

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / Tuotanto

Otto Rekula

KUNNALLISTEKNISEN PUTKIKAIVANNON TYÖMENETELMÄT JA TYÖN
TUOTTAVUUDEN PARANTAMINEN

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

REKULA, OTTO

Kunnallisteknisen putkikaivannon työmenetelmät ja työn tuottavuuden parantaminen

Insinööri

59 sivua + 27 liitesivua

Työn ohjaaja

lehtori Juha Karvonen

Toimeksiantaja

työpäällikkö Marko Haapanen, Destia Oy

Maaliskuu 2014

Avainsanat

infra, kunnallistekniikka, putkikaivanto, tienrakennus, tuottavuus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli pohtia teorian ja käytännön avulla kunnallisteknisen putkikaivannon rakentamisen vaiheita kustannusten ja työn tehokkuuden näkökulmasta, sekä vertailla erilaisten rakentamisessa käytettävien työmenetelmien ongelmia. Tavoitteena oli käsitellä mahdollisimman laajasti suurimmat rakentamisen kustannuksiin vaikuttavat asiat. Koska kirjallisuus aiheesta on suppeaa ja pieniä tiedonmurusia löytyy monesta eri teoksesta, työhön koottiin vanhaa ja uutta tietoa putkikaivantojen rakentamisesta.

Opinnäytetyön alussa käsitellään kunnallisteknisen putkikaivannon rakentamisen työsuunnittelun vaiheita, teoriaa kaivannon rakenneosista, erilaisia kaivantojen toteutusvaihtoehtoja sekä turvallisuus- ja laadunvarmistusvaatimuksia. Sitten käsitellään näiden toteutusvaihtoehtojen työmenetelmiä sekä työn suunnittelun, työkalujen, olosuhteiden ja työntekijöiden vaikutusta työn tehokkuuteen. Viimeisenä työssä käsitellään Destia Oy:n toteuttamaa kunnallisteknistä urakkaa, jota seurattiin työn kustannusten ja käytettyjen työmenetelmien näkökulmasta.

Työ on tehty pääasiassa kirjallisuustutkimuksena. Työssä seurattiin lisäksi kunnallisteknisen työkohteen rakentamisen etenemistä alusta loppuun saakka keräämällä tietoa toteutuneista työsaavutuksista ja kustannuksista. Kohteella havainnoitiin työn etenemiseen vaikuttavia asioita niin pohdiskelemalla kuin myös haastatteleamalla työtä tehneitä henkilöitä.

Vaikka rakennustyöhön vaikuttavat monet olosuhteet ja jokainen rakennusprojekti on yksilöllinen, saatiin työssä kuitenkin selville suurimmat työn tehokkuuteen vaikuttavat asiat. Putkikaivannon toteutuksen prosessissa ne ovat työsuunnittelu, työmaan yleisjärjestelyjen tehokkuus, koneiden työaikojen maksimointi ja asennustyöntekijöiden ammattiosaamisen taso.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

REKULA, OTTO

Working Methods and Improving Work Efficiency in Construction of Municipal Pipeline Trenches

Bachelor's Thesis

59 pages + 27 pages of appendices

Supervisor

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned by

Destia Ltd.

March 2014

Keywords

municipal engineering, sewer, road, trenching

The objective of this thesis was to study the different working methods, work efficiency and costs of construction of municipal pipeline trenches through theory and practice. The main goal was to examine the biggest areas that affect the costs of construction and to gather old and new information about municipal pipeline trenches.

The thesis consists of three parts. The first part is based on the theory and examines the phases of construction, structures in the trenches, different execution options, as well as safety and quality regulations. The second part examines the work efficiency questions about planning and working methods of construction and the effect of labour and machinery. The last part of the thesis contains practical information on construction techniques and costs, which were collected from a real municipal pipeline construction site. The pipeline was constructed by the Finnish national civil engineering contractor, Destia Ltd.

The thesis was mainly conducted as a literature study. Information was also collected by following the construction process of municipal pipeline work site and monitoring the work capacities and costs of construction. The writer interviewed the people working on the site and studied factors that had an effect on the critical work phases.

Many different conditions affect the construction process and every construction project is unique, but the main questions regarding work productivity and costs were answered. The major factors that affect these two are planning of the working methods, organizing the site around trenches, the use of diggers and skill of workers.

ALKUSANAT

Osoitan kiitokseni Kymenlaakson ammattikorkeakoulun ohjaavalle opettajalle Juha Karvoselle ja Destia Oy:n työpäällikkö Marko Haapaselle tuesta ja opastuksesta. Kiitän lisäksi Hortolan kunnallistekniikan urakassa työskenneitä kärsivällisyydestä sekä tiedon ja avun välittämisestä projektin aikana.

Opinnäytetyön liitteet ja loppuosan kustannusosion laskelmien tulokset ovat Destia Oy:n yrityksen omaa tietoa ja siksi salassa pidettäviä.

Kotkassa 16.4.2014

Otto Rekula

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	7
2	KUNNALLISTEKNISEN PUTKIKAIVANNON RAKENTAMISEN TEORIA	7
	2.1 Yleistä kunnallistekniikan rakentamisesta	7
	2.2 Rakentamisen vaatimukset	8
	2.3 Työn suunnittelu ja riskitarkastelu	8
	2.4 Putkikaivannon rakenne	10
	2.5 Kaivantotyypin valinta	11
	2.6 Kaivannon kuivanapito rakentamisen aikana	20
	2.7 Pohjaveden alennus	20
	2.8 Työvaiheet	21
	2.9 Rakentamisen ongelmakohdat	29
	2.10 Laatuvaatimukset ja rakentamisen valvonta	29
	2.11 Työturvallisuus ja ympäristö	30
3	TYÖMENETELMÄT JA TYÖN TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT SEIKAT	31
	3.1 Työmaan järjestely ja työn valmistelu	31
	3.2 Kaivukoneet	33
	3.3 Maa-aineksen kuljetus	39
	3.4 Työntekijät	42
4	AHONLAIDAN PUTKIKAIVANNON RAKENTAMINEN HORTOLAN ALUEEN KUNNALLISTEKNIIKAN URAKASSA	43
	4.1 Urakan lähtötiedot	43
	4.2 Ahonlaidan kunnallistekniikan rakentaminen	45
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	56
	LÄHTEET	58

LIITTEET

- Liite 1. Hortolan sopimusaikataulu
- Liite 2. Ahonlaidan pituusleikkaus
- Liite 3. Ahonlaidan poikkileikkaus, paaluvälillä 10–60
- Liite 4. Ahonlaidan poikkileikkaus, paaluvälillä 70–130
- Liite 5. Ahonlaidan pohjarakennussuunnitelma
- Liite 6. Työkohtainen työselostus ja laatuvaatimukset
- Liite 7. Ahonlaidan putkikaivannon kustannustaulukko

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kunnallisteknisen putkikaivannon rakentamisen sekä kunnallistekniikan putkiston asennuksen perusteita ja työmenetelmiä sekä pohditaan työmenetelmien vaikutusta työn tehokkuuteen ja kustannuksiin. Työ tehtiin pääasiassa kirjallisuustutkimuksena ja haastatteleamalla työtä tehneitä henkilöitä. Työtä on tarkoitus jatkaa tai käyttää soveltuvien osien hyväksi tulevaisuudessa Destia Oy:n opinnäytetöissä, joissa käsitellään työkoneautomaatiota.

Työn tavoitteena oli löytää teorian ja käytännön avulla taloudellisia keinoja työnsuunnitteluun kunnallisteknisen putkikaivannon rakentamisen vaiheissa. Tavoitteena oli lisäksi kasata monien kirjojen suppeaa tietoa laajemmaksi tietolähteeksi jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa tutkimuksissa.

Työ käsittelee ensin kunnallisteknisen putkikaivannon rakentamisen perusteita, työnsuunnittelua, työvaiheita ja näiden toteuttamisen tehokkuuteen vaikuttavia asioita sekä laatu- ja turvallisuusasioita. Loppuosiossa käsiteltävä käytännön työmaakohta näyttää teorian ja käytännön eron tavanomaisessa kunnallisteknisessä urakassa.

Aihe on osa isoa maanrakentamisen osa-aluetta, mutta kun yritykset siirtävät tietoa eteenpäin työnjohto- ja työntekijätasolla, aiheesta ei löydy kirjallisuudesta juuri lain velvoittamia laatuvaatimuksia ja työohjeistuksia enempää. Myöskään muita yhtä laajojakoosteita tai töitä aiheesta ei ole suoranaisesti tehty. Aiheesta tehdyt työt käsittelevät tarkemmin työn yksittäisiä osa-alueita kuten kaivinkoneiden tehokkuutta, kaivantojen rakentamisen vaihtoehtoja tai työnsuunnittelun ohjeistusta työmaan johdolle. Sen vuoksi on tarpeellista koota tämä laaja alue yksiin kansiin työn tilaajalle.

2 KUNNALLISTEKNISEN PUTKIKAIVANNON RAKENTAMISEN TEORIA

2.1 Yleistä kunnallistekniikan rakentamisesta

Kunnallistekniikan rakentaminen on yhdyskuntarakentamisen osa-alue, joka keskittyy muun muassa kunnallisen vesihuollon, viemäröinnin, liikennejärjestelmien, sähkö- ja tietoliikenneverkkojen, valaistuksen sekä teiden rakentamiseen ja huoltoon. Kunnallistekniikka on kunnan piiriin liittyvien tonttien ja tiealueiden palvelujen rakentamista, jolla varmistetaan esimerkiksi vesihuolto, puhtaan veden, sähkön- ja kaasun saanti se-

kä tietoliikenneverkot kunnan alueille. Kunnallistekniikan rakentaminen on maanrakennuksen osa-alue, ja pääasiassa asennettava tekniikka niin vesijohdoista maakaasuputkiin tai tietoliikenneverkkoihin rakennetaankin maanpinnan alapuolelle niiden haurouden takia. Kunnallistekniikkaa uusitaan jatkuvasti ja esimerkiksi vesihuoltoverkkoja laajennetaan koskemaan sellaisia alueita, joissa on ennen ollut itsenäinen vesihuolto. Etenkin haja-asutusalueilla kunnallistekniikan sijasta on asukkailla ollut perinteisesti omat porakaivot ja jätevesisäiliöt. Opinnäytetyössä käsiteltävä putkikaivannon rakentaminen sisältää tästä tekniikasta pääasiassa vesihuollon putkistojen kuten vesijohtojen, jätevesi-, sekä hulevesiviemäreiden rakentamista maan alle. (Wikipedia, 2014.)

2.2 Rakentamisen vaatimukset

Rakentaminen Suomessa edellyttää hyvän rakennustavan noudattamista. Hyvä rakennustapa tarkoittaa rakennuslain, rakennusasetusten, standardien, rakennusmääräyskoelmien, vallitsevien työohjeiden sekä yleisten työturvallisuus- ja laatuvaatimusten noudattamista. Kunnallistekniikan rakentamisen laatuvaatimukset esitetään lähinnä Rakennustietosäätiö RTS:n julkaisemissa Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa. Näistä tärkeimpänä mainittakoon InfraRYL 2006: Osa 1 Väylät ja alueet.

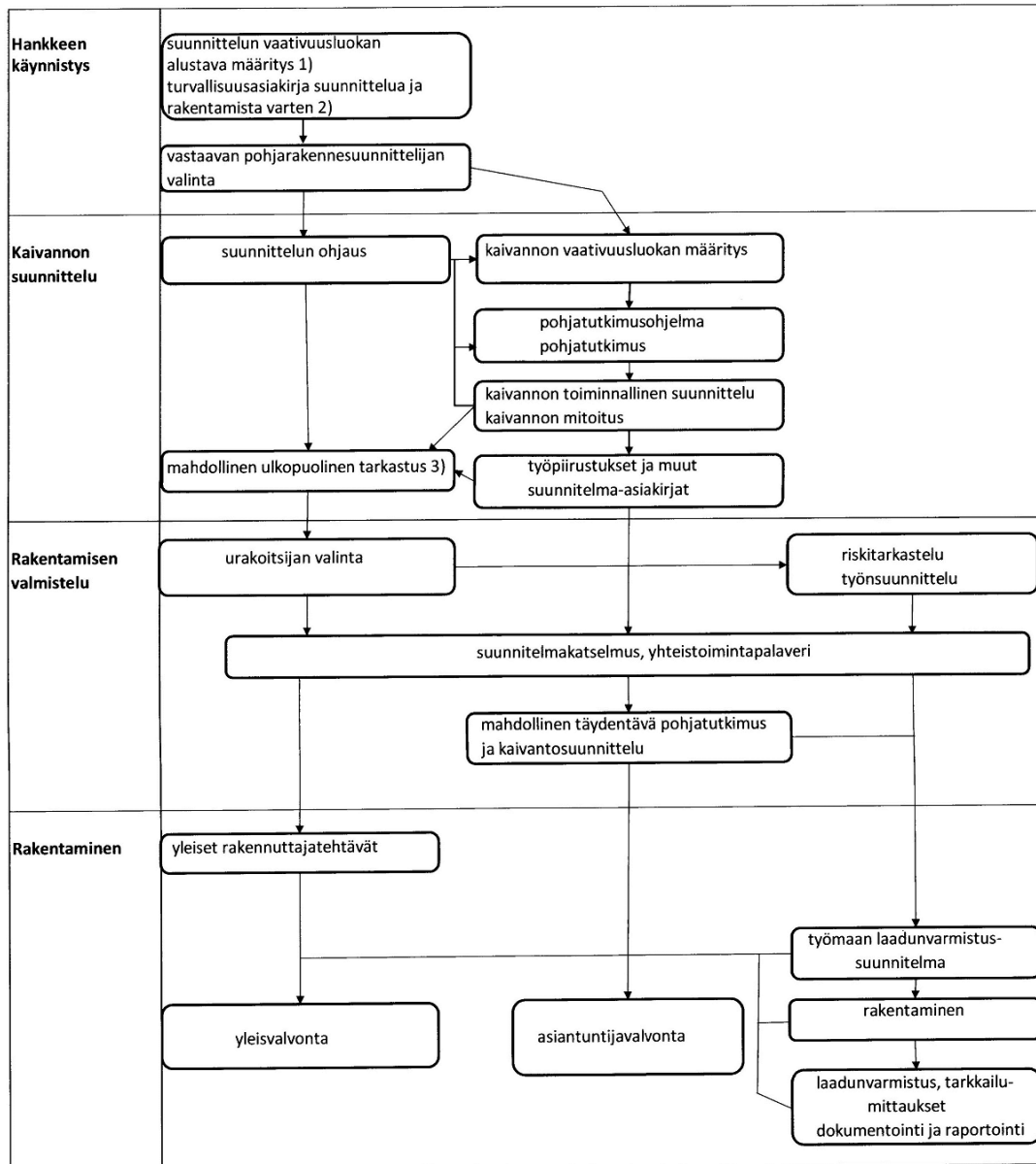
Kunnallistekniikan rakentamiseen on laadittu monenlaisia työ- ja asennusohjeita, jotka noudattavat lain edellyttämiä standardeja ja työturvallisuusvaatimuksia. Näitä ohjeita on kerännyt yhteen Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, joka julkaisee ja päivittää ohjeita säännöllisesti. Ohjeet helpottavat muun muassa rakennusmateriaalien valintaa ja nopeuttavat työsuunnittelua (RIL 77–2013, 3). Luku 2 pohjautuu lähinnä näihin työohjeisiin ja rakentamisen vaatimuksiin.

2.3 Työn suunnittelu ja riskitarkastelu

Työn suunnittelun tarkoituksena on etsiä mahdollisimman taloudelliset keinot rakennusprojektin toteutukseen (Hartikainen 1995, 190). Työn suunnittelussa arvioidaan rakentamisen aikaisia olosuhteita. Ajankäytön suunnittelu on työn suunnittelussa isossa roolissa. Se tarkoittaa työvaiheiden aikataulun suunnittelua huomioimalla erilaisten työvaihekohtaisten tilanteiden, ongelmien ja keskeytysten vaikutusta työhön.

Taulukossa 1 on esitetty kaivannon suunnittelun ja rakentamisen prosessikaavio. Siinä näkyy koko kaivannon rakennusprosessi hankkeen käynnistymisestä suunnitteluun ja toteutukseen.

Taulukko 1. Kaivannon suunnittelun ja rakentamisen prosessikaavio (RIL 263–2014, 20.)



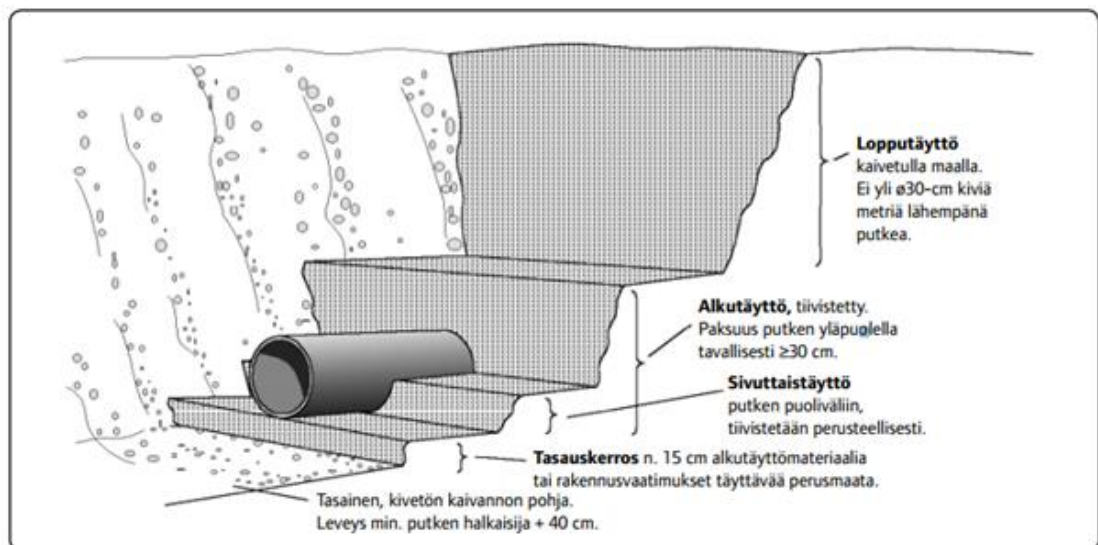
Työn suunnittelussa arvioidaan työn tehokkuutta laskemalla eri työvaiheiden työsaavutuksia. Työsaavutus tarkoittaa tietyssä aikataulussa saavutettua työmäärää, joka voidaan ilmoittaa esimerkiksi kuutioina tai kappalemäärinä. Kunnallistekniikan rakentamisessa oleellisia ovat putkikaivannon rakentamisen työsaavutukset, joita seurataan reaaliajassa työmaalla. Näitä toteutuneita työsaavutuksia verrataan suunniteltuihin työsaavutuksiin. Näin saadaan tärkeää tietoa seuraaviin rakennusprojekteihin ja si-

ten voidaan kehittää kustannustehokkuutta tarkemmalla työn aikataulutuksella. (RIL 263-2014, 157.)

