



Laadunhallintakeinot ja laadun kustannukset katuhankkeessa

Sini Partinen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma, rakennusmestari

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työjohto

PARTINEN, SINI:

Laadunhallintakeinot ja laadun kustannukset katuhankkeessa

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2020

Tässä opinnäytetyössä käsitellään laatua ja laadun kustannuksia kadunrakennushankkeessa. Työ on tehty Destia Oy:lle. Opinnäytetyössä selvitettiin millaisia laadunvarmistusmenetelmiä ja työnaikaista laadunvalvontaa urakassa on käytetty, millainen vaikutus työmaan erityispiirteillä on ollut urakan kustannuksiin ja miten laadun kustannuksia olisi mahdollista hallita työnaikaisin keinoin vastaavanlaisissa hankkeissa.

Lähteinä työn toteutuksessa on käytetty infra- ja rakennusalaan liittyvää kirjallisuutta ja tietopankkeja sekä Tampereen ammattikorkeakoulun infrarakentamiseen suuntautuvien insinöörien opintojaksoja. Näiden lisäksi merkittäviä lähteitä olivat tarkasteltavan hankkeen urakkakohtaiset dokumentit, Destia Oy:n sisäiset tietokanavat, henkilöhaastattelut ja keskustelut alkuvuoden 2020 aikana sekä opinnäytetyön tekijän omat havainnot työmaakohteesta.

Tässä työssä selvitetään laadun kustannusvaikutusta urakan kokonaiskustannuksiin sekä mahdollisia keinoja, joilla laadun toteutuminen voidaan varmistaa kustannustehokkaasti hankkeen eri vaiheet huomioiden. Oletuksena ennen opinnäytetyön aloitusta oli, että laadunvarmistuksen kustannuksia ei huomioida riittäväällä tasolla hankkeen tarjousvaiheessa ja että tämä aiheuttaa haasteita urakan toteutusvaiheessa.

Tutkittaessa aihetta selvisi, että laadunvarmistuksen kustannukset oli alibudjetoitu ja hankkeen erityispiirteitä ei oltu huomioitu riittävästi tarjousvaiheessa. Näillä erityispiirteillä on ollut huomattava vaikutus työmaan jokapäiväiseen toimintaan ja eri työvaiheiden kustannustehokkaaseen toteuttamiseen. Myös jatkuvan laaduntarkkailun ja kriittisten työvaiheiden tunnistamisen merkitys on ollut suuri resurssiviisasta rakentamista tavoitellessa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että laadukkaan ja kustannustehokkaan lopputuotteen saavuttamiseksi tarvitaan osaamista ja perehtyneisyyttä niin tarjousvaiheessa kuin rakentamisaikanakin. Erityisesti arvoltaan pienissä urakoissa tarjousvaiheen täsmällisyydellä on merkittävä vaikutus, sillä pienissä hankkeissa ennakoimattomista kuluista johtuvat budjetinylitykset näkyvät välittömästi, eikä syntyneitä lisäkuluja välttämättä pystytä kompensoimaan työmaan muulla toiminnalla.

Asiasanat: infrarakentaminen, laadunhallinta, laatu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

PARTINEN, SINI:

Quality Management Methods and Cost of Quality in the Street Construction Project

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 6 pages
May 2020

This bachelor's thesis deals with quality and its costs in the street construction project. The thesis was ordered by Destia Oy. Purpose of this assignment was to clarify what kind of quality assurance methods and on-site quality control actions have been used, how this project's distinctive features have been impacting towards the total expenses and how it is possible to control costs with on-site methods in similar kind of projects.

For implementing this thesis variety of sources has been used. Sources were construction related literature and collections as well as study modules for infrastructure engineers from Tampere University of Applied Sciences. Alongside with these, crucial sources were project-related documents, Destia's intranet, interviews and conversations during the early part of the year 2020 as well as writer's own observations during the construction project.

Main goals for this thesis was to investigate how the quality-related costs were affecting the overall cost of the project and what kind of methods can be used to ensure that quality realizes together with a cost-effectiveness and in all stages of this project. Before beginning this thesis, prediction was that the bidding phase do not take quality-related costs in consideration as much as it should, and this will cause challenges during the construction phase.

While exploring this subject it was certain that under the bidding phase costs of quality assurance were underbudgeted and that the distinctive features had not been adequately taken into consideration. These features have had a significant impact for the everyday operations on the site as well as cost-effectiveness of the different stages of work. Also, importance of constant quality observation and identifying critical stages are playing major part while pursuing resource-wise construction.

As a conclusion, final product which is both high-quality and cost-effective, can be achieved only with competence and familiarity during both the bidding stage and the construction stage. Especially in the small-value projects, punctuality of the bidding phase has a big impact for the whole project, since unforeseen costs causing overspending the budget will be visible immediately and those extra expenses might not be possible to compensate by the other activities happening on the site.

Key words: infrastructure, quality control, quality

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	YLEISTÄ LAADUSTA	7
2.1	Laadun määritelmä	8
2.2	Keskeisiä laadunvarmistusmenetelmiä maanrakennusurakassa .	10
2.2.1	Rakennusaikainen dokumentointi.....	10
2.2.2	Materiaaleille asetetut vaatimukset.....	11
2.2.3	Kantavan kerroksen kelpoisuuden toteaminen	12
2.2.4	Jätevesiviemärin kelpoisuuden toteaminen	15
2.2.5	Vesijohdon kelpoisuuden toteaminen	17
3	TARASTEN KATU- JA VESIHUOLTOURAKKA 2019	20
3.1	Urakan esittely	21
3.2	Urakan erityispiirteet	22
3.2.1	Vedenpinnan korkeus.....	22
3.2.2	Työmaan sähköistys.....	24
3.2.3	Pohjanvahvistus	25
3.2.4	Turve	28
3.3	Rakennuttajan laatuvaatimukset hankkeessa	29
3.4	Laadunvarmistus päivittäisessä työssä	32
3.5	Laadunvarmistuskokeiden tulokset ja kustannukset	35
4	POHDINTA	38
4.1	Toimenpiteet ennen urakan aloittamista	39
4.2	Toimenpiteet rakennusaikaisessa laadunhallinnassa	40
4.2.1	Työnjohto.....	40
4.2.2	Urakan työvaiheet ja työntekijöiden ammattitaito.....	42
4.3	Laadunvarmistusmenetelmien kustannukset	43
4.4	Yhteenveto	45
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	49
	Liite 1. Katuluokat.	49
	Liite 2. Katuluokka 3: maaperän kantavuus ja kerrospaksuudet.	50
	Liite 3. Jätevesipumppaamon työ- ja laatusuunnitelma. 1 (2).....	51
	Liite 4. Esimerkki levykuormituskokeiden tulosten raportista.	53
	Liite 5. Yhteenveto viettoviemärin tv-kuvauksista.	54

ERITYSSANASTO

Buildie	Laadunvalvontaan kehitetty älypuhelinsovellus.
E2/E1	Kantavuuskokeiden mittaustulosten suhdeluku.
Infrakit	Pilvipalvelu, jolla linkitetään CAD-mallit ja työmaan koneohjaus- ja mittalaitteet. Tämä mahdollistaa rakentamisen reaaliaikaisen havainnollistamisen ja seurannan.
Infrarakentaminen	Yhteiskunnan välttämättömien rakenteiden luomista, esimerkiksi tiet ja kadut, sillat, energialaitokset, viemäri- ja vesijohtoverkostot.
InfraRYL	Kokoomateos, johon on määritelty maanrakentamisessa käytetyt yleiset laatuvaatimukset.
Kantava kerros	Katu- ja tierakenteen kerros, jonka tehtävä on lisätä rakenteen kantavuutta ja toimia alustana päällysteelle.
Kantavuusmittaus	Toimenpide, jolla varmistetaan rakenteen riittävä kantavuus.
Kunnallistekniikka	Vesi-, viemäri- ja lämmitysverkostot, jotka liittyvät kunnan tai kaupungin ylläpitämään verkostoon.
Massanvaihto	Pohjanvahvistusmenetelmä, jossa huonosti kantava maa-aines kaivetaan pois ja korvataan hyvin kantavalla materiaalilla, kuten kalliomurskeella.
Painekoe	Toimenpide, jolla varmistetaan rakennetun vesijohdon tai viemäriinjan tiiveys.
Pohjaantäyttö	Pohjanvahvistusmenetelmä, jossa huonosti kantava maaperä syrjäytetään kantavammalla materiaalilla. Erona massanvaihtoon on se, ettei huonosti kantavaa maa-ainesta kaiveta ensin pois.
Tarke	Rakenteen toteuman mittaus XYZ-koordinaatistoon.
Tv-kuvaus	Laadunvarmistustoimenpide, jossa rakennettu viemäriinjan kuvataan virheiden varalta.
Työtapaseuranta	Työvaiheiden tekemisen toteaminen vaadittujen standardien ja ohjeiden mukaan, jolloin erillisiä laadunvarmistuskokeita ei vaadita. Esimerkiksi rakenteen tiiviys voidaan todentaa riittäväksi käytettävän kaluston ja yliajokertojen avulla.

1 JOHDANTO

Oli kyse sitten tuotteen valmistamisesta, työsuoritteiden tekemisestä, palvelun tuottamisesta tai muun hyödykkeen aikaansaamisesta, kaikkeen näistä liittyy oleellisesti kysymys laadusta ja toimivuudesta. Erityisesti rakentamisessa laadun merkitys korostuu, sillä lopputuote, oli se sitten rakennus, katu, tie tai silta, on suunniteltu kestäväksi vuosikymmeniä. Jokainen rakennusprojekti on siis investointina kallis ja aikaa vievä sekä vaatii runsaasti resursseja toteutuakseen. Näin olen ei ole yllättävää, että tilaaja haluaa parhaan mahdollisen vastineen investoimalleen rahalle. Lopputuotteen toimivuus ja tilaajan asettamien vaatimusten ja toiveiden mukaisuus ovat kriittisiä tekijöitä rakentamisessa.

Rakentamisessa halutun laatutason määrittelee hankkeen tilaaja. Tilaajan tulee kuitenkin huomioida voimassa olevat viranomais määräykset ja ohjeet, sekä lainsäädännön asettamat rajoitteet ja velvoitteet. Laadun suoritustason osalta yleisesti viitataan rakentamisen yleisiin laatuvaatimuksiin. Tilaajalla on kuitenkin mahdollisuus velvoittaa urakoitsijaa näitä vaatimuksia parempaan laatutasoon, mikäli näin asiasta ilmoitetaan jo hankkeen tarjouspyyntöasiakirjoissa. Jos urakakohtaisissa asiakirjoissa ei suoritustasosta tai -tavoista muuta todeta, käytetään laadunvarmistuksen ja työvaihekohtaisten suunnitelmien pohjana alalla yhteisesti sovittuja yleisiä laatuvaatimuksia. Maarakennushankkeissa käytössä ovat esimerkiksi InfraRYL-kokoelmat ja asfalttinormit.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan laadunhallintaa, laadunvarmistuskeinoja ja laadun kustannuksia katuhankkeessa. Tarkasteltava urakka oli Destia Oy:n maanrakennusurakka Kangasalla, jossa toimin vuonna 2019 työnjohtoharjoittelijana lähes koko hankkeen ajan. Hankkeen tilaajina toimivat Tarasten Kiertotalousalue Oy ja Tampereen Vesi. Tässä opinnäytetyössä tarkastelun ulkopuolelle on rajattu niin kutsuttujen kolmansien osapuolien työt, joita tässä hankkeessa olivat kaapeli- ja teleoperaattorit.

2 YLEISTÄ LAADUSTA

Suomessa rakentamista ohjaavat ylimmällä tasolla maankäyttö- ja rakentamislaki sekä Ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelma. Infrarakentamisessa huomioitavia lakeja ovat näiden lisäksi muun muassa ympäristönsuojelulaki, vesilaki ja jätelaki sekä useat asetukset, ohjeet ja määräykset ympäristön käyttöön ja materiaalien hankintaan liittyen. (Sivenius. 2019.) Rakentamisen laadullisiin kysymyksiin näissä otetaan kantaa kuitenkin vain välillisesti. Esimerkiksi maankäyttö- ja rakentamislaki määrittää pätevyysvaatimuksia työnjohto- ja suunnittelutehtävissä toimiville ja rakentamismääräyskokoelma ottaa kantaa käytettävien rakennustuotteiden ominaisuuksiin.

Maankäyttö- ja rakennuslakia ollaan kuitenkin parhaillaan uudistamassa ja yhdeksi nostoksi on Ympäristöministeriön ylläpitämän maankäyttö ja rakennuslaki uudistuu -nettisivun mukaan valittu rakentamisen laatu- ja vastuukysymykset. Uusi laki tulee voimaan vuoden 2021 lopussa. Todennäköisesti rakentamisen laatua tullaankin tulevaisuudessa ohjaamaan entistä enemmän myös lainsäädännön ja asetusten kautta.

Koska laeilla ja asetuksilla ei varsinaisesti ohjata rakentamisen laatua, alalle on kehitetty yleisesti käytössä olevat laadun kriteerit. Riittävän laatutason määrittelemiseksi infrarakentamisessa käytetään Rakennustieto Oy:n ylläpitämää InfraRYL-kokoelmaa. Näiden alan yleisten laatuvaatimusten mukaan rakenteille asetetaan vaatimuksia sekä toimivuuden että teknisten seikkojen osalta. Toimivuusvaatimuksilla tarkoitetaan niitä raja-arvoja, joita enempää rakenne ei saa huonontua menettämättä sille asetettuja vaatimuksia. Tekniset vaatimukset taas ovat niitä kriteerejä, jotka rakenteen on täytettävä rakennusvaiheessa. Toisin sanoen, tekniset vaatimukset kuvaavat niin kutsuttua hyvää rakennustapaa, jota urakoitsijan on noudatettava työn suorittamisessa. (InfraRYL. 2010.)

Rakennusalalle on myös luotu erilaisia järjestelmiä, joiden tarkoitus on viestiä asiakkaan suuntaan yrityksen vastuullisuudesta laatuksymyksissä. Näistä järjestelmistä yksi käytetyimmistä on RALA-pätevyys. RALA on vuonna 1997 perus-

tettu sertifiointiohjelma, jolla rakennusalan yritykset voivat puolueettomasti osoittaa, että ne ovat tutkitusti laaduntuottokykyisiä, yritys vastuunsa hoitavia ja reilusti toimivia yrityksiä. RALA-sertifikaatin myöntää Rakentamisen Laatu Ry, joka on rakennusallalla toimiva puolueeton ja läpinäkyvä organisaatio. RALA-pätevyys ei ole pakollinen, mutta useat pääurakoitsijat ja tilaajat velvoittavat omia urakoitsijoitaan kuulumaan RALA-järjestelmän piiriin. Destia Oy on RALA -sertifioitu yritys.

2.1 Laadun määritelmä

Terminä laatu voidaan määritellä seuraavasti:

- tuotteen kyky täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset tai
- todettu yhdenmukaisuus asetettuihin vaatimuksiin nähden. (Virtanen & Kankainen. 1995.)

Näistä ensimmäinen kertoo tilaajan tai käyttäjän näkökulman ja sillä tähdätään asiakkaan tyytyväisyyteen. Jälkimmäinen määritelmä sisältää ajatuksen siitä, että tuotteen vaatimukset ovat ulkoa asetetut. Määritelmänä laatu merkitsee siis tuotteen tai tuotteen osan kykyä vastata sille asetettuihin vaatimuksiin. (RIL 156. Virtanen, Kankainen. 1995. 332.) Vaatimukset voivat olla joko tilaajan asettamia tai yleisesti alalla määriteltäjä standardeja.

Lähes poikkeuksetta infrarakentamisessa laaduntarkastelun pohjana käytetään InfraRYL-teoksen vaatimuksia. Rakennusalan yleisten sopimusehtojen (YSE 1998) mukaan tilaaja voi kuitenkin poiketa yleisistä laatuvaatimuksista niin halutessaan, mutta näin toimiessaan tämä on tuotava selkeästi ilmi urakoitsijalle urakan sopimuspaperissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tilaaja asettaa hankkeen laadulle yleisiä laatuvaatimuksia tiukemmat kriteerit tai määrittää tietyn tavan, jolla rakennusosan kelpoisuus todennetaan. Nämä tarkennukset kirjataan esimerkiksi urakkaohjelmaan tai työselostukseen.

