OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

KAIVAMATTOMAT TEKNIIKAT KUNNALLISRAKENTAMISESSA

Reijo Honkaharju

Diplomityö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2016

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Ympäristötekniikan koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Honkaharju, Reijo		Työn ohjaaja yliopistolla Kujala, K Prof.	
Työn nimi Kaivamattomat tekniikat kunnallisrakentamisessa			
Opintosuunta Vesi- ja geotekniikka	Työn laji Diplomityö	Aika Toukokuu 2016	Sivumäärä 103 s.

Tiivistelmä

Työssä kartoitettiin yleisimmät Suomessa uuden putkilinjan rakentamiseen käytetyt kaivamattomat menetelmät, sivuten kaivamattomia putkistojen saneerausmenetelmiä. Työssä selvitettiin eri menetelmien etuja ja ongelmakohtia, sekä esiteltiin yleisimpiä alituskohteita kaivamattomille menetelmille. Työssä selvitettiin kaivamattomien menetelmien ominaisuudet ja soveltuvuudet eri maalajeissa ja olosuhteissa. Työssä selvitettiin eri menetelmille soveltuvia putkimateriaaleja ja – halkaisijoita, sekä suuntaa-antavasti menetelmien asennuspituuksia, -syvyyksiä ja -tarkkuuksia. Myös maaperän ja maanalaisten rakenteiden yleisimmät tutkimusmenetelmät selvitettiin ja lisäksi esiteltiin uusi putkien paikantamislaite putkitutka.

Työn tavoitteena on saada kaivamattomien menetelmien vaihtoehto oleelliseksi osaksi kunnallistekniikan suunnittelua ja rakentamista. Kaivamattoman menetelmän käyttäminen kohteessa on aina tapauskohtaista. Kaivamattomilla menetelmillä on useita etuja verrattuna perinteiseen kaivamalla tapahtuvaan putkilinjojen rakentamiseen, mutta menetelmillä on myös haittapuolensa. Näitä etuja ja haittapuolia käsitellään tässä työssä. Työssä on pyritty esittämän kaikki tarpeelliset tiedot menetelmistä, jotta löydetään mahdollisimman soveltuva työmenetelmä eri käyttökohteisiin. Työssä on esitetty mitä kaikkea suunnittelijan tai tilaajan on otettava huomioon alituksia suunniteltaessa ja mitä lähtötietoja eri menetelmät tarvitsevat.

Työn aineisto hankittiin kirjallisuustutkimuksen, asiantuntija- ja työntekijähaastatteluiden avulla, sekä seuraamalla töitä alituskohteissa. Lisäksi haastateltiin maahantuojia ja laitevalmistajia, joilta saatiin tietoa ja tärkeää aineistoa. Alan urakoitsijoilta ja porareilta sai yksityiskohtaista tietoa rakentamisen toteuttamisesta. Suomenkielistä kirjallisuutta on kaivamattomista menetelmistä niukasti, joten suuri osa tiedosta ja tuloksista on peräisin alan ammattilaisilta.

Kaivamattomia menetelmiä on useita erilaisia pienillä variaatioilla ja menetelmät kehittyvät jatkuvasti. Tässä työssä esitetyt menetelmien rajoitukset voivat olla jo vanhentuneita muutaman vuoden kuluttua. Tämän työn tulokset ovat suuntaa-antavia ja niistä voivat hyötyä opiskelijat, tilaajat, suunnittelijat sekä urakoitsijat.

Muita tietoja

ABSTRACT
FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Environmental engineering		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Honkaharju, Reijo		Thesis Supervisor Kujala, K Prof.	
Title of Thesis Trenchless methods in civil engineering			
Major Subject Water- and geo engineering	Type of Thesis Master's Thesis	Submission Date May 2016	Number of Pages 103 s.

Abstract

The most common trenchless methods in building new pipelines were covered in this thesis as well as some trenchless pipeline renovation methods. The pros and cons of different trenchless methods and the most common sites in which they are used were evaluated. The features and the applicabilities for different types of soils and conditions were determined for the trenchless methods. The thesis also covers the pipe materials and diameters applicable for each method, as well as approximate installation lengths, depths and precisions of the methods. The most common research methods for determining soils and underground structures were also presented and a new apparatus called a All Material Locator for locating pipes was introduced.

The objective of the thesis was to solidify the status of trenchless methods as important options in designing and building infrastructure. The utilization of trenchless methods is always determined case-by-case. Trenchless methods have several benefits compared to traditional pipeline construction by excavation, but they also have some drawbacks. These benefits and drawbacks were evaluated in this thesis. Another objective of this thesis is to present enough information on different methods to determine the most suitable method for different cases. Pointers on what the designer or the client has to take into account and what initial data they need for crossings are also presented.

The material for this thesis was obtained from a literary survey, interviews of specialists and contractors as well as by monitoring different working sites. Interviews with importers and manufacturers also produced valuable information and data. Contractors working on drilling sites provided specific information on the execution aspects. Finnish literature on the subject is on short supply, so most of the material for the thesis was gathered straight from the specialists.

There are already multiple trenchless methods with small variations and the methods are constantly evolving. The restrictions for the methods presented in this thesis may already be outdated in a few years. The results of the thesis are directional and can be benefited from by students, clients, designers and contractors alike.

Additional Information

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty omasta aloitteestani Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan vesi- ja ympäristötekniikan tutkimusyksikölle tammikuun 2015 ja toukokuun 2016 välisenä aikana. Sen rahoittamiseen on osallistunut Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys ry FiSTT, Maa- ja vesitekniikan tuki ry, sekä Suomen vesilaitosyhdistys ry, joille esitän kiitokseni avusta. Työssä selvitetään Suomessa yleisimmin käytetyt uuden linjan kaivamattomat menetelmät, niiden ominaisuuksineen ja rajoituksineen.

Työtä valvoivat Kauko Kujala ja Anne Tuomela Oulun yliopistosta, joita haluan kiittää kärsivällisyydestä ja ohjauksesta. Työtä ohjasi myös Suomen kaivamattoman tekniikan ry FiSTT, joiden jäsenistä haluaisin kiittää Jukka Huuskoa ja Jari Kaukosta, sekä muita osallistuneita. Erityisesti haluaisin kiittää Maanrakennus B. Dahlbacka Oy:ltä Johan Dahlbackaa, Jukka Mikkolaa ja Mikko Paavolaa. Heiltä sain työhöni materiaaleja ja mahdollisuuden seurata töitä työmaalla kaksi viikkoa. Entisenä työnantajanani Maanrakennus B. Dahlbacka on antanut käytännön oppia maanrakennustöistä ja kaivamattomista tekniikoista. Lisäksi haluaisin kiittää Geonex Oy:n Kimmo Juvania ja Tuomas Lassheikkiä. Haluan kiittää myös kaikkia muita työssäni avustaneita.

Kiitokseni osoitan myös avovaimolleni ja vanhemmilleni kannustuksesta ja kärsivällisyydestä.

Oulussa 10.05.2016

Reijo Honkaharju

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 7
1.1 Tutkimuksen taustaa 7
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset 8
2 Kaivamattomat tekniikat 9
2.1 Suuntaporaus 10
2.1.1 Käyttökohteet ja soveltuvuudet 12
2.1.2 Suuntaporakoneet ja kalusto 16
2.2 Työntöporaus 17
2.2.1 Ohjattava työntöporaus 18
2.3 Vasaraporaus 20
2.4 Junttaus 24
2.5 Myyräys 25
2.6 Saneerausmenetelmät 26
3 Alituksen ja linjan suunnittelu 33
3.1 Maaperä 34
3.1.1 Kallioperä ja maaperä 34
3.1.2 Maaperän tutkimusmenetelmät 36
3.1.3 Maanalaisten rakenteiden tutkimusmenetelmät 42
3.2 Suunnitteluperusteet putkilinjan rakentamismenetelmään 44
3.2.1 Menetelmien soveltuvuudet eri maalajeissa ja olosuhteissa 46
3.2.2 Maantiet 48
3.2.3 Ratarakenteet 52
3.2.4 Vesistöjen alitukset 53
3.2.5 Menetelmien kustannukset 54
3.3 Putkilinjan saneeraus 56
3.4 Putkimateriaalit 57
3.4.1 Putkimateriaalien ominaisuuksia 58
4 alituksen ja linjan rakentaminen 64
4.1 Työn suunnittelu ja toteuttaminen 64
4.1.1 Asennus suuntaporaamalla 64
4.1.2 Asennus vasaraporaamalla 78
4.2 Työntekijöiden koulutus kaivamattomissa menetelmissä 82

4.3 Putkien liitostyöt 82
4.4 Laadunvarmistus 84
5 rakentamismenetelmien vertailu 87
5.1 Perinteinen kaivumenetelmä vs. kaivamaton menetelmä 89
6 Menetelmien kehitys 91
6.1 Vasaraporaus, paikannus ja ohjattavuus 91
6.2 Maalämmön asentaminen suuntaporaamalla 91
6.3 Suuntaporaamisen hyödyntäminen pohjarakentamisessa 92
6.4 Menetelmien kombinaatiot 92
6.5 Muita kaivamattomia menetelmiä uuden putkilinjan asentamiseen 92
7 Case 95
8 yhteenveto 97
LÄHDELUETTELO 99

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Nykypäivänä kaivamattomien tekniikoiden (trenchless technology) käyttäminen rakentamisessa on lisääntynyt nopealla tahdilla. Suomi on vielä jäljessä kaivamattomien tekniikoiden alalla verrattuna muihin Euroopan maihin. Monissa Suomen kaupungeissa putkijohtojen rapistuminen ja kaupunkien laajeneminen lisää kaivamattomien tekniikoiden tarvetta. Kaivamattomia tekniikoita tarjoavat urakointifirmat ovat lisääntyneet viime vuosikymmenien aikana. Tällä hetkellä Suomessa toimii parisenkymmentä suuntaporaus-palveluita tarjoavaa urakoitsijaa. Osalla urakointifirmoista on jo alalla vuosikymmenien kokemus ja suuri asiantuntemus. Vuonna 1999 perustettiin Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys ry. Kaivamattomista tekniikoista käytetään uuden linjan rakentamisessa myös nimitystä alitustekniikka.

Kaivamattomien tekniikoiden käyttö kunnallisrakentamisessa täytyy ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, varsinkin jos alueella on ennestään rakennettua infrastruktuuria, jolloin säästytään rikkomasta vanhoja rakenteita ja pintoja perinteisellä kaivamalla tapahtuvalla rakentamisella. Menetelmät soveltuvat kaupunkikohteisiin, ympäristösuojelualueille ja muihin kohteisiin, joissa kaivaminen on mahdotonta tai ei toivottua. Perinteinen kaivamalla tapahtuva putkirakentaminen aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ympäristölle (polttoaineet, maa-ainekset, kaivantojen tuennat, pohjaveden lasku, pinnoitukset), sekä ylimääräisiä haittoja ympäristölle (haitat liikenteelle ja asukkaille, melu, pöly, haitat maisemalle, päästöt ilmakehään). Mitä syvemmälle putkien asennus tapahtuu, sitä parempi kaivamattomien tekniikoiden kilpailukyky on verrattuna perinteiseen kaivumenetelmään. Suotuisissa olosuhteissa kaivamattomien tekniikoiden käyttö on nopeampaa ja halvempaa kuin perinteinen kaivamalla tehtävä putkilinjan rakentaminen.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

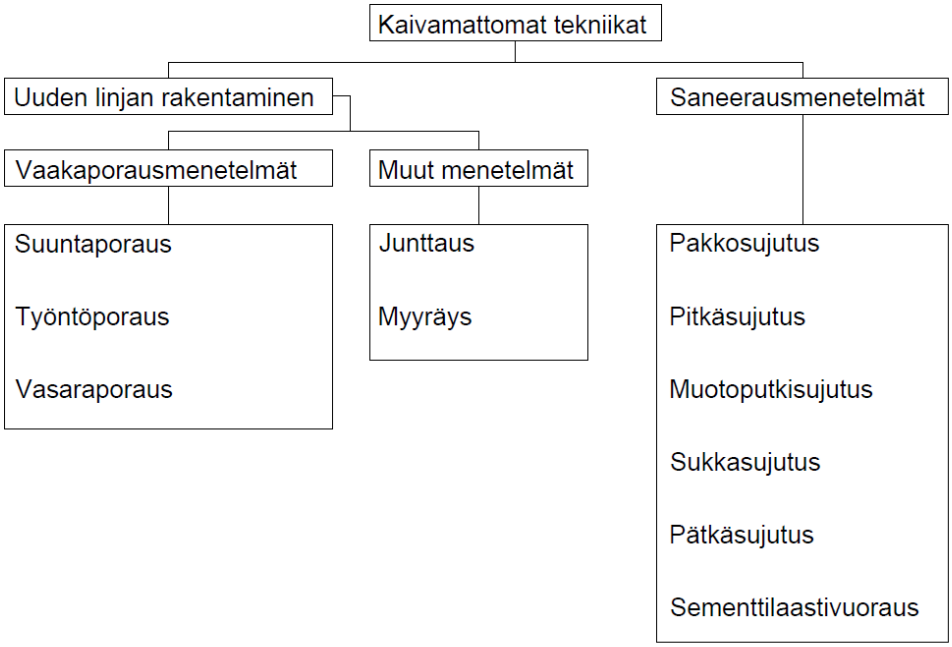
Tutkimuksen tavoitteena on tehdä suomenkielinen ohje suunnittelijoille, opiskelijoille, tilaajille, rakennuttajille ja urakoitsijoille. Tarkoituksena on saada kaivamattomien tekniikoiden vaihtoehto oleelliseksi osaksi kunnallisrakentamisen putkiverkostojen suunnittelua ja rakentamistöitä. Tavoitteena on parantaa suunnittelun ja rakentamisen laatua. Pääpainopisteenä tutkimuksessa ovat yleisemmät kaivamattomat menetelmät uuden linjan rakentamisessa. Tutkimuksessa selvitetään erilaisten kaivamattomien tekniikoiden käyttömahdollisuudet kunnallisrakentamisessa (haitat, hyödyt, kustannukset, turvallisuus, riskit, ympäristö, ajankäyttö, kehittäminen, soveltuvuus). Erilaisia kaivamattomia tekniikoita uudisrakentamisessa ovat mm. suuntaporaus, työntöporaus, ohjattu työntöporaus, vasaraporaus, mikrotunnelointi, myyräys ja junttaus.

Työssä kartoitetaan Suomessa käytetyt yleisimmät alitustekniikat ja selvitetään eri putkimateriaalien soveltuvuus käyttökohteisiin ja käytettävään tekniikkaan. Työssä kartoitetaan eri maalajiolosuhteille soveltuvia tekniikoita, pyritään löytämään oikea menetelmä oikeaan käyttökohteeseen. Ongelmien vähentämiseksi kartoitetaan menetelmien yleisimmät riskit ja ongelmakohdat. Lisäksi selvitetään maaperän ja maanalaisten rakenteiden todentamiseen käytettävissä olevat menetelmät ja lähtötiedot, jotka ovat erittäin tärkeä osa kaivamattomalla tekniikalla suoritettuun onnistuneeseen asentamiseen.

2 KAIVAMATTOMAT TEKNIIKAT

Kaivamattomia tekniikoita putkilinjan asentamiseen on useita erilaisia ja menetelmien ja laitteiden kehitys on nopeasti kasvava ala. Menetelmien nopea kehitys asettaa verkostorakentamiseen ja suunnitteluun jatkuvasti uusia mahdollisuuksia. Poraus- ja alitusreittejä suunniteltaessa ja rakentaessa maaperän tutkimustiedot ovat ensisijaisen tärkeitä, jotta voidaan valita alitustekniikoista kohteeseen sopivin. Työn tilaajan tai suunnittelijan tulee tietää menetelmien vaatimukset, rajoitukset ja käyttöominaisuudet. Kaivamattomien menetelmien suurin ammattitaito löytyy tällä hetkellä Suomessa alalla jo vuosia toimineiden urakoitsijoiden, asiantuntijoiden, laitevalmistajien ja maahantuojien keskuudessa.

Kaivamattomat tekniikat voidaan jaotella kahteen pääryhmään: saneerausmenetelmiin ja uuden linjan rakentamismenetelmiin. Uuden linjan rakentamismenetelmät voidaan jakaa edelleen ryhmiin ominaisuuksiensa perusteella. Kuvassa 1 on esitetty suomessa yleisimmät kaivamattomat tekniikat.



Kuva 1. Yleisimmät Suomessa käytetyt kaivamattomat menetelmät. Muita uuden linjan asentamisen menetelmiä ovat mm. ohjattu työntöporaus, suuntaporaus

kallioon ja mikrotunnelointi. Muita saneerausmenetelmiä ovat mm. spiraalinauhavuoraus, kuristussujutus, sekä PU-liner.

Uuden linjan rakentamiseen käytettävistä kaivamattomista menetelmistä käytetään termiä alitustekniikka. Alitustekniikkaa käytetään paikoissa, joissa kaivaminen on ei-toivottua tai mahdotonta kuten esimerkiksi järvien, teiden ja rautateiden alitukset. Kaivamattomilla menetelmillä on useita etuja verrattuna kaivamalla tapahtuvaan rakentamiseen. Eri tekniikoilla on olosuhteista riippuen rajoituksia, mutta jatkuvan kehityksen myötä tämän päivän rajoitukset voivat olla tulevaisuudessa mahdollisia toteuttaa.

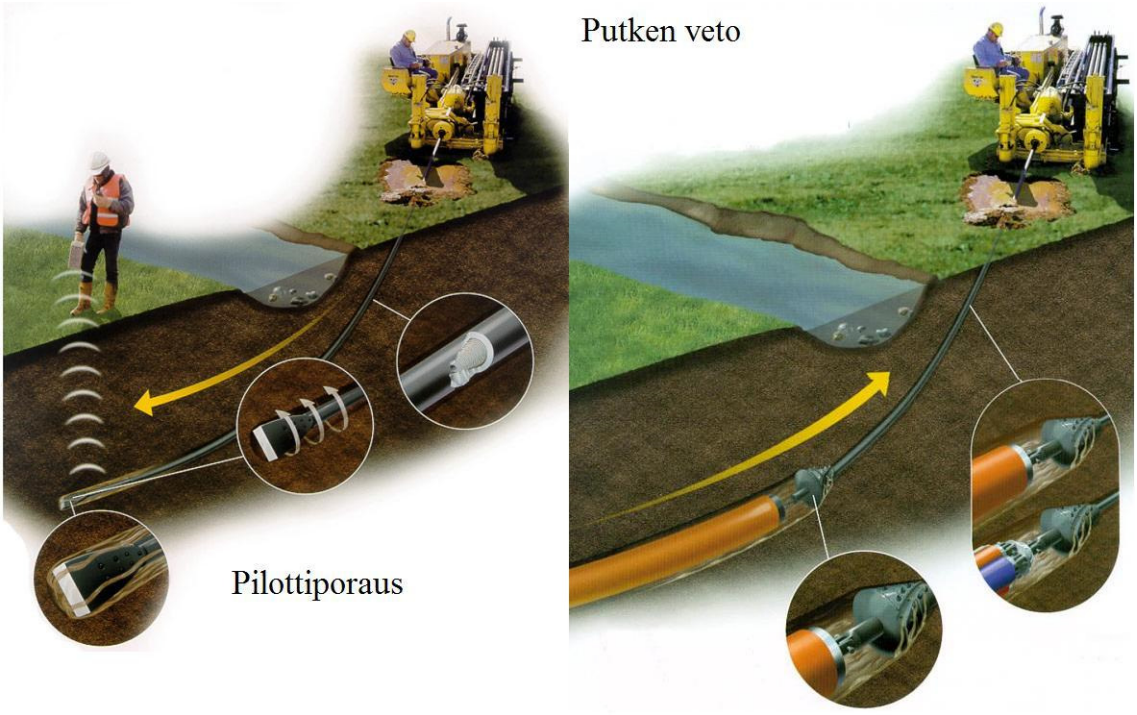
2.1 Suuntaporaus

Suuntaporaus (horizontal directional drilling, HDD) on hydro-mekaaninen kaivamaton tekniikka asennettaessa maanalaisia putkilinjoja. Se on ohjattavissa oleva ympäristöystävällinen märkäporausmenetelmä, jota käytetään yleensä kohteissa, joissa rakentaminen kaivamalla ei ole mahdollista tai käytännöllistä. Tekniikassa yhdistyy porakärjen mekaaninen liike ja paineistettu porausnesteen syöttö. Ohjattavuus perustuu porakärjen lähettimen luomasta elektromagneettisesta kentästä, jota voidaan tulkita maanpinnalla olevan vastaanottimen avulla. Pilottiporakärjen epäsymmetrinen lapiomainen muodon ansiosta, maanpaineen avulla voidaan muuttaa porauksen suuntaa maan alla. (Bayer 2005, s.19)

Suuntaporaus on menetelmänä kaksi tai useampivaiheinen. Suuntaporauksen ensimmäinen vaihe on pilottiporaus, jossa porakärjen lähettämän signaalin avulla saadaan selville porauksen syvyys, kulma, suunta ja ohjaussuunta. Porakärjen matkaa seurataan maanpinnalla olevan lähettimen avulla ja ohjataan joko kaivantoon tai maan pinnalle. Maanpinnalla olevan vastaanottimen tiedot välittyy suuntaporakoneeseen, josta tapahtuu porakärjen suuntaaminen ja ohjaus. Porausmatkan tiedot (sijaintikoordinaatit) kerätään talteen pilottiporauksen aikana ja merkataan maastoon. (Mikkola 2015)

Pilottiporauksen jälkeen porakärki ja lähetin irrotetaan ja siirrytään putkenveto-vaiheeseen tai porausreiän suurentamiseen. Tangon päähän asennetaan avarrin (jyrsin

eli ”reameri”) ja siihen kiinnitetään vedettävä putki. Läpimitaltaan suuria putkia vedettäessä voidaan reikää suurentaa vetämällä kerran tai useaan otteeseen avarrin läpi pilottiporauksen reittiä. Asennusvaiheessa putki vedetään läpi pilottiporauksen reittiä pitkin takaisin aloituskaivantoon tai maanpinnalle. (Mikkola 2015) Kuvassa 2 on havainnollistettu suuntaporauksen pilottiporaus- ja vetovaihe.



Kuva 2. Periaatekuva suuntaporauksen vaiheista (Several Oy 2015a).

Porausnesteellä on suuri rooli porausprosessissa. Porausneste koostuu bentoniitistä, vedestä ja lisäaineista (polymeereistä), joita sekoitetaan sekoitusyksikössä ja syötetään poratankoja pitkin porakärkeen sekä avartimeen. Suuntaporauksessa porausnestettä pumpataan pilottiporauksessa, sekä reiän avarrusvaiheessa ja vetovaiheessa syntyneeseen tunneliin. Bentoniitillä on voimakas imukyky ja alhainen viskositeetti. Bentoniitin, veden sekä lisäaineiden suhde määräytyy porattavan maalajin olosuhteiden mukaan. Porakärjestä paineella suihkuava porausneste irrottaa maa-ainesta kärjen edestä ja maa-aines sekoittuu porausnesteeseen. Porausnesteen tehtävänä on kuljettaa nesteeseen tarttunutta maa-ainesta pois porausreitiltä maan pinnalle. Porausneste pitää syntyneen porausreiän stabiilina ja vähentää kitkaa seinämän ja poratangon sekä

vetovaiheessa putken välillä. Porausneste myös toimii myös pilottikärjen ja jyrsimen viilentäjänä. Ajan kuluessa porausneste sementoituu asennetun putken ympärille suojellen sitä ulkopuolisilta kuormituksilta. Porausneste on ympäristöystävällistä, bentoniittisaven ja veden sekoitusta. (Bayer 2005, s. 68- 76; Mikkola 2015)

Suuntaporaus on käytännöllinen tekniikka mm. teiden ja jokien alituksissa sekä pitkissä linjarakentamisissa hyvissä maalajiolosuhteissa. Suomessa on suoritettu useita onnistuneita asennuksia yli 500 metrin pituuteen saakka. Jopa yli 700 metrin asennuksia on tehty Suomessa yhtäjaksoisesti. Käytännössä tämän hetkisellä suuntaporauskalustolla Suomessa voidaan päästä hyvissä olosuhteissa jopa 1000 metrin pituisiin yhtäjaksoisiin asennuksiin. Tämän hetkisellä kalustolla Suomessa voidaan asentaa n. 25 metrin syvyyksiin asti. Asennettavan putken halkaisija voi olla kalustosta riippuen 20-1000mm. Myös useamman putken yhtäaikainen veto on mahdollista. Suuntaporaus on käytännöllisimmillään ja kustannustehokkaimmillaan vähäkivisissä kitkamaissa ja koheesiomaalajeissa. Ongelmia muodostavat kivinen maaperä sekä kallio. (Dahlbacka 2015) Rakentaminen suuntaporausta käyttäen käsitellään tarkemmin luvussa 4.

2.1.1 Käyttökohteet ja soveltuvuudet

Ohjattu suuntaporaus on edullinen ja nopea menetelmä maaperän ollessa suotuisa. Suuntaporaus soveltuu erityisesti pehmeisiin maalajeihin, kuten saveen ja silttiin. Mitä syvemmälle asennus tapahtuu, sitä parempi kilpailukyky suuntaporauksella on perinteiseen kaivamalla tapahtuvaan rakentamiseen verrattuna. Suuntaporaus soveltuu teiden, katujen, rautateiden ja rakennusten alituksiin, jokien ja järvien sekä soiden ja luonnonsuojelualueiden alituksiin. Suuntaporaus soveltuu paineellisten vesi- ja viemäriputkien asennukseen, viettoviemärien sekä kaukolämmön ja kaapelisuojaputkien asennukseen. Oikeassa kohteessa toteutettu suuntaporaus säästää aikaa, työtä, resursseja ja luontoa. Lisäksi vältytään sosiaalisilta haitoilta kuten melulta, liikennehaitoilta ja pölyltä. Pintarakenteiden kuten katurakenteiden, asfaltin ja kiveyksien korjaaminen minimoituu.(Dahlbacka 2015) Tekniikkaa hyväksikäyttämällä voidaan myös tehdä erilaisia geoteknisiä parannuksia rakennelmiin mm. stabiliteetin tai kantavuuden

lujittamista tie- ja pohjarakenteelle. Tekniikkaa voidaan hyväksikäyttää myös mm. pohjaveden otossa ja kuivatusratkaisuissa. (Bayer 2005, s. 94- 105)

Ohjattaessa suuntaporaa, ohjauskulmat asettavat tietynlaisia rajoituksia. Perinteinen pilottiporakärki on epäsymmetrinen ”lapiomainen” jonka mekaaninen liike auttaa ohjaamaan porakärkeä haluttuun suuntaan porakärkeen kohdistuvan maanpaineen avulla. Poratankoja on eri vahvuuksilla ja taivutusominaisuuksilla jotka rajoittavat ohjauskulman suuruutta. Porausreitin taivutussäteen minimi on yleensä suoraan riippuvainen käytettävän poratangon halkaisijan paksuuteen. Lisäksi maaperä ja asennettava putkimateriaali asettavat tiettyjä rajoituksia ohjauskulmiin. Ennen porausta on tärkeä selvittää maaperän koostumus, mahdolliset esteet sekä olemassa olevat maanalaiset rakenteet. Ohjattu suuntaporaus ei tarvitse välttämättä aloitus- ja lopetuskaivantoja vaan poraus voidaan suorittaa tarvittaessa maanpinnalta käsin. (Mikkola 2015; Dahlbacka 2015)

Alituksissa, esim. tien alitus, täytyy ottaa huomioon suuntaporakoneen, sekoitusyksikön (yleensä kuorma-autossa) sekä vedettävän putken vaatimat työ- ja käyttöalueet. Kaivannosta kaivantoon tapahtuvassa alituksessa täytyy ottaa huomioon, että suuntaporakone sijoitetaan toisesta kaivannosta (välttämättä ei tarvita kaivantoja alkuvaiheessa), riippuen asennussyvyydestä ja poratankojen taivutusominaisuuksista, jopa 25 - 30 metrin päähän (kuva 3). Tämä tilantarve täytyy ottaa huomioon suunniteltaessa alituksia. (Mikkola 2015)

Kuva 3. Tien alituksessa suuntapora sijoitetaan, poratankojen taivutusominaisuuksista ja asennussyvyydestä riippuen, pituussuunnassa kauaskin alitettavasta kohteesta.

Suuntaporauskoneet kehittyvät jatkuvasti ja asennustarkkuudet ovat nykyään melko luotettavia. Mittaustarkkuuksien ja ohjattavuuden parannuttua myös viettoviemärien rakentaminen on yleistynyt suuntaporaamalla. Putkimateriaalin valinta käyttökohteeseen määräytyy vedettävän pituuden, syvyyden, käyttötarkoituksen ja maaperäolosuhteiden mukaan. Yleensä alituskohteissa, kuten teiden ja jokien alituksissa, suuntaporaamalla asennettu putki toimii suojaputkena, jonka sisälle sujutetaan varsinainen käyttöputki. (Mikkola 2015)

Eniten ongelmia suuntaporauksessa aiheuttavat puutteelliset maaperän ja maanalaisten rakennelmien tutkimustiedot, sekä maanalaiset esteet. Muita ongelmia porauksessa voivat aiheuttaa mm. porausnesteen purkautuminen maanalaista reittiä pitkin tien pintarakenteisiin tai muualle. Lisäksi laite- ja kalustorikot ja ongelmat saattavat viivästyttää porausta. Porareiden kokeneisuus ja ammattipätevyys on tärkeä osa porauksen onnistunutta asennusta. (Mikkola 2015) Alla on listattu suuntaporauksen etuja verrattuna perinteiseen kaivamalla tapahtuvaan putkilinjan rakentamiseen.