Riskitarkastelussa tunnistetaan työmenetelmien ja olosuhteiden luomat riskit ja samalla voidaan suunnitella toimenpiteet niiden estämiseksi tai vähintään minimoimiseksi. Riskitarkastelu on työsuunnittelun ohella tärkein tuottavuuteen vaikuttava tekijä. Kohteen vaativuuden mukaan sen laatimiseen valitaan mahdollisimman pätevät henkilöt. (RIL 263–2014, 157.)

2.4 Putkikaivannon rakenne

Tyypilliset putkikaivannon rakenteet on esitetty kuvassa 1. Kaivanto rakentuu vähintään kolmesta rakennekerroksesta, joita ovat alhaalta luettuna asennusalusta, alkutäyttö ja lopputäyttö. Kaivannon pohjamaan mukaan pohjalle voidaan myös rakentaa ennen asennusalustaa arina ja/tai tasauserros. Perusmaan ollessa erittäin huonosti kantavaa voidaan maaperää vahvistaa esimerkiksi syvästabiloinnilla ennen kaivannon rakentamista. Arinan tarkoitus on tasata kuormat, jos alla oleva maa on huonosti kantavaa. Arina voidaan rakentaa kiviaineksesta tai kiinteästä rakenteesta, kuten teräsprofiililevystä, betonista tai puusta. Puusta rakennettavat lankku- tai hirsiarinat ovat nykyään harvinaisempia.



Kuva 1. Putkikaivannon rakenneosat (Uponor 2009, 60.)

Tasauserroksen merkitys on suuri etenkin silloin, kun kaivannon pohja on louhittua kalliota tai siinä on isoja kiviä, joita ei saada poistettua. Tasauserroksen tehtävä on

tasata epätasaisuudet pohjassa ennen asennusalustan rakennusta. Asennusalusta rakennetaan seuraavana ja se tehdään yleensä pienirakeisesta kiviaineksesta. Perinteisesti vesijohtoputket asennetaan asennusalustan päälle ja muut putket kuten viemärit ja esimerkiksi kaukolämpöputket asennetaan ylemmäksi alkutäyttöön omaan korkoonsa. Alkutäyttö aloitetaan sivuttaistäytöllä, mikä tarkoittaa putken sivujen täyttämistä ja tiivistämistä ennen lopun alkutäytön rakentamista. Lopputäyttö tehdään viimeiseksi ja se tehdään yleensä joko kaivumaasta tai louheesta. (RIL 77–2013, 17–26.)

2.5 Kaivantotyyppin valinta

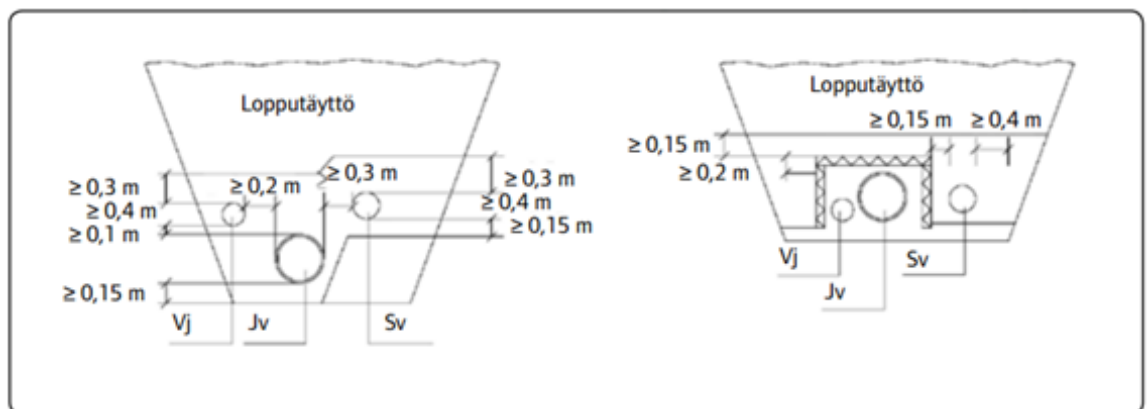
Kaivantotyyppin valinnalla on suurin vaikutus työnsuunnitteluprosessiin ja työvaiheisiin. Kaivannon valintaa tehtäessä on tiedettävä maan ominaisuudet ja pohjaolosuhteet, rakennusympäristössä olevat rakennukset, rakenteet ja puusto. Lisäksi on arvioitava kohteen työturvallisuuskysymykset. Pohjaolosuhteet selvitetään erillisillä pohjatutkimuksilla, joista selviävät maakerrosten geotekniset ominaisuudet. Kaivantotyypit jaotellaan karkeasti kahteen luokkaan: tuettuihin ja tukemattomiin kaivantoihin. Tuettu kaivanto tarkoittaa pystysuoraa kaivantoa, jonka sortuminen estetään jollakin tukirakenteella. Tukemattomalla kaivannolla tarkoitetaan sananmukaisesti kaivantoa, jota ei ole tuettu millään rakenteella. Tukemattoman kaivannon sortuminen estetään luiskaamalla kaivannon reunat. Kaivanto voidaan myös toteuttaa molempia vaihtoehtoja käyttäen. (RIL 181–1989, 11.)

Työmaa-alue yleensä määrittelee ensimmäisenä onko tilaa tehdä luiskattu kaivanto vai joudutaanko turvautumaan tuettuun kaivantoon. Luiskattu kaivanto vaatii huomattavasti enemmän tilaa kuin tuettu kaivanto. Myös pelkät pohjaolosuhteet voivat määrittää kaivantotyyppin, koska esimerkiksi pehmeikölle ei voi yksinkertaisesti tehdä syviä kaivantoja ilman tuentaa (RIL 181–1989, 11). Kunnallistekniikan rakentamisen vaihtoehdot määräytyvät usein käytettävän tilan mukaan. Jos työmaatietä ja varastoaluetta ei ole mahdollista rakentaa putkikaivannon viereen, työ on tehtävä kaivinkoneilla pelkästään kaivannon päistä. Tämä vaihtoehto on usein hitaampi ja kasvattaa rakennuskustannuksia. (RIL 263–2014, 75.) Putkikaivantoja rakennettaessa tämä tilanne on hyvin yleinen, sillä työmaat sijaitsevat usein tiheillä asutusalueilla, joiden tiet ovat kapeita ja tontit lähekkäin.

Tukemistarve määräytyy muun muassa maakerrosten lujuusominaisuuksien, pohjaveden pinnan, kaivannon syvyyden, sääolosuhteiden, asennustyön keston ja kaivannon

ulkopuolisten kuormien summasta. Kuormituksia voivat olla esimerkiksi liikenne kaivannon läheisyydessä tai työkoneiden kuormitukset. Kaivumaiden läjitys on tärkeä ottaa myös huomioon, sillä tilapäiset läjitysalueet kaivannon vieressä lisäävät kaivannolle tulevaa kuormitusta. (RIL 77–2013, 19.) Putkikaivantoon kohdistuu myös tilapäisiä kuormituksia, kuten raskaita nostoja. Näitä voivat olla putkielementtien, raskaiden betoniputkien tai kaivojen nostot. Materiaalien painon mukaan täytyy valita nostokone, josta aiheutuu vähiten kuormituksia kaivannolle. (RIL 263–2014, 75.)

Kaivannon poikkileikkauksen muoto ja koko määrittyvät hyvin pitkälti sen perusteella, minkälaiset geologiset olosuhteet maaperässä vallitsevat ja minkä kokoisia putkia kaivantoon asennetaan. Kaivanto tehdään yleensä niin kapeaksi kuin vain on mahdollista, ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset tukirakenteet ja se että työskentely kaivannossa on inhimillistä. Myös tiivistyskalustolle tarvitaan tilaa, jotta tiivistys pystytään toteuttamaan kunnolla. Avokaivannon minimileveys on 1,0 m ja tuetun kaivannon 1,2 m. Minimileveyksiä voidaan tarvittaessa kaventaa liikennealueen ulkopuolella, jos maanleikkaustyössä käytetään salaojakonetta ja putket täyttävät vaaditut maksimikoot ja paineluokat. (RIL 77–2013, 17–18.) Kaivantojen tavanomaiset mitat esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Johtokaivannon tavanomaiset mitat (Uponor 2009, 50.)

Kaivantotöissä kaivojen kohdille tehdään levitykset. Kaivannon seinämät tulevat tällöin vähintään 400 mm:n etäisyydelle kaivojen ulkoreunasta. Lisäksi täytyy ottaa huomioon putkiliitoksien asennusvara, kuitenkin niin että pystysuoraksi etäisyydeksi putkien välille jää vähintään 100 mm. Jos perusmaa ei ole asennuskelpoinen esimerkiksi materiaalinsa puolesta, putken alle pitää jättää vähintään 150 mm tilaa asen-

nusalustalle. Tyypikohtaiset poikkileikkaukset kerrotaan tarkemmin Kunnallisteknis-
ten töiden yleisessä työselostuksessa KT 02 /6/. (RIL 77–2013, 18.)

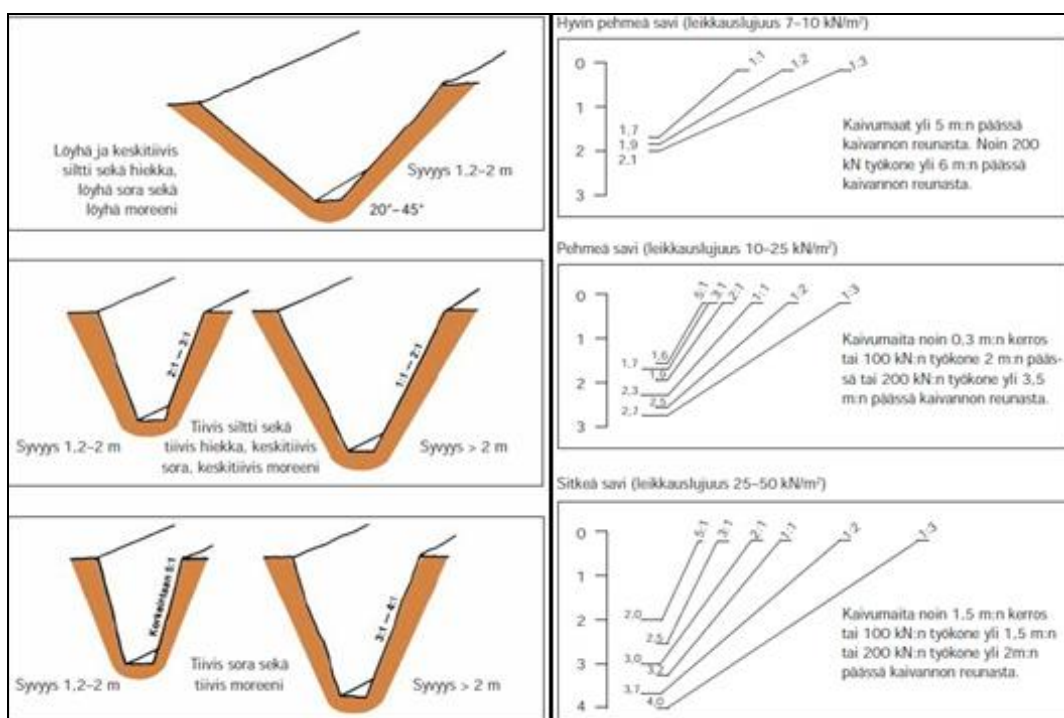
2.5.1 Luiskattu kaivanto

Luiskattu kaivanto on normaaliolosuhteissa rakennuskustannuksiltaan halvempi toteuttaa kuin tuettu kaivanto. Luiskaus kuitenkin kasvattaa kaivu- ja täyttö- ja maansiirtotöitä, ja kuljetusetäisyyksien ollessa pitkiä, voivat maansiirtotyöt tulla kalliiksi. (RIL 263–2014, 45.) Luiskattuna tehtävä kaivanto on yleensä matala. Suuren tilantarpeensa vuoksi syviä kaivantoja ei aina voida tehdä luiskattuna. Maa-aineksesta ja kaivannon syvyydestä riippuu, kuinka leveä luiskatusta kaivannosta pitää tehdä. Pohjarakennusohjeet RIL 121 määrittävät kaivantojen luiskien minimivaatimukset. Putkikaivannon luiskakaltevuus määritetään sen syvyyden ja maapohjan materiaalin mukaan. Ohjeellisia putkikaivannon luiskakaltevuuksia on esitetty taulukossa 2 ja kuvassa 3. Suunniteltu luiskakaltevuus esitetään yleensä myös rakennussuunnitelmiin kuuluvassa kaivantosuunnitelmassa. Putkikaivannoissa ei saa käyttää jyrkempää luiskaa kuin 2:1. (RIL 263–2014, 75.)

Taulukko 2. Putkikaivannon ohjeellisia luiskakaltevuuksia (RIL-263-2014, 142).

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

^a Tarkoittaa kaivumaiden etäisyyttä kaivannon luiskan yläreunasta



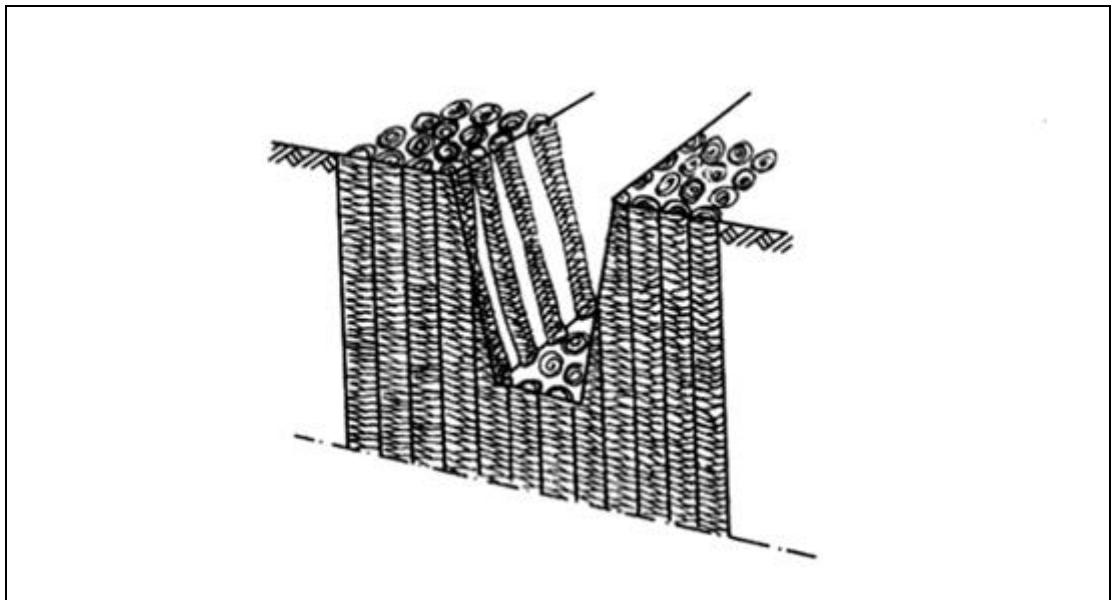
Kuva 3. Luiskatun kaivannon ohjeelliset luiskakaltevuudet (Työsuojeluhallinto 2010, 6.)

Luiskakaltevuuksista poiketaan, jos maan suljettu leikkauslujuus on alle 10kPa, tai suunnitelmissa toisin todetaan (RIL 263–2014, 142).

Luiskatussa kaivannossa esiintyy usein pintavesien aiheuttamaa eroosiota. Yleinen helppo torjuntakeino on kaivannon reunan kuivatus, jossa luiskan yläreunaan tehdään kuivatusoja johtamaan vedet pois kaivannon alueelta. Pintavedet voidaan myös ohjata pumppukaivoihin, joista vesi pumpataan koneellisesti pois. Luiskan verhoukseen esimerkiksi kivillä tai peitteillä voi pienentää eroosion vaikutusta. Kaivannon luiskaan saat-

taa syntyä eroosiota, jos työskennellään pohjavedenpinnan alapuolella. Silloin suoto-
vesi tulee luiskasta läpi kaivantoon. Tällöin luiskan pintarakenteeksi voidaan rakentaa
erosiosuojauskerros, joka tehdään esimerkiksi sorasta tai sepelistä. Myös salaojituk-
sella voidaan alentaa pohjavedenpintaa. (RIL 181–1989, 26.) Kaivannon kuivatukses-
ta kerrotaan tarkemmin luvussa 2.6.

Erittäin löyhissä maaperäolosuhteissa luiskatun kaivannon maapohjaa voidaan lujittaa
pilari- tai massastabiloinnilla (kuva 4). Stabilointi kattaa kaivantojen reunan lisäksi
myös kaivannon pohjan, ja se tehdäänkin ennen kaivuvaihetta. (RIL 263–2014, 76.)



Kuva 4. Putkikaivannon maapohjan lujittaminen stabiloinnilla (RIL 263–2014, 76.)

Stabiloinnissa käytetään sideaineena sementtiä ja kalkkia, jotka määrätellyn kuivumis-
ajan jälkeen muodostavat vahvan seoksen ja lujittavat maata. Luiskaus voidaan tällöin
toteuttaa jyrkemmillä luiskilla.

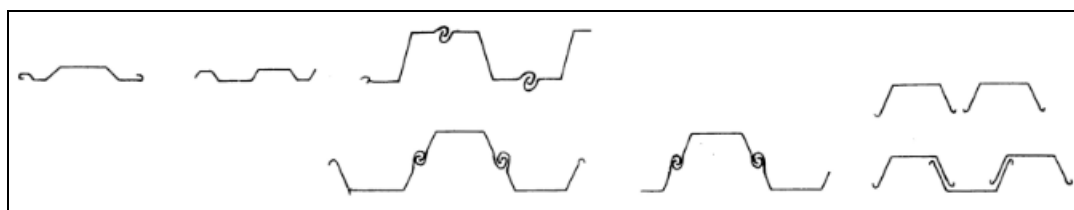
2.5.2 Tuettu kaivanto

Tuetun kaivannon hyviin puoliin kuuluu työskentelytilan suuruus. Kaivannon viereen
jää enemmän tilaa, ja tämä parantaa työmaan logistiikkaa. Putkien ja muun materiaa-
lin varastointi, kuljetukset ja nostot ovat helpompia toteuttaa. Myös kaivinkoneille jää
enemmän tilaa, ja tämä mahdollistaa erilaisten työjärjestelyiden valinnan. (RIL 263–
2014, 45.) Tuetussa kaivannossa pitää huomioida, etteivät tukiseinän ja tuennan aihe-
uttamat liikkeet maassa aiheuta vahinkoa ympäristölle tai lähellä oleville rakenteille.

