

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Infratekniikan koulutusohjelma

2024

Markus Lemmetyinen

# Laitosrakentamisessa maahan asennettavien putkien riskianalyysi



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2024 | 53 sivua

Markus Lemmetyinen

## Laitosrakentamisessa maahan asennettavien putkien riskianalyysi

Opinnäytetyössä syvennytään vesihuollon laitosrakentamisen yhteydessä maahan asennettaviin putkiin ja mahdollisiin tarjous- ja työvaiheen sisältämiin riskeihin. Työn toimeksiantajana toimi Skanska Infra Oy. Työn taustalla on tarve tarkemmalle riskienhallinnalle laitosrakentamisen projektien tarjouslaskentavaiheessa. Laitosrakentamisen projekteissa yhteydessä maahan asennettavien putkien riskien arviointi ja hinnoittelu tarjouslaskentavaiheessa on koettu haastavaksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa yleisimpiä projekteissa esiintyviä riskejä ja niiden vaikutuksia projektiin.

Opinnäytetyössä syvennyttiin yleisimpiin riskeihin, joita kyseisiin projekteihin liittyy, sekä analysoitiin riskien vaikutuksia projektin toteutukseen. Työssä käytettiin esimerkkinä jo toteutunutta laitosrakentamisen hanketta, jossa esiintyi juuri kyseisiä riskejä. Työssä käsiteltiin myös riskienhallinnan prosessia ja pohdittiin, kuinka prosessista voitaisiin kehittää vaivattomampi, tehokkaampi ja tarkempi.

Opinnäytetyössä onnistuttiin tunnistamaan yleisimmät riskitekijät ja kehittämään keino, jolla riskienhallintaa voitaisiin yleisesti tarkentaa ja tehostaa tarjouslaskentavaiheessa sekä työvaiheessa. Yleisimmiksi riskeiksi tunnistettiin puutteelliset lähtötiedot ja suunnitelmat sekä maaperän olosuhteet, jotka vaikuttavat aikatauluun ja kustannuksiin huomattavasti.

Asiasanat:

laitosrakentaminen, kaivanto, pohjavedenhallinta, riski, riskienhallinta, tekoäly

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Construction and Municipal Engineering

2024 | 53 pages

Markus Lemmetyinen

## Risk analysis of pipes installed in the ground during plant construction

This thesis discusses the risks associated with the installation of underground pipes during water supply facility construction projects. This thesis was commissioned by Skanska Infra Oy. This thesis was implemented because during the tendering phase of facility construction projects, the risks associated with underground pipe installation have been perceived as difficult to identify. The goal in the thesis was to identify the most common risks and their impacts on the project.

The most common risks were identified in the thesis associated with the projects, and their impacts on the project implementation were analyzed. An already completed facility construction project, which encountered risks related to the installation of underground pipes, was used as an example in the thesis. The thesis also examined the risk management process and considered how the process could be made more effective and precise.

The thesis successfully identified the most common risk factors and developed a method to refine and enhance risk management during both the bidding and implementation phase. The most common risk factors were incomplete initial data and blueprints and soil conditions which affects the schedule and projects costs considerably.

Keywords:

facility construction, trench, groundwater management, risk, risk management, artificial intelligence

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Maahan asennettavat putket</b>	<b>8</b>
2.1 Maaperä	8
2.2 Putkityypit ja liitostyypit	10
2.3 Asennusmenetelmät	12
2.3.1 Suuntaporaus	13
2.3.2 Tunkkaus	13
2.3.3 Junttaus	14
2.4 Perustamisrakenteet	15
2.5 Asennusalusta	17
2.6 Alkutäyttö	18
2.7 Lopputäyttö	20
2.8 Putken tuenta	20
<b>3 Kaivannot</b>	<b>22</b>
3.1 Luiskattu kaivanto	22
3.2 Tuettu kaivanto	23
3.2.1 Puulankkuseinät	24
3.2.2 Kaivantotuentaelementit	24
3.2.3 Teräsponttiseinät	25
3.2.4 Pilari- ja massastabilointi	25
3.3 Kaivannon vesienhallinta	26
3.3.1 Pumppauskuopat ja pumppauskaivot	27
3.3.2 Pumppausputket	28
3.3.3 Tyhjiöpumppausmenetelmä	28
<b>4 Yleisimmät riskit ja niiden vaikutukset</b>	<b>30</b>
4.1 Taloudelliset riskit	32
4.2 Puutteelliset lähtötiedot ja suunnitelmat	33
4.3 Kaivannot	34

4.4 Maaperä	36
4.5 Pilaantunut maaperä	37
4.6 Vanha maanalainen tekniikka	38
4.7 Kuivatus ja pohjavedenhallinta	39
4.8 Vuodenaika ja sääolosuhteet	40
4.9 Työvirheet	41
<b>5 Case-esimerkki</b>	<b>43</b>
<b>6 Riskienhallinta</b>	<b>48</b>
6.1 Tekoälyn hyödyntäminen riskienhallinnassa	50
6.2 Yhteenveto	51
<b>Lähteet</b>	<b>53</b>

## Kuvat

Kuva 1. Yleisimmin käytetyt liitostyypit	12
Kuva 2. Suuntaporaustekniikan toimintaperiaate	13
Kuva 3. Tunkkauksen toimintaperiaate	14
Kuva 4. Junttauksen toimintaperiaate	15
Kuva 5. Erilaisia putken perustamistapoja	17
Kuva 6. Putkikaivannon täytekerrokset	20
Kuva 7. Erilaisten putkien osien tuentatapoja	21
Kuva 8. Pumpsausputkimenetelmän toimintaperiaate	28
Kuva 9. Tyhjiöpumpausmenetelmän toimintaperiaate	29
Kuva 10. Korvaavan reitin linjaus suuntaa antavasti.	45
Kuva 11. Asennettavien johtojen alkuperäinen suunnitelma vanhojen johtojen arvioiduilla sijainneilla. Vanhat johdot merkitty punaisiin pistein.	46
Kuva 12. Johtojen linjaukset vanhojen putkien tarkemittausten jälkeen. Uudet johdot sinisellä ja turkoosilla värillä.	47

Kuva 13. Kuvaus normaalista riskienhallinta prosessista	49
---	----

## **Taulukot**

Taulukko 1. Suositukset pohjatutkimuksista vaativuusluokittain.	10
---	----

# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä syvennyttään vesihuollon laitosrakentamisen yhteydessä maahan asennettaviin putkiin ja niihin liittyviin riskeihin. Vesihuollon laitosrakentaminen on osa toimivan vesihuoltoverkoston rakentamista, jolla turvataan puhtaan talousveden saanti ihmisten kodeissa, työpaikoilla sekä teollisuudessa tarvittavissa määrin. Veden käytön seurauksena syntyy jätevettä, joka on puhdistettava järjestelmällisesti ja oikeaoppisesti. Maahan asennettavat putket ovat iso osa laitosrakentamisen prosessia, jotta prosessoitava vesi saadaan johdettua laitokseen ja prosessin loputtua lopulliseen määränpäähän. Kustannuslaskenta laitosrakentamisen projekteissa voi olla haastavaa ja aikaa vievää johtuen riskeistä, joita projekteissa esiintyy. Riskien toteutumisen todennäköisyys määräytyy riippuen rakennettavan kohteen olosuhteista.

Maahan asennettaviin putkiin liittyy monenlaisia riskejä, jotka on pystyttävä huomioimaan ja analysoimaan mahdollisimman tarkalla tasolla tarjouslaskennan aikana, jotta projekti olisi kannattava ja turvallinen toteuttaa. Riskit on tunnistettava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, arvioitava niiden eri vaikutukset hankkeeseen sekä valittava keinot riskien minimoimiseksi tai parhaassa tapauksessa estämiseksi, jotta hanke saataisiin toteutettua kannattavasti. Joidenkin riskien tunnistaminen, todennäköisyys ja niiden vaikutusten arviointi voi olla haastavaa, koska olosuhteiden todellisuutta maan alla ei aina tarkalleen voida tietää ja jokaisessa projektissa olosuhteet ja vaatimukset ovat omanlaisensa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä vesihuollon laitosrakentamisen yhteydessä maahan asennettavien putkien yleisimpiä toteuttamiseen ja kustannuslaskentaan liittyviä riskejä sekä analysoida näiden riskien vaikutuksia hankkeeseen ja kuinka näiden riskien hallintaa voitaisiin parantaa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Skanska Infra Oy, jossa edustajana on Pekka Koponen. Opinnäytetyötä ohjasi Turun ammattikorkeakoulusta Marika Nurmikko.

## 2 Maahan asennettavat putket

Vesihuollon laitosrakentamisen yhteydessä maahan asennettavia putkia kutsutaan siirtolinjoiksi ja syöttöjohdoiksi. Niiden tarkoituksena on johtaa vedenpuhdistamoissa raakavettä puhdistamoon ja puhdasta juomakelpoista talousvettä jakeluverkkoon sekä jätevedenpuhdistamoissa jätevettä jätevedenpuhdistamoon. Siirtolinjat mitoitetaan 20–40 vuoden ajalle alueelle ennustetun veden käytön tarpeen mukaan. Ennusteessa tulee ottaa huomioon toiminta-alueen asutus, palvelutoiminta sekä teollisuus. (RIL 237-2-2010, 41–49.)

Asennettavien putkijohtojen tulee olla hygieenisinä, määräysten ja suunnitelmien mukaisia sekä niiden on kestettävä ympärillä olevan maaperän olosuhteet. Putkijohdot eivät myöskään saa huonontaa veden laatua tai sen makua. (RIL 237-2-2010, 69.) Putkijohdot voivat mahdollisesti vaurioitua mahdollisesti jo kuljetuksessa tai työmaalla säilytyksen aikana, jos valmistajien antamia ohjeistuksia kuljetuksesta sekä säilönnästä ei noudateta (RIL 77-2013, 12.) Asentamisen jälkeen putkijohdot voivat vaurioitua putkiin kohdistuvista kuormista, joita aiheutuu maan routimisesta sekä painumisesta. Lisäksi putkilinjaan kohdistuu kuormia sen päälle tehtävistä täyterroksista ja pintakuormasta, jonka voi aiheuttaa liikenne täyterrosten päällä. (Rantamäki & Tammirinne 2002, 225–226.) Itse putken sisältä kuormituksia aiheuttavia voimia ovat paine, paineiskut ja virtaus (RIL 237-2-2010, 88).

### 2.1 Maaperä

Rakennuskohteen maaperässä vallitsevilla olosuhteilla on merkittävä vaikutus kaivannon kustannuksiin ja toteuttamisen tehokkuuteen. Kun maaperä on hyvin koossapysyvää ja sääolosuhteet ovat suotuisat, kaivannon toteuttaminen on helppoa kaivannoissa, jotka sijoittuvat pohjaveden yläpuolelle. Jos toteutettava kaivanto on syvä ja ulottuu pohjavedenpinnan alle, maaperän olosuhteet ovat huonot ja lisäksi työmaa on ahdas, voi kaivannon toteuttaminen olla kallista ja

paljon työtä vaativaa. (Rantamäki & Tammirinne 2002, 104.) Kustannuksiin vaikuttavia maaperän olosuhdetekijöitä ovat kaivantojen tukemiseen tarvittavat toimenpiteet ja rakenteet, kaivantojen syvyys, kuivanapito, mahdollinen pohjaveden alennus, kaivettavuus, kuljetettavuus sekä rakentamisen jälkeinen kaivannon täyttäminen vaatimusten mukaisilla täytekerroksilla ja materiaaleilla. (Rantamäki & Tammirinne 2002, 15.) Putkikaivannon toteuttamista voi vaikeuttaa maaperän olosuhteiden mahdollinen runsas vaihtelevuus putkilinjan pituussuunnassa (RIL 263-2014, 27).

Huonoja kaivuolosuhteita, jotka hidastavat kaivamisen tehokkuutta, ovat kiviset kovat maaperät sekä routaantunut maa. Talviolosuhteissa routaantuneessa maaperässä mahdollisesti joudutaan ennen kaivamista rikkomaan routaantunutta maata, jotta kaivaminen on mahdollista. Jos kaivettava maa-aines on häiriintymisherkkää ja veden kyllästämää, on sen kuljettaminen huomattavasti vaikeampaa sen muuttuessa juoksevaksi kuljetuksen aikana. (Rantamäki & Tammirinne 2002, 106–107.)

Ennen kaivantojen toteutustavan suunnittelua on tehtävä maaperätutkimukset suunnitellulle putkikaivannon linjalle, jotta suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot saadaan selville. Putkilinjan pituussuunnassa otetaan tutkimuspisteitä putkikaivannon vaatimusluokkien mukaisesti. Taulukossa 1 esitetään suositellut tutkimuspisteiden määrät vaatimusluokittain. Jos kaivanto sijaitsee sivuttain kaltevalla maaperällä, tulee tutkimuspisteitä sijoittaa myös niin, että rajataan kokonaisvakavuuden kertova alue. Maaperästä tulee selvittää pohjaveden pinnan korkeus, joka selvitetään maaperään asennettavien havaintoputkien avulla, joita asennetaan alueelle vähintään kaksi kappaletta. (RIL 263-2014, 27.)