Virtasen ja Kankaisen (1995. 333.) mukaan kirjassa RIL 156 Maarakennus rakentamisen laatu muodostuu kahdesta osasta: suunnitelma-asiakirjojen laadusta ja tuotantolaadusta. Suunnitelma-asiakirjojen laatu syntyy tilaajan hankeohjel-

massa kuvatuista toiveista ja vaatimuksista. Näiden perusteella tuotetaan suunnitelma-asiakirjat, jotka kuvaavat tuotannolle asetettuja vaatimuksia ja sitä myöten määrittävät tilaajan haluaman laatutason. Tuotantolaatu taas tarkoittaa tuotantovaiheen vastaavuutta suunnitelma-asiakirjoihin nähden. Toisin sanoen tuotantovaiheessa tulee tähdätä näiden suunnitelma-asiakirjojen mukaiseen työsuoritukseen, jolloin laatuvaatimukset hankkeessa täyttyvät.

Rakennushankkeen korkealaatuisen lopputuotteen aikaansaaminen on haastavaa. Lindholmin ja Junnoson kirjoittaman teoksen ”Infrahankkeen tuotannonhallinta” mukaan haasteita hankkeille asettavat muun muassa seuraavat asiat:

- Rakentamisen kertaluonteisuus, eli jokaisen hankkeen uniikkisuus. Massatuotanto etenkin infrarakentamisessa on mahdottomuus.
- Rakentamisen laadusta ovat vastuussa ihmiset, joiden osaamistaso ja ymmärrys laadun kriteereistä voivat olla vaihtelevia. Tämä lisää painetta hankkeen työnjohdon ammattitaidolle ja työvaiheiden jatkuvalla valvonnalle.
- Työskentelyolosuhteet eivät ole vakioita, vaan sääolosuhteiden vaikutus on merkittävä hankkeen tasaisen laadun kannalta.
- Virheiden ja puutteellisen laadun korjaaminen on vaikeaa, kallista ja aikaa vievää. Korjaustoimilla on erittäin suuri vaikutus hankkeen aikataulussa pysymiseen ja kustannuksiin.
- Mahdolliset mittausvirheet kertautuvat. (Lindholm & Junnonen. 2012.)

Yllä lueteltuja tilanteita pyritään välttämään kunnollisella laadunvarmistamisella. Laadunvarmistustoimina tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla voidaan saada riittävä varmuus siitä, että rakenneosat täyttää sille asetetut vaatimukset. (Lindholm & Junnonen. 2012. 61-62.) Laadunvarmistusmenetelmiä infra- ja pohjarakenteissa ovat muun muassa kantavuusmittaukset, materiaalien kelpoisuuden osoittaminen, tiiveyskokeet ja erilaiset dokumentointimenetelmät, kuten tv-kuvaukset.

2.2 Keskeisiä laadunvarmistusmenetelmiä maanrakennusurakassa

Hankkeen kaikkien osapuolien kannalta on tärkeää, että tehdyn työn laatu todetaan ja dokumentoidaan. Laadun todentaminen tehdään urakka-asiakirjoissa määriteltyjen laadunvarmistusmenetelmien mukaisesti. Menetelmät, mittaustiheydet ja testien raja-arvot vaihtelevat hankekohtaisesti. Tässä luvussa käydään läpi Tarasten katu- ja vesihuoltourakassa käytettyjä laadunvarmistusmenetelmiä, niiden suoritusperiaatteita ja millaisia toleransseja InfraRYL asettaa menetelmillä saataville tuloksille. Tarkemmin urakan laadunvarmistuskokeiden tuloksia on esitelty tämän opinnäytetyön luvussa 3.5.

2.2.1 Rakennusaikainen dokumentointi

Rakentamisen aikana työmaata dokumentoidaan useilla menetelmillä. Tämä on tärkeää siksi, että kaikista työvaiheista jää merkintä, johon voidaan palata tarvittaessa jälkeenpäin. Erilaisia kirjallisia työnjohdon suorittamia dokumentointimenetelmiä ovat esimerkiksi työmaapäiväkirjat, katselmusmuistiot ja työvaihekohtaiset työ- ja laatusuunnitelmat. Lisäksi eri laadunvarmistustoimenpiteistä tulee saada kokeen suorittaneelta raportti tai mittauspöytäkirja, jonka tehtävänä on varmentaa mitattujen asioiden vaatimustenmukaisuus. Tällaisia raportteja voivat olla esimerkiksi raportit vesinäytteistä, painekokeen mittauspöytäkirja ja levykuormituskokeiden mittauspöytäkirjat. Lähtökohtaisesti kaikki dokumentaatio kuuluu tilaajan vaatiman laatukansion aineistoksi.

Usein työmaalla varsinkin nopeita päätöksiä vaativat tilanteet hoidetaan puhelimitse, mutta näistä kannattaa aina tehdä kirjallinen muistio, mainita asia työmaapäiväkirjassa tai vähintään kuitata sovitut asiat sähköpostitse. Mikäli jälkikäteen suullisesti sovitusta asioista ilmenee ongelmia tai epäselvyyksiä, kirjallinen dokumentaatio helpottaa tilanteiden selvittämistä.

Kirjallisten dokumenttien lisäksi yhtä tärkeä dokumentointimenetelmä on työmaan reaaliaikainen valokuvaaminen. Tilaaja voi edellyttää myös erittäin tarkkojakin vaatimuksia kuvien suhteen. Esimerkiksi tässä hankkeessa tilaaja edellytti, että vesijohdon ohittaessa jätevesikaivon, vaadittu turvaetäisyys putken ja kaivon väliin tuli todentaa kuvaamalla kohta siten, että etäisyys selviää kuvasta. Tilaajan

vaatiman kuvaamisen lisäksi valokuvat ovat tärkeää aineisto urakoitsijalle itselleen, sillä niistä pystyy seuraamaan työmaan etenemää ja tarvittaessa voidaan jälkikäteenkin päästä kiinni jo tehtyihin työvaiheisiin.

2.2.2 Materiaaleille asetetut vaatimukset

Yleisesti voidaan todeta, että kaikki materiaali, mitä työmaalla käytetään, tulee olla CE-hyväksyttyä eli se takaa, että tuotteen on todettu täyttävän materiaalille asetettujen EU-direktiivien vaatimukset. Poikkeuksena on samalta työmaalta saatava maa-aines, jota voidaan sijoittaa muualle työmaan alueelle ilman CE-merkintää. Kuvassa 1 on esitetty virallinen CE-merkintätapa.



KUVA 1. Virallinen merkintätapa tuotteen CE-hyväksynnälle. (Euroopan Komissio. 2019.)

Ellei kyseessä ole suunnittele ja toteuta -urakka tai asiasta on muutoin sovittu urakka-asiakirjoissa, lähtökohtaisesti tilaaja määrittelee käytettävät materiaalit. Kilpailullisista syistä tilaaja ei kuitenkaan voi velvoittaa käyttämään yhtä spesifiä tuotetta tai ainoastaan tietyn toimittajan tuotteita, mutta materiaalien ominaisuudet saa tilaaja määritellä. Tilaaaja määrittelee myös saako kohteessa hyödyntää uusiomateriaaleja.

Useimmiten tilaaja määrittelee, että käytettyjen materiaalien tulee olla CE-hyväksyttyjä ja uusia, eli käytettyjä tuotteita harvoin saa uudelleen käyttää urakoissa. Kaikista käytetyistä materiaaleista vaaditaan laatukansion aineistoksi materiaalin suoritustasoilmoitukset (DoP = declaration of performance), joilla materiaalin valmistaja todentaa tuotteen ominaisuudet. Myös kiviaineksesta vaaditaan kyseinen dokumentaatio.

2.2.3 Kantavan kerroksen kelpoisuuden toteaminen

Kohteessa rakennuttaja vaati ainoastaan sitomattoman kantavan kerroksen kantavuuden mittaamista levykuormituskoetta tai raskasta painopudotuslaitetta käyttäen, muutoin tiiviyden toteamiseksi tilaaja hyväksyi työtapaseurannan. Jakavan kerroksen ja putkiarinoiden kantavuudet todettiinkin työtapatarkkailun ja tiivistyskaluston yliajokertojen määrittämisen mukaan. Työselostuksessa sitomattoman kantavan kerroksen kantavuudelle oli annettu vähimmäisvaatimukseksi levykuormituskokeella mitattuna 160 MN/mm^2 ja tiiviyssuhteelle arvo $E2/E1 \leq 2,2$. InfraRYL:n luvun 21310.4 taulukosta 21310:T4 voidaan todeta, että rakennuttajan vaatimus tiiveydestä on yhtenevä yleisten laatuvaatimusten kanssa.

InfraRYL:n mukaiset kantavuusvaatimukset perustuvat katuluokkiin. Opinnäytetyön liitteessä 1 on esitetty taulukko, jossa määritellään kunkin katuluokan kriteerit. Vaikka tilaaja ei ollut urakka-asiakirjoissa esittänyt Tarastentielle katuluokkaa, liitteen taulukon perusteella kyseisen kadun voidaan päätellä kuuluvan luokkaan 3. Katu sijoittuu teollisuusalueelle, se tulee toimimaan alueen yhtenä kokoojakaudesta ja tulevaisuudessa alueelle sijoittuu raskasta liikennettä. (Tarasten kierto-talousalue Oy. 2019.)

Yhdessä katuluokan kanssa tavoitekantavuuden täyttymiseen vaikuttaa pohjaan kantavuus sekä rakennettavien kerrosten paksuus. Toisin sanoen, mitä epäkantavampi alueen luonnollinen maaperä on, sitä isommat kerrospaksuudet vaaditaan kantavuuskriteerin täyttymiseksi. Maaperän kantavuus saa arvon välillä A-G, joista A on kantavin ja G vähiten kantava. Liitteessä 2 on esitetty katuluokan 3 rakennekerrosten paksuudet ja niitä vastaavat tavoitekantavuudet. Koh-

teen suunnittelijan tehtävä on laatia hankkeeseen rakennussuunnitelmat ja paa-lukohtaiset leikkauspiirustukset, joiden mukaan rakennettaessa urakoitsija saa aikaan rakennuttajan vaatiman kantavuusvaatimuksen.

Kantavuutta Tarasten hankkeessa mitattiin levykuormituskokein. Kokeen periaate on selitetty Rakennusteollisuus RT Ry:n ja Rakennustietosäätiö RTS:n vuonna 2006 laatimassa suunnitteluohjeessa ”Ratu 1215-S Työmaan laadunvarmistus, tarkastukset ja mittaukset”. Menetelmällä selvitetään kiviainesrakenteiden kantavuutta ja tiiviyyttä. Levykuormituslaitteisto koostuu halkaisijaltaan 300 millimetriä olevasta teräslevystä, hydraulisesta puristimesta ja mittaustelineestä sekä kelloista, jotka mittaavat painumaa. Lisäksi tarvitaan riittävän painava vastapaino, yleisesti työmaalla käytetään esimerkiksi kuorma-autoa, kaivinkonetta tai valssijyrää. Mittauslaite voi olla joko kolmekelloinen tai yksikelloinen. Kuvassa 2 mittamiehellä on käytössä yksikelloinen levykuormituslaite.



KUVA 2. Mittamies ottamassa levykuormituskoetta kantavasta kerroksesta yksikelloisella kuormituslaitteistolla.

Kokeessa kuormitusta nostetaan asteittain maksimikuormitukseen 60 kN asti, merkitään mittakellojen tulokset ja sen jälkeen poistetaan kuormitus hitaasti. Tämän jälkeen koe toistetaan samoin kuin ensimmäisellä kerralla eli jokaisesta mittauskohdasta suoritetaan testi kahdesti. Mitä vähemmän koestettava alue painuu kuormitettaessa, sitä kantavampi alusta on. Koetuloksista lasketaan kohteen E-arvot, jotka kuvaavat rakenteen kimmoisuutta. Kimmoisuusarvoista saadaan ensimmäisen ja toisen mittauksen tiivistyssuhde $E2/E1$, jonka tulee olla suunnitelmassa esitettyä suurinta sallittua lukua pienempi. Tiivistys on ollut puutteellista, mikäli suhdeluku on annettua arvoa suurempi. (Ratu 1215-S. 2006. 8.) Mitatuista kantavuusarvoista sekä tiivistyssuhteista mittamies laatii jokaisen yksittäisen mittauksen kohdalta raportin ja kokoaa kaikista tuloksista mittauspöytäkirjan. Lisäksi mittauspisteet tulee kartoittaa ja tieto lisätään kohteen laatukansion aineistoon.

Kantavuuden ja tiiviyden lisäksi kantavasta kerroksesta tarkastellaan myös rakenteen sijaintia ja muotoa. Taulukossa 1 on esitetty muut kantavalle kerrokselle esitetyt toleranssit InfraRYL:n mukaan. Taulukossa esitettyjen vaatimusten toteutuminen todettiin Tarastentiellä takymetrillä mittaamalla.

TAULUKKO 1. Kantavan kerroksen sallitut poikkeamat. (InfraRYL. 2019.)

Vaatus	
Taulukko 21310:T3. Kantavan kerroksen sallitut poikkeamat.	
Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	- 0/+ 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan ¹⁾	± 20 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	20 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 10 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 0,5 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm
¹⁾ Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetrimittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

Taulukossa lueteltujen sijainti-, kaltevuus ja tasaisuuspoikkeamien mittaustulokset lisätään laatukansioaineistoon. Tarkepestietojen lisäksi mittamies laatii kantavan kerroksen yläpinnan tasosijainnista kartan, josta voidaan helposti todeta pinnan tasaisuus ja kaltevuus.

2.2.4 Jätevesiviemärin kelpoisuuden toteaminen

InfraRYL:n luku 3110.5.1 "Jätevesiviemärin kelpoisuuden osoittaminen" selvittää ne toimenpiteet, joilla jätevesiviemärin kelpoisuus todennetaan alan yleisten laatuvaatimusten mukaan. Todettavia asioita ovat viemärin sijainti ja tiiviys, putkilinjan dokumentointi kuvaamalla sekä mahdolliset muoviputken muodonmuutosepäilyt.

Tarasten hankkeessa rakennuttajana kunnallisteknisissä asioissa toimi Tampereen Vesi. Vaatimuksiksi paine- ja viettoviemärille oli asetettu linjan sijainnin toteamisen x-, y- ja z-koordinaatistossa vähintään 6 metrin välein ja kaikista taiteista tai muhvikohdista, sekä viettoviemärin ja tonttihaarojen viemäreiden pesun ja tv-kuvaamisen. Viettoviemärin kaadon tuli olla rakennuttajan antamien kaivojen vesijuoksukorkojen mukainen ja kaataa tasaisesti koko kaivovälin matkalla. Painejätevesiviemärille ei oltu tilaajan puolesta asetettu vaatimuksia, joten se rakennettiin InfraRYL:n luvun 31100 "Jätevesiviemärit" vaatimusten mukaan. Tässä hankkeessa tilaajalla ei ollut laadunvarmistusvaatimuksia painejätevedelle, mutta yleisesti painejätevesiviemäriin sovelletaan samoja laadunvarmistustoimenpiteitä kuin vesijohdollekin. Nämä kriteerit löytyvät InfraRYL:n luvusta 31300.5.2 "Vesijohdon kelpoisuuden osoittaminen".

Sekä molempien viemäreiden sijaintia kartoitettiin GPS:n avulla jatkuvasti linjaa rakennettaessa. GPS-kartoituksen lisäksi putkilinjoja dokumentoitiin valokuvamalla työvaiheita ja etenemää seurattiin työmaapäiväkirjalla. Viettoviemärin kaato laskettiin jokaiselle kaivovälille erikseen jätevesikaivojen vesijuoksukorkojen mukaan siten, että linjan lähtökaivon todellinen korko tarkistettiin ja kartoitettiin aina mittamiehen takymetrillä ja linjan päättävän kaivon vesijuoksukorkona käytettiin suunnitelma-asiakirjoissa annettua. Tästä korkoerosta mittamies laski rakennustyötekijöille prosentuaalisen kaadon, jota seurattiin putkilaserilla linjaa rakennettaessa.

