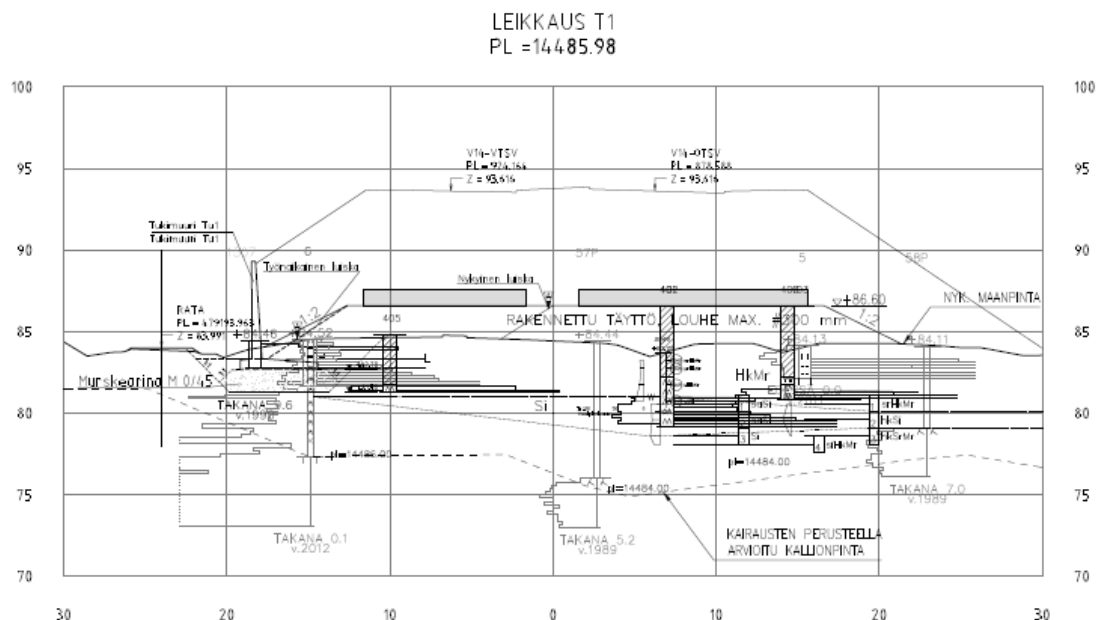
6.1.1 Maaperäolosuhteet

Tuen T1A kohdalla maanpinta sijaitsi noin tasolla +83,5–+85,0. Maaperä koostui keskitiiviistä ja tiiviistä hiekkamoreenista ja 3–5 metrin syvyydessä esiintyi savista silttiä sekä hiekkaista silttiä noin 1–2 metriä paksu kerros. Heijarikairausten perusteella siltti oli hyvin tiivistä kairausvastuksen ollessa 35–50 L/0,2 m ja löyhemmän kerroksen paksuus oli noin 1 metrin. Painokairaukset ulottuivat noin 1,2–1,7

metrin syvyyteen ja heijarikairaukset 2–5 metrin syvyyteen maanpinnasta. Pora-konekairausten perusteella kallionpinta todettiin olevan noin tasolla +76,0–+79,1, eli noin 5–8,5 metrin syvyydellä maanpinnasta. (Smura 2017.)

6.1.2 Perustamistapa

Tuki T1A perustettiin maanvaraisesti tiivistetyn täytön varaan tasolle +86,6 (kuva 16), anturan koon ollessa 9,7×5×1 metriä. Täyttö tehtiin louheesta, jonka maksimiraekoko oli 300 mm. Louhetäytön ylin kerros kiilattiin ja sen päälle tehtiin 300 mm paksu tasauskerros M 0/45 murskeesta. Täyttö tiivistettiin InfraRyl 42013 vaatimusten mukaisesti. Tavoitekantavuudet todettiin levykuormituskokeilla. (Smura 2017.)



Kuva 16. Poikkileikkaus T1A & T1B (Smura 2017)

Koska maaperän todettiin olevan riittävän kantavaa, eikä pohjavedenpinta tai kalio ollut lähellä perustamissyvyyttä, oli maanvarainen perustaminen nopein ja työ-teknisesti helpoin sekä edullisin valinta. Edellytykset maanvaraiselle perustamiselle täyttyivät, joten pohjanvahvistukselle tai paaluille perustamiselle ei ollut tarvetta.

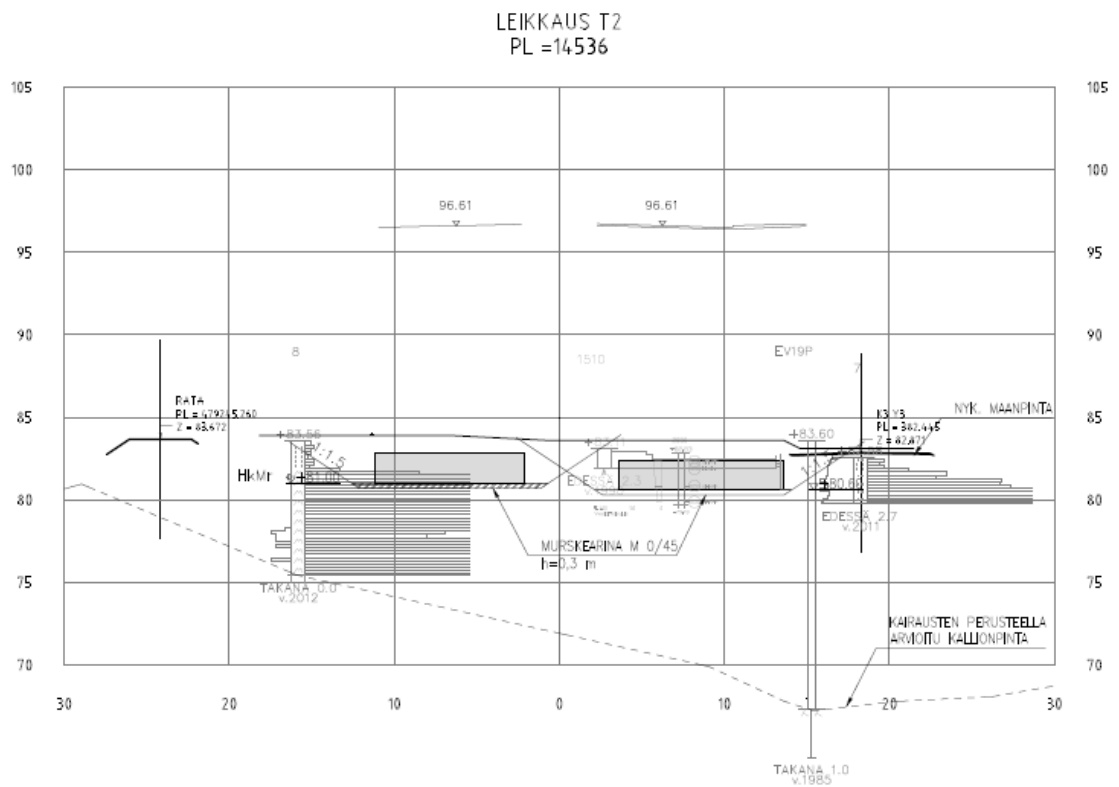
6.2 Tuki T2A

6.2.1 Maaperäolosuhteet

Tuen T2A kohdalla maanpinta sijaitsi noin tasolla +82,5–+84,0. Maaperä oli tiivistä moreenia. Tehdyt painokairaukset ulottuivat noin 1,2–1,9 metrin syvyyteen ja heijarikairaukset 3–8 metrin syvyyteen maanpinnasta. Porakonekairausten perusteella kallionpinta todettiin olevan noin tasolla +67,3–+72,3, eli noin 11,5–16 metrin syvyydellä maanpinnasta. Tuella T3 olleiden pohjavedenpinnan havaintoputkien perusteella pohjavedenpinnan oletettiin olevan noin tasolla +76,99–+77,12. (Smura 2017.)