Taulukko 1. Suositukset pohjatutkimuksista vaativuusluokittain. (RIL 263-2014, 28).

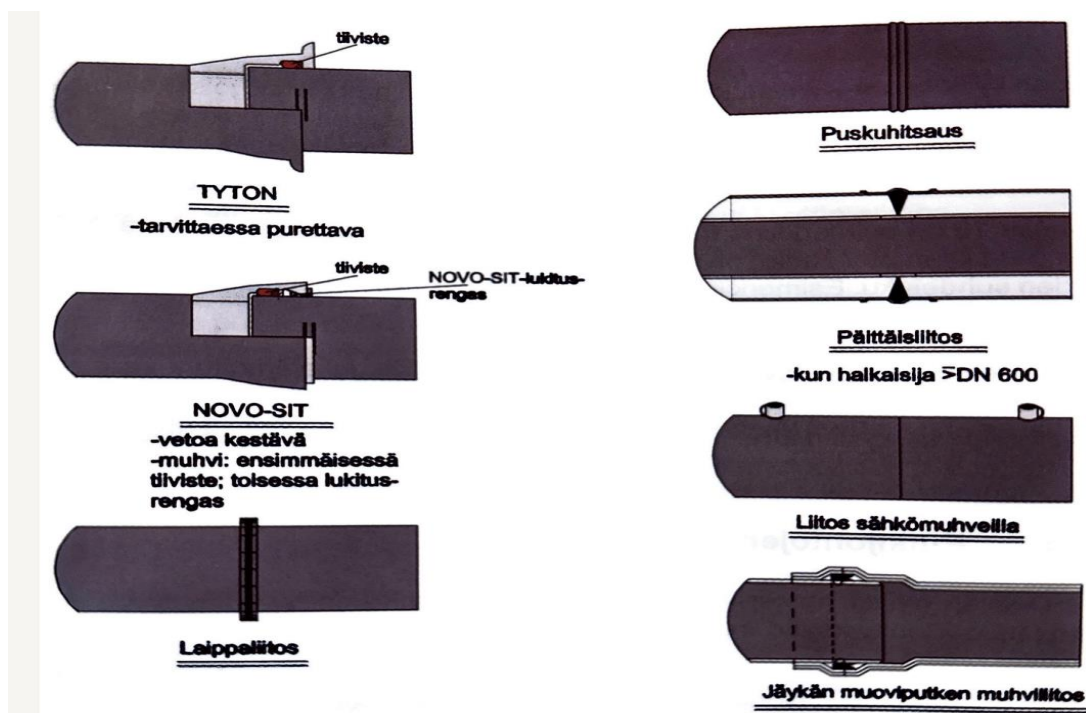
Tutkimuskohde	Tutkimusmenetelmä	Tutkimuspistemäärä kaivannon vaativuusluokittain		
		Tavanomainen	Vaativa	Erittäin vaativa
<b>Maapohjan kerrosrakenne ja maalajit</b> Kerrosrakenne, kerrospaksuudet Maalajit, tiivitydet Kivisyys, lohkaraisuus	Painokairaus tai puristinheijarikairaus - luiskattu tai tuentaelementein tuettu kaivanto	1/20...40 m	1/20 m	1/10...20 m
	- tukiseinin tuettu kaivanto	-	1/10 m	1/10 m
	Maanäytesyarja ja rakeisuusmäärittäminen	1/40...50 m	1/30...40 m	1/30 m
<b>Geotekniset mitoitusarvot</b> Hienorakeiset maakerrokset, lyhytaikainen mitoitusilanne Hienorakeiset maakerrokset, pitkäaikainen mitoitusilanne	Siipikairaus	1/60...80 m	1/40...60 m	1/40 m
	Häiriintymätön maanäytesyarja ja peruslaboratoriokokeet	-	1/40...60 m	1/40m
	Maanäyteistä kolmiakσιαalikoesarja (väh. 3 leikkausta)	-	1/maakerros	1/maakerros
<b>Kalliopohja</b> Kalliopinnan sijainti	Porakonekairaus kallioon 3 m - luiskattu kaivanto, joka ulottuu kallioon - tuettu kaivanto, kun tukiseinän tavoitetaso on kallio	1) 1/20 m	1/40 m 1/10 m	1/20 m 1/10 m
Rakennuspaikan kartoitus Kalliopohjan rikkonaisuus Pohjaveden taso kaivantolinjalla Pohjaveden taso ympäristössä Pohjaveden virtausolosuhteet maapohjassa Pohjaveden virtausolosuhteet kalliolla	Noudatetaan soveltuvin osin rakennuskaivantoja koskevaa ohjeistusta			

## 2.2 Putkityypit ja liitostyypit

Kohteessa käytetyn putkimateriaalin valinta perustuu putken suunniteltuun käyttöikänsä, putkessa vallitsevaan paineeseen, alipaineeseen, paineiskuihin, korroosionkestävyyteen, putkeen kohdistuvien kuormiin sekä muihin putkelta vaadittaviin ominaisuuksiin juuri kyseisessä kohteessa, maaperässä ja käyttötarkoituksessa. Putken tavoitteellinen käyttöikä on yleensä suunniteltu 50–100 vuodeksi (RIL 237-2-2010, 69.) Putken materiaalin tulee olla CE-hyväksytty, mutta käytettäviä putkia voidaan hyväksyttää tuotesertifioinnilla hankekohtaisesti (InfraRYL 2023, 31300.1). Juomavesihyväksytyt muoviset putket ovat väriltään sinisiä. Jätevesiputkien väritys taas on ruskea. (Muoviteollisuus ry). Vesijohtoina käytettyjen putkien materiaalit ovat polyeteeni (PE), polyvinyylidikloridi (PVC), pallografiittivalurauta (SG) ja teräs (T) (RIL 237-2-

2010, 68). Jätevesiputkien materiaalina käytetään viettoviemäreissä muovia (PE, PVC ja PP) sekä betonia, mutta paineputkissa käytetään muovia (PE ja PVC) (RIL 237-2-2010, 102). Putkien materiaalit ja johtoihin asennettavat varusteet tulee olla sellaisia, jotka kestävät kyseisen kohteen maaperä- ja ympäristöolosuhteet ja kuormitukset sekä ovat voimassa olevien vaatimusten, normien, standardien ja määräysten mukaisia, jotka on määritelty projektin suunnitelmissa (RIL 237-2-2010, 68–69). Putkien kyljissä on valmistuksen yhteydessä tehdyt merkinnät, jotka kertovat putken ominaisuudet ja normit, joiden mukaan kyseinen putki on valmistettu (RIL 237-2-2010, 71).

Erilaisia putkien liitoksien toteuttamiseen käytettyjä liitostyyppisiä ovat muhviliitokset, puskuhitsaus, sähkömuhvi, laippaliitokset ja hitsiliitokset, jotka on esitetty kuvassa 1. Putkilinjassa käytetty liitostapa riippuu putken materiaalista. Liitokset voivat olla joko vetoa kestävämpiä tai vetoa kestäviä. Tiivisteellisiä muhviliitoksia käytetään PVC-putkien ja SG-valurautaisien putkien liittämiseen. Teräspankujen liittämiseen käytetään hitsausliitoksia, laippaliitoksia tai liitinliitoksia. PE-putket liitetään puskuhitsaamalla, sähköhitsausmuhveilla sekä laippaliitoksilla (RIL 237-2-2010, 71–75) Paineellisen vesijohdon liitoksien tiiveys todetaan asennuksen jälkeen tehtävällä painekokeella, joka on standardin SFS 3115 mukainen (RIL 77-2013, 41).



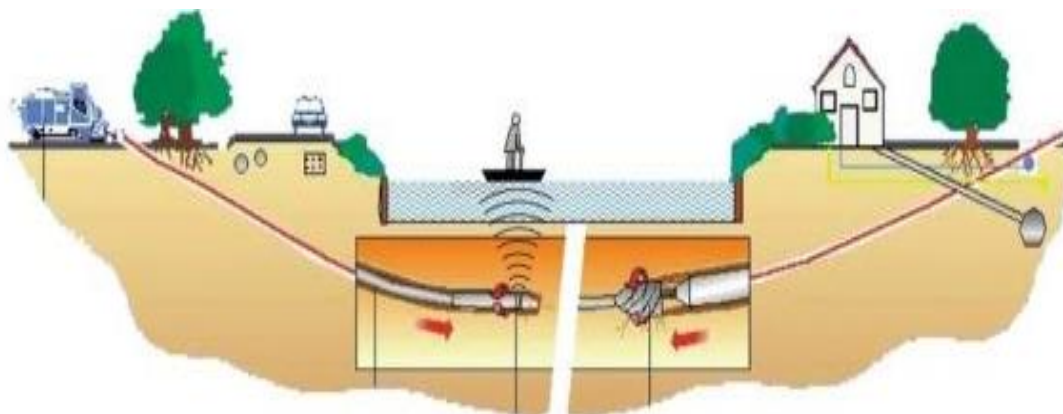
Kuva 1. Yleisimmin käytetyt liitostyypit (RIL 237-2-2010, 72).

### 2.3 Asennusmenetelmät

Putkia voidaan kohteen olosuhteista riippuen asentaa joko perinteisesti kaivantoon asentamalla tai kaivamattomilla menetelmillä. Yleisin tapa asentaa putket on kaivantoon asentaminen, jolloin putket asennetaan kaivannon pohjalle täyttämällä kaivanto vaatimuksien mukaisilla kerrosrakenteilla. Kaivamattomia menetelmiä käytetään yleisesti teiden, ratojen tai muiden rakenteiden alituksissa, jolloin halutaan asentaa putki ilman, että rakenteita joudutaan poistamaan alueelta, johon putkia asennetaan. (Muoviteollisuus ry 2022.) Siirtämisestä tai auki kaivamisesta aiheutuisi suuria kustannuksia ja ylimääräistä työtä. Tällöin on kannattavampaa harkita kaivamattomien menetelmien käyttämistä, joka voi olla huomattavasti kustannustehokkaampaa sekä vähemmän häiriötä aiheuttavaa kyseisessä tilanteessa. Käyttämällä kaivamatonta menetelmää säästetään tilaa ja vältetään monelta työvaiheelta, jota kaivantoon asentaminen edellyttäisi kyseisissä olosuhteissa. (Honkajarju 2016, 7.) Kaivamattoman menetelmän käyttö voi johtua myös työmaan ahtaudesta (Muoviteollisuus ry 2022).

### 2.3.1 Suuntaporaus

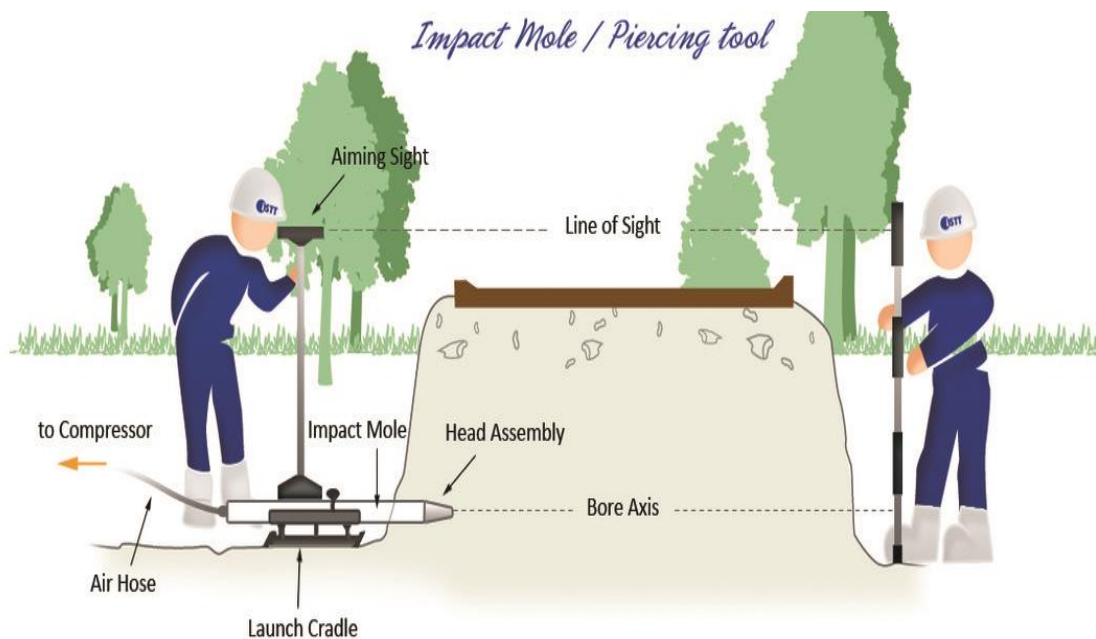
Yksi yleisesti käytetyistä kaivamattomista menetelmistä on suuntaporaustekniikka, joka on yksi vaakaporausmenetelmistä. Suuntaporaustekniikassa porakärkeä ohjataan elektronisesti. Porakärjen syvyyttä, kulmaa ja suuntaa pystytään seuraamaan ohjainlaitteesta porakärjen lähettämällä signaalilla. Kärjestä suihkutetaan porausnestettä, jonka tarkoituksena on irrottaa maa-ainesta ja tuoda sitä kohti pintaa samalla viilentäen porakärkeä ja stabiloiden porattua reikää. Suuntaporaustekniikalla voidaan asentaa jopa halkaisijaltaan 1000 mm:n putkia. (Honkajarju 2016, 10-12.) Suuntaporaustekniikan periaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Suuntaporaustekniikan toimintaperiaate (Muoviteollisuus ry 2022).