Valmis viettoviemärilinja pestiin puhtaaksi työnaikana linjaan ja kaivoihin joutuneesta maa-aineksesta ja sen jälkeen tv-kuvattiin robottiohjatun ryömijän avulla. Vaikka kuvausmenetelmää kritisoidaan aiheellisestikin muun muassa siitä, että kuvattaessa jää helposti virheitä huomaamatta ja kuvauksen lopputulos riippuu paljon kuvaajan harjaantuneisuudesta ja ammattitaidosta (Kuikka, S. & Lampola, T. 2018.), se on silti yleisesti käytössä oleva laadunvarmistusmenetelmä etenkin uusien viemärilinjoiden dokumentoinnissa.

Monet putkilinjan laatuvirheet, kuten aukinaiset saumat, painumat tai kohoumat linjassa, voidaan todeta kuvauksen avulla silmämääräisesti. Tämän päivän laitteistolla saadaan myös visuaalisen datan lisäksi koottua tietoa esimerkiksi putken kaltevuuden vaihtelusta ja putken muodonmuutoksista. Näiden kerättyjen tietojen avulla voidaan piirtää graafisia kuvaajia tarkasteltaviksi.

Lampolan ja Kuikan kirjoittama ja vuonna 2018 julkaistu ”Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 50, Viemäreiden kuntotutkimusopas” käy läpi viemäriputkien tv-kuvauksen periaatteen. Putkilinja tutkitaan sisältäpäin linjaan asetettavan kamerasäiliön avulla ja kameraa liikutetaan koko kuvattavan linjan pituudelta esimerkiksi käyttämällä erilaisia robottiohjattavia ryömijöitä. Kamerasäiliön käyttäjä ohjaa kameraa manuaalisesti ja samalla tarkastelee reaaliaikaista kuvaa hakien mahdollisia virheitä tai poikkeamia. Tutkimus videoidaan ja tallenne tästä luovutetaan urakoitsijalle. Havaittujen poikkeamien kohdalla kamerasäiliön käyttäjä voi ottaa valokuvia, jotka myös kirjautuvat kuvauksesta tehtävän raporttiin.

Tv-kuvauksen tuottaman raportin pohjalta voidaan todeta tarkasti virheiden sijainnit ja tv-kuvauksen suorittaja arvioi virheen vakavuuden laadun. Virheet luokitellaan standardin SFS-EN 13508-2 mukaisesti. Esimerkiksi Eerola-yhtiöt Oy käyttää raporttipohjaa, jossa numeroarviointikriteerien selitteet ovat seuraavalaisia:

- 0: Ei havaintoja eli ei korjattavaa linjassa.
- 1: Havaittu virhe on vähäinen, esimerkiksi hiushalkeama tai putkisauma auki 10 - 20 mm. Yleensä ei vaadita korjattaviksi, mutta nämä tulee uudelleen kuvata noin viiden vuoden kuluttua ja tarvittaessa korjata.

- 2: Havaittu virhe on vähäistä suurempi, esimerkiksi avoin halkeama tai putkisauma auki 20 – 40 mm. Voidaan vaatia korjattavaksi heti tai viimeistään kahden vuoden kuluessa on suoritettava uusintatutkimus ja tarvittavat korjaustoimet.
- 3: Merkittävä virhe, esimerkiksi putkesta voi irrota tai on irronnut pala tai putkisauma auki 40 – 60 mm. Vaatii korjaustoimia lähitulevaisuudessa.
- 4: Erittäin merkittävä virhe, esimerkiksi putki on menettänyt rakenteellisen lujuutensa, tai putkisauma on auki yli 60 mm. Vaatii pikaisia korjaustoimia. (Eerola-yhtiöt Oy. 2019.)

Tarasten hankkeessa tv-kuvausmateriaali toimitettiin tilaajan tarkistettavaksi. Tv-kuvausraportti toimi vain suuntaa-antavana dokumenttina urakoitsijalle, sillä mahdolliset huomautukset ja korjaukset tehtiin tilaajan vaatimusten perusteella.

2.2.5 Vesijohdon kelpoisuuden toteaminen

InfraRYL:n osan 31300.5.2 mukaan vesijohdon kelpoisuus todetaan seuraavin menetelmin:

- materiaalin vaatimustenmukaisuus on osoitettava valmistajan luovuttamin dokumentein,
- vesijohdon sijainti todennetaan x-, y- ja z-koordinaattitietoina, eikä rakenteita peitetä ennen mittausten suorittamista,
- rakennettu vesijohto huuhdellaan ennen painekokeen ja desinfioinnin suorittamista ja
- rakenteelle tehdään SFS 3115:n mukainen vesipainekoe. (InfraRYL. 2019.)

Urakkaan kuulunut vesijohtoverkoston rakentaminen tehtiin pallografiittivalurautaputkella eli SG-valurautaputkella. Linjaan kuului tonttiliittymien lisäksi seitsemän sulkuventtiiliä ja kaksi palopostia, joista ensimmäinen sijaitsi noin puolessa välissä linjaa paalulla 690 ja toinen vesijohtolinjan lopussa noin paalulla 1420. Vesijohto huuhdeltiin InfraRYL:n ohjeen mukaan kahdessa osassa palopostien kautta. Yhteensä vesijohdon pituus ilman tonttihaaroja oli noin 1320 metriä.

InfraRYL:n osassa 31300.5.2.1 ”Vesijohdon kelpoisuuden osoittaminen, yleistä” selvennetään vesipainekokeen suoritusperiaate eli vesijohdon tiiviiden mittaus. Sen mukaan koe aloitetaan täyttämällä ja paineistamalla vesijohto käyttöpaineeseen vähintään yhden vuorokauden ajaksi. Tämän jälkeen vedenpaine nostetaan 10 kPa varsinaista koepainetta suuremmaksi, jotta putkilinjan mahdolliset muodonmuutokset tapahtuvat ennen varsinaista koetta. Käytännössä tällä varmistetaan se, että muhvien lukkoliitokset lukkiutuvat. Vedenpaine saadaan aikaan pumpaamalla johto-osaan vettä palopostin kautta.

Painekokeessa edetään InfraRYL:n kohdan 31300.5.2.1 mukaisesti. Johto-osassa olevan 10 kPa:n ylipaineen annetaan laskea hitaasti varsinaiseen koepaineeseen. Koepaineen suuruus riippuu käytettävästä putkimateriaalista ja se on 1,3-kertainen käytetyn putken nimellispaineesta. Nimellispaine on merkitty putkimateriaaliin. Varsinainen vesipainekoe alkaa, kun johto-osan paine on laskettu koepaineeseen. Paineen alenemaa seurataan 30 minuutin ajan ja alenemasta pidetään kirjaa. InfraRYL 31300.4.1 selventää, että vesipainekoe on hyväksytty, jos paine vakiintuu enintään 20 kPa aloituspaineen alapuolelle. Jos alenema on suurempi tai paineen lasku jatkuu koko tarkasteluajan, nostetaan paine uudelleen koepaineeseen ja mitataan tähän tarvittu vesimäärä. Koe on hyväksytty, mikäli tarvittava lisävesimäärä [Q] on pienempi kuin alla olevan kaavan 1 yhtälö.

KAAVA 1. Vesijohdon painekokeen lisävesimäärän laskeminen. (InfraRYL. 2019.)

$$Q \left[\frac{l}{km} \right] = (0,01 * d) * 0,5$$

Q = lisävesimäärä [l]

d = putken sisähalkaisija [mm]

Mikäli laskennallinen vesimäärä on sallittua suurempi, koe voidaan uusida yhden kerran. Ennen uusintaa tulee huolehtia, ettei linjassa ole ilmaa. Jos kokeen tulos on edelleen hylätty, selvitetään epäonnistumisen syy ja korjataan ennen uusimista. (InfraRYL. 2019.)

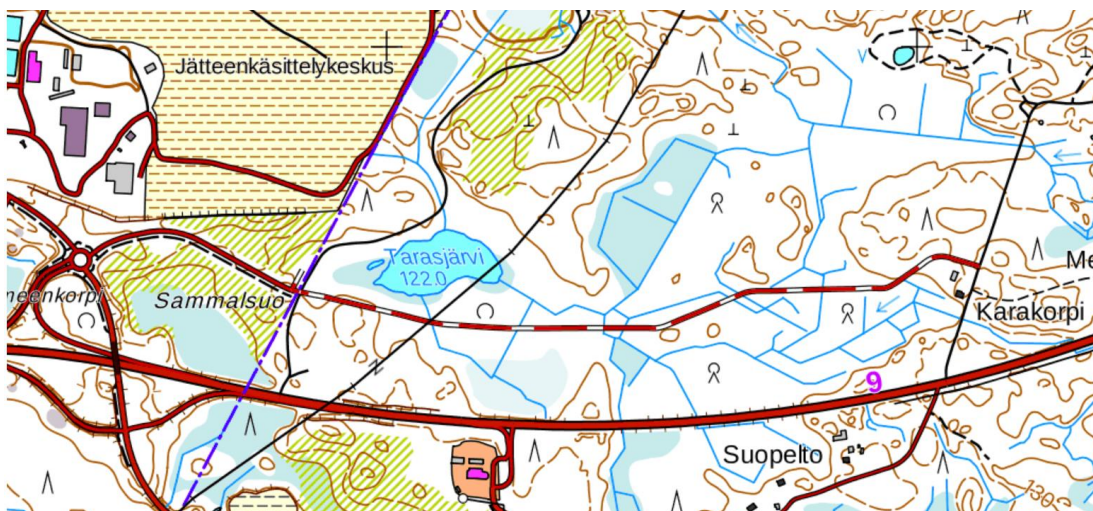
Vaikka InfraRYL suosittaa vesipainekokeen tekemistä maksimissaan 500 metrin johto-osissa, tässä urakassa linja päätettiin kokeilla paineistaa yhtenäisenä.

Tämä sovittiin yhdessä sekä tilaajan että vesipainekokeen suorittaneen yrityksen työnjohdon kanssa. Lisäksi sovittiin, että InfraRYL:n ohjeistaman 30 minuutin tarkkailun sijasta painetta tarkkaillaan kahden tunnin ajan ja mikäli koe ei menisi läpi, kokeiltaisiin sen jälkeen suorittaa painekoe kahdessa osassa.

Kun rakennettu linja on huuhdeltu ja tarvittaessa desinfioitu huolellisesti, vesijohdosta otetaan puhdasvesinäyte InfraRYL:n ohjeistuksen mukaisesti ja se toimitetaan tutkittavaksi hyväksytyyn vesilaboratorioon. Puhdasvesinäytteen otto ja analysointi tilattiin KVVY Tutkimus Oy:ltä ja näytteen tutkimustulokset lähetettiin Tampereen Vedelle tarkistettaviksi. Mikäli pelkkä huuhtelu ei riitä hyväksytyn näytteen saamiseksi, linja tulee desinfioda InfraRYL 31300.5.2.2 "Vesijohdon desinfiointi" ohjeen mukaisesti.

3 TARASTEN KATU- JA VESIHUOLTOURAKKA 2019

Opinnäytetyössä tarkasteltava urakkakohde sijaitsi Tarastejärven kierrätyspuiston asemakaava-alueella Kangasalla, Tampereen ja Kangasalan kaupunkien rajalla. Alueen eteläpuolelle jää Jyväskylätie (valtatie 9) ja länsipuolelle Tarastejärven jätteenkäsittelykeskus. Pohjatutkimusten perusteella rakennusalueen maaperä oli savea, savista silttiä, moreenia ja turvetta. Paikoitellen kallio oli lähellä maanpintaa. Kuvassa 3 havainnollistetaan työmaan sijaintia.



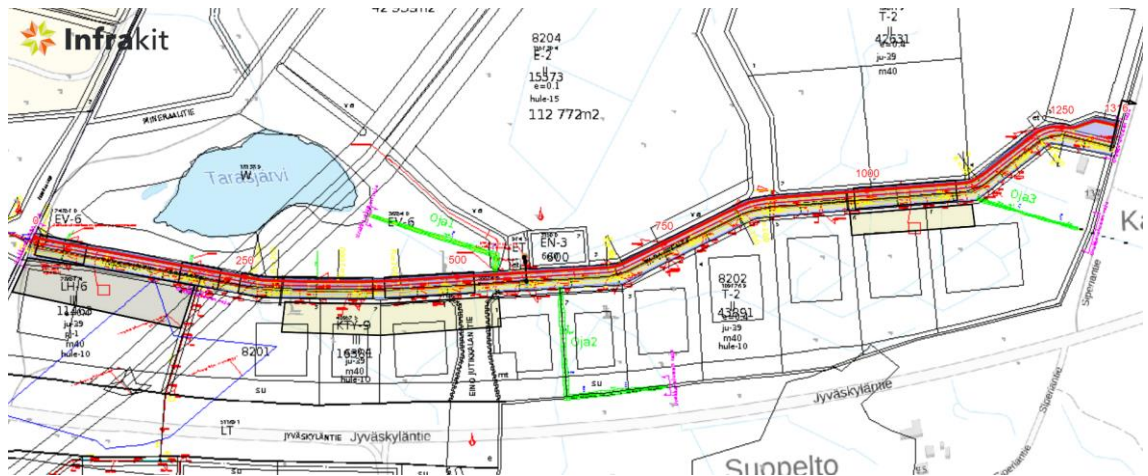
KUVA 3. Tarastentie merkitty karttaan punavalkoisella viivalla. Sininen pistekatkoviiva on Tampereen ja Kangasalan raja. (Maanmittauslaitos. 2020.)

Rakennuttajina hankkeessa toimivat kadunrakennustöiden osalta Tarasten Kierotalousalue Oy (myöhemmin TKA) ja vesihuoltotoissa Tampereen Vesi. Lisäksi erillisurakoina teetettiin Elenia Oy:n sähköverkon laajennustöitä ja useamman teleoperaattorin kaapelisuojauputkien asennustöitä. Tässä opinnäytetyössä kolmansien osapuolien teettämät työt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Kohteen pääurakoitsijana toimi Destia Oy. Urakan arvo oli noin 900 000 euroa. Hankkeen urakkamuoto oli kokonaisurakka (KU) ja laadunvarmistuksen muotona käytettiin laatuvarusturakentamista (LVR). Hankkeen suunnitelmista vastasi Ramboll Oy.

3.1 Urakan esittely

Urakkaan sisältyi Tarastentien kadun ja alueen kunnallistekniikan rakentaminen, valaistusrakenteet sekä omina erillisurakoinaan sähkökaapelisuojausputkien asennus ja teleoperaattoreiden kaapelisuojausputkitukset. Katua ei päällystetty. Kohde oli uudisrakennuskohde, joten alueella ei ollut varottavia tai suojattavia maanalaisia rakenteita eikä alueella ollut muuta liikennettä. Rakennusalueen ilmatilassa kulki kuitenkin alla olevassa kuvassa 4 näkyvä Fingridin 400 kV voimajohtolinja, joka asetti omat turvallisuusvaatimuksensa hankkeeseen.



KUVA 4. Tarastentien työmaa-alueen yleiskartta. Sinisellä viivalla kuvan vasempaan alakulmaan on merkitty Fingridin 400 kV ilmajohtolinjan jalustan vaara-alue. (InfraKit. 2020.)

Tarastentien pituus on noin 1400 metriä. Urakkaan kuuluneita merkittävimpiä töitä olivat:

- massanvaihtotyöt
- louhintatyöt
- louhepenkereen ja jakavan kerroksen rakentaminen
- kantavan kerroksen ja väliaikaisen kulutuskerroksen rakentaminen
- jätevesiviemärin ja painejätevesiviemärin rakentaminen
- jätevesipumppaamon asennus
- vesijohdon rakentaminen
- kaapelisuojausputkien asennus ja valaistusrakenteiden teko
- kaukolämmön varausputkien asentaminen
- turpeen aumaus

Destian projektiorganisaationa hankkeessa toimi työpäällikkö, työmaapäällikkö, työmaainsinööri (toukokuuhun 2019 asti) ja työnjohtoharjoittelija. Pääosa rakennustyöstä teetettiin aliurakkana ja joitain osia omana työnä. Hankkeen urakka-aika oli tammikuusta elokuuhun 2019.

3.2 Urakan erityispiirteet

Urakasta voi tunnistaa erityispiirteitä, jotka vaikuttivat hankkeen laatuun, työjärjestyksiin ja aikatauluihin. Osaan näistä asioista oli osattu varautua etukäteen, mutta osassa vaikutusten laajuus tuli yllätyksenä vastaan työn edetessä. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään hankkeen kannalta merkittävimpiä erityispiirteitä.