Suuntaporauksen etuja:

- haitat liikenteelle ja asukkaille vähenevät
- työmaan operatiivinen koko pienenee
- vaihtoehto putkien upottamiselle järven tai joen pohjaan
- kaivamiselta kielletty suojeltu alue voidaan alittaa
- viheralueet ja istutukset voidaan säilyttää
- nopeampi kuin auki kaivaminen hyvissä olosuhteissa
- aiheuttaa vähemmän melua ja pölyä
- säästää luontoa, päästöt ilmakehään vähenevät
- säästetään kaivinkoneiden ja kuorma-autojen polttoaineissa
- säästetään uusien maa-ainesten hinnassa, sekä vanhojen maa-ainesten poisviennissä ja sijoittamisessa
- kadun pinnoitukselta ja jälkitöiltä vältytään
- jyrkkiin rinteisiin asentaminen
- työturvallisuus paranee kaivantojen vähentyessä
- Kaivantojen kuivatusta ei tarvita. (Mikkola 2015; Paavola 2015; Dahlbacka 2015)

Suuntaporaus on käytännöllinen tekniikka myös saneerattaessa vesihuoltolinjoja. Hyvissä olosuhteissa voidaan vesijohdon viereen porata uusi linja vanhan linjan toimiessa työn aikana, eikä väliaikaista vedenjakeluverkkoa tarvita rakentaa kiinteistöille. (Dahlbacka 2015; Mikkola 2015)

Suuntaporaukseen on kehitelty useita erilaisia porakärkiä ja avartimia erilaisiin maaperäolosuhteisiin. Paineilmatoimisella iskevällä porakärjellä ja takaisin vedossa iskevällä avartimella, voidaan porata myös kallioon. Kallioon porattaessa, joudutaan käyttämään pilottiporakärkiä, jotka poikkeavat perinteisestä ”lapiomaisesta” porakärjestä ja ohjaus kalliossa ei tapahdu maanpainetta hyväksikäyttäen. Kallioon poraaminen on hitaampaa, haastavampaa ja kalliimpaa. Rikkonainen kallio tekee porauksesta riskialttiimpaa. Tällä hetkellä suuntaporalla kallioon ja kiviseen maahan

poraaminen Suomessa on melko vähäistä. Suunnattuja porauksia kallioon on kuitenkin onnistuneesti pystytty asentamaan. Lännen Alituspalvelut Oy ovat poranneet halkaisijaltaan 600 mm reiän noin 200 m pituisesti graniittikallioon (Vespä 2016). Suomen kallioperä ja kivet ovat erittäin kovaa materiaalia, enimmäkseen graniittia, joten se asettaa suuret haasteet kallioon poraamisen onnistumiselle. Kallioon ja kiviseen maalajiin tapahtuva suuntaporaus voi tekniikan kehityksen myötä olla tulevaisuudessa kasvava ala Suomessa. (Wegelius 2015)

2.1.2 Suuntaporakoneet ja kalusto

Nykypäivänä markkinoilta löytyy erikokoisia ja eritehoisia suuntaporauskoneita. Koneet jaotellaan yleensä kolmeen tai neljään eri luokkaan kokonsa ja tehonsa perusteella; pienet, keskikokoiset ja suuret suuntaporakoneet (ulkomailla on käytetty vielä isompia megakoneita). Tekniikka koostuu pääosin kahdesta eri yksiköstä, suuntaporakoneesta ja sekoitusyksiköstä. Sekoitusyksikössä bentoniittijauhe sekoitetaan veden ja lisäaineiden kanssa, jolloin saadaan olosuhteisiin sopiva porausneste synnytettyä. Sekoitusyksiköstä syötetään sekoittunut porausneste suuntaporakoneeseen. Suuntaporakone hoitaa itse poraamisen ja putken asentamisen vetämällä. Suuntaporakoneiden erilaisiin mekaanisiin ominaisuuksiin kuuluvat mm. työntövoima, takaisinvetovoima, sekä porauksen vääntömomentti. (Wegelius 2015)

Vetopituudet ja vedettävän putken kokoluokat määräytyvät pitkälti suuntaporakoneen ominaisuuksien mukaan. Vetopituuksiin vaikuttavat myös asennusreitin olosuhteet ja maalajin koostumus. Tehokkailla suuntaporakoneilla on suoritettu sopivissa maalajiolosuhteissa useita yli 500 metrin asennuksia onnistuneesti Suomessa. Pisimmät asennukset Suomessa lähentelevät jopa kilometriä. Yhdysvalloissa suurilla MegaHDD suuntaporakoneilla on tehty yli 2700 metrin pituisia onnistuneita asennuksia. Esimerkiksi Missisippijoen suuntaporausprojektissa asennettiin vuonna 2014 yli 900 mm (36 tuumaa) halkaisijaltaan oleva putki 2750 metrin (9038 jalan) pituisesti Missisippijoen ali (Goral 2015). Suuntaporaus on erityisesti pitkiin asennuksiin käytetty menetelmä. Laitevalmistajat ovat asettaneet suuntaporakoneille maksimi-vetopituuksia ja putkihalkaisijoita. Suomessa kuitenkin koneilla on asennettu jopa 2 kertaa pidempiä

asennuksia kuin mitä laitevalmistajat antavat maksimivetopituuksille (Wegelius 2015). Kuvassa 4 on esitetty Vermeer Corporation- yhtiön suuntaporakoneiden ohjearvoja.

MACHINE CAPABILITIES

Navigator model	Pull/Thrust force (kg)	TORQUE (nm)	Rod size	MAX Pilot bore DISTANCE (m)	MAX Hole DIAMETER (mm)
D6X6	2495	746	1.315"	80	200
D9X13II	4082	1750	1.66"	150	350
D16X20II	7258	2708	1.9"	250	450
D20X22II	9072	2950	2.06"	300	450
D24X40II	10796	5415	2.375"	350	600
D35X45	15925	6052	2.375"	450	750
D36X50II	16380	6725	2.375"	450	750
D60X90	27300	12100	2.875"	600	1000
D80X100II	36400	13538	3.5"	700	1000
D100X120II	45500	16200	3.5"	800	1100
D130X150	59150	20175	3.5"	900	1300
D330X500	137000	68300	5"	1300	1600
D370X500	168350	68300	5"	1300	1600
D560X640	226000	68300	5.5"	1600	1700
D750X900	340000	124000	6.625"	2000	2000
D1000X900	455000	124000	6.625"	2000	2000
D1320X900	600600	124000	6.625"	2000	2000

Above assumptions are valid when using standard tooling in soil/soft rock conditions

The information contained in the above sheet is based on widely accepted calculation models and formulas.
However, conditions may vary and information in the program is to be used as a guideline only.
No liability is assumed by the creator of these assumptions through the use of this shart!

Kuva 4. Vermeerin antamat ohjearvot asennuspituuksille ja putkien halkaisijoille erikokoluokan suuntaporakoneilla (Several Oy 2015b). Suomessa on asennettu joissakin tapauksissa kuitenkin jopa kaksi kertaa pidempiä asennuksia mitä ohjearvot antavat koneille (Wegelius 2015).

2.2 Työntöporaus

Työntöporaus (horizontal auger boring, HAB) on vakiintunut kaivamaton tekniikka, jota käytetään laajasti ympäri maailmaa teräsputkien asentamiseen mm. teiden ja rautateiden alituksissa. Putkimateriaaleina on käytetty menetelmässä myös betoniputkia, muovikomposiittiputkia tai muita soveltuvia putkimateriaaleja. Suomessa työntöporauksesta käytetään myös termejä mm. *kairaporaus, augerporaus ja augerkairaus*. Työntöporaus on ekonominen putkiasennustekniikka jota voidaan käyttää erilaisissa maaperissä vähentäen haittoja liikenteelle. Työntöporauksella on monia etuja, mutta myös rajoituksia. Yleisesti menetelmässä työntöporakone luo voiman joka siirtyy porakärkeen ja putkeen. Porakärki eli leikkauspää valitaan maaperäolosuhteiden

mukaan. Porakärjen mekaaninen pyörimisliike syö maata jauhamalla sen hienoksi materiaaliksi. Porakärjen mekaanisen voiman lisäksi voidaan käyttää prosessissa myös vettä tai paineilmaa tms., riippuen menetelmästä ja olosuhteista. Kone työntää hydraulisesti tai mekaanisesti hammasrattailla kärkeä ja putkea eteenpäin ja asennettavan putken sisällä oleva pyörivä ruuvi kuljettaa maa-ainesta pois putken sisältä aloituskaivantoon josta se poistetaan. (Najafi 2004, s.203-204)

Työntöporauskoneita on monenlaisia ja niitä voidaan rakentaa tarpeen mukaan eri käyttötarkoituksiin erilaisilla ominaisuuksilla. Suomessa voidaan käytössä olevalla kalustolla porata läpimitaltaan 2300 mm saakka olevia teräsputkia (Lännen alituspalvelu Oy 2015). Porausmatkat vaihtelevat aina 130 metrin asennuspituuksiin saakka (Knuutila ym. 2015, s.47). Työntöporausta käytetään halkaisijaltaan suurien putkien asentamiseen 160 - 2300 mm pehmeissä maalajiolosuhteissa. Tyypillinen alituspituus työntöporaamalla on noin 25 - 50 metriä (Juvani 2015).

Työntöporaus on menetelmänä käytännöllinen alittaessa liikennöityjä väyliä kuten teitä ja rautateitä ja se aiheuttaa vähemmän tärinää kuin vasaraporaus tai junttaus. Porausprosessi tarvitsee yleensä kaksi kaivantoa, aloituskaivannon ja lopetuskaivannon. Aloituskaivantoon asennetaan porakalusto, poraus suunnataan lopetuskaivantoon. Aloituskaivanto mitoitetaan työntöporakoneen ja työvaran mukaan. Teräsputket tai muu putkimateriaali, hitsataan kaivannossa yhteen joka täytyy huomioida aloituskaivannon syvyydessä. Teräsputket asennetaan yleensä Suomessa 6 metrin saloilla tai 12 metrin saloilla. 6 metrin putkisaloilla porattaessa aloituskaivannon pohjan tulee olla n. 12 x 4 m kooltaan. 12 metrin putkisaloilla aloituskaivannon tulee olla n. 18 x 4 m kooltaan. (Knuutila ym. 2015, s.45) Lopetuskaivantoon saapuessaan porakärki irrotetaan ja kaira vedetään pois putken sisältä. Lopuksi putken sisältä poistetaan ylimääräiset maa-ainekset vesipainehuuhtelulla tai muulla menetelmällä.(Najafi 2004, s.210-213)

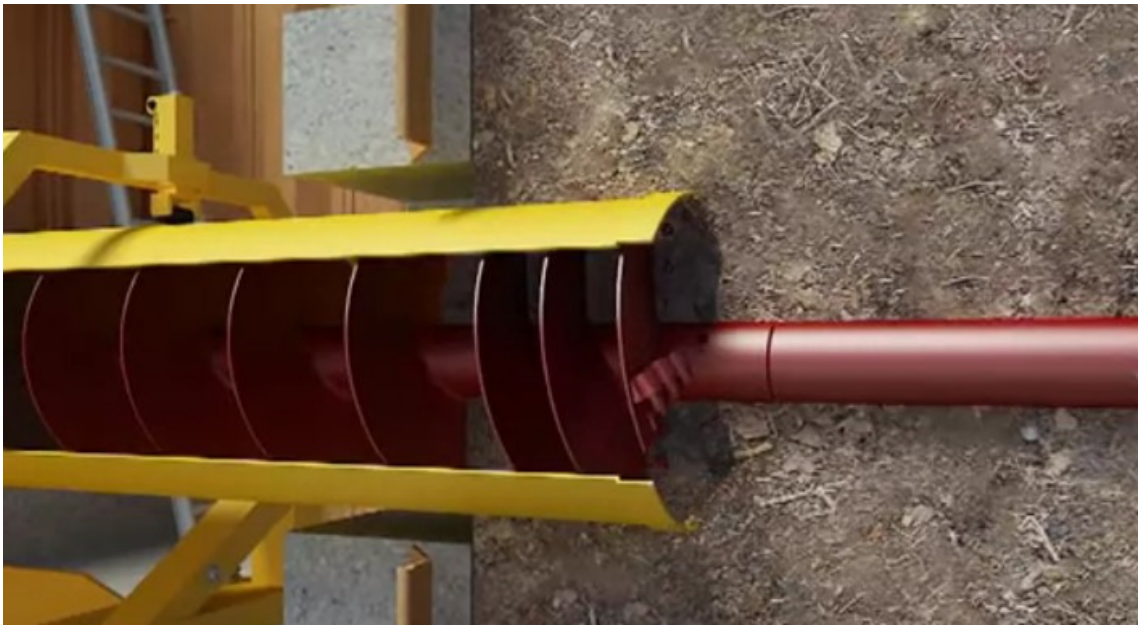
2.2.1 Ohjattava työntöporaus

Ohjattava työntöporaus (Guided Auger Boring, Thrustboring) on kaivamaton menetelmä jota voidaan käyttää teräs-, muovi-, betoni- ja muovikomposiittiputkien asennukseen pehmeissä maaperissä. Menetelmä on kaksi tai useampivaiheinen. Ohjattavassa työntöporauksessa aloituskaivannosta, jonka koko vaatii noin 2,5m

halkaisijaltaan olevan pohjan, työnnetään maahan poratankoja joiden päässä on yleensä epäsymmetrinen pyöritettävä pilottikärki, kuten perinteisen suuntaporan pilottikärki, jonka ohjattavuus perustuu pilottikärkeen kohdistuvan maanpaineen vaikutuksesta. Porakoneen kameralla pystytään seuraamaan pilottikärjen keskipisteen sijaintia ja poiketessaan reitiltä voidaan epäsymmetristä pilottikärkeä ohjata takaisin reitilleen. Ohjattavuuden ansiosta voidaan poratangon kaltevuutta muuttaa porauksen aikana. (Knuutila ym. 2015 s.45-48; Threnchless Solutions 2011)

Ohjattavan työntöporauksen konetta voidaan käyttää myös työntöporauksen lisälaitteena kun halutaan parantaa asennuksen tarkkuutta perinteisessä työntöporauksessa. (Knuutila ym. 2015 s.48)

Pilottikärjen saavuttaessa lopetuskaivannon pilottikärki irrotetaan ja kairat, joiden ympärillä on asennettava putki, kiinnitetään aloituskaivannossa poratankojen jatkeeksi (kuva 5). Kairoja ja putkea työnnetään pilottiporauksessa asennettujen poratankojen reittiä pitkin lopetuskaivantoon. Kairat tuovat maa-ainesta aloituskaivantoon, josta se poistetaan. Lopetuskaivannossa poratangot ruuvataan irti kairauksen aikana. Putken ja kairojen saavuttaessa lopetuskaivannon, kairat poistetaan putken sisältä ja putki puhdistetaan maa-aineksesta. (Threnchless Solutions 2011)



Kuva 5. Ohjattavassa työntöporauksessa kairat ja putki liitetään poratankojen perään. (Threnchless Solutions 2011)

Suomessa ohjattavissa olevalla työntöporalla voidaan tämänhetkisellä kalustolla asentaa riippuen maalajiolosuhteista 160 – 711 mm halkaisijaltaan olevia putkia yli 100 metrin pituuksiin saakka. Menetelmä soveltuu työntöporauksen lailla pehmeisiin maalajiolosuhteisiin. (Knuutila ym. 2015 s.48)

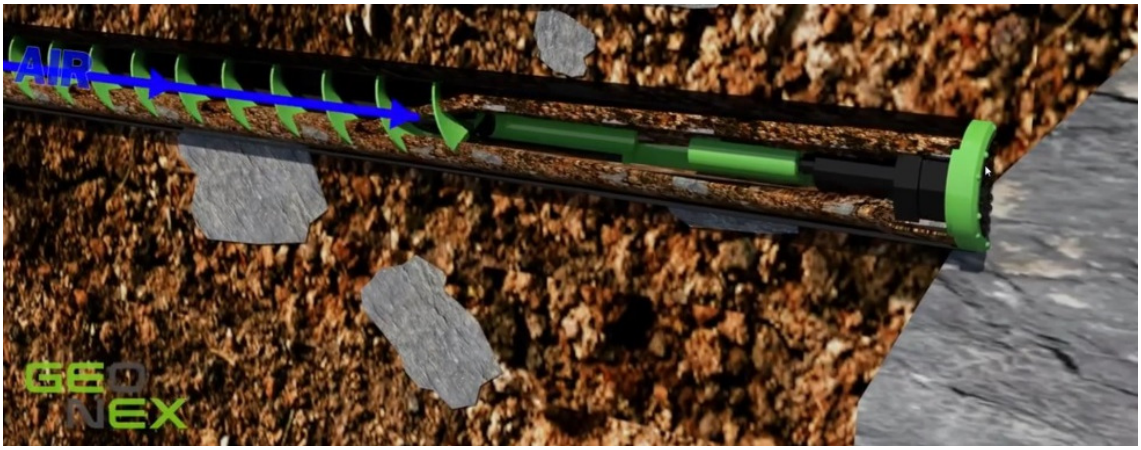
Putkiasennuksen voi hyvissä olosuhteissa ja pienillä putkihalkaisijoilla asentaa myös vetämällä. Pilottikärjen poistamisen jälkeen lopetuskaivannossa asennetaan avarrin jonka perään asennettava putki. Poratangot, joiden perään on liitetty avarrin ja putki, vedetään takaisin aloituskaivantoon. Menetelmä syrjäyttää maata, eikä sitä ole Suomessa käytetty. Tapa muistuttaa menetelmänä pakkosujutusta, mutta ilman saneerattavaa putkea. (Warriortrench 2011)

2.3 Vasaraporaus

Vasaraporaus (iskevä vaakaporaus, LAB) on alitusmenetelmä jossa paineilman avulla synnytetty porakärjen isku yhdessä mekaanisen liikkeen auttaa tiiviin ja kovan maan hienontamisessa. Vasaraporausta käytetään Suomessa teräsputkien asentamiseen alituskohteissa. Vasaraporaus soveltuu hyvin ongelmalliseen sekamaan ja kivisen

maalajin alituksiin sekä kallioon, joiden kohdalla muilla Suomessa käytetyillä alitusmenetelmillä asentaminen on mahdotonta tai ongelmallista.

Uppovasaraporaus (Down The Hole, DTH- hammer drilling), on Skandinaviassa yleinen vasaraporausmenetelmä, jota on käytetty jo parinkymmenen vuoden ajan. Se on tehokas ja varma alitusmenetelmä teräsputkien asennukseen Suomen kovissa maalajiolosuhteissa. Paineilmalla toimiva DTH- vasara on sijoitettu poran kruunukärjen jälkeen teräsputken sisään (kuva 6) ja on kooltaan n. 1- 2,5 m pitkä. Porakärjen ja kairojen pyöritys tapahtuu hydraulisesti kaivannossa sijaitsevasta koneesta. Koneella hydraulisesti työnnetään ja pyöritetään porakärkeä kiinni maahan ja paineilmalla toimiva vasara kärjessä hakkaa tiivistä maata, kiviä ja kalliota pienemmäksi materiaaliksi. Vasaran iskuvoima välittyy kruunukärkeen, sekä asennettavan teräsputken päähän. Iskevä vasarapää ”vetää” putkea poratussa reiässä, jolloin porakoneesta tapahtuva työntövoiman tarve pienenee. Putken sisällä sijaitsevat kairat tyhjentävät putken maa-aineksesta ja kuljettavat maa-aineksen porauskaivantoon. Poralaitteistoa ei tarvitse välttämättä ankkuroida porauskaivantoon vasaran vetävän vaikutuksen ja työntövoiman vähäisyyden johdosta. (Juvani 2015, Lassheikki 2015)



Kuva 6. Poikkileikkauskuva DTH- uppovasaran toiminnasta maaperässä. (Geonex 2015)

Vasaraporaus on käytännöllinen menetelmä ongelmallisessa sekamaassa, jossa on louhetta, savea, soraa ja isoja kiviä. Poraus tiiviiseen tai kovaan kallioon voidaan tehdä

teräsputkella tai ilman. (Juvani 2015) Vasaraporauslaitteilla voidaan haluttaessa työskennellä myös lähellä tienpintaa. Haluttu kaltevuus saavutetaan laitteiston hydraulisia jalkoja säätelemällä. (Dahlbacka 2015) Menetelmää käytetään Suomessa yleisin teiden, katujen ja rautateiden alituksiin.

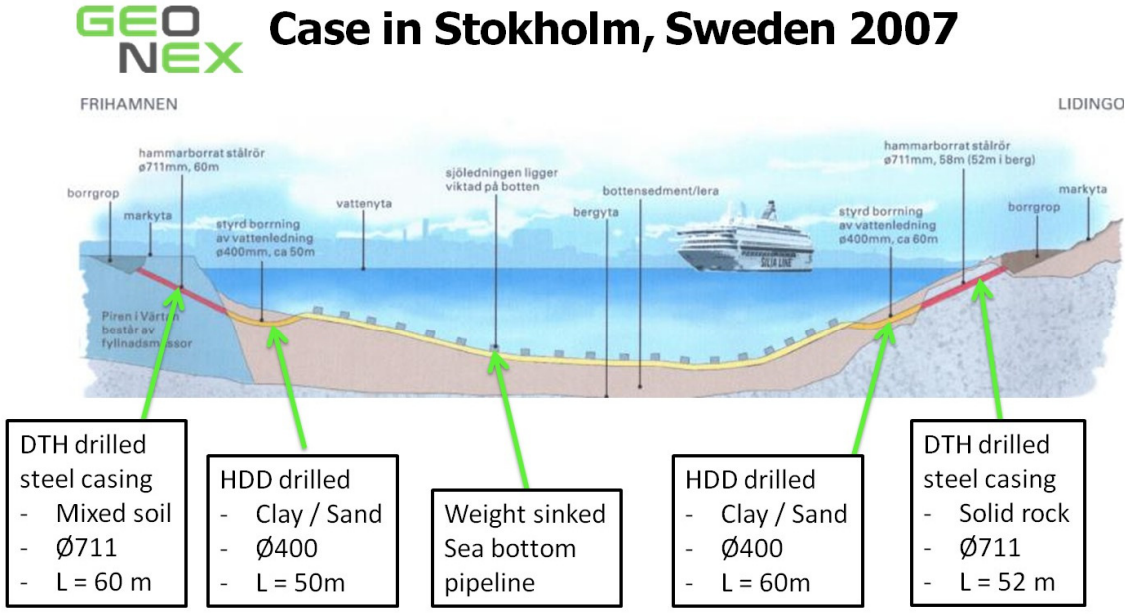
Mitä kovemmat maalaji-olosuhteet ovat vasaraporauksessa, sitä paremmin menetelmä soveltuu alitukseen verrattuna muihin menetelmiin. Osittain ”vetävänä” menetelmänä asennustarkkuus on parempi mitä pelkästään työntävässä menetelmässä. (Juvani 2015) Erittäin löysissä ja häiriintymisherkissä savimaissa aiheutuu menetelmän ongelmat. Iskevässä menetelmässä voi häiriintymisherkkä maalaji tärinän vuoksi juoksettua ja asennustarkkuus huonontua. Pehmeissä maalajeissa painava porakärki voi lähteä painumaan alaspäin (Dahlbacka 2015, Juvani 2015). Menetelmä ei ole täysin suljettu, joten menetelmän toimivuus pohjavedenpinnan alapuolella on rajallista. (Lassheikki 2015a) Kappaleessa 4 on esitetty vasaraporauksen työvaiheet tarkemmin.

Koska vasaraporausmenetelmä on iskevä, voi se aiheuttaa melua ja tärinää. Jos iskevän vasaran aiheuttama taajuus lähestyy porattavan maalajin resonanssitaajuutta, voi tapahtua maan resonointia. Maan mekaaninen resonointi saattaa aiheuttaa ympäröivien rakenteiden vaurioitumista. (Lassheikki 2015a) Tärinä etenee pisimmälle pehmeässä savessa ja siltissä, joiden vesipitoisuus on korkea.

Menetelmän etuna on porausnesteiden käyttämättömyys ja tiivis putken asennus. Asennuksen jälkeisiä putken painumia ei pääse syntymään tiiviin asentamisen vuoksi. Vettä käytetään menetelmässä yleensä pölynsidontaan. (Juvani 2015, Lassheikki 2015a) Vasaraporakoneilla voidaan asentaa 139 – 1220 mm halkaisijoiltaan olevia teräsputkia. Pituuksiltaan alitukset ovat yleensä n. 30 – 90m. Pisin Suomessa tehty poraus menetelmällä on tiettävästi ollut 130 metriä. Menetelmällä voidaan kuitenkin porata vieläkin pidempiä matkoja suotuisissa olosuhteissa. (Juvani 2015) Kuvassa 7 Geonex Oy:n mallin HZR vasaraporakone säädettävillä tukijaloilla.

Kuva 7. Mallin HZR vasaraporakone säädettävillä tukijaloilla. (Geonex Oy 2015)

Ulkomailla vasaraporausta on käytetty mm. tukemassa suuntaporaamalla tapahtuvia vesistöalituksia. Vasaraporaamalla on ensin tehty viettokulmalla porattuja suoria ”hylsyputkia” kun maalaji on ollut lähellä pintaa sortumisherkkää suuntaporaukselle. Hylsyputkien asennuksen jälkeen suuntaporaus on voitu suorittaa hylsyputkien läpi. Kuvassa 8 on esitetty pituusleikkauskuva, jossa on käytetty vasaraporausta, suuntaporausta ja painotusta vesistön alituksessa.



Kuva 8. Vasaporausta on käytetty Tukholmassa 2007 avustamassa suuntaporaamalla ja painottamalla suoritettua meren salmen alitusta (Lassheikki 2015b)

2.4 Junttaus

Junttaus (pipe ramming) on alitustekniikka jossa paineilmatoimisesti juntataan päästään avonaista teräsputkea maahan. Junttaus soveltuu kitka- ja koheesiomaalajeille, ongelmia aiheuttavat kiviset maalajit. Menetelmä tarvitsee yleensä kaksi kaivantoa. Lisäksi paineilmatoiminen juntta tarvitsee voimantuottoyksikön joka yleensä sijaitsee kuorma-auton lavalla tai kaivannon läheisyydessä. Aloituskaivannosta putki suunnataan lopetuskaivantoon tai penkereen läpi. Aloituskaivanto mitoitetaan juntalle työvaroineen ja lyönti tapahtuu murskearinan tai kiskojen päältä putkisalko kerrallaan. Aloituskaivannon tulee olla kantava ja alan koko kaivannon pohjalta tulee olla, 6 metrin mittaisia teräsputkisalkoja käytettäessä, n. 8x2 m. Paineilmatoiminen juntta iskee teräsputkea, joka leikkautuu maa-aineksen läpi, maa-aineksen jäädessä teräsputken sisään. Kun ensimmäinen putkisalko on juntattu maan sisään, putkea jatketaan hitsaamalla jonka jälkeen junttausta jatketaan. Asennetun putken sisällä oleva maa-aines lopulta poistetaan, yleensä vesipainehuuhtelun, kairan tai muun menetelmän avulla. Vesipainehuuhtelulla maa-aineksesta tyhjennetty putki tulee suorittaa varovaisuudella, ettei tapahdu ylihuuhtelua jolloin maa-ainesta pääsee huuhtoutumaan putken yläpuolelta ja vahingoita esimerkiksi tiepengertä. (Knuutila ym. 2015, s46-47)

Kuva 9. Rautatien alitus junttaamalla teräsputkella Kokkolassa (Maanrakennus B.Dahlbacka Oy 2015).

Junttaus on yksinkertainen ja nopea menetelmä, joka on käyttökelpoinen pehmeissä maalajeissa. Suositeltava asennuspituus junttaamalla on 0- 60 metriä. Putken halkaisijat ovat yleensä 168 – 1220 mm. Junttausta voidaan suorittaa kuitenkin suuremmillakin putken halkaisijoilla. Maaperän tutkimustiedot ovat tärkeitä alitusta suunniteltaessa. Junttaus soveltuu erityisesti pehmeille maalajeille kuten savi, siltti ja löyhä hiekka. Junttaus ei sovellu kallioon, eikä kivisiin maalajeihin. Putken kärki ei ole ohjattavissa joten riskinä ovat esimerkiksi kivestä tai kalliosta kiilautuen johtuvat putken suunnan muutokset. Paineilmatoiminen juntta aiheuttaa jonkin verran tärinää, joka voi aiheuttaa häiriötekijöitä esim. läheisiin rakenteisiin. (Dahlbacka 2015, Maanrakennus B.Dahlbacka Oy 2015) Kuvassa 9 esitetty junttaus rautatien ali.