### 2.3.2 Tunkkaus

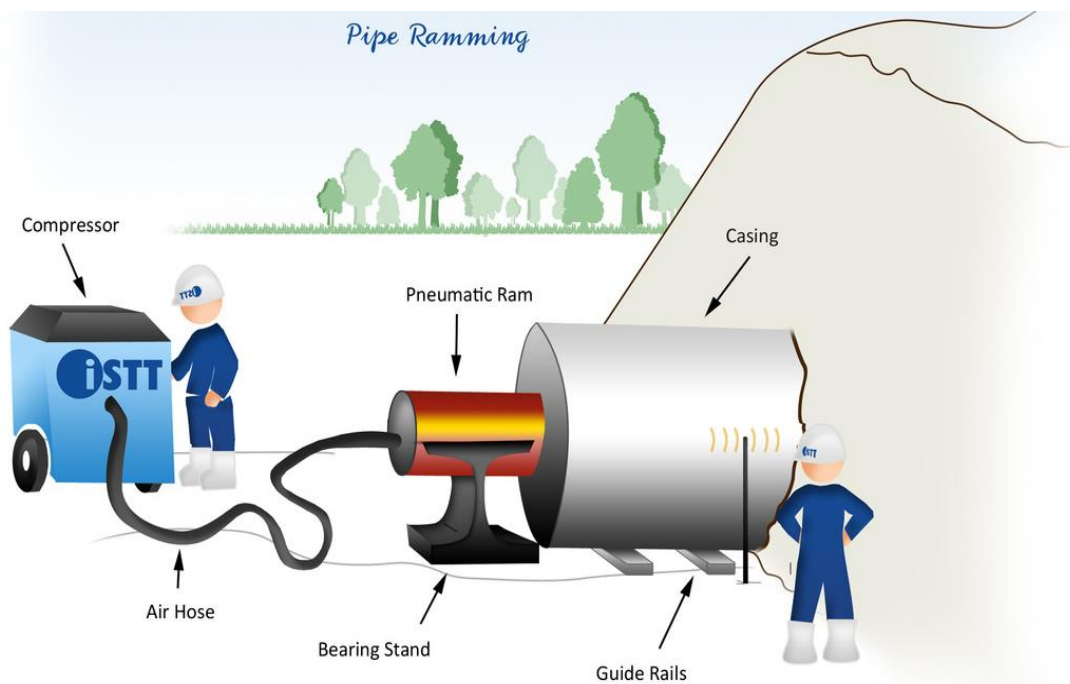
Tunkkauksessa käytetään hyväksi iskevää paineilman avulla toimivaa laitetta, joka maassa edetessään syrjäyttää edessä olevaa maa-ainesta iskennän avulla ja liikkuu maaperässä kitkan avulla. Laitteen perään asennetaan putki, jota laite vetää perässään. Asennettavan putken halkaisija on yleisesti halkaisijaltaan 50–160 mm ja menetelmällä pystytään asentamaan noin 20 metrin mittainen putki. Tunkkauksen käyttö soveltuu parhaiten olosuhteisiin, joissa maaperä on tasalaatuista tai kitkamaata, joka on vähäkivistä, koska laite käyttää liikkumisessa hyväksi kitkaa. (Honkajarju 2016, 25–26.) Tunkkauksen toimintaperiaate esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Tunkkauksen toimintaperiaate (ISTT 2024).

### 2.3.3 Junttaus

Junttauksessa paineilman avulla isketään avonaista teräksistä putkea maaperään, joka leikkaa itselleen reitin kohti lopetuskaivantoa keräten edessä olevan maa-aineksen sisäänsä. Kun teräksinen putki on saatu asennettua loppukaivantoon asti, lopuksi maa-aines poistetaan asennetun putken sisältä yleisimmin huuhtelemalla tai kairaamalla putken sisäpuoli. Junttauksessa käytettävä paineilma saadaan laitteistosta, joka sijoitetaan aloituskaivannon läheisyyteen. Yleensä asennettavan putken halkaisija on 168–1220 mm. Menetelmä soveltuu parhaiten käytettäväksi pehmeisiin maalajeihin, joissa ei ole kiviä, esimerkiksi saveen, silttiin ja löyhään hiekkaan. (Honkaharju 2016, 25.) Junttauksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



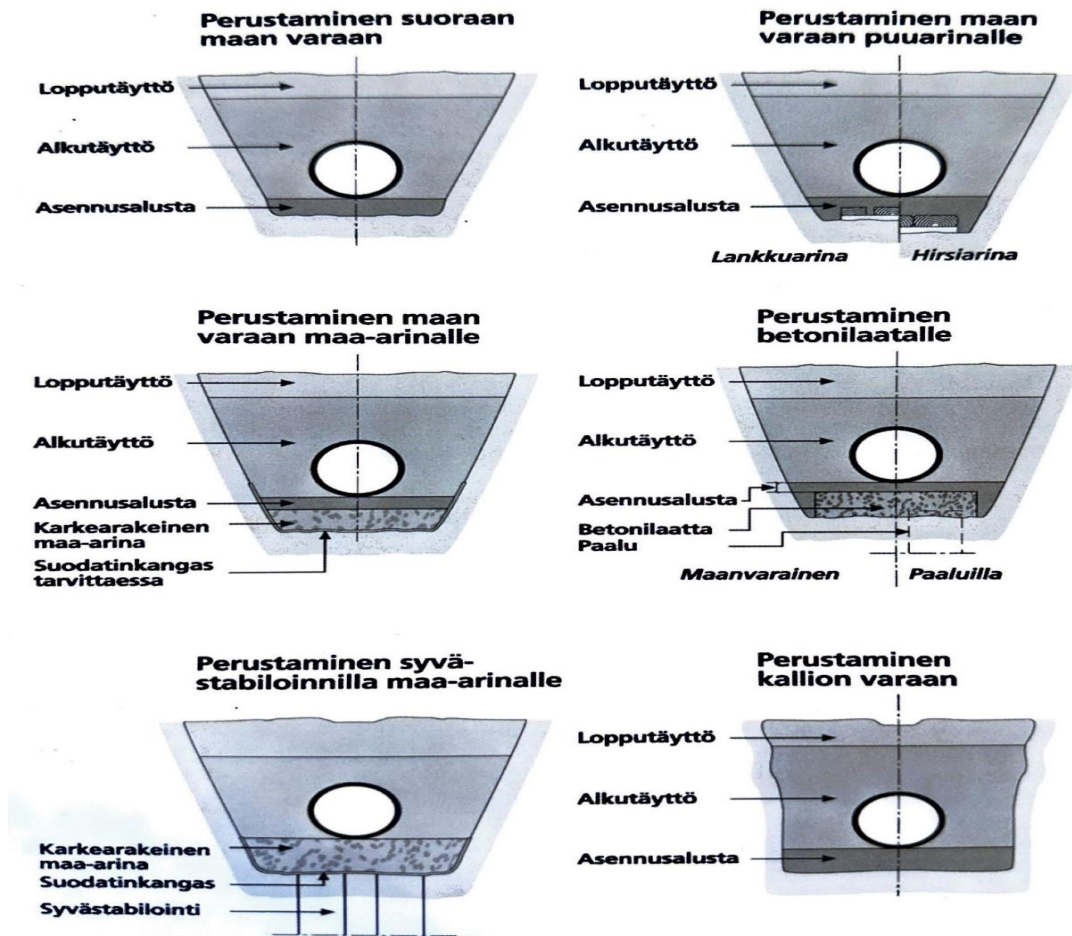
Kuva 4. Junttauksen toimintaperiaate (ISTT 2024).

## 2.4 Perustamisrakenteet

Heikosti kantavilla pohjamailla asennusalustan alapuolelle on tehtävä perustamisrakenne, jolla pyritään estämään painumia, jotka kuormittaisivat ja vaurioittaisivat rakennettua putkilinjaa. Hyvin kantavilla maapohjilla putket voidaan perustaa maanvaraisesti tai asennusalustan päälle, eikä perustamisrakenteita näin ollen tarvita. Putkille voidaan toteuttaa perustukset erilaisten arinarakenteiden avulla, putket voidaan perustaa tukemalla putkilinjaa paalujen avulla tai vahvistamalla maapohjan kantavuutta stabiloimalla kaivannon pohja. (RIL 77-2013, 20.) Etenkin huonosti kantavilla maaperillä putkilinjalle pyritään valitsemaan kustannustehokkain perustamistapa, jolla saadaan parannettua putkilinjan elinkaarta (RIL 237-2-2010, 129). Jos putkilinjan perustamiseen käytetään useita eri perustamistapoja tai siirrytään esimerkiksi hyvin kantavalta kallioperältä heikosti kantavalle maaperälle, on painumaerojen tasaamiseksi toteutettava vaatimusten mukainen siirtymärakenne (Rantamäki & Tamminen 2002, 229).

Arinarakenteina yleisesti käytetään kiviainesarinaa, joka on soraa tai murskettua kiviaineskooltaan 0–32 mm. Savisilla pohjamailla käytetään mahdollisesti kivihiilituhkaa, mutta kivituhkan käyttöön tarvitaan erillinen suunnitelma. Kivihiilituhkan käyttöön soveltuvia tuhkia ovat pohjatuhka, pohjakuona ja lentotuhka. Kun arinarakenne toteutetaan materiaalilla, joka voi sekoittua perusmaahan, voidaan käyttää arinarakenteen alla suodatinkangasta, jotta estetään arinarakenteen ja alla olevan maa-aineksen sekoittuminen (RIL 77-2013, 20).

Arinarakenteet voidaan toteuttaa myös puurakentein käyttämällä lankku tai hirsiarinaa (RIL 77-2013, 19–21). Myös putkiarinalevyjien käyttö on yleistä, jolloin maahan asennetaan levy, jonka päälle tulee kerros kivetöntä hiekkaa, soraa tai hiekkamoreenia. Putkiarinalevyt asennetaan kaivannon pohjalle ja tarvittaessa niitä limitetään 500 mm, jotta saadaan kaivannon pohja kokonaisuudessaan peitettyä levyllä. (InfraRyl 2023, 13314.) Putkilinjaa tuettaessa paaluilla, käytetään paalujen päälle valettavaa tai asetettavaa betonilaattaa, joka tuetaan kantavaan kerrokseen paalujen avulla (Rantamäki & Tammirinne 2002, 229). Syvästabilointimenetelmässä putkilinja tuetaan stabiloimalla pilareita putkilinjan alle ja stabiloitujen pilareiden päälle levitetään karkearakeinen maa-arina (RIL 77-2013, 21).



Kuva 5. Erilaisia putken perustamistapoja (RIL 77-2013, 21).

## 2.5 Asennusalusta

Suoraan putkilinjan alle tehdään asennusalusta, jonka tarkoituksena on toimia kerroksena, joka tasoittaa kaivannon epätasaisuudet asennettavan putken alapuolella. Kaikissa tilanteissa asennusalustaa ei ole pakollista toteuttaa. Jos putki asennetaan suoraan perusmaan varaan, on oltava tarkkoja kaivuutyön tasaisuudesta sekä kivettömyydestä vähintään 150 mm:n syvyydessä, jotta putki ei vaurioidu epätasaisen alustan tai kivien vuoksi. Putken muhveille on tehtävä asennuspohjaan tilaa, jotta putki ei jää kantamaan muhvien varaan. Asennusalusta on vähintään 150 mm:n paksuinen kerros, mitattuna putken alimmasta pinnasta. Liikennöidyillä alueilla sekä muilla alueilla, joissa käytetään rengasjäykkyydeltään alle 10 PN:n olevaa putkea, on asennusalusta rakennettava aina. (RIL 77-2013, 22.)