6.2.2 Perustamistapa

Tuki T2A perustettiin maanvaraisesti roudattomaan syvyyteen tasolle +81,0 (kuva 17), anturan koon ollessa 10×5,5×1,8 metriä. Työskentelyn ja kaivannon kuivanapidon helpottamiseksi anturan alle tehtiin 300 mm paksu tasauseros M 0/45 murskeesta, joka tiivistettiin täryjyrällä. Tavoitekantavuudet todettiin levykuormituskokeilla. (Smura 2017.)



Kuva 17. Poikkileikkaus T2A & T2B (Smura 2017)

Myös tällä tuella maaperä oli riittävän kantavaa, eikä pohjavedenpinta tai kallio ollut lähellä perustamissyvyyttä, joten maanvarainen perustaminen oli jälleen nopein ja työteknisesti helpoin sekä edullisin valinta. Edellytykset maanvaraiselle perustamiselle täyttyivät, joten pohjanvahvistukselle tai paaluille perustamiselle ei ollut tarvetta.

6.3 Tuki T3A

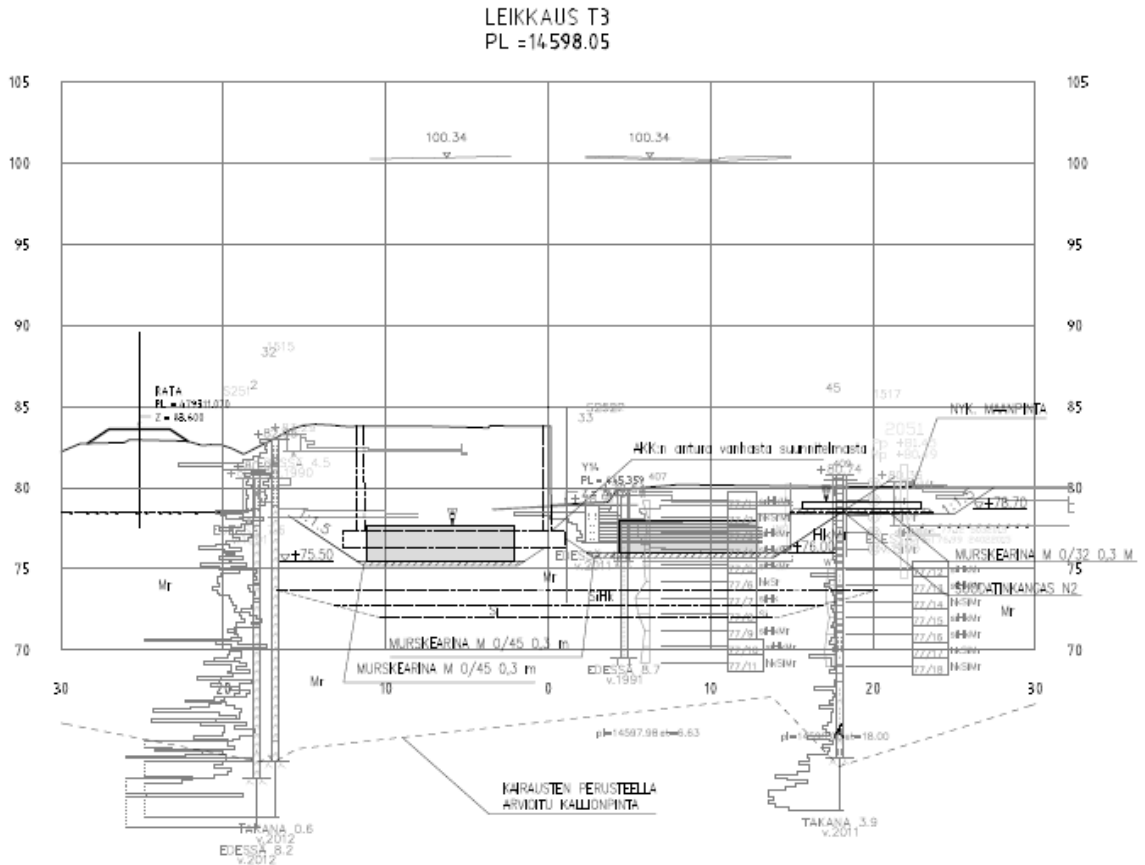
6.3.1 Maaperäolosuhteet

Tuen T3A kohdalla maanpinta oli noin tasolla +80,00 ja maaperä koostui hiekka- ja silttimoreenista. Valtatie oli rakennettu 4 metrin penkereelle noin tasolle +84,00 ja tuen vieressä sijaitsi myös purettava Enso Gutzeitin alikulkukäytävä. Heijarikairausten perusteella moreenin katsottiin olevan löyhää noin 4 metrin syvyyteen asti, tasolle +76,0–+78,5 ja siitä syvemmälle tiivistä. (Smura 2017.)

Kohteessa suoritettiin myös lisätutkimuksia, joiden perusteella 5 metriä mittalinjalta oikealle tehdystä näytepisteestä löydettiin silttistä hiekkaa 6–7 metrin syvyydeltä ja silttiä 7–8 metrin syvyydeltä, mutta 18 metriä mittalinjalta oikealle tehdystä tutkimuspisteestä näitä ei kuitenkaan löytynyt, vaan pohjamaa koostui pelkästään siltti- ja hiekkamoreenista. 12 metriä oikealle sijaitsevassa tutkimuspisteessä yritettiin tehdä myös suojaputken läpi tehtävää puristinheijarikairausta perustamistasosta alaspäin, mutta maan ollessa kivinen ja tiivis, kaira ei tunkeutunut syvemmälle, vaan rikkoutui. Kairausvastuksen arvoksi saatiin yli 400 L/0,2 m. Tuen alueelle asennettujen pohjavedenpinnan havaintoputkien perusteella pohjavedenpinta oli vaihdellut +76,99–+77,12 välillä, eli noin 3,3–3,5 metrin syvyydellä maanpinnasta. (Smura 2017.)

6.3.2 Perustamistapa

Tuki T3A perustettiin maanvaraisesti pohjavedenpinnan alapuolelle roudattomaan syvyyteen tasolle +75,5 (kuva 18), anturan koon ollessa 9×7,5×2,2 metriä. Työskentelyn ja kaivannon kuivana pidon helpottamiseksi myös tämän anturan alle tehtiin 300 mm paksu tasauseros M 0/45 murskeesta, joka tiivistettiin täryjyrällä. Kaivanto pidettiin kuivana pumppaamalla. Tavoitekantavuudet todettiin levykuormituskokeilla. (Smura 2017.)



Kuva 18. Poikkileikkaus T3A & T3B (Smura 2017)

Maaperä oli riittävän kantavaa eikä pohjavedestä aiheutunut ongelmia, eikä kallionpinta ollut lähellä perustamistasoa, joten maanvarainen perustaminen oli myös tällä paikalla nopein ja työteknisesti helpoin sekä edullisin valinta. Edellytykset maanvaraiselle perustamiselle täyttyivät, joten pohjanvahvistukselle tai paaluille perustamiselle ei ollut tarvetta.