2.5 Myyräys

Myyrä on paineilmatoiminen muovisen suojaputken asennuslaite, joka syrjäyttää iskevällä kärjellään maa-ainesta tieltään vetäen putkea perässään syntyneeseen

tunneliin. Myyräysmenetelmässä (pipe moling) tarvitaan yleensä aloitus ja lopetuskaivanto. Suomessa menetelmää käytetään yleensä 50 - 160 mm halkaisijoiltaan olevilla putkilla asennussyvyyden ollessa 0,5 - 1,1m ja alitusmatkan ollessa suosituksiltaan maksimissaan 20m. Myyräys on yksinkertainen, halpa ja nopea tapa tehdä lyhyitä alituksia kaapelisuojaputkilla. Myyrä asennetaan hiekka- tai murskepetille aloituskaivantoon, jossa se suunnataan lopetuskaivantoon. Aloituskaivanto mitoitetaan myyrän ja työvaran mukaisesti. Myyrä on koostansa riippuen pituudeltaan n. 1-1,5m ja hieman vedettävää putkea suurempi halkaisijaltaan. Myyrän perään liitetään asennettavat putket. Kompressorista tulevat paineletkut kulkevat asennettavan putken sisällä myyrään. Suuntauksen jälkeen myyrä laitetaan paineilmatoimisesti liikkeelle maan sisään. Lopetuskaivantoon saapuessaan myyrä irrotetaan putkesta ja paineilmaletkut vedetään putken läpi. (Dahlbacka 2015)

Myyrässä on yleensä kaksi vaihdetta, eteen ja taakse, ja se kulkee maan sisällä kitkan avulla, jonka vuoksi se ei sovellu erittäin löysiin ja häiriintymisherkkiin maalajeihin eikä pohjaveden pinnan alapuolella käytettäväksi. Myyrä soveltuu parhaiten tasalaatuisille ja vähäkivisille kitkamaille. Myyrä ei ole ohjattavissa joten riskinä on alitusreitiltä poistuminen, pahimmassa tapauksessa sukeltaminen alas- tai ylöspäin ja osuminen maanalaisiin rakennelmiin. (Dahlbacka 2015) Myyrällä asennetaan yleensä muovisia kaapelinsuojaputkia tien tai pyörätien alituksissa suodatinkerrokseen.

2.6 Saneerausmenetelmät

Suomessa on useita erilaisia kaivamattomia putkien saneerausmenetelmiä. Menetelmät soveltuvat erilaisiin kohteisiin ominaisuuksiensa mukaan. Taulukossa 1 on esitetty

Suomessa yleisimmin käytetyt saneerausmenetelmät. Taulukossa on lisänä vielä kuristussujutus (swagelining), jota Suomessa ei juurikaan ole käytetty.

Taulukko 1. Saneerausmenetelmien ominaisuuksia. JV= jätevesi, VJ= vesijohto, SV= sadevesi. DIM, < tarkoittaa että saneerattavan putken sisähalkaisija pienenee. (FiSTT 2010)

Menetelmä	JV, SV	VJ	DIM, <	Asennuskaivanto	Ohipumppaus	Väliaikainen vedenjakelu	Uusittu putki
Pitkäsujutus	x	x	x	x (vj)		x(vj)	x
Pätkäsujutus	x		x				x
Pakkosujutus	x	x		x	x(vj)	x	x
Sukkasujutus	x	x	Seinämä-vahvuuden verran	x (vj)	x	x(vj)	x
Muotoputki-sujutus	x	x	Seinämä-vahvuuden verran	x (vj)	x	x(vj)	x
Sementtilaasti-vuoraus		x	Seinämä-vahvuuden verran	x		x	
Elementti-vuoraus	x		x	x	x		x
Kuristus-sujutus	x	x	Seinämä-vahvuuden verran	x	x(vj)	x	x

Pitkäsujutus

Pitkäsujutus on saneerausmenetelmä, jossa vanhan viemäri- tai vesijohtolinjan sisälle asennetaan halkaisijaltaan pienempi yhtenäinen putki. Pitkäsujutus sopii vietto- ja paineviemäreiden sekä vesijohtojen saneeraukseen. Menetelmä soveltuu parhaiten saneerauskohteisiin missä linjan kapasiteettiä voidaan pienentää.

Yleensä materiaalina pitkäsujutuksessa käytetään muovisia PEH putkia jotka puskuhitsaamalla liitetään toisiinsa. Sujutus tapahtuu yleensä kaivannosta kaivantoon tai

viettoviemäreitä saneerattaessa kaivosta kaivoon. Ensiksi saneerattava linja puhdistetaan liasta ja vierasesineistä, vetämällä rassin avulla puhdistuskappale saneerattavan linjan. Putkisto voidaan puhdistaa myös muilla toimenpiteillä. Viemärit voidaan TV-kuvata ennen sujuttamista. Viemärin saneerauksissa voidaan käyttää ohipumppauksia. Vesijohtosaneerauksessa linja suljetaan saneerattavalta pätkältä ja tarvittaessa rakennetaan väliaikainen vesijohdon pintaverkko, jolla taataan kiinteistöille vedenjakelu. Sujutetun putken ja vanhan putken välinen tila suositellaan vaahtobetonoitavaksi. (FiSTT 2010)

Pätkäsujutus

Pätkäsujutus on saneerausmenetelmä jossa työntämällä noin 50cm pituisia kumitiivisteisiä putkimoduuleita kaivon sisältä saneerattavaan putkeen. Pätkäsujutus soveltuu viemäreiden saneeraukseen, eikä menetelmä vaadi yleensä kaivantojen tekoa. Sisään asennetun putken halkaisija on pienempi mitä saneerattavan putken, joten linjan kapasiteetti pienenee, mutta toisaalta virtausominaisuudet paranevat. (FiSTT 2010)

Pätkäsujutusmenetelmässä saneerattava viemäri putsataan ja tarvittaessa TV-kuvataan. Tarvittaessa järjestetään ohipumppaus. Työntölaite asennetaan kaivoon ja sillä työnnetään putket saneerattavan linjan sisälle. Saneerattavan linjan ja sujutetun putken välitilan vaahtobetonointi on suositeltavaa. Kun välitila vaahtobetonoidaan, uusi putki ei saa liikkua. Uuden putken täytyy sijoittua alkuperäisen kaltevuuden varmistamiseksi vanhan putken pohjalla. Saneeraus tapahtuu kaivoväli kerrallaan. (FiSTT 2010)

Pätkäsujutus on menetelmänä nopea eikä vaadi yleensä aloituskaivantoja ja ennakkovalmisteluja. Putkimoduulit kestävät hyvin korroosiota ja syövyttäviä kemikaaleja. Menetelmän aikana viemäri voi olla yleensä käytössä. Menetelmä ei sovellu vesijohtojen saneeraukseen. (FiSTT 2010)

Pakkosujutus

Staattisessa pakkosujutuksessa saneerattava linja halkaistaan ja tilalle vedetään samakokoinen tai jopa 30 % halkaisijaltaan suurempi putki, riippuen vetotunkin ominaisuuksista ja maaperän olosuhteista, sekä vanhan linjan putkimateriaalista, joten

sillä voi olosuhteista riippuen suurentaa linjan kapasiteettiä. Saneerattava putki jää rikkoontuneena sujutetun putken ympärille maan alle. Pakkosujutusta käytetään paineettomien ja paineellisten vesi- ja viemäri linjojen saneeraukseen. (Dahlbacka 2015)

Menetelmässä tarvitaan kaivannot. Ensimmäiseen kaivantoon sijoitetaan vetotunkki. Vetotunkilla (kuva 10) työnnetään vetotankoja saneerattavan putken läpi toiseen kaivantoon. Toisessa kaivannossa tangon päähän liitetään leikkuri joka rikkoo saneerattavan putken leikkaamalla/murtamalla. Leikkurikärkeen liitetään putken vetopää, johon on puskuhitsattu kiinni vedettävä putki. leikkuri ja putki vedetään tunkkaamalla vetokaivantoon.

Kuva 10. Pakkosujutuskone vetokaivannossa (Maanrakennus B.Dahlbacka Oy 2015).

Menetelmässä käytetyt putkikoot riippuvat maaperän olosuhteista, kapasiteetin laajennustarpeesta ja pakkosujutuskoneen vetokapasiteetista. Koska putkeen kohdistuu asennuksessa suuria voimia, täytyy putkimateriaalin olla menetelmään soveltuva. Putkimateriaaleina on yleensä käytetty suojakuorellisia PEH- putkia. Kallio, isot kivet ja

olemassa olevat rakenteet täytyy menetelmää käytettäessä ottaa huomioon, koska menetelmä syrjäyttää maata. (FiSTT 2010, Dahlbacka 2015)

Sukkasujutus

Sukkasujutus on maailman käytetyin gravitaatiorunkoviemäreiden, kaasu- ja kemikaaliputkien ja teollisuuden putkistojen kaivamaton saneerausmenetelmä. Menetelmä on yksinkertainen ja nopea eikä vaadi yleensä kaivutyötä. Menetelmässä saneerattavaan viemärilinjaan sujutetaan polyesterihuovasta tai lasikuidusta valmistettu saumaton putki, joka kyllästetään hartsilla. Menetelmässä saneerattavan linjan halkaisija pienenee sujutussukan seinämävahvuuden verran. Paikalleen kovetettava sujutusputki painautuu tiiviisti saneerattavan putken seinämiin, eikä välitilaa synny. (FiSTT 2010)

Sukan asennus viemäriin tapahtuu yleensä kaivojen kautta, eikä kaivantoja yleensä tarvita. Saneerattava viemäri huuhdellaan ja putsataan, tarvittaessa TV-kuvataan. Sukka asennetaan paikoilleen joko vetämällä tai kääntömenetelmällä. Lasikuitusukka vedetään linjaan ja pullautetaan paineilmalla ja kovetus tapahtuu UV-valon avulla. Valoilla ja kameroilla varustettu valorobotti ajetaan sukan sisässä saneerattavan linjan läpi. polyesterihuopasukka kovetetaan höyryllä tai kiihdyttimellä. Saneeratun viemärilinjan tonttiliittymät avataan porarobotin avulla. (FiSTT 2010)

Muotoputkisujutus

Muotoputkisujutus soveltuu viettoviemäreiden ja tarvittaessa myös vesijohtojen saneeraukseen. Muotoputkisujutuksessa saneerattavan linjan sisään vedetään munuaisen muotoon tehtaalla pakotettu putki, joka syötetään saneerattavaan linjaan joko kaivon tai kaivannon kautta. Putki esilämmitetään ennen asennusta ja paikoillaan ollessaan sitä lämmitetään höyryllä. Kun putki on paikoillaan, se palautetaan pyöreään muotoonsa vesipaineen avulla. Saneerattavan putken ja sujutetun putken väliin ei jää tilaa joten linjan halkaisija pienenee sujutetun putken seinämävahvuuden verran. Sujutuksen jälkeen tonttiliittymät porataan auki robottiporalaitteella. (FiSTT 2010)

Sementtilaastivuoraus

Menetelmässä saneerattavan metallisen vesijohdon sisäpintaan ruiskutetaan 3-12mm sementtilaastikerros (putken halkaisijasta riippuen) pysäyttämään putken sisäpuolisen korroosion. Menetelmä soveltuu teräs- ja valurautajohdoille ja se pienentää putken halkaisijaa ruiskutettavan sementtilaastikerroksen verran. (FiSTT 2010)

Saneerattava vesijohto puhdistetaan teräsrassilla jonka jälkeen valmis laasti pumpataan syöttöletkua pitkin vesijohdon sisään ja ruiskutetaan keskipakoisvoimaa hyväksikäyttäen putken sisäpintaan. Laasti kuivuu 1-2 vuorokauden kuluessa, jonka jälkeen valmis pinnoitetyö tarkastetaan TV-kuvauksella. Kuvausten jälkeen putki huuhdellaan, desinfioidaan ja otetaan vedestä laboratorionäytteet, jonka jälkeen putki otetaan käyttöön. (FiSTT 2010)

Kuristussujutus

Kuristussujutus soveltuu paineellisiin ja paineettomien viemäreiden sekä vesijohtojen saneeraukseen. Menetelmässä saneerattavaan putkeen vedetään mekaanisesti kuristettua yhtenäiseksi puskuhitsattua PE-putkea. Puskuhitsauksessa syntyneet purseet on poistettava ennen sujutusta. Mekaanisessa kuristuksessa putken halkaisija pienenee n. 10 % (8 - 12 %). Kun kuristettu PE-putki on vedetty linjaan, se palautuu muotoonsa yleensä vuorokauden kuluessa. Saneerattavan putken ja sujutetun putken väliin ei jää tilaa joten linjan halkaisija pienenee sujutetun putken seinämävahvuuden verran. (FiSTT 2010)

Kuristussujutus vaatii kaivantojen kaivuun. Aloituskaivantoon sijoitetaan kuristin ja vedettävä putki. Lopetuskaivannon puolelle sijoitetaan vinssi jolla vinssataan kuristettu putki läpi saneerattavan linjan. Kuristussujutusta ei ole Suomessa käytetty saneerausmenetelmänä, se on yleisempää Keski-euroopassa.

Muita menetelmiä

PU-liner saneerausmenetelmässä vanha putki pinnoitetaan sisäpuolelta kaksikomponenttiuretaanilla, joten linjan halkaisija pienenee pinnoituksen vahvuuden

verran. Menetelmää käytetään metallisissa ja sementtivuoratuissa putkistoissa. Menetelmä on Suomessa vielä melko harvinainen.

Elementtivuoraus-menetelmää käytetään suurten kokoojaviemäreiden ja viemärikanaalien saneerauksessa. Putkielementit valmistetaan yksilöllisesti putken koon ja profiilin mukaan. Elementit kuljetetaan putkessa paikoilleen ja liitetään toisiinsa. Uuden ja vanhan putken välitila täytetään vaahtobetonilla. (FiSTT 2010)

3 ALITUKSEN JA LINJAN SUUNNITTELU

Uuden putkilinjan rakentaminen käyttäen kaivamatonta tekniikkaa vaatii maanpinnan ylä- ja alapuolisia tutkimustietoja. Tilaajan tai suunnittelijan tulee antaa urakoitsijalle riittävästi lähtötietoja jotta työn onnistunut suoritus voidaan varmistaa. Hyvillä lähtö- ja tutkimustiedoilla vältetään monet ikävät yllätykset ja esteet, joita työn aikana voi ilmaantua. Riittävien lähtötietojen avulla voidaan järkevästi suunnitella miten poraus tai alitus tulee toteuttaa ja mitä menetelmää tulee käyttää. Tarkkojen maan ylä- ja alapuolisten tutkimustietojen saaminen ja hankkiminen vähentää asennusongelmia ja sopijapuolten kiistojen mahdollisuutta. (Muhammed 2004, s.97)

Alitustekniikkojen käytölle suurimmat rajoitukset tekevät maanalaiset olosuhteet. Kullakin kaivamattomalla menetelmällä on omat työalueen käyttövaatimukset. Tutkimustiedot tulisi ulottaa riittävän leveästi suunniteltavan porausreitin varrelta. Tutkimus- ja lähtötietojen tulisi sisältää:

- Maanpinnan ja pohjaveden korkeusasemat
- Maan ylä- ja alapuoliset rakenteet, kuten vesijohdot, viemärit, rakennukset, kaapelit, kadut, tiet, kaivot jne.
- Vallitsevat maalajiolosuhteet
- Vesistöt, joet, ojat jne.
- Maaperän ominaisuudet ja kivisyys
- Kallion korkeusasema
- Ympäröivän maaston käyttötila. (Najafi 2004, s.97)

Maan pinnan alapuoliset tutkimukset tulee suorittaa erityisellä huolella. Tutkimuksissa tulee ilmetä kaikki maan alapuoliset rakenteet, esteet, kivisyys, kallio, pohjavesi ja maaperän geotekniset ominaisuudet. (Najafi 2004, s.97).

3.1 Maaperä

3.1.1 Kallioperä ja maaperä

Suomessa käytetään maaperän luokitukseen GEO-luokitusta, joka on esitetty pääpiirteittäin julkaisussa Pohjarakenteet RIL 121-2004. Täydellisenä maaperän GEO-luokitukset löytyvät VTT geotekniikan laboratorion tiedonannossa 14 (1974). Eurokoodien mukainen ISO-luokitus ei ole tällä hetkellä käytössä. Erona geotekniseen maalajiluokitukseen ISO-luokituksella on, ettei uudessa ISO- luokituksessa tunneta ollenkaan moreenia. Maaperäkartat perustuvat RT- luokitukseen. (Knuutila ym. 2015, s63)

Suomen maaperä on keskimäärin noin 10m paksu, kuitenkin suurta vaihtelua esiintyy paljaasta kalliopinnasta jopa noin 100m paksuiseen maaperään. Maalajien geologisen ominaisuuksien perusteella on muodostettu neljä maalajiryhmää: moreenimaalajit, karkearakeiset maalajit, hienorakeiset maalajit ja eloperäiset maalajit. Moreeni- ja karkearakeisissa maalajeja kutsutaan myös kitkamaalajeiksi, joissa maalajien lujuus aiheutuu pääasiassa rakeiden välisestä kitkasta. Hienorakeisilla eli koheesiomaalajeilla lujuus aiheutuu enimmäkseen rakeiden välisistä kiinnevoimista, koheesiosta. (GTK 2015b) Taulukosta 2 näkee geoteknisen luokittelun mukaiset maalajiryhmiin sisältyvät maalajit.

Taulukko 2. Geotekninen maalajilukoitus (Korhonen ym. 1974).

Maalajiryhmä	Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus, paino- %			Raekoko D_{50}, mm
			Savi	Hienoainen	Sora	
Eloperäiset maalajit	Turve	Tv				
	Lieju	Lj				
Hienorkeiset maalajit	Savi	Sa	≥30			
	Siltti	Si	<30	≥50	<5	≤0,06
Karkearakeiset maalajit	Hiekka	Hk		<50	≤50	>0,06…2
	Sora	Sr		<5	>50	>2…60
Moreenimaalajit	Silttimoreeni	SiMr		≥50	≥5	≤0,06
	Hiekkamoreeni	HkMr		5…50	5..50	>0,06…2
	Soramoreeni	SrMr		≥5	>50	>2

Suomen pinta-alasta n. 60 % on pinnalta moreenipeitteistä ja monilla muillakin alueille on moreenia muiden maalajikerrostumien alla. Hiekkamoreeni on Suomen yleisin maalaji, siinä on kaikkia tai useita lähikokoisia lajitteita keskenään sekoittuneena. Suurin osa kaivamattomista menetelmistä soveltuu hyvin pehmeisiin ja vähäkivisiin maalajeihin. Kivisessä maalajissa vasaraporaus erottuu edukseen läpäisevyytensä ansiosta, mutta pehmeissä maalajiolosuhteissa selvästi heikommaksi vaihtoehdoksi.

Erilaiset graniittiset kivilajit muodostavat Suomen kallioperän yleisimmän kivilajiryhmän. Niitä arvellaan olevan hieman yli puolet Suomen kallioperän pinta-alasta. Graniitti on kovaa ja kestävää ja kaivamattomista tekniikoista suomessa tällä hetkellä voi siihen porata melko luotettavasti vasaraporauksella. Myös kalliosuuntaporalla on onnistuttu poraamaan onnistuneesti graniittiin. Suomen kallioperä ei ole yhtenäinen kokonaisuus vaan pirstoutunut useiksi lohkoiksi aikojen saatossa. Pirstoutunut kallio voi aiheuttaa poraamisessa suuriakin ongelmia ongelmia. (Turunen 2015, Dahlbacka 2015)

Sulfaattimaat

Happamilla sulfaattimailla tarkoitetaan maaperässä luonnollisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä (sulfidisedimenttejä), joista vapautuu hapettumisen seurauksena happamuutta ja metalleja maaperään ja vesistöihin. Happamat sulfaattimaat ovat savea, hiesua tai hienoa hietaa (silttiä) ja usein myös liejupitoisia. Happamia sulfaattimaita esiintyy Suomessa rannikkoalueilla alavilla paikoilla. Tyypillisesti nämä alavat kerrostumat ovat nykyisin viljelyskäytössä tai turpeen alla soiden pohjalla. (GTK 2015a)

Hapettomassa tilassa pohjavedenpinnan alapuolella sulfidisedimentit eivät aiheuta haittaa ympäristölleen. Maankohoamisen ja maankäytön kuten ojituksen ja maiden kuivatuksen, sekä rakentamisen myötä pohjavedenpinta laskee ja kyseiset kerrokset altistuvat hapettumiselle ja sitä kautta myös happamoitumiselle, jolloin niistä tulee todellisia happamia sulfaattimaita. (GTK 2015a)

Happamista sulfaattimaista aiheutuvia ongelmia ovat mm. maaperän ja vesistöjen happamoituminen sekä haitallisten metallien liukeneminen maaperästä ympäristöön ja vesistöihin. Lisäksi happamista sulfaattimaista aiheutuu ongelmia maatalouden tuottavuuteen ja kasvillisuuden monimuotoisuuteen, pohjaveden pilaantumista sekä teräs- ja betonirakenteiden syöpymistä rakentamisessa. Happamilla sulfaattimailla on myös yleisesti heikot geotekniset ominaisuudet. (GTK 2015a)

Laajojen putkirakenteiden kaivaminen edellä kuvatuille happamille sulfaattimaa-alueille saattaa hapettumisen seurauksena muodostua ongelmaksi. Pitkissä kaivamalla tapahtuvassa linjarakentamisessa, kuten siirtoviemärien rakentamisessa, kaivannot voivat olla avonaisia pitkiäkin aikoja, sekä läjityksessä voi olla suuriakin sulfaattipitoisia maamassoja. Kaivamattomilla putken asennustekniikoilla voidaan minimoida hapettumisen muodostumista. Peltojen ja viljelmien luona syvälle kaivamista voidaan välttää esimerkiksi käyttämällä suuntaporausta putkistojen asentamiseen. Näin minimoidaan myös hukkaviljan syntyminen. Suuntaporaus soveltuu menetelmänä hyvin edellä mainituille sulfaattipitoisille savimaille.

3.1.2 Maaperän tutkimusmenetelmät

Uutta linjaa suunniteltaessa kaivamattomilla menetelmillä on erityisen tärkeää tunnistaa pinnan alapuoliset olosuhteet. Kun alustava putken asennusreitti tai reittivaihtoehdot ovat selvillä, suunnitellaan pohjatutkimukset ottaen huomioon ennestään saatavilla olevat tiedot. Pohjatutkimusten suunnittelijan on tiedostettava kaivamattomien tekniikoiden tutkimustarpeet, jotta alituskohteesta voidaan saada riittävät lähtötiedot maaperästä. Maaperätutkijalle on toimitettava tiedot olemassa olevista maanalaisista johdoista ja putkista. Ennen kairausten ja koekuoppien tekoa selvitetään olemassa olevien kaapeleiden ja putkistojen, sekä mahdollisten muiden maanalaisten rakenteiden sijainti. Tarvittaessa tilataan näytöt tutkimuskohteeseen. Pohjavesisuojauksiin ei saa tehdä reikiä maaperätutkimusten aikana, eikä muita tärkeitä rakenteita saa rikkoa. (Knuutila ym. 2015, s62)

Maaperän kerrosrajojen ja maalajitietojen lisäksi tarvitaan tieto pohjaveden pinnan tasosta sekä paineellisen pohjaveden kohdalla painetasosta. Suunnitelluissa alituskohdissa on tutkittava mahdollisten päällysrakenteiden paksuus ja materiaalit sekä

arvioitava esiintyykö alituskohdan rakenteissa talvisin suuri routanousu tai jatkuuko kohdan painuminen. Tapauksesta riippuu, voidaanko arvio tehdä alituskohdan rakenteita koskevien suunnitelmien perusteella vai tarvitaanko kairauksia tai routanousumittauksia. (Knuutila ym. 2015, s62)

Nykypäivänä on olemassa kehittyneitä tutkimusmenetelmiä, jotka sopivat hyvin erilaisten alitustekniikoiden tarpeisiin. Vanhat tutkimustiedot ja ennestään alueelta oleva kokemus kannattaa käyttää hyödyksi. Jos alueella on ennestään tehty suuntaporauksia onnistuneesti, voidaan olettaa että samassa paikassa suuntaporaaminen onnistuu uudelleen. Esimerkiksi jos joen alitus suuntaporaamalla on onnistunut aikaisemmin, porauksen onnistuminen on todennäköistä uudestaan samassa paikassa. Joen alituksessa voidaan myös esimerkiksi käyttää ”tutkimusmenetelmänä” koeporausta pienemmällä suuntaporauskalustolla. Alitusurakoitsija pystyy arvioimaan katselmuksen, aikaisempien työkokemusten sekä maaperätutkimusten perusteella, mikä menetelmä sopii parhaiten alituskohteeseen tai voiko alitusta toteuttaa kaivamattomin menetelmin ja antamaan konsultaatioapua tilaajille ja suunnittelijoille.

Putken sijoituspaikalla on tarpeen tehdä pohjatutkimuksia, jotta alitus tai putken sijoitus voidaan suunnitella toteutettavaksi maaperäolosuhteisiin soveltuvalla menetelmällä. Maaperän kantavuus on selvitettävä työalueella mahdollisten raskaiden kalustojen sijoittamisen takia. Maalajin geotekniset ominaisuudet on selvitettävä, jotta voidaan mahdollisten alituskaivantojen luiskien stabiliteetit selvittää. Näin voidaan arvioida työalueelle tulevien kaivantojen laajuutta. Mikäli käytetään alitusmenetelmiä, jotka eivät sovellu sekamaahan, kiveen tai kallioon, on erityisen tärkeää tehdä perusteelliset pohjatutkimukset koko alitusmatkalle. Alituslupahakemuksissa pitää esittää kohteen tutkitut tai arvioidut maaperäolosuhteet. Liikennevirastolla on ilmestymässä ohje, *Vesihuoltoverkostot ja maantiet*, jonka luonnoksessa (luonnos 22.5.2015) on esitetty eri alitusmenetelmien pohjatutkimusvaatimukset (taulukko 3).

Taulukko 3. Kaivamattomien menetelmien pohjatutkimusvaatimukset (Knuutila ym. 2015, s64).

Menetelmä	Pohjatutkimukset	Huomioitavaa
Myyräys	Koekuopat tai näytteenotto ja kairaukset asennussyvyyteen asti	Kivisyys ja kalliopinta selvitettävä tarkasti
Junttaus	Koekuopat tai näytteenotto ja kairaukset asennesyvyyteen asti	Kivisyys ja kalliopinta selvitettävä tarkasti
Vasaraporaus	Porakonekairaukset tai koekuopat	Selvitettävä kalliopinta
Työntöporaus ja ohjattava työntöporaus	Koekuopat tai näytteenotto ja kairaukset, myös siipikairaukset	Kivisyys ja kallionpinta selvitettävä tarkasti, aloituskaivannon kohta huomioitava (etenkin kantavuus)
Suuntaporaus	Koekuopat tai näytteenotto ja kairaukset sekä pohjavesiputket	Maaperän laatu, pohjavesi, kivisyys ja kalliopinta selvitettävä tarkasti

Maatutkaluotaus

Maatutkaluotaus on kustannustehokas ja nopea tapa tehdä maaperätutkimuksia. Etuna tutkimuskairauksiin verrattuna maatutkaluotaus antaa jatkuvan profiilin maaperästä. Kairauksien ja maatutkaluotauksen yhdistetyllä käytöllä saadaan luotettavat maaperätiedot. Maatutkaluotaus sopii erityisesti linjarakentamisen pohjatutkimusmenetelmänä. Maatutkaluotauksen hyödyntämisessä on oleellista ymmärtää mitä tuloksilta haetaan ja mitä mahdollisia rajoitteita tutkaamiselle on.

Maatutkalla on mahdollista erottaa erilaisia maaperän kerroksia, kalliopinta sekä erilaisia rakenteita. Maatutka lähettää lyhyitä sähkömagneettisia pulsseja mitattavaan kohteeseen. Nämä pulssit etenevät kohteen väliaineessa ja väliaineen sähköisesti muuttuvassa rajapinnasta osa lähetetystä aaltoenergiasta palautuu takaisin. Takaisin palautuneen aaltoenergian voimakkuus ja edestakaiseen matkaan kulunut aika rekisteröidään tutkalaitteiston avulla. Kun maatutkaluotaus toteutetaan liikkeessä, saadaan maaperän kerrosjärjestyksestä pituusleikkauskuva jossa ilmenee rajapintojen voimakkuus ja syvyys. (Geo-Work Oy, 2016)

Luotaukset voidaan tehdä etukäteen merkityille linjoille tai niin, että reitit merkitään ja kartoitetaan joko reaaliaikaisesti tai jälkikäteen. Kehityksen myötä tutkalaitteisto on pienentynyt ja nykypäivänä tutkaus voidaan suorittaa kävellen maastossa, eikä kulkuneuvoja enää välttämättä tarvita. Tutkaluotaus voidaan suorittaa hankalassa maastossa eikä maastoon jää käytännössä mitään jälkiä. (Geo-Work Oy, 2016)

Maatutkaluotauksen edut:

- kokonaiskustannuksissa säästäminen jatkotutkimusten minimoinnin kautta
- kilpailukykyinen hinta suhteessa tiedon määrään
- tutkimukset maastossa nopeasti rikkomatta materiaaleja
- tietoa laajaltakin alueelta kattavasti
- jatkuva profiilin antama tieto

Maatutkaluotaus sopii erinomaisesti suuntaporauksen reittivalintojen suunnitteluun. Talvella voidaan esim. järven jään päältä tutkia järven tai joen pohjan ominaisuuksia. Tutkimusdatan avulla voidaan arvioida maalajiltaan paras mahdollinen reitti suuntaporauksen toteuttamiselle tai voidaanko porausta luotettavasti toteuttaa.