Asennusalustan materiaalina käytetään hiekkaa, soraa tai murskettä. Asennusalustassa käytettävän materiaalin on oltava hyvin tiivistyvää. Jos muovi- tai teräspankille tehtävässä asennusalustassa käytetään hiekkaa tai soraa, on suurin mahdollinen käytettävä raekoko 10 % käytettävän putken halkaisijasta. Halkaisijaltaan alle 200 mm:n olevilla putkilla suurin raekoko on 20 mm ja suuremmilla kuin 600 mm:n putkilla 63 mm. Asennusalustassa käytettävällä murskeella raekoko on enintään 16 mm, kun käytetään halkaisijaltaan yli 100 mm paksua putkea. Putken materiaalin ollessa betonia voidaan käyttää hiekkaa, soraa tai murskettä, jonka raekoko on 8–32 mm. Jos kaivannosta kaivettu kaivumaa on vaatimukset täyttävää, myös sitä on mahdollista käyttää asennusalustana. Myös samat vaatimukset täyttävää kaivumaata voidaan käyttää (InfraRYL 2023, 18310.1.2–18310.1.3). Ei-liikennöidyillä alueilla on mahdollista asentaa putket suoraan perusmaan päälle, jos maaperä kaivannon pohjalla on raekoon vaatimukset täyttävää hiekkaa, hiekka- tai sora-moreenia, savea tai silttiä (RIL 77-2013, 22).

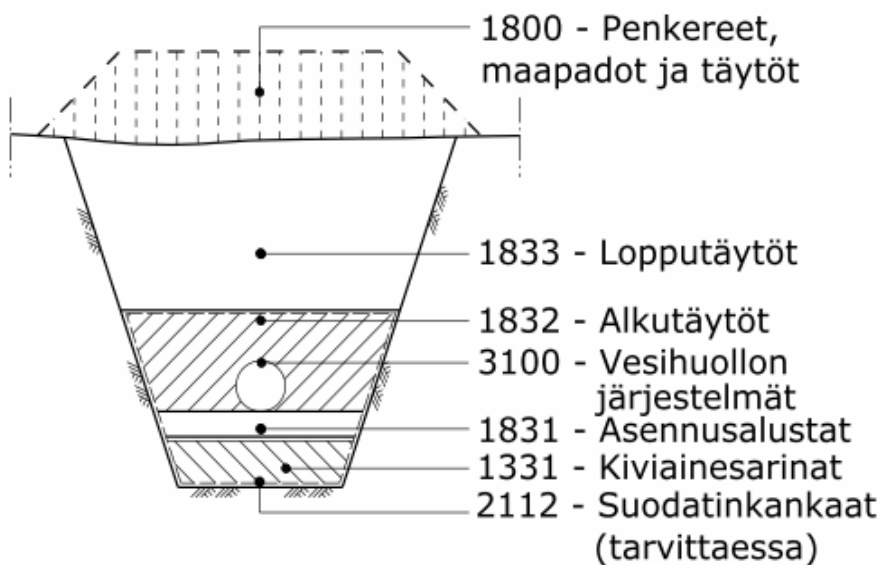
## 2.6 Alkutäyttö

Alkutäyttö on putken tasossa ympärillä täyttönä ja putkea tukevana rakenteena toimiva kerros, jonka tarkoituksena on tukea putkea jokaisesta suunnasta, estäen asennettujen putkien liikkumista. Jos kaivantoon asennettavan putken halkaisija on yli 160 mm alkutäytön tulisi muodostaa 300 mm:n paksuinen kerros putken ylimmän pinnan yläpuolelle. Alle Ø160 mm:n putkilla voidaan käyttää alkutäytön paksuutena putken päällä alle 300 mm:n kerrosta, mutta kuitenkin vähintään yli 150 mm jos suunnitelmissa on erikseen mainittu alle 300 mm:n paksuisen alkutäytön kerrospaksuuden käytöstä. (RIL 77-2013, 23–25.) Alkutäytön materiaalina liikennöitävällä alueella käytetään hiekkaa, soraa tai murskettä. Ei-liikennöidyillä alueella voidaan myös käyttää soraa, hiekkaa ja murskettä. Saven, siltin ja moreenin käytön ollessa määritelty suunnitelmissa, on se mahdollista liikennöityjen alueiden ulkopuolella. (InfraRYL 2023, 18320.1.2.)



## 2.7 Lopputäyttö

Lopputäyttö voidaan yleensä tehdä perusmaasta, jota kaivannosta on kaivettu, materiaalin on kuitenkin oltava hyvin tiivistyvää. Lopputäytön materiaalin on oltava maaperän kanssa routivuusominaisuuksiltaan vastaavaa. Suurin sallittu kivi on halkaisijaltaan 300 mm ja eikä se voi sijaita täytössä halkaisijaan lähempänä putkea. Jos lopputäyttöön käytetään materiaalia, jossa on kiviä tai lohkareita, ei täyttöön saa jäädä tyhjiä tiloja, joten materiaalin on oltava sekarakeista. Kuten alkutäytössä, myös lopputäytössä on mahdollista käyttää materiaalina savisilla maaperillä kivihiilituhkaa laatimalla erilliset suunnitelmat täyttörakenteista sekä tiivistämisestä. (RIL 77-2013, 25–26.) Liikennöidyillä alueilla on käytettävä ympärillä olevan rakennekerroksen mukaista materiaalia (InfraRyl 2023, 18330.1.1). Kuvassa 6 on esitetty putkikaivannon täytekerrokset.



Kuva 6. Putkikaivannon täytekerrokset (InfraRYL 2023, 31100).

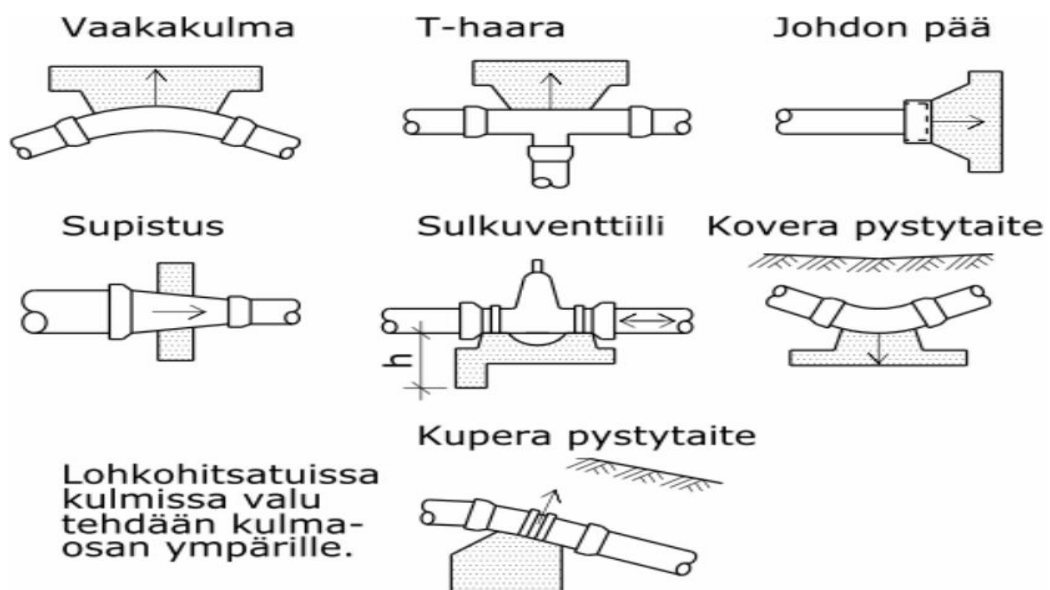
## 2.8 Putken tuenta

Paineellisissa johdoissa vallitsevien voimien ja paineiskujen takia putkia on tuettava kohdissa, joissa voimat vaikuttavat eniten putkeen työntävinä voimina, joka voisi aiheuttaa putken vetoa kestävämmien liitosten pettämisen ja putkien

siirtymisen. Tuentaa tarvitsevia kohtia ovat esimerkiksi vaakasuunnassa olevat kulmat, T-haarat, venttiilit sekä supistukset. Jos putkilinja on kokonaan vetoa kestäväillä liitoksilla toteutettu, ei tuentaa tarvita. Tukemattomassa linjassa voi olla myös vetoa kestävämpiä liitoksia, mutta voimien siirtyminen maaperään ennen vetoa kestäväntä liitosta täytyy varmistaa laskelmilla, jotta voidaan poissulkea voimien aiheuttaman vaurion riski. (RIL 237-2-2010, 87.)

Putken tuenta voidaan toteuttaa teräsbetonista valmistetulla tukilaatalla, ponttiseinällä, betonisella aluslaatalla tai ankkuroimalla vesijohto kalliioon. Putken tukeminen voidaan toteuttaa myös ankkuroimalla putki käyttäen muhvilukkoja. Muhvilukoilla ankkuroinnissa liitetään tarpeeksi monta peräkkäistä putkea yhteen käyttäen lukittavia putkimuhveja tuettavan osion kummaltakin puolelta, jolloin putken kohdistuu tarpeeksi alkutäytöstä tulevaa kitkaa, joka tukee putkesta syntyviä voimia vastaan. (RIL 237-2-2010, 87-91.) Muhvilukoilla ankkuroinnissa käytettävien lukkojen määrä määräytyy putken pituuden, peittosyvyyden ja putkikoon perusteella. (InfraRyl 2023, 31300.3.7)

Jos toteutettavan hankkeen suunnitelmissa ei ole erikseen esitetty toteutustapaa putkien tukemiseksi on noudatettava InfraRYL-ohjetta 31300.3.7 putkien tuennan toteuttamiseen (InfraRyl 2023, 31300.3.7). Erilaisia tilanteita putkien tuentaan on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Erilaisten putkien osien tuentatapoja (InfraRYL 2023, 31300.3.7).

### 3 Kaivannot

Putkikaivannot voivat olla yleisesti haastavia toteuttaa johtuen maaperän muuttuvista olosuhteista ja pohjavedestä. Koska rakennettava putkilinja voi olla pituudeltaan suuri, on mahdollista, että matkalla maaperän pohjaolosuhteet voivat vaihdella toistuvasti vaikeuttaen kaivannon suunnittelua entisestään. (RIL 263-2014, 27.) Putkikaivannot ovat vaarallisia ja vaativat erityistä tarkkaavaisuutta, koska ne ovat yleensä kapeita ja jyrkkäluiskaisia, joka aiheuttaa todennäköisemmän sortumisriskin. Sortumisriskin takia putkikaivannot ovat työturvallisuuden kannalta erittäin haastavia. (RIL 263-2014, 141.)

Kaivantoja toteuttaessa on pyrittävä valitsemaan toteutustapa, jossa otetaan huomioon kustannusten pysyminen alhaisina, mutta samalla huomioidaan hyvä työturvallisuus. Eri toteutusmenetelmien toimivuus ja kannattavuus kustannusten kannalta vaihtelee kaivannon syvyyden ja kaivettavan maan ominaisuuksien perusteella huomattavasti. Kaivannon toteuttaminen tuettuna tai luiskattuna riippuu kaivannon suunnitellun sijainnin maaperän geoteknisistä ominaisuuksista, pohjavesiolosuhteista ja vuodenajasta, jolloin kaivanto toteutetaan. (Rantamäki & Tammirinne 2002, 104–105.) Talvella routa tuo lisää stabiliteettia kaivantoon, mutta kun routa sulaa, kaivannon stabiliteetti laskee ja sortumisvaara on läsnä (RIL 263-2014, 181).

#### 3.1 Luiskattu kaivanto

Kun olosuhteet ovat suotuisat, kannattaa putkikaivanto toteuttaa luiskattuna kaivantona, koska se on sopivissa olosuhteissa tehokkain sekä kustannustehokkain vaihtoehto. Luiskattu kaivanto vaatii yleisesti enemmän tilaa työmaalta, joten jos työmaa on jo valmiiksi ahdas, luiskattu kaivanto ei ole paras vaihtoehto kaivannon toteuttamiseen. Luiskattua kaivantoa tehdessä vaaditaan työmaalta paljon tilaa, ja kaivuumaita syntyy enemmän kaivannon syvyyden ollessa suuri. Syntyneitä kaivuumaita täytyy ahtaalla työmaalla kuljettaa työmaalta pois, koska niitä ei voi läjittää lähelle kaivantoa niiden

aiheuttaessa kuormitusta luiskille, jolloin sortumisriski lisääntyy. Kuitenkin jos työmaalla on tarpeeksi tilaa kaivannon luiskaamiseen sekä kaivuumaiden sijoittamiseen muualla kuin kaivannon läheisyydessä, on luiskattu kaivanto hyvä vaihtoehto tapauksissa, joissa kaivettua maata voidaan hyödyntää lopputäytössä. Yleisesti luiskattu kaivanto on mahdollinen ainakin tilanteessa, jossa pohjaveden pinta on alempana kuin kaivannon pohja, mutta kiinteässä koheesiomaassa voidaan kaivannon pohja rakentaa pohjavedenpinnan alapuolellekin. (Rantamäki & Tamminen 2002, 104–105, 109–112.) Jotta putkikaivannon tekoa luiskattuna voidaan harkita, täytyy pystyä todistamaan kaivannon luiskien vakavuus sortumista vastaan tarpeellisten tutkimusten perusteilla. (RIL 263-2014, 44).