6.4 Tuki T4A

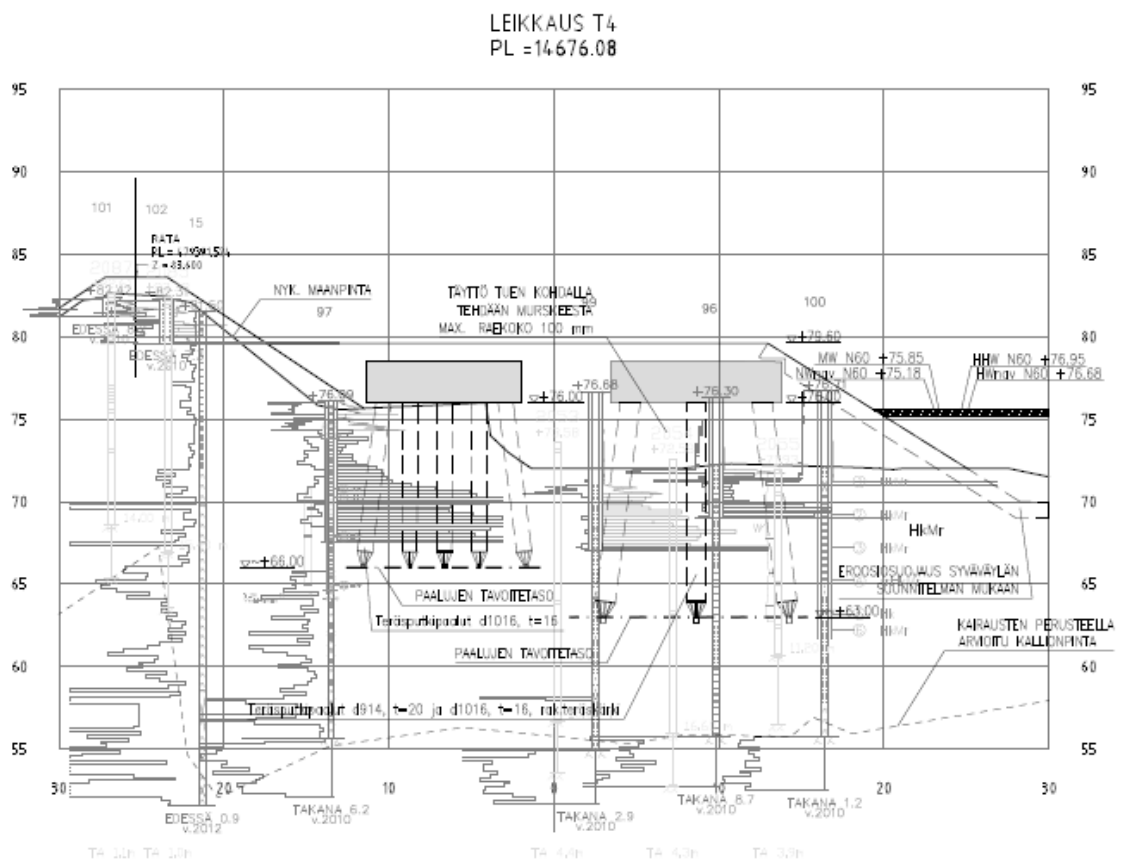
6.4.1 Maaperäolosuhteet

Tuki T4A sijoittui vesiväylän länsirannalle, osaksi kuivalle maalle ja osaksi veteen. Tuen kohdalla maanpinnan taso oli kuivan maan puolella +76,0–+78,0 ja veden alla +72,0. Valtatie sijaitsi tuen kohdalla sillalla. Puristinheijarikairaukset ovat ulottuneet tasolle +67,0–+68,0 ja niiden perusteella maaperä koostui hiekkamoreenista. Moreeni oli löyhää tasolle +70,0–+72,0 asti ja siitä syvemmälle keskittiivistä tai tiivistä. Kallionpinnan todettiin porakonekairauksen perusteella olevan noin tasolla +54,9–+56,0. Kohteessa tehtiin myös korroosiotutkimuksia,

joiden perusteella maaperän olosuhteet todettiin olevan tavanomaiset. (Smura 2017.)

6.4.2 Perustamistapa

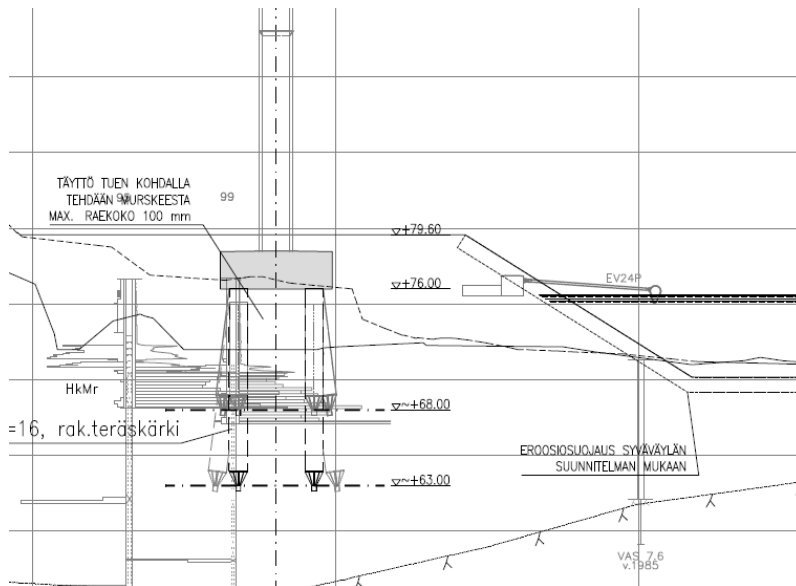
Tuki T4A perustettiin tiiviin pohjamaoreenin varaan lyödyillä teräsputkipaaluilla tasolle +76,0 (kuva 19), anturan koon ollessa 9,4x8x2,5 metriä. Rakentamisen helpottamiseksi perustamissyvyyttä nostettiin alkuperäisestä tasosta metrillä, jotta päästiin vedenpinnan yläpuolelle. Paalujen tunkeutumisen tavoitteena käytettiin tasoa +66,0. Halkaisijaltaan paalut olivat 1016 mm ja niissä käytettiin rakenneteräskärkiä. Paalutus kuului paalutustyöluokkaan PTL3. (Smura 2017.)



Kuva 19. Poikkileikkaus T4A & T4B (Smura 2017)

Lyöntipaaluille perustamiseen päädyttiin, koska maanvaraisen perustamisen esteenä olisi ollut riittämätön stabiliteetti vieressä olevan vesiväylän takia (kuva 20). Painumien kannalta maanvarainen perustaminen olisi muutoin ollut mahdollista. Tuki olisi voitu perustaa myös porapaaluille, jolloin paalut olisi tullut ulottaa kalli-

oon asti. Vanhat perustukset olisivat olleet esteenä myös porapaalujen tunkeutumiselle, joten lopputulos olisi ollut sama. Lyöntipaalutusta käytettiin, koska kuormat oli mahdollista välittää tiiviille pohjamoreenille. Ensisijaisesti kallioon asti porattaville porapaaluille ei siis ollut tarvetta. Lyöntipaalutus on myös menetelmänä porapaalutusta edullisempi.



Kuva 20. Ote geoteknisestä pituusleikkauksesta T4

Viereisellä, aikaisemmin rakennetun eteläisen sillan T4B-tuen paalujen kantavuustavoitteet eivät aluksi meinanneet täyttyä, joten se otettiin huomioon suunniteltaessa pohjoisen sillan perustamista. T4A-tuen paalujen lukumäärää kasvatettiin ja paalukuormia saatiin näin pienennettyä.

Paalutustyötä vaikeuttivat kyseisellä kohdalla olleet vanhan sillan perustukset. Koska paalut eivät tunkeutuneet tavoitesyvyyteen asti, vanhoja perustuksia yritettiin hajottaa kaivinkoneen hydraulisella iskuvasaralla sekä räjäyttämällä. Lopulta paikalla piti suorittaa laajahko massanvaihto kaivamalla, jonka yhteydessä vanhat perustukset poistettiin ja kaivanto täytettiin murskeella. Tämän jälkeen paalut saatiin lyötyä suunnitellusti tavoitesyvyyteen.

Geotekninen suunnittelija M. Smura totesi tilaajan suunnitelmien olleen jokseenkin puutteelliset, koska niistä ei ilmennyt riittävää tietoa vanhan sillan perustuksista. Hänen mielestään perustukset olisi pitänyt kaivaa esiin ja purkaa jo ennen paalutustyön aloittamista. Siltasuunnittelija J. Litmanen kertoi, että parempien

lähtötietojen avulla tuen sijaintia olisi voitu muuttaa ja niin välttää vanhoista perustuksista aiheutuneet ongelmat.