Maaperäkartat ja verkkoaineistot

Reitin tai alituskohdan alustava suunnittelu voidaan aloittaa talvellakin verkkojakelussa olevan aineiston perusteella. Näitä aineistoja ovat mm: kartat ja digitaaliset kartta-aineistot, maaperäkartat, kartta rakennetuista pohjavesisuojauksista, kartta pohjavesialueista ja suojelukohteista, suojeltavat kohteet Oiva-palvelusta, luettelo ELY-keskusten tulevista tiehankkeista, www.tiekuva.com ja google tienvarsikuvat, GTK:n pohjatutkimusrekisteriin viedyt pohjatutkimustulokset. (Knuutila ym.2015, s.61)

Maaperäkartoista voidaan saada yleispiirteinen käsitys suunnitellun putkilinjan pohjasuhteista. Maaperäkartoista ei ole mahdollista saada riittäviä lähtötietoja kuten maaperän lujuus yms. mitoitusarvoja kaivantojen suunnitteluun. Maaperä tai pohjavesi voivat aiheuttaa kaivannon sortumisen tai huomattavia lisäkustannuksia mm. työn

viivästymisen, jos tutkimuksia ei ole tehty. Maanmittauslaitoksen maaperäkartat löytyvät Maanmittauslaitoksen internetsivuilta osoitteesta: http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat.

Geologian tutkimuskeskus on julkaissut Suomen maaperästä Internetissä käytettävissä olevan yhtenäisen ja saumattoman 1:200 000 mittakaavassa olevan maaperäkartan. Maaperäkartasta saa nopeasti yleiskuvan alueella esiintyvistä maalajeista. Kartasta löytyvät mm. kalliomaa-alueet ja pehmeikköalueet. Kartta-aineiston avulla saadaan alueen maaperän pintaosasta kokonaiskuva, jota voidaan jatkotutkimustiedoin tarkentaa. Kartassa maalajien luokittelu perustuu valtakunnalliseen rakennustekniseen luokitukseen. Kartasta on esitetty mm. kallioalueet, hienorakeiset ja karkearakeiset lajittuneet maalajit, kivikot ja savialueet. Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartta löytyy osoitteesta http://gtkdata.gtk.fi/Maankamara/.

Maaperäkartoista voidaan nopeasti arvioida mitä kaivamattomia menetelmiä kohteessa voidaan käyttää. Jos havaitaan, että alueella esiintyy esimerkiksi paljon savimaita, voidaan arvioida että esimerkiksi suuntaporaaminen on alueella mahdollista tai kannattavaa. Jos alueella on kalliota tai kivistä moreenia voidaan päätellä että alitus tulee suorittaa soveltuvalla porausmenetelmällä kuten vasaraporaamalla. Pelkästään maaperäkarttojen havainnoilla ei pidä päättää alitusmenetelmän valintaa.

Tienvarsikuvista voidaan havainnoida, paljonko tiealueella on puustoa ja kasvillisuutta ja onko sitä tarpeen suojella. Kuvista voidaan myös arvioida tien ja maanpinnan korkeusero ja luiskien ja tiealueen leveyksiä.

Maastokatselmus

Ennen varsinaisia pohjatutkimuksia on yleensä aiheellista suorittaa maastokatselmus. Maastokatselmuksen silmämääräisten havaintojen pohjalta päätetään pohjatutkimusten laatu ja laajuus. Maastokatselmuksessa kiinnitetään huomiota alueen pinnanmuodostukseen, kasvipeitteeseen, kalliopaljastumiin, pintakivisyyteen, vesistöihin ja maaperän vetisyyteen. havaintojen ja käytettävissä olevien maaperäkarttojen avulla pyritään tekemään päätelmiä maaperämuodostumisista ja

niiden rakenteesta. Maastokatselmuksessa voidaan kaivaa koekuoppia maan laadun toteamiseksi. Hienorakenteisien maalajien alueella voidaan katselmusta täydentää tunnusteluin, joita suoritetaan ohuella 1-2m mittaisella terästangolla, työntäen sitä maahan. (Rantamäki ym. 2009)

Koekuoppa

Koekuoppa on luotettava tapa tutkia lähellä maanpintaa olevia kerroksia. Kuopan kaivuun aikana ja kaivuun jälkeen voidaan tehdä havaintoja kuopan kaivusyvyyttä vastaavista maakerroksista. Koekuopasta tehdään havaintoja mm:

- maakerroksista ja maalajeista
- maan kivisyydestä ja lohkareisuudesta
- pohjaveden korkeustasosta
- maan kaivuominaisuuksista
- kuopan seinämien stabiilisuudesta
- kalliosta ja sen kaltevuudesta

Koekuopan pohjalta voidaan ottaa näytteitä tarkempia tutkimuksia varten. (Rantamäki ym. 2009)

Kairausmenetelmät

Kairauksin suoritetuissa pohjantutkimusmenetelmissä maahan tungetaan kairan tangon tai putken avulla kairan kärkikappaletta. Kairauksissa pyritään havaitsemaan kairan kärkikappaleeseen kohdistuvaa kairausvastusta, jonka vaihtelusta tehdään päätelmiä kairauksella läpäistävien maakerrosten laadussa, tiiveydessä, lujuudesta ja kantavuudesta.

Kairausmenetelmät ovat joko staattisia tai dynaamisia tai näiden yhdistelmiä. Staattisissa menetelmissä kairaa tungetaan painojen tai hydraulisten puristimien avulla maahan, dynaamisissa menetelmissä iskemällä tai täryttämällä. (Rantamäki ym. 2009)

Kairausmenetelmiä ovat mm:

- painokairaus
- heijarikairaus
- porakonekairuas
- lyöntikairaus
- tärykairaus
- puristinkairaus
- putkikairaus
- STP-kairaus. (Rantamäki ym. 2009)

3.1.3 Maanalaisten rakenteiden tutkimusmenetelmät

AML- putkitutka

ALM – putkitutka (All Material Locator, valmistaja Subsurface Instruments Inc) havaitsee maaperässä olevien materiaalien tiheyserot ja kappaleen muodon perustella voi päätellä mitä maaperässä sijaitsee. AML lähettää maaperään kartionmuotoisen radioaallon, joka heijastuu takaisin laitteeseen törmätessään materiaaliin jonka tiheys poikkeaa muusta maaperästä. Laitteella haravoimalla voidaan löytää esim. putkien, kivien, johtojen ja perustusten sijainnit. Trigonometrian avulla saadaan maanalaisien kappaleiden syvyydet selvitettyä. Laitteella on löydetty jopa 13 metrin syvyydessä sijaitsevia putkia.(Maanrakennus B.Dahlbacka Oy 2015, Dahlbacka O 2015) Kuvassa 11 on esitetty ALM plus series, sekä ALM pro series- putkitutkat.

Putkitutka on pieni, noin kilon painoinen ja sillä voi löytää maan alta mitä tahansa materiaaleja jonka tiheysero poikkeaa perusmaasta. Putkitutka löytää muovin, betonin, metallin, kivet, puut, jne., joiden paikallistaminen muuten olisi mahdotonta. Putkitutka on valmistettu yhdysvalloissa ja Suomessa maahantuoja on Maanrakennus B.Dahlbacka Oy. (Dahlbaka O 2015)

Kuva 11. ALM Plus Series sekä ALM Pro Series –putkitutkat.

Putkitutka on välineenä käytännöllinen alitustekniikoiden ja linjarakentamisen tarpeisiin. Putkitutkalla voidaan tutkia alitusreitin maanalaiset esteet ennen porauksia kuten kivet, putket ja muut rakenteet. Jos suuntaporauksen pilottiporausvaiheessa törmätään johonkin tuntemattomaan esteeseen, voidaan esteen laajuus käydä tutkimassa ja putkitutkan avulla saatujen tietojen perusteella päättää miten tulisi edetä. Jos esimerkiksi törmätään kiveen, voidaan reittivalintaa muuttaa tai este kaivaa pois maaperästä.

Putkitutkaa voidaan käyttää hyödyksi myös vasaraporauksessa, junttauksessa, myyräyksessä ja työntöporauksessa paikantamaan porakärjen sijaintia. Putkitutkalla voidaan tutkia pysyykö alituksen eteneminen linjassa.

Putkitutkalla kyetään löytämään olosuhteista ja putkitutkan käyttäjän ammattitaidoista riippuen putkilinjoja, joita ei ole tarkasti kartoitettu. Kaivamalla tapahtuvan putkilinjan etsiminen voi viedä paljonkin aikaa. Putkitutka nopeuttaa putkilinjan löytymistä ja säästää turhalta ympäristön kaivamiselta. Lisää tietoa putkitutkasta osoitteesta: http://www.dahlbacka.com/putkitutka.

Kaapelihakulaitteet

Työmaa alueella sijaitsevat tele- ja sähkökaapelit tulee paikantaa erilaisilla ominaisuuksilla varustetuilla kaapelihakulaitteilla. Nykyajan kaapelihakulaitteiden tarkkuudet ovat melko luotettavia ja olemassa olevat kaapelit voidaan paikantaa melko tarkasti. On tärkeää, että alueella sijaitsevat kaapelit paikannetaan tarpeeksi laajalta alueelta alitusmenetelmästä riippuen. Alitusmenetelmien tilantarve on esitetty kohdassa 3.2. Kaapeleiden paikannus tulisi ulottua menetelmän vaatimiin alueen käyttörajoihin.

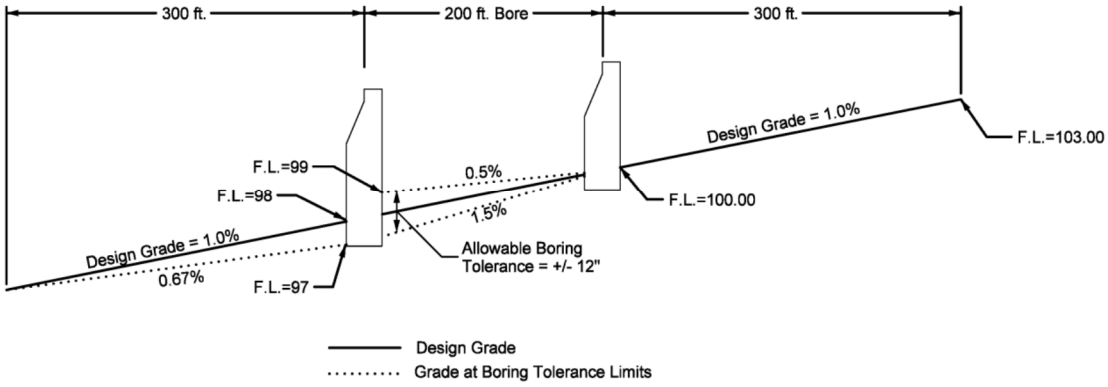
Johtokartat

Kartoitetuista vesihuolto- ja kaapelilinjoista on saatavilla olevia johtokarttoja. Johtokarttoja voi suomessa kysyä www.johtotieto.fi. Johtotiedot pyydettyä, teleoperaattoreiden ja sähköyhtiöiden kaapelinnäyttäjät, käyvät maalaamassa maastoon yhtiönsä sijaitsevat johdot ja kaapelit. Paikallisilta vesihuoltoyhtiöiltä, kaasulaitoksilta ja kaukolämpöyhtiöiltä saa kysyttäessä kartoitetut johtokartat. Yksityisen maalla sijaitsevat maanalaiset rakenteet, kuten salaojat, viemärit ja viemärit, tulee kysyä kiinteistön omistajalta. Peltosalaojat ja niiden purkuputket voi selvittää kysymällä mm. salaojakeskuksesta (ProAgria).

3.2 Suunnitteluperusteet putkilinjan rakentamismenetelmään

Alitusmenetelmä valitaan vallitsevien maalajiolosuhteiden, asennuspituuden, asennussyvyyden, asennustarkkuuden, putkimateriaalin, putkihalkaisijan, olosuhdetekijöiden, pohjaveden ja veden syvyyden. kustannuksien ja haittojen mukaisesti. Alitusmenetelmien virhetoleranssit (asennustarkkuus) ovat hyvä tunnistaa rakennettaessa varsinkin viettoviemäreitä, sekä jos alitusreitillä sijaitsee esteitä tai olemassa olevia rakenteita. Mitä tiukemmaksi virhetoleranssin vaatimukset kohteessa asetetaan, sitä kalliimmaksi yleensä alitus tulee maksamaan työn hidastumisen myötä. Tarkasti suoritettu alitus vaatii useita tarkistuksia ja mittauksia, sekä huolellista suunnittelua. Lisäksi menetelmät ja laitteet joilla päästään parempiin tarkkuuksiin, ovat monimutkaisempia ja kalliimpia. Suunnittelijan on hyvä tunnistaa virhetoleranssit ja suunnitella gravitaatioviemäri alituskohteessa siten, että se on reilusti virhetoleranssien

puitteissa. Näin toimittaessa annetaan mahdollisuus myös pienille epätarkkuuksille asennuksissa (kuva 12). (SUDAS 2015) Taulukossa 4 on esitetty Suomessa yleisimmin käytettyjen kaivamattomien menetelmien suuntaa-antavat virhetoleranssit.



Kuva 9. Esimerkki pituudeltaan 200 jalan (61m) mittaisen viettoviemärin alitusporauksen suunnittelusta virhetoleranssin ollessa 1%. (SUDAS 2015)

Taulukko 4. Alitusmenetelmien virhetoleranssit (Knuutila ym. 2015, s46-48). Alitusmenetelmän virhetoleranssiin vaikuttavat suuresti maaperä, sekä työntekijöiden ammattipätevyys. Alla olevat virhetoleranssit ovat suuntaa-antavia vuoden 2014 Suomessa saatavilla olevilla tekniikoilla.

Menetelmä	Virhetoleranssi menetelmälle ihanteellisissa olosuhteissa vaaka- ja pystysuunnassa asennuspituudesta
Myyräys	1-2 %
Junttaus	1-2 %
Vasaporaus	1-2 %
Työntöporaus	0,5-1 %
Ohjattu työntöporaus	0,2 %
Suuntaporaus	Asennuspituus ei vaikuta. Virhetoleranssiin vaikuttavat maaperä, laitteet ja työntekijöiden ammattitaito. Virhetoleranssi on ohjattavasta pilottikärjestä johtuen hyvä

Alitusmenetelmän valintaan kohteessa vaikuttavat myös käytettävissä oleva tila. Esimerkiksi kahden rakennuksen väliin tehtävä kadun poikkisuuntainen alitus on vaikea toteuttaa suuntaporaamalla, koska suuntaporaus vaatii pituussuunnassa kymmeniäkin metrejä tilaa poratankojen taivutusominaisuuksista johtuen. Myös asennettava putki vaatii oman tilantarpeensa. Menetelmien aloituskaivannon tilantarve esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Menetelmien asennuspituudet ja syvyydet. Taulukon arvot ovat suuntaa-antavia.

Menetelmä	Aloituskaivannon koko pohjalta (m)	Asennussyvyys (m)	Asennuspituus (m)
Suuntaporaus	Ei tarvita *	n. 0- 25	n. 0- 1000
Työntöporaus	n. 12x4 (6 m suojaputki) n. 18x4 (12 m suojaputki)	-	n. 0- 120
Ohjattu työntöporaus	≥Ø 2,5	-	n. 0- 100
Vasaraporaus	n. 3x6 (3m suojaputkella) n. 3x9 (6 m suojaputkella)	-	n. 0- 120
Junttaus	n. 8x2 (6 m suojaputki)	-	n. 0- 60
Myyräys	n. 2,5x1, lisäksi ura vedettävälle putkelle.	n. 0- 1,4	n. 0- 20

*Suuntaporakone sijoitetaan esimerkiksi aloituskaivannosta pituussuunnassa syvyydestä ja poratankojen taivutusominaisuuksista riippuen yleensä n. 15- 25 metrin päähän. Lisäksi voidaan tarvita ura vedettävälle putkelle.

3.2.1 Menetelmien soveltuvuudet eri maalajeissa ja olosuhteissa

Suurin osa kaivamattomista menetelmistä soveltuu parhaiten pehmeisiin maalajeihin pohjaveden pinnan yläpuolella. Pehmeissä maalajeissa suuren halkaisijan putkia asennettaessa kohtuullisen lyhyitä matkoja, on usein käytetty menetelmänä junttausta tai työntöporausta. Tarkkuutta vaativissa asennuksissa pienemmillä putkilla voidaan käyttää ohjattua työntöporausta tai suuntaporausta. Suuntaporausta käytetään pitkissä linja-asennuksissa ja pohjaveden alapuolelle tapahtuviin asennuksiin, sekä vesistöalituksissa. Pohjavesialueilla tulee suuntaporan porausnesteen soveltuvuus tarkistaa. Suuntaporauksella voidaan asentaa yhdellä vedolla useampi putki yhtäaikaisesti.

Vasaraporaus on menetelmä, joka soveltuu parhaiten koviin maalajiolosuhteisiin kuten ongelmalliseen sekamaahan, kiviseen maaperään ja kallioon. Vasaraporauksen etuina kovissa maalajiolosuhteissa on varma läpäisy ja suhteellisen hyvä tarkkuus. Taulukossa 5 on esitetty menetelmien soveltuvuudet maalajiolosuhteissa sekä menetelmällä käytetyt putkimateriaalit kokoluokkineen.

Taulukko 5. Menetelmien soveltuvuudet maalajiolosuhteissa ja putkimateriaalit halkaisijoineen.

Menetelmä	Soveltuvat maalajit	Ongelmat maalajissa	Putkimateriaalit	Putken halkaisija (mm)
Suuntaporaus	Pehmeä tasalaatuinen maaperä: savi, siltti, hiekka	Kivet, kallio	Muovi, teräs, valurauta, muovikomposiitti, (kaukolämpö)	50- 1000, mahdollista vetää useampi putki yhtäaikaisesti
Työntöporaus	Pehmeä maaperä: savi, siltti, löyhä hiekka	Kivet, kallio	Teräs, betoni, muovikomposiitti	800- 2300
Ohjattu työntöporaus	Pehmeä maaperä: Savi, siltti, löyhä hiekka	Kivet, kallio	Teräs, betoni, muovikomposiitti	160- 711
Vasaraporaus	Kaikki maalajit, lukuunottamatta erittäin pehmeät ja häiriintymisherkät maalajit	Häiriintymisherkät löyhät savimaat, pehmeä ja vetinen maaperä	Teräs, muovikomposiitti	139- 1220
Junttaus	Pehmeä maaperä: savi, siltti, löyhä hiekka	Kivet, kallio	Teräs, muovikomposiitti	168- 1220/2000
Myyräys	Tasalaatuiset ja vähäkiviset kitkamaalajit, suodatin hiekka (tien rakennekerroksessa)	Kivet, kallio, häiriintymisherkät löyhät savimaat	Muovi	40- 160

3.2.2 Maantiet

Valtatien alituksiin ja muihin töihin tie-alueella haetaan lupa Suomessa paikalliselta tienpitoviranomaiselta, joka yleensä on elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus). Lisäksi viereisen maan omistajalta kysytään tarvittaessa lupa käyttää maata johdon sijoittamiseen tai luiskien tai läjityksen mahdolliseen ulottamiseen hänen maalleen. Toisen maalla työskentelyyn, myös maaperätutkimuksiin, tarvitaan maanomistajan lupa ja tiealueen osalta ELY- keskuksen lupa. Verkostojen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa tarvitaan tienpitoviranomaisten ja verkostonhaltijan kanssa yhteistyötä, jotta verkosto ei tule esteeksi tietöiden tekemiselle eivätkä tietyöt haittaa esimerkiksi vedenjakelua. (Knuutila ym. 2015, s61)

Maanteiden alituksien ja tien pituussuuntaisten putkien sijoittamisen tien vierelle tulee aina pohjautua pätevän suunnittelijan laatimiin suunnitelmiin. Alituskohdan valintaan vaikuttavat pohjamaan ominaisuudet sekä tien pengerkorkeus. Alituskohdaksi soveltuvat yleensä kantavalla maapohjalla olevat matalat ja korkeat penkereet, sekä pehmeiköllä olevat matalat ja korkeat penkereet, jos niiden kohdalla ei ole louhemassanvaihtoa, paalutusta tai syvästabilointia tms. pohjanvahvistusta joka haittaa alituksen tekemistä. (Knuutila ym. 2015, s61) Suomessa on tehty suuntaporaamalla tiheästi paalutettujenkin väylien alituksia, esimerkiksi Maanrakennus B. Dahlbacka Oy alitti Keravalla Lahden oikoradan 90 metrin pituisesti halkaisijaltaan 219 x 6,5 mm teräsputkella. Työaika 3 oli päivää.

Maanteiden alituskohdiksi eivät yleensä sovellu kallioleikkaukset ja paikat, joissa tie on rakennettu suoraan kallion varaan. Myös pehmeiköt joissa on tehty massanvaihto louheella tai penger on perustettu paaluilla, eivät yleensä sovellu alituskohdaksi. (Knuutila ym. 2015, s35). Louheen ja kallion läpi tehtävä alitus voidaan kuitenkin suorittaa tarvittaessa vasaraporaamalla. Pehmeiköillä joissa pohjaveden pinta on korkealla, voi kuitenkin louheen läpi vasaraporattaessa ilmetä ongelmia veden virratessa porauskaivantoon. Alituskohdaksi soveltuu huonosti myös osuudet joissa tien pinta on maanpintaa selvästi alempana, jolloin alituskaivantojen tekemiselle vaaditaan suuria massansiirtoja (Knuutila ym. 2015, s.35).

Routanousun vaikutus ja tien painuman vaikutus

Tien pinta voi nousta talvisin roudan vaikutuksesta kesäistä tienpintaa ylemmäs. Routanousu voi olla sitä suurempi, mitä ohuemmat rakennekerrokset tierakenteessa on. Kohtaan, jossa routanousu on suuri, ei saa tehdä suurihalkaisijaista alitusta, koska alituksen kohdalla routanousu jäisi selvästi viereistä tienpintaa pienemmäksi. (Knuutila ym. 2015, s.35)

Haitallista routanousueroa alituskohdan ja tien viereisen kohdan välillä voidaan välttää valitsemalla alituskohta paikasta, jossa pohjamaa on routimatonta maalajia. Myös jos tien routanousumittauksin osoitettu routanousu on enimmillään 50mm, ei ongelmia pitäisi muodostua. Routanousueroa voidaan välttää alituskohdassa myös täyttämällä suojaputken ympärystäyttö kaivumailla, jotka eivät poikkea routivuudeltaan ympäröivästä pohjamaasta. Alituskohta voidaan valita myös paikasta jossa tien rakennekerrosten paksuus on vähintään siirtymäkiilasyvyys tai asennetaan putki tien rakennekerroksiin jos kokonaispaksuus on yli 2,5 m. (Knuutila ym. 2015, s.36)

Alituksen sijoittuessa pehmeikölle ratkaisut suunnitella siten että tien pituus- ja poikkisuuntaiset painumat ja painumaerot eivät ylitä *Tien geotekninen suunnittelu*-ohjeessa kohdassa 6.3.2 esitettyjä mitoituskriteerejä. Painumille ja painumareoille voidaan asettaa hankekohtaiset vaatimukset, missä otetaan huomioon esimerkiksi suunnitelmalliset kunnossapitotoimenpiteet. Putkijohdon ja tai tien painuminen ei saa vahingoittaa putkijohtoa tai muita tiehen asennettuja rakenteita. (Knuutila ym. 2015, s.36)

Tien alitusputki

Maanteiden alituksissa vesihuoltoputket tulee sijoittaa aina suojaputkeen riippumatta työmenetelmästä. Kaukolämpö-, kaasu-, kaapeli- tai muu putki tulee myös sijoittaa suojaputkeen. Maantien alittavan suojaputken tulee kestää kaikki ulkopuoliset rasitukset sekä asennus- että käyttöolosuhteissa. Suojaputkena voidaan käyttää menetelmästä riippuen betoni-, teräs-, muovikomposiitti-, tai muoviputkia. Liikenteen aiheuttamat kuormat vaikuttavat suojaputken peitesyvyyteen, putkimateriaaliin ja putken

rengasjäykkyysluokkaan. Peitesyvyydet putkimateriaaleille ja niiden eri jäykkyysluokille on esitetty julkaisussa InfraRYL. (Knuutila ym. 2015, s.36) Syrjäyttävää menetelmää alituksessa käytettäessä, on tien pinnan ja suojaputken selän välinen etäisyys oltava suurempaa kuin 2,5 kertaa asennettavan suojaputken halkaisija. Näin minimoidaan riski, että asentaminen aiheuttaisi tien pintaan kohouman alituskohdassa putken päälle tiivistyneen maan johdosta (Knuutila ym. 2015, s.50).

Maaperän olosuhteet sekä käytettävä alitusmenetelmä vaikuttavat asennettavan suojaputken materiaaliin ja seinämävahvuuteen. Liikenneviraston ohjeen *vesihuoltoverkostot ja maanti*et – luonnoksen (22.5.2015) mukaan vesihuoltoputken korroosiosuojaamattoman teräksisen suojaputken on oltava taulukon 6 mukainen. Teräslajina käytetään S355J2H tai S355J0H. Jos käytettävän teräksen myötölujuus on alempi, seinämäpaksuutta paksunnetaan myötölujuuksien suhteessa. Betoniputken lujuusluokkana käytetään vähintään luokkaa Dr. (Knuutila ym. 2015, s.36) Muovisilla kaapelinsuojaputkilla valtateiden alituksissa käytetään SN16/A- lujuusluokan kaapelisuojaputkia.

Taulukko 6. Liikenneviraston ohjeen uusimman luonnoksen mukaiset teräsputkien minimiainevahvuudet, S355 (Knuutila ym. 2015, s.36).

Putki Ø mm	Minimi seinämä paksuus (IIvi) mm	Putki Ø mm	Minimi seinämä paksuus (IIvi) mm
139,7	4,0	610	8,8
168,3	4,5	711	8,8
219,1	5,6	813	10,0
273,0	5,6	914	10,0
323,9	6,3	1016	12,0
406	7,1	1220	12,0
508	8,0		

Suojaputki ulotetaan tien sivuojan ulkoluiskan yläreunasta vähintään kahden metrin etäisyydelle, mikäli sivuojaa ei ole, suojaputki ulotetaan vähintään kahden metrin etäisyydelle tieluiskan alareunasta. (Knuutila ym. 2015, s.43)

Suojaputken sisälle asennettu putki voidaan tarvittaessa vaihtaa kaivamatta tierakennetta auki. Myös mahdollisen putkirikon sattuessa paineellinen vesi pääsee virtaamaan pois vahingoittamatta tierakennetta. Suojaputki voidaan asentaa vietolla, jolloin sisällä vuotavasta putkesta virtaava vesi voidaan johdattaa suojaputkea pitkin kaivoon johon on järjestetty ylivuoto sivuojaan (kuva 15).

Työskentely tiealueella

Tien alituksen tai pituussuuntaisen linjan asennuksen työn tekemisen lähtökohtana on, että sitä ei saa tehdä maantieltä käsin. Alituksessa aloituskaivannon läheisyyteen tuodaan alitusmenetelmästä riippuen kalustoa ja materiaaleja esimerkiksi kompressoreita ja asennettavia putkia. Lisäksi tarvitaan tilaa kaluston kuormaukselle. Maansortumien välttämiseksi tulee aloituskaivannon kuormaustilan kantavuus varmistaa. Työmaajärjestelyin voidaan ehkäistä tiellä kulkevien ajoneuvojen suistuminen alituskaivantoihin esimerkiksi maavalleilla tai työmaakaiteilla. Kaivannoista ei saa aiheutua haittaa tierakenteelle eikä liikenneturvallisuus saa vaarantua. Kaivannon tekemisessä tulee noudattaa InfraRYL:n määräyksiä ja kaivutyön tekemisestä turvallisesti on esitetty tarkemmin Kaivanto-ohjeessa. (Knuutila ym. 2015, s.39-43) Työskentelyssä tiealueella tulee aina noudattaa voimassa olevia määräyksiä sekä ohjeita.

Rakennustyön seuranta

Ennen tiepenkereen alitusta pidetään tienpito tienpitoviranomaisen ja muiden osapuolten kesken aloituskatselmus. Aloituskatselmuksessa todetaan tien kunto ja laaditaan tarvittaessa pöytäkirja valokuvineen. Alituksen jälkeen pidetään loppukatselmus, jossa tarkistetaan mahdolliset tierakenteeseen syntyneet vauriot.

Työnaikaisen seurannan menetelmät päätetään tapauskohtaisesti. Tarkkailua tehdään silmämääräisesti ja tarvittaessa koneellisesti. Urakoitsijan tulee työn ajan seurata tiepenkereessä tapahtuvia muutoksia. Mikäli painumia tai siirtymiä havaitaan, otetaan välittömästi yhteyttä tienpitoviranomaiseen. Tarvittaessa tehdään muutoksia tieliikenteen nopeusrajoituksiin tai liikenne pysäytetään korjausten ajaksi. (Knuutila ym.

2015, s.50) Alitusmenetelmä ja maaperän tai tiepenkereen olosuhteet määrittävät jälkiseurannan tarpeen.