Luiskattua kaivantoa kaivettaessa on tehokkainta toteuttaa kaivaminen peruuttaen kaivinkoneella kaivannon etenemissuuntaan kaivaen vaiheittain kerrokset kaivannon oikeaan leveyteen, luiskaten jokainen kerros suunniteltuun leveyteen. Kaivannosta syntyvät kaivuumassat on läjitettävä tarpeeksi kauas kaivannon reunoista tai ajettava kaivamisen yhteydessä pois työmaalta, jotta ne eivät vaikuta kuormitukseen, joilla kaivannon luiskan vakavuudet on mitoitettu. (RIL 263-2014, 181.)

### 3.2 Tuettu kaivanto

Kaivanto on tuettava tapauksissa, joissa sortumista ei saada estettyä kaivantoa luiskaamalla, käytettävissä oleva tila on liian pieni luiskaamiseen, luiskaaminen vaikuttaa liikaa ympäristöön tai on tarve tehdä kaivannosta vesitiivis käyttämällä vesitiiviitä tuentamenetelmiä tilanteissa, joissa alueella pohjavedentaso ei saa laskea. (RIL 263-2014, 44.) Joissain tapauksissa kaivannon luiskaaminen voi olla kalliimpi vaihtoehto kuin kaivannon tukeminen, jos kaivannon syvyys on suuri ja kaivannon luiskista syntyy paljon kaivumaita sekä kaivannon täyttäminen vaatii paljon erillistä materiaalia. (Rantamäki & Tamminen 2002, 104). Tuetussa kaivannossa käytettävän tukiseinätyypin valintaan vaikuttavat kaivannossa vallitsevat pohjaolosuhteet sekä ympäristöolosuhteet ja

rakennettavan tukiseinän kustannukset, rakentamisen tehokkuus, ominaisuudet sekä käyttötarkoitus (RIL 263-2014, 45).

### 3.2.1 Puulankkuseinät

Kaivannoissa, jotka toteutetaan hyvin koossapysyvällä ja kuivalla maaperällä sekä kaivannon syvyys on maksimissaan noin 3–4 m, voidaan tuentatapana käyttää tukiseiniä, jotka toteutetaan pönkitetyillä puulankutuksilla tai pystysuorilla poikkietuilla lankutuksilla. Lankutus asennetaan joko vaaka- tai pystysuoraan ja seinämät tuetaan asentamalla kaivantoon poikkisuuntaiset tuennat. Harvalankutuksen lisäksi voidaan lankutuksen alla käyttää suodatinkangasta, jolla voidaan estää kaivannon seinistä irtoavien kivien tippumista kaivannon pohjalle. (Rantamäki & Tamminne 2002, 113–114.)

### 3.2.2 Kaivantotuentaelementit

Kaivantotuentaelementit ovat hyvä vaihtoehto putkikaivannon tukemiseen niiden liikuteltavuuden sekä helppokäyttöisyyden takia, koska niitä voidaan helposti siirrellä työmaan sisäisesti, esimerkiksi kaivinkoneella kaivannon edetessä. Kaivantotukielementti asennetaan oikeaan syvyyteen kaivetun kaivannon pohjalle ja sen seinämien ulkopuolelta täytetään kaivuumailloilla. Tuentaelementin poikkietukia on mahdollista säätää korkeussuunnassa, jolloin putken asentaminen kaivantoon helpottuu, kun tarvittava tila tukielementin sisäpuolella lisääntyy. Kaivantotukielementtejä löytyy erikokoisina ja niiden painot vaihtelevat 350–2200 kg välillä. Kaivantotukielementit riittävät alle 4 m:n syvän kapean kaivannon tukemiseen. (RIL 263-2014, 182.)

Kaivantotukielementtejä voidaan käyttää kaikissa muissa maalajeissa paitsi pehmeissä savimaissa. Parhaiten kaivantotukielementit kuitenkin sopivat maaperiin, joissa pystytään toteuttamaan melkein pystysuoralla luiskalla kaivanto, joka on pituudeltaan 6–8 metriä. (RIL 263-2014, 76.)

### 3.2.3 Teräsponttiseinät

Teräsponttiseinä on yleisesti käytetyin vaihtoehto tukiseinän toteuttamiseen sen kustannustehokkuuden kannalta syvemmissä kaivannoissa, koska pontteja voidaan käyttää uudelleen niin kuin elementtitukia. Teräsponttiseinällä toteutettua kaivannon tuentaa käytetään yleensä väliaikaisena rakenteena kaivannossa, kun tuentaelementtien tuentasvyvyys ei enää riitä. Teräspontteja voidaan käyttää myös pysyvänä rakenteena. Teräsponttiseinä soveltuu kaivantoihin, joissa ollaan työskentelemässä pohjavedenpinnan alapuolella tai pehmeiköllä. Pontit asennetaan kaivinkoneella hydraulisella pontiniskijällä, ja ne ovat yleensä u-ponttiprofiileja, jotka tuetaan poikkitukien avulla. Teräsponttiseiniin asennetaan poikkituennat, jotka ovat joko HEB- tai putkipalkkeja. (RIL 263-2014, 182.)

Ponttien asentaminen voi vaikuttaa negatiivisesti ympäristöön asennuksesta aiheutuvan tärinän takia ja teräspontit pois nostaessa maahan jää tyhjää tilaa, joka aiheuttaa siirtymiä (RIL 263-2014, 77). Teräsponttiseinät eivät sovellu maaperiin, jotka ovat tiiviitä tai hyvin lohkaraisia, koska pontit eivät välttämättä uppoa maaperään (Rantamäki & Tamminen 2002, 117).

### 3.2.4 Pilari- ja massastabilointi

Kaivannon maaperää voidaan lujittaa pilari- tai massastabiloimalla, jolloin fyysisiä seiniä kaivantoon ei tarvita, vaan kaivannon luiskat ja pohja stabiloidaan. Stabilointi toteutetaan syöttämällä maahan kalkkisementtiseosta tai sementtiä. (RIL 263-2014, 76.) Pilaristabilointi on yleinen menetelmä kohteisiin, joissa maaperä on herkästi häiriintyvää ja kokoonpuristuvaa savea. Sideaine syötetään maahan, jossa se imee itseensä kosteutta ja kovettuu vakavoittaen maaperää. (Rantamäki & Tamminen 2002, 203–206.) Stabiloinnin suorittamisen jälkeen pystytään toteuttamaan kaivanto jyrkemmällä luiskilla ilman tukemista (RIL 263-2014, 76).

### 3.3 Kaivannon vesienhallinta

Ennen kaivannon toteuttamista on arvioitava pohjaveden alentamisen tarve sekä kaivannon kuivanapidolle suunniteltava tarvittavia toimenpiteitä, koska sade- ja sulamisvedet sekä kaivantoon pyrkivät pohjavedet on poistettava kaivannosta, jotta työn tekeminen olisi tehokkaampaa. Kaivannon kuivanapidolla saadaan poistettua kaivannon ei toivottuja muodonmuutoksia, kuten kaivannon pohjan häiriintyminen, nouseminen, hydraulinen murtuminen sekä luiskien eroosio ja sortumat. Parhaimmassa tapauksessa oikeaoppisella kuivatuksella pystytään muuttamaan olosuhteet suotuisiksi kaivannon toteuttamiseen luiskattuna ilman tuentaa. (Rantamäki & Tamminen 2002, 143–145.) Putkikaivannoissa, joissa maaperä on hyvin koossapysyvää ja huonosti vettä läpäisevää, sadevesien sekä sulamisvesien kuivatus voidaan helposti hoitaa kallistamalla kaivupohja johtamaan pumppauskuoppiin tai pumppauskaivoihin, joista vesi pystytään pumppaamaan kätevästi pois. Menetelmänä kaivannosta pumppaaminen on kustannustehokkain menetelmä sen soveltuessa kaivannon olosuhteisiin. (Rantamäki & Tamminen 2002, 143–145.)

Suomessa vallitsevissa maaperän olosuhteissa pohjavedenpinta sijaitsee yleensä noin 1,5–3 m syvyydessä maanpinnasta. (Rantamäki & Tamminen 2002, 143). Pohjaveden alennusta tarvitaan tilanteissa, joissa maaperä on ominaisuuksiltaan herkästi häiriintyvää, kuten siltit ja moreenit, tai kaivannossa on laskelmilla todettu hydraulisen murtuman riski. Pohjaveden alennus voidaan toteuttaa kaivannon pohjalta pumppaamalla, kun on todettu, ettei hydraulisen murtumisen riskiä ole, eikä kaivannon pohja ole herkästi häiriintyvää maainesta. Tällainen tilanne voi olla maalajeissa, kuten hiekka, sora ja hiekkamoreeni.

Pohjaveden alennukselle ei ole tarvetta tilanteissa, joissa kaivannon pohja on maalajia, joka estää pohjaveden virtaamisen kaivannon pohjalle eli on riittävän vesitiivistä. Riittävän vesitiiviitä maalajeja ovat savi ja hyvin tiivis moreeni. Kaivannon hydraulisen murtumisen riski tulee sulkea pois mitoituslaskelmien

avulla. Kun kaivannon alin kaivuutaso ulottuu vain 0,5–1 m:iin pohjavedenpinnan yläpuolella, ei erillistä pohjavedenalennusta tarvita. Jossain tapauksissa, joissa pohjaveden alentaminen ei ole välttämätöntä, voi kuitenkin olla kustannustehokkuuden kannalta järkevämpää alentaa pohjavesitasoa, jotta maa-aineksen kaivettavuus sekä kuljetettavuus olisi parempi. (RIL 263-2014, 70.)

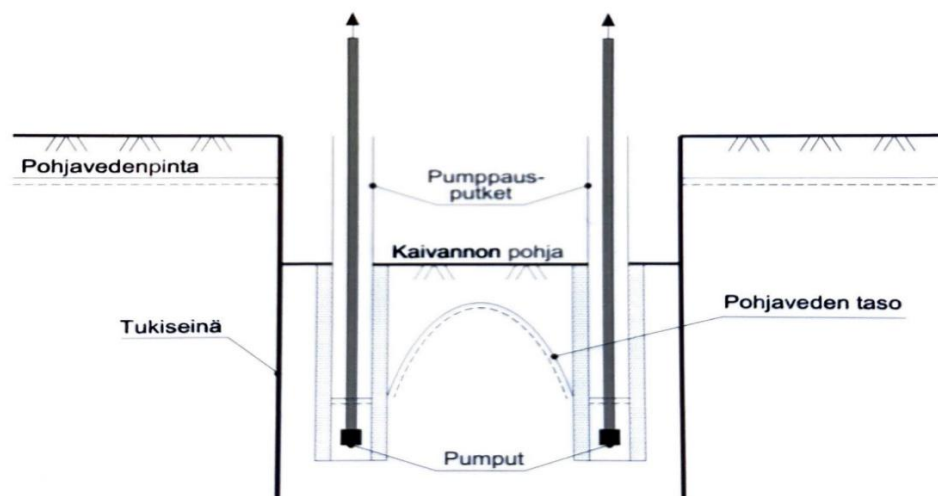
Jos olosuhteet maaperässä vaativat kaivannon toteuttamisen onnistumiseksi pohjaveden alentamista, on varmistettava että, pohjaveden alentaminen ei vaikuta negatiivisesti ympäristöön ja ympärillä oleviin rakenteisiin, etenkin koheesiomailla. Pohjaveden alentamisesta laaditaan pohjaveden hallintasuunnitelma, jos alueella pohjavedenpinta ei saa laskea haitallisesti. Suunnitelmassa esitetään toimenpiteet pohjaveden korvauksesta. Hienorakeisissa maissa pohjaveden alentaminen aiheuttaa kokoonpuristumaa ja painumia. (RIL 263-2014, 37–38.)

### 3.3.1 Pumppauskuopat ja pumppauskaivot

Putkikaivannoissa, joissa maaperä on hyvin koossapysyvää ja huonosti vettä läpäisevää, sadevesien sekä sulamisvesien kuivatus voidaan helposti hoitaa kallistamalla kaivupohja johtamaan pumppauskuoppiin tai pumppauskaivoihin, joista vesi pystytään pumppaamaan kätevästi pois uppopumppuja käyttäen. Menetelmänä kaivannosta pumppaaminen on kustannustehokkain menetelmä sen soveltuessa kaivannon olosuhteisiin. (Rantamäki & Tamminen 2002, 143–145.) Kun pumppauskuopilla ja pumppauskaivoilla on tavoitteena alentaa pohjavettä, maaperän vedenläpäisevyyden kertoimen on oltava suurempi kuin  $10^{-3}$  m/s ja pohjaveden virtaaminen kaivannon pohjalle ei saa olla ongelma, että se voidaan uppopumppujen avulla pumpata pois kaivannon pohjalta pumppauskuopasta tai pumppauskaivosta. Pumppuja pystytään siirtämään helposti kaivannon edetessä. Pohjaveden poispumppausta saadaan tehokkaammaksi, jos kaivannon pohjalle pystytään asentamaan salaojat, jotka tehostavat veden virtaamista pumppauskuoppiin tai pumppauskaivoihin. (RIL 263-2014, 70–71.)