Pohjatutkimuksien lisääminen olisi todennäköisesti tullut edullisemmaksi kuin vanhoista perustuksista aiheutuneet viivästykset aikatauluun. Vanhojen perustusten sijaintia ja kokoa olisi voitu kartoittaa tarkemmin esimerkiksi porakonekairauksia lisäämällä, tai geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä käyttämällä.

Geofysikaalisiin tutkimusmenetelmiin kuuluva maatutkaluotaus on menetelmä, jossa tutkalaite lähettää maaperään sähkömagneettisia aaltoja, jotka peilautuvat eri materiaaleista takaisin laitteen vastaanottimeen. Tutkaustietoa tulkitsemalla saadaan piirrettyä tarkkakin kuva siitä, mitä maan alla on. Tehdyt tutkimukset voidaan myös paikantaa koordinaatistoon. Maatutka on nopea ja edullinen menetelmä ja sitä käytetäänkin paljon muun muassa tielinjoilla rakennekerrospaksuuksien ja maakerrosrajojen sekä pohjaveden- ja kallionpinnan sijainnin selvittämiseen. (Liikennevirasto 2015, 20–21.)

Maatutkaluotaus olisi luultavasti ollut sopivin menetelmä käytettäväksi tässä kohteessa lisätutkimuksia tehtäessä. Laadukkaalla maatutkalla voidaan tutkia maaperää yli 20 metrin syvyydeltä, joka olisi hyvin riittänyt kartoittamaan vanhan sillan perustukset. Geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä suositellaan käytettäväksi alustavina tutkimustapoina, mutta tässä tapauksessa niitä olisi voitu käyttää täydentävinä ja tarkentavina menetelminä.

Muita geofysikaalisia menetelmiä ovat muun muassa seisminen luotaus ja gravimetrisen luotaus. Seismisessä luotauksessa mittaus perustuu laitteen maahan lähettämiin keinotekoisiiin seismisiin aaltoihin ja niiden takaisin heijastumiseen. Gravimetrisen luotaus taas perustuu painovoiman mittaukseen, kun materiaalien tiheydet tunnetaan. (Liikennevirasto 2015, 21–22.)

6.5 Tuki T5A

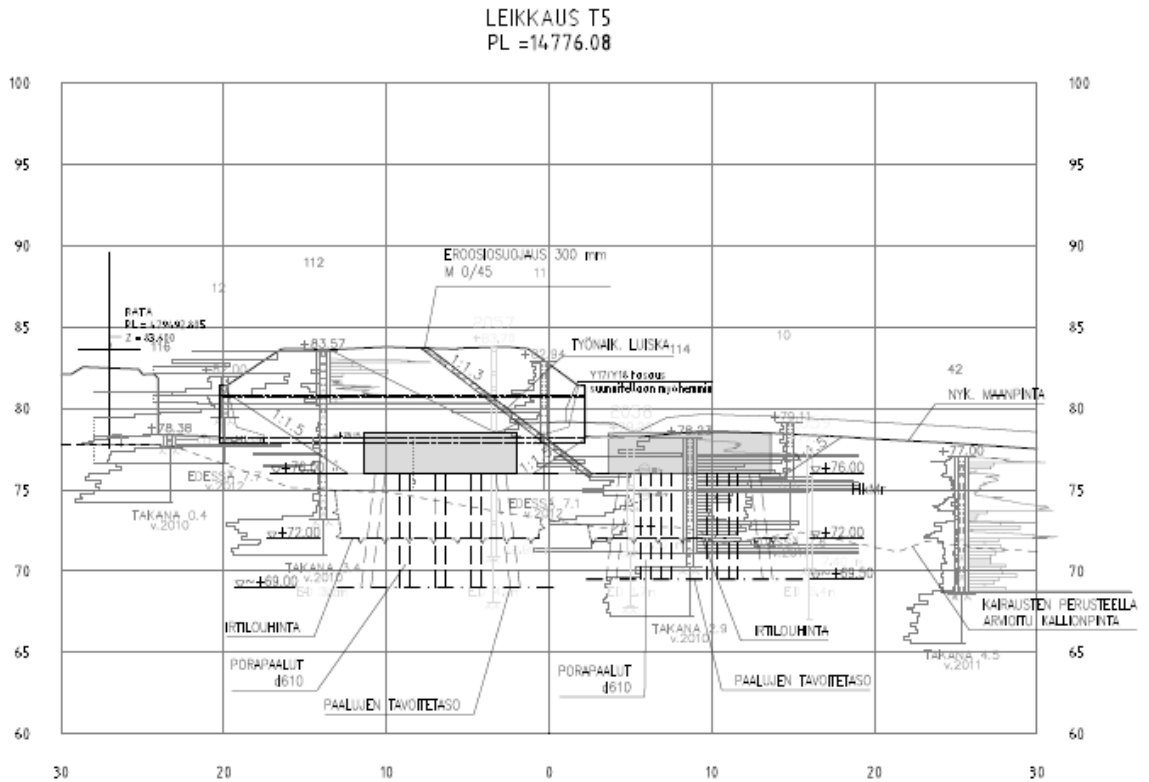
6.5.1 Maaperäolosuhteet

Tuki T5A sijoittui vesiväylän itärannalle, osittain vanhan valtatiepenkereen kohdalle. Penkereellä olleen valtatiepenkereen tienpinnan korkeustaso oli noin +84,0 ja pen-

kereen vierellä olevan maanpinnan korkeustaso noin +79,0. Tuen anturan kohdalla sijaitseva purettava Savon uittoyhdistyksen alikulkukäytävä. Paino- ja puristinheijarikairaukset ovat ulottuneet syvimmillään tasolle +70,6. Kairausten perusteella maaperä penkereen kohdalla oli löyhää moreenia noin tasolle +80,0 asti, jonka alla noin 5 metrin paksuinen moreenikerros oli tiivistä ja sen alla jälleen löyhää. Kallionpinnan todettiin porakonekairauksilla olevan tasolla +69,5–+73,2. Pohjavedenpinnan arvioitiin olevan välillä +75,18–+76,95 vieressä olevan vesistön pinnan korkeuden perusteella. Tämän tuen kohdalla myös tehtiin korroosiotutkimuksia, joiden perusteella maaperän olosuhteiden katsottiin olevan tavanomaiset. (Smura 2017.)

6.5.2 Perustamistapa

Tuki T5A perustettiin porapaaluilla tasolle +76,0 (kuva 21), anturan koon ollessa 9,4×8×2,5 metriä. Perustamissyvyyttä nostettiin metrillä alkuperäisestä tasosta +75,0 vedenkorkeuden takia rakentamisen helpottamiseksi. Ennen porapaalutusta suoritettiin kallion irtilouhinta tasolle +72,0 asti. Irtilouhinnalla varmistettiin, että paalujen yläpäät ovat tarpeeksi irti kallionpinnasta, jolloin ne toimivat oikein paalukkona (kuva 22). Halkaisijaltaan 610 mm olleet paalut porattiin tasolle +69,0. Kalliokontakti varmistettiin poraamalla paalut vähintään 1,8 metriä ehjään kallioon sekä lopuksi lyömällä poravasarella paalun yläpäähän. Paalutus kuului paalutustyöluokkaan PTL3. (Smura 2017.)