Kaivannon tuentaan on monia erilaisia rakenteita, joilla kaikilla on omat hyvät puolensa ja rajoituksensa. Kaikki tukiseinätyypit ovat teknisesti käyttökelpoisia normaali-pohjaolosuhteissa. Erityisolosuhteissa vaihtoehdot ovat rajattuja ja valintaan vaikuttavat seinän ominaisuudet. Erilaisia tukiseiniä ovat muun muassa:

- teräsponttiseinät (kuva 5)
- combiseinät (kuva 6)
- settiseinät (kuva 7)
- kaivantoelementtiseinät (kuva 8)
- porapaaluseinät
- suihkuinjektoidut seinät
- porapaalu-suihkuinjektoidut seinät
- kaivinpaaluseinät
- betoniset kaivantoseinät.

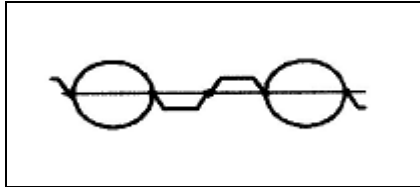
Putkikaivannossa käytetään yleensä työnaikaisia tukiseiniä, joihin teräsponttiseinät, combiseinät, settiseinät ja kaivantoelementtiseinät kuuluvat. Näistä yleisimpiä ovat teräsponttiseinät ja kaivantoelementtiseinät. Muut seinävaihtoehdot ovat maahan jääviä tai massiivisia seiniä kuten porapaaluseinät ja betoniset kaivantoseinät. Näitä ei normaaliolosuhteissa käytetä putkikaivannon nopean toteutuksen ja suhteellisen pienien kaivantojen takia. (RIL 263–2014, 76.)



Kuva 5. Teräsponttiseinien profiileita (RIL 181–1989, 29.)

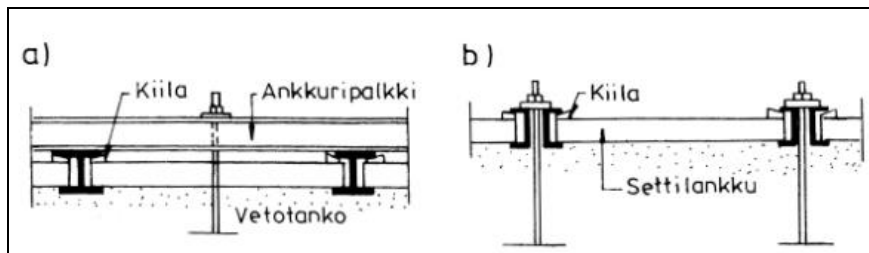
Teräsponttiseinät rakennetaan maahan lyötävistä teräsponteista, jotka liittyvät reunoilla olevista lukkoprofiileista toisiinsa kiinni. Koska teräsponttiseinien muoto usein toistaa itseään, voidaan niitä myös latoa limittäin. U- ja Z-profiilit ovat näistä yleisimpiä. Teräsponttiseinä on yleensä myös seinätyypeistä halvin toteuttaa, sillä sen rakentaminen ja purkaminen on nopeaa ja seiniä voidaan käyttää uudelleen. (RIL 263–2014, 46–50.) Teräsponttiseiniä käytetään putkikaivannoissa silloin, kun kaivannot sijoittuvat pehmeiköille tai pohjavedenpinnan alapuolelle. Niissä käytetään useimmiten sisäpuo-

lista tuentaa, joka toteutetaan esimerkiksi HEB- tai putkipalkeilla. Teräspontit on helppo lyödä maahan kaivinkoneisiin asennettavalla hydraulisella pontiniskijällä. Tämä nopeuttaa työn toteutusta, sillä tällöin voidaan seinän asennuksen yhteydessä myös kaivaa kaivantoa. (RIL 263–2014, 182.) Teräsponttiseinien asennuksessa täytyy ottaa huomioon, että putkielementit tulee pystyä nostamaan kaivantoon vaakapuristussauvojen välistä. Teräsponttiseinissä on kaksi tukitasoa, näistä alemman alle täytyy mahtua arina, tasauskerros ja putket. (RIL 263–2014, 76.)



Kuva 6. Combiseinäprofiili (RIL 263–2014.)

Combiseinät koostuvat yleensä RR-suurpaalujen ja teräsponttiprofiilien yhdistelmästä. Putkipaalut ottavat vastaan kuormat ja teräsponttiprofiilit tekevät seinän yhtenäiseksi. Paalut yhdistetään teräspontteihin ponttilukoilla tai hitsaamalla. (Ruukki, 2014.)



Kuva 7. Settiseinä, kun pystypalkkina käytetään a) I-profiilia tai b) kahta U-profiilia (RIL 181–1989, 30.)

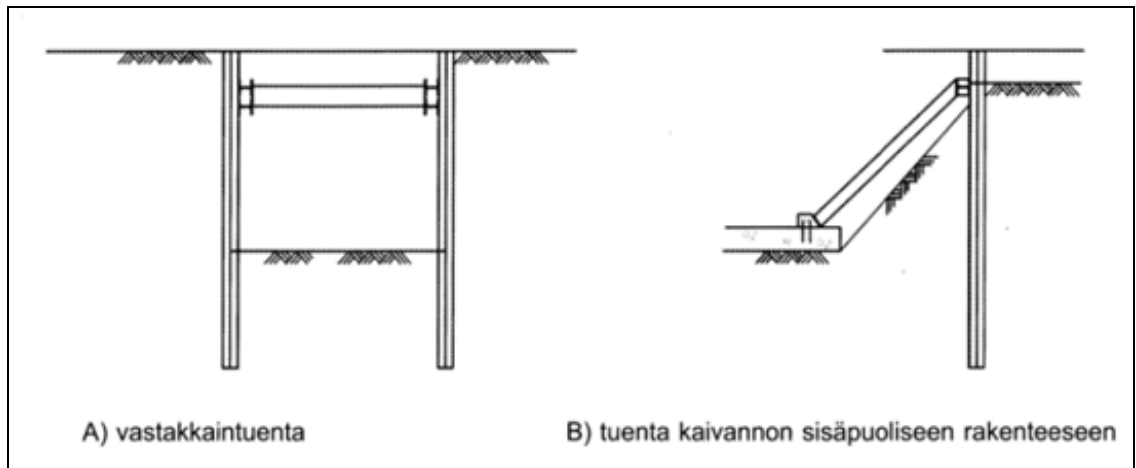
Settiseinä rakennetaan maahan painettavista pystypalkeista, joiden väliin asennetaan settilankut tai esimerkiksi hitsataan teräslevy. Settilankkuina käytetään teräspalkkeja tai puuta. Settiseinän asentaminen on kuitenkin usein työlästä. Sen käyttö on nykyään harvinaisempaa, sillä muut kehitetyt vaihtoehdot soveltuvat kaivantojen rakentamiseen nykyään paremmin. (RIL 263–2014, 50–51.)



Kuva 8. Kaivantoelementin asennus kaivantoon (KT-Tuenta Oy 2007.)

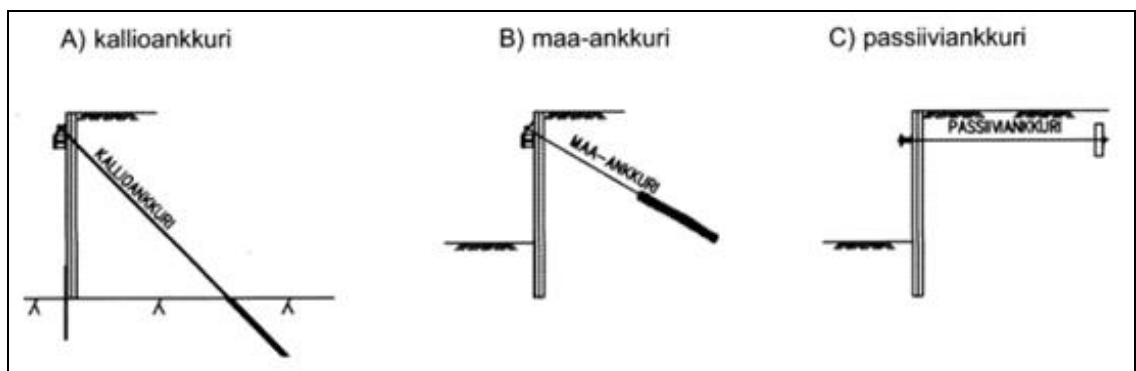
Teräsrakenteiset kaivantoelementit ovat kätevä vaihtoehto putkijohtokaivantojen tuentaan. Kaivantoelementti lasketaan kaivannon pohjalle, elementin taustat täytetään ja sisäpuoliset tuet kiristetään. Tällöin elementin seinät leviävät tiukasti kaivannon seiniä vasten. Elementit voidaan myös asentaa vaiheittain kaivamalla ja upottamalla vähän kerrallaan. Kaivantoelementillä voidaan tukea 2-4 metriä syviä kaivantoja. Elementtien leveys rajoittaa kuitenkin asennettavien putken halkaisijan seinän paksuudesta riippuen 1-1,6 metriin. Elementit ovat painavia ja noin 2-4 metriä pitkiä. Kaivantoelementtejä on suunniteltu suoraan putkijohtokaivantoja varten, ja niissä on tällöin tukisauvat sen verran korkealla, että putki saadaan asennettua niitten alapuolelle. (RIL 263–2014, 182.)

Tukiseinään kohdistuvat vaakakuormat, kuten maanpaine, estetään sisäpuolisilla puristusrakenteilla tai ulkopuolisilla vetoankkureilla (kuvat 9 ja 10).



Kuva 9. Kaivannon sisäpuolinen tuenta puristussauvoin (RIL 263-2014, 60.)

Sisäpuolisten tuentamekanismien hyötyjä ovat pienet rakennuskustannukset ja nopea asennus. Sisäpuolinen tuenta on tyypillinen vaihtoehto putkikaivannoissa.



Kuva 10. Kaivannon ulkopuolinen tuenta vetoankkurein (RIL 263-2014, 59.)

Ulkopuolisten vetoankkureiden hyviin puoliin kuuluu yksinkertainen ratkaisu ja sen ansiosta kaivannon sisäpuolille ei tule rakentamista ja putkien asentamista haittaavia rakenteita. Ankkurit asennetaan 45° tai loivempaan kulmaan riippuen siitä, asennetaanko ankkurit maa-ainekseen vai kallioon. Ankkurit injektoidaan sementtilaastilla joko kallioon tai ympäröivään kitkamaakerrokseen ja sen jälkeen kiinnitetään kaivannon tukiseinään. (RIL 263–2014, 61.)

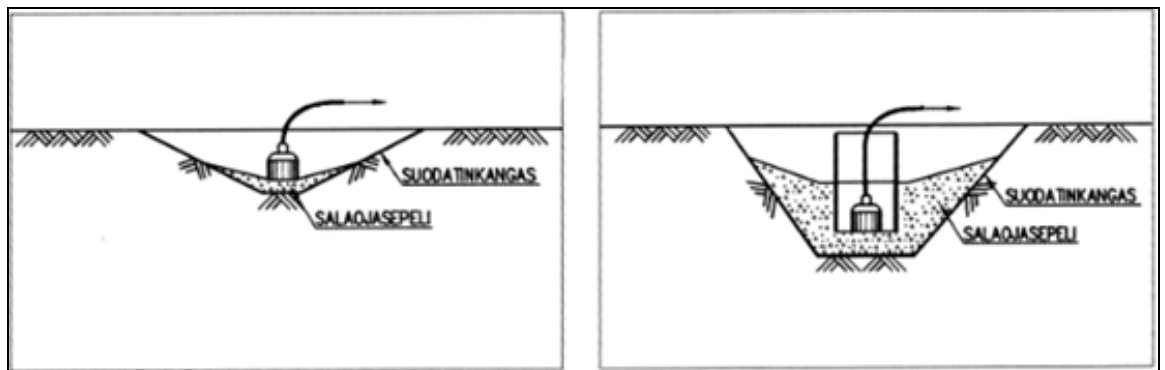
Tukiseinillä täytyy olla riittävä tuenta myös seinän alapäästä. Pystykuormat huomioidaan esimerkiksi upottamalla teräspontit ankkuroitavista kohdista syvemmälle kuin muut pontit. Jos kaivanto ulottuu kallioon asti, voidaan vaakakuormia pienentää poraamalla kallioon vaarvoja eli juuripultteja, jotka kiinnitetään alapäästään kaivannon seinän alapintaan. Juuripultteina käytetään pyöröterästä, joka on yleensä vahvuudel-

taan 50–100 mm. Lisävahvikkeena voidaan käyttää teräsbetonista tehtyjä juuripalkkeja. Porapaaluseinää tehtäessä voidaan paalut ulottaa kallioon. (RIL 263–2014, 64.)

Puristussauvoilla yläpäästään tuettu tukiseinä täytyy suojata talvella roudalta. Suojaa-
maton seinä voi altistua routasiirtymälle, jolloin puristussauvat saattavat nurjahtaa. Tämä on riskinä etenkin leveissä kaivannoissa. Ulkopuolisesti tuettu tukiseinä pitää myös suunnitella ja tarpeen tullen suojata roudalta siten, että ankkurien venymä ei routasiirtymän takia ole vaarallista. (RIL 263–2014, 59.)

2.6 Kaivannon kuivanapito rakentamisen aikana

Kaivanto suojataan aina vähintään sade- ja sulamisvesiltä. Sadevedet saadaan pumpattua pois kaivannosta rakentamalla pumppauskuopat tai pumppauskaivot, joihin vesi johdetaan kallistuksilla ja se suotautuu kerrosten sisällä. Kuvassa 11 on esitetty pumppauskuopan ja pumppauskaivon esimerkkirakenteet. Kaivannon pohjalle voidaan tehdä lisäksi salaojia, jotka tehostavat vesien kerääntymistä. (RIL 263–2014, 69.)



Kuva 11. Pumppauskuoppa ja pumppauskaivo (RIL 263-2014, 69.)

Sekä pumppauskuoppa että – kaivo koostuvat kaivupohjaa alemmas sijoittuvasta salaojakerroksesta, joka on eristetty pohjasta suodatinkankaalla.

2.7 Pohjaveden alennus

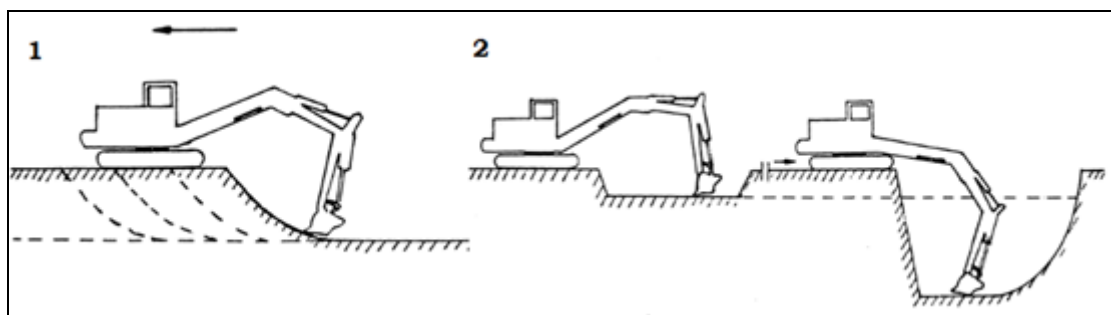
Jos putkikaivannon alapinta on alle metrin ylempänä pohjavedenpinnan tasoon verrattuna, on pohjaveden tasoa alennettava. Alennus täytyy tehdä siten, että pohjavedenpinta kaivannossa saadaan vaadittuun metriin alle kaivutason. Pohjavedenpinnan tason laskeminen on mahdollista tehdä ennen kaivannon kaivua tai vaihtoehtoisesti kaivuvaiheessa. Alennus tehdään ennen kaivua silloin, kun maapohja on herkästi häiriinty-

vää materiaalia kuten siltti tai moreeni. Pohjavedenpinnan alentamisen tarve voi myös tulla, jos kaivannossa on mahdollinen hydraulisen murtuman riski. Myös talviolosuhteissa on alennus tehtävä ennen kaivuvaihetta, jottei vesi jäädy kaivupohjaan. Jos alimman kaivutason pohjamateriaali on savea tai tiivistä moreenia, eikä pohjavesi suotaudu kaivantoon, ei pohjaveden alennusta tarvitse tehdä. Pohjaveden alennusmenetelmiä ovat pumppauskuoppien ja – kaivojen rakentaminen, pumppausputkien asentaminen kaivannon pohjalle sekä tyhjiöpumppausmenetelmä. Pohjaveden alennus on myös mahdollista tehdä vaiheittain. Tällöin alennus tehdään kaivuvaihe tai kaksi kerrallaan.

2.8 Työvaiheet

2.8.1 Maan leikkaustyö

Putkikaivantojen rakentaminen alkaa maan leikkaustyöllä. Maan leikkaus lasketaan osaksi maansiirtoa, eli työskentelyä jossa maata liikutetaan koneiden avulla kiinteällä maapohjalla. Leikkaamisella tarkoitetaan koneen työskentelyä alle ajotason, jolloin kaivettava materiaali ”leikataan” kaivannoksi, pohja tasataan ja luiskat muotoillaan. Kuten muissakin maansiirtotöissä, käytetään maan leikkauksessa yleensä montaa erilaista työmenetelmää samaan aikaan. Maanleikkausta voidaan tehdä pääasiassa kahdella eri tavalla, kertaleikkauksena ja kerrosleikkauksena, kuten kuvassa 12. (Hartikainen 1995, 36.)



Kuva 12. Kertaleikkaus (1) ja kerrosleikkaus (2) (Hartikainen 1995, 36.)

Kertaleikkauksen ja kerrosleikkauksen valintaan kohteeseen soveltuvana menetelmänä vaikuttavat työkoneneen rakenteelliset ominaisuudet, leikkaussyvyys ja maalajit joita leikataan. Maan häiriintymistä pitää välttää, joten etenkin loppukaivu suoritetaan erityisellä varovaisuudella. Kaivannon pohjalla on vältettävä tarpeetonta liikkumista, jos pohja on todettu pehmeäksi tai helposti häiriintyväksi. Talvikaudella kaivannon pohja

täytyy suojata, ettei maa jäädy putken alla olevassa kerroksessa missään vaiheessa varsinkin jos kaivannon pohjalla ei käytetä arinaa tai asennusalustaa. (RIL 77–2013, 18.)