### 3.3.2 Pumppausputket

Pumppausputket ovat menetelmä, jolla pohjaveden pintaa voidaan alentaa ennen kaivannon toteuttamista. Pumppausputket soveltuvat maalajeihin, kuten soraan, hiekkaan, soramoreeniin, karkeaan silttiin ja hiekkamoreeniin, joiden vedenläpäisevyyden kerroin maa-aineksessa on suurempi kuin  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  m/s. Pumppausputkien toiminta perustuu maahan asennettavaan putkeen, jossa on reikiä. Reiät mahdollistavat putkeen kerääntyneen pohjaveden pumppauksen putken sisältä pois uppo- tai keskipakopumpun avulla. Putkeen kerääntyä vettä putken alapään reikien kautta parhaiten vettä johtavasta kerroksesta. Pumppausputken käytön ongelmana on putken päässä olevien reikien tukkeutuminen, mutta putki voidaan kuitenkin varustaa suojaputkella ja suodatinkankaalla, joka toimii suodattimena estäen reikien tukkeutumisen ja parantaen toimintavarmuutta. (RIL 263-2014, 71–72.) Pumppausputken toimintaperiaate esitetty kuvassa 8.

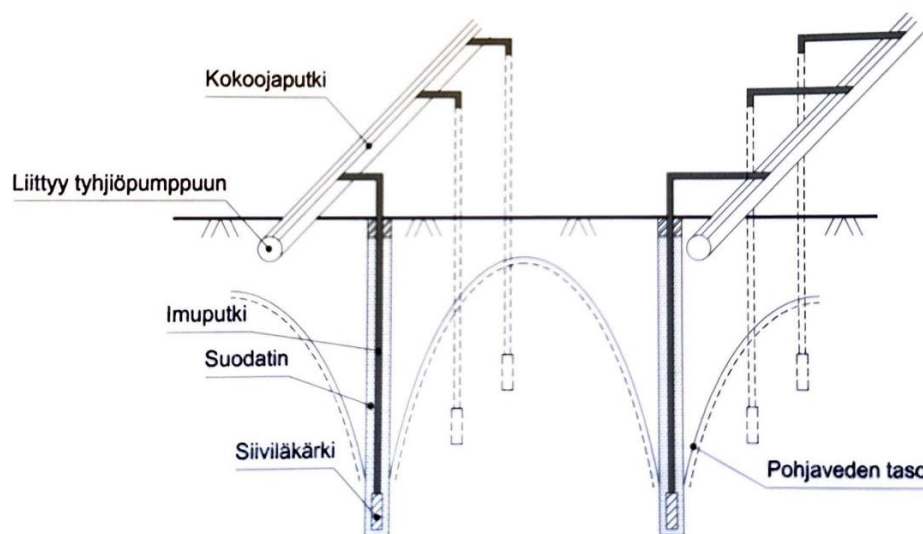


Kuva 8. Pumppausputkimenetelmän toimintaperiaate (RIL 263-2014, 71).

### 3.3.3 Tyhjiöpumppausmenetelmä

Tyhjiöpumppausmenetelmää voidaan käyttää hienorakeisissa maaperissä, joita ovat esimerkiksi hieno hiekka, karkea siltti, soramoreeni ja hiekkamoreeni,

joiden raekoko on pienempi kuin 0,06 mm ja vedenläpäisevyyden kerroin maaineksessa on suurempi kuin  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  m/s. Tyhjiöpumppaustekniikassa käytetään hyväksi järjestelmään imettävää alipainetta, joka imee maahan asennetuista siiviläkärjillä varustetuista putkista pohjavettä ja kerää sen kokoojaputkeen, josta vesi pumpataan pumpuissa sijaitseviin vesisäiliöihin. Tyhjiöpumppauksen haastavuus on pumppujen sijoittaminen. Pumppujen täytyy olla sijoitettuina mahdollisimman alas. Pumppujen tehokkuuteen vaikuttaa pohjavedenpinnan ja pumppujen välinen korkeusero. Suurimpana mahdollisena korkeuserona pumpun ja pohjaveden välillä pidetään 6 metriä. Jos pumppujen teho on riittämätön, on mahdollista kuitenkin toteuttaa tyhjiöpumppaus kaksivaiheisena. Tällöin koko kaivanto toteutetaan kaksivaiheisena. Imuputket asennetaan maahan, jonka jälkeen, kun pohjavedenpintaa on alennettu tietylle tasolle, asennetaan kaivantoon toiset imuputket, joilla pohjavedenpinta alennetaan seuraavaan suunniteltuun tasoon. Tällainen kaivanto vaatii huomattavasti enemmän työtä ja tilaa työmaalta. Maahan asennettavia imuputkia on sijoitettava kaivannon reunoille 2–5 m välein. Jos kaivanto on normaalia leveämpi, on imuputkia asennettava myös kaivannon keskelle. Järjestelmän toimivuuden kannalta on tärkeää, että järjestelmä on täysin ilmatiivis. (RIL 263-2014, 72–73.) Kuvassa 9 on esitetty tyhjiöpumppausmenetelmän toimintaperiaate.



Kuva 9. Tyhjiöpumppausmenetelmän toimintaperiaate (RIL 263-2014, 72).

## 4 Yleisimmät riskit ja niiden vaikutukset

Riski on mahdollisuus negatiivisesti vaikuttavaan tapahtumaan, jonka seurauksena aiheutuu menetyksiä, jotka voivat olla rahallisia, ympäristöllisiä, terveydellisiä tai yhteiskunnallisia (Kuusela & Ollikainen 2005, 16–17). Riskien hallitsemiseksi toteutetaan riskienhallintaprosessi, jossa tunnistetaan mahdolliset riskit, arvioidaan niiden vaikutuksia ja toteutumista sekä valitaan toimenpiteet riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi (Kuusela & Ollikainen 2005, 35). Joissain tapauksissa riskien toteutumisesta aiheutuvat menetykset ovat pieniä ja vähän merkitseviä, mutta taas toisissa tapauksissa riskeistä aiheutuvat menetykset voivat olla huomattavan suuria kustannuksiltaan, tai pelissä voi olla jopa työntekijän henki.

Tarjouslaskennan aikana on pyrittävä tunnistamaan kaikki mahdolliset urakkaan liittyvät riskit, joita sisältyy hankkeen teknisiin ratkaisuihin, toteutustapoihin sekä urakan ehtoihin (Lindholm 2009, 31). Jos riskejä ei onnistuta arvioimaan ja hinnoittelemaan tarpeeksi tarkalla tasolla, vaikuttaa se suoraan tilaajalle tarjottavaan hintaan. Liian pienen riskivaruksen takia kate voi jäädä pieneksi. Toisaalta taas liian suurella riskivaruksella tarjouskilpailuun tarjottava hinta voi olla huomattavasti kilpailijoita suurempi, jolloin tarjouskilpailua ei voiteta. Jos urakassa tunnistetaan liikaa riskejä, ja niiden analysoinnin jälkeen voidaan todeta, että riskien kanssa ei ole kannattavaa toimia.

Rakennushankkeessa riskit pyritään jakauttamaan tilaajan ja urakoitsijan kesken, tai riskin seuraukset siirretään sopimuksessa joko urakoitsijalle tai tilaajalle. Tarjouslaskennan aikaiset riskit voidaan jakaa teknisiin, hallinnollisiin, sopimusteknisiin riskeihin sekä epätarkkuus-, ja muihin riskeihin. Tekniset riskit ovat riskejä, joita esiintyy vaikeasti toteutettavissa työvaiheissa sekä uusissa menetelmissä, joiden toteuttamisesta ei ole kokemusta, ja suunnitelluissa rakenneratkaisuissa. Hallinnolliset riskit ovat muutoksia toiminnan laajuudessa, joka voi tarkoittaa urakkaan kuuluvaa osiota, joka ei kuulu oman yrityksen toimialaan, esimerkiksi urakkaan erikoisosaamista tai erikoiskoneita vaativat

suoritteet, joita ei omalla kokoonpanolla ja kalustolla pystytä suorittamaan. (Lindholm 2009, 33.)

Sopimustekniset riskit ovat tarjouspyynnössä esiintyviä vaikeasti hinnoiteltavissa olevia kohtia, jotka eivät noudata rakennusalalla normaalisti käytettäviä sopimusehtoja eli YSE:n ehtoja tai normaalisti samantapaisissa projekteissa käytettyjä urakkarajoja. Epätarkkuusriskit ovat riskejä, joita aiheutuu epätarkasti suoritetusta määrälaskennasta puutteellisten suunnitelmien pohjalta, laskennasta ilman tarkkoja tarvittavia tarjouspyyntöjä aliurakoitsijoilta tai vanhentuneilla materiaalien hinnoilla. Muihin riskeihin lukeutuvat työturvallisuusriskit ja mahdolliset muut erikoiset riskit, joita juuri kyseisen kohteen olosuhteisiin sisältyy (Lindholm 2009, 33). Muihin riskeihin voivat lukeutua esimerkiksi suojeltavat kasvit tai eläimet, jotka voivat haitata rakentamista.

Riskien määrään ja niiden vaikuttavuuteen vaikuttaa myös se, missä urakkamuodossa kyseinen hanke toteutetaan. Hanke voidaan toteuttaa kokonaishintaurakkana, jolloin riskit määrästä ja hinnasta jäävät kokonaan tarjouksen laskeneelle urakoitsijalle. Yksikköhintaurakassa määräriski on tilaajalla ja hintariski taas urakoitsijalla. Laskutyöurakassa kustannukset taas ovat tilaajan riskinä. Tarjouslaskennassa tarjottava hinta koostuu määrälaskennasta, riskivaruudesta ja katteesta. Riskivaraus on jokaisella kohteella määriteltävä erikseen ottaen huomioon kohteen olosuhteet, ehdot ja toteutustavat. Kate projektissa määräytyy vallitsevan markkinatilanteen ja yrityksen oman tarjouspolitiikan mukaan. (Lindholm 2009, 33.)

Maahan asennettaviin putkiin liittyy monia omalaatuisia riskejä, joista osan vaikutuksia hankkeen toteutukseen ja kustannuksiin voi olla haastavaa arvioida tarjouslaskentavaiheessa, vaikka kohteessa olisi vierailtu sekä lähtötiedot ja suunnitelmat näyttäisivät ulkoisesti olevan hyvällä tasolla. Suurimmat riskit luovat maaperän olosuhteet kohteessa sekä muut piilossa olevat esteet, kuten vanhat putket, johdot ja rakenteet sekä kalliot. Tarjouslaskennan aikana ei voida tarkalleen tietää todellista tilannetta maanpinnan alapuolella, jolloin ei voida varmistua suunnitelmien toteutuskelpoisuudesta.

#### 4.1 Taloudelliset riskit

Urakan toteuttamiseen liittyy taloudellisia riskejä, jotka voivat johtua esimerkiksi kustannustason noususta, joka johtuu suhdanteiden vaihteluista. Useimmiten rakennushankkeet voivat alkaa jopa vuosien kuluttua sopimuksen teosta, jolloin kustannusarviolaskennan aikana käytetyt materiaalien hinnat, työntekijöiden palkat tai muut laskennassa käytetyt hinnat voivat olla nousseet. Toisaalta kustannustaso voi myös laskea, jolloin rakentaminen on halvempaa.

Materiaalien hintoihin vaikuttavat raaka-aineiden saatavuuden taso sekä hinnat, jotka voivat äkillisesti vaihdella riippuen muuttuvasta maailmantilanteesta, sodista tai luonnonkatastrofeista. Hintojen nousuun liittyvää riskiä pienennetään sitomalla projekti indeksiin, jolloin otetaan huomioon projektin hinnassa kustannusten kasvaminen tai laskeminen, joka pienentää riskiä huomattavasti tilaajalta sekä urakoitsijalta.

Taloudellinen riski voi syntyä myös tilaajan taloudellisesta vakaudesta, maksuongelmista tai rakennusprojektin rahoitusongelmista, joista aiheutuu projektin kassavirran kuihduttava riski. Jos tilaaja ei ole yhteistyökykyinen tai tilaajan toiminta on hidasta projektiin liittyvissä toiminnoissa, aiheuttaa se projektille taloudellisen riskin, joka vaikuttaa aikataulullisesti. (Savolainen 2023, 27.) Myös urakassa mukana olevien aliurakoitsijoiden taloudellinen vakaus tulee arvioida riskien varalta, jotta estytään tilanteelta, jossa aliurakoitsijan talous päättyy niin huonoon tilanteeseen, että aliurakoitsija ei ole kykenevä suorittamaan osoitettua osuuttaan projektista.

Taloudellisen riskin aiheuttavat myös puutteelliset ennakkotarjoukset aliurakoista tai laskuvirheet määrälaskennassa. Jos aliurakoiden suoritushinnat arvioidaan vanhan tiedon perusteella saamatta tarjousta kyseisestä suorituksesta, voivat hinnat työssä tai materiaaleissa olla muuttuneet huomattavasti, jolloin kustannukset ovat todellisuudessa kustannusarviolaskennassa laskettua suuremmat.