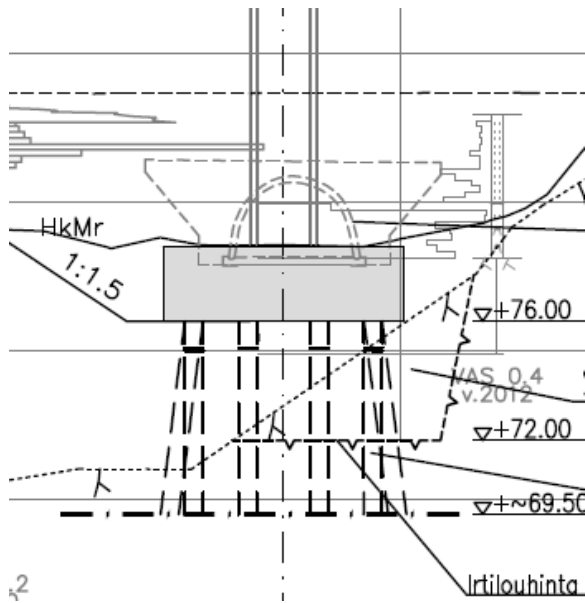


Kuva 21. Poikkileikkaus T5A & T5B (Smura 2017)

Tuki T5A oli suunnitelmien perusteella tarkoitus perustaa kallionvaraisesti. Rakennusvaiheessa kuitenkin kävi ilmi, että kallionpinnan kaltevuuden takia olisi jouduttu tekemään paksu tasausvalu vedenpinnan alapuolelle (kuva 22). Kallion varaan perustettaessa kaivanto olisi ollut hyvin vaikea pitää kuivana, koska se olisi sijoittunut aivan vesiväylän rantaan. Kaivanto olisi edellyttänyt jonkinlaisen työnaikaisen patorakenteen rakentamista.

Kallionvarainen perustaminen olisi ollut työteknisesti hankalaa ja aikaa vievää vedenhallinnan sekä tasausvalun takia, joten perustamistasoa päädyttiin nostamaan metrillä ja tuki perustettiin porapaauluille.

Tarkka kallionpinnan profilointi olisi edellyttänyt enemmän pohjatutkimuksia. Myös tällä tuella olisi geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä voitu käyttää kairausten rinnalla tarkemman kallionpinnan profiilin kartoittamiseksi. Päätös perustamista-van vaihdosta olisi silloin voitu tehdä jo suunnitteluvaiheessa.



Kuva 22. Ote geoteknisestä pituusleikkauksesta T5

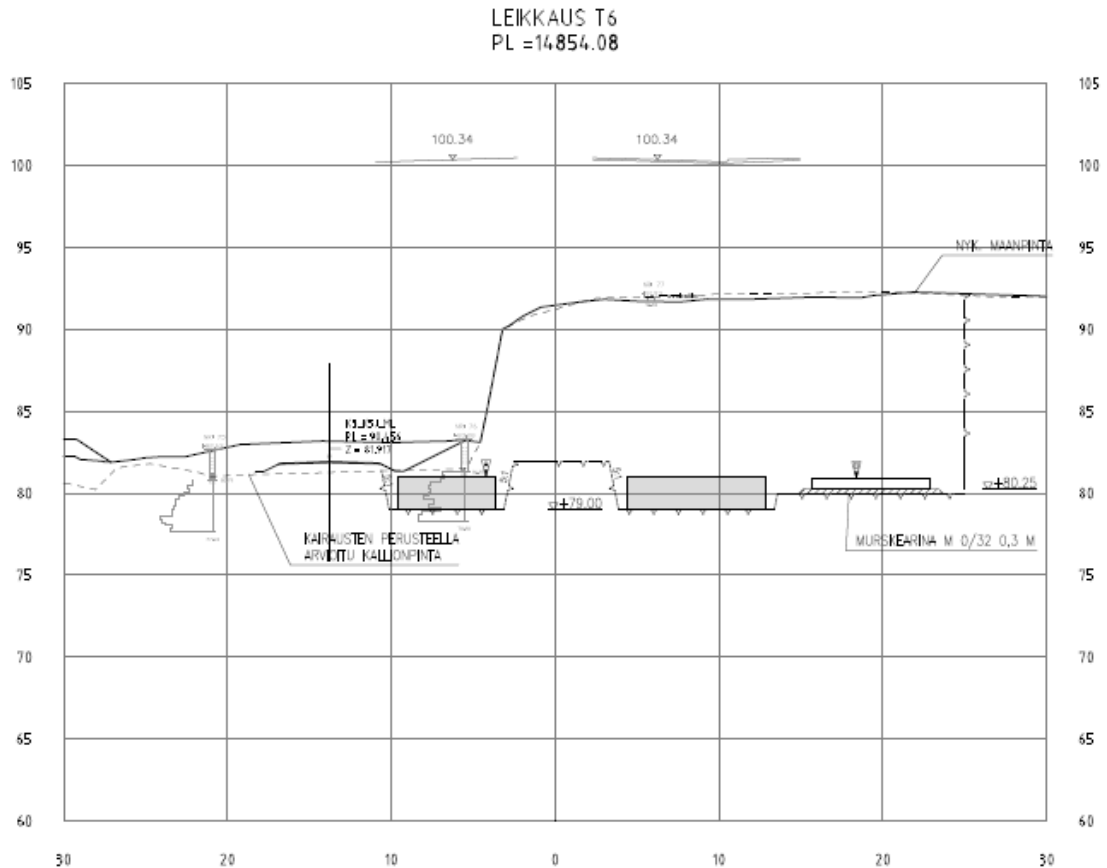
6.6 Tuki T6A

6.6.1 Maaperäolosuhteet

Tuki T6A sijoittui vanhan valtatiehen kohdalle, joka kulki tuen kohdalla kallioleikkauksessa. Tienpinnan taso oli noin +83,0. Kallionpinnan taso todettiin porakonekairauksilla olevan noin +80,8–+81,3 välillä. Välittömästi tuen oikealla puolella oli avokalliota, jonka korkeusasema oli noin tasolla +88,5–+91,5. (Smura 2017.)

6.6.2 Perustamistapa

Tuki T6A perustettiin kallionvaraisesti louhittuun syvyyteen tasolle +79,0 (kuva 23), anturan koon ollessa 6x5x2 metriä. Louhinnan jälkeen pidettiin katselmus, jossa todettiin oikaisuvalun tarpeettomuus ja perustukset tehtiin kalliota vasten. Koska kallionpinta oli hyödynnettävissä, ei muut perustamistavat olleet järkeviä. Kallionvarainen perustaminen oli nopein ja kustannustehokkain ratkaisu tällä tuella.



Kuva 23. Poikkileikkaus T6A & T6B (Smura 2017)

Kallionvaraisessa perustamisessa oikaisuvalua ei saa korvata murskeella, koska veden päästessä murskeen kautta perustusten alle se voi jäätyessään aiheuttaa perustusten nousua. Näin ollen kallionvaraan perustettaessa louhinnan tarkkuus korostuu. Koska oikaisuvalu on aikaa vievää, louhintaa ylisyväksi on pyrittävä välttämään.