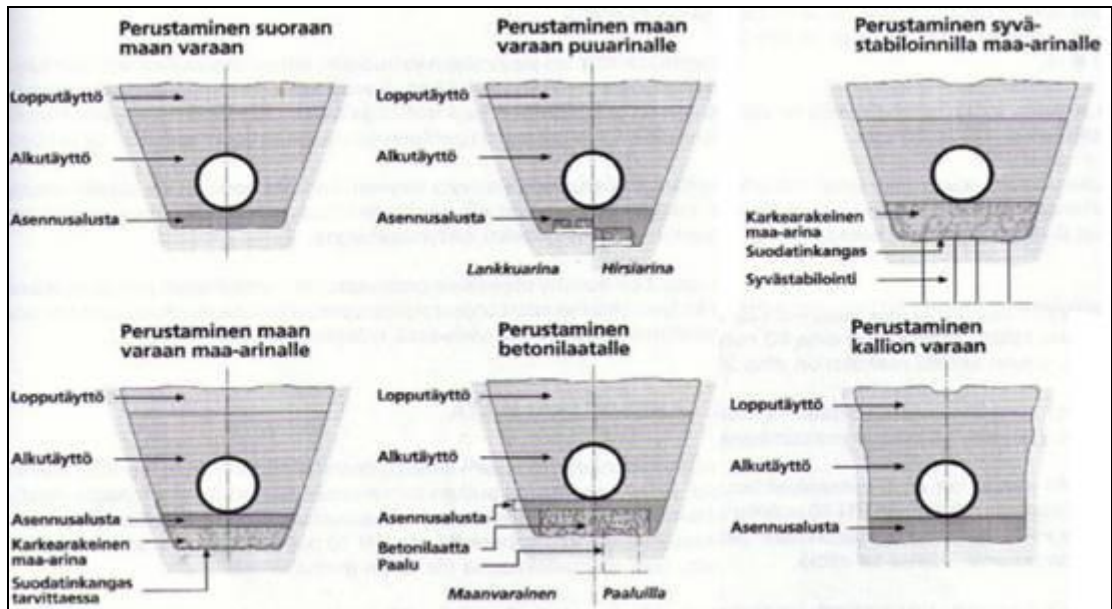
2.8.2 Perustaminen

Perustamisrakenteiden tekeminen tarkoittaa niiden tukirakenteiden rakentamista, jotka sijoittuvat asennusalustan alle. Putket asennetaan tämän asennusalustan päälle. Jos perustamisessa ei tarvita tukirakenteita maan hyvän kantavuuden ansiosta, putket asennetaan suoraan joko perusmaan tai asennusalustan varaan. Perustamistavat jaotellaan karkeasti kahteen luokkaan: maanvaraiseen perustamiseen ja paaluille perustamiseen. Perustamismenetelmän määrittelee maapohjan kantavuus ja maaperän olosuhteet taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Ohjeellinen putkijohtojen perustamistapojen käyttö eri maapohjilla (RIL 77-2013, 20.)

Maapohja	Maanvarainen perustaminen					Paaluilla perustaminen		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Kallio- ja routimattomat karkearakeiset maapohjat	+							
Routivat karkearakeiset maapohjat ja moreenimaapohjat	+							
Kuivakuorikerrostumat, kovat siltti- ja savimaapohjat	+	+	(+)	(+)	(+)			
Pehmeät siltti- ja savimaapohjat	(+)	+	+	+		+	(+)	(+)
Hyvin pehmeät siltti- ja liejumaapohjat sekä turve		(+)	+	+			+	+
+ Ensisijainen perustamismenetelmä		(+) Toissijainen perustamismenetelmä						

Perustaminen voidaan tehdä arinalla tai ilman. Arina on kerrosrakenne, joka jakaa kuormaa ja tasaa pohjan epätasaisuudet. Paaluille perustettaessa pohjalle valetaan betonilaatta, jonka päälle asennusalusta rakennetaan. Yleisimmät perustustavat on esitetty kuvassa 13. Kuvasta puuttuu teräksinen poimulevyarina, jota käytetään yleisesti puuarinan tilalla.



Kuva 13. Putkijohtojen ohjeellisia perustamismenetelmiä (RIL 77-2013, 21.)

Kun perustamistapa on valittu, voidaan siirtyä itse perustamistyöhön. Perusmaan pinnalle kaivannon pohjalle voidaan asentaa suodatinkangas työn helpottamiseksi ja estämään yläpuolisten rakenteiden sekaantumisen perusmaahan. Arinana käytetään joko karkearakeista kiviainesta tai kivihiilituhkaa savisella pohjalla. Yleisin arinamateriaali on kuitenkin sora tai murske jonka raekoko on 0...32 mm. Arina tiivistetään ja sen tiivisyysvaatimus on parannetun Proctor-kokeen mukaan 90 %, ellei suunnitelmissa toisin mainita. (RIL 77-2013, 20.)

2.8.3 Tasauserros

Jos arinaa ei rakenneta ja pohja on epätasainen, rakennetaan sen päälle tasauserros. Tasauserros rakennetaan myös silloin, kun kiviainesarinan raekoko ylittää 150 mm. Mikäli tasauserros tehdään suoraan kallion tai louheen päälle, käytetään välissä vähintään luokan N3-suodatinkangasta ja perusteellista tiivistystä estämään tasauserrosmateriaalin variseminen louheen alle. Tasauserroksen materiaalin raekoko ei saa ylittää halkaisijaltaan yli puolta koko tasauserroksen kerrospaksuudesta. Maksimiraekoko on 65 mm tai 10 % putkien sisähalkaisijasta jos asennettavat putket ovat muovi- tai teräsputkia. (Tiehallinto 2004, 30.)

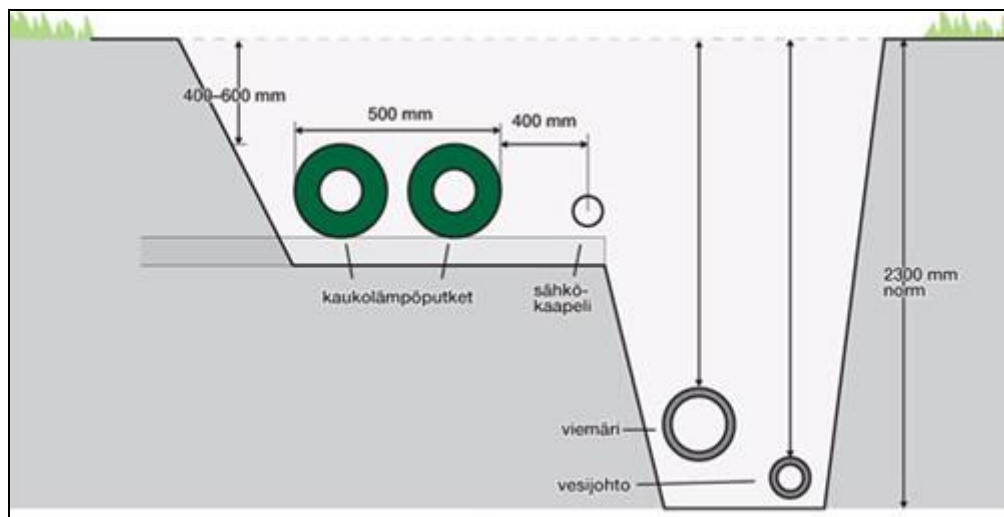
2.8.4 Asennusalusta

Asennusalusta tehdään arinan käytöstä riippuen joko sen päälle tai suoraan kaivannon pohjalle. Asennusalustan kerrospaksuus on vähintään 150 mm ja sen suurin raekoko määräytyy asennettavien putkien ulkohalkaisijan mukaan. Kokojen laskemiseen löytyy kaavat esimerkiksi RIL 77–2013-asennusohjeista sivulta 22. Pienirakeiset kivaineokset kuten kivihiilituhka ovat myös vaihtoehto. Kivihiilituhkaa koskee samat säännöt kuin arinarakenteiden rakennuksessa käytettävää tuhkaa.

Jos asennuspohja tehdään suoraan perusmaalle ilman arinaa, kaivutyössä pitää noudattaa huolellisuutta jotta asennuspohjasta tulee tarvittavan tasainen. Liikakaivua pitää välttää, ettei asennusalustan materiaalia mene liikaa hukkaan. Tämä aiheuttaa lisätyötä ja kustannuksia. Perusmaa ja asennusalusta eivät myöskään saa olla jäässä. Asennusalusta tiivistetään koneellisesti ja sen tiiviyysvaatimus on myös parannetun Proctorkokeen mukaan 90 %. 0,1-0,2 tonnin tärylevy toimii tässä yleensä hyvin. (RIL 77–2013, 22.)

2.8.5 Putkien ja muun kunnallistekniikan asennus

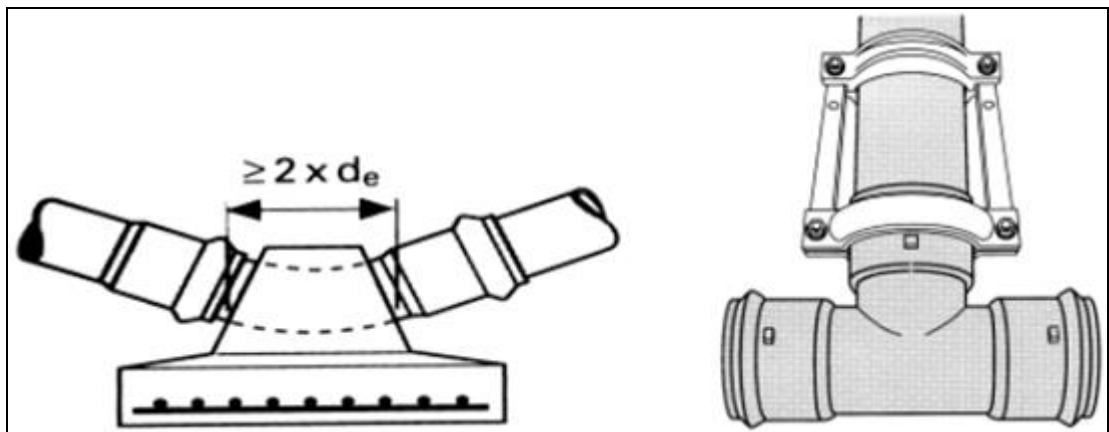
Putkikaivantoon asennettavasta kunnallistekniikasta tavallisimpia ovat vesihuoltolinjat, sähkökaapelit, tietoliikenne- ja puhelinverkon kaapelit, kaukolämpö- ja kaasuputket. Kaapelit asennetaan yleensä suojaputkiin. Kuvassa 14 on esitetty tavallisimmat putkien sijoitukset putkikaivannossa.



Kuva 14. Kunnallistekniikan putkien esimerkkisijoitus kaivantoon (Fortum 2013.)

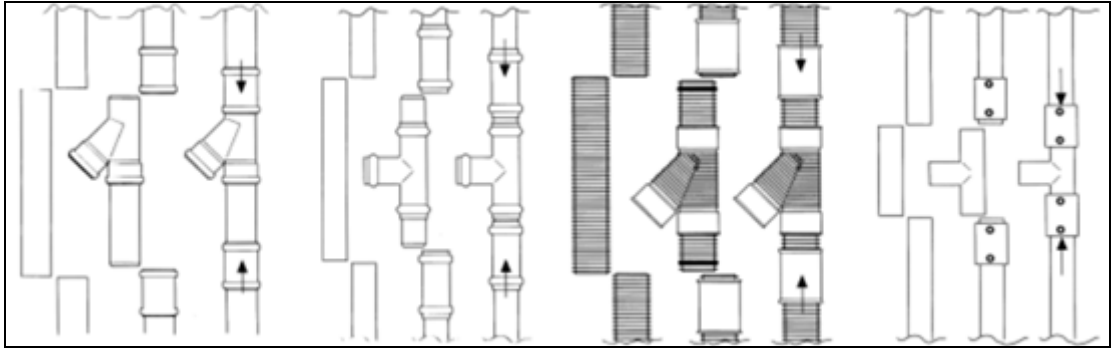
Muoviputket puhdistetaan perusteellisesti ja tarkistetaan ennen asennustyön aloitusta. Putken täytyy tukeutua koko matkaltaan tasaisesti alustaan. Muhvien kohdat eivät saa kantaa putkea, joten niiden kohdalle tehdään syvennykset. Asennuksessa ei saa käyttää puuta tai muita rakenteita putkien alla. Muoviputket ovat herkkiä halkeamiselle, joten valmistajan ohjeita käytetään alle -15 °C lämpötiloissa. Valmistajan käyttöohjeita on muutenkin syytä noudattaa koko asennuksen ajan. (RIL 77–2013, 22–23.)

Paineputkiin kohdistuu sisäpuolista painetta, josta aiheutuu myös putken suuntaisia aksiaalivoimia. Suuret aksiaalivoimat estetään tukemalla putket. Putkien tukeminen on tarpeellista, kun käytetään muhviliitoksia tai ulkohalkaisijaltaan vähintään 225 mm hitsattavia putkistoja. Putkien kulmatuiksi asennetaan muhvilukot tai betonituet (kuva 15). Tuet siirtävät sisäpuolisen painevoiman liitoksen yli (Uponor 1997, 34). Tuki ei saa kuormittaa putkea missään vaiheessa. Suojatulppia käytetään putkien päissä koko asennustyön ajan ja sen keskeytyessä jotta epäpuhtaudet eivät pääse putkien sisään. Mahdollinen vesi kaivannossa ei ole haitaksi ellei se aiheuta nostetta putken alle, eikä neste vahingoita putkia (RIL 77–2013, 23).



Kuva 15. Betonituki vasemmalla ja muhvilukko oikealla (Uponor 1997, 31-34.)

Jos muoviputki pitää haaroittaa aikaisemmin asennettuun putkeen, haaroitettava linja kaivetaan esiin parin metrin matkalta. Linjasta sahataan pala, pituudeltaan yli haaran ja muhvin yhteenlaskettu mitta. Päät tiivistetään putkista ja runkolinjan päihin työnnetään pistoyhteet. Seuraavaksi työnnetään haaran muhviin aiemmin runkoputkesta sahattu pala kuten kuvassa 16. (Uponor 1997, 35.)



Kuva 16. Muoviputkien haaroitusesimerkkejä (Uponor 1997, 35.)

Muoviputkien taivuttamisessa, rakenteiden sisään sijoittamisessa ja muissa asennuksen erikoistapauksissa käytetään putkenvalmistajan ohjeita.

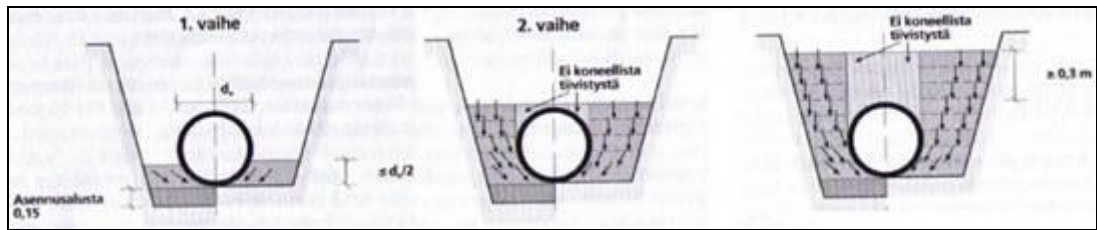
Putkien asennussyvyys on riippuvainen myös maan jäätymisestä. Tähän vaikuttavat kohteen maantieteellinen sijainti, maan routivuusominaisuudet, putkien vapauttama lämpö ja pohjavedenpinnan korkeus. Putkien jäätyminen estetään routasuojauksella. Suojauksena voi toimia esimerkiksi putkien yläpuolinen routaeristys, putkia ympäröivä eristys tai lämmityskaapelien asennuksella.

Yläpuolisena eristeenä toimivat esimerkiksi levyeristeet tai eristävä maakerros kuten kevytsora. Tällaisten eristeiden ja maakerrosten täytyy kuitenkin kestää yläpuoliset kuormitukset. Putkia ympäröivä eristys voidaan toteuttaa joko siihen tarkoitetuilla eristeillä tai putkielementeillä. Lämmityskaapelit asennetaan joko putkien sisään tai niiden viereen. (RIL 77–2013, 26–27.)

2.8.6 Alkutäyttö

Alkutäyttö tehdään asennusalustan päälle kun putket on asennettu. Alkutäyttö tehdään vähintään 150 mm putkien laen yläpuolelle, riippuen putken koosta. Alkutäytön materiaalin on täytettävä asennusalustan materiaali vaatimukset ja se on tehty joko hiekasta, sorasta tai murskeesta. Erikoistapauksissa kuten liikennealueiden ulkopuolella voidaan materiaaliksi valita myös sora- tai hiekkamoreeni, savi, siltti tai kivihiilituhka. Myös kevytsoraa ja masuunikuonaa on käytetty alkutäyttönä.

Alkutäyttö tehdään vaiheittain, kuten kuva 17 osoittaa. Materiaalia työnnetään putken sivuille ja alle siten, että putki istuu tiivisti maata vasten eikä liiku. Lappio auttaa materiaalin levityksessä putken sivuille.



Kuva 17. Muoviputkelle rakennetun kaivannon alkutäytön rakentaminen vaiheittain (RIL 77-2013, 24.)

Ensimmäinen tiivistys tehdään, kun alkutäyttö on tehty putken puoliväliin asti. Tämän jälkeen Täytetään sivut putken pintaan saakka. Materiaali tiivistetään, mutta tiivistystä ei saa tehdä putken päältä. Täyttöä jatketaan, ja koneellinen tiivistys saadaan tehdä putken päältä vasta kun materiaalia on putken päällä vähintään 300 mm. Alkutäytön tiivistysaste on alimpien kerrosten tapaan parannetun Proctor-kokeen mukaisesti 90 %. Veden virtaus kaivannossa on estettävä alkutäyttöä tehtäessä. Hankalissa tilanteissa voidaan toteuttaa esimerkiksi rakentamalla savesta koko kaivannon levyisiä patoja enintään 50 metrin välein. (RIL 77–2013, 23–24.)

2.8.7 Lopputäyttö

Lopputäyttö on alkutäytön yläpuolinen rakenne joka täyttää loput kaivannosta. Täyttö voidaan tehdä kaivumaista, kunhan vain käytettävä aines on hyvin tiivistyvää. Tiivistys on tärkeässä roolissa lopputäyttöä tehtäessä. Myös lopputäytössä on liikennealueilla laatuvaatimuksena parannetun Proctor-kokeen 90 % tulos. Tämän saavuttamiseen vaikuttaa myös materiaalin kivisyys, joka pitää rajoittaa lopputäytön paksuudesta maksimissaan 2/3 halkaisijaltaan olevaan raekokoon. Materiaalin pitää lisäksi sisältää kaikkia raekokoja jotta täyttö ei jää harvaksi. Liikennealueiden ulkopuolella tiivistys voidaan jättää tekemättä, kuitenkin niin että maa-aines asettuu maanpinnan tasoon. (RIL 77–2013, 25–26.)