## 4.2 Puutteelliset lähtötiedot ja suunnitelmat

Rakennushankkeessa tarjouslaskennan aikana tehtävä kustannusarviolaskenta perustuu rakennuttajan tarjouspyynnön yhteydessä toimittamiin teknisiin asiakirjoihin ja urakkaehtoihin, joihin sisältyvät työselostukset ja suunnitelmat, jotka määrittelevät urakan rajat. Tarjouspyynnössä toimitettujen asiakirjojen tulisi olla tarpeeksi selkeät ja paikkaansa pitävät kustannuslaskennan suorittamiseksi. (Lindholm 2009, 21.) Teknisissä asiakirjoissa esitellään hankkeen lähtötiedot ja suunnitelmat, joilla kyseinen urakka tulisi toteuttaa. Jossain tapauksissa lähtötiedot ja suunnitelmat voivat olla puutteellisia, mikä johtaa ongelmiin ja virheisiin tarjouslaskennassa.

Puutteelliset lähtötiedot voivat tarkoittaa puutteita tai laatuvirheitä maaperätutkimuksissa esimerkiksi kalliosta tai pohjavedessä, tai puutteellisia tietoja mahdollisista kohteessa sijaitsevista jo olemassa olevista kaapeleista ja putkista. Puutteellisten lähtötietojen pohjalta tehdyt esisuunnitelmat voivat aiheuttaa tilanteita, joissa teknisissä asiakirjoissa esitetyt esisuunnitelmat ovat todellisuudessa toteuttamiskelvottomia, ja niihin on tehtävä suuria muutoksia rakentamisen aikana. Suunnitelmien muutokset rakennusaikana voivat aiheuttaa huomattavasti enemmän työtä ja aikataulun viivästyksiä suunnittelijan laatiessa uusia suunnitelmia, jotka on mahdollista toteuttaa työvaiheen aikana paljastuneissa olosuhteissa. Lähtötietojen paikkaansa pitävyyttä voidaan arvioida suoritettujen maaperätutkimusten määrän ja laadun perusteella. Maaperätutkimukset voivat olla puutteelliset, esimerkiksi tilanteessa, jossa kohteessa on suoritettu vain muutama kairaus, jotka eivät sijaitse rakennettavan putkilinjan alueella vaan toisessa päässä työmaata, jolloin juuri kyseisessä rakennettavan linjan kohdalla vallitsevista olosuhteista ei ole minkäänlaista alustavaa tietoa. Näiden kairausten perusteella ei voida tarkasti suunnitella kaivantoja ja niiden tuentaa tai putkilinjalle tarvittavia kerrosrakenteita tai perustuksia.

Puutteelliset, epäselvät ja virheelliset suunnitelmat aiheuttavat tarjouslaskennan aikana huomattavan riskin määrälaskennan suorittamisessa sekä

riskivarauksen laskennassa. Suunnitelmista, jotka ovat puutteellisia tai virheellisiä, on tarkkojen määrien ja työhön kuluvaan ajan laskenta tarkasti mahdotonta ja se vääristää koko kustannuslaskennan prosessia. Työvaiheen aikana kustannukset voivat nousta huomattavia määriä, jos suunnitelmat osoittautuvat toteuttamiskelvottomiksi.

Virheelliset tai puutteelliset lähtötiedot ja suunnitelmat paljastuvat yleensä vasta työvaiheessa työn ollessa käynnissä. Virheellisten lähtötietojen ja niistä johtuvien virheellisten suunnitelmien paljastuminen vaikuttaa rakentamiseen keskeyttäen työn tai hidastaen sitä huomattavasti uusien suunnitelmien saamisen ajaksi, jolloin sillä on suora vaikutus hankkeen aikatauluun ja kustannuksiin. Kun uusia suunnitelmia odotellaan työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset ovat silti läsnä, kun työ joudutaan keskeyttämään suunnitelmamuutosten ajaksi.

Joissakin tapauksissa tarjouspyynnössä voidaan toimittaa myös valmiiksi tehty määrälaskenta laadittujen suunnitelmien ja lähtötietojen pohjalta, mutta määrälaskenta ja siinä piilevät riskit ovat silti tarjouksen jättäjän tarkastettavana. Tarjouksen jättäjällä on vastuu tunnistaa ja arvioida riskit sekä hinnoitella ne. (Lindholm 2009, 26.) Määrien muutoksista ja muutoksista, esimerkiksi suunnitelmiin aiheutuu usein ongelmia ja riitatilanteita urakoitsijan ja tilaajan välillä. Muutokset, joita suunnitelmiin täytyy tehdä, toteutetaan muutos- ja lisätyönä.

#### 4.3 Kaivannot

Kaivantojen suunnittelussa ja toteuttamisessa törmätään erilaisiin riskeihin, jotka voivat vaikuttaa projektin aikatauluun sekä kustannuksiin huomattavasti. Riskejä aiheuttava tekijöitä ovat maaperäolosuhteet, maaperästä paljastuvat esteet, kuten kalliot tai vanha tekniikka, työturvallisuus sekä sääolosuhteet. Jotkut riskitekijöistä voivat olla vaikeasti ennustettavissa projektin alkuvaiheessa ja ne voivat konkretisoitua äkillisesti työvaiheen aikana aiheuttaen viivästystä sekä nostaa toteuttamisen kustannuksia, koska näihin tekijöihin ei välttämättä

ole osattu varautua tarjouslaskennan aikana, jos lähtötiedoissa ei ole kyseisistä olosuhteista viitteitä. Monet näistä riskitekijöistä on vaikea todeta tarjouslaskentavaiheessa puutteellisista lähtötiedoista ja virheellisistä suunnitelmista johtuen. Kaivannon toteuttamisessa on työskenneltävä turvallisuus edellä, joten kaivannon toteuttamiseen voi helposti kulua suunniteltua enemmän aikaa turvallisuuden varmistamiseksi. Esimerkiksi puutteellisten maaperätutkimusten pohjalta suunnitellun rakennettavan putkilinjan kaivannon työvaiheen aloittamisen yhteydessä huomataan, jotta maaperä on huomattavasti lähtötiedoista poikkeavaa, jolloin huomataan, että kaivantoa ei voidakaan toteuttaa luiskattuna turvallisesti niin kuin suunnitelmissa on esitetty. Kaivannon tukemiseksi tarvitaankin siis tuentaa, jota ei tarjouslaskennassa ole osattu huomioida, jolloin kustannukset sekä työmäärä kaivannon toteuttamiseksi nousevat. Tämän seurauksena kaivannon toteuttamiseen suunniteltu aikataulu ei ole enää paikkaansapitävä ja projektin aikataulu voi myöhästyä.

Toteutettavien putkikaivantojen pituudet vaihtelevat hankkeittain ja joissain hankkeissa toteutettavat putkikaivannot voivat olla hyvinkin pitkiä, mikä voi johtaa tilanteeseen, jossa maaperän olosuhteissa ja laadussa tapahtuu kaivannon pituudella useita muutoksia (RIL 263-2014, 27). Muutokset voivat aiheuttaa tarvetta moniin erilaisiin ratkaisuihin putkikaivannon eri osissa sen toteuttamiseksi turvallisesti ja kannattavasti kaivannon tukemisen sekä vesienhallinnan osalta. Näiden runsaiden muutoksien takia voi kustannuslaskennassa olla haastavaa arvioida hintaa kaivannon toteuttamiselle kokonaisuudessaan. Maaperästä voi paljastua myös odottamattomia yllätyksiä, kuten johtoja ja kaapeleita tai kalliota, jota ei ole pystytty kartoittamaan, jotka voivat huomattavasti vaikeuttaa ja hidastaa kaivannon toteuttamista.

Yleisesti kaivannon suurimmat riskit piilevät työturvallisuusriskeissä, jotka liittyvät kaivantojen ja erityisesti kapeiden jyrkkäluiskaisten putkikaivantojen sortumisesta aiheutuviin tapaturmiin tai läheltä piti-tilanteisiin (RIL 263-2014, 141). Suunnitelmissa esitetyt kaivantojen tuennat voivat olla maaperän todellisten olosuhteiden paljastuessa todellisuudessa riittämättömiä ja niihin

voidaan tarvita lisätuentaa työturvallisuuden varmistamiseksi, mikä aiheuttaa lisää kustannuksia työvaiheessa.

Kaivantoja toteuttaessa on otettava huomioon vuodenajan ja sääolosuhteiden aiheuttamat riskit, kuten hienorakeinen routaantunut maa, joka on työläs kaivaa, koska routa täytyy hajottaa ennen kaivamista. Toisaalta routaantunut maa toimii hyvänä kantavana alustana kaivantoa tekeville koneille pehmeiköllä.

(Rantamäki & Tamminen 2002, 106–107.) Sateiset ajanjaksot tai sulavat lumet sekä routa lisäävät kuivatuksen tarvetta kaivannossa ja aiheuttavat sortumia luiskatuissa kaivannoissa, jos niihin ei ole varauduttu ja kohdistettu tarvittavia toimenpiteitä.

#### 4.4 Maaperä

Maaperän olosuhteet määräävät suurimman osan aikataulusta ja kustannuksista, jota maahan asennettavien putkien toteuttamiseen kuluu. Maaperän olosuhteet luovat riskin maanrakennuksessa. Riskit, joita sisältyy juuri kyseisen kohteen maaperään, on pystyttävä arvioimaan mahdollisimman tarkalla tasolla, jotta pystytään valitsemaan toteutustavat ja aikataulu olosuhteisiin sopivaksi.

Etenkin pehmeät maaperät aiheuttavat paljon riskejä putkilinjan rakentamisessa. Työkoneiden käyttö pehmeillä maaperillä voi olla haastavaa ja vaatia erillisiä järjestelyjä. Kaivinkoneiden ja kuorma-autojen liikkuminen pehmeiköillä voi aiheuttaa ongelmia, jos maaperä ei kanna tarpeeksi työkoneen kannatteleiseksi. Maaperä voi olla vielä kantava, mutta esimerkiksi runsaiden sateiden aikana maaperä vetelöityy ja liikkuminen koneilla tulee mahdottomaksi. Tilannetta voidaan parantaa tekemällä työmaan aikainen tie, joka taas tuo lisää kustannuksia. Toisaalta kivisissä maaperissä kaivaminen on huomattavasti hitaampaa sekä jos on käytettävä kaivamattomia menetelmiä, voi niiden käyttö olla haastavaa kivisissä maaperissä. Kiviseen maaperään esimerkiksi myös teräsputkien tai pumppausputkien asentaminen voi olla haastavaa, koska kivet voivat estää niiden uppoamisen tarvittavaan syvyyteen.

Maaperätutkimuksia tehdään, jotta pystyttäisiin etukäteen selvittämään maaperän olosuhteet ja tunnistettaisiin mahdolliset riskit, joita maaperän muokkaaminen ja käsittely tulee sisältämään työvaiheen aikana. Maaperän todelliset olosuhteet ja tila pystytään todellisuudessa näkemään vasta sen jälkeen, kun kaivannon toteuttaminen kohteessa on aloitettu ja tästä syystä maaperän olosuhteita tulee tarkkailla koko rakennusprojektin ajan, jotta kaikenlaiset riskiä aiheuttavat muutokset havaitaan ennen riskin mahdollista toteutumista. Jos maaperätutkimukset ovat vähäisiä, voi yllätyksien sattuessa työvaiheessa joutua suunnitelmia muuttamaan runsaasti sekä mahdollisesti vaihtamaan toteutustapaa ja kalustoa, esimerkiksi kallionlouhintaan tarvittavaa kalustoa tilanteissa, joissa linjatulta reitiltä paljastuu työvaiheessa rakentamista haittaava kallion kärki. Jos kalliosta ei ole ollut mitään tietoa ennen työvaiheen aloitusta, vaikuttaa se suunniteltuun aikatauluun ja kustannuksiin, kun on tehtävä toimenpiteitä esteen poistamiseksi.

#### 4.5 Pilaantunut maaperä

Maanrakennustöiden aikana maaperästä paljastuva mahdollinen pilaantunut maaperä voi viivästyttää suunniteltua aikataulua huomattavasti ja lisätä projektin kustannuksia. Epäiltäessä työvaiheen aikana maaperästä paljastuneen maa-aineksen olevan pilaantunutta maaperää on siitä otettava näytteitä ja tutkittava, onko maaperä pilaantunutta. Maaperän ollessa pilaantunutta, tulee se poistaa ja kuljettaa pilaantuneen maaperän vastaanotto paikalle. Pilaantuneen maaperän poistaminen ja läjityspaikalle siirtäminen vaatii runsaasti aikaa sekä aiheuttaa lisää kustannuksia. Kaikki pilaantunut maaperä on määräysten mukaan poistettava ja se voi aiheuttaa projektin aikatauluun suuria viivästyksiä sekä lisätyötä, riippuen esiintymän koosta. Pilaantuneen maaperän poistamisen jälkeen on kaivuualue täytettävä sopivalla materiaalilla.