6.7 Tuki T7A

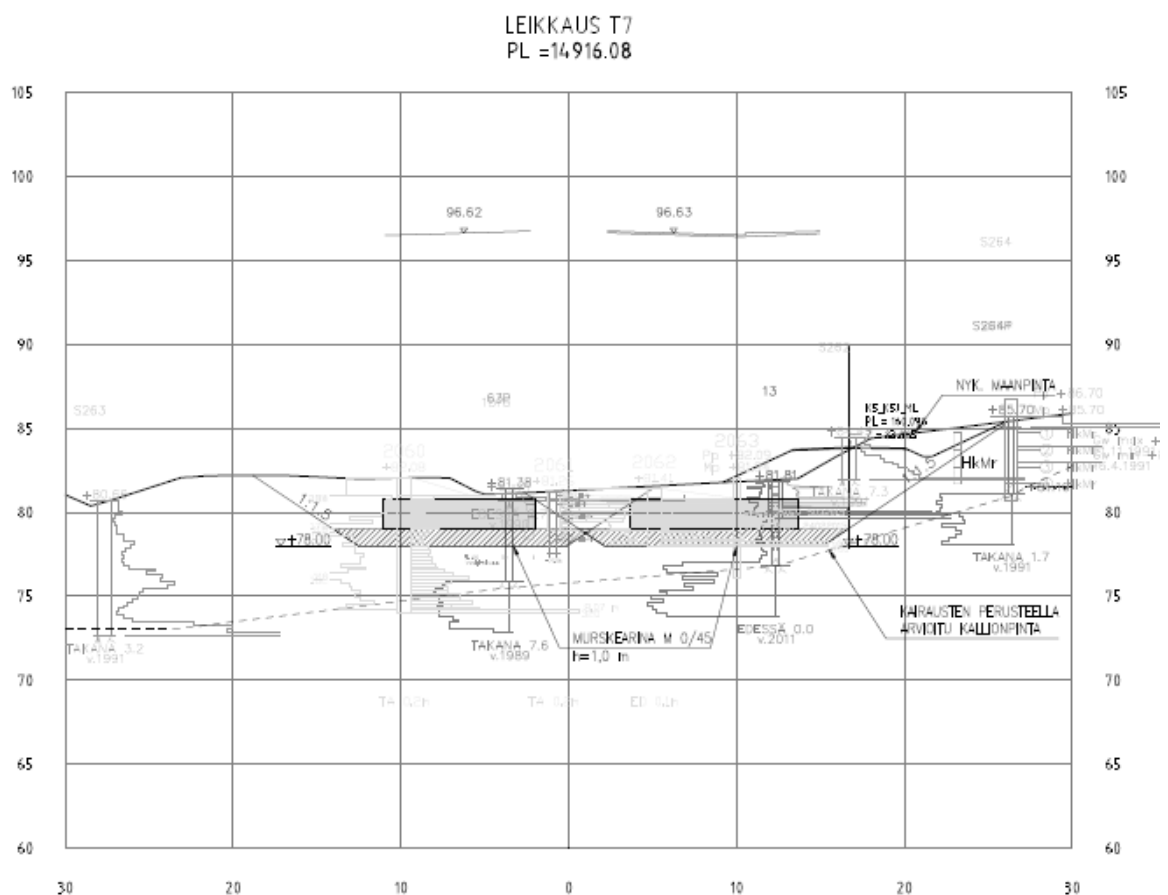
6.7.1 Maaperäolosuhteet

Tuen T7A kohdalla maanpinnan korkeus vaihteli noin tasolla +81,0–+82,0. Maaperä tuen kohdalla oli löyhää ja hyvin löyhää hiekkamoreenia tasolle +77,7 asti. Anturalle tehdyn mursketäytön vasemman reunan alla oli noin 3 metrin paksuinen ja oikean reunan alla noin 2 metrin paksuinen löyhä moreenikerros. Pohjavedenpinnan tasoa oli tarkkailtu alueelle asennetuilla pohjavedenpinnan havaintoputkilla ja niiden perusteella pohjavedenpinnan taso oli vaihdellut välillä +79,37–+79,69, eli noin 1,65–1,98 metrin syvyydellä maanpinnasta. Kallionpinnan tason

on todettu porakonekairauksin olevan alueella noin 3,0–5,3 metrin syvyydellä maanpinnasta, tasolla +75,8–+78,8. (Smura 2017.)

6.7.2 Perustamistapa

Tuki T7A perustettiin maanvaraisesti pohjavedenpinnan alapuolelle metrin paksuisen tiivistetyn murskekerroksen varaan tasolle +79,0 (kuva 24), anturan koon ollessa 10×5,5×1,8 metriä. Kaivanto pidettiin kuivana pumppaamalla. Murskekerros tiivistettiin 400 kg tärylevyllä InfraRYL 42013 vaatimusten mukaisesti. (Smura 2017.)



Kuva 24. Poikkileikkaus T7A & T7B (Smura 2017)

Maanvaraiseen perustukseen päädyttiin, koska painuvan löyhän maakerroksen paksuus perustusten ja kallion välissä oli pieni, joten painumat eivät muodostuneet ongelmaksi. Vaihtoehtoisesti kallionvarainen perustaminen olisi ollut mahdollista, jos perustamistasoa olisi laskettu. Kallionpinta olisi ollut lähellä, mutta pohjavesi olisi hankaloittanut rakentamista. Kallionvarainen perustaminen olisi

myös todennäköisesti edellyttänyt tasausvalun tekemistä. Paaluperustus olisi myös ollut mahdollinen, mutta ei järkevä. Jos maaperä on tarpeeksi kantavaa, maanvarainen perustaminen on lähtökohtaisesti aina edullisempi ja nopeampi ratkaisu kuin paaluperustus, joka vaatii aina erikoiskalustoa ja -osaamista.

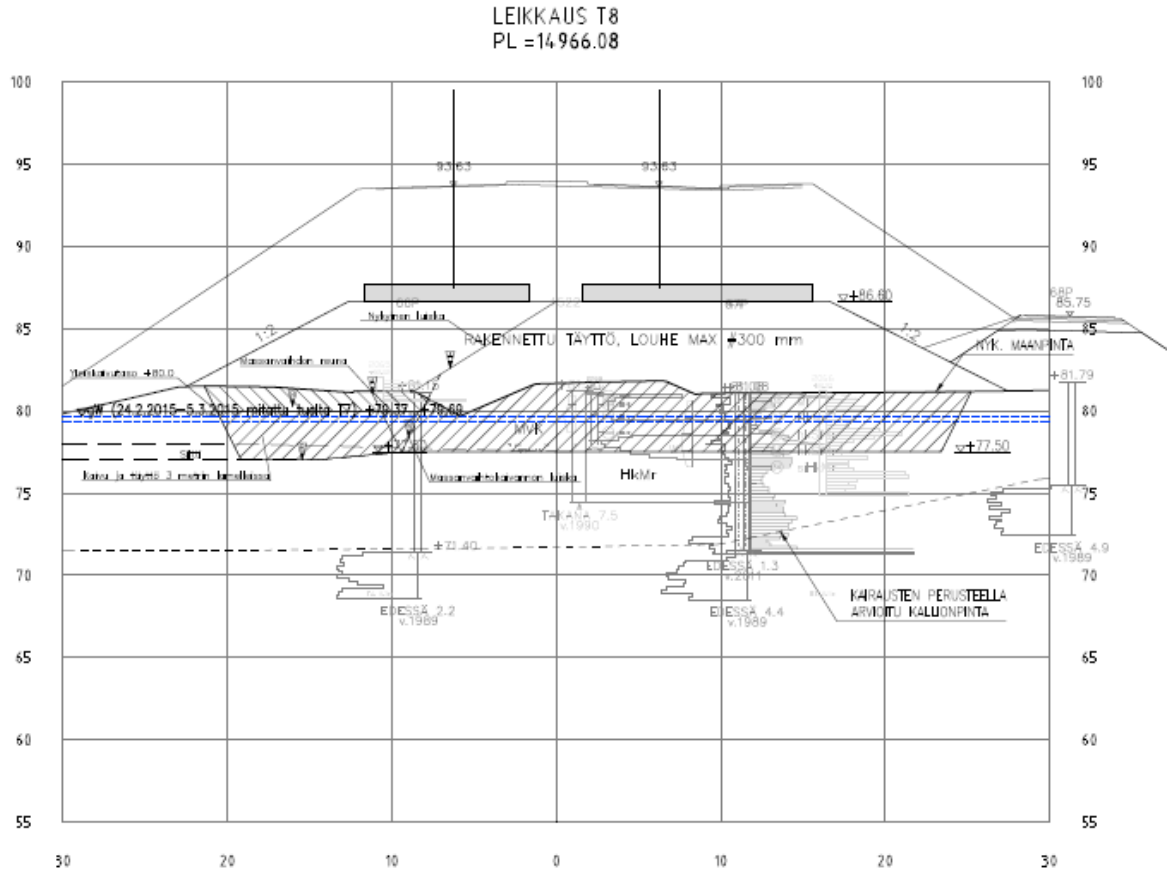
6.8 Tuki T8A

6.8.1 Maaperäolosuhteet

Tuen T8A kohdalla maanpinnan korkeus oli tasolla +81,5. Heijarikairausten perusteella maaperä oli tuen kohdalla hyvin löyhää moreenia noin 3,5 metrin syvyyteen asti maanpinnasta, eli tasolle +77,5, kairausvastuksen ollessa 10–20 L/0,2 m. Kaivamalla suoritettua massanvaihdon yhteydessä vasempaan laitaan kaivettiin koekuoppa, jolla yritettiin varmistaa riittävä massanvaihdon syvyys. Koekuopan kaivamisen yhteydessä kaivannon pintakerroksesta löydettiin tien rakenekerroksia ja tasolta +77,0–+78,0 kerroksellista savea ja silttiä, jossa esiintyi 2–4 senttimetrin paksuisia hiekkakerroksia. Koekuoppaa kaivettaessa ei kaivantoon juurikaan tullut vettä ja kivinen moreeni tavoitettiin tasolta +77,0. Tuella T7 olleiden pohjavedenpinnan havaintoputkien perusteella pohjavedenpinnan oletettiin olevan noin tasolla +79,37–+79,69. Kallionpinnan oli porakonekairauksin todettu olevan noin 9,5 metrin syvyydellä maanpinnasta, noin tasolla +71,5. (Smura 2017.)