2.8.8 Rakennekerrosten tiivistäminen

Tiivistyskoneiden valinta työhön on riippuvainen kerrospaksuudesta. Yleensä tiivistyskoneen paino on suoraan suhteessa siihen, minkälaista materiaalia ja kerrospaksuutta voidaan tiivistää. Tiivistyskertojen määrä riippuu myös kerrospaksuudesta ja koneen koosta. Taulukossa 4 on ohjeistus tiivistyskoneen valintaan kerrospaksuuden mukaan ja tarvittavat jyräskertamäärät. (Uponor 2009, 61.)

Taulukko 4. Tiivistyskoneiden käyttö (Uponor 2009, 61.)

Tiivistysväline	Paino tn	Sopiva kerrospaksuus	Jyräysten lukumäärä kpl 1*	Huom!
Täryjyrät (JT) vedettävät	< 5	≤ 0,40	3-6	Eivät sovellu runsaasti koheesioainetta sisältävien maalajien tiivistämiseen
	5-8	≤ 0,60	3-6	
	> 8	≤ 0,80	3-6	
Täryjyrät (JT) – itsekulkevat	6-8	≤ 0,60	4-8	
	8-10	≤ 0,80	4-8	
	> 10	≤ 1,00	4-8	
Kumipyöräjyrät (JK)	< 20	≤ 0,30	8-12	Rengaspaine hiekkaisilla maalajeilla 300 kPa, soraisilla maalajeilla 600 kPa
	> 20	≤ 0,50	8-12	
Sileävalssijyrät (JV)	n. 10	≤ 0,20	5-8	Soveltuvat lähinnä kantavan kerroksen tiivistämiseen sekä viimeistelyluonteisiin tiivistyksiin
Sorkkajyrät (JSM)	< 10	≤ 0,30	6-12	Soveltuvat runsaasti koheesioainetta sisältävien maalajien tiivistykseen
	> 10	≤ 0,50	3-6	
Tärylevyt (TL)	≥ 0,05	0,10-0,15	3-6	Soveltuvat yleensä vain kitkamaalajien tiivistämiseen
	≥ 0,10	0,10-0,20	3-6	
	≥ 0,40	0,15-0,40	3-6	

1* Mikäli kerrospaksuuksia pienennetään, voidaan jyräyskertamääriä pienentää. Jyräysnopeus valitaan laitteen valmistajan suosituksen mukaan Lähde KT 02.

Tyypillisesti putkikaivantojen pienen leveyden takia tärylevyjä käytetään kerrosten tiivistämiseen (kuva 18).



Kuva 18. Tyypillinen putkikaivannon rakennekerrosten tiivistyksessä käytettävä tärylevy. Kuvassa alkutäytön tiivistämistä. (Kuva: Otto Rekula 2014.)

2.9 Rakentamisen ongelmakohdat

2.9.1 Putkikaivannon painuminen

Tuetussa putkikaivannossa käytettävien teräsponsseihin purkamisen yhteydessä tapahtuu yleensä maan painumista joka johtuu pönttien nostosta. Nosto tapahtuu perinteisesti täryttämällä tai lyömällä, jolloin ongelmilta ei voida välttyä. Pohjamaa voi tiivistyä tärinän vaikutuksesta tai pönttien noston yhteydessä maahan jää tyhjättilaa, johon pohjamaa-aines uppoaa tai pöntteihin jää maa-ainesta kiinni nostettaessa.. Tärinää voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä suurtaajuustärytintä jolloin tärinä on tasaisempaa. Nostosta aiheutuvaa tyhjää tilaa voidaan pienentää jättämällä pöntit maahan, mikä tosin aiheuttaa sen että pöntit täytyy katkaista noin 2 metrin syvyydeltä maanpinnasta. Tästä aiheutuu myös materiaalihukkaa ja kustannuksia.

2.9.2 Kaivettavuus ja maan häiriintymisen vaikutus töihin

Maan ominaisuudet vaikuttavat kaivutyöhön ja tätä kutsutaan kaivettavuudeksi. Materiaalin ennakoitua huonompi kaivettavuus on suuri riski maanrakennustöissä ja se on myös samalla tärkein rakennuskustannuksiin vaikuttava tekijä maanrakennustöiden osalta. Maan kaivettavuus ei ole kovin yksiselitteistä ja se riippuu paljon paikallisista olosuhteista, säästä sekä maalajien häiriintymisherkkyydestä. Häiriintyminen on suoraan verrannollinen maalajin rakeisuuteen ja vesipitoisuuteen. Märkä maa muuttuu nopeasti juoksevaksi massaksi niin koneiden alla kuin kauhoissakin, joka pienentää kauhan täyttöastetta ja koneiden työskentely vaikeutuu. Häiriintyminen on yleistä kun maaperän vesipitoisuus nousee lähelle 11...13 %. Häiriintyminen muuttaa huomattavasti maan ominaisuuksia, sillä hienojakoinenkin materiaali on kuivana hyvin kantavaa mutta märkänä täysin löyhää. (Hartikainen 1995, 10).

2.10 Laatuvaatimukset ja rakentamisen valvonta

Kunnallistekniikan rakennuksessa noudatetaan urakkasuunnitelmia sekä putki- ja johdotkaivantojen rakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia, jotka löytyvät ohjeesta InfraRYL 2006. Ohjeet pitävät sisällään muun muassa kaivantojen poikkileikkauksen vähimmäismitat, vesijohtojen etäisyydet viemäriputkista, siirtymäkiilan rakennuksen- ja kaivojen ympärystäytöjen vaatimukset sekä erilaisia työhön liittyviä ohjeita. (Rakennustieto 2006, 303.)

Hyvän rakennustavan mukaisesti rakentamisen aikainen valvonta kuuluu valvojan lisäksi myös työn toteuttajalle. Toteuttaja on velvollinen ilmoittamaan rakennusvalvonnalle kaikista poikkeuksista ja muutoksista suunnitelluissa työvaiheissa. Rakennustyön päättyessä tehdään vastaanottotarkastus, johon sisältyy putkijohtojen tiiveyskokeet sekä viettojohtojen vesi- ja ilmatiiveyskokeet. (RIL 77–2013, 41.)

Työmaasta laaditaan erillinen laatusuunnitelma ja se kuuluu urakoitsijan velvollisuuksiin. Siinä mainitaan muun muassa työmaaorganisaation henkilöt ja heidän vastuujaoittelunsa, kaikki aliurakoitsijat ja materiaalitoimittajat, riskitarkastelut, tilaajan vaatimat työvaihesuunnitelmat, laadunvarmistussuunnitelma, luovutuskansion sisällysluettelo sekä yleisaikataulu.

2.11 Työturvallisuus ja ympäristö

Kunnallistekniikan rakennuksessa on useita riskitekijöitä työsuunnittelusta aina työn toteutukseen asti. Työsuunnittelun näkökulmasta suurimpia riskitekijöitä ovat esimerkiksi säätilanteista riippuvat työolosuhteet sekä virhearviot tai asiantuntemuksen puuttuminen kun luiskakaltevuuksia ja maaperän häiriintymisherkkyyttä määritetään. Tutkimuksissa työnjohdon huono geotekninen asiantuntemus on noussut usein esille. (Eeva Rantanen 2013). Työturvallisella rakentamisympäristöllä on myös suora vaikutus työn tehokkuuteen.

Yleisempiä vahinkotilanteita työn toteutuksessa ovat muun muassa kaivannon sortuminen, päälleajo, koneiden kaatuminen tai vioittuminen. Koneiden turvallisuutta määrittelee valtioneuvoston päätöksen asetuskoelma 1314/94, joka koskee kaikkia maanrakennuskoneita, ajoneuvonostureita, henkilönostimia sekä koneiden turvakomponentteja. CE -merkinnällä varustettujen koneiden pitää täyttää päätöksen vaatimukset sekä niiden pitää olla suunniteltu, rakennettu ja varustettu eurooppalaisten standardien mukaan. Maansiirto- ja kaivukoneiden kuljettajat ovat avainasemassa työturvallisuuden noudattamisessa sillä työsaavutuksia parannettaessa työturvallisuusasiat saatavat helposti jäädä vähemmälle huomiolle. (Hartikainen 1995, 39.)

Kapeat kaivannot ovat riskitekijä, koska putkikaivannossa olevat työntekijät voivat jäädä helposti kaivannon seinämän alle sen murtuessa. Kaivannosta voi lisäksi irrota lohkareita tai muuta materiaalia. Tuentaelementtien käyttö tukimenetelmänä on paras työturvallisuuden kannalta.

Urakoitsija hoitaa lupa- ja turvallisuusmenettelyn tie- ja katualueilla, sekä hankkii tarvittavat luvat työntekijöilleen ja hoitaa perehdytyksen.. Tie- ja liikennealueille tarvitsee lisäksi tehdä liikenteenohjaussuunnitelma jos rakennuttaja ei ole sellaista teettänyt erikseen. Urakoitsija varmistaa aina myös kaapelien, kaasuputkien ja vastaavien sijainnit ennen kaivun aloitusta.

3 TYÖMENETELMÄT JA TYÖN TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT SEIKAT

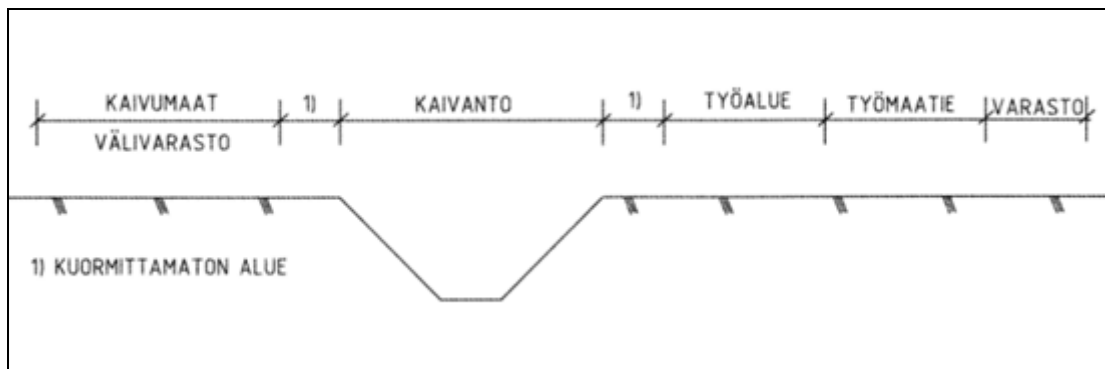
Kaivannon rakentamisen ensimmäinen tehokkuuteen vaikuttava seikka on rakentamisen valmisteluvaihe. Valmistumisvaiheessa perehdytään rakennussuunnitelmiin, pohjatutkimuksiin ja ympäristöselvityksiin. Mitä vaativampi kaivanto on toteuttaa, sitä enemmän näillä asioilla on merkitystä. (RIL 263–2014, 157.)

Kunnallistekniikan keskeinen kustannustehokkuus riippuu suurilta osin kaivutyön aikaisista työsaavutuksista. Työmenetelmien valinta työkohteeseen on monesta asiasta riippuvainen. Maan laatu ja ominaisuudet vaikuttavat suoraan työnsuoritukseen, joten maan ominaisuudet ja työmäärän suuruus rajaavat heti pois valintavaihtoehtoja. Sää vaikuttaa vuodenajasta riippuen maarakennustöihin eri tavoin. Jäätynyt maa vaikeuttaa maan irrotusta mutta toisaalta maan kantavuuden noustessa myös kuljetus- ja kaivuvälineistön liikkuminen helpottuu. Päinvastoin sateisena vuodenaikana liikkuminen ja työskentely vaikeutuvat.

Kohteen laajuus vaikuttaa myös valintaprosessiin. Suurissa työkohteissa työmenetelmää on helpompi kehittää vielä työn aikana kuin pienissä kohteissa. Valittava työmenetelmä on myös riippuvainen kohteen vaaditusta laatutasosta. Työn edellyttämää laatutasoa ei kannata yleensä ylittää, sillä se lisää työkustannuksia ja työ hidastuu. (Hartikainen, 1995, 38.)

3.1 Työmaan järjestely ja työn valmistelu

Työmaan tehokkuuteen ja turvallisuuteen vaikuttaa oleellisesti, miten työmaan toiminnot ja työskentelytilat ovat järjestelty. Hyvä työmaan yleisjärjestely johtaa pienempiin rakennuskustannuksiin. (RIL 263–2014, 74.) Kuvassa 19 on suunnitelma toimintojen ja tilojen parantamiseksi putkikaivantotyömaalla.



Kuva 19. Putkikaivantotyömaan toimintojen järjestely ja tilantarve (RIL 263-2014, 74.)

Kaivannon reunoilla on kuormittamattomat alueet, joiden ulkopuolella ovat käytössä oleva työalue, työmaatie ja varastoalue. Näiden käytössä olevien alueiden tilantarve on noin 10–15 m. Toiselle puolelle kaivantoa voidaan sijoittaa kaivumaille tilapäinen välivarasto jonka koko katsotaan kaivumateriaalin määrän mukaan. Jos kaivannon sivuilla on vähän tilaa tai ympäristöä pyritään säästämään, ovat varastotilat mahdollista sijoittaa erillisiin paikkoihin. Tämän esimerkkijärjestelyn lisäksi kaivannon sivuilla tarvitaan tasaisin välimatkoin levikkeitä, joilla maansiirtoautot mahtuvat kääntymään, ellei työmaatie ole läpikuljettava. (RIL 263–2014, 74–75.)

Ennen työn aloitusta on työnjohdon kannattavaa kerätä lista asioista mitä ennen rakentamisen aloittamista on oltava valmiina. Tämä edesauttaa rakentamisen jouhevuutta ja vähentää riskien määrää. Voidaan esimerkiksi laatia niin sanottu aloitusedellytyspöytäkirja, jossa käydään läpi muun muassa seuraavia asioita:

- työntekijöiden perehdytys suunnitelmiin
- kaivantotukien ja kulkusiltojen turvallisuus
- liikenteenohjauslaitteiden toimivuus
- tiedon kulku pelastusviranomaisille
- kaluston koestus, sähköjen, kaapeliin, työkalujen ja – koneiden toimivuus
- materiaalien, kuten vesihuoltoputkien sijoitus valmiiksi asennusta varten
- muita työn jouhevuuteen vaikuttavia asioita.

Listaan merkitään puutteet ja kun ne on korjattu, kuitataan asia hoidetuksi. Näin voidaan ehkäistä mahdollisia riskitekijöitä rakentamisen aikana.

3.2 Kaivukoneet

3.2.1 Käytön suunnittelu ja koneiden valinta

Koneiden käytön suunnittelussa tarkoituksena on löytää jokaiselle työvaiheelle taloudelliset ja teknisesti oikeanlaiset koneet sekä työmenetelmät. Koneiden valinnassa tärkeimmät huomioon otettavat seikat ovat konetyypit, koneiden koko sekä määrä. Näiden asioiden valintaan vaikuttaa muun muassa toteutettavan työn laajuus ja aikataulu, työ- ja keliolosuhteet, maan ominaisuudet ja laatuvaatimukset. (Hartikainen 1995, 193.)

Kunnallistekniikan kaivutöissä tärkeässä roolissa on koneiden siirreltävyys ja työmaan koko, joka asettaa usein myös rajat koneiden mitoille. Kunnallistekniikan töissä esiintyy runsaasti useita häiriöitä ja keskeytyksiä, joten tärkeitä valittavia työkoneita ovat kaivukoneet ja kuormaimet. Mitä suurempi kohde on kyseessä, sitä taloudellisempaa on valita kapasiteetiltaan suurempi kone. Pienissä töissä siirtokustannuksilla on suuri merkitys, joten pienillä siirtokustannuksilla saatava kone voi tuoda takaisin ne lisäkustannukset jotka aiheutuvat koneen teknisestä epäsopivuudesta, kuten pienestä työtehosta.

Työhön suunnitellun aikataulun perusteella määritetään ensin yleensä pienin mahdollinen kone tai konemäärä, jolla työvaihe saadaan suoritettua aikataulussa. Tässä tulee esille ensimmäinen työmenetelmien valintaan vaikuttava seikka. Yhden suuren koneen etuna ovat pienet palkkakustannukset suoriteyksikköä kohden, mutta toisaalta monen pienen koneen valinta on pääomakustannuksiltaan pienempi. Jos työmaalla on lyhyt aikataulu ja tästä johtuva suuri työkapasiteetti, on usein useamman pienemmän koneen valinta järkevämpää. Tällöin voidaan työtä tehdä kahdesta suunnasta tai kahdessa vuorossa. Työtä pystytään myös jatkamaan jos toinen kone hajoaa, jolloin työkyllä hidastuu mutta ei katkea missään vaiheessa. Myös logistiikan kannalta maa-aineksen kuljetus pois työmaalta sujuu tasaisesti. Toisaalta kaksi konetta voi häiritä työmaaliikennettä ja rajoittaa toistensa toimintaa. (Hartikainen 1995, 196–197.)

Tärkeä näkökulma koneen valinnalle on yleensä koneen jatkuvan työllistymisen varmistaminen, sekä tasaisen työketjun jatkuminen keskeytyksettä. Kun koneiden käyttö on kestoltaan varmistettu, on myös helpompaa saada edulliset tarjoushinnat koneen vuokraajalta. Omien koneiden hankintaa kannattaa harkita, kun käyttöaste saadaan

tarpeeksi suureksi. Kalleimmat koneet on tärkeä työllistää maksimaalisesti kustannusten minimoimiseksi. Työsaavutusten arviointiin auttaa kokemukset edellisistä projekteista sekä erilaiset taloudellisuusstandardit, joiden avulla koneiden valintaa pystytään teoreettisesti laskemaan. Näitä taloudellisuusstandardeja on muun muassa laatinut TVH 70- ja 80-luvuilla. (Hartikainen 1995, 193–197.)

Koska maanrakennustyöt ovat kausiluonteisia, on koneiden saatavuus riippuvainen vuodenajasta. Siksi koneiden käytön suunnittelu täytyy tehdä ajoissa jotta tarpeellinen kalusto saadaan varattua työhön.

3.2.2 Konetyypit

Työkoneen rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat aina tehtävään työhön. Koneen liikkuvuus on riippuvainen voimansiirrosta ja vaihteistosta sekä ohjaus- ja hallintalaitteistosta. Nykyään suurin osa maanrakennustöistä voidaan toteuttaa pyöräalustaisilla koneilla (kuva 20). Pyöräalusta parantaa koneen liikkuvuutta huomattavasti verrattuna telaketjualustaan. Kummallakin alustalla on kuitenkin oma käyttötarkoituksensa erilaisissa työolosuhteissa, joten kumpikaan ei voi syrjäyttää toista. (Hartikainen 1995, 40.)