3.2.1 Vedenpinnan korkeus

Kaivuolosuhteet rakennuskohteessa olivat erittäin haastavat lähes koko urakka-alueen laajuudelta. Sijainti Tarasjärven välittömässä läheisyydessä aiheutti sen, että alueen luonnollinen vedenpinnan korkeus oli järven pinnan tasalla. Yllätyksenä tuli kuitenkin, että todellisuudessa veden korkeus oli noin 0,8 - 1,0 metriä korkeammalla, kuin mitä suunnitelmissa oli esitetty. Tämän lisäksi, kuten karttakuvasta 3 voi havaita, erityisesti alueen itäpäässä kulki useita olemassa olevia laskuojia. Nämä ojat keräsivät vettä laajalta alueelta ja ojien virtaussuunta oli rakennusalueelle päin.

Rakennusaikaisen kuivatuksen tarpeeseen oli varauduttu etukäteen, mutta kuivatustyön laajuus oli todellisuudessa huomattavasti suurempi, kuin ennakkoon oli osattu ottaa huomioon. Kuten kuvista 5 ja 6 voi havaita, veden määrä on vaikuttanut oleellisesti työvaiheisiin koko työmaan keston ajan. Kuvat on otettu helmikuussa ja heinäkuussa 2019 samasta kohtaa työmaata, mutta eri suunnista.



KUVA 5 JA 6. Vedenpinnan korkeus aiheutti haasteita koko työmaan keston ajan. Kuvat ovat samasta kohdasta, eri kuvaussuunnista. Kuva 5 helmikuulta ja kuva 6 heinäkuulta 2019.

Suunnitelmissa esitettyä korkeammalla vedenpinnantasolla oli suurin vaikutus alueen kunnallistekniikan, eli vietto- ja painejätevesiviemäreiden sekä vesijohdon rakentamiseen, sillä kanaalikaivu tehtiin suurimmassa osassa työmaata olemassa olevan maanpinnan alapuolelle. Kunnallistekniikan lisäksi vesi kiusasi myös sähkö-, valaistus- ja telekaapelisuojausputkien rakentamista, vaikka ne asennettiin huomattavasti lähemmäs maanpintaa.

Rakennusalueen vesiä yritettiin saada aktiivisesti hallintaan työnaikaisin ojin ja johtamalla kuivatuskuopista vettä uppopumpuilla laskeutusaltaaseen. Kuivatuksen vaikutusalue oli kuitenkin hyvin paikallinen ja vedenpinnan taso kohosi aina takaisin järven pinnan tasolle, kun kuivatustoimet lopetettiin. Tästä syystä kaivantojen vesien hallinta vaati ympärivuorokautista pumppaamista usean kuukauden ajan.

Vedenpinnan alapuolelle rakennettaessa käytettäviltä materiaaleilta vaadittiin tavanomaisiin rakennusolosuhteisiin verrattuna suurempaa vedenpitävyyttä. Luonnollisestikin rakennettavan jätevesilinjan tulee olla tiivis ja se ei saa vuotaa ulospäin, mutta jatkuvan vedenpaineen takia hankkeessa haasteeksi muodostui se, että maaperän vesi pyrki rakenteen ulkopuolelta sisäpuolelle. Jätevesiviemärin heikoksi kohdaksi muodostui betonisten kaivonrenkaiden saumat. Saumojen vuotamista ei kuitenkaan voitu havaita heti asennusvaiheessa, sillä vedenpinnan tasoa oli alennettu kaivantotyön mahdollistamiseksi.

Epätiivistä viemäriinlinjasta aiheutui merkittäviä lisäkustannuksia, kun jo tehtyjä osia putkilinjasta jouduttiin kaivamaan auki ja joko vaihtamaan viallisia kaivonrenkaita uusiin tai tiivistämään betonirenkaiden saumoja. Heti, kun vuotaminen havaittiin, rakentamattomilta osilta vaadittiin erityistä tarkkuutta asennettavien materiaalien virheettömyydelle ja asennusvaiheen huolellisuudelle.

3.2.2 Työmaan sähköistys

Rakennusalueen sijainti Tampereen ja Kangasalan rajalla, mutta Kangasalan puolella, vaikutti rakennusalueen sähköliittymän hankintaan. Lähin sähkönjakokeskus sijaitsi aivan työmaa-alueen välittömässä läheisyydessä, mutta koska se oli Tampereen kaupungin puolella, emme saaneet lupaa käyttää sitä. Kangasalan puolella lähin muuntaja sijaitsi Siperiantielle, valtatie 9:n eteläpuolella. Kaupunki oli kuitenkin suunnitellut tekevänsä valtatie alitukset ja alueen kaapeloinnin Tarastentielle vasta Destian urakan valmistuttua.

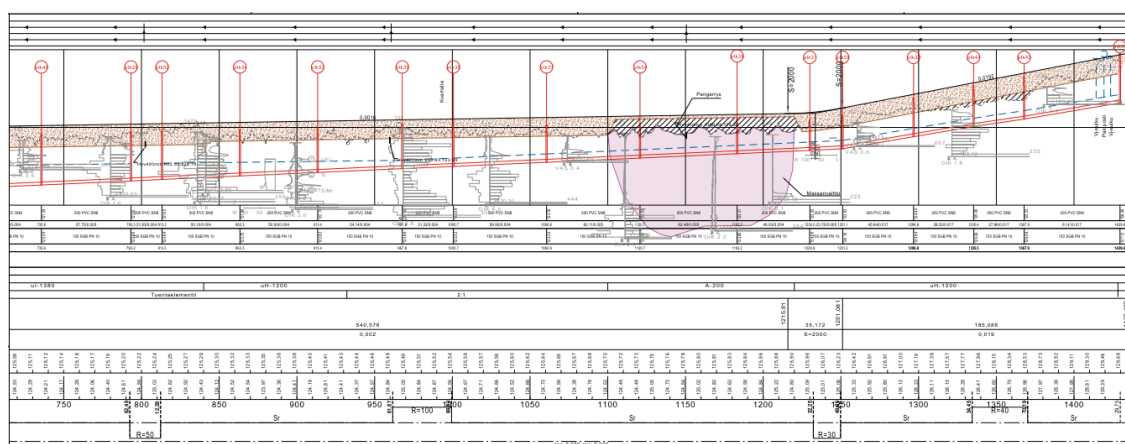
Kuivatustoimien takia sähköön saaminen työmaalle oli kriittistä. Koska sähköliittymä ei ollut mahdollinen, virtaa jouduttiin tuottamaan dieselaggregaatein. Valittavasti niiden toimintavarmuus oli epävarmaa varsinkin pakkasella ja kovalla kuormituksella. Tästä johtuen työmaa tulvi pariin otteeseen, kun aggregaatit olivat sammuneet työajan ulkopuolella. Vaikka talviolosuhteet huomioitiin kunnallistekniikkaa rakennettaessa, tulvat yhdessä pakkasjaksojen kanssa jäädysyttivät putkilinjan arinarakenteen kahdesta kohdasta. Jäätyminen paljastui rakenteiden suolaessa keväällä ja tästä aiheutui putkilinjan korjaustarvetta. Työmaan tulvimisten

lisäksi työmaahuoltoon, letkujen sulatteluun, aggregaattien tankkauksiin sekä uppopumppujen huoltamiseen ja siirtoihin jouduttiin resursoimaan huomattavasti tarjousvaiheessa laskettua enemmän.

Vesienhallintaan aiheutti omat haasteensa edellä mainittujen asioiden lisäksi se, että työmaan kaivannoista pumpattuja vesiä ei saanut päästää suoraan maastoon, vaan ne johdettiin ensin työnaikaiseen laskeutusaltaaseen ja siitä ojien kautta Tarasjärveen. Työmaavesien laatua seurattiin kuukausittain otettavilla vesinäytteillä, jotka lähetettiin tutkittavaksi KVVY:n vesilaboratorioon. Vedenlaatu viereisessä Tarasjärvessä ei saanut rakennustyön takia heikentyä, sillä järvestä lähtee laskuoja edelleen Näsijärveen.

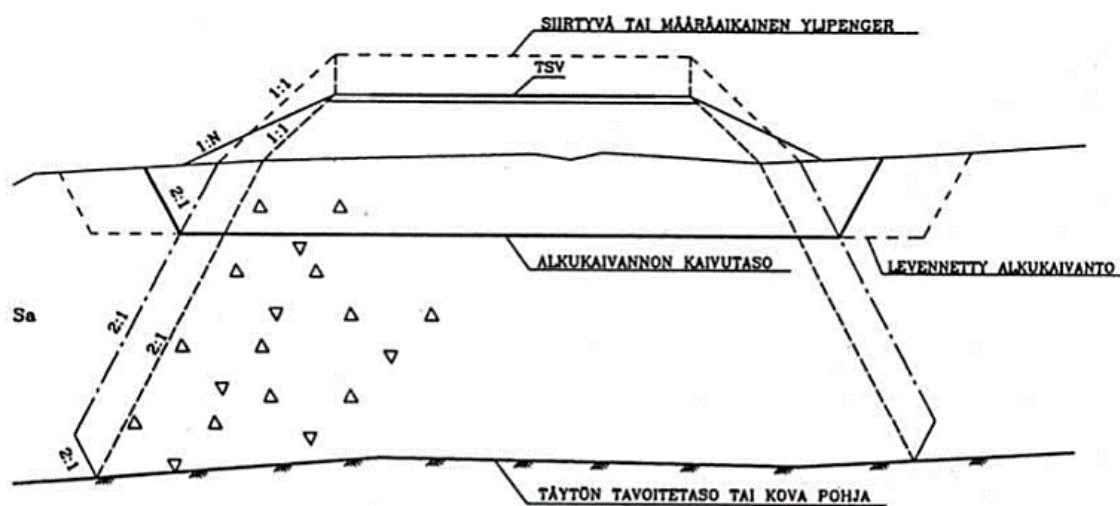
3.2.3 Pohjanvahvistus

Kohteen pohjatutkimuksista ilmeni, että Tarastentien katulinjaukselle osuu neljä erikokoista pehmeää savikkoa, jotka vaativat pohjanvahvistustoimenpiteitä. Näistä kolmeen pienimpään pohjanvahvistus tehtiin massanvaihtona kaivaen, eli pehmeä savi korvattiin louheella. Näiden osalta työ sujui suunnitelmien ja aikataulujen mukaan. Kuvassa 7 on havainnollistettu työmaan pituusleikkaus paaluväliltä 720 – 1420 ja siitä näkee, että savikoista laajin sijoittui noin paaluvälille 1100 – 1220. Syvimmillään pehmeikkö ulottui noin 7,5 metriä olemassa olevan maanpinnan alapuolelle.



Kuva 7. Tarastentien pituusleikkaus plv 720 – 1420. Pohjanvahvistustoimenpiteitä vaativa alue merkitty kuvaan rasteroituna. (Herttuala, T. Ramboll Oy. 2018.)

Vaikka alkuperäisissä rakennussuunnitelmissa kaikki pehmeikkökohdat oli ajateltu tehtävän normaalina massanvaihtona, todellisuudessa paaluvälin 1100 – 1220 savikolle se ei ollut mahdollinen työtapa kyseisen kohteen laajuuden, syvyyden ja märkyyden takia. Kustannus- ja työteknisistä syistä rakennuttaja muutikin suunnitelmaa ja vaihtoi pohjanvahvistusmenetelmäksi pohjaantäytön, eli massanvaihdon pengertämällä (kuva 8). Menetelmää käytetään, kun pehmeikön syvyys on niin suuri, ettei massanvaihto kaivamalla onnistu. (Liikenneviraston ohjeita 11/2011.) Työtavan muutoksella oli vaikutusta työmaan aikatauluun, sillä pohjaantäyttö toimii kuten painopenger, eli rakenteen painumiseen on varattava aikaa. Tätä painuma-aikaa ei luonnollisestikaan oltu voitu huomioida etukäteen.



KUVA 8. Periaatekuva pohjaantäytöstä eli massanvaihdosta pengertäen. (Liikennevirasto. 2011, 11.)

Kaikkiaan paaluvälin 1100 – 1220 täyttöön ajettiin louhetta yli 17 500 tonnia, jolla syrjäytettiin kohteessa ollut syvä savikko. Lisäksi ennen pohjaantäyttöä alueelta oli poistettu paksuudeltaan 1 – 2 metrinen turvekerros, joka aumattiin katualueen reunalle. Louhepenger rakennettiin kadun tasausviivaan nähden matalaksi, sillä tarkoitus oli nostaa jakava kerros oikeaan korkoon vasta painumisen jälkeen.

Paaluvälille 1100 - 1220 oli suunniteltu rakennettavaksi viettoviemäri, kaksi tarkastuskaivoa ja vesijohto, mutta näiden rakentamista ei voitu aloittaa aikataulun mukaan penkereen painumisen takia. Normaalisti kunnallistekniikan linjat pyritään rakentamaan yhdestä suunnasta, mutta aikataulullisista syistä hankkeessa jouduttiin tekemään muu osuus linjasta valmiiksi ja rakentamaan painuma-alueen

osuus linjoista jälkikäteen. Tästä johtuen yhteen viettoviemärin putkiliitoksista tehtiin liukumuhviliitos, jolloin kyseisen kohdan putken päihin ei saatu täydellistä puskuliitosta.

Pohjaantäyttö lisäsi hankkeen laaduntarkkailun kuluja. Louhepenkan painumista seurattiin viikoittain täyttötyön yhteydessä asennettujen painumatankojen avulla. Tarkkailun suoritti mittamies takymetrillä. Seuranta-aika kesti noin 17 viikkoa, jonka aikana painumaa tapahtui kuudessa mittauspisteessä 5,9 – 15,0 senttimetriä. Alla olevassa kuvassa 9 havainnollistetaan painumatankojen sijainti työmaalla. Tankoja suojaamaan asennettiin betonirenkaat.



KUVA 9. Painumatangot paaluvälillä 1100 – 1220. Alueen tiivistämistä edisti raskas ajoneuvoliikenne ja aktiivinen jyrääminen.

Kunnallistekniikan rakentamiseen saatiin rakennuttajan lupa, kun aktiivista painumista ei enää havaittu. Painuma-aikana aluetta tiivistettiin aktiivisesti valssijyrällä, lisäksi alueella oli paljon raskasta ajoneuvoliikennettä. Valaistusrakenteiden osalta painuminen ei ollut yhtä kriittistä ja urakan aikataulussa pysymisen takia rakennuttaja antoi luvan rakentaa nämä jo painuma-aikana.

3.2.4 Turve

Painumisen ja vedenpinnan korkeuden lisäksi kunnallistekniikan tekoa paaluvälillä 1100 - 1220 hidasti se, että alueella oli yli 6000 neliömetrin alueella hyvälaatuista ja jatkokäsittelyyn kelpaavaa turvetta. Nämä tuli saada ajettua pois ennen kunnallistekniikan kaivuutöiden aloitusta. Destialle kuului turpeiden aumaaminen lastausetäisyydelle ja lastaaminen kuorma-autoihin, mutta poisajo tai materiaalin vastaanotto ei kuulunut. Poiskuljetuksen ja vastaanottopään aikataulut vaikuttivat huomattavasti urakan töiden etenemiseen. Aikataulullisesti turpeen poisajo oli suunniteltu kesäkuun 2019 alkuun, mutta vastaanottopaikasta ja kesän sateista johtuen työ päästiin aloittamaan vasta juhannuksen jälkeen.

Hankkeen laatuun turpeiden poisajolla oli useita vaikutuksia:

- Lastausalueen kohdalta jakavan kerroksen pinta tuli kuoria pois, sillä se oli orgaanisella maa-aineksella likaantunutta.
- Turpeiden poisto vaikutti pintavesien virtaukseen siten, että koko työmaan ja valtatie 9:n välisen maa-alueen vedet virtasivat vapaasti työmaalle. Tällä oli vaikutusta kunnallistekniikan rakentamiseen.
- Raskaiden kuormien poisajo aiheutti epätasaista painumista koko työmaan alueella.
- Raskaan liikenteen takia työmaan pintakerros hienontui aiheuttaen erittäin kovaa pölyämistä. Tämä vaati pääurakoitsijalta pölynsidontaa.
- Pintakerroksen liika hienoaaines jouduttiin poistamaan ennen jakavan kerroksen nostamista tasausviivan korkoon.
- Alueet, joilta turve poistettiin, piti maisemoida ja ojittaa uudelleen.