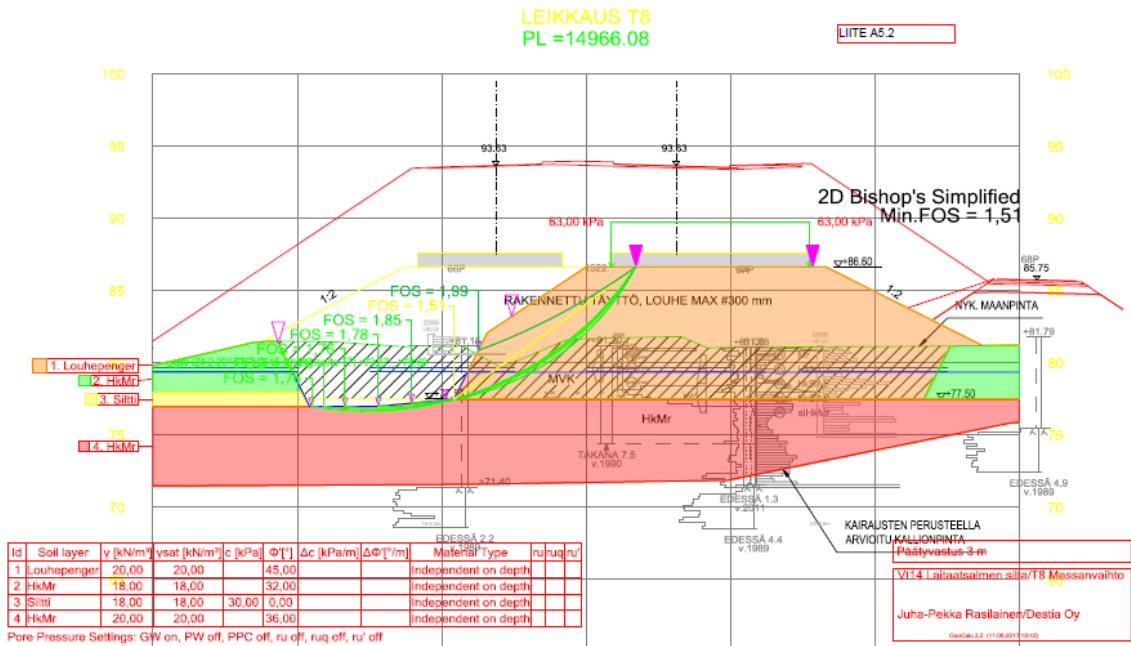
6.8.2 Perustamistapa

Tuki T8A perustettiin louheesta tehdyn tiivistetyn täytön ja massanvaihdon vaaraan tasolle +86,6 (kuva 25), anturan koon ollessa 9,7×5×1 metriä. Massanvaihto ulotettiin tasolle +77,0 ja täytössä käytettiin maksimiraekooltaan 300 mm louhetta. Louheen ylin kerros kiilattiin ja sen päälle tehtiin M 0/45 murskeesta 300 mm paksu tasauskerros. Täyttö tiivistettiin InfraRyl 42013 vaatimusten mukaisesti. (Smura 2017).

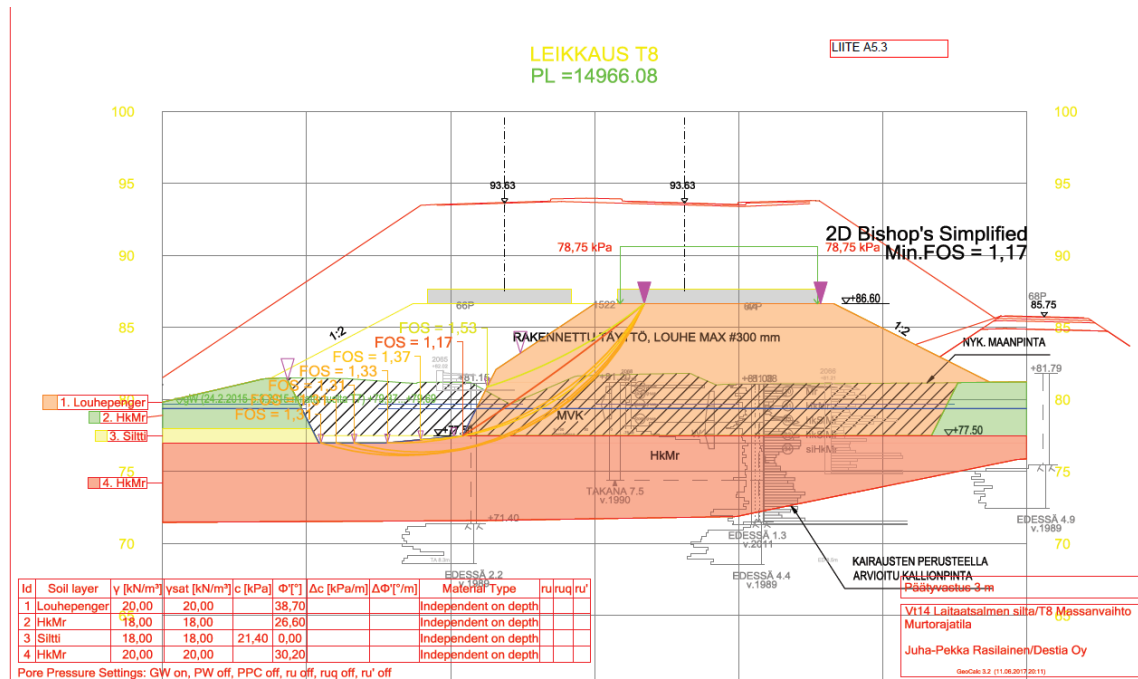


Kuva 25. Poikkileikkaus T8A & T8B (Smura 2017)

Eteläisen sillan tukea T8B rakennettaessa massanvaihtoa ei saatu tehtyä riittävästi leveänä tuen T8A suuntaan, koska työmaan aikainen ajoneuvoliikenne kulki tuen T8A kohdalla. Kaivettaessa tuen T8A alle massanvaihtoa ongelmaksi muodostui T8B tuen stabiliteetti, joka vaati ylimääräisiä tarkasteluja. Stabiliteetti oli kuitenkin riittävä ja massanvaihto saatiin tehtyä onnistuneesti. GeoCalc-ohjelmistolla tehdyt laskelmat on esitetty kuvissa 26 ja 27.



Kuva 26. T8B stabiliteetti, kokonaisvarmuus (Smura 2017)



Kuva 27. T8B stabiliteetti, osavarmuus murtorajatilassa (Smura 2017)

Paalujen varaan perustaminen olisi myös ollut vaihtoehto, mutta se olisi kuitenkin vaatinut erikoiskalustoa ja ollut hitaampaa sekä kalliimpaa. Maanvarainen perustaminen täytön ja massanvaihdon varaan oli nopein ja työteknisesti helpoin sekä edullisin vaihtoehto.