Telaketjualustaisia koneita (kuva 21), käytetään yleensä pitkäkestoisissa kohteissa niiden vaikean siirreltävyytensä takia. Telaketjukoneilla on selvä fyysinen etu huonosti kantavassa maastossa ($30 \dots 60 \text{ kN/m}^2$), sillä niiden painopiste on alhainen, paino jakautuu laajalle alueelle sekä harjat teloissa antavat hyvän pidon maahan. Töissä joissa ei ole ongelmaa maan kantavuudesta, on pyöräalustainen kone kätevä vaihtoehto. Pyöräalustaiset koneet voivat myös ennen työn aloitusta vakauttaa itsensä hydraulisesti toimivilla kaivutuilla ja etulevyllä. Pyöräalustaisen koneen kanssa ei myöskään ole kuljetusongelmaa, sillä jos työkone on vakuutettu, saa sillä ajaa liikenteessä. Nyrkissäntönä mitä painavampi kone on, sitä paremmin se suoriutuu raskaista töistä kuten maanleikkauksesta tai kuormauksesta. (Kuivanen 2009, 8.)



Kuva 20. Pyöräalustainen kaivinkone, KKHp (Kuljetusliike Usvola 2014.)

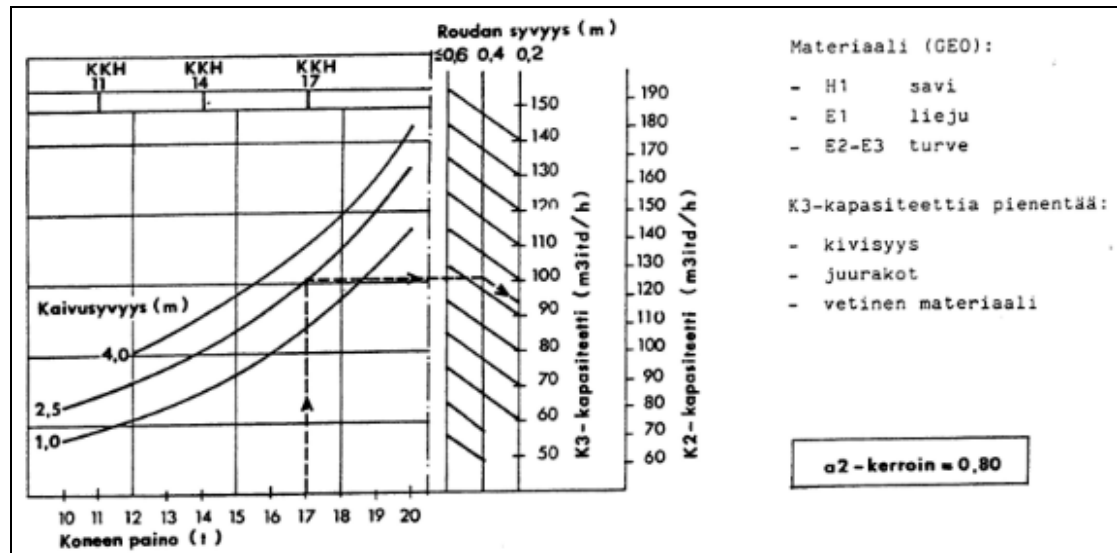


Kuva 21. Telaketjualustainen kaivinkone, KKHt (Rautava 2014.)

Kaivukoneen valintaan putkikaivantoa tehtäessä vaikuttaa kaivussyvyys johon koneen pitää yltää. Keskisuuret kuokkakaivukoneet kykenevät 4,5...6,0m ja suuret koneet 5,5...7,0m syvyyteen. Keskisuuri kuokkakaivukone riittää useimpiin kaivantoihin. Tyhjennyskorkeus vaihtelee 4,5...6,5m välillä. Koneen työsaavutukseen vaikuttavat koneen koko, kaivettavan materiaalin kaivuluokka, työpaikan järjestely sekä talvella

roudan paksuus, kuten taulukko 5 näyttää. Kaivukoneen kääntöliike on kannattavaa pyrkiä saamaan mahdollisimman pieneksi sillä vaikea työkulma vähentää huomattavasti työsaavutusta. (Hartikainen 1995, 50.)

Taulukko 5. Hydraulisen kaivukoneen työsaavutuksia kaivannon teossa (Hartikainen 1995, 49-50.)



Routasyvyys lisätynä koneen painoon ja kaivussyvyyteen vaikuttaa suoraan koneen työsaavutuksiin, mikä on taulukossa ilmoitettu koneen kapasiteettina eli työsuoritusena tunnissa.

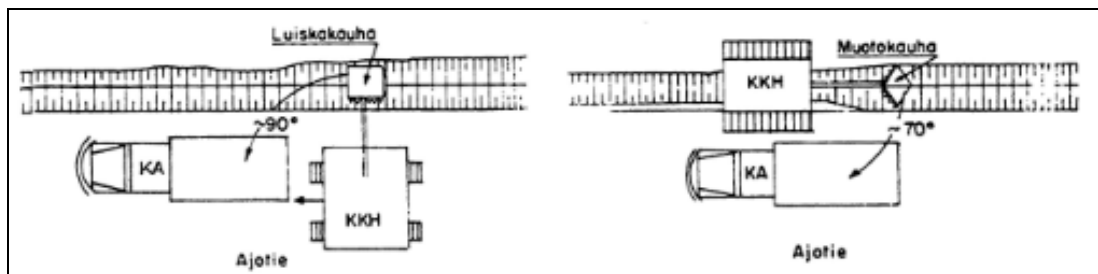
3.2.3 Kaivun vaiheiden suunnittelu ja työnjako

Putkikaivannon leikkaus toteutetaan yleensä kuokkakaivukoneella. Kuokkakauha on yleisin kaivuväline kun työtä tehdään alle koneen ajotason. Kuokkakauhoja on sekä kynnellisiä, että tasakärkisiä (kuva 22).



Kuva 22. Vasemmalla tasakärkinen kuokkakauha ja oikealla kuokkakauha kynsillä.

Tasakärkisellä kauhalla tehtävä kaivu vähentää maan häiriintymisen riskiä. Putki-kaivannon kuokkakaivu suoritetaan tyypillisesti sivultakaivuna tai päältäkaivuna kuten kuvassa 23.



Kuva 23. Ojan kaivu hydraulisella kaivukoneella. Vasemmalla sivultakaivu ja oikealla päältäkaivu. (Hartikainen 1995, 51.)

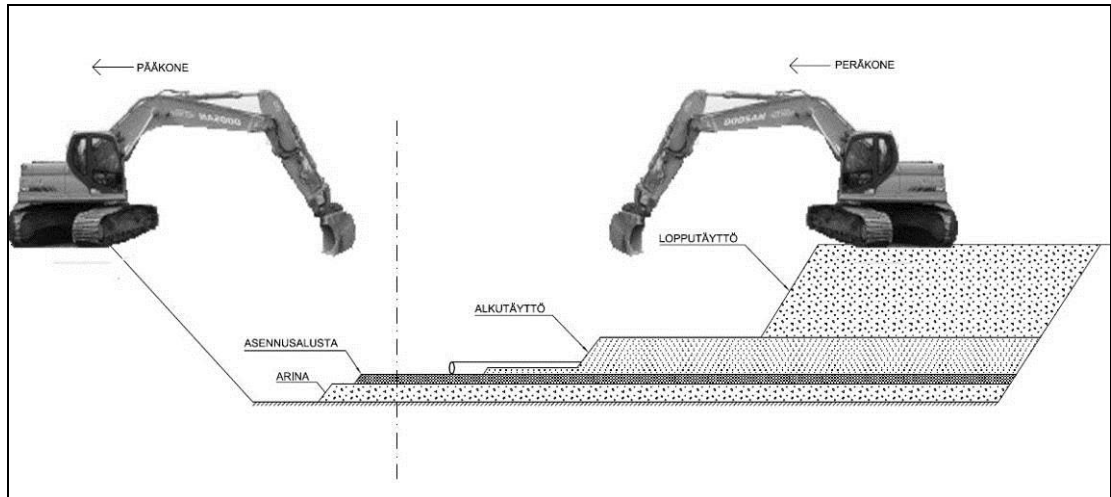
Päältäkaivuu soveltuu kun maasto on tasaista eikä koneen tarvitse jatkuvasti tasata jo kaivettua kaivualustaa. Kaivumaan läjittäminen sivulle tuottaa ylimääräistä työtä ja koneen työsaavutus on suureksi osaksi kiinni kauhan tilavuudesta ja kaivannon poikkileikkauksen leveydestä. Sivultakaivu sopii esimerkiksi silloin kun työmaatielle mahduttavat sekä kaivinkone että kuljetusväline. (Hartikainen 1995, 51.)

Kuokkakaivussa on neljä pääasiallista työliikettä jotka toistuvat työkiertoina. Kierron vaiheet ovat kauhan täyttö, kääntyminen vierialueelle kauha täynnä, kauhan tyhjennys ja kääntyminen takaisin kauha tyhjänä. Työkiertoon menevä aika on riippuvainen koneen ominaisuuksista, liikeradan pituudesta ja maan laadusta. Kone joutuu myös tekemään niin sanottuja aputoimintoja jotka tarkoittavat siirtymistä uuteen kaivukohtaan asteittain, auton vaihdon odottamista, materiaalin irrottamista, isompien kivien ja jäätyneen maan siirtämistä sivuun sekä kaivualustan tasoittamista. Näiden kestoon vai-

kuttaa työmenetelmä ja työolosuhteet. Kuljettajan ammattitaidolla, kauhan tilavuudella ja sen täyttöasteella on myös suuri vaikutus työsaavutuksiin.

Liikennealueen ulkopuolella putkikaivanto on mahdollista myös tehdä salaojakoneella. Tämä edellyttää, että asennettavat putket ovat yhteenhitsattua paineputkea, kooltaan enintään DN 160 sekä paineluokan täytyy olla vähintään PN 10. Tällöin on mahdollista tehdä kaivannon pääsääntöistä minimileveyttä kapeampi kaivanto. (RIL 77–2013, 18.)

Putkikaivanto kaivetaan tyypillisesti päistä käsin ja tämä rajoittaa kaivutyön menetelmiä. Kaivutyö toteutetaan yleensä kahdella koneella, pääkoneella ja peräkoneella. Tehtävät pitää suunnitella työvaiheiden mukaan niin että työ etenee tasaisesti eikä työketju katkea missään vaiheessa. Kaivutyössä ja täytöissä on työmenetelmille useita vaihtoehtoja ja variaatioita miten koneita voi käyttää. Pääkoneen tekee kaivutyön ja materiaalin siirron sivuun ja peräkone hoitaa täyttötöitä. Pääkoneen tehtävänä on käytännössä usein hoitaa pelkkää maan leikkausta ja putkikaivannon kaivua. Kokonaisuutena työ saattaa hidastua jos peräkoneelle tulee liian paljon töitä. Taloudellisinta kaivutyö on tehdä niin, että pääkone hoitaa putkikaivannon kaivun ja tämän jälkeen rakentaa pohjalle tehtävän arinan sekä asennusalustan. Asennusmiehet tiivistävät maan, hoitavat asennustyön ja peräkone tekee alku- ja lopputäytöt. Tämän työmenetelmän periaate on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Pääkoneen ja peräkoneen tehtävien jako (Kuva: Otto Rekula, 2014.)

Pääkone suorittaa kaikki pistekatkoviivan vasemmalla puolella olevat työvaiheet, eli maan leikkauksen kaivannon alapintaan saakka sekä murskearinan ja asennusalustan levityksen. Näin saadaan tasattua työnjakoa koneille ja peräkoneen ei tarvitse levittää jokaista rakennekerrosta.

3.3 Maa-aineksen kuljetus

Materiaalien kuljetukset maanrakennustöissä ovat isossa roolissa. Työmaakuljetusten kustannukset voivat kohota jopa 1/3 maarakennustöiden kokonaiskustannuksista. Läji- tysalueiden etäisyys työkohteesta vaikuttaa suoraan kuljetuskustannuksiin. Kuljetus- kaluston valinta ja oikea työrytmi vaikuttaa ratkaisevasti työtahtiin ja siihen tuleeko työssä turhia taukoja kuljetusta odottaessa. Yleensä kalustoa kannattaa ottaa niin paljon että kuormauskoneen ei tarvitse odottaa kuljetuskalustoa. Jos kuljetukset tapah- tuvat yksikköhinnalla, lisäkustannuksia ei synny. Kuljetuksen kierrosaikaa voidaan mitata jotta voidaan laskea oikea määrä kuljetuskalustoa ja näin työkoneiden odotus- aika saadaan mahdollisimman pieneksi. Tie- ja vesirakennushallitus on tehnyt kalus- ton laskemisesta lukuisia teoreettisia laskentakaavoja ja työmenetelmävaihtoehtoja, joita on koottu työnsuunnittelukortteihin. Esimerkki tällaisesta kortista löytyy taulu- kosta 6. Korteilla voidaan arvioida suuntaa antava kaluston määrä, mutta se ei poista käytännön työn seuraamisen tarvetta. Kaavioita voidaan käyttää työnsuunnittelussa pohjana, seurata työtä kokeellisesti paikanpäällä ja korjata arviota tarpeen mukaan. (Hartikainen 1995, 71–73.)

Kuljetuskaluston määrä voidaan myös laskemalla arvioida esimerkiksi seuraavasta kaavasta (taulukko 6), jota varten tiedossa on oltava kuormauskoneen kuormauskapasiteetti, kuljetuskaluston lavakapasiteetti, kuljetusmatka ja kuljetustien laatu.

Taulukko 6. Kuljetusajoneuvojen lukumäärän laskenta (Hartikainen 1995, 76.)

$$n = \frac{K}{V} \left(\frac{2L}{v} + \frac{V}{K2} + t \right)$$

n	kuljetusajoneuvojen lukumäärä (kpl)
K2	kuormauskapasiteetti (m ³ itd/h)
V	ajoneuvon lavatilavuus (m ³ itd)
L	kuljetusmatka (km)
v	keskinopeus (km/h)
t	tyhjennyksiin, peruutuksiin ja kääntymisiin kuluva aika (h) (yleensä noin 0,04h).

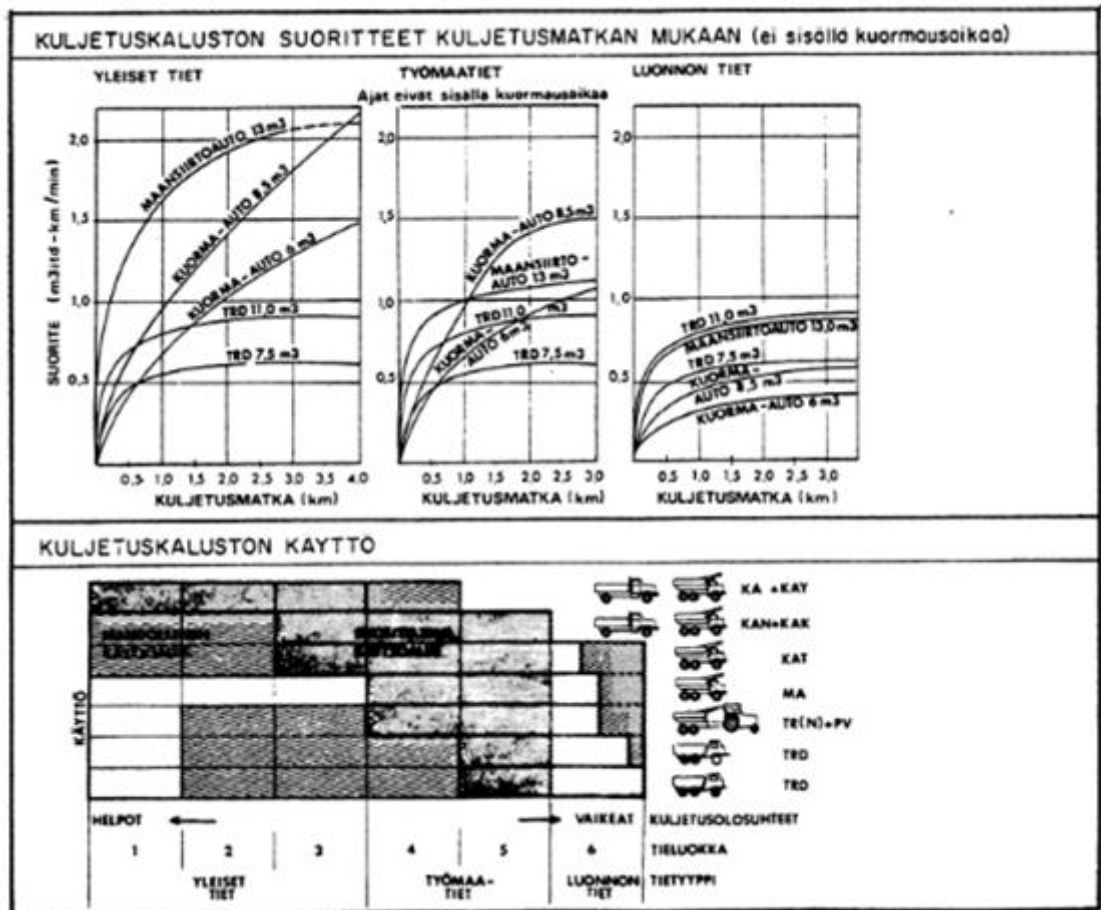
Raskaat ja keskiraskaat kuorma-autot ovat tavallisimpia kuljetusvälineitä kaivantotoissa. Autot voivat olla 2-, 3-, 4- tai jopa 5-akselisia. Suurissa, selkeissä maansiirtotoissa voidaan käyttää myös puoliperävaunuja tai maansiirtoautoja. Useimmat kunnallistekniset työkohteet eivät kuitenkaan mahdollista isojen autojen käyttöä, koska työmaat ovat pieniä. Kuljetuskaluston valintaan vaikuttavat muun muassa:

- kuljetettava materiaali
- kuormaukseen käytettävä kalusto
- kuljetusmatkan pituus ja tie millä matka suoritetaan
- kuormaus- ja purkupaikan olosuhteet, esimerkiksi kääntymisen kannalta
- työkohteen laajuus
- työaikataulu
- kaluston hinta ja saatavuus
- lavarakenne.

Kuljetuskaluston kuormatilavuuden ja kauhatilavuuden suhde sekä kauhan käyttöaste toimivat yleensä perustana valinnalle. Koska kuljetuskaluston valinta on riippuvainen

kuormauskalustosta, kannattaa valinta tehdä samaan aikaan kun kuormauskalustoa valitaan. Kuljetuskaluston lavan rakenne pitää myös ottaa huomioon. Karkeaa materiaalia kuljetettaessa lavan pitää kestää enemmän iskuja. Talvella on myös eduksi lämmitettävä lava joka estää materiaalin tarttumisen lavan pintaan. Kuorma-autot ovat taloudellinen vaihtoehto silloin kun voidaan käyttää suuria keskinopeuksia. Kuorma-auton koko vaikuttaa kuljetussuoritteeseen ja on riippuvainen kuljetusmatkan pituudesta, kuten taulukko 7 osoittaa. Työkohteen suuruus ja työmaan olosuhteet määrittelevät sen, tarvitseeko kuljetuskaluston olla maastokelpoista tai tarvitseeko työmaatietä tehdä kalustolle. Yleensä tällaisissa vaikeissa olosuhteissa työmaatietä ei kannata tehdä vaan valita kalusto joka on suorituskykyinen hankalassakin maastossa. (Hartikainen 1995, 74–75.)