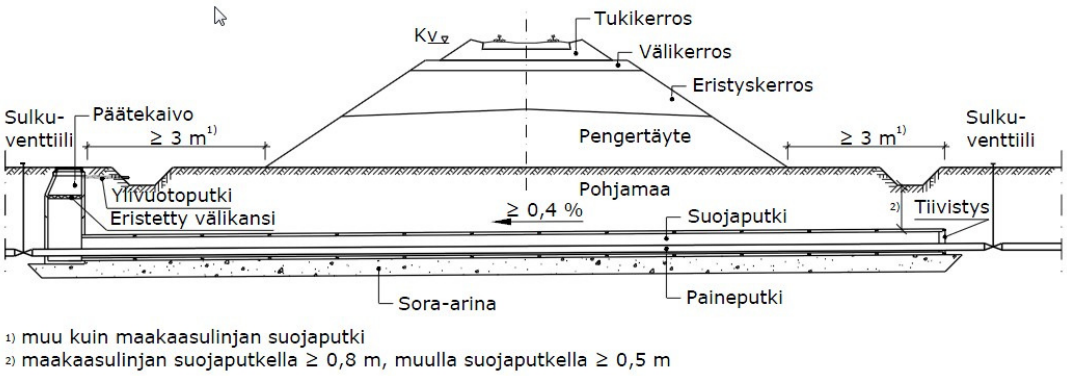
Tien alituksessa junttaus, myyräys ja suuriläpimittaiset alitusporaukset ovat riskialttiita. Kivisyys ja lohkareisuus lisäävät tyhjätilan muodostumista putken yläpuolelle, joka voi johtaa ajan kuluessa tien painumiin ja vaurioihin. Epäonnistuneesta työstä tulee aina ilmoittaa tienpitoviranomaiselle. Jos tien alitus epäonnistuu ja putki jää kokonaan tai osittain tierakenteeseen, tulee sen tyhjätila täyttää betonilla, vaahtobetonilla tai vastaavalla täyteaineella. Toinen vaihtoehto on poistaa se kaivamalla. Tierakennetta ei saa kaivaa auki ilman tienpitoviranomaisen hyväksyntää. (Knuutila ym. 2015, s.50 -51)

3.2.3 Ratarakenteet

Ratarakenteiden alitukset tehdään Suomessa julkaisun InfraRYL 2010 kohdan 16520 mukaisesti. Lupa alituksiin haetaan liikenneviraston valtuuttamalta rataisännöitsijältä. Kuten kohdassa 3.2.2, tarvitaan yhteistyötä osapuolten välillä hyvissä ajoin ennen alituksen suunnittelua ja rakentamista. Ilman kaivua tapahtuvat rata-alueen alitusputkien asennukset tehdään erillisten suunnitelmien mukaan, joiden tulee sisältää alitusmenetelmän porausalustan kaivantosuunnitelmat.

Ratarakenteiden alituksissa käytetään aina suojaputkea jonka sisälle asennetaan käytettävä putki tai kaapelit. Suojaputken tarkoituksena on ottaa vastaan pysyvät ja muuttuvat kuormat ja suojata sisällä olevaa rakennetta ja ratarakennetta mahdollisilta suojaputken sisällä tapahtuvista putkirikoista. Radan alituksissa muovisia suojaputkia saa käyttää InfraRYL 20110 kohdan 16520 mukaan vain kaapeleiden suojaamiseen. Samaan alituskohtaan saa asentaa korkeintaan kaksi muovista kaapelisuojaputkea, useamman muovisen suojaputken asentaminen tehdään teräksisen suojaputken sisään.

Suojaputkien vaaditut vähimmäisasennussyvyydet ja vähimmäisulottuvuudet löytyvät infraRYL 2010 kohdassa 16520.3. Paineputkien suojaputken kaltevuudet asennetaan kaltevuuteen ≥0,4 % mahdollisen putkirikon vaikutusten vuoksi.



Kuva 15. Paineputken asennus suojaputkeen rata-alueella. Kuvassa lisäksi sora-arina mitä ei voida rakentaa kaivamattomilla asennusmenetelmillä. Putki tulee ulottua vähintään 3 metrin päähän penkereen luiskan alaosasta mitattuna. Mahdollisen putkivuodon tapauksessa neste virtaa kaltevassa suojaputkessa kaivoon, johon on järjestetty ylivuoto. (InfraRYL 2010, s.219)

Ratarakenteiden alitusputkien kelpoisuuden osoittamisen vähimmäisvaatimuksina infraRYL 2010 kohdassa 16520.5 ovat: toteutumapiirrustukset, risteämälupa, materiaalien kelpoisuustodistukset ja katselmuksen tulokset.

3.2.4 Vesistöjen alitukset

Suomessa vesistöjen alitukset tehdään yleensä joko painottamalla tai suuntaporaamalla. Tekniset ja taloudelliset asiat huomioimalla usein päädytään alittamaan vesistö suuntaporaamalla. Suuntaporaamalla johdot saadaan asennettua vesistön alle pysyvänä ratkaisuna. Joissakin tapauksissa päädytään käyttämään suuntaporauksen apuna vasaraporausta vesistöjen rannoilla, tekemällä kovassa maalajissa teräksisiä hylsyputkia, joiden läpi pystytään työntämään pilottikärki ja vetovaiheessa avarrin putkineen. Hylsyputkilla päästään suuntaporaukselle epäedullisen maalajikerroksen läpi.

Vesistöjen kuten jokien alitusluvat myöntää ja käsittelee yleensä Aluehallintavirasto. Luvat tarvitaan myös rannoilla sijaitsevilta kiinteistöiltä, sekä muilta mahdollisilta osapuolilta kuten tienomistajilta.

Alittaessa vesistöjä tulee porausnesteen soveltuvuus tarkistaa. Alitusputken asennussyvyys vesistön pohjamaahan tehdään tapauskohtaisesti. Pienien ojien ja lyhyiden alitusten tapauksissa, voidaan alitus suorittaa kaivamalla ja ohipumppauksia käyttäen. Suomessa on tehty vesistöalituksia suuntaporaamalla yli 500 metrin pituisia matkoja onnistuneesti muoviputkilla. Suunnitteilla on myös n. 1000 m pituisesti tehtävä vesistöalitus kesällä 2016.

Ennen vesistön alitusta vesistön pohjan ja veden pinnan korkeusasema ja pohjamaan maalaji tulee tarkistaa ja kartoittaa. Rannoilla olevat maanpinna korkeusasemat ja pohjamaan laatu tulee myös tarkistaa. Vesistön pohjan luotaus ja tutkaus tulee tehdä, sekä maaperätutkimukset rannoilta, varmistuakseen että pohjaolosuhteet soveltuvat suuntaporaukselle Tämän jälkeen tehdään alitussuunnitelma ja esimerkiksi suuntaporaukseen tarkoitetuilla suunnitteluohjelmilla lasketaan ja mallinnetaan porausreitti yksityiskohtaisesti. Poraussuunnitelman avulla varmistetaan putken asennus oikeaan paikkaan (kuva 21). Kappaleessa 4.1 kerrotaan tarkemmin poraussuunnitelmasta.

3.2.5 Menetelmien kustannukset

Alitusmenetelmien kustannuksiin vaikuttavat:

- kaluston hankinta- ja huoltokustannukset
- työntekijöiden koulutus ja työvoima
- kohteessa mennyt työaika
- polttoaineet ja materiaalit (esim. bentoniitti ja vesi)
- suunnittelu ja luvat
- asennuspituus, syvyys ja tarkkuus
- putkimateriaali ja halkaisija
- maaperäolosuhteet ja niiden tutkimuskustannukset
- työmaaolosuhteet.

Alituskohdetta suunniteltaessa tulee tarkistaa alitusurakoitsijalta tiedot, jotta toteutus on asianmukainen ja kustannustehokas.

Halvin kaikista menetelmistä on myyräys, mutta se ei sovellu kuin lyhyihin asennuksiin pienillä putkihalkaisijoilla kaapelinsuojaputkilla. Lisäksi myyräämällä asentaminen on riskialtista ja asennustarkkuus epävarmaa. Myyräys on käytännöllisimmillään lyhyissä asfaltoitujen tai kivetettyjen tonttiliittymien ja esimerkiksi pyörätien alituksissa kaapelinsuojaputkilla.

Vasaraporaus on menetelmistä kaikkein käyttökelpoisin ja toimintavarmin useimmissa maalajiolosuhteissa. Kustannuksiltaan se on hieman kalliimpaa kuin junttaus tai työntöporaus. Kallioporaaminen ja erittäin kivinen maalaji hidastaa työtä, kuluttaa kruunukärkiä ja nostaa hintaa. Työntöporaus ja junttaus soveltuvat isoille putkihalkaisijoille pehmeisiin maalajiolosuhteisiin.

Suuntaporaus on edullisimmillaan pitkissä asennuksissa tai useissa lyhyissä alituksissa samalla työalueella. Hyvissä maalajiolosuhteissa pitkien putkilinjojen asentaminen tulee usein halvemmaksi ja on nopeampaa mitä kaivamalla tapahtuva asentaminen.

Mitä syvemmälle putken tai putkien asennus tehdään, sitä parempi on kaivamattomien tekniikoiden kilpailukyky verrattuna perinteiseen kaivamalla tapahtuvaan asentamiseen. Kaivamattomissa menetelmissä tarvitaan huomattavasti vähäisempiä kaivutöitä, jolloin säästytään suuriltakin jälkitöiltä ja pintojen korjaustoimenpiteiltä. Säästetään esimerkiksi:

- asfaltointi- ja pinnoituskustannuksissa
- kiertoteiden rakentamisessa ja liikenteen ohjauksessa
- istutus-, multaus- ja kylvökustannuksissa
- maan tiivistystöissä
- kaivannon tuenta- ja kuivatuskustannuksissa
- maamateriaalin kuljetus- ja siirtokustannuksissa
- maamateriaalin hankintakustannuksissa
- kaluston polttoaineissa.

3.3 Putkilinjan saneeraus

Putkilijan saneerausmenetelmän valintaan vaikuttavat tekniset tekijät, taloudelliset tekijät, kadun saneeraustarve, olosuhdetekijät sekä haitat ulkopuolisille (RIL 237-1-2010, s.94). Saneerausmenetelmään voi vaikuttaa myös tilaajan mieltymykset. Jos esimerkiksi jokin saneerausmenetelmä on aiheuttanut aikaisemmin ongelmia, ei tilaaja välttämättä valitse samaa menetelmää uudelleen käytettäväksi.

Menetelmän valintaan vaikuttavia teknisiä tekijöitä ovat mm. painumisolosuhteet, sortumat, puhdistustarve ja siirtyminen sekaviemäröinnistä erillisviemäröintiin. Saneerauksen taloudellisia tekijöitä ovat tonttiliitosten määrä, olosuhteet johtokaivannossa, saneeraustyön kesto, kustannukset saneerauksen jälkeen, haitat ulkopuolisille, muut maarakennustyöt sekä työllisyys näkökohdat- (Ril 237-1-2010, s.94)

Taloudellisiin tekijöihin voidaan sisällyttää myös väliaikaisen pintavesiverkon rakentaminen. Jotta kiinteistöille saadaan turvattua vedenjakelu saneeraustöiden aikana, tulee kiinteistöille tehdä työnaikainen vedenjakeluverkko. Väliaikaisen pintaverkon rakentaminen on monesti kustannuksiltaan suurehko ja aikaa vievä toimenpide. Väliaikaisen pintaverkko vaatii useita väliaikaisia tonttiliitosten tekoja, putkimateriaaleja, kaivantoja ja useita erilaisia suojaustoimenpiteitä.

Saneeraus voidaan toteuttaa suotuisissa olosuhteissa myös suuntaporaamalla, jolloin vältytään väliaikaiselta pintavesiverkon rakentamiselta. Saneerattavan linjan viereen suuntaporaamalla asennetaan vesijohtolinja, vanhan linjan toimiessa asennuksen aikana. Suuntaporaamalla tapahtuvassa saneerauksessa säästytään mahdollisimman vähäisillä vesikatkoksilla.(Dahlbacka 2015)

Johtolinja on syytä saneerata kaivamalla, käyttäen suuntaporausta tai muuta uuden linjan kaivamatonta tekniikkaa käyttäen kun johtolinjassa on pahoja painumia tai johtolinja on sortunut. Jos saneerattavalle alueelle on syytä rakentaa erillinen sadevesiviemäri, on kaivamalla tapahtuva saneeraus varteenotettava vaihtoehto (RIL 237-1-2010, s.95).

Saneeraus on syytä tehdä kaivamalla, mikäli linja sijaitsee katualueella jossa myös katu on saneerattava. mikäli katusaneeraukselle ei ole tarvetta tai kaivaminen ei ole muuten järkevää toteuttaa, on syytä valita kaivamaton menetelmä. Kaivamaton saneerausmenetelmä on suositeltavaa kohteissa joissa vesi- ja viemärilinjojen yläpuolella sijaitsee rakennelmia, tukimuuri tai istutuksia, jotka muuten jouduttaisiin siirtämään (RIL 237-1-2010, s.95). Myös kalliit pinnoitukset kuten kivetykset ja kadun erikoisrakenteet kuten lämmitysputket edesauttavat kaivamattoman saneerausmenetelmän valintaan.

Saneeraustyön ajallinen kesto on merkittävä tekijä saneerauksen kokonaiskustannuksia vertailtaessa. Saneeraus kaivamalla vie usein paljon enemmän aikaa kuin vaihtoehtoiset menetelmät. Katualueilla lyhyt saneerausaika aiheuttaa vähemmän haittaa liikenteelle ja asukkaille. Erittäin ruuhkaisilla kaduilla kaivamattomat saneerausmenetelmät voi olla ainoa järkevä vaihtoehto. (RIL 237-1-2010, s.95)

3.4 Putkimateriaalit

Kaivamattomissa tekniikoissa käytetty menetelmä ja maalajiolosuhteet asettavat rajoituksia putkimateriaaleille, sillä putkeen kohdistuu menetelmästä ja olosuhteista riippuen asennuksen aikaisia ja jälkeisiä voimia. Putkimateriaalin valintaan vaikuttavat mm. käytettävä menetelmä, käyttökohde ja tarkoitus, kohteessa aiheutuvat kuormat putkelle, maaperän laatu ja korroosio. Alituskohteessa maaperässä sijaitsevat kivet ja kappaleet voivat aiheuttaa asennettavaan putkeen naarmuja ja vaurioita, jotka lyhentävät putken elinikää. Kaivamattomassa asennuksessa putkeen voi menetelmästä riippuen kohdistua seuraavia asennuksen aikaisia välittömiä voimia: kitka, maanpaine, isku ja tärinä, vetojännitys, puristusjännitys, taivutusjännitys, lämpö. Asennuksen jälkeisiä voimia ovat mm. maanpaine, lämpö ja lämpölaajenemisesta johtuva veto- ja puristusjännitys, tärinä, liikennekuorma, pistekuormat ja korroosio. Kaivamattomalla menetelmällä asennettavan putken on kestettävä asennuksen aikaiset ja asennuksen jälkeiset kuormitukset, jotta putki kestää toimivana elinikänsä.

Yleisimmät suomessa käytettävät putkimateriaalit kaivamattomissa tekniikoissa ovat polyeteeni PE, polypropeeni PP, polyvinyylikloridi PVC, teräs, muovikomposiitti ja

raudoitettu betoni. Taulukossa 5 on esitetty eri kaivamattomissa menetelmissä käytetyt putkimateriaalit.

3.4.1 Putkimateriaalien ominaisuuksia

Putkimateriaaleja kehitetään kaiken aikaa ja markkinoille tulee jatkuvasti uusia tuotteita eri ominaisuuksilla. Kaivamattomien menetelmien käytön lisääntyessä, myös kaivamattomiin menetelmiin tarkoitettujen putkien lisääntynyt tarve on tuonut Euroopan ja Suomen markkinoille useita erilaisin ominaisuuksin varustettuja putkia.

Muoviputket

Nordic Poly Mark (NPM) on muoviputkituotteissa oleva laatu- ja sertifiointimerkki, joka on yhteinen neljässä Pohjoismaassa, Suomen lisäksi Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa. NMP- merkityt muoviputket on testattu ja tarkastettu pohjoismaisiin olosuhteisiin soveltuvaksi. NMP- merkittyjen tuotteiden taataan kestävän pohjoismaisissa käyttöolosuhteissa vähintään 50 vuotta. (Muoviteollisuus ry 2015a) Muovisia putkimateriaaleja kuten PE, PP ja PVC käytetään Suomessa eniten suuntaporauksessa ja myyräyksessä.

Kaapelinsuojaputket jaetaan standardin SFS- 5608 mukaan rengasjäykkyyden ja iskulujuuden mukaisesti. Kaapelinsuojaputken rengasjäykkyys SN ilmoitetaan neliölle kohdistuvan paineen mukaan (kN/m^2). Liikennöidyillä alueilla, kuten katujen, rautateiden ja teiden alituksissa, käytetään SN16/A- lujuusluokan kaapelisuojaputkia (1600 kN/m^2). Kevyen liikenteen väylillä voidaan käyttää SN8/B- lujuusluokan putkia (800 kN/m^2).

PVC-, ja PP- putkia asennetaan Suomessa yleisemmin myyräämällä ja suuntaporaamalla. PVC-, ja PP- putkia käytetään alituksissa yleensä kaapelinsuojaputkina. PVC on edullinen, kevyt, sitkeä ja kestävä, sekä helposti työstettävä materiaali. Muoviteollisuus ry 2015a). PVC-, ja PP- putkilla on hyvät virtausominaisuudet niiden sileyden takia, joten ne sopivat viettoviemäreiden putkimateriaaliksi ja kaapelinsuojaputkiksi.

Polyeteeniputket

Polyeteeni (PE) on halpa ja suuntaporauksessa yleisimmin käytetty putkimateriaali. Ominaisuuksiltaan se on vahamaista ja kemiallisesti reagoimatonta. Polyeteenit jaotellaan niiden tiheyksien ja haarautuneisuuksien mukaan:

- pienitiheyspolyeteeni LDPE, eli **PEL**
- keskitiheyspolyeteeni MDPE, eli **PEM**
- suuritiheyspolyeteeni HDPE, eli **PEH.**

Polyeteenin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet ovat suoraan riippuvaisia polyeteenin tiheydestä. Tiheyden kasvu nostaa huomattavasti myötörajaa, sitkeyttä, kimmomoduulia, kovuutta ja lämmönsietokestoa sekä vähentää liukoisuutta ja turpoamista, kaasujen läpäiseväisyyttä sekä laskee hieman iskulujuutta. Yleisin käytetty putkimateriaali on PEH, koska sillä on hyvät putkilta vaadittavat ominaisuudet kuten hyvä paineen kesto, joutavuus, kestää hyvin maan pieniä liikkeitä (kuten routimista), hyvä hitsattavuus, erinomainen hankauskestävyys (kestää hyvin naarmuuntumista) ja PE-putkesta ei liukene nesteisiin hajuja tai makuja. Polyeteeni on helposti työstettävää ja muokattavaa joten se soveltuu erinomaisesti vesihuollon putkimateriaaliksi. (Pipelife Finland Oy 2015)

PEH- putket valmistetaan yleensä kahdesta eri materiaalista, PE80 ja PE100. PE80 ja PE100 merkinnät kertovat putken mekaanisesta lujuudesta painetta vastaan. PE100 on hieman kestävämpää materiaalia painetta vastaan kuin PE80. PE80 on joustavampaa ja sitä käytetään yleensä pienemmillä putkihalkaisijoilla kuten tonttijohdoissa. PE100 käytetään jäykempänä materiaalina suuremmissa runkojohdoissa. Putken SDR- luku kertoo putken nimellisen ulkohalkaisijan suhteen putken seinämäpaksuuteen. (Pipelife Finland Oy 2015)

PE- putken kestävyys on suoraan verrannollinen SDR- lukuun. SDR- luku (standart diameter ratio) on putken ulkohalkaisijan ja seinämän paksuuden suhdeluku, esimerkiksi jos ulkohalkaisija on 110mm ja seinämäpaksuus 10 mm, on SDR- luku tällöin 11. Mitä pienempi SDR- luku, sen parempi on putken kestävyys. Suuntaporauksissa asiantuntijat suosittelevat käytettäväksi pitkissä/syvissä asennuksissa

PEH- putkea jonka SDR- luku on pieni. Ohutseinämäisiä putkia asennettaessa suuntaporaamalla voi putkeen kohdistua suuriakin pituus- ja poikittaissuuntaisia voimia ja putki voi päästä venymään liian kovalla vetovoimalla vedettäessä (Mikkola 2015).

PE- putket kestävät yleisesti hyvin naarmuuntumista. Naarmut jotka ovat syvyydeltään alle 10% putken seinämäpaksuudesta, eivät vaikuta käytännössä putken kestävyyteen ja käyttöikään. PE- materiaalien jatkuva kehitys on johtanut siihen, että naarmuilla on vielä pienempi vaikutus putken kestävyyteen (muoviteollisuus ry 2012). Alitus- ja saneerausmenetelmissä kuten pakkosujutus ja suuntaporaus, saadaan putken ehjä asennus vieläkin varmemmaksi käyttämällä tällaisia PE- putkia, joissa on naarmuuntumiselta suojaava suojakuori. Suojakuori ottaa vastaan mahdolliset naarmut ja suojelee varsinaista ydinputkea.

PE100 RC (resistant to crack) on putkimateriaali joka kestää tavanomaisia PE100 materiaaleja paremmin jännityshalkeamista, samalla säilyttäen muut PE100 materiaalien hyvät ominaisuudet ja työstettävyyden. PE100 RC materiaali soveltuu hyvin kaivamattomien tekniikoiden koviin olosuhteisiin. PE 100 RC materiaalin lujuus perustuu siihen että polymerisoinnissa on synnytetty lisäsivuketjuja, jotka lukittuvat toisiinsa ja estävät molekyyliketjujen purkaantumisen. PE100 RC putkimateriaalina on laajasti käytössä Keski-Euroopassa jo 2000-luvun alusta lähtien ja on arveltu että se korvaa lähitulevaisuudessa normaalin PE100. (NRG Suomi Oy 2016)

Kaivamattomia tekniikoita varten on kehitetty suojakuorellisia PEH- putkia, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Koekstrudoidut suojaputket ovat PE- putkia, jotka koostuvat eri materiaalikerroksista. Koekstrudoiduja putkia on kahdenlaisia. On putkia jotka koostuvat kahdesta tai useammasta toisiinsa liittyneistä kerroksista ja putkia jotka koostuvat kahdesta kerroksesta, joista ulompi on irrotettavissa alla olevasta PE-putkesta. Virtausputki on normaali standardisoitu PE- putki. Putken suojakuoren paksuus ja materiaali voivat vaihdella. Yleensä suomessa suojakuoren materiaalina käytetään polypropeenia (PP). (muoviteollisuus ry 2012). Suomalaisilta putkivalmistajilta, kuten Pipelife Finland Oy, on saatavilla suojakuorellisia PEH-putkia. NRG Suomi Oy myy ja markkinoi saksalaisen Egeplastin valmistamia

kaivamattomiin tekniikoihin soveltuvia koekstrudoiduja PEH- putkia, joissa suojakuuori on PE materiaalia.

Egeplastin SLM® DCT on suojakuorellinen polyeteeniputki, jossa on integroituna sähköä johtavat alumiininauhat. Sähköä johtavien alumiininauhojen avulla onnistuu asennuksen jälkeinen putken kunnon tarkastaminen ja paikallistaminen. Suojakuori kestää hyvin terävien metallikappaleiden tai kivien aiheuttamia naarmuja. Valmistuksessa käytetty PE100- RC materiaali yhdessä suojakuoren kanssa eliminoi esimerkiksi kivien aiheuttamat painaumajännitteet putkea kohtaan. (NRG Suomi Oy 2015)

Maaperässä, jossa on epäpuhtauksia tai suuria pitoisuuksia kemikaaleja, voidaan käyttää diffuusiosuojattuja suojakuorellisia PEH- putkia kaivamattomaan asentamiseen. Diffuusiosuojatuilla putkilla varmistetaan, etteivät epäpuhtaudet tai maku- ja hajuhaitat pääse juomaveteen. Diffuusiosuojattu putki toimii myös tilanteissa joissa halutaan varmistaa, ettei putkessa kulkeva neste pääse kulkeutumaan ympäröivään maaperään. Kaivamattomaan tekniikkaan käytettäväksi tarkoitettuja diffuusiosuojattuja putkia on esim. Egeplastin SLA® Barrier Pipe suojakuorellinen diffuusiosuojattu PE100- RC putki, jossa on alumiininen välikerros, joka suojelee juomavettä epäpuhtauksilta (NRG Suomi Oy 2015).

Egeplastin 3L putki on suojakuorellinen PEH- putki jossa on sähköä johtava välikerros jatkuvaan vuotokontrolliin. Kun mitataan 3L-putken alumiinikerroksen resistanssia maaperää vasten, voidaan todeta onko alumiinikerroksen ja maaperän välillä sähkövirtausta. Mikäli 3L-putki on vahingoittunut, sähkövirta alumiinikerroksen ja maaperän välillä on mahdollinen ja eristysresistanssi putoaa. Vuoto voidaan paikallistaa noin metrin tarkkuudella. (NRG Suomi Oy 2015)

Egeplastin SLM® DCT-, SLA®-, sekä 3L- putkea voidaan käyttää esimerkiksi perinteisessä kaivamisessa ilman putken hiekkapetiä, pakkosujutuksessa, suuntaporauksessa ja pitkäsujutuksessa. (NRG Suomi Oy 2015)

Teräsputket

Teräsputkia käytetään kaivamattomissa menetelmissä esimerkiksi teiden ja rautateiden alitusputkina ja suojaputkina. Teräksen ominaisuudet riippuvat voimakkaasti sen rakenteesta, joka puolestaan riippuu hiilen määrästä, seosaineista sekä valmistusparametreista. Teräs putkimateriaalina on yleisesti käytetty alitustekniikoissa joissa asennuksen aikana ja jälkeen putkeen kohdistuu mm. tärinää, iskuja ja kuormitusta. Yleisesti terästä putkimateriaalina on Suomessa käytetty junttausmenetelmässä, vasaraporauksessa ja työntöporauksessa. Myös suuntaporaamalla on tehty tien ja rautatien alituksia teräsputkilla.

Teräsputkia on kierresaumahitsattuja, pituussaumahitsattuna ja saumattomina. Halkaisijaltaan pienemmät putket ovat pituussaumahitsattuja ja suuremman kokoluokan putket ovat yleensä kierresaumahitsattuja. Suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon, että valitsee yleisen ja hyvin saatavilla olevan teräsputkikoon alituksiin. Yleisimmin käytettyjen teräsputkien halkaisijat on lueteltu taulukossa 6.

Betoniputket

Teräksellä vahvistettuja betoniputkia (Dr) voidaan asentaa työntöporalla ja mikrotunnelimenetelmällä. Menetelmät missä käytetään iskua tai lyöntiä eivät sovellu betoniputkien asentamiseen. Työntämällä tapahtuva asennus vaatii betoniputken kärkeen leikkaavan teräsosan ja pehmeän maalajin. Betoniputkien eteen kiinnitettävä teräsosa leikkautuu maa-aineksen läpi vähentäen betoniosien vastusta maan kanssa.

Muovikomposiittiputket

Komposiitti muodostuu kun fyysisiltä ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan poikkeavia materiaaleja yhdistetään, siten että ne muodostavat toimivan kokonaisuuden, mutta eivät kuitenkaan sekoitu toisiinsa. Nämä materiaalit ovat yleensä ominaisuuksistaan riippuen lujite ja matriisi. Muoveja käytetään komposiiteissa yleensä keveyden vuoksi. Muovikomposiitti koostuu yleensä muovipohjaisesta matriisista ja lujitteesta joka voi olla lasi -, hiili- tai aramidikuitua. Muovikomposiitin tyypillisiä ominaisuuksia ovat keveys, korroosiokestävyys, kestävyys lämmönvaihtelua vastaan, korkea lujuus

suhteessa painoon, hyvä iskunkestävyys, pitkäaikaiskestävyys ja huoltovapaus (suomen muoviteollisuus ry 2015b).

Ominaisuuksiensa vuoksi (iskulujuus) muovikomposiitti soveltuu alitustekniikoihin joissa putkeen kohdistuu asentamisen aikaisia suuria voimia, näitä menetelmiä ovat mm. junttaus, vasaraporaus ja työntöporaus sekä mikrotunnelointi. Yksittäisten muovikomposiittien pituus voi olla 1,2,3 ja 6 m, jotka liitetään toisiinsa muhviliitoksin. (Hobas 2014).

Valurautaputket

Suomessa valurautaputkia asennetaan harvemmin kaivamattomilla tekniikoilla. SG-pallografiittivalurautaputket ovat suuren rengasjäykkyyden ja lujuuden omaavia puhtaan tai raakaveden johtamiseen tarkoitettuja vesijohtoputkia. Tarvittaessa valurautaputket voidaan suojata PE- pinnoitteella jolloin korroosiotekijät eliminoituvat. Suuntaporaamalla muhvittomien valurautaputkien asentaminen kuitenkin on toteutettavissa. Valurauta on murtumisherkkä lujilla iskuilla, joten sen käyttö iskevillä menetelmillä tapahtuvaan asentamiseen on epäkäytännöllistä.