6.9 Painumat

Painumalaskelmissa on käytetty GeoCalc -ohjelmaa sekä M. Smuran Tiepenkeeseen painuma -ohjelmaa. Laskelmissa käytetyt maa-aineksen lujuus- ja muodonmuutosparametrit on saatu heijarikairausvastusten perusteella Liikenneviraston *Tien geotekninen suunnittelu* -ohjeen taulukoista. Yksi vaatimuksista oli, että siltojen vierekkäisten tukien painumaerot eivät saa ylittää 20 mm:ä, joten taulukossa 2 on esitetty vertailun vuoksi painumalaskelmat myös B-sillan osalta.

Tuki		Laskettu painuma	
T1	A	20	mm
	B	20	mm
T2	A	12	mm
	B	19	mm
T3	A	20	mm
	B	22	mm
T4	A	5	mm
	B	5	mm
T5	A	0	mm
	B	0	mm
T6	A	0	mm
	B	0	mm
T7	A	13	mm
	B	11	mm
T8	A	16	mm
	B	16	mm

Taulukko 2. Lasketut painumat

Painumaseurantaa tehtiin sekä rakennusaikana, että 6 kuukauden ajan kannen valun jälkeen. Painumia mitattiin anturoiden päältä ja pilareihin asennetuista painumapulteista. Mittauksia tehtiin tuilla T1, T2, T3, T4, T7 ja T8. Tuilla T5 ja T6 painumia ei laskettu tapahtuvan, koska kuormat välitettiin kalliolle.

Painumamittaustuloksia ei ollut saatavilla tähän opinnäytetyöhön. Tiedetään kuitenkin, että syntyneet painumat eivät ylittäneet laskettuja arvoja.

6.10 Yhteenveto

Sillassa käytetyt perustamistavat sekä oleellisimmat vaihtoehdot on esitetty taulukossa 3. Maanvaraan perustettujen tukien osalta, joilla maanvaraisen perustamisen edellytykset ovat täyttyneet, ei vaihtoehtoisia tapoja ole esitetty.

	Maanvarainen	Massanvaihto	Kallionvarainen	Lyöntipaalut	Porapaalut	
T1	x					
T2	x					
T3	x					
T4				x	o	<i>Lyöntipaalaus edullisempi</i>
T5			o		x	<i>Paaluilla vältettiin pohjavedenpinnan alapuolelle tehtävä oikaisuvalu</i>
T6			x			
T7	x					
T8		x		o	o	<i>Massanvaihto nopein sekä työtékknisesti helpoin</i>

x = käytetty
o = vaihtoehtoinen

Taulukko 3. Perustamistavat

Osalla tuista olosuhteet olivat sellaiset, ettei vaihtoehtoisia tapoja ollut tarpeellista tutkia laajemmin. Tärkeimmiksi tutkimuskohteiksi vaihtoehtoisten perustamistapojen osalta osoittautuivat keskimmäiset tuet T4A ja T5A. Näillä tuilla ei käyttökelpoisempia tapoja kuitenkaan löytynyt, vaan ilmenneet ongelmat johtuivat muista syistä, kuin perustamistavan valinnasta.

7 Pohdinta

Työssä onnistuttiin selvittämään, miksi ja miten juuri kyseiset perustamistavat ovat valikoituneet käytettäviksi. Tutkimuksen perusteella sillan perustamistavat ovat optimaalisimmat juuri kyseisiin olosuhteisiin ja paikkoihin, kun tarkastellaan työtékknistä toteutettavuutta ja taloudellisuutta sekä aikataulua. Käyttökelpoisempia vaihtoehtoja perustamistapojen osalta ei juurikaan löytynyt.

Tätä opinnäytetyötä tehtäessä hankkeesta löytyi myös kehityskohtia sekä ongelmia, joiden tutkimisesta on toivottavasti tulevaisuudessa hyötyä. Tuen T4A kohdalla olleet vanhan sillan perustukset olisi voitu tutkia tarkemmin jo tilaajan toimesta ennen tarjousvaihetta. Pienillä lisätutkimuksilla olisi mahdollisesti saatu tarvittava tieto vanhoista rakenteista. Lisätutkimuksia olisi voitu tehdä myös suunnittelu- tai rakennusvaiheessa, jos on ollut aiheita epäillä lähtötietojen oikeellisuutta tai puutteellisuutta. Näin olisi saatu aikaisemmin tieto vanhoista perustuksista ja siihen olisi ehditty reagoimaan.

Myös tuen T5 kohdalla kallionpinta ja sen kaltevuus olisi tullut tutkia tarkemmin, jolloin päätös perustamistavan vaihtamisesta olisi voitu tehdä aikaisemmin. Perustamistapaa vaihdettiin kallionvaraisesta porapaaluiksi käytännössä vasta silloin, kun kallionpinta kaivettiin esille. Tällaiset äkilliset muutokset aiheuttavat viivästyksiä aikatauluun.

Tällaisia asioita on kuitenkin mahdotonta ennustaa, eikä kalliita ylimääräisiä pohjatutkimuksia mielellään tehdä. Kuitenkin pienillä lisäkustannuksilla pohjatutkimuksiin voidaan aikaansaada suuri säästö myöhemmässä vaiheessa.

Tulevaisuudessa pohjatutkimuksia tehtäessä voitaisiin kairausten rinnalla käyttää aikaisempaa enemmän geofysikaalisia menetelmiä. Menetelmät ovat suhteellisen edullisia ja niillä saataisiin tarkempia tutkimustuloksia sekä vähennettyä riskiä siitä, että maan alta löytyykin jotain rakentamiselle epäsuotuisaa.

Lähteet

Junttan. Paalutustekniikat.

<https://junttan.com/fi/paalutusasiantuntija/paalutustekniikat/>.

Luettu 17.1.2020.

Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammertekniikka.

Liikennevirasto 2017. Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7 Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet 21.4.2017.

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-13_ncci7_web.pdf.

Luettu 13.4.2020

Liikennevirasto 2011a. Massanvaihdon suunnittelu.

https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf.

Luettu 17.1.2020.

Liikennevirasto 2015. Kallionpintamallin luotettavuuden analysointi porakonekai-
rausten määrän ja laadun perusteella.

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-27_kallionpintamallin_luotettavuuden_web.pdf.

Luettu 13.4.2020

Liikennevirasto 2011b. Savonlinnan liikennejärjestelyt; Laitaatsalmen tie-, rata-
ja väyläjärjestelyt.

https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lr_2011_savonlinnan_liikennejarjestelyt_a3_web.pdf.

Luettu 20.1.2020.

Liikennevirasto 1999. Teräsputki-paalut.

<https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf>.

Luettu 17.1.2020.

Paikkatietoikkuna. Laitaatsalmi.

<https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>.

Luettu 20.1.2020.

Rantamäki, M. & Tamminne, M. 1979. Pohjarakennus, Helsinki: Otatieto.

RIL 254-2016 Paalutusohje 2016. PO-2016 Helsinki: Suomen rakennusinsinöö-
rien liitto RIL ry.

Smura, M. 2017. Geotekninen suunnitelmaselostus. Destia Oy.

Smura, M. 2018. Laitaatsalmen silta, geosuunnittelun erityispiirteitä. Destia Oy.

Sweco Oy. 2019. Laitaatsalmen siltahanke.

<https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/11/6.-Sillan-suunnittelun-erityispiir->

teet-P%C3%A4%C3%A4suunnittelija-DI-Juha-Litmanen-Sweco-Rakennetek-
niikka-Oy.pdf.
Luettu 29.1.2020.

Tiehallinto 2001. Porapaalutusohje.
<https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/porapaalutusohje01.pdf>.
Luettu 17.1.2020.

Väylävirasto 2019. Vt14 Laitaatsalmen väylähankkeet.
[https://vayla.fi/docu-
ments/20473/23143/Esite_250x176_190821_PRINT_low.pdf/6e079daa-2a4f-
4354-9e69-7ede76633c04](https://vayla.fi/documents/20473/23143/Esite_250x176_190821_PRINT_low.pdf/6e079daa-2a4f-4354-9e69-7ede76633c04).
Luettu 20.1.2020.