Taulukko 7. Kuljetuskaluston valinta eri olosuhteissa (Hartikainen 1995, 75).



Työn suunnittelussa kannattaa määrittää minimipäiväsaavutus kuljetukselle ja miettiä, kannattaako kuljetukseen käyttää joko pientä määrää suuria kuorma-autoja vai monessa vuorossa toimivia pienempiä autoja. Tähän vaikuttaa tietenkin kuljetusetäisyys. Kun kaivukoneita valittaessa, huomioitava on myös mahdollinen kaluston rikkoontu-

minen. Isoja autoja käytettäessä yhden auton rikkoontuminen voi olla isompi kolaus kustannuksille kuin montaa pientä autoa käytettäessä. (Hartikainen 1995, 74–76.)

3.4 Työntekijät

Vaikka työsaavutukset riippuvat osin kaivutyön ja työmaan logistiikan toimivuudesta, myös putkityön asennustyöntekijät vaikuttavat työn etenemiseen. Putkityön asennuksen pienet ongelmat viivästyttävät huomattavasti kaivannon täyttämistä. Niinpä asennustyössä on aina oltava kokeneita asentajia, jotka vahvalla työkokemuksellaan ja esimerkillään näyttävät mallia vähemmän kokeneemmille työntekijöille. On tärkeää, että työhön koulutetaan uusia työntekijöitä, jotta työkokemus siirtyy nuorille työntekijöille. Koska kaivantotyöt ovat vaativia ja työhön sisältyy omat riskinsä, on työntekijät perehdytettävä riittävästi. Perehdytyksellä ei ole pelkästään vaikutusta työn turvallisuuteen vaan myös oma vaikutuksensa työn toteuttajien tehokkuuteen heidän ymmärtäessä pääpiirteet rakentamisen etenemisestä. Perehdytykseen pitäisi sisältää vähintään seuraavat seikat:

- pohjaolosuhteiden ja rakennussuunnitelmien pääpiirteittäinen läpikäynti
- työn aikataulu ja työvaiheet
- riskit joita voi ilmetä työtä tehtäessä
- työturvallisuussuunnitelma
- työmaan yleisjärjestelyt ja aluesuunnitelma
- turvallisuuskäytännöt, kuten mitä tehdä onnettomuustilanteessa
- ensiapupisteet ja hätänumerot.

(RIL 263–2014, 159.)

Putkitustyössä merkittävä tekijä sekä työn kestoon että kustannuksiin on putkien saattaminen suunnitelmien mukaiseen korkoon. Asennusalusta pitää rakentaa ehdottoman tasaiseksi, sillä pitkien putkien korko muuttuu pienistäkin heitoista. Alustan tarkoituksena ei ole ainoastaan saada putkea oikeaan korkoon vaan myös tukea putki maahan. Niinpä asentajien haasteena on tehdä mittatarkkaa työtä samalla pysyen mukana kaivinkoneiden tahdissa. Koska putkikaivanto rakennetaan tyypillisesti kahdella koneella, pääkoneella ja peräkoneella, eivät asentajat huomattavasti hidasta pääkoneen etenemistä, mutta peräkoneen vauhti on pitkälti kiinni siitä, kuinka nopeasti asennusmiehet saavat putket asennettua oikeaan asemaan. Kun putket ovat korossaan, pystyy pe-

räkone jälleen levittämään alkutäyttömateriaalia putken sivuille ja päälle. Putkien saaminen nopeasti suunniteltuun paikkaan ja korkeusasemaan edellyttää että mittamiehen ja asentajien välillä on jatkuva vuorovaikutus.

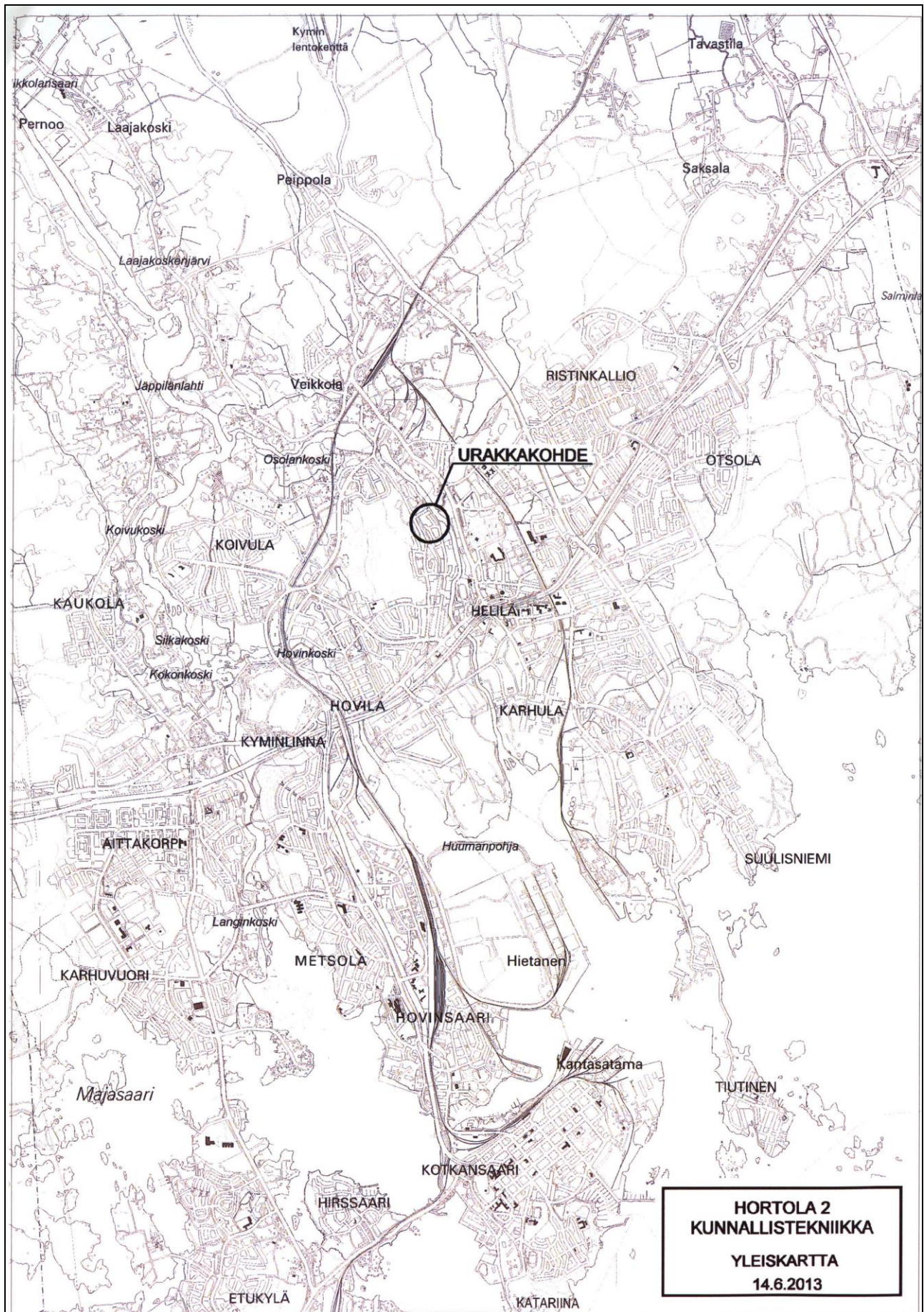
Tiivistystöiden eteneminen sekä tiiveysmittausten suoritus on myös osa asennustyöntekijöiden tehtävää. Tiivistystyöt täytyy tehdä saumattomasti rakennekerrosten levitysten yhteydessä. Valmiit rakennekerrokset on mitattava tasaisin välein että kerrosten tiiviyys voidaan varmistaa ja aikataulussa pysytään.

4 AHONLAIDAN PUTKIKAIVANNON RAKENTAMINEN HORTOLAN ALUEEN KUNNALLISTEKNIIKAN URAKASSA

Opinnäytetyöhön otettiin mukaan kunnallistekniikan työmaakohde, jonka aikataulu sattui juuri sopivasti opinnäytetyön aloittamisen aikoihin. Kohteesta valittiin tarkastelun kohteeksi Ahonlaidan tien putkikaivanto, jonka työmenetelmiä, työsaavutuksia ja kustannuksia seurattiin sen rakentamisen ajan. Tavoitteena oli löytää putkikaivannon käytännön toteutuksen kriittisimmät vaiheet joilla oli vaikutusta työn aikatauluun ja kustannuksiin. Seurannassa ei otettu huomioon pilaristabilointia, jota tehtiin Ahonlaidan pohjan vahvistamiseksi vaan keskityttiin pelkästään stabiloinnin jälkeisiin työvaiheisiin.

4.1 Urakan lähtötiedot

Urakka koski Kotkan Kalliokosken kaupunginosassa sijaitsevan Hortolan asemakaava-alueen kunnallistekniikan 2. vaiheen rakentamistöitä (kuva 25). Työ sisälsi katujen, jalkakäytävän, vesijohtojen, paineviemäreiden, jäte- ja hulevesiviemäreiden, jätevedenpumppaamon sekä katuvalaistuksen rakentamisen. Projektin rakennuttajan toimi Kotkan kaupungin kuntatekniikka, suunnittelija Ramboll Finland Oy ja toteuttajan Destia Oy.



Kuva 25. Urakkakohteen yleiskartta (Destia, 2013.)

4.1.1 Sopimusaikataulu

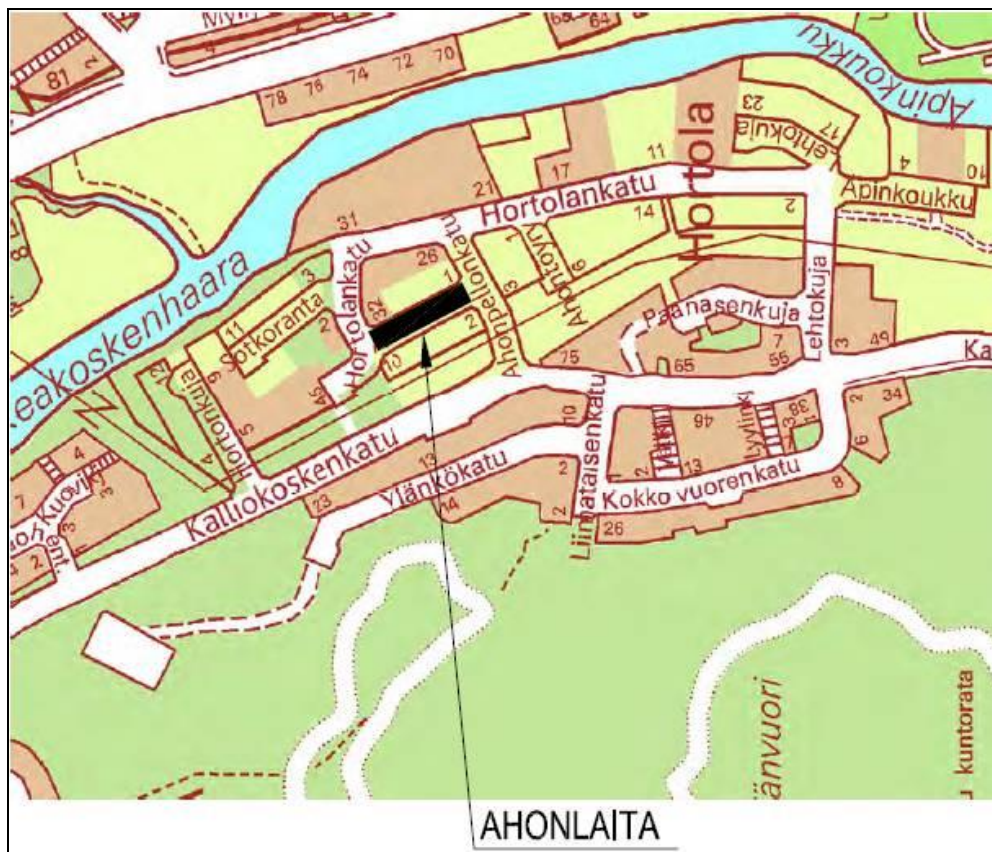
Urakan sopimusaikataulu oli 1.11.2013 - 13.8.2013 (Liite 1). Työaikataulu oli jaettu seuraavasti:

- Valmistelevat työt 1.11. – 29.11.13
- Pohjanvahvistustyöt 20.11.13 – 8.1.14
- Sotkonrannan kunnallistekniikan rakentaminen 25.11.13 – 10.2.14
- Ahonlaidan kunnallistekniikan rakentaminen 23.1. – 18.2.14
- Hortonkujan kunnallistekniikan rakentaminen 20.2. – 19.3.14
- Hortolankatu + J-raitin kunnallistekniikan rakentaminen 6.2. – 27.6.14
- Vastaanottotarkastus 13.8.14.

4.2 Ahonlaidan kunnallistekniikan rakentaminen

4.2.1 Lähtötiedot

Ahonlaita sijaitsee Hortolankadun ja Ahopellonkadun välissä. Kuvassa 26 on esitetty Ahonlaidan sijainti kartalla ja Kotkan kaupungin tekemä asemapiirustus on esitetty kuvassa 27. Ahonlaidan kunnallistekniikan rakentamisen suunniteltu aikataulu oli 23.1. – 18.2.14. Toteuttamisen ajoittaminen talvipakkasille oli tarkoituksenmukaista, sillä kohde sijoittui pääasiassa savikkopehmeikölle. Pakkasaikaan saavutettiin maan routimisen suoma etu, sillä kaivinkoneiden ja raskaiden kuorma-autojen liikkuminen alueella ei olisi normaalisti onnistunut. Kuten alueen pituus- ja poikkileikkauspiirrosten siipikairausmittauksista voi huomata, oli alue paikoitellen niin löyhää että kairauskoneen kaira upposi omalla painollaan savikerroksen läpi (Liitteet 2, 3 ja 4). Pehmeiköllä työskentely ei siis luonnollisesti olisi millään onnistunut. Alueelle suunniteltiin toteutettavaksi lisäksi pohjanvahvistustoimenpiteenä pilaristabilointi. Silti stabilointikoneiden alle jouduttiin rakentamaan raskaista puutukeista työmaareitti aina sitä mukaa kun stabilointi edistyi.



Kuva 26. Ahonlaidan sijainti Kotkan Hortolassa (Destia 2013.)

4.2.2 Maaperätiedot

Työmaan alue sijaitsee pääosin pehmeiköllä, jota reunustaa moreenialue pohjoisosassa. Pehmeiköllä oli havaittu maaperämittauksissa pehmeää savea, jonka paksuudeksi saatiin mittauksista 10-12m (Liitteet 2, 3 ja 4). Tästä paksuudesta 1-2m oli kuivakuorta. Saven alla oli siltti -ja moreenikerroksia. Pohjavedenkorkeutta ei ollut selvitetty, mutta sen oletettiin olevan lähellä maanpintaa. Alueella pohjaveden pinta vaihtelee merenpinnan mukaan. Kallionpinnan korkoa ei ollut varmistettu ja piirustuksissa esitetyt kallionpintatasot arvioitiin alueella tehtyjen kevytkairausten mukaan. Kotkan kaupunki on tehnyt alueella maastomallimittauksia ja niitä on täydennetty vuonna 2012 tehdyillä maaperätutkimuksilla. Maaperätutkimukset sisälsivät muun muassa siipikairausmittauksia, joissa mitattiin saven leikkauslujuutta sekä vesipitoisuutta (Liite 6).

4.2.3 Työn laajuus

Työn laajuus käsitti Ahonlaidan tien ja vesihuoltolinjan rakentamisen. Työ oli jaettu karkeasti kolmeen vaiheeseen, stabilointiin, vesihuoltolinjan rakennukseen ja tien rakentamiseen. Kuvassa 28 on esitetty kuva jokaisesta työvaiheesta. Vaiheet oli eritelty seuraavasti:

- stabilointi paaluvälille 10–115, johon sisältyi
 - o pilaristabilointi
 - o kuivumisaika 4 viikkoa
- vesihuoltolinjan rakennus paaluvälille 0-115, johon sisältyi:
 - o pintamaan poisto ja maan leikkaustyöt
 - o putkikaivannon kaivutyöt, arinan ja asennusalueen rakentaminen
 - o putkien asennus
 - o alkutäyttö ja lopputäyttö
 - o eroosiosuojauksen teko
 - o massan vaihto
- tien rakennus paaluvälille 0-140, johon sisältyi:
 - o pintamaan poisto ja maan leikkaustyöt
 - o suodatinkankaan asennus
 - o jakavan kerroksen rakentaminen
 - o kantavan kerroksen rakentaminen.



Kuva 28. Pilaristabiloitu maa, vesihuoltolinjan rakennus ja Ahonlaidan tien rakentaminen Ahonpellonkadulta katsottuna. (Kuvat: Otto Rekula 2014.)

4.2.4 Laadunvarmistus

Ahonlaidan putkikaivannon rakentamisen laadunvarmistus koostui lähinnä kaivannon rakennekerrosten tiiviysmittauksista sekä vesihuollon tiiviyskokeista. Rakennekerrosten tiiviysmittaukset suoritettiin Loadman-pudotuspainolaitteella (kuva 29). Taulukossa 8 on esitetty laadunvarmistusmatriisi, jossa määritellään putkikaivannon rakenneosien mittausvaatimukset ja toleranssit.



Kuva 29. Loadman-pudotuspainolaite (Metsäntutkimuslaitos 2011.)

Loadman on kannettava pudotuspainomittauslaite, jolla tehdään kantavuus- sekä tiiviysmittauksia. Paino tiputetaan laitteen yläpäästä alas, jolloin kiihtyvyyssanturi mittaa painon aiheuttaman kuormituksen. (AL-Engineering Oy 2014.) Laitteella saadaan mitattua mittauspisteen alla olevan kerroksen kantavuusarvot. Yksinkertaisella laskukavalla saadaan laskettua tiiviyssuhde, joka vastaa suuntaa antavasti proctor-kokeen tulosta.

Taulukko 8. Putkikaivantojen ja putkien laadunvarmistusmittausvaatimukset (Destia 2013.)