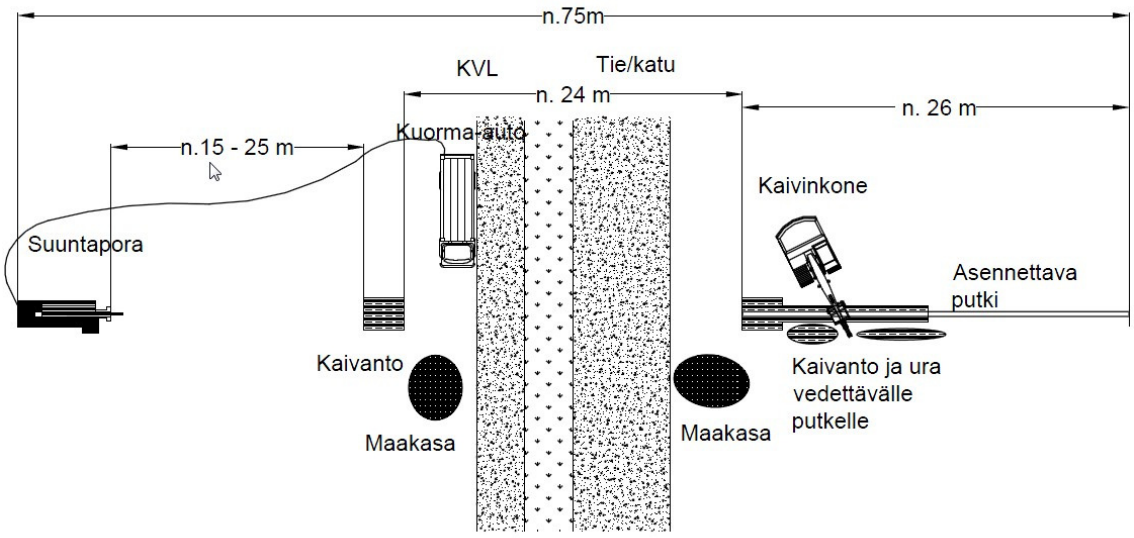
4 ALITUKSEN JA LINJAN RAKENTAMINEN

4.1 Työn suunnittelu ja toteuttaminen

4.1.1 Asennus suuntaporaamalla

Maaperätutkimusten perusteella ja suuntaporaukselle suotuisat olosuhteet todettua, voidaan alustavasti päättää että asennus kannattaa suorittaa suuntaporaamalla. Suuntaporakalusto (iso, keskikokoinen tai pieni suuntapora) valitaan asennuksen pituuden, putkihalkaisijan, maalajin ja muiden oleellisten olosuhdetekijöiden perusteella. (Vermeer 2005) Alituskohdetta tutkittaessa tehdään päätökset, kumpaan päähän sijoitetaan suuntapora ja kumpaan vedettävät putket. Lisäksi tutkitaan, ettei alitusreitillä sijaitse maanalaisia rakenteita kuten kaapeleita tai vesihuollon putkistoja, jolloin saadaan estettyä mittavienkin vahinkojen mahdollisuus. Tarvittaessa porausreitin lähellä sijaitsevat kaapelit ja putkistot voidaan kaivaa turvallisuussyistä johtuen esille.

Alituskohteessa suuntaporakone vaatii pituussuunnassa tilaa poratankojen taivutusominaisuuksista johtuen. Esimerkiksi suuntaporakonetta ei voida sijoittaa heti tien penkereeseen ja aloittaa siitä kohtisuoraa alitusta. Poratankojen taivutusominaisuuksista ja alituksen syvyyden perusteella voidaan laskea suuntaporakoneen pituussuuntainen etäisyys alituskohteen reunasta (Vermeer 2005, 20-3) Kuvassa 16 on esitetty esimerkki tien alituksessa suuntaporauksen vaatima pituussuuntainen tila. Toisella puolella alituskohtaa asennettavat putket vaativat myös pituussuunnassa tilaa (kuva 17). Pieniä putkia vedettäessä voidaan asennus syöttää myös kiepiltä. Yleensä putket liitetään kerralla koko asennuksen pituuden matkalta, joissakin tapauksissa voidaan veto keskeyttää liitosten tekemisen ajaksi. Myös sekoitusyksikölle tarvitaan työmaa-alueella tilaa ja mahdollisesti muulle kalustolle. Yleensä sekoitusyksikkö sijaitsee kuorma-autossa, josta sekoitusyksikön porausnesteen letkut viedään suuntaporakoneelle. (Mikkola 2015)



Kuva 10. Esimerkki suuntaporan tilavaatimuksista kadun alituksessa. Suuntapora sijoitetaan poratankojen taivutusominaisuuksista, maalajista, lähtökulmasta ja alituksen syvyydestä riippuen pituussuunnassa tietyn etäisyyden päähän kaivannosta johon alitus päättyy. Myös muu kalusto ja asennettavat putket vaativat tilaa.

Suuntaporakoneelle ei tarvitse yleensä tehdä erillisiä kaivantoja tai luiskia. Suuntapora on parasta sijoittaa tasaiselle kaivamattomalle alueelle, joka kantavuus kestää koneen painon. Suuntaporakone ”ruuvataan” jaloilla keulastaan kiinni maahan, jolloin täytyy tarkistaa, ettei jalkojen alla sijaitse kaapeleita tai muita vaurioituvia rakenteita. (Mikkola 2015)

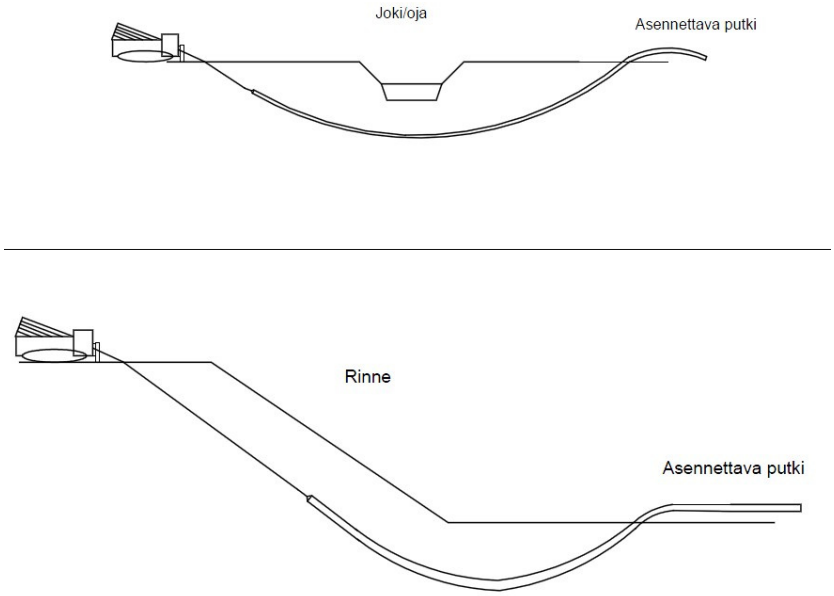
Kaivinkone toimii suuntaporauksessa apukoneena. Kaivinkonetta tarvitaan raskaiden osien nostoihin (avartimet), putkien siirtoihin, kaivantojen tekoon ja muihin tarvittaviin töihin. Putkien liitostöihin tarvitaan myös liitostyövälineet kuten puskuhitsausvälineistö tai muu liitosvälineistö ja työkalut. (Mikkola 2015)

Kuva 17. PEH- putkelle kaivettu ura tien alituksessa.

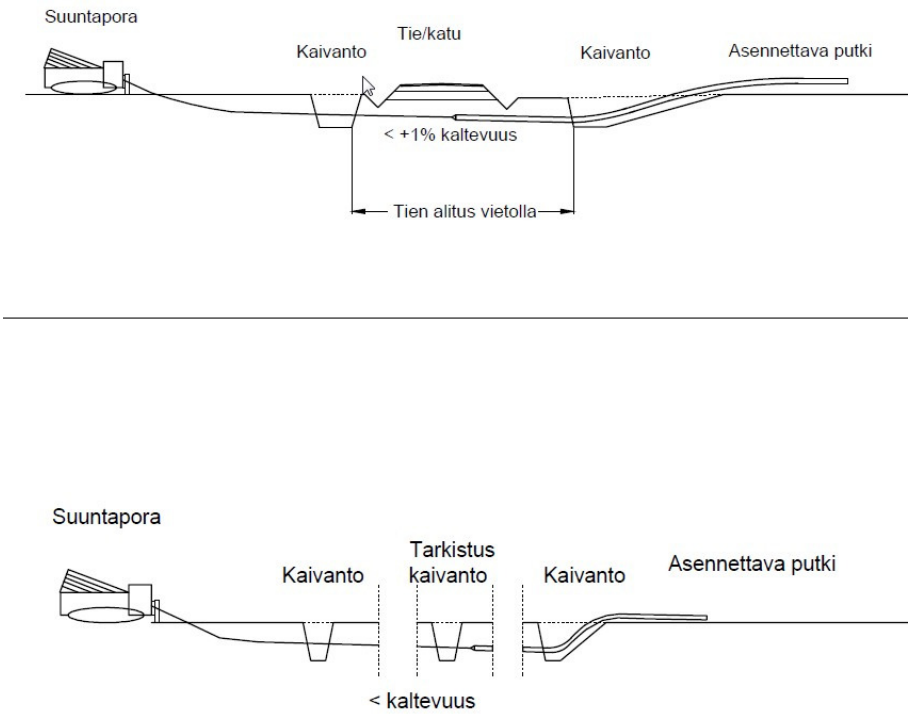
Verkostorakentamisessa alitukset olisi hyvä tehdä töiden alkuvaiheessa. Töiden alkuvaiheessa ei tällöin ole alitustekniikan tiellä jo valmiiksi rakennettuja linjoja esim. putkilinjojen rakenteita tien luiskissa. Pienet heitot alituksen viettokulmissa voidaan korjata linjassa helpommin jälkikäteen kaivamalla tapahtuvassa rakentamisessa pienillä suunnitelmamuutoksilla. (Mikkola 2015)

Vietolla porattaessa on helpompi pilottiporata alamäkeen. Alamäkeen pilottiporattaessa porausreissä oleva porausneste pysyy paremmin reiässä ja viilentää pilottikärkeä ja lähetintä Tällöin putken veto tapahtuu ylämäkeen jolloin porausnesteen mukana kulkeutuva maa-aines kulkeutuu alaspäin. (Vermeer 2005, 20-5) Tällöin suuntaporakone tulee sijoittaa asennettavan putken korkeampaan päähän. Sama pätee rinteeseen porattaessa, suuntapora kannattaa sijoittaa korkeampaan maastoon (kuva 18).

Tarvittaessa kuitenkin myös ylöspäin tapahtuva asennus on toteutettavissa (Mikkola 2015).



Kuva 18. Periaatekuva asennuksesta joen ali ja rinteeseen



Kuva 19. Periaatekuvat asennettaessa suuntaporalla vietolla tien ali sekä linjaa tarkistuskaivannoilla.

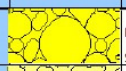
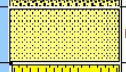
Viettojen jyrkkyys putkilla on monesti suunnittelijan huomioitava alituskohteissa. Jos putkelle on suunniteltu 0,3 % kaato, on se vaikea varmuudella toteuttaa suuntaporaamalla. Vietolla 1 %:sta ylöspäin on helpommin toteutettavissa. Suunnittelijan täytyy huomioida, että alituskohteissa jyrkemmillä kaadoilla asennus on helpommin toteutettavissa. (Mikkola 2015)

Pilottiporauksen alkuvaiheessa voidaan kaivaa alituksen päihin kaivannot, joista saadaan tarkistettua korkeusasemat. Pitkiä linjoja asennettaessa voidaan kaivaa tarkistuskaivantoja (kuva 19). Tarkistuskaivantojen kokoa ei suositella kovin suuriksi pilottivaiheessa, sillä poratangot saattavat vääntyä kaivannossa maan tukevan voiman puuttumisen johdosta. Kuvassa 20 nähdään poratangon taipuminen tarkistuskaivannossa. Vetovaiheessa kaivantojen koolla ei ole niin suurta merkitystä. (Mikkola 2015)

Kuva 20. Poratangon taipuminen kaivannossa. Ylitaipuminen voi vahingoittaa poratankoja.

Porausneste sekoitetaan sekoitusyksikössä maalajiolosuhteisiin sopivaksi. Porausnesteen suhteet ovat yleensä samat pilottiporauksen vaiheessa kuin reiän suurennuksessa ja putken vetovaiheessa (Mikkola 2015). Porausnesteen ominaisuuksia ovat kovuus, pH, tiheys, viskositeetti, suodatin ominaisuudet ja kiintoainepitoisuus (Mudmaster 2015). Porausnesteen sekoitussuhteita voidaan muuttaa porauksen aikana, mikäli sille ilmenee tarvetta. Taitava ja kokenut porari kykenee tunnistamaan olosuhteet, jolloin vaaditaan porausnesteessä muutoksia. Oikealla porausnesteen ominaisuuksilla voidaan estää mm. porausreiän sortuminen ja porausnesteen liiallinen imeytyminen ympäröivään rakeiseen maalajiin, sekä maa-aineksen sekoittuminen porausnesteeseen (taulukko 7). (Mikkola 2015)

Taulukko 7. Vapaasti suomennettu taulukko eri maalajeihin soveltuvien porausnesteeseen lisättävien polymeerien käyttötarkoituksista. (Mudmaster 2015)

Maaperä	Muodostus	Ongelma	Suositeltu tuote		Suositeltu sekoitus (noin)	
Kivipitoinen moreeni		Reikä sortuu/Menetetty virtaus Suurempi vääntömomentti	TUNNEL-GEL® PLUS	NO-SAG™ IDP-496	25 - 35 kg/m³	0,5 - 1,5 kg/m³ 5 - 10 kg/m³
Sora		Reikä sortuu Massojen Kuljetus/Suurempi vääntömomentti	TUNNEL-GEL® PLUS	NO-SAG™ N-SEAL™	30 - 35 kg/m³	0,3 - 1 kg/m³ 5 - 13,6 kg/m³
Hiekka & sora		Menetetty virtaus Porareiän stabilointi	TUNNEL-GEL® PLUS	NO-SAG™ N-SEAL™	25 - 30 kg/m³	0,5 - 1 kg/m³ 5 - 13,6 kg/m³
Karkea hiekka		Porareiän stabilointi Tukkeutuminen/Massojen Kuljetus	TUNNEL-GEL® PLUS	QUIK-TROL® GOLD LV NO-SAG™	20 - 25 kg/m³	1 - 1,5 kg/m³ 0,25 - 0,5 kg/m³
Hieno hiekka		Porareiän stabilointi	TUNNEL-GEL® PLUS	QUIK-TROL® GOLD LV	25 - 30 kg/m³	1 - 1,5 kg/m³
Hiekka & Savi		Saveen ei sekoitu Menetetty virtaus	TUNNEL-GEL® PLUS	**QUIK-TROL® GOLD LV** EZ-MUD® GOLD	25 - 30 kg/m³	0,5 - 1 kg/m³ 0,5 - 1 kg/m³
Kuiva muta		Nesteenimeviä massoja Menetetty virtaus	TUNNEL-GEL® PLUS	EZ-MUD® GOLD PENETROL®	20 - 25 kg/m³	1 - 1,5 kg/m³ 1 litraa/m³
Turpoava muta		Nesteenimeviä massoja Suurempi vääntömomentti	TUNNEL-GEL® PLUS	EZ-MUD® GOLD PENETROL®	20 - 25 kg/m³	1 - 1,5 kg/m³ 1 litraa/m³
Tarttuva muta		Muodostuu paakkuja/Menetetty virtaus Tukkeutuneet suuttimet	TUNNEL-GEL® PLUS AQUA-CLEAR® PFD	EZ-MUD® GOLD PENETROL®	20 - 25 kg/m³ 1-2 litraa/m³	1 - 1,5 kg/m³ 1 litraa/m³

Porausnesteen Ominaisuudet	Testaustarvikkeet	Ongelma	Tulos	Suositeltu ratkaisu
Kovuus	Testiliuska	Kovuus > 100 mg/l	Huonosti käytetty tuotteen ominaisuuksia	Lisätty 0,5 - 1 kg/m³ Soda Ash saavuttaakseen halutun kovuuden pienempi kuin 100 mg/l ja pH 8.5-9.5 välillä
			Pienempi mahdollisuus saavuttaa viskosteetti	
pH	Testiliuska	pH < 7.0	Tuotteet sekoittuu huonommin	
			Pidempi sekoitusaika	
Porausnesteenpaino	Baroid muta vaaka	Neste paino >1.2 kg/litraa	Putki jumittuu	Kierrätys - Käytä testauslaitetta kiinteille aineille tai viimeisenä keinona; laimennusta
			Menetetty virtaus	Ei kierrätystä - lisää pumppausnopeutta, vähennä työntö/veto voima
"Marsh" Suppilo Viskosteetti	"Marsh" suppilo	Alle < 40 sec	Huono massojen kuljetus	Tarkista kovuus & pH, lisää Bentoniittiä tai Polymeeriä
		Yli > 75 sec	Kova pumppauspaine	Laimenna tai lisää ohentavaa ainetta, vähennä nestettä tai Polymeri pitoisuutta
Suodatus ominaisuudet	API Suodatusprässi	Suodatus nopeus > 15 ml/30 min	Epävakaa porareikä	Lisää Polymeriä suodatuskontrollia varten
		Suodatus nopeus < 15 ml/30 min	← *Tavoite*	Mittaa ja ylläpidä nesteen ominaisuuksia
Hiekka pitoisuus	Hiekkapitoisuus Test kit	Hiekkapitoisuus > 2%	Epänormaali kulutus nestepumpuissa	Ei kierrätystä - lisää pumppausnopeutta, vähennä työntö/veto voima
		Hiekkapitoisuus < 2%	← *Tavoite*	Kierrätys - Käytä ohjauslaitteita kiinteiden aineiden tai viimeisenä keinona; laimennusta

Version: 04-2015
mudmaster.fi-finnish

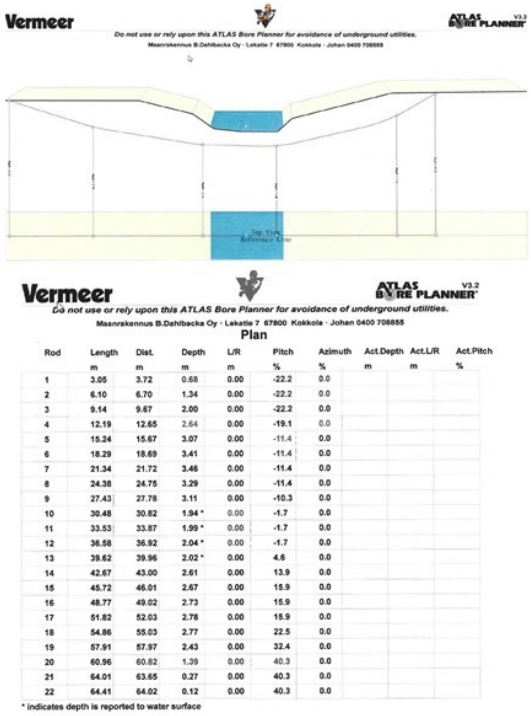
Porattaessa on seurattava, että porausneste purkaantuu ulos porausreiästä. Maan alla porausneste pumpataan avartimesta tai pilottikärjestä suurillakin paineilla. Porausneste voi purkaantua tällöin muuta reittiä pitkin. Tien alituksissa suuntaporaamalla on tapahtunut porausnesteen purkautumista tien tai muihin rakenteisiin. Tämä on aiheuttanut tien pintaan tai muualle pullistuman, josta porausneste on purkaantunut ulos. (Mikkola 2015)

Suuntaporaus pohjavedenpinnan alapuolella on vaikeammin ohjattavissa mitä pohjavedenpinnan yläpuolella. Porareiden kokemuksen perusteella pilottikärki ei lähde ohjautumaan yhtä helposti pohjavedenpinnan alapuolella. Kahden laadultaan erilaisen maalajin rajapinnalla ohjaus on vaikeampaa pitää suunnassa, porakärki lähtee

hakeutumaan pehmeämpään maalajiin. Suomessa porareiden kokemuksen mukaan ihanteellinen maalaji suuntaporaukselle on kuivakuorisavi. (Mikkola 2015)

On huomioitava myös asennettavan putken taipumissäteet maalajissa. Mikäli poratankojen taivutussäteillä pilottiporaus onnistuu hyvin, voi samoilla poratankojen taivutussäteillä putki aiheuttaa vedossa suuriakin vastuksia.

Ennen vaativaa suuntaporausta (esim. vesistön alitukset), jossa joudutaan tekemään suunnassa muutoksia kesken porauksen, voidaan tehdä poraussuunnitelma. Suuntaporauskoneiden valmistajilla (esim. Vermeer Manufacturing Company) on olemassa suuntaporausta varten tehtyjä laskentaohjelmia, joilla voidaan laskea ja suunnitella porausreitti. Tämä vaatii pinnan ja vesistön pohjan korkeusasematiedot, jotka syötetään ohjelmaan. suuntaporauslaskentaohjelman avulla voidaan laskea yksityiskohtaisesti käytettävien tankojen lukumäärä, ohjauskulmat ja porausreitti. Näin porarit voivat helpommin suorittaa porauksen valmiiksi lasketun reitin avulla ja pilottiporata suunnitellusti. (Vermeer 2005, 20-8)



Vermeer

ATLAS BORE PLANNER V3.2

Do not use or rely upon this ATLAS Bore Planner for avoidance of underground utilities.

Maanrakennus B.Dahlbacka Oy · Lekatie 7 67800 Kokkola · Johan 0400 708858

Plan

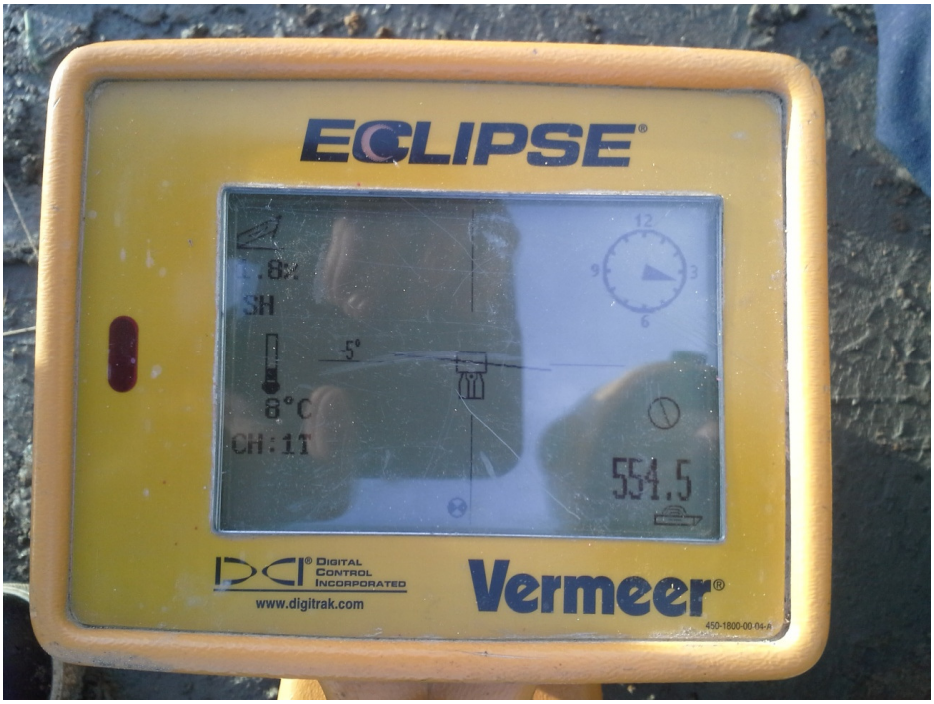
Rod	Length	Dist.	Depth	L/R	Pitch	Azimuth	Act.Depth	Act.L/R	Act.Pitch
	m	m	m	m	%	%	m	m	%
1	3.05	3.72	0.68	0.00	-22.2	0.0			
2	6.10	6.70	1.34	0.00	-22.2	0.0			
3	9.14	9.67	2.00	0.00	-22.2	0.0			
4	12.19	12.65	2.64	0.00	-19.1	0.0			
5	15.24	15.67	3.07	0.00	-11.4	0.0			
6	18.29	18.69	3.41	0.00	-11.4	0.0			
7	21.34	21.72	3.46	0.00	-11.4	0.0			
8	24.38	24.75	3.29	0.00	-11.4	0.0			
9	27.43	27.78	3.11	0.00	-10.3	0.0			
10	30.48	30.82	1.94 *	0.00	-1.7	0.0			
11	33.53	33.87	1.99 *	0.00	-1.7	0.0			
12	36.58	36.92	2.04 *	0.00	-1.7	0.0			
13	39.62	39.96	2.02 *	0.00	4.6	0.0			
14	42.67	43.00	2.61	0.00	13.9	0.0			
15	45.72	46.01	2.67	0.00	15.9	0.0			
16	48.77	49.02	2.73	0.00	15.9	0.0			
17	51.82	52.03	2.78	0.00	15.9	0.0			
18	54.86	55.03	2.77	0.00	22.5	0.0			
19	57.91	57.97	2.43	0.00	32.4	0.0			
20	60.96	60.82	1.39	0.00	40.3	0.0			
21	64.01	63.65	0.27	0.00	40.3	0.0			
22	64.41	64.02	0.12	0.00	40.3	0.0			

* indicates depth is reported to water surface

Kuva 21. Vermeerin laskentaohjelmalla lasketut yksityiskohtaiset suunnat ja sijainnit puron alituksessa.

Ennen porausta on arvioitava käytettävän porausnesteen kulutus, ettei porausneste pääse loppumaan kesken porauksen. Porausnestettä kuluu yleensä 1-5kertaisesti tunnelin tilavuuteen verrattuna, riippuen maalajin rakeisuudesta ja olosuhteista. (Vermeer 2005, 40-8)

Pilottiporattaessa porauksen reitti merkataan maastoon ja dokumentoidaan. Maanpinnalla sijaitseva paikannin (kuva 22) vastaanottaa pilottikärjen lähettämää signaalia ja lähettää sen suuntaporakoneen tietokoneistoon. Merkkaus tapahtuu joko maahan iskettävillä paaluilla tai merkkausmaalilla. Yleensä merkataan xy- kohta ja syvyys. Tarkkuudet ovat luokkaa n. +/-25 mm, riippuen laitteista, olosuhteista ja porareiden ammattitaidosta. On myös syytä muistaa että merkattu syvyys on pilottikärjestä mitattu keskikohta, joka tulee olemaan suunnilleen asennettavan putken halkaisijan keskikohta. (Mikkola 2015) Ongelmia pilottikärjen paikantamisessa voivat aiheuttaa mitkä tahansa laitteet jotka lähettävät signaalia ja tuottavat magneettikentän (Vermeer 2005, 21-6).



Kuva 22. Maanpinnalla sijaitsevan lähettimen avulla voidaan seurata pilottikärjen sijaintia. Lähettimen tiedot välittyy suuntaporakoneen tietokoneeseen josta tapahtuu pilottikärjen ohjaaminen.

Esteen osuessa (esim. kivi) pilottiporauksen reitille esimerkiksi joen alituksessa, voidaan tarvittaessa vetää takaisin koneeseen päin kärkeä ja yrittää suunnanmuutoksella kiertää esteen. ALM- putkitutkalla voidaan tarvittaessa tutkia esteen laajuus ja suunnitella uusi reitti esteen vierestä, mikäli mahdollista. Toimenpide sopii toteutettavaksi kun tarkoituksena on asentaa paineputkia tai kaapeleiden suojaputkia. Esteet kuten routa, kivet ja kallio voivat kiilata pilottikärkeä pois suunnastaan (Mikkola 2015).

Pilottiporauksen saapuessa määränpäähänsä, joko kaivantoon tai maan pinnalle, irrotetaan pilottikärki ja asennetaan sopiva avarrin eli jyrsin. Vaikeissa maalajiolosuhteissa tai suurihalkaisijaltaan olevaa putkea asennettaessa voidaan suorittaa esiavarrus yhden tai useamman kerran. Myös useaa putkea yhtäaikaisesti asennettaessa voidaan suorittaa esiavarrus. Esiavarruksessa vedetään pilottiporauksen reittiä pitkin avarrin eli jyrsin takaisin, jolloin se suurentaa porausreikää. Vetovastusta saadaan pienennettyä toimenpiteellä. Maalajeille on valmistettu erilaisia avartimia erilaisilla ominaisuuksilla. Avarrin on valittava maalajiolosuhteiden mukaan. Avartimella suurennetun reiän tulee suositusten mukaan olla yleensä 20 – 25 % isompi mitä asennettavan putken. (Mikkola 2015, Dahlbacka 2015)

Putken asennusvaiheessa avartimen perään kiinnitetään asennettava putki. Asennettavan putken päähän liitetään vetopää, joko hitsaamalla tai muuten. Vetopää kiinnitetään avartimeen sakkeleilla tai muulla tavalla. Vetopään on hyvä olla tiivis, ettei asennettavan putken sisälle pääse porausnestettä, maa-ainesta tai vettä. (Mikkola 2015)

Asennettavaa putkea varten voidaan tarvittaessa kaivaa, esimerkiksi tien alituksessa (kuva 23), ura putken taipumisominaisuuksista johtuen. Asennuksen aikana porausneste pursuaa kaivantoon tuoden maa-ainesta mukanaan. Porausnesteen pursuamista varten voidaan kaivaa kuoppa johon maa-ainesta sisältävä pursuava porausneste valuu. Porausneste voidaan poistaa kaivannosta tarvittaessa kaivinkoneella tai imuautolla. Koska porausnestettä pursuaa kaivantoon, josta asennettava putki lähtee etenemään, voi putkien liitostyöt hankaloitua (esim. teräsputkien hitsaus aloituskaivannossa). Porausneste voi avartimesta tai pilottikärjestä työnaikana suihkuta maanpinnalla ollessaan laajalle alueelle (Kuva 23). Porausnesteen roiskuminen voidaan estää

esimerkiksi kaivinkoneen kauhan avulla, asettamalla kauha ulostulevan pilottikärjen tai maahan porautuvan avartimen suojaksi.