Turpeen lastaaminen poiskuljetettavaksi vaati kahden kaivinkoneen työpanoksen. Koska lastauskoneena käytetyn 30 tonnin kaivinkoneen (kuva 10) ulottuvuus ei riittänyt koko turveauman leveydelle eikä turvekenttä ollut riittävän kantava näin painavalle koneelle, turvetta piti siirtää lähemmäs 14 tonnin painoisella kaivinkoneella. Kaiken kaikkiaan paaluvälin 1100 – 1220 kohdalla koko Tarastentien ja valtatie 9:n väliin jäävä tonttimaa-alue oli erittäin pehmeä, joten alueelle suunniteltu ojitus ja turpeiden poiston jälkeinen maisemointi oli mahdollista tehdä ainoastaan 14 tonnin kaivinkoneella.



KUVA 10. Työmaalla aumatun turpeen lastausta poisajettavaksi.

Logistisesti työmaa oli haastava, sillä työalueelle ei ollut mahdollista saada läpikulkua. Kääntömahdollisuus oli aivan työmaan päässä olevalla kääntöpaikalla, joten tämä tarkoitti sitä, että kaikki kuorma-autoliikenne kulki koko työmaan läpi.

3.3 Rakennuttajan laatuvaatimukset hankkeessa

Hankkeen urakkapapereissa viitattiin teknisten laatuvaatimusten osalta useisiin maanrakennusalalla yleisesti käytössä oleviin laatuvaatimuksiin ja työselostuksiin, kuten infra-alan yleisiin laatuvaatimuksiin eli InfraRYL-julkaisuihin, betoniputkinormeihin ja rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset RYL 2000 -julkaisuun. Tärkeimmäksi julkaisuksi oli nostettu InfraRYL.

Näiden yleisten vaatimusten lisäksi rakennuttajilla oli hankekohtaiseen rakennussuunnitelmaan ja työkohtaisiin työselityksiin kirjattu tarkentavia vaatimuksia laadulle. Pätevyysjärjestyksessä hankekohtaiset vaatimukset oli nimetty InfraRYL:a ja muita alan yleisiä ohjeita korkeammalle. Erityisesti seuraavia asioita oli painotettu työselityksissä:

- Kaivannon pohjan leveys ja putkien keskinäinen etäisyys on osoitettava mittauksin ja valokuvin. Tämä toteutettiin Buildie-sovelluksen avulla.

- Kaivantojen täytöissä lopputäytön tiivistyssuhde todetaan mittauksin kannettavalla pudotuspainolaitteella tai työnsuorittaja voi esittää vaihtoehtoisen menetelmän vaaditun tiiviyssuhteen määrittämiseen. Tiiviyssuhde todettiin työtapaseurantana, eli työnjohto todensi materiaalimenekin, tiivistyskaluston soveltuvuuden ja yliajokertojen perusteella riittävän tiivistymisen.
- Kerrosrakenteisiin käytettäviltä kiviaineksilta vaaditaan materiaalitoimittajalta tuotteen kelpoisuusasiakirjat.
- Jakavan kerroksen poikkileikkausmuoto todetaan työnaikaisesti luotettavalla tavalla vähintään 20 metrin välein. Tässä hyödynnettiin koneohjausta, jonka avulla otettiin tarkkeet niin, että poikkileikkausmuoto voitiin todentaa. Toleranssit jakavan kerroksen mitoille olivat korkeuden puolesta ± 30 mm ja sivusijaintipoikkeamaltaan $0 \dots + 150$ mm. Kantavuusmittauksia ei vaadittu jakavan pinnasta, mutta koska mittauksia ei tehty, tiiviys oli osoitettava työmenetelmäkuvauksen avulla.
- Kantavan kerroksen tiiviys todetaan vähintään 50 metrin välein levykuormituskokeella ja kantavuusmittauksia otetaan myös johtokaivantojen päältä. Keskimääräinen tiiviyysvaatimus oli 95 %, kantavuusvaatimus 160 MN/m^2 ja tiiviyssuhde $E2/E1 \leq 2,2$. Kantavan kerroksen korkeusaseman toleranssi oli ± 20 mm. Kantavan kerroksen kuormituskokeiden tuloksista tehtiin koontitaulukko. Liitteessä 4 on esitetty esimerkki levykuormituskokeen raportista.
- Putkikaivannoissa ei saa käyttää kierrätysmateriaaleiksi luettavia materiaaleja tai kivituhkaa. Kaivantorakenteisiin käytettiin ainoastaan CE-hyväksyttyjä kalliomurskeita ja hiekkaa.
- Viettoviemäreissä hyväksytään ainoastaan rengasjäykkyyden SN8 PVC-muoviputki.

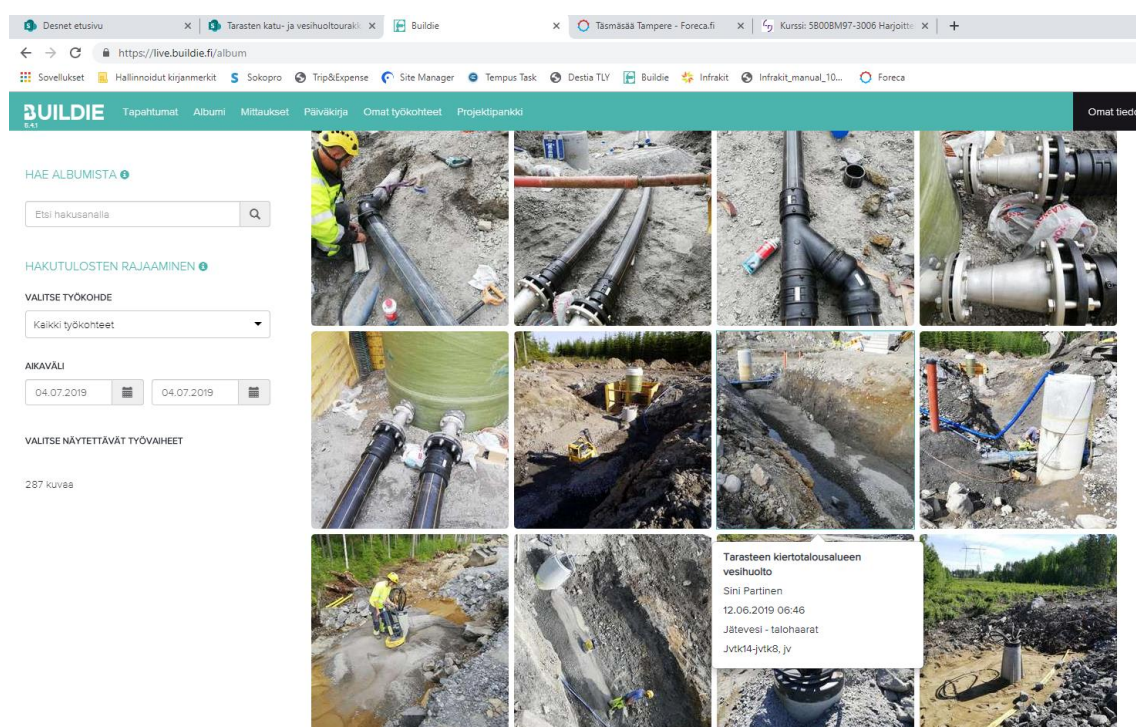
Sekä TKA että Tampereen Vesi edellyttivät yllä olevien vaatimusten lisäksi, että urakoitsijan tuli laatia työmaata koskeva laatusuunnitelma ennen urakan aloittamista. Destia käyttää kaikista työmaista tehtävää turvallisuus- ja laatusuunnitelmaa, ja se kävi sellaisenaan rakennuttajalle. Laatusuunnitelman lisäksi vaadittiin alla olevista kriittisistä työvaiheista erilliset työ- ja laatusuunnitelmat:

- maanleikkaus ja massanvaihto
- louhintatyöt

- täyttötöyt
- vesihuollon työt
- jätevesipumppaamon kaivu- asennus- ja käyttöönottotyöt
- rakennekerrostyöt
- valaistusrakenteiden asennustyö
- turpeiden käsittely varastoalueella

Tämän opinnäytetyön liitteessä kolme (3) on esimerkki jätevesipumppaamon kaivu- asennus- ja käyttöönottojen työ- ja laatusuunnitelmasta.

Tampereen Veden työvaiheet, eli vietto- ja painejätevesiviemäreiden ja vesijohdon rakentaminen tuli dokumentoida ja raportoida Buildie-sovelluksella. Buildie on älypuhelimessa toimiva sovellus, jonka kautta työmaalla otetut valokuvat lisätään reaaliaikaisesti. Kuviin tallentuu automaattisesti aikaleima, kuvaajan tiedot, sijaintitiedot sekä lyhyt kuvaus työvaiheesta. Vaikka Buildieta käytetään pääasiassa mobiililaitteilla, sinne lisättyä materiaalia voi myös tarkastella tietokoneella verkkosivun kautta. Kuvassa 11 on esitetty kuvakaappaus miltä Buildie näyttää tietokoneella tarkastellessa.



KUVA 11. Kuvakaappaus Buildie-ohjelman tietokonenäkymästä.

Tampereen Vesi oli antanut työselostuksessa ohjeistukset otettavien valokuvien määrälle ja laadulle. Vaikka urakkaohjelman mukaan Buildien käyttövaatimus oli vain Tampereen Veden työvaiheisiin, sovellusta päädyttiin käyttämään myös TKA:n työvaiheiden dokumentointiin. Molemmat tilaajista myös hyväksyivät, että Buildieen ladatut valokuvat käyvät sellaisenaan laatukansion aineistoksi.

Hankkeen työselostuksessa määriteltiin urakassa käytettävät laadunvarmistusmenetelmät. Rakennuttajien vaatimia laadunvarmistuskokeita olivat kantavan kerroksen levykuormituskokeet, vesijohdon painekoe, puhdasvesinäyte, tv-kuvaukset viettojätevesiviemäristä ja viemärien huuhtelu sekä vesijohdon sulkuventtiilien ja karan jatkojen toimivuuden testaus. Näiden varmistuskeinojen menetelmät on kuvattu opinnäytetyön luvussa 2.2. Laadunvarmistuskeinojen tuloksia käsitellään tämän työn luvussa 3.5.

Kaikkiaan hankkeen urakka-asiakirjoista sai kuvan, että rakennuttajaosapuolilla TKA:lla ja Tampereen Vedellä oli selvä käsitys niistä työvaiheista ja menetelmistä, joita kohteessa tuli laadun osalta tarkastella erityisellä tarkkuudella. Urakoitsijan näkökulmasta vaadittu laatutaso tuli selvästi ilmi ja keinot sen todentamiseen oli annettu yksiselitteisesti asiakirjoissa.

3.4 Laadunvarmistus päivittäisessä työssä

Laadun kannalta työnjohtajan yksi merkittävimmistä tehtävistä on työmaan päivittäinen ja mahdollisimman monipuolinen valokuvaaminen. Laatukansioon kerättävän valokuva-aineiston lisäksi kattava työmaadokumentaatio mahdollistaa asioiden tarkastelun jälkikäteen ja työmaata dokumentoidessa työnjohtaja on työntekijöiden tavoitettavissa työmaalla. Erityisen kriittisiä valokuvat ovat siinä vaiheessa, jos työmaan johto vaihtuu kesken urakan ja uuden henkilöstön on päästävä nopeasti kiinni urakan jo tehtyihin työvaiheisiin.

Päivittäisestä työajasta työmaalla tapahtuva työn valvonta ja laaduntarkkailu vie ison osan. Helpoin ja yksinkertaisin tapa vaikuttaa hankkeen laadun kustannusvaikutuksiin on Destian työmaapäällikkö Hannu Sippalan mukaan se, että työt tehdään kerralla oikein. Tämä vaatii sitä, että ennen työvaiheen aloitusta kaikilla

työvaiheeseen osallistuvilla on oltava selkeä käsitys kyseisen työvaiheen vaaditusta laatutasosta, käytettävistä materiaaleista, laadunvarmistusmenetelmistä ja siitä, kuinka kyseinen työvaihe tullaan käytännössä tekemään.

Vaikka Destia käyttää aliurakoitsijoinaan luotettaviksi ja osaaviksi todettuja yrityksiä, Sippalan mukaan työnjohto ei saa silti luottaa liikaa työntekijöiden ammattitaitoon. Työnjohtajan tulee uskaltaa puuttua virheellisiin työtapoihin ja aina on varmistettava urakkaohjelmasta tai työohjeesta, että työvaihe vastaa rakennuttajan vaatimuksia. Työnjohdon on näytävä työmaalla riittävästi, sillä puutteellinen työn valvonta voi johtaa isoihinkin työvirheisiin tai huolimattomaan työnjälkeen ja joiden korjaamisen vaikutukset kustannuksiin ja aikatauluihin voivat olla erittäin merkittäviä. Juurisyy Tarasten urakan korjaustoimia vaatineissa työvirheissä oli nimenomaan työn puutteellinen valvonta.

Työn tekemisen valvonnan lisäksi työnjohdon tehtäviin kuuluu tarkkailla materiaalien kelpoisuutta ja tarvittaessa reklamoida valmistajaa puutteellisesta laadusta. Tarasten hankkeessa materiaalikuormat pyrittiin silmämääräisesti tarkistamaan jo vastaanottovaiheessa, mikäli kuormat tuotiin työmaalle työaikana. Varastointi tehtiin valmistajan ohjeiden mukaan. Esimerkiksi vesijohdon betonipinnoitteiset SG-valurautaputket varastoitiin tulpattuina ja peitettyinä, PVC-jätevesiputket omissa kuljetushäkeissään ja tiivisteet valolta ja kuumuudelta suojattuina.

Kuten jo todettua, tällä hankkeella lähes kaikki kunnallistekniikka rakennettiin vedenpinnan alapuolelle, joten materiaalien laadulle oli tavallistakin suuremmat vaatimukset. Putkien, kaivonosien ja tiivisteiden lisäksi kiviainesmateriaalin laadulla oli iso merkitys laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Käytettävä kiviaines ei saanut olla liian hienoainespitoista, sillä hienojakoinen kiviaines yhdessä veden kanssa ei tiivisty oikein ja tällöin rakenteiden vaaditut tiiveysvaatimukset eivät täyty.

Kohdassa 3.3 mainittiin rakennuttajan edellytys kriittisten työvaiheiden työ- ja laatusuunnitelmien laatimisesta ennen työvaiheen aloitusta. Näitä suunnitelmia hyödynnettiin myös työntekijöiden työvaihekohtaiseen perehdyttämiseen. Perehdyttäminen ei kuitenkaan poistanut työnjohdon velvollisuutta työn valvontaan ja työ-

suoritteiden vaatimustenmukaisuuden varmistamiseen ja ongelmiin tai epäselvyyksiin työnsuorittamisesta tuli reagoida herkästi. Käytännössä työnjohdon onkin oltava jatkuvasti selvillä siitä, mitä työmaalla tapahtuu ja valvottava, että työ tehdään sovittujen suunnitelmien mukaan.

Kaikki maanalaiset ja piiloon jäävät rakenteet kartoitettiin aina ennen peittämistä. Maarakennekerrokset voitiin ottaa kiinni kaivinkoneen automaation avulla, mutta kaikki putkilinjat ja kaivot kartoitettiin joko mittamiehen toimesta tai lapiomiehen GPS-mittasauvalla (kuva 12). Erityistä mittatarkkuutta vaativat kohteet, kuten kaivojen vesijuoksukorot ja putkilinjojen suunnat merkitsi aina mittamies. Työnjohdon tehtävä oli varmistaa, että kaikista tilaajien vaatimista kohteista otettiin jatkuvasti tarkkeita, eli niiden sijainti kartoitettiin. Tarkkeita voitiin seurata Infrakit -ohjelman avulla.



KUVA 12. Vesijohto kohteelle rakennettiin halkaisijaltaan 100 - 200 mm SG-valurautaputkesta. Lapiomies kartoittaa putken sijainnin GPS -mittasauvalla.