Laatumuuttuja	Toleranssi		Yksikkö	Toimenpide	Menetelmä	Mittaustiheys	Dokumentti	Suorittaja
	Ylä	Ala						
Asennusalustan epätasaisuus	5mm	5mm	mm/m	Mittaus	Takymetri	1 / 100 m	Tarkastusraportti+tulokset	Työvaiheen tekijä + mittamies
VJ Asennusalustan tiiviys	2,9			Mittaus	Pudotuspainolaite	1 / 100 m	tarkastusraportti	Työvaiheen tekijä
VJ tiiviys			paineen alenema					
VJ Desinfointi								
Vietto- ja paineviemäri, sallittu korkeuspoikkeama	50mm		mm/kaivoväli tai kaltevuuspoikkeama max. 1,5prom.	Mittaus	Takymetri	1/kaivoväli		
Paineviemäri, tiiviys			30mn /enintään 20kPa aloituspaineen alapuolelle					
Vietto JV viemäri, tiiviys			Painekoe, paineen lasku väh. Aika 160s (jos DN 160)					

4.2.5 Putkikaivannon toteutus

Ahonlaidan rakentamisen tavoiteaikataulu oli 23.1 – 18.2.2014, jolloin täysiä työpäiviä tuli yhteensä 19. Aikataulussa oli otettu huomioon varaukset mahdollisista kovista pakkaspäivistä johtuen, jolloin putkia ei voida asentaa niiden halkeamisriskin vuoksi. Näitä pakkaspäiviä oli huomioitu mukaan 5. Putkikaivannon tavoiteaikataulussa aloitus oli 27.1. ja tästä viivästyttiin 2 päivää. Putkikaivannon rakentaminen alkoi siis 29.1.2014. Kaikki Hortolan urakan työkohteet toteutettiin suhteellisen pienellä työryhmällä. Ahonlaidan työryhmään kuului 2 kpl tela-alustaisia kaivinkoneita, 2 kpl kuorma-autoja, 3 rakennusmiestä ja mittamies. Putkikaivanto rakennettiin seuraavassa järjestyksessä:

1. pintamaan poisto
2. maan leikkaus
3. putkikaivannon kaivu ja murskearinan rakentaminen
4. putkityöt, alkutäyttö ja tiivistystyöt
5. lopputäyttö ja tiivistystyöt.

Pienpuusto, raivausjätteet, pintamaat sekä muu kelpaamaton epäkurantti materiaali poistettiin työmaa-alueelta, putki- ja johtorakenteet purettiin sekä vanhojen putkien päät tulpattiin ja kaivot täytettiin betonilla. Osa vanhoista putkista ja kaapeleista jäi

käyttöön. Teoreettinen poistettava pintamaan määrä laskettiin 0,2m paksuisena. Pintamaa kartoitettiin, puiden kannot poistettiin ja alueella olleet johdot siirrettiin.

Pohjanvahvistustoimenpiteet tehtiin paaluvälille 10–115 pilaristabiloinnilla. Vaadittu lujuus stabiloidulle maalle saavutettiin 4 viikon kuluttua stabiloinnista. Pilaristabilointi toteutettiin 600mm pilareilla jotka ulotettiin savikerroksen alapintaan. Savikerros oli Ahonpellon päässä noin 10m paksuinen ja mataloitui noin 3 metriin Hortolankadun päähän, kuten liitteen 2 kairauskuviosta nähdään. Pilarien yläpää sijoittui putkikaivannon asennusalustan alapintaan. Pilareiden leikkauslujuusvaatimus oli 120kPa ja työstä pidettiin pöytäkirjaseurantaa.

Putkikaivanto toteutettiin paaluvälille 0-115 luiskattuna kaivantona. Tyypik kuva putkikaivannosta löytyy liitteestä 2. Kaivutyö tehtiin sivuttaiskaivuna kahdella telalustaisella kaivukoneella. Poikkileikkaus leikattiin ensin lopputäytön yläpintaan asti ja putkikaivannon viereen rakennettiin työmaatie (kuva 30). Noin 3 metriä leveä putkikaivanto toteutettiin 2:1 luiskalla ja pohjalle rakennettiin suodatinkankaan N3 päälle 300 mm murskearina, jonka raekoko oli 0...32 mm. Asennusalustana käytettiin 0...16mm murskettä ja sen päälle asennettiin 110 mm, paineluokan 10 PE-vesijohtotonttiliittymiseen (kuva 31). Alkutäytön materiaalina käytettiin samaa materiaalia kuin asennusalustaan. Materiaalin tiivistäminen putken sivuille tehtiin käsin ja tiivistystä jatkettiin koneellisesti tärylätkällä siinä vaiheessa kun täyttömateriaalia oli vähintään 300 mm putken päällä (kuva 12). Alkutäyttöön asennettiin lisäksi 160 mm SN 8 jätevesiviemärit ja 200 mm SN 8 hulevesiviemärit suunnitelmien mukaiseen kokoon sekä rakenne tiivistettiin Proctor-kokeen 95 % vastaavaan tiiviyssasteeseen. Vesijohdot, hulevesi- sekä jätevesiputket liitettiin Ahonpellonkadun päästä aikaisemmin tehtyihin liittymiin ja viemäriin. Lopputäyttö tehtiin kaivumailla ja tiivistettiin 90 % tiiviyssasteeseen. Tiiviyskokeet tehtiin Loadman-pudotuspainolaitteella.



Kuva 30. Ahonlaidan putkikaivanto. Oikealla rakennettu työmaatie. (Kuva: Otto Rekula 2014.)



Kuva 31. Putkikaivantoon asennetut putket. (Kuva: Otto Rekula 2014.)

Kuvassa alimpana olevat putket ovat vesijohtoja sekä viemäreitä ja ylempänä olevat värikkäät putket tietoliikenneverkkojen suojaputkia ja kaasuputkia. Kuvassa Ahonlaidan ja Hortolankadun liittymä.

4.2.6 Rakentamisen työmenetelmät ja kriittiset työvaiheet

Kaivanto toteutettiin pääpiirteittäin sivuttaiskaivuna kuten kuvassa 29. Kaivutapa on jossain määrin epätyypillinen putkikaivantojen rakentamiseen, sillä haastateltujen perusteella putkikaivannot toteutetaan pääasiassa kaivannon päistä kaivamalla. Työmaatie sivussa mahdollisti kuitenkin kaivinkoneen liikkeen koko tien pituudelta ja näin molemmat koneet pystyivät levittämään alkutäyttömateriaalia jota voitiin toimittaa suoraan kuorma-autolla koko tien pituisesti.

Kriittisin yksittäinen työvaihe kohteessa oli odotetusti putkien asennus. Putkien asentaminen oikeaan korkeusasemaan ja hitsaustyöt ovat tarkkoja työvaiheita ja hidastavat koko rakentamisketjua aina viivästyksen sattuessa. Esimerkkikohteen asennustyöt kuitenkin sujuivat lähes ongelmitta ja enemmiltä viivästyksiltä säästyttiin. Työnsuunnittelussa oli huomioitu hyvin kuorma-autojen ja kaivukoneiden liikkuvuus.

Kohteessa oli ihanteellinen tilanne siinä suhteessa, että rakennettava tie oli uusi eikä viereisillä tonteilla ollut vielä rakennuksia. Näin välttyttiin turhalta ulkopuoliselta työmaaliikenteeltä ja tie saatiin rakennettua kerralla ilman keskeytyksiä. Työtä helpotti myös molemmissa päissä oleva tienristeys jota voitiin käyttää hyödyksi sekä materiaalin- että työkoneiden kuljetuksissa. Työkoneet eivät olleet toistensa tiellä työmaatiellä missään vaiheessa sillä ne pystyivät kiertämään päistä pois helposti.

4.2.7 Työn tuottavuuteen vaikuttaneet asiat

Työn edetessä pyrittiin havainnoimaan käytännön ratkaisuja, joita työnjohto ja työntekijät tekivät parantaakseen työsaavutuksia. Havainnot tehtiin haastatteleamalla työtä tehneitä henkilöitä sekä itse seuraamalla sivusta työn kulkua. Työnsuunnittelussa ja työn aikana tehtiin erilaisia työn tuottavuuteen vaikuttaneita käytännön toimenpiteitä, kuten:

- aloitusedellytysten tarkistuslista tehtiin ennen työmaan aloitusta
- työsaavutuksista ja kustannuksista pidettiin kirjaa
- johtosiirrot tehtiin ajoissa ennen rakennuksen aloittamista
- hankinnat työmaalle hoidettiin ajoissa
- asennustyöntekijät sekä kaivukoneiden kuljettajat tutustutettiin kohteeseen ja suunnitelmiin hyvin ennen töiden aloitusta

- tasakärkisiä kauhoja käytettiin kynnellisten sijaan, joka vähensi maan löyh-
tymistä
- käytettiin mahdollisimman leveitä kauhoja putkikaivannon kaivussa, joka
vähensi hukkaa ja paransi työsaavutuksia
- vesihuoltomateriaalit sijoitettiin maastoon lähelle asennuspaikkoja
- putkien ja kaivojen kunto ja määrät tarkistettiin hyvissä ajoin ennen asen-
tamista
- alkutäyttö tehtiin erissä siten, että jokainen täyttökerros ulottui aina seuraavien
putkien asennuskorkoon saakka
- kaivinkoneet osallistuivat materiaalien sekä tiivistyskoneiden nostoihin
- putkien hitsausluvut usealla eri työntekijällä poissaolevien henkilöiden
paikkaamisen varmistamiseksi.

Tästä voidaan päätellä, että käytännön kaivutöissä lukuisat pienet asiat vaikuttavat yhdessä työn tuottavuuteen. Työnjohto onkin erittäin tärkeässä asemassa valmistele-
massa ja toteuttamassa näitä päätöksiä.

4.2.8 Kustannukset

Kaikki seuraavat kustannukset on esitetty kustannustaulukossa liitteessä 7. Luvut ovat Destia Oy:n sallassapidettävää tietoa. Ahonlaidan putkikaivannon yhteiskustannuksiksi laskettiin tavoitearviosta xx xxx,xx €. Näistä kustannuksista maan leikkaukselle, mas-
sojen kuljetukselle penkereisiin sekä täyttöihin jäi x xxx,xx €, putkikaivannon kaivu-
ja täyttötöihin xx xxx,xx € ja putkitustöihin x xxx,xx €.

Kustannuksissa ei siis otettu huomioon ollenkaan materiaalimenekkejä vaan ainoas-
taan työn osuus. Jo kokonaiskustannusarvioista huomaa, että kaivu- ja täyttötyöt ovat
suurin kuluerä putkijohtokaivannon rakentamisessa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että
työnsuunnittelussa ja muussa valmistelussa työkoneiden työhön on keskityttävä eni-
ten. Suurin kulu nousee koneiden käyttökustannuksista, mutta niiden käytön tehosta-
miseksi täytyy niille valmistella ”mestaa” valmiiksi sekä työnjohdon että erityisesti
asennustyöntekijöiden toimesta. Ahonlaidan rakentamisessa kuitenkin asennustyönte-
kijöiden ja koneenkuljettajien yhteistyö oli saumatonta ja molemmat tukivat toisiaan.

Yhteensä 150 metriä pitkän putkikaivannon rakentamiselle oli suunniteltu 16 työpäivän kesto. Työn toteutuksessa 20:tä viimeistä metriä ei kuitenkaan rakennettu loppuontontiliittymien kohdalta, joten tarkasteltava osuus vähennettiin 130 metriin. Tämän 130 metrin pituisen kaivannon toteutukseen meni 12 päivää, josta kolmena päivänä työtä ei tehty. Rakentaminen tapahtui siis kaiken kaikkiaan 9 työpäivässä.

Laskennallisesti 130 metrin tavoitearvion kustannuksiksi jäi xx xxx €. 9 työpäivän aikana toteutunut etenemä oli siis keskimäärin noin 14,5 metriä päivässä.

Kustannukset laskettiin yksikköhinnoiksi euroa per metri. Putkikaivannon lopussa keskimääräinen toteutunut yksikköhinta kaivannolle oli xxx,xx €/m.

Tavoite-etenemä oli 16 päivän ajanjaksolla keskimäärin noin 8 metriä päivässä. Tavoitearvion suunniteltu yksikköhinta oli 130 metrin jälkeen xxx,xx €/m, joten toteutunut yksikköhinta oli lähes sama kuin suunniteltu. Tarjousvaiheen laskennassa oli kustannusarviossa onnistuttu siis hyvin.

Kustannusseurannan käyristä voidaan päätellä, että työkeskeytykset hidastuttivat alussa työn etenemistä ja kasvattivat rakentamisen loppuvaiheen yksikköhintaa. Lopussa ongelmitta sujuneen rakentamisen ansiosta otettiin kuitenkin aikataulua kiinni ja yksikköhinta tippui tavoitteen yksikköhinnan tasolle, vaikka aikataulusta viivästyttiinkin hiukan.

Yksikköhinta oli myös lähes kaksinkertainen samassa urakassa olleeseen Sotkonrannan kunnallistekniikan rakentamiseen, jossa yksikköhintaan vaikuttivat muun muassa laajat louhinnat ja lisätyöt. Ahonlaidan rakentamisen aikainen leuto talvi, pohjaolosuhteiden perusteellinen tietämys ja stabilointi auttoivat myös osaltaan kohteen onnistumiseen.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä löydettiin monia työn tehokkuuteen, kustannuksiin ja aikatauluun vaikuttavia asioita. Tämä tulee esille myös käytännön työmaakohteen esimerkistä. On syytä korostaa, että jokainen työmaa on täysin yksilöllinen. Työmaan olosuhteilla, kuten työmaan tiloilla, vuodenajalla ja sääolosuhteilla on jo pelkästään merkittävä vaikutus työn edistymiseen. Myös täysin sattumanvaraisia riskejä, kuten koneiden hajoamisia, on aina olemassa, eikä niihin voida varautua muuten kuin yrittämällä löytää mah-

dollisimman hyvä keino selviytyä tilanteesta. Tässä korostuu työnjohdon ja työporukan ongelmanratkaisukyky.

Jo pelkästään kirjallisuutta lukemalla ja työmaalla havainnoimalla voidaan päätellä, että työn suunnittelulla, työvaiheiden saumattomalla ketjuttamisella ja työntekijöiden ammattitaidon kehittämisellä on tärkein vaikutus työn tehokkuuteen olosuhteista riippumatta. Kunnallistekniikan rakentamisessa käytetään pääasiassa vuosikymmenien varrella tullutta henkilökohtaista kokemusta hyödyksi työmenetelmien valinnassa.

Opinnäytetyön esimerkkikohteen tarkasteluissa ongelmana oli, että ei ollut olemassa toista vastaavaa kohdetta, mihin verrata siinä käytettyjä työmenetelmiä. Alun perin tarkoituksena oli verrata kahta eri työmenetelmällä tehtävää kohdetta Hortolan urakassa, mutta muutokset työmaalla johtivat siihen, että koko urakka tehtiin melko samantyyppisillä menetelmillä ja työryhmillä. Lisäksi työkohteet olivat vain noin reilun 100 metrin pituisia, ja näin pienillä työmailla pelkän työn aloituksen ja lopetuksen osuus on suuri. Todennäköisesti se vie vertailtavasta tiedosta uskottavuutta, koska kustannustietoa ei voida luotettavasti vertailla. Opinnäytetyön perusteella voi ehdottaa jatkotutkimukseksi tulevaisuudessa opinnäytetöissä kustannusvertailua esimerkiksi koneautomaatiolla toteutetun putkikaivannon ja perinteisin työmenetelmin toteutetun putkikaivannon välillä. Siinä voitaisiin jo huomata eroja työsaavutuksissa. Tätä varten tulisi kuitenkin käsitellä huomattavasti suurempia kohteita tulosten luotettavuuden varmistamiseksi.

Käytännön esimerkkikohteet kuitenkin varmensi teoriaosuuden ajatuksia työn tuottavuuteen vaikuttavista asioista, kuten työn suunnittelun tärkeydestä, aikataulutuksesta, materiaalien hoitamisesta työmaalle oikeaan aikaan ja työkoneiden käytön maksimimisesta. Työnjohdon vastuu materiaalien hankkimisesta työmaalle oikeaan aikaan ja työntekijöiden tarvittava perehdytys rakennusprosessiin olivat tärkeässä roolissa myös käytännön töissä.

LÄHTEET

AL-Engineering Oy, 2014. Loadman, kannettava pudotuspainolaite. Al-engineering.fi. Saatavissa: <http://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html> [viitattu 14.4.2014].

Fortum Oy, 2013. Putkikaivanto ja ylös nousukulmat. Fortum.com. Saatavissa: http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionImages/Kaukolampo/Putkikaivanto_2012.jpg [viitattu 16.4.2014].

Hartikainen, O.-P. 1995. Maanrakennustekniikka. Espoo: Tekijä ja Otatieto Oy.

KT-Tuenta Oy, 2007. VB 60-tukielementti. KT-Tuenta.fi 2007. Saatavissa: <http://www.kt-tuenta.fi/uploads/files/VB60.JPG> [viitattu 25.3.2014].

Kuljetusliike Usvola Oy, 2014. Volvo ew180b. Kuljetusliikeusvola.fi. Saatavissa: <http://www.kuljetusliikeusvola.fi/pyorakuormaajat.html> [viitattu 25.3.2014].

Metsäntutkimuslaitos, 2011. Loadman-pudotuspainolaite. Metla.fi. Saatavissa: http://www.metla.fi/uutiskirje/metpro/2011-4/img/Loadman_260_AJ.jpg [viitattu 14.4.2014].

Rakennustieto Oy, 2006. InfraRYL 2006: Osa 1 Väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

R. Rautava Oy, 2014. Sorakuopan maisemointia Urjalassa. Rautava.fi. Saatavissa: <http://rautava.fi/kaivuutyö.php> [viitattu 25.3.2014].

Ruukki Oyj, 2014. Tuotteet ja ratkaisut. Ruukki 2014. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Tukiseinarakenteet/Combi-seinat> [viitattu 25.3.2014].

RIL 181–1989 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, 1989. Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 263–2014 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, 2014. Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 77–2013 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, 2013. Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Tiehallinto, 2004. Tienrakennustöiden yleiset työselitykset ja laatuvaatimukset. Kuvatusrakenteet ja putkistot. Helsinki: Edita Prima Oy

Työsuojeluhallinto, 2010. Kapeat kaivannot. Tampere: Aluehallintovirasto.

Uponor Oy 2009. Yhdyskuntatekniikan käsikirja: Uponor viettoviemärijärjestelmät. Uponor.fi 04/2009. Saatavissa:

<https://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Technical%20Handbook%20INF/051Johdantoviettoviemrit042009.pdf> [viitattu 25.3.2014].

Wikipedia, 2014. Municipal or urban engineering. Saatavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/Municipal_or_urban_engineering [viitattu 25.3.2014].