Kuva 23. Avartimen suuttimista suihkuava porausneste.

Kuva 24. Porausliete pursuaa asennettavien putkien vierustaa pitkin maan pinnalle.

Porauslietteen pursuamisen vuoksi on suositeltavaa että putket liitetään ennen asennusta koko asennuspituuden matkalta yhtenäiseksi. Porausta ei myöskään suositella keskeytettäväksi kovin pitkäksi aikaa vetovaiheessa kokemusten perusteella. Vetovaiheen keskeyttäminen pitkäksi aikaa (esim. yön yli), maassa ja porausnesteessä putken ympärillä tapahtuvat muutokset voivat suurentaa vetovastusta ja hankaloittaa putken asentamista. Pilottiporauksen jälkeen, ei yleensä haittaa vaikka porauksessa on pitempi tauko, poratangot voidaan huoletta jättää maan uumeniin yön yli. (Mikkola 2015) Kuvassa 24 porausnesteen pursuaminen maanpinnalle.

Suuntaporakoneen käyttäjä näkee porakoneen mittaristosta vääntö- ja vetovastuksen ja pystyy näin ollen arvioimaan erilaisia seikkoja asennuksen aikana. Asennuksen aikana voidaan tehdä säätöjä porausnesteen suhteen ja porausnopeuden suhteen. Suurimmat ongelmat vetovaiheessa ovat esteet, kuten kivet, kallio ja maanalaiset rakenteet, poratankojen katkeaminen, putkien katkeaminen, putkien pyöriminen avartimen mukana ja ongelmat porausnesteen ja koneiden kanssa. Avartimen suuttimien tukkeentuminen on myös yksi yleisimmistä ongelmista. Putkimateriaalin ollessa halkaisijaltaan pientä ja/tai ohutseinämäistä, vetovoima saattaa venyttää ja vaurioittaa putkea liian suurella voimalla vedettäessä. (Mikkola 2015) Putkimateriaali tulisi valita siten, että kestää suuntaporauksen aikana ja jälkeen vallitsevia voimia.

Asennuksen jälkeen putki ”kelluu” porausnesteessä porausreiän sisällä, riippuen putken ominaisuuksista (esim. muoviputket). Ajan kuluessa porausliete stabiloituu putken ympärillä ja putki laskee hieman, sentin tai pari riippuen putken halkaisijasta ja avartimella jyrsityn porausreiän koosta. Tämä on huomioitava vietolla porattaessa, jos putki jää kovaksi eli liian ylös heti asennuksen jälkeen mitattaessa. (Mikkola 2015)

Kun veto on saatu suoritettua ja putki asennettua, tarkastetaan vedettävän putken näkyvissä oleva osa päältä silmämääräisesti ja tunnustelemalla käsin. Näin havainnoimalla voidaan arvioida putkeen maan alla kohdistuneet voimat, kuten viillot ja painaumat putkessa. Asennuksen jälkeen putket voidaan laadun varmistamiseksi TV-kuvata tai sille voidaan tehdä tiiveyskoe (koeponnistus). (Mikkola 2015)

Yleisimmät käytetyt putkimateriaalit suuntaporauksessa ovat olleet PEH- putket, suojakuorelliset PEH- putket, PEH- putket erilaisilla ominaisuuksilla (kuten

alumiininauhoilla tai muilla lisätyillä ominaisuuksilla, joilla voidaan suorittaa putken laadunvarmistus), muut muoviputket, teräsputket ja kaukolämpöputket. Alueilla, joissa on suuria pitoisuuksia kemikaaleja tai myrkkyjä, käytetään diffuusiosuojattuja putkia, jolloin vesijohdon seinämien läpi ei talousveteen pääse haju- eikä makuhaittoja.

Kaukolämpöputkia vedettäessä vetopää kiinnitetään siten, että veto kohdistuu tasaisesti sisäputkeen ja putken vaippaan. Tien alituksissa vedettävä putki on yleensä suojaputki, jonka sisään sujutetaan käytettävä putki tai kaapelit. (Mikkola 2015)

Kuva 25. Kahden HDPE- putken yhtäaikainen veto.

Karkea maalaji kuluttaa pilottikärkeä ja avartimia ja kalustoa. Kovassa maalajissa poraaminen on hitaampaa. Karkeissa ja kovissa maalaji-olosuhteissa kaluston kuluminen lisää huoltokustannuksia. (Mikkola 2015)

Kuva 26. Lavan päällä ylempänä avarrin ja alempana pilottiporakärki. Edessä avartimeen liitettävät lisäsiivekkeet.

Talvella suuntaporaukset voidaan suorittaa rakentamalla suuntaporan ympärille lämmitettävä teltta, jonka sisällä nesteet eivät pääse jäätymään. (Mikkola 2015) Suuntaporalla voidaan vetää useampi putki yhtäaikaisesti (kuva 25), Putkien määrä riippuu avartimen poraustunnelin jyrsimästä koosta. Suuntaporauskoneen pilottikärki ja avarrin on esitetty kuvassa 26. Taulukossa 8 on esitetty Vermeer suuntaporakoneiden ominaisuuksia.

Taulukko 8. Vermeer suuntaporakoneiden ominaisuuksia. (Several Oy 2015b)

Suuntaporakone ja massa	Poratangon minimi taivutussäde (m)	Poratangon pituus ja paksuus	Työntö- ja vetovoima	Maksimi vääntömomentti ja nopeus
D6x6 1209 kg	17,5	1,8m* ϕ 3,3 cm	2052 kg (20,1 kN)	746 Nm 180 rpm
D9x13 2857 kg	29,1	1,8m* ϕ4,2 cm	4079 kg (40 kN)	1166-1762 Nm 140-220 rpm
D16x20 4763 kg	30,1	3,05m* ϕ4,8cm	7258 kg (71,2 kN)	2721 Nm 248 rpm
D20x40 8704 kg	32,9	3,05m*6,0cm	10910 kg (107 kN)	2847-5694 Nm 270 rpm
D80x100 19500 kg	60,2	4,6m* ϕ8,9cm	36287 kg (356 kN)	6780-13560 Nm 180 rpm
D100x120 19700 kg	60,2	4,6m*8,9cm	45275 kg (444 kN)	8100-16300 Nm 120 rpm

4.1.2 Asennus vasaraporaamalla

Vasaraporauksessa tarvitaan kaivanto, johon mahtuu vasaraporakone työvaroineen. Yleensä poralaite asennetaan murskepetin tai suoraan kallion varaan. Menetelmässä porataan putkisalko kerrallaan. Putkisalot voivat olla pituudeltaan 12m, 6m, 3m tai 1,5 m pituisia. Putkisalot liitetään toisiinsa hitsaamalla kaivannossa. Yleensä kaivantoa on pohjalta kooltaan n. 3x9m, kun porataan 6 metrin pituisilla putkisaloilla, Tarvittaessa voidaan vasaraporakone ”katkaista”, jolloin kaivannon pituus on 3x6 metriä pohjalta ja putkisalkojen pituus 3 metriä. Tällöin poraus hidastuu, sillä hitsaussaumojen lukumäärä kaksinkertaistuu (Mikkola 2015, Paavola 2015). Halkaisijaltaan pienempiä putkia asennettaessa voidaan käyttää myös 1,5 metrin pituisia kairoja. Tällöin kaivannon koko on n. 3x4,5m (Knuutila ym. 2015, s47). Hitsauksen mahdollistamiseksi kaivannon pitää olla noin 500 mm syvempi mitä asennettavan putken pohjan korkeusasema (Knuutila ym. 2015, s47).

Porauksen alkuvaiheessa poran kärjen ja asennettavan putken korkeusasema tarkastetaan tasolaserin ja/tai mittamiehen avulla. Kun putki on saatu suunnattua, aloitetaan varovaisesti poraus, noin metrin välein suunta tarkastetaan. Ensimmäisen putkisalon aikana (6m) voidaan tehdä suotuisissa maalajiolosuhteissa suunnan suhteen korjauksia ja pieniä korjauksia voidaan tehdä vielä 6 - 12 metrin aikana. tämän jälkeen suuntaan on melkeinpä mahdotonta tehdä korjauksia (riippuen maalajista, olosuhteista ja putken kokoluokasta). Porarin kokemuksella ja ammattitaidolla on suuri merkitys onnistuneeseen asennukseen. Kiven tai kallion osuessa porausreitille, porausvauhtia on hiljennettävä, ettei porakärki ala kiilautumaan pois reitiltä, toimenpiteellä porakärki iskee ja jauhaa itselleen suoran linjan. Sitkeä savi voi aiheuttaa ongelmia kairan toiminnassa, joskus putken sisälle kairoihin syötetään paineella vettä tämän ongelman välttämiseksi. Putkien yhteen liittäminen hitsaamalla vaatii hitsarin huolellisen työskentelyn. Vaarana on porauksen aikana putken rikkoontuminen saumakohdasta tai vuodot putkissa. (Mikkola 2015, Paavola 2015)

Kuva 27. Vasaraporakoneen porakärki saavuttamassa lopetuskaivannon (Geonex Oy 2015)

Kuva 28. Vasaraporakone kadun alituksessa.

Asennettu teräksinen alitusputki toimii yleensä suojaputkena, jonka sisälle sujutetaan käytettävä putki. Välitila suositellaan vaahtobetonoitavaksi, tai jättää tekemättä.. Suojaputken sisään sujutettavan putkeen voidaan asentaa myös keskitysrenkaat, jolloin tarvittaessa suojaputken sisältä putki voidaan vaihtaa. (Juvani 2015) Joissakin kadun alituksissa teräksinen suojaputki on jätetty toimivaksi putkeksi esim. viettoviemäriksi sadevedelle kuten kuvan 28 asennettu teräsputki Oulun Jäälissä vuonna 2015.

Vasaraporauksessa täytyy huomioida kaluston vaatimat käyttöalueet. Porauskalusto sisältää yleensä itse porauskoneen, voimantuottoyksikön, kompressorin, putket ja kairat,

porauskärjen, sekä muut tarvittavat työkalut ja varusteet. Voimantuottoyksikkö poralaitteelle sijaitsee yleensä kuorma-autossa tai kaivannon läheisyydessä. Porauslaite joudutaan nostamaan aloituskaivantoon joko nosturilla tai kaivinkoneella. Yleensä porauksen suorittamiseen tarvitaan kuorma-auto ja kaivinkone, joka toimii apukoneena. Lisäksi porausalueella tarvitaan nestettä (vettä), jota saadaan joko suoraan lähettyvillä olevasta linjasta tai työmaalle tuodusta säiliöstä. (Mikkola 2015)

Suomessa DTH- vasaraporauskoneita ja sen varaosia suunnittele, valmistaa ja myy Suomalainen Geonex Oy. Suomessa Geonexin vasaraporakoneilla voidaan asentaa 139 – 1220 mm halkaisijoiltaan olevia teräsputkia. Pituuksiltaan alitukset ovat yleensä n.30 – 90 m. Pisin Suomessa tehty poraus menetelmällä on tiettävästi ollut 130 m. (Juvani 2015). Menetelmällä voidaan kuitenkin porata vieläkin pidempiä alituksia suotuisissa olosuhteissa. Porattaessa kovaa kalliota, esim. graniittia, kruunukärjet kuluvat ja poraaminen hidastuu. Kovaan materiaaliin porattaessa kuluneita kruunukärkiä joudutaan uusimaan tai huoltamaan. Tämän vuoksi kovaan materiaaliin poraaminen nostattaa porauksen kustannuksia (aika + huolto). (Juvani 2015, Lassheikki 2015) Kuvassa 27 kruunukärki saapunut lopetuskaivantoon. Kuvassa 29 putken sisälle tuleva vasara ja kairoja.

Kuva 29. Vasaraporakoneen kairoja ja porakärjen vasara.

4.2 Työntekijöiden koulutus kaivamattomissa menetelmissä

Suomessa ei ole erillistä koulutusta käyttämään alitustekniikan laitteita vaan yrittäjät kouluttavat yleensä työntekijänsä itse. Laitteiden maahantuojat ja valmistajat voivat järjestää asiakkailleen koulutustilaisuuksia ja laite-esittelyjä. Kokeneilla alitusurakoitsijoilla on Suomessa laajin tietotaito käytettäviin menetelmiin.

Suomessa yleensä kokeneet porarit, tai urakoitsijan käyttämän menetelmän pääedustaja, kouluttavat työyhteisössään ja työmailla kokemattomampia työntekijöitä käyttämään alitus- ja porauskalustoa. Työntekijöillä on oltava voimassa olevat tarvittavat turvakortit kuten mm. tieturva-, työturva-, rataturva- ja tulityökortti. Lisäksi työntekijöillä on oltava vesihuoltoputkien kanssa työskenneltäessä voimassa oleva vesityökortti, sekä mahdollisesti muita työskentelyyn pätevöittäviä koulutuksia kuten mm. muovihitsauspätevyydet ja muilla ammattipätevyyksillä.

Muihin maarakennuskoneisiin työmaalla kuten kuorma-autoihin ja kaivinkoneisiin on olemassa oat ammatilliset kriteerit, joihin on saatavilla koulutusta. Kalustoa ja materiaalia tuotaessa työmaalle on kuljettajalla oltava lain vaatimat tarvittavat ajokortit.

Yrityksellä tulee olla dokumentoitu asentajien koulutussuunnitelma ja koulutuksen tulee antaa riittävät tiedot menetelmistä, materiaaleista ja työturvallisuusasioista.

4.3 Putkien liitostyöt

Puskuhitsaus

Puskuhitsaus on menetelmä missä tasaiseksi höylättyjen putkien päät liitetään yhteen sulattamalla ja puristamalla ne sen jälkeen yhteen paineella.

Tavallisimmat puskuhitsattavat muovimateriaalit ovat PE80 ja PE100. Yleisimmät putken standardinmukaiset SDR- luokat ovat 11, 13, 6, 17, 21, 26. Suojakuorellisten PE- putkien ja monikerroksellisten PE- putkien puskuhitsaaminen voi vaatia valmistajan antamia erityisohjeita. (Muoviteollisuus ry 2010)

Hitsauspaikka valitaan huolellisesti. Hitsauspaikan on oltava kuiva ja tilava että putket mahtuvat hitsauskoneeseen. Huonolla säällä on käytettävä sade- ja tuulisuojaa. Hitsauspaikan tulee sijaita keskeisesti hitsattujen putkien käsittelyn ja kuljettamisen helpottamiseksi. (Muoviteollisuus ry 2010) Esimerkiksi suuntaporauksessa hitsauspaikan olisi hyvä sijaita siinä päässä mistä putkea aletaan vetämään maan alle.

Ennen hitsausta laitteet ja putket tarkistetaan. Joskus voidaan tehdä hitsauksen alussa koehitsaus jossa tarkastetaan hitsauslaitteiston toimivuus.

Hitsausmenettelyn määrää joukko ns. hitsausparametreja, jotka riippuvat ensisijaisesti putken halkaisijasta ja seinämäpaksuudesta. Tärkeimmät hitsausparametrit ovat: lämpölevyn lämpötila, lämmitysaika, sulatuspaine, muutosaika, hitsauspaine ja hitsaus/jäähdytysaika. (Muoviteollisuus ry 2010)

Kun puskuhitsattua PE- putkea käytetään suojaputkena jonka sisään asennetaan toinen puskuhitsattu suojaputki, tulee ottaa huomioon että suojaputkessa on sisällä saumakohdissa purseet. Isoilla ja paksuseinämäisillä putkilla sisäpuolinen purse voi olla suurempi kuin ulkopuolinen. Mikäli suojaputken sisähalkaisija ja sujutettavan käyttöputken ulkohalkaisija ovat lähellä toisiaan, voi suojaputken sisälle sujutettavan puskuhitsatun käyttöputken ulkopurse tarttua suojaputken sisäpurseeseen.

Teräsputkien hitsaus

Teräsputket liitetään toisiinsa kaivannoissa yleensä puikkohitsaamalla tai muulla kaarihitsausmenetelmällä. Ennen hitsausta on varmistettava että hitsattavien putkien päät ovat puhdistettuja ja suorassa toisiinsa nähden eikä maan sisältä valu vettä putkea pitkin kaivantoon ja tulevaan hitsaussaumaan. Kaivannossa tulee olla tilaa myös putken alapuolella hitsauksen mahdollistamiseksi. (Mikkola 2015) Mikäli vesi pääsee valumaan teräsputkea pitkin aloituskaivantoon jossa hitsaus tapahtuu, syntyy ongelmia. Putkea ei tällöin voida hitsata.(Mikkola 2015)

Puikkohitsauksen etuja ovat monipuolisuus ja toimivuus hankalissakin olosuhteissa. Se kestää mainiosti tuulta ja vettä, joten se soveltuu hyvin kaivanto-olosuhteisiin. (Kaunisto & Pelto-Huikko 2014, s.73)

4.4 Laadunvarmistus

Kaivamattomalla tekniikalla asennetun uuden putken laadunvarmistus on lopputuloksen kannalta oleellista. Koska tilaajilla ei ole yleensä omaa osaamista tai kokemusta eri kaivamattomista menetelmistä ja niiden työn laadusta, urakoitsijaa ja menetelmää valittaessa tulisi käyttää ulkopuolista asiantuntijaa. (Kaunisto & Pelto-Huikko 2014)

Kuten putkistojen saneerausmenetelmissä, alitusurakoitsijoilla voi olla erilaisia laatudokumentteja ja todistuksia käyttämästään menetelmästä, ulkomaisia sertifikaatteja sekä menetelmän pääedustajan muissa maissa teettämien testausten raportteja. Ulkomaisissa sertifikaateissa ei aina esitetä sertifioinnin perusteita tai ulkopuolisen laadunvalvonnan sisältöä, eivätkä muissa maissa tehdyt testaukset välttämättä kerro menetelmän soveltuvuudesta Suomen rakennuskantaan (Kaunisto & Pelto-Huikko 2014, s.43). Tästä syystä urakoitsijalla tulisi olla menetelmälleen hyväksyntä tai CE- merkintä perustuen ETA:an (Kaunisto & Pelto-Huikko 2014, s.43).

Laatuvaatimuksien lisäksi referenssit ovat erittäin tärkeä osa urakoitsijan valitsemisprosessissa. Referenssejä on oltava riittävästi vastaavista kohteista. Uusien tekniikoiden tapauksissa referenssejä ei kuitenkaan yleensä löydy.

Urakoitsijoilla on monesti käytössään omia laatudokumentteja, kuten porausraportteja ym. Koska laadunvalvontasuosituksia ei toistaiseksi ole, on urakoitsijoiden laadunvarmistusmenetelmissä eroja. Kuten saneerauslaatuasioissa, urakoitsijan tulee esittää menetelmäkohtainen kuvaus kaikista asennuksen kannalta oleellisista työvaiheista (Kaunisto & Pelto-Huikko 2014, s.73).

Asennetun putken laadun varmistaminen

Ennen kaivamatonta asennusta käytettävät putket on tarkastettava ja todettava virheettömiksi silmämääräisesti ja mahdollisesti tunnustelemalla ulko- ja sisäpuolelta. Putken liitostyöt on tehtävä huolellisesti ja liitoskohdat tarkastettava. Asennuksen aikana on tehtävä valvontaa, että putki käyttäytyy asennusvaiheessa oletetunlaisesti. Asennuksen jälkeen putken kunto tarkastetaan silmämääräisesti ja mahdollisesti

koskettelemalla putken esillä olevaa osaa. Asennetun putken alku- ja loppupään korkeusasemat tarkastetaan. Lopetuskaivantoon saapuneen putken ulkopinnasta voidaan tehdä päätelmiä putken kunnosta. Mikäli putkeen on tullut syviä naarmuja tai muodonmuutoksia, voidaan olettaa että maaperässä olleet olosuhteet ovat saattaneet vaurioittaa putkea. (Mikkola 2015) Putkelle voidaan tehdä erilaisia laatukokeita riippuen putken käyttötarkoituksesta ja ominaisuuksista.

Tiiveyskokeet

Kaivamattomalla tekniikalla suoraan maahan asennetut paineputket tulee koepaineistaa tiiveyden varmistamiseksi (koeponnistaa). Koeponnistuksen parametrit tulevat suoraan putken pituuden, halkaisijan ja putken paineluokan ja materiaalin mukaisesti.

Suuntaporauksessa paineputken asentamisen aikana putkeen on voinut kohdistua voimia kuten vetoa, puristusta, taipumista ja maaperän tekijöiden aiheuttamia voimia. Koeponnistuksessa linja huuhdellaan, suljetaan tiiviisti ja täytetään vedellä. Linjassa pidetään tietyn aikaa tasaisena nimellispaine syöttäen vettä. Paineen vaikutuksesta putki muotoutuu asemaansa. Tämän jälkeen putkeen syötetään ylipaine, jota pidetään tietyn aikaa. Loppuvaiheessa paine lasketaan nimellispaineeseen ja tämän vaiheen aikana tarkkaillaan pysyykö paine tasaisena. Jos paine pääsee laskemaan, voidaan päätellä että linja ei ole tiivis, vaan jossakin on vuoto. Vuotovesimäärä voidaan laskea veden määrästä, jonka lisäys nostaa paineen takaisin nimellispaineeseen. Koeponnistuksesta tehdään aina raportti, joka liitetään laatukansioon.

TV- kuvaukset

Kaivamattomalla tekniikalla asennetut viettoviemärit ja suojaputket voidaan laadunvarmistamiseksi TV- kuvata. TV- kuvauksia tarkastelemalla voidaan arvioida asennetun putken kunto ja vauriot. TV- kuvauksissa tulee erityisesti tarkkailla onko putkessa vaurioita tai vuotokohtia, putken saumakohdat tulee tarkastella erityisellä huolellisuudella. Tien, rautatien tai muiden rakenteiden alle sijoitetut suojaputket eivät saa vuotaa suojaputken sisälle materiaaleja, tämä voi aiheuttaa tien rakenteiden

syöpymistä sisälle suojaputkeen. TV- kuvauksesta saatavilla raporteilla voidaan myös tutkia putken mahdollisia painumia ja viettovirheitä.

Vesinäytteet, Huuhtelu ja desinfiointi

Kaivamattomalla menetelmällä asennetut putket voivat menetelmistä ja olosuhteista riippuen täyttyä maa-aineksesta tai porausnesteestä asennuksen aikana. Putki on tässä tapauksessa huuhdeltava tai muulla tavoin puhdistettava materiaaleista. Vesijohdosta otetaan vesinäyte ja tarvittaessa desinfioidaan.

Alitustekniikkaan kehitetyt putkimateriaalit

Alitustekniikan tarpeisiin on laadun varmistamiseksi kehitetty erilaisia putkia joihin on integroitu ominaisuuksia laadunvarmistamiseen. PE- putket, joissa on käytetty alumiini vuorausta, voidaan mitatun maan ja putken välisen resistanssin avulla päätellä onko putki vahingoittunut. Mikäli putki on vahingoittunut, sähkövirtaus alumiinin ja maan välillä on mahdollinen ja eristysresistanssi putoaa. Vauriokohta voidaan paikantaa noin metrin tarkkuudella. (NRG Suomi Oy 2015)

Markkinoille tulee jatkuvasti uusia putkimateriaaleja joihin on integroitu eri ominaisuuksia laadunvarmistamiseksi. Lisätietoja kannattaa kysyä putkimateriaalien maahantuojilta ja valmistajilta.

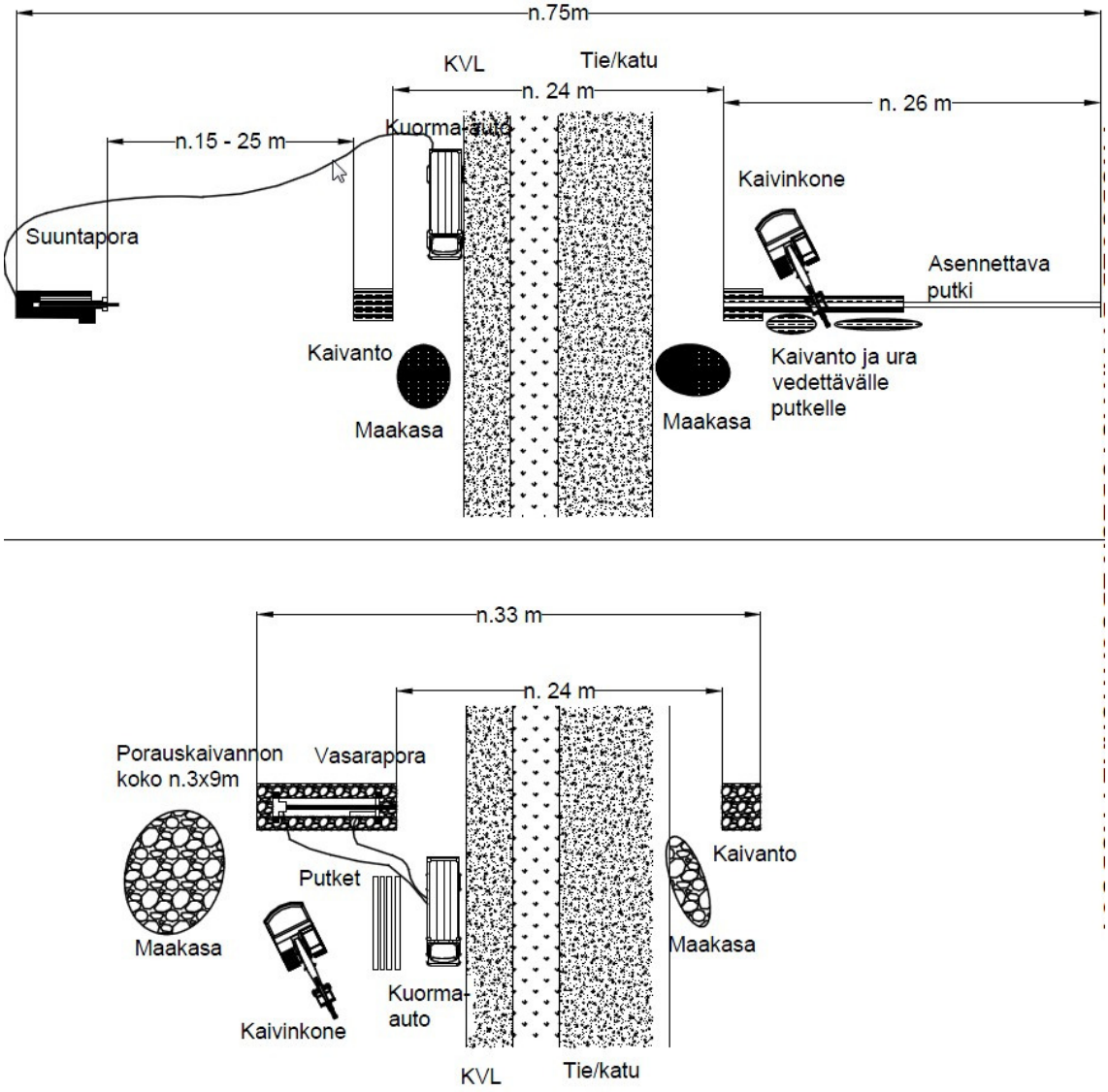
5 RAKENTAMISMENETELMIEN VERTAILU

Kaivamattomia tekniikoita uuden linjan rakentamisessa on haasteellista vertailla keskenään, koska menetelmillä on erilaiset käyttökohteet, riippuen putkimateriaalista, putkihalkaisijasta, asennuspituudesta, maalajista, työmaaolosuhteista jne. Kohdassa 3.2 on esitetty eri menetelmien soveltuvuuksia maalajeissa sekä asennuspituudet, putkimateriaalit ja putkihalkaisijat.

Kohdassa 3.2.5 on kerrottu menetelmien kustannuksista suuntaa-antavasti. Kaivamattomien uuden linjan rakentamisen tekniikoiden kustannukset määräytyvät tapauskohtaisesti. Tarkempia hintatietoja voi kysyä alan urakoitsijoilta. Kustannuksia arvioitaessa menetelmien kesken voidaan ottaa esimerkkitapaus alle 100 metrin pituisesta teräsputkiasennuksesta alle 1220 mm ulkohalkaisijaltaan. Tämän asennuksen voi suorittaa useimmilla menetelmillä (Paitsi suuntaporaamalla alle 1000mm halkaisijaltaan olevia putkia Suomessa tämän hetkisellä kalustolla). Taulukossa 9 on vertailtu menetelmien kustannustehokkuutta kyseisellä putkella.

Taulukko 9. Kustannustehokkuus vertailuarviointi kaivamattomille menetelmille asennettaessa ≤ 100m pituisia teräsputkia halkaisijoiltaan ≤ 1220 mm suorille linjoille. (Lassheikki 2015b)

	Savi, Siltti	Hiekka, Sora	Lohkareet	Moreeni	Rikkonainen kallio	Kallio
Mikrotunnelointi			+	+	+	+
Työntöporaus	+++	+++		+		
Junttaus	+++	++				
Suuntaporaus	+++	+++	+	++		
Vasaraporaus	++	+++	+++	+++	+++	+++



Kuva 30. Suuntaporauksen ja vasaraporauksen pituussuuntainen tilantarve kadun alituksessa. Myös työntöporaus- ja junttausmenetelmässä pituussuuntainen tilantarve on pienempi mitä suuntaporauksessa.