Päivittäiseen laadunvalvontaan voidaan laskea myös urakan laatukansion koaminen. Kansion vaadittu aineisto ja sisällysluettelo oli annettu urakka-asia-kirjoissa ja työnjohto päivitti sen aineistoa jatkuvasti työn edetessä. Valmis kansio luovutettiin digitaalisessa muodossa tilaajaosapuolille ennen loppukatselmusta.

3.5 Laadunvarmistuskokeiden tulokset ja kustannukset

Hankkeessa vaadittujen eri laadunvarmistuskokeiden periaatteet on kuvattu luvuissa 2.2.1 – 2.2.3 ja tilaajan määrittelemät laadunvarmistusmenetelmät on esitelty opinnäytetyön luvussa 3.3. Kilpailullisista syistä kaikki tässä luvussa esitetyt summat ovat suuntaa-antavia, eivätkä vastaa todellisia toteutuneita hintoja. Opinnäytetyössä annettuja lukuja on pyöristetty ja muokattu, mutta ne kuvaavat silti sitä suuruusluokkaa toimenpiteiden todellisista kustannuksista.

Tarasten viettojätevesiviemäri koostui yhteensä 25:stä jäteveden tarkistuskai-vosta, yhdeksästä tonttiliittymästä ja yhdestä jätevesipumppaamosta. Liitteessä 5 on kuvattu tarkastuskaivojen ja viemäreiden sijainnit sekä kuvausaikataulut. Tv-kuvattavaa ja pestävää viemäriinjaa oli yhteensä noin 1200 metriä ja tarkastuskaivojen väli oli pisimmillään noin 60 metriä. Tv-kuvaukset suoritti Eerola-yhtiöt Oy. Paaluvälillä 314 – 696 viettoviemärin kaato oli lännestä itään ja välillä 696 - 1430 idästä länteen. Viettoviemäri liittyi jätevesipumppaamoon, josta jätevesi tulevaisuudessa johdetaan painejätevesiviemäriellä Tampereen kaupungin jätevesiverkostoon rakennusalueen länsipäässä.

Työvaiheiden aikataulullisten syiden vuoksi viettojätevesilinja suunniteltiin tv-kuvattavaksi kahdessa osassa, mutta lopulta kuvauskertoja jouduttiin teettämään neljä. Ennakkoon suunnitteleman kuvauskerta jouduttiin ottamaan paaluvälille 1100 – 1220 kunnallistekniikan rakentamisaikataulun muuttuessa ja toinen ylimääräinen kuvaus johtui havaittujen virheiden korjaustenjälkeisestä uusintakuvauksesta. Raportit ja videotallenteet toimitettiin jokaisesta kuvauskerrasta välittömästi tarkastettavaksi Tampereen Vedelle.

Yhteensä tv-kuvausten ja linjan huuhtelun kustannukset olivat suuruusluokaltaan 8000 euroa. Pääsääntöisesti viemäriinlinjan kunto voitiin todeta hyväksi yhdellä kuvauksella, mutta kolme kaivonväliä jouduttiin uusintakuvaamaan, sillä niissä todettiin laadullisia puutteita, eli tässä tapauksessa painumia ja auki oleva putkisauma (kuva 13).

		Eerola Yhtiöt Oy Läntinen teollisuuskatu 15 C 02920 Espoo Puh: 09 855 30450 www.eerolayhtiöt.fi		
Valokuvat				
Paikkakunta : Kangasala	Katu : Tarastentie	PVM : 16.5.2019	Lomakkeen Nro : 15	Putken tunnus :



Kuva: Jvtk37_Jvtk35_15_2_145526_A.JPG
4,83m, Siirtymä 12 - 12, A Pituussuuntainen



Kuva: Jvtk37_Jvtk35_15_3_151149_A.JPG
26,83m, Painuma, Alku

KUVA 13. Kuvakaappaus virheistä jätevesiputken TV-kuvauksista paaluvälillä 1001 – 1061 (Jvtk 35 – 37). (Eerola-yhtiöt Oy. 2019.)

Paaluvälille 370 – 430 (jvtk 5 – 41) uusintakuvaus jouduttiin suorittamaan kahdesti, sillä tästä kohdasta linjaa saimme virheellistä tietoa havaitun painuman sijainnista. Sijaintivirheen takia linja avattiin ja ”korjattiin” ensin väärästä kohtaa. Paaluvälin 1001 – 1061 (jvtk 35 – 37) liukumuhviputkiliitos näkyi tv-kuvauksessa korjattavana virheenä. Liitosta tehtäessä kyseiselle kohdalle saatiin aikaan myös painuma, joka kuitenkin oli sen verran pieni, että Tampereen Vesi hyväksyi sen lopulta ilman korjausta.

Vesijohto saatiin rakennettua kokonaan valmiiksi heinäkuun puolivälissä ja välittömästi tämän jälkeen aloitettiin linjan huuhtelu. Päälinja rakennettiin 200 mm

SG-valurautaputkella paalulle 314 saakka ja siitä eteenpäin katualueen itäpäähän asti 150 mm SG-valurautaputkella. Tonttihaarat oli alun perin suunniteltu tehtävän muovisella 90 mm PEH-vesijohdolla, mutta tilaajan toiveesta ne vaihdettiin 100 mm SG-valurautaan.

Vesijohto liittyi olemassa olevaan Tampereen Veden verkostoon Tarastentien länsipäässä. Rakennuttajan kanssa sovittiin, että tonttihaaroja ei huuhdella eikä koepaineisteta tähän urakkaan liittyen, sillä niihin ei haluttu jäävän vettä seisomaan. Vesijohdosta otettu puhdasvesinäyte analysoitiin KVVY Tutkimus Oy:n toimesta. Ensimmäisen näytteen pH-arvo oli hieman koholla, mutta toisella näytteenotolla saatiin hyväksytty tulos. Puhdasvesinäytteiden kustannukset sisältyivät KVVY:n kanssa tehtyyn sopimukseen hulevesien näytteiden otosta. Yhteensä kaikkien otettujen vesinäytteiden kustannukset olivat 2800 euroa.

Vesijohto dokumentoitiin rakennustyön edetessä valokuvaamalla Tampereen Veden ohjeiden mukaan Buildie-sovellusta käyttäen. Linja tarkemmitattiin joko mittamiehen toimesta tai GPS-mittasauvalla ennen sen peittämistä. Kaikkien venttiilien toiminta testattiin ennen huuhtelua ja venttiilien toimivuudesta laadittiin tilaajan vaatima testauspöytäkirja. Vesijohdon painekoe päälinjasta otettiin elokuun alussa. Paine koe tehtiin yhdessä osassa ja painetta pidettiin linjassa kolme tuntia. Kokeen lopputulos oli, että linja on vaatimusten mukainen. Paine kokeen kustannukset olivat suuruusluokaltaan noin 500 euroa.

Kantavuusmittauksilla varmistettiin kerrosrakenteiden riittävä tiiviys. Paria testimielessä otettua jakavan mittausta lukuun ottamatta kantavuuskokeet otettiin vain sitomattomasta kantavasta kerroksesta, sillä rakennuttaja ei vaatinut jakavan kerroksen mittaamista. Mittaus suoritettiin yksikelloisella levykuormituskokeella. Kaikki mittaukset läpäisivät kantavalle kerrokselle annetut raja-arvot, jotka on käsitelty tämän opinnäytetyön kohdassa 3.3. Kantavuusmittausten kustannukset olivat kaikkienensa noin 1200 euroa.

4 POHDINTA

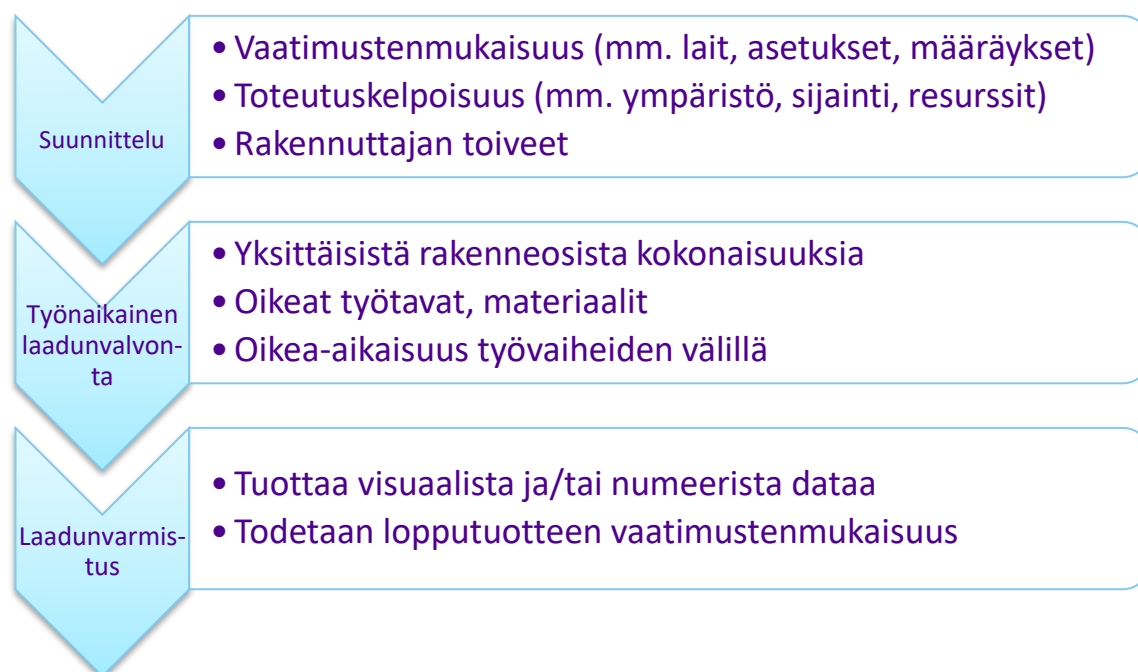
Tässä luvussa verrataan urakan laadunhallinnan ja laadunvarmistusmenetelmien kustannuksia niin tarjouslaskennan, kuin toteutuneiden kustannusten osalta sekä pohditaan mahdollisia syitä todellisten ja teoreettisten kustannusten eroille. Kilpailullisista syistä kaikki tässä opinnäytetyössä esitetyt kustannukset, yksikkö hinnat ja määrät ovat ainoastaan suuntaa-antavia, mutta kuitenkin suuruusluokaltaan todellisuutta vastaavia. Lukujen tarkastelu- ja vertailukelpoisuus on säilytetty käyttämällä samaa muuntokerrointa kaikkiin opinnäytetyössä esitettyihin euro-määriin.

Alaluvuissa käydään läpi opinnäytetyössä esitellyn Tarasten maanrakennusurakan kriittisiä kohtia, joilla on ollut merkitystä hankkeen laadun kustannuksiin. Näiden tunnistettujen ongelmakohtien kautta pyrin löytämään keinoja, joilla voitaisiin aikaansaada haluttu lopputuote kustannustehokkaammin. Näkökulma painottuu työnjohdollisiin tehtäviin, mutta sivuaa myös hieman tarjouslaskentaa.

Seuraavan sivun kuvio 1 havainnollistaa lyhyesti sen, että laadukkaan lopputuotteen aikaansaaminen on jatkumo, joka koostuu useista osista. Laadukas rakentaminen lähtee liikkeelle suunnitteluvaiheesta, jonka päämääränä on saada aikaan toteutuskelpoisia, määräystenmukaisia ja rakennuttajan toiveita vastaavia suunnitelmia. Suunnitelmilla yhdessä työnaikaisen laadunvalvonnan, oikeiden työtapojen ja materiaalien sekä rakenneosien oikea-aikaisen toteuttamisen kanssa saadaan aikaan laadukkaita rakenneosia, joista muodostuu lopullinen lopputuote. (Kankainen & Virtanen. 1995.) Tämän lopputuotteen vaatimustenmukaisuus voidaan todeta kohteeseen sopivilla laadunvarmistusmenetelmillä.

Erilaisilla laadunvarmistusmenetelmillä saadaan joko mitattavissa olevaa tai visuaalista tietoa, jota verrataan valmiille tuotteelle asetettuihin kriteereihin. Esimerkiksi kantavuusmittauksista saadaan numeerista dataa, jota voidaan verrata rakenteelle asetettuihin yleisiin laatuvaatimuksiin. Visuaalista tietoa taas saadaan viemäreiden TV-kuvauksella, jolloin voidaan silmämääräisesti todeta putkilinjan

puhtaus, ehjyys, painumattomuus ja käytetyn materiaalin vaatimustenmukaisuus. Käyttäjälle lopputuotteen laatu ilmenee käytettävyytenä ja koettavuutena (Kankainen & Virtanen. 1995.).



KUVIO 1. Laadukkaan lopputuotteen aikaansaamiseksi tarvitaan laadun huomiointia hankkeen kaikissa vaiheissa.

4.1 Toimenpiteet ennen urakan aloittamista

Tiedossa oli rakennusalueen märkyys jo ennen varsinaisen rakennustyön aloittamista. Tarasjärven pinnan korko oli urakkapapereissa todettu, mutta koska se ei vastannut todellisuutta, vedenpinnan mittaaminen ja näin ollen todellisen koron selvittäminen olisi voinut antaa urakoitsijalle mahdollisuuden neuvotella kuivatuksen kustannuksista yhdessä rakennuttajien kanssa. Kuivatus on ollut yksi keskeisimmistä urakan laatuun vaikuttaneista tekijöistä.

Työmaa-alueen kuivatuksen järjestämiseen liittyi myös se, että työmaata perustettaessa kävi ilmi, ettei sähköliittymää saada rakennusalueelle. Sähköntuottoa varten hankittujen aggregaattien toimintavarmuus oli varsinkin kovilla pakkasilla heikkoa ja sen lisäksi niistä tuli työmaan ylläpitäviin kustannuksiin isoja, etukäteen ennakoimattomia kuluja laitteiden vuokrista, polttoaineista sekä huoltoon ja tankkaukseen käytettyjen työtuntien muodossa.

Sähköliittymän puuttumisella oli myös iso merkitys työmaatoimiston sijainnille. Olosuhteiden pakosta työmaatilat sijoitettiin noin 1,5 km päähän työmaa-alueesta, jolloin työnjohto ei voinut olla jatkuvasti läsnä työmaa-alueella. Mikäli sähköliittymän puuttuminen olisi havaittu ennen työn aloittamista, sähköntuotannon kustannukset olisi mahdollisesti voitu huomioida paremmin tarjousvaiheessa.

4.2 Toimenpiteet rakennusaikaisessa laadunhallinnassa

Rakennusaikaisesta laadunhallinnasta voidaan erottaa toimenpiteitä, jotka voi jakaa kahteen eri kategoriaan. Ensimmäiseen alalukuun luokittelin työnjohdollisiin tehtäviin, työnjohdon perehtyneisyyteen sekä dokumentaatioon liittyvät toimet. Toinen alaluku käsittelee työn tekemiseen ja työvaiheisiin liittyviä toimenpiteitä sekä työntekijöiden toimia ja osaamistasoa.

4.2.1 Työnjohto

Laadunhallinnassa reaaliaikainen työn valvonta on tärkein yksittäinen tekijä, jolla voidaan varmistua rakenteen tai työvaiheen sopimuksenmukaisen laatutason saavuttamisesta. Vaikka konkreettisen rakennustyön tekemisen velvollisuus on työntekijöillä, työnjohto on lopulta aina vastuussa tilaajan suuntaan siitä, että rakenne on tehty, kuten sopimuksessa veloitetaan. Työnjohtajan oman työn suunnittelulla onkin iso rooli laadunhallinnan näkökulmasta, sillä työn valvonnan lisäksi työnjohdolle kuuluvat muut työtehtävät, kuten raportointivelvollisuudet, tilaukset, laskennat ja muut työmaan eteenpäin viemiseen liittyvät tehtävät tulee pystyä hoitamaan.

Hankkeiden kannalta olisi suositeltavaa, että työmaan henkilöstö säilyisi mahdollisimman samana, sillä työmaahan perehtymiseen joutuu aina varaamaan aikaa. Työmaan aloituksen riskikartoituksessa kannattaakin huomioida henkilöstön mahdollinen vaihtuvuus, sijaisjärjestelyt sekä yhteiset käytännöt raportoinnille ja tietojen tallennukselle, mikäli näistä ei ole jo konsernikohtaista ohjeistusta olemassa.