Pilaantuneen maaperän riskiä on joissain tapauksissa vaikeaa tai jopa mahdotonta tunnistaa, koska yleensä se paljastuu vasta kaivuutyön ollessa

käynnissä. Pilaantuneen maaperän vaikutus hankkeeseen on kuitenkin suuren syödessä ison palan aikataulusta riippuen esiintymän koosta.

Pilaantuneen maaperän riskin suuruutta voidaan tarjouslaskentavaiheessa arvioida selvittämällä rakennettavan alueen historiaa, jolloin selvitetään, millaista toimintaa rakennettavalla alueella on sijainnut, sekä maaperätutkimuksien perusteella. Nämä toimenpiteet eivät kuitenkaan aina poista riskin olemassaoloa.

#### 4.6 Vanha maanalainen tekniikka

Hankkeen sujuvuuden kannalta on olennaista, että rakennusalueella sijaitsevat putket ja kaapelit kartoitetaan ennen urakan alkamista. Jos uuden putkilinjan alueella sijaitsee kyseisiä rakenteita, on suunniteltava valmiiksi, mitä rakenteille tehdään (RIL 263-2014, 43). Kun kaapelit ja johdot on kartoitettu jo ennen suunnitteluvaihetta, osataan ne ottaa huomioon laadittavissa suunnitelmissa, jolloin ne eivät aiheuta haittaa rakentamiselle ja kustannuslaskenta voidaan suorittaa paremmalla tarkkuudella ja pienemmällä riskillä. Tarjouspyynnössä voi olla esitetty, että siirrot ovat urakoitsijan vastuulla, jolloin riskivaruksen arviointi on erittäin epäselvää, jos ei ole tarkkaa tietoa, kuinka paljon alueella maanalaista tekniikkaa sijaitsee ja kuinka suurilta osin ne haittaavat työn toteuttamista.

Jos vanhoista putkista ja johdoista ei ole tarkkoja sijaintitietoja, aiheutuu niistä suuri riski putkikaivantojen toteutuksen aikana. Joissain kohteissa putkistot ovat niin vanhoja, ettei niistä välttämättä ole kuin arveltuja sijainteja. Koska vanhoista putkista ja johdoista ei ole sijaintitietoja, joudutaan kaivuutyö suorittamaan erityisellä varovaisuudella, jolloin kaivuutyön suorittaminen hidastuu huomattavasti verrattuna kohteisiin, joissa maassa sijaitsevasta tekniikasta on pystytty osoittamaan tarkat sijainnit. Etenkin maaperässä sijaitsevat vanhat paineelliset johdot aiheuttavat työturvariskin, koska niiden paljastuessa maaperästä esiin kaivuutyön aikana, voivat putkien liitokset pettää, jos putkien

tuennat ovat riittämättömiä ja putkia tukevat täytekerrokset kaivetaan niiden päältä pois, jolloin putki pääsee liikkumaan vapaasti ja liitokset voivat pettää.

Vanhan tekniikan sijaintitietojen ollessa puutteellisia tai virheellisiä vaikuttavat ne suunnittelijan tekemiin suunnitelmiin aiheuttaen niissä virheitä. Virheet voivat olla kriittisiä uuden putkilinjan suunnitellun linjauksen kannalta. Puutteellisista sijaintitiedoista voi aiheutua korkovirheitä ja vääränlaisia linjauksia, jolloin uutta linjaa ei voida rakentaa vanhan tekniikan kanssa törmäyksistä johtuen. Tästä syystä vanhoja putkia ja johtoja joudutaan joko siirtämään tai uusien putkien linjauksista on muutettava työvaiheen suorittamisen aikana teknisissä asiakirjoissa esitetystä suunnitelmista lisä- ja muutostyönä. Vanhojen putkien siirrolle on hankalaa laskea kustannuksia tarjouslaskennan aikana, jos määrää siirtoa tarvitseville putkille ja johdoille ei ole tiedossa johtuen epävarmuudesta niiden sijainneissa.

Mahdollisimman laajat kartoitukset kohteessa sijaitsevalle vanhalle maanalaiselle tekniikalle on ensiarvoisen tärkeää jo ennen projektin suunnitteluvaihetta, jotta vältetään turhilta viivästyksiltä, kustannusten nousulta sekä varmistetaan työturvallisuus esimerkiksi tilanteissa, joissa on mahdollista osua jännitteiseen kaapeliin.

#### 4.7 Kuivatus ja pohjavedenhallinta

Pohjaveden alentamisella voi olla negatiivisia vaikutuksia ympäröivään alueeseen sekä alueella sijaitseviin rakenteisiin. Etenkin hienorakeisilla maaperillä toteutettavan pohjaveden alentaminen aiheuttaa ympäristössä ja siellä sijaitsevien rakenteiden painumista. (RIL 263-2014, 37). Pohjaveden alennus voi siis aiheuttaa huomattavia riskejä ympäristölle sekä hankkeen kustannuksille. On riski olla reagoimatta aikaisessa vaiheessa pohjaveden aiheuttamiin ilmiöihin. Joissain tapauksissa pohjaveden alentamisen tarve saattaa tulla yllätyksenä kesken työvaiheen, joka vaikuttaa hankkeen kustannuksiin huomattavasti, jos toimenpiteitä ei ole suunniteltu etukäteen. Lisäksi pohjaveden alentamiseen on haettava lupaa ja hakuprosessi on

huomattavan hidas prosessi. Pohjaveden alentaminen vaatii myös tarkkaa suunnittelua, jotta valitaan oikeanlainen toteutustapa ja menetelmä juuri kyseiseen kohteeseen ja olosuhteisiin. Pohjaveden alentamisen riski on siis otettava huomioon tarjouslaskennan aikana, jotta sen kustannuksiin pystytään varautumaan eikä rakennusvaiheessa syntyisi yllätysluontoisia kustannuksia.

Tarjouslaskennan aikana on pystyttävä arvioimaan pohjaveden aiheuttama mahdollinen riski, jos maaperätutkimukset eivät ole laadukkaita ja paikkaansapitäviä. On pystyttävä mitoittamaan tarvittavat kuivatusmenetelmät maan vedenläpäisevyyden, vuodenajan, pohjaveden tason ja kaivannon koon mukaan juuri kyseiseen kohteeseen. Jos kuivatusta ei toteuteta oikeaoppisesti ja vedet päästetään virtaamaan kaivannon pohjalle, voi se aiheuttaa huomattavia kustannuksia ja hidastaa työntekoa. Työskentely kuivassa kaivannossa on tehokkaampaa ja se tuo huomattavasti lisää työturvallisuutta ja helpottaa kaivamista sekä maamassojen käsittelyä. (Rantamäki & Tamminen 2002, 143.) Jotta taataan projektin onnistuminen ja halutaan välttyä yllätyksellisiltä kustannuksilta edellyttää pohjaveden alentaminen suunnittelua ja valmistautumista.

#### 4.8 Vuodenaika ja sääolosuhteet

Yleisesti maanrakennuksessa huonolla säällä on negatiivinen vaikutus rakentamisen tehokkuuteen. Huonot sääolosuhteet tuovat lisäkustannuksia johtuen rakentamisen ohella tarvittavista aputöistä ja aikataulullisesta häviöstä tehokkuuden laskiessa. Sään vaikutus maan alla tapahtuvaan työhön on havaittavissa etenkin maaperissä, jotka ovat silttiä ja silttimoreenia. Sateet ja sulaminen muuttaa maaperän veteläksi, jolloin työskentely hankaloituu huomattavasti. (Rantamäki & Tamminen 2002, 105.) Sateet ja sulava routa tai lumi lisäävät työturvallisuusriskejä kaivannoissa työskentelyyn eroosioriskin lisääntyessä. Runsaat sateet ja lumien tai roudan sulaminen lisää kuivanapidon tarvetta kaivannossa, jolloin luonnollisesti kuivatuksesta huolehtimiseen kuluu enemmän aikaa ja syntyy lisää kustannuksia.

Jos rakentaminen ajoittuu talvelle, jolloin maa on jäässä, on kaivaminen huomattavasti hitaampaa. Myös putkilinjan asentaminen on huomattavasti hitaampaa ja työläämpää, koska putkea ei voida asentaa jäätyneelle pohjalle, jolloin maaperää joudutaan sulattamaan ennen asentamista. Talvella työtä hidastavana tekijänä tulee ottaa huomioon myös lumisateet. Lumisateet aiheuttavat lisätyötä lumitöiden muodossa, jos esimerkiksi yön aikana työmaalla auki olevaan kaivantoon on satanut huomattava lumikerros, joka on poistettava kaivannosta ennen töiden jatkamista.

Huonot sääolosuhteet lisäävät siis rakentamista haittaavia haasteita, jolloin kustannukset ja rakentamiseen kuluva aika lisääntyvät jopa huomattavia määriä riippuen maaperän reagoinnista sääolosuhteisiin. Etenkin talvi ja pakkasen vaikutukset hidastavat ja nostavat rakentamisen kustannuksia tietynlaisissa maaperissä.

Huonoista sääolosuhteista voi esimerkiksi aiheutua työturvallisuusriskejä, joita voi putkilinjaa rakentaessa olla esimerkiksi liukastumiset tai kaivantoon putoamiset. Huonolla näkyvyydellä työturvallisuusriskin luo myös kaivurin läheisyydessä toimiminen, jolloin kaivinkonekuskilla voi olla vaikeuksia havainnoida ympärillä liikkuvia työntekijöitä.

#### 4.9 Työvirheet

Työvaiheen suorittamisen aikana on mahdollisuus työvirheisiin. Työvirheet, joita työn suorittamisen aikana on riskinä tapahtua, voivat johtua huolimattomuudesta, uudentlaisista tekniikoista tai rakennusratkaisuista sekä hankkeelle asetetun tiukan aikataulun aiheuttamasta kiireestä.

Tyypillisiä työvirheitä, joita maahan asennettavien putkien rakentamisen aikana voi tapahtua, ovat liitoksien huolimaton toteutus, jolloin liitoksista ei tule kestäviä ja tiiviitä, muiden linjaan asennettavien varusteiden toimivuus ja tiiveys, riittämättömät kaivannon tuennat sekä putkien vaurioituminen työvaiheessa, säilönnässä, kuljetuksessa tai työvaiheessa. Tästä syystä putkien vastaanottotarkastus on tehtävä ja putkien saapumista työmaalle valvottava,

jotta putket eivät ole vaurioituneita eivätkä vaurioitu vastaanotossa sekä putkien varastointi toteutetaan oikeaoppisesti valmistajan ohjeiden mukaisesti. Työvirheiden mahdollisuuksia liitoksissa ja putkien asentamisessa pyritään pienentämään suorittamalla putkijohdolle määräysten mukainen tiiveyskoe. Paineputkissa tiiveyskoe on SFS 3115 -standardin mukaan suoritettava. (RIL 77-2013, 41.)

Esimerkiksi liitoksia toteutettaessa, jos kaikkia liitoksen tekemiseen liittyviä työvaiheita ei suoriteta huolellisesti johtuen välinpitämättömyydestä tai kiireestä, voivat liitokset olla huonoja. Tällöin toteutettu liitos ei ole välttämättä tiivis ja se aiheuttaa lisää työtä ja aikataulullisia menetyksiä painekokeen suorittamisen jälkeen, kun etsitään syytä vuodolle sekä tehdään tarvittavat toimenpiteet vuodon poistamiseksi.

Kiireisestä aikataulusta, joka on aiheutunut esimerkiksi toteuttamiskelvottomien suunnitelmien aiheuttamasta viivästyksestä, voi aiheutua riski kiireen aiheuttamiin työvirheisiin. Rakentamisen laatu kärsii aina kiireisestä aikataulusta, joka aiheuttaa sen, että työvaiheisiin ei ole mahdollisuutta panostaa tarvittavalla tasolla tai kiire laskee työntekijöiden motivaatiota. Kiire vaikuttaa suoranaisesti myös työturvallisuuteen, joka on tärkein huomioon otettava seikka rakentamisessa.

Työvaiheessa on tärkeää ennaltaehkäistä sekä varmistaa erilaisin tavoin työvaiheiden oikeaoppinen suoritus huolellisesti, jotta työvirheitä ei pääsisi tapahtumaan. Työvirheitä voidaan ehkäistä hyvällä työvaiheiden etukäteen suunnittelulla, valvonnalla sekä koulutuksella.

## 5 Case-esimerkki

Esimerkkikohteena käsitellään Skanska Infra Oy:n toteuttamaa laitosrakentamisen hanketta ja siihen liittyneitä riskejä, joita kyseisessä projektissa esiintyi maahan asennettavien putkien toteutuksen yhteydessä. Tiedot kohteesta on pidettävä salassa kohteen ollessa osa kriittistä infrastruktuuria. Kohteessa maahan asennettiin paineellisia putkia venttiileineen. Urakka toteutettiin kokonaishintaurakkana.