Eräs menetelmien vertailukohta on käyttötilavaatimukset. Menetelmien tilavaatimukset on esitetty kohdassa 3.2. Kuvassa 30 on esitetty vertailuna suuntaporauksen ja vasaraporauksen pituussuuntainen tilantarve kadun alituksessa.

5.1 Perinteinen kaivumenetelmä vs. kaivamaton menetelmä

Rakentamisessa suurin ero kaivamattomilla menetelmillä verrattuna kaivamalla tapahtuvaan on se, että kaivamattomalla menetelmällä ei putkelle pystytä rakentamaan putkiarinaa. Toinen ero on asentamisen tarkkuudella, joka vaihtelee eri menetelmien kesken. Kaivamattomilla menetelmillä on kuitenkin monia muita etuja verrattuna kaivamalla tapahtuvaan rakentamiseen. Kohdassa 3.2.5 on esitetty kustannussäästöjä joita kaivamattomalla tekniikalla saavutetaan verrattuna kaivamalla tapahtuvaan asentamiseen.

Kaivamattomilla tekniikoilla on etuina myös sosiaalisten haittojen kuten melun, pölyn ja liikennehaittojen väheneminen. Lisäksi kaluston vähenemisen seurauksena ympäristökuormitukset pienenevät ja luonnon resurssien, kuten hiekan, soran ja asfaltin käyttö vähenee. (Bayer 2005, s.35-40)

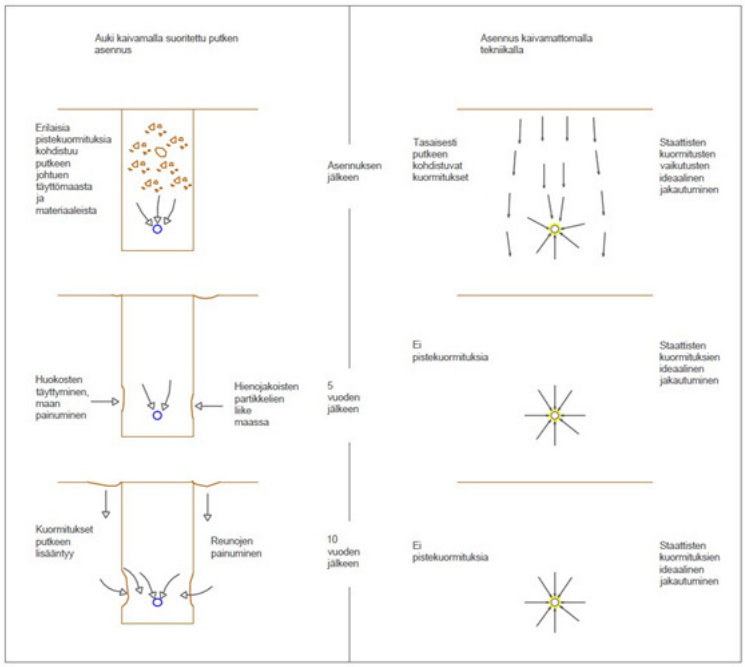
Kaivamattoman asennuksen vaikutukset päällysteisiin ja putken käyttöikään

Kaivamalla rakennetussa putkilinjassa maaperä jakautuu fyysisesti kahtia asennuksen aikana. Kun kaivanto taas suljetaan, maaperään jää kolme fyysisesti itsenäistä osaa, koska kaivannon täyttömaa toimii itsenäisenä reagoivana lohkona. Nämä kolme komponenttia erottuvat toisistaan eniten silloin, kun kaivanto täytetään täysin uudella, erilaisella materiaalilla, ja vähiten silloin, kun täyttö tapahtuu täysin kaivannosta kaivetulla vanhalla aineksella. (Bayer 2005 s.41)

Maaperään syntyneet komponentit käyttäytyvät toisistaan poiketen. Fyysisten reaktioiden voimakkuudet ja erot osien välillä riippuvat ulkoisista ja sisäisistä olosuhteista, kuten lämpötilasta, kosteudesta, vesipitoisuudesta, tiiveydestä, tärinästä, vedenläpäisevyydestä, rakeisuudesta yms. Erot fyysisissä reaktioissa täyttömaassa ja kaivannon seinämissä tulevat esille erityisesti vuodenajan vaihteluiden, kuten kevään aikana. Erojen seurauksena osien rajapinnalle syntyy vuorovaikutus, joka näkyy käytännössä hienojakoisen maa-aineksen liikkumisena. Ilmiöön vaikuttavat merkittävästi tärinä ja erot täyttömaan ja kaivannon seinämien huokoisuudessa. Maa-aines liikkuu hydraulisen gradientin suuntaisesti. Maanpinnalla muutokset maaperässä

näkyvät aluksi ohuina halkeamina tien pintarakenteessa. Korkeusmuutoksia voi syntyä roudan tai jatkuvan liikennekuormituksen vaikutuksesta. Tien pintaan voi muodostua mm. painumia, halkeamia ja päällysteen rapautumista. Tällöin tie vaatii korjaustoimenpiteitä suurempien vaurioiden syntymisen estämiseksi. (Bayer 2005, s.41)

Suuntaporalla asennettujen putkien suuri etu on huoltovapaus tien vaurioitumisen estämisen lisäksi. Pyöreän porareiän ja putken ympärillä käytetyn hienojakoisen bentoniittivaipan ansiosta maanpaine jakautuu asennetun putken ympärille tasaisesti. Avoimen kaivannon tapauksessa putken ympärystäyttöön käytetään yleensä huomattavasti bentoniittia karkeampaa hiekkaa. Lisäksi täyttömaata on käytännössä mahdoton tiivistää siten, että maanpaine jakautuisi tasaisesti putken pinnalle. Epätasainen maanpaine rasittaa putkea. Myöhemmin, kun maaperässä tapahtuu aiemmin kuvattua maa-ainesten liikkumista, epätasaiset kuormitukset putken pinnalla kasvavat edelleen. Putken elinikä voi lyhentyä huomattavasti näiden vuosien aikana kasvaneiden epätasaisten kuormitusten seurauksena. Erityisesti pistemäiset kuormat rasittavat putkea huomattavasti (kuva 31). (Bayer 2005, s.41-42)



Kuva 31. Kuvassa esitetty kaivamalla ja suuntaporaamalla asennettuun putkeen kohdistuvat kuormitukset.(Bayer 2005, s.41)

6 MENETELMIEN KEHITYS

6.1 Vasaraporaus, paikannus ja ohjattavuus

Geonex Oy tekee kehitystyötä vasaraporauksen uusien teknisten ominaisuuksien parissa. Koekäytössä on porakärjen paikantamiseen käytettävissä olevaa tekniikkaa. Paikantamisen ansiosta porausmatkoja voidaan pidentää huoletta, mikäli poraus pysyy suunnassa. Kun porakärjen paikantaminen saadaan käyttövalmiiksi ja toteutukseen, voidaan kehittää mahdollisesti ohjattavissa oleva vasaraporausmenetelmä. Suomen koviin maalajiolosuhteisiin menetelmä avaisi useita uusia käyttömahdollisuuksia. (Juvani 2015)

6.2 Maalämmön asentaminen suuntaporaamalla

Suuntaporaamalla on toteutettu maalämmön keräysputkistoja. Esimerkiksi Vaasan asuntomessu-alueella Maanrakennus B.Dahlbacka Oy rakensi suuntaporaamalla yhteensä 8 kilometriä putkistoa merenpohjan alle lämmön keräystä varten. Suuntapora oli sijoitettu mantereelle josta porattiin merelle päin ja ohjattiin lopulta merenpohjan läpi veden pinnalle. Veden päällä kelluvasta lautasta liitettiin poratankoon lämmönkeruuputket ja vedettiin merenpohjan alla takaisin mantereelle. (Dahlbacka 2015)

On olemassa myös Suomessa menetelmä jolla voidaan asentaa lämmönkeruuputki ilman takaisin vetoa ja avartamista. Menetelmä toimii siten että suuntaporalla työnnetään maahan viistosti paksuja poratankoja. Tämän jälkeen avataan porakärki menetelmällä käyttäen paineiskua. Poratankojen sisälle työnnetään maalämpöputket ja poratangot vedetään maasta pois, jolloin porareikään jäävät lämmönkeruuputket. Menetelmää mainostaa ja toteuttaa Vaakaporauspalvelu VPP Oy.

6.3 Suuntaporaamisen hyödyntäminen pohjarakentamisessa

Ulkomailla suuntaporauksen mahdollisuuksia on hyödynnetty monissa pohjarakenneratkaisuissa. Suuntaporausta on hyödynnetty stabiliteetin parantamisessa jyrkissä luiskissa, teiden ja rakennusten kantavuuden parantamisessa ja saastuneiden maa-alueiden kunnostamisessa. Vuonna 1989 suuntaporausta on hyödynnetty ensimmäistä kertaa asentamaan vaakasuuntaisia kaivofilttereitä poistamaan haitallisia aineita maasta. Suuntaporausta on hyödynnetty myös kuivatusratkaisuissa mm. kaivoksissa. Alun perin suuntaporaus kehitettiin öljy ja kaasuyhtiöiden käyttötarpeisiin, jonka jälkeen tekniikka levisi kunnallistekniikan tarpeisiin. Suuntaporaustekniikat ja laitteet kehittyvät jatkuvasti ja tulevaisuudessa suuntaporauksen käyttökohteet laajenevat. (Bayer 2005, s.85- 105)

6.4 Menetelmien kombinaatiot

Rakennusprojekteissa toisen kaivamattoman tekniikan käyttö ei sulje pois toisen menetelmän käyttämistä yhtäaikaisesti. Esimerkiksi Ruotsissa Tukholmassa vuonna 2007 tehty Frihamnen ja Lidingön välisessä merensalmen alituksessa käytettiin vasaraporausta, suuntaporausta ja painotusta (kuva 8). Suuntaporausta varten vasaraporalla porattiin kovaan sekamaahan teräksisiä hylsyputkia. Teräksisten hylsyputkien tuli olla halkaisijaltaan suurempi kuin suuntaporauksessa käytettävän avartimen. Suuntaporalla asennettiin pehmeään rantapohjaan putki ja keskelle salmea upottamalla painoilla putki pohjaan. (Lassheikki 2015b)

6.5 Muita kaivamattomia menetelmiä uuden putkilinjan asentamiseen

Mikrotunnelointi

Mikrotunnelointi (Microtunneling, MT) on ohjattavissa oleva tekniikka isojen segmentti- ja gravitaatioputkien asentamiseen maan alle. Tekniikkaa ei ole vielä Suomessa käytetty, mutta lähitulevaisuudessa on projekteja, jossa mikrotunnelointia tullaan käyttämään.

Menetelmässä käytetään hydraulisesti työnnettävien putkien edessä louhintaputkea. Louhintaputken kärjessä sijaitsee sähkömoottorilla toimiva louhintakärki, jota voidaan ohjata paineilman avulla. Louhintakärki hajottaa maa-ainesta ja hydrauliset tunkit työntävät samalla putkistoa eteenpäin maan sisällä. Menetelmän aikana louhintakärkeen pumpataan porausnestettä voiteluaineeksi sekä muuttamaan hajonnutta maa-ainesta juoksevaan muotoon ja kuljettamaan maa-ainesta syöttölinjaa pitkin pois putkistosta. Porausneste toimii myös maan ja putken välisen kitkan pienentäjänä ja liukasteena. Suuntaaminen tapahtuu laserin avulla, joko kauko-ohjattavasti tai manuaalisesti. Menetelmässä voidaan tehdä maan alla suunnassa korjauksia. Mikrotunnelointi toimii periaatteessa samankaltaisesti kuin isot tunnelointimenetelmät, mutta pienemmässä mittakaavassa. (Hobas 2014) Kuvassa 32 on esitetty mikrotunnelointimenetelmän periaatekuva.

Kuva 32. Mikrotunnelointimenetelmän periaatekuva. (Pushpan 2011) 23.12.2015

Ulkomailta saatujen kokemusten perusteella, mikrotunnelointi on käytännöllinen tekniikka halkaisijoiltaan isojen viettoviemäreiden ja segmenttiputkistojen rakentamisessa syvälle maanpinnan alapuolelle. Mikrotunnelointimenetelmällä voidaan asentaa mm. muovikomposiittiputkia joiden halkaisijat ovat välillä 276- 3600 mm.

(Hobas 2014) MT- menetelmällä on asennettu ulkomailla myös teräsbetoni- ja teräsputkia.

Varsovassa maaliskuussa vuonna 2014 aloitettiin mikrotunnelointimenetelmällä 3,2 km pitkän ja ulkohalkaisijaltaan 3270 mm viemärin rakentaminen, keskisyvyyden ollessa 8-12 metriä. Rakentamisessa käytetään HOBAS- yhtiön valmistamia lasikuidulla vahvistettuja muovikomposiittiputkia. Koko projektissa tehdään avokaivamista 47 m pituisesti ja mikrotunnelimenetelmällä 3204 m ja työaika n. 11 kk. Projekti valmistuu vuoden 2015 loppuun mennessä.(Hobas 2014b)

7 CASE

Kauhavanjoen alitus suuntaporaamalla

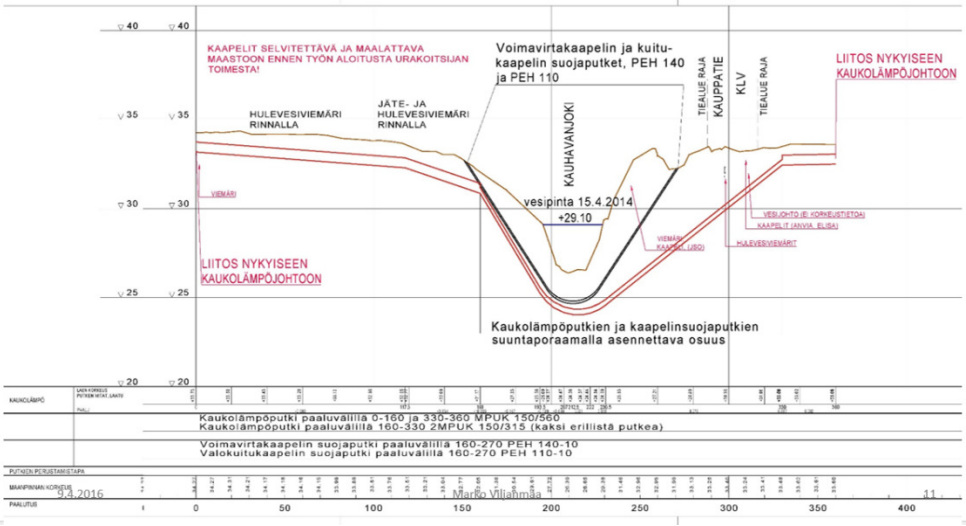
Vuonna 2015 Maanrakennus B. Dahlbacka Oy kävi suuntaporaamassa kauhavanjoen, sekä Kauppatien ali kaksi DN150 2MPUK kaukolämpöjohtoa Kauhavan Kaukolämpö Oy:lle. Projektin suunnittelusta ja lupa-asiakirjoista vastasi Aluetaito Oy. Joen alitusluvan käsitteli AVI ja Kauppatien alitusluvan Pirkanmaan ELY-keskus. Rakennuttamisen ja valvonnan hoiti Contria Oy. Putkiurakoitisjana toimi Turun asennus ja Luokkahitsarit. Muita osapuolia olivat Jylhän sähköosuuskunta ja Järvinet Oy. (Viljanmaa 2015)

Hankkeen kustannusarviot laadittiin kesällä 2014. Suuntaporausvaihtoehto tiedettiin arvokkaaksi johtuen porausmatkasta ja haasteellisesta ympäristöstä. Yllättävää oli, että painotuksen kustannukset olivat samalla tasolla suuntaporauksen kanssa. Painotuksen kustannuksia nostivat molemmin puolin jokea tarvittavat työmaatiet mobiilinostureita varten. Suuntaporauksella saataisiin lämpöjohto asennettua joenpohjan alle pysyvänä ratkaisuna. Tekniset ja taloudelliset asiat huomioituna päädyttiin suuntaporaukseen. (Viljanmaa 2015)

Suunnitteluvaiheisiin kuuluivat maastomallin mittaus, kairaukset joen molemmilta puolilta, joen pohjan luotaus. Lisäksi tehtiin erikoisputken minimisäteen selvitys ja tekninen suunnittelu. Suuntaporaussuunnitelman teki maanrakennus B. Dahlbacka Oy. Suuntaporattava matka oli noin 180 metriä 2 kertaan. Lisäksi Järvinet Oy:lle ja Jylhän Sähköosuuskunnalle tehtiin kaapelialitukset samaan paikkaan kaapelinsuojaputkilla PEH 110 ja PEH 140. (Viljanmaa 2015) Alitusreitti ja pituusleikkaus kuvissa 33 ja 34.

Projekti onnistui ja riskien hallinnassa oli hyvä suunnittelun ja pohjatutkimukset. Projektia aikaisemmin tehty joenalitus toimi eräänlaisena vaakasuuntaisena ”maaperätutkimuksena”. Suuntaporauksesta oli sovittu etukäteen korvausperiaate urakoitsijalle, jos suuntaporaus ei olisi onnistunut.

Kuva 33. Kuvassa Kauhavanjoen alituksen suuntaporauksen reitti. Samaan paikkaan asennettiin myös kaapelialitukset suuntaporaamalla.(Viljanmaa 2015)



Kuva 34. Kauhavanjoen alituksen pituusleikkauskuva (Viljanmaa 2015).

8 YHTEENVETO

Tässä diplomityössä esitellään Suomessa yleisimmin uuden linjan rakentamiseen käytetyt kaivamattomat menetelmät, ja tuodaan esille huomioonotettavia näkökulmia teknisten seikkojen lisäksi.

Työ alkoi eri menetelmien esittelyllä ja niiden ominaisuuksien läpikäynnillä. Sen jälkeen keskityttiin suunnittelijan näkökulmiin ja miten rakentaminen tapahtuu menetelmillä. Jotta työ ei olisi paisunut liian laajaksi, painotettiin rakentamisessa kahta käytännöllistä tekniikkaa: suuntaporausta ja vasaraporausta. Eri menetelmät soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin tapauskohtaisesti, joten niiden kustannuksia on vaikea vertailla keskenään. Menetelmän valintaan vaikuttavat suuresti maalajin ominaisuudet, sekä putkimateriaali dimensioineen. Lisäksi menetelmän valintaan vaikuttavat muut olosuhdetekijät ja teknis-taloudelliset seikat.

Menetelmien ominaisuuksia ja vaatimuksia vertaillessa suuntaporaus ja vasaraporaus erottuivat useasti edukseen. Suuntaporaus soveltuu pehmeissä maalajeissa pitkiin asennuksiin ja ohjattavuutensa ansiosta, sitä voidaan soveltaa monissa eri käyttötarkoituksissa, kuten vesistöalituksissa. Vasaraporaus soveltuu kovaan ja ongelmalliseen sekamaahan, johon muiden menetelmien soveltuvuus on marginaalista. Jokaisella kaivamattomalla menetelmällä on omat etunsa ja on tärkeää löytää oikea menetelmä oikeaan kohteeseen. Voidaan käyttää samassa projektissa useita eri kaivamattomia tekniikoita lopputuloksen optimoimiseksi. Kaivamattomilla menetelmillä on useita etuja verrattuna kaivamalla tapahtuvaan rakentamiseen, mutta myös rajoituksensa ja riskinsä.

Maanrakennusalalla tapahtuu työtapaturmia ja kuolemia kaivantojen sortuessa. Esimerkiksi suuntaporaamalla vähennetään syvien kaivantojen kaivuuta pehmeissä maalajiolosuhteissa ja näin ollen työturvallisuus paranee. Suuntaporaamalla säästetään myös ympäristöä turhalta sotkemiselta, sekä pienennetään hiilijalanjälkeä ja säästetään luonnon resursseja. Kustannuksissa säästetään pintaus- ja jälkitöissä ja polttoaineissa sekä maamateriaalien kuljetus- ja hankintahinnoissa. Säästetään myös raivaus- ,multaus- ,kylvö- ja istutustöissä. Kaivamattomilla tekniikoilla pystytään vähentämään

liikennejärjestelyiden kustannuksissa ja aiheutetaan vähemmän haittaa liikenteelle. Työmaan melu ja pöly vähenevät. Kaivamattomilla teknikoilla voidaan suorittaa putkiasennus siellä missä kaivaminen on mahdotonta tai ei toivottua. Nykypäivänä nouseva trendi on päästöjen vähentäminen ilmakehään, jolla esimerkiksi suuntaporausta käyttämällä suotuisissa kohteissa edistää.

LÄHDELUETTELO

Bayer, H.-J., 2005. HDD Practice Handbook. 1 painos. Essen: Vulkan Verlag, 192s. ISBN 978-3-8027-2739

Dahlbacka, J., 2015. Toimitusjohtaja. Maanrakennus B. Dahlbacka Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 23.2.2015.

Dahlbacka, O. 2015. Maanrakennus B.Dahlbaka Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 4.8.2015.

FiSTT, Suomen Kaivamattoman Tekniikan Yhdistys RY, 2010. Putkistojen kaivamattomat saneerausmenetelmät, yhteenveto Suomessa käytössä olevista menetelmistä [verkkojulkaisu]. Vantaa: FiSTT. Verkkojulkaisu. Saatavissa: http://www.fistt.net/wp-content/uploads/2016/04/FiSTT_Saneerausmenetelmat_2010.pdf [viitattu 12.10.2015].

Geonex Oy, 2015. Horizontal Drilling Machines [verkkodokumentti]. Ylitornio: Geonex Oy. Saatavissa: http://www.geonex.fi/wp-content/uploads/2014/05/horizontal-drill-general_ENG-REV_A1.pdf [viitattu 27.11.2015].

Geonex, 2015. Geonex threnchless horizontal DTH-solutions [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=29E5MD9LTnI [viitattu 28.11.2015].

Geo-Work Oy, 2016. Maatutkaluotaus [verkkodokumentti]. Vääksy: Geo-Work Oy. Saatavissa: http://www.geo-work.com/maatutkaluotaus-ja-mittaukset/ [viitattu 21.2.2016]

Goral, G., 2015. The Mighty Missisippi River No Match for HDD [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://trenchlessonline.com/mighty-mississippi-river-no-match-hdd/ [viitattu 20.11.2015]

GTK, Geologian tutkimuskeskus, 2015a. Happamat sulfaattimaat - riskit ja kartoitus [verkkodokumentti]. Espoo: GTK. Saatavissa: http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/yhdyskuntarakentaminen/sulfaattimaat.html [viitattu 5.12.2015].

GTK, Geologian tutkimuskeskus, 2015b. Maalajien kuvaus ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin [verkkodokumentti]. Espoo: GTK. Saatavissa: http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/kuvausjasoveltuvuus.htm [viitattu 4.12.2015].

Hobas, 2014. Hobas Jacking Pipes [verkkodokumentti]. Klagenfurth: Hobas Pipes Internationa GmbH. Saatavissa: http://www.hobas.com/fileadmin/Daten/PUBLIC/Brochures_World_pdf/1404_HOBAS_Jacking_Pipes_web.pdf [viitattu 3.12.2015].

Hobas, 2014b. Record Size Microtunneling with HOBAS CC-GRP pipes [verkkodokumentti]. Klagenfurth: Hobas pipes International GmbH. Saatavissa http://www.hobas.com/fileadmin/Daten/HobasWorld/References_Documents/1509_Case_Study_Burakowski_Bis.pdf [viitattu 19.12.2015].

InfraRYL, 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, 555s. ISBN: 978-951-682-958-9.

Juvani, K., 2015. Toimitusjohtaja. Geonex Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2015.

Knuutila, J., Noukka, J., Tiainen, A. & Uotinen, V-M., 2015. Vesihuoltoverkostot ja maantiet, luonnos 22.5.2015. Helsinki: Liikennevirasto, 68 s.

Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maalajiluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 14. 20 s.

Lassheikki, T., 2015a. Tutkimus- ja kehitysinsinööri. Geonex Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2015.

Lassheikki, T., 2015b. Steel Cased DTH Drilling for Rocky No-Dig Applications. Powerpoint-esitys. Saatu Geonex Oy:ltä 26.11.2015.

Lännen alituspalvelu Oy, 2015. Työntöporaus. Pori: Lännen alituspalvelu Oy. Saatavissa: http://www.lannenalitus.com/tyoentoeporaus/ [viitattu 1.12.2015]

Maanrakennus B.Dahlbacka Oy, 2015. Junttaus. Kokkola: Maanrakennus B.Dahlbacka Oy. Saatavissa: http://www.dahlbacka.com/junttaus.html/ [viitattu 3.12.2015]

Mikkola, J., 2015. Maanrakennusalan ammattilainen. Maanrakennus B. Dahlbacka Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 2.11- 10.11.2015.

Mudmaster, 2015. Porausnestetulukko. Saatu: Sevarel Oy 19.11.2015.

Muoviteollisuus ry, 2010. PE putkien puskuhitsaus, putkijaoston julkaisu nro 39 [verkkodokumentti]. Helsinki: Muoviteollisuus ry. Saatavissa: https://issuu.com/uponorfi/docs/pe-putkien-puskuhitsaus-2010 [viitattu 1.12.2015].

Muoviteollisuus ry, 2012. Paineputkijärjestelmät polyeteenistä (PE), putkijaoston julkaisu nro 42 [verkkodokumentti]. Helsinki: Muoviteollisuus ry. Saatavissa: https://issuu.com/uponorfi/docs/pe-paineputkijarjestelmat-2012 [viitattu 18.12.2015]

Muoviteollisuus ry, 2015a. CE- merkintä ja NMP- merkki putkissa [verkkodokumentti]. Helsinki: Muoviteollisuus ry. Saatavissa: http://www.muoviteollisuus.fi/ [viitattu 18.12.2015].

Muoviteollisuus ry, 2015b. Komposiitit [verkkodokumentti]. Helsinki: Muoviteollisuus ry. Saatavissa: http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitit/ [viitattu 18.12.2015].

Najafi, M., 2004. Trenchless Technology: pipeline and utility design, construction, and renewal. 1 painos. USA: The McGraw-Hill Companies, 489s. ISBN 0-07-142266-8

NRG Suomi Oy, 2015. Putket [verkkodokumentti]. Lahti: NRG Suomi Oy. Saatavissa: http://www.nrgfinland.fi/tuotteet/putket/ [viitattu 22.12.2015].

NRG Suomi Oy, 2016. Egeleplast PE100 RC+ [tuote-esite]. Saatu: NRG Finland Oy 22.2.2016.

Paavola, M., 2015. Maanrakennusalan ammattilainen. Maanrakennus B. Dahlbacka Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 2.11- 10.11.2015.

Pipelife Finland Oy, 2015. Polyeteeni- PE [verkkodokumentti]. Oulu: Pipelife Finland Oy. Saatavissa: http://www.pipelife.fi/fi/Raaka-aineet/polyeteeni.php [viitattu 18.12.2015].

Pushpan, A., 2011. Microtunneling explained [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=uNwhelS6ub4 [viitattu 23.12.2015].

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 2009. Geotekniikka- OTA 464. Painos 22. Helsinki: Otatieto Oy. 307 s. ISBN: 978-951-672-257-6

RIL237-1-2010, 2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu, osa 1 Perusteet ja toiminnallisuus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, 177s. ISBN: 978-951-758-526-2.

Several Oy, 2015a. Suuntaporaus. Helsinki: Several Oy. Saatavissa: http://www.several.fi/brands/vermeer/suuntaporat/suuntaporaus.html [viitattu 20.11.2015].

Several Oy, 2015b. Vermeer suuntaporakoneet [verkkodokumentti]. Helinki: Several Oy. Saatavissa: http://www.several.fi/brands/vermeer/suuntaporat/index.html [viitattu 29.11.2015].

SUDAS, Iowa Statewide Urban Design and Specifications, 2015. The SUDAS Design Manual, Chapter 14: Threnchless Construction, Section 14A-1. Iowa: Statewide Urban Design and Specifications. Saatavissa: http://www.iowasudas.org/manuals/manual.cfm?manual=design [viitattu 22.12.2015].

Trenchless Solutions, 2011. Guided Auger Boring (Thrustboring) How It Works [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=3jiCb99IrFk [viitattu 2.12.2015].

Turunen, M., 2015. Suomen kallioperä [verkkodokumentti]. Helsinki:Geologia.fi. Saatavissa: http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-39-11/2011-12-21-12-39-38/suomen-kallioperae [viitattu 19.12.2015]

Warriortrench, 2011. Thrust Boring Explained [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=pQAYvRmhm6U [viitattu 2.12.2015].

Wegelius, C., 2015. Myyntipäällikkö. Several Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 19.11.2015.

Vermeer, 2005. Vaakaporauksen esittely, käyttöopas. Iowa: Vermeer Manufacturing Company, 106s. Saatu: Several Oy 19.11.2015.

Vespä, P., 2016. Toimitusjohtaja. Lännen alituspalvelu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 11.2.2016.

Viljanmaa, M., 2015. Case- Kauhavanjoen alitus suuntaporaamalla. Powerpoint-esitys. Saatu Maanrakennus B.Dahlbacka Oy:ltä 23.02.2015