Työnjohdollisesta näkökulmasta riskikohteiksi tunnistin tämän urakan osalta seuraavat asiat:

- Tuurauskeikat, joihin ei ehdi valmistautua ennakoon. Sijaisella ei ole selkeää kuvaa työmaan tilanteesta. Mitä on tehty tähän mennessä, miten käynnissä oleva työvaihe vaikuttaa tuleviin työvaiheisiin ja mikäli sen hetkistä työvaihetta ei voida suorittaa, onko varamестоja tai onko mahdollista tehdä työvaiheita eri järjestyksessä?
- Työmaan työnjohto vaihtuu pysyvästi kesken projektin. Uusi työnjohto ei voi varmuudella tietää mitä ja miten työt on tehty siihen mennessä. Urakkaan perehtymiseen menee aikaa.
- Työmaan työnjohto vaihtuu pysyvästi tai väliaikaisesti ja työmaa on huonosti dokumentoitu. Uusi työnjohto ei voi varmuudella tietää esimerkiksi edellisten työvaiheiden valmiusprosentteja, onko rakenteet tehty suunnitelmien mukaan tai onko tuleviin työvaiheisiin varauduttu. Riski sille, että jotain työvaiheita jää tekemättä, on ilmeinen.

Rakennusaikaisen laadunhallinnan onnistumiseksi työnjohdon tulisi mielestäni huomioida seuraavat asiat:

- Työnjohtajana ole läsnä työmaalla mahdollisimman paljon. Kysy, keskustele, kuuntele ja arvosta työntekijöitäsi.
- Dokumentoi työmaa mahdollisimman kattavasti ja todellisuutta vastavasti. Asioista on myös aina parempi sopia kirjallisesti, joten kuittaa esimerkiksi puhelinkeskustelut sähköpostimuistiolla.
- Valokuvaa työmaata ja siirrä kuvat yhteiselle tarkastelualustalle.
- Seuraa materiaalien menekkiä ja erityisesti kiviainesten osalta sitä, mihin kohteisiin niitä kuluu. Määristä pääsee jälkikäteen kiinni esimerkiksi kerrosrakenteiden paksuuksiin ja siihen onko rakenteissa käytetty suunnitelmien mukaisia materiaaleja.
- Mieti mahdolliset sijaisjärjestelyt etukäteen.
- Huolehdi, että työmaan perehdytysmateriaali on ajan tasalla.
- Huolehdi, että työmaasta tehdyt aikataulut pitävät paikkansa.
- Seuraa työvaiheiden valmiusasteita ja tietojen ajantasaisuutta.
- Uskalla keskeyttää työ, mikäli se on välttämätöntä työmaahan perehtymisen kannalta.

4.2.2 Urakan työvaiheet ja työntekijöiden ammattitaito

Tässä opinnäytetyössä esitellyn Tarasten maanrakennusurakan osalta työvaiheisiin liittyvistä laaturiskeistä mielestäni oleellisin oli työmaan erityisolosuhteiden huomiointi. Esimerkiksi normaaliolosuhteissa jäteveden tarkastuskaivot olisivat todennäköisesti olleet riittävän tiiviitä, mutta tällä työmaalla jatkuvan vedenpaineen alaisina pienetkin poikkeamat laadussa tai asennustyössä aiheuttivat korjaustarpeita. Samoin turpeen poisajon vaikutusta jakavan kerroksen pintakerroksen kulumiselle ei oltu huomioitu riittävästi.

Vaikka maarakennushankkeissa työmaapäällikkö Sippalan mukaan virheelliset työtavat ovat materiaalien virheellisyyttä todennäköisempiä syitä korjaustarpeelle, käytettävien materiaalien laatua on silti tarkkailtava jatkuvasti ja vialliset tuotteet on aina reklamoitava toimittajalle. Tarasten urakassa korjaustoimia aiheutui sekä materiaalivirheiden että työvirheiden takia. Materiaalivirheistä hyvitettiin ne, jotka voitiin todentaa johtuvan materiaaliveioista, mutta joissain tapauksissa oli mahdotonta tietää, onko esimerkiksi pieni halkeama kaivonrenkaassa syntynyt tehtaalla, toimituksen aikana vai asennustyössä. Tästä syystä kaikki materiaali tulisi tarkistaa ja pienetkin viat kuvata aina ennen asennustyötä.

Lähtökohtaisesti hankkeeseen valitut urakoitsijat ja heidän työntekijänsä olivat ammattitaitoisia ja kokeneita. Tästäkin huolimatta työntekijöiden sitouttaminen laatuun on oltava johdonmukaista ja jatkuvaa. Kokemus voi kostautua ”tehdään niin kuin aina ennenkin” -ajatteluna, jolloin on olemassa riski, että työvaihe tehdään esimerkiksi vanhojen ohjeiden tai kriteerien mukaan. Pienempi paha on perehdyttää itsestäänselvyyksiä, kuin korjata virheellisiä työsuoritteita. Virheiden korjaamisella voi olla myös useita kerrannaisvaikutuksia.

Mielestäni olisi erittäin hyödyllistä, että jokaisesta urakasta tunnistettaisiin kriittiset työvaiheet ja ne käytäisiin läpi yhdessä työntekijöiden kanssa ennen työvaiheen aloitusta. Tarasten urakassa jätevesipumppaamon asentamisesta pidettiin koko työryhmälle suunnittelupalaveri, jossa käytiin yksityiskohtaisesti läpi aikataulu, kaikki vaaditut työvaiheet, työjärjestys, työturvallisuus sekä vaatimukset

esimerkiksi tiivistämistöiden onnistumiseksi. Tällä palaverilla koko henkilöstö si-
toutettiin työvaiheen laatuun. Samanlaisia palavereja olisi ollut hyödyllistä pitää
muistakin työvaiheista.

Rakennusaikaisen laadunhallinnan toteutumiseksi tulisi työmaalla mielestäni
huomioida seuraavat asiat:

- Työntekijät ovat ammattilaisia ja perehdytetty työmaahan ja työtehtäviinsä.
Työvaiheita tehtäessä noudatetaan annettuja ohjeita, eikä luoteta ”vanhoi-
hin tapoihin” tarkistamatta ensin urakan asiakirjoja.
- Tunnistetaan työmaa-alueen mahdolliset erityisolosuhteet ja arvioidaan
niiden vaikutus työmaan toimintaan.
- Tunnistetaan kriittiset työvaiheet ja niiden suunnitelmat käydään läpi yksi-
tyiskohtaisesti koko työvaiheeseen osallistuvan ryhmän kanssa.
- Työmaahan mahdollisesti kohdistuvat rasitteet ja niiden vaikutus laatuun
huomioidaan ennakoon.
- Asennetaan vain sellaista materiaalia, mikä täyttää tuotteelle asetetut laa-
tuvaatimukset. Viallisista tuotteista reklamoidaan heti.

4.3 Laadunvarmistusmenetelmien kustannukset

Laadunvarmistuksen osalta Tarasten katu- ja vesihuollon rakentamisen tarjous-
vaiheessa lasketuissa ja todellisissa toteutuneissa kuluissa oli eroja. Seuraavan
sivun taulukossa 2 vertaillaan urakan todellisia kustannuksia ja tarjousvaiheessa
urakkaan budjetoituja kustannuksia. Tiedot näistä on haettu ostolaskuista sekä
tarjouslaskentamateriaaleista. Hankkeen urakkapapereissa ilmeni tilaajan edel-
lyttämät laadunvarmistusmenetelmät ja niiden määrät.

TAULUKKO 2. Laadunvarmistusmenetelmien todelliset toteutuneet kulut ja tarjousvaiheessa lasketut kulut. Taulukon arvot suuntaa-antavia.

	Määrä		Yksikkö-hinta		Todelliset kulut		Tarjousvaih. lasketut kulut		Erotus	
TV-kuvaukset	5	pv	1600	e	8000	e	1500	e	-8200	e
Kantavuuskokeet	30	kpl	40	e	1200	e				
Vj painekoe	5	h	100	e	500	e				
Vesinäytteet	1	erä	-	e	2800	e	0	e	-2800	e
Mittamies	510	h	47	e	23970	e	30000	e	2180	e
MESA-sauva (GPS)	7	kk	550	e	3850	e	0	e		
			Yhteensä:		40320	e	31500	e	-8820	e

Taulukosta voi havaita, että tarjousvaiheessa laadunvarmistuskokeisiin oli varattu todellisia kustannuksia pienempi summa, mutta toisaalta mittaustyöhön hie-
man enemmän, kuin todellisuudessa siihen kului. Kuitenkin yhteenlaskettuna
kaikki laadunvarmistuksen kulut tulivat maksamaan enemmän kuin siihen oli alun
perin budjetoitu. Urakan arvoon suhteutettuna kulujen nousu on ollut merkittävää:

- Koko maarakennusurakan arvo 900 000 euroa
 - Tarjousvaiheen laadunvarmistusmenetelmien kulut 31 500 euroa
 - o Laadunvarmistuskulujen prosenttiosuus urakasta 3,5 %
 - Todelliset toteutuneet laadunvarmistusmenetelmien kulut 40 320 euroa
 - o Laadunvarmistuskulujen prosenttiosuus urakasta 4,5 %
- ➔ todellisuudessa pelkästään laadunvarmistusmenetelmiin on jouduttu
käyttämään rahaa lähes 9000 euroa enemmän, kuin alun perin tähän
työvaiheeseen oli budjetoitu. Tämä kustannusnousu vastaa noin 1 %
koko urakan arvosta.

Yleisesti maanrakennusurakoissa pyritään hankkeen laadusta ja koosta sekä
alan yleisestä työllisyystilanteesta riippuen noin 10 - 12 % katetuottoon, joka riit-
tää kattamaan sekä yrityksen kiinteät kustannukset että tuottaa muutaman pro-
sentin voittoa yritykselle (Kasari, A. 2019.). Tällöin yhdenkin prosenttiyksikön
nousu urakan toteutuneissa kustannuksissa vaikuttaa merkittävästi urakan tulok-
sellisuuteen, sillä budjetin ylittävät kulut pienentävät nimenomaan urakan voitto-
prosenttia. Erityisesti arvoltaan pienissä urakoissa kulujen maltillinenkin nousu
budjetoidusta määrästä näkyy heti ja vaarana on, että urakka ei tuota yritykselle
lainkaan voittoa vaan pahimmassa tapauksessa jopa tappiota.

Mahdollisia syitä siihen, miksi laadunvarmistusmenetelmien todelliset kustannukset ylittivät tarjousvaiheessa ennakoidut kustannukset, voivat olla muun muassa seuraavat:

- Viemäriinjojen uudelleenkuvaamiset korjaustoimenpiteiden vuoksi.
- Tarjousvaiheessa kaikki laadunvarmistustoimenpiteet pl. mittaustyö oli budjetoitu erittelemättä yhden kuluotsikon alle ja näihin varattu rahamäärä oli arvioitu huomattavasti alakanttiin.
- Tarjousvaiheessa ei oltu lainkaan huomioitu hulevesistä otettavia vesinäytteitä.

Uraan edetessä työmaalla otettiin käyttöön aliurakoitsijan GPS-sauva, jolla voitiin ottaa tarkepisteet putkilinjoista. Tähän ratkaisuun päädyttiin, sillä työmaalle nimetty mittamies oli aika ajoin niin kiireinen, että odotustunteja mittaustyön takia olisi tullut kohtuuttoman paljon. Vaikka GPS-sauvan käytöstä tulikin ennakoimattomia kuluja työmaalle, se lopulta vähensi ulkopuolelta ostetun mittaustyön tarvetta ja tuli lopulta edullisemmaksi hankinnaksi työmaan kannalta.

Laadunvarmistusmenetelmien kustannusten näkökulmasta urakassa tehtiin kaksi virhettä, jotka vaikuttivat siihen, että todelliset kustannukset ylittivät tälle budjetoidun rahamäärän:

1. Tarjousvaiheessa ei huomioitu riittävän tarkasti vaadittuja laadunvarmistusmenetelmiä ja laskettu näiden menetelmien todellisia kustannusvaikutuksia urakkaan.
2. Työnaikaiset virheet viemäriinjan rakentamisessa vaikuttivat siihen, että linjaa jouduttiin uusintakuvaamaan.

4.4 Yhteenveto

Mitä pienempi urakka on euromääräisesti, sitä vähemmän se kestää ennakoimattomia kuluja ilman, että sillä on vaikutusta urakan tuottavuuteen. Tarasten hankkeessa laadunhallinnan kustannusten nousu ei ole euromääräisesti suuri, mutta suhteutettuna urakan kokonaishintaan sillä on merkitystä.

Lisäksi on muistettava, että laadun kustannukset ovat vain yksi osa koko projektin kuluista. Esimerkiksi korjaustoimenpiteiden takia lisääntyneet työtunnit, kone- ja

laitevuokrat ja työmaahuollon kulut ovat sellaisia, joita ei ole voitu huomioida tarjousvaiheen laskennassa ja jotka ovat erittäin suurella todennäköisyydellä vaikuttaneet tämän hankkeen tuloksellisuuteen.

Yhteenvetona voikin todeta, että laadukkaan lopputuloksen aikaansaaminen kustannustehokkaasti on monen tekijän summa:

1. Hankkeen lähtötietojen paikkansapitävyys
2. Tarjousvaiheen laskenta riittävällä tarkkuudella ja huomioiden myös työmaan perustamiseen ja ylläpitoon liittyvät kulut sekä erityisolosuhteet
3. Työmaan aikataulut, laadunvarmistuskokeiden aikataulun etukäteissuunnittelu
4. Työnjohdon päivittäinen toiminta: laaduntarkkailu, vastuu työn tekemisestä suunnitelmien mukaisesti
5. Työvaiheiden tekeminen kerralla oikein
6. Materiaalien vaatimustenmukaisuus

Laatu on kokonaisuus, eikä kustannustehokkuutta voi saavuttaa, mikäli yksikin yllä luetelluista asioista toimii huonosti. Yksittäinen ihminen ei kuitenkaan voi ottaa vastuuta kaikesta, vaan yhteistyön merkitys on valtava jo hankkeen ensimetreistä. Useamman ammattiryhmän näkemyksellä voitaisiinkin huomioida urakan kustannuksiin vaikuttavat tekijät jo tarjousvaiheessa ja tällä olisi suora vaikutus urakan tuloksellisuuteen.

LÄHTEET

European Commission. CE marking. Haettu 12.4.2020. https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en

Geologian tutkimuskeskus GTK. Pohjatutkimukset -karttapalvelu. Haettu 3.3.2020. <https://gtkdata.gtk.fi/Pohjatutkimukset/index.html>

Herttuala, T. 2018. Työkohtainen työselostus, Tarasten katu- ja vesihuoltourakka 2019, Kangasala. Tarasten Kiertotalous Oy ja Tampereen Vesi tarjouspyyntöaineisto.

Infrakit. Tarasten katu- ja vesihuollon rakentaminen 2019 -aineisto. Haettu 5.2.2020. <http://www.infrakit.com>

InfraRYL Osa 1 Väylät ja alueet. 2010. Rakennustieto. Viro: Kolofon Baltic OÜ

Junnonen, J. 2010. Rakennustieto. Rakennushankkeen laadunvarmistus. Luettu 20.1.2020. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020202.pdf>

Kankainen, J. & Virtanen I. 1995. RIL 156 Maarakennus. Luku 6, s. 332 – 336. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. Jyväskylä: Gummerus

Kasari, A. 2019. Infran kustannuslaskenta -opintojakson luentomateriaali. 2019. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kuikka, S. & Lampola, T. 2018. Viemäreiden kuntotutkimusopas. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 50. Luettu 27.3.2020.

Liikennevirasto. Massanvaihdon suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 11/2011. Luettu 5.2.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf

Lindholm, M. & Junnonen, J. 2012. Infrahankkeen tuotannonhallinta. Suomen Rakennusmedia Oy. Tampere: Tammerprint Oy.

Lumppio, E. 2018. Urakkaohjelma, Tarasten katu- ja vesihuoltourakka 2019, Kangasala. Tarasten Kiertotalous Oy ja Tampereen Vesi tarjouspyyntöaineisto.

Lyly, P. 2018. Kadunrakennus -opintojakson luentomateriaali. 2019. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Maanmittauslaitos. Karttapaikka. Haettu 5.2.2020. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>

Olin, T. 2013. Infrarakentajan työmaakansio. Laatinut Infra Ry.

Partinen, S., Rantala, T. & Sippala, H. 2019. Tarasten katu- ja vesihuollon rakentaminen 2019. Työmaadokumentaatio.

Rakennusteollisuus RY ry & Rakennustietosäätiö RTS. 2006. Ratu 1215-S. Työmaan laadunvarmistus, tarkastukset ja mittaukset. Luettu 23.3.2020. <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/18389#page=1>

Rakennustieto ry. 2019. InfraRYL 21310.4 Valmis sitomaton kantava kerros. Luettu 23.3.2020. https://ryl-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/InfraRYL/21310.4?version=2019_1

Rakennustieto ry. 2019. InfraRYL 31100. Jätevesiviemärit. Luettu 27.3.2020. https://ryl-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/InfraRYL/31100?version=2019_1

Rakennustieto ry. 2019. InfraRYL 31300. Vesijohdot. Luettu 29.3.2020. https://ryl-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/InfraRYL/31300?version=2019_1

RALA ry. Rakentamisen laatu. Luettu 29.1.2020. <https://rala.fi/tietoa-ralasta/>

Sippala, H. Työmaapäällikkö. 2020. Haastattelut 8.1.2020 ja 30.1.2020. Haastattelija Partinen, S. Pirkkala.

Sivenius, J. 2019. Ympäristölait ja lupajärjestelmät -opintojakson luentomateriaali. 2019. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Tarasten kiertotalousalue Oy. Luettu 4.2.2020. <https://taraste.fi>

Ympäristöministeriö. Maankäyttö- ja rakennuslaki uudistuu. Luettu 23.3.2020. <https://mrluudistus.fi/tietoa-lakiuudistuksesta/>

Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luettu 23.3.2020. <https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

LIITTEET

Liite 1. Katuluokat.

Liite T2 Katuluokat (Liite T3 2017/1 julkaisussa)

Liite:T2. Katuluokat (Liite T3 2017/1 julkaisussa).

katuluokka	Kuvaus	Liikennemäärä, ajon./vrk
1	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2 + 2)	> 30 000
2	Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2 + 2)	10...30 000
3	Pääkatu, kokoojkatu tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (ajokaistoja 1 + 1)	2 500...10 000
4	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojkatu, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	500...2 500
5	Pientaloalueen asuntokatu, huolto liikenteen väylät, henkilöautojen pysäköintialueet	10...500
6	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet; ei ajoneuvoliikennettä	

(Rakennustieto Ry. InfraRYL 2019. Liite T2.)

Liite 2. Katuluokka 3: maaperän kantavuus ja kerrospaksuudet.

Liite 6 Katuluokka 3 (2015/1 asti Liite 04)

Liite:T7. Normaalipäällysrakenteen kantavuusvaatimuksen mukaan (Liite:T8 2017/1).

Pohjamaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,12
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
				Tukikerros 0,30	Tukikerros 0,50	Tukikerros 0,75	Tukikerros 0,95
Kokonaispaksuus	0,24	0,24	0,31	0,61	0,81	1,06	1,26

Liite:T8. Kantavuusarvot kerroksittain (Liite:T9 2017/1). Huom! Päällysrakenteen kokonaispaksuus pohjamaille E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m ²)	Päällysrakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m ²			
		Jakava	Kantava	Ensimm. AB	Päällyste
A (300)	0,24	—	300	368	435
B (200)	0,24	—	231	293	353
C (100)	0,31	—	144	196	369
D (50)	0,61	109	153	206	385
E (20)	0,81	93	137	188	358
	0,89	112	156	194	352
	0,99	126	168	208	372
	1,09	136	177	218	387
	1,19	143	184	226 ¹⁾	397 ¹⁾
	1,29	149	189	231 ¹⁾	405 ¹⁾
	1,39	154	194	236 ¹⁾	411 ¹⁾
F (10)	1,06	99	143	195	368
	1,14	120	164	203 ¹⁾	365 ¹⁾
	1,24	135	177	218 ¹⁾	386 ¹⁾
	1,34	145	186	228 ¹⁾	400 ¹⁾
	1,44	153	193	235 ¹⁾	410 ¹⁾
	1,54	159	198	240 ¹⁾	417 ¹⁾
	1,64	163	201	244 ¹⁾	423 ¹⁾
	1,74	167	204	247 ¹⁾	427 ¹⁾
G (5)	1,26	98	142	194	366
	1,34	111	154	193 ¹⁾	350 ¹⁾
	1,44	120	163	203 ¹⁾	365 ¹⁾
	1,54	128	171	210 ¹⁾	376 ¹⁾
	1,64	135	176	217 ¹⁾	385 ¹⁾

¹⁾ Sidotut kerrokset AB 2 x 120 + AB 100 (0,10 + 0,04).


**TYÖVAIHEEN TYÖ- JA
LAATUSUUNNITELMA**

Projekti, urakkaosa		Lähtijä	
Tarasten katu- ja vesihuolto- urakka 2019, Kangasala		Teemu Rantanen, Sini Partinen, H. Sippala	
Tilaaja		Pvm.	
Tampereen kiertotalousalue Oy, Tampereen vesi		28.5.2019	
Työvaihe		Työvaihenumero	
Jätevesipumppaamon kaivu-, asennus- ja käyttöönottotyöt			
RESURSSIT • Käytettävä kalusto • Työryhmä • Käytettävät materiaalit	- KKHt 2kpl - Ram 2kpl - Tiivistyskalusto - Kaivannon tuentaelementit, nostoketjut - Pumppaamo , pohjalaatta ja tarvikkeet ja laitteet - Tulokaivo jvk 14 työmaalla - Nostoliinat - Kiviainekset - suodatinkangas N3 - työnaikainen pumppauskalusto		
VALMISTAVA VAIHE • Edelliset työvaiheet • Ilmoitukset ja informointi • Sidosryhmien huomiointi (lähiympäristö yms.) • Muut	- Tarvittavat mittaukset ja merkinnät maastoon on tehty - Kaivuunmalli kkh:lle on tehty - Vedenpintaa alennetaan kuivatuskuopin ja uppopumpuin - Tarvittavat luvat on saatu ja ilmoitukset tehty - Työntekijät on perehdytetty dokumentoidusti työmaahan ja työvaiheeseen - Liikennejärjestelyt on tehty - edellävät työvaiheet on tehty suunnitelmien mukaan ja mahdollisista poikkeamista on raportoitu - materiaalien kelpoisuus on tarkastettu - Ennen kaivon asentamista valmistetaan sen alustan taso, leveys ja pintojen muoto -		
TYÖN SUORITUS • Menetelmät • Aikataulu • Vastuut • Informointi • Mahdollisuudet (lisäarvo) • Muut	- Kaivanto tehdään tuettuna kaivantona käyttäen tuentaelementtejä. Kaivutuet ulotetaan vähintään kaivutasoon tai hiukan alle olosuhteiden mukaisesti. - Kaivuutuet asennetaan kolmelle/(neljälle) sivulle ja auki jäävä sivu luiskataan siten, että kulku pohjalle on mahdollinen. - Kaivanto tehdään n. 2m yllälevänä tulevan anturan ulkoreunasta mitattuna ja reunat luiskataan. - Kaivuumaat läjitetään riittävän kauas kaivannon reunasta. - Tarvittavat kiviainekset läjitetään riittävän kauas kaivannon reunasta. - Kaivanto pyritään kaivamaan mahdollisimman pitkälle ilman tukia ja jatketaan valmiiseen kaivantosyvyyteen kaivamalla tuentaelementtien sisäpuolelta ja laskemalla samalla kaivuutukia alaspäin. - Kaivuutuissa käytetään tarvittaessa 1,3m lisäkorotusta. - Pumppaamo perustetaan kallion tai tiiviin moreenikerroksen varaan. Tarvittaessa kallio louhitaan 150 mm pohjalaatan alapuolelle. Pohjalaatan alle rakennetaan 150 mm paksuinen arina murskeesta 0...32 mm. Tarvittaessa arinaa paksunnetaan pohjaolosuhteiden niin vaatiessa. Murskeen ja pohjamaan väliin asennetaan suodatinkangas N3. - Tuentaelementin ja kaivon väli täytetään murskeella tai soralla 0...16 mm ja tiivistetään kerroksittain tärvelvyllä. Tiivistämistyö ei saa aiheuttaa haitallista rasitusta kaivolle eikä vaurioittaa sitä. Tuentaelementtiä nostetaan täytön edetessä.		
TURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖ			
RISKIEN ARVIOINTI • Liikenteen vaara • Varottavat laitteet ja rakenteet • Työhön liittyvät nostot ja muut vaaralliset työt • Kemikaalit • Sään muutokset • Alustan kantavuus • Muut	Riskit	Toimenpide	Vastuu
	Syvä kaivanto	Kaivannon suojaus	Työmaapäällikkö / TJ
	Kaivannon sortuminen	Kaivanto tehdään kaivantotuun. Kaivannon yläreuna luiskataan ja kaivuumaat läjitetään mahdollisimman kauan reunasta.	Työmaapäällikkö/ TJ
	Tuentaelementtien asennus	Kaivannon sivuilla saa olla enintään 25 tonnin työkone tai 0.5 m paksuudelta kaivuumaata.	Työmaapäällikkö/ TJ

2 (2)

		kaivanto pidetään kuivana pumpaamalla kaivannon sisältä.	
	Työmaaliikenne	Toimivat varoituslaitteet autoissa/koneissa, työntekijöillä heijastava vaateetus	Työmaapäällikkö / TJ
	Pumppaamon asennus	Tehdään valmistajan ohjeen mukaisesti . Liitteenä	Työmaapäällikkö / TJ
	Kaivon nostaminen	Kaivo nostetaan turvallisella nostokalustolla ja valmistajan noston ohjeita noudattaen. Kaivon ollessa ilmassa, ei kaivon alle mennä.	Työmaapäällikkö / TJ
MUUT TOIMENPITEET ♦ Suojavälineet ♦ Nostolaitteet ♦ Käyttöönottotarkastukset ♦ Turvallisuuksuunnitelmat ♦ Varoitavat laitteet ♦ 10 sekunnin sääntö ♦ Turvallisuuksuvainnoista ilmoittaminen ♦ Pohjavesialueet ♦ Pölynsidonta	Varmistettava riskien arvioinnin toimenpiteiden lisäksi, että: - työntekijöillä on tarvittavat henkilökohtaiset suojavarusteet (huomiovaateetus, leukaremmillinen kypärä, suojalasit, viiltosuojakäsineet, tarvittaessa kuulosuojaimet, turvakengät) - työkoneiden käyttöönottotarkastukset on tehty - työmaalla tehdään viikoittain MVR-mittauksia - tiealueella työskennellessä käytettävä varoitusviikkuja - kiviaineksen rakeisuuskäyrä on saatu ja sillä on CE-merkintä.		
	- öljyä vuotavat koneet korjataan tai vaihdetaan niin pian kuin mahdollista - öljyvähinkojen varalta imeytysainetta on työkohteen välittömässä läheisyydessä ja sen sijainti on tiedossa kaikilla työntekijöillä. - työmaan jätehuolto on järjestetty.		

TYÖVAIHEEN LAADUNVARMISTUS					
LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS/ TOLERANSSI	MITTAUS- MENETELMÄ	MITTAUS- TIHEYYS	DOKUMENTTI	MITTAUKSEN SUORITTAJA
Pumppaamon taso ja sijainti	Suunnitelman mukaisesti	Takymetri	Kaivon pohja sekä kansi, putkien lähdöt	Tarkkeet	Mittamies
Pohjalaatan taso ja sijainti	Suunnitelman mukaisesti	Takymetri	Laatan pohja ja yläpinta	Tarkkeet	Mittamies
Pohjalaatta	Pumppaamon valmistajan mitat ja ohjeet	Silmämääräinen	Koko ajan	Valokuvat	Työnjohto
Maan tiivistys, täyttö kerroksittain	Pumppaamon valmistajan ohjeiden mukaan	Yliajokerrat		Valokuvat	Työnjohto
Täyttömateriaalin kelpoisuus	0...16mm			Kiviainestoi- mittajan CE- merkintä	Työnjohto
Pumppujen käyttöönottotarkastus	Asennusohjeiden mukaisesti		Jokaisesta pumpusta	Käyttöönotto- tarkastus	Pumppujen asentaja
TYÖVAIHEEN HENKILÖIDEN YHTEYSTIEDOT Pääurakoitsija	Asema/yritys	Nimi	Puhelin	Sijainen	
	Työmaapäällikkö	Maanrakennus Oy	040-1234567		
	Työmaainsinööri	Maanrakennus Oy	040-1234567		

(Destia Oy. 2019.)

Liite 4. Esimerkki levykuormituskokeiden tulosten raportista.

Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy		LEVYKUORMITUSKOE		Työ nro:	
Asiakas Destia Oy Hanke Tarastentie Kohde Ajorata Paalutuku/kaista 227/oikea Huom! Poistuksen kohdalla				PISTE NRO: 7 X= Y= Z=	
TIIVIST. KERROS		kantava KERROSPAKSUUS		MATERIAALI	
TIIV.KONE		YLITYSKERRAT		SÄÄ/LÄMPÖTILA	
				TASO:	
KOEPM		6.8.2019		KOKOON SUORITTAJA Asko Salmela	
				LEVY 300 MM	
VAIHE	JÄNNITYS [KPA]	KUORMA P [KN]		KOKONAIS-PAINUMA S [MM]	HUOMAUTUKSET
1. KUORMITUS	0	0		0,00	
	142	10		0,27	
	283	20		0,43	
	424	30		0,58	
	566	40		0,74	
	707	50		0,91	
	849	60		1,13	
2. KUORMITUS	0	0		0,00	
	142	10		0,26	
	283	20		0,42	
	424	30		0,57	
	566	40		0,72	
	707	50		0,82	
	849	60		0,93	

1. KUORMITUS

2. KUORMITUS

$k = 3.18$ (levy 300) $k = 2.12$ (levy 450)	$E1 = k \times P / S1 =$ 169 MPa $E2 = k \times P / S2 =$ 205 MPa $k =$ 3,18	E1 = 169 MPa E2 = 205 MPa E2 / E1 = 1,2
--	--	--

F (kN) = voima
s (mm) = painuma
E (MPa) = kantavuusarvo

Pvm _____
Tark. _____

Liite 5. Yhteenveto viettoviemärin tv-kuvauksista.

Kaivoväli (jvtk)	Paaluväli (plv)	Kuvaus	1. uusinta	2. uusinta	Tonttihaara Pohj. /Etelä	Muuta / korjaus- tarpeen syy
4 -5	314- 370	3.-4.4.			PI 314 E	
5 - 41	370- 430	3.-4.4.	7.8.	22.8.		Linjassa painuma
41 - 57	430- 490	3.-4.4.	22.8.			Vuoto kaivonrenkaassa
57 - 6	490- 550	3.-4.4.			PI 490 E	
6 - 7	550- 600	3.-4.4.				
7 - 58	600- 650	3.-4.4.				
58 - 8	650- 696	3.-4.4.				
8 - 14	--	7.8.	Paalulinjalta pumppaamolle erkaneva linja pohjoiseen, 23 m.			
14 - pump	--	7.8.	Tarkastuskaivolta pumppaamolle. Linjan pituus 5 m.			
8 - 40	696- 736	3.-4.4.			PI 696 E	
40 - 29	736- 793	3.-4.4.				
29 - 52	793- 813	3.-4.4.				
52 - 34	813- 863	16.5.				
34 - 53	863- 913	16.5.			PI 863 P+E	
53 - 30	913- 968	16.5.				
30 - 35	968- 1001	16.5.				
35 - 37	1001- 1061	16.5.	7.8.		PI 1001 P	Sauma auki, painuma
37 - 54	1061- 1121	7.8.			PI 1061 E	
54 - 38	1121- 1183	7.8.				
38 - 31	1183- 1230	7.8.				
31 - 55	1230- 1251	7.8.				
55 - 39	1251- 1297	7.8.			PI 1251 E	
39 - 44	1297- 1335	16.5.				
44 - 43	1335- 1368	16.5.			PI 1335 P	
43 - 33	1368- 1430	16.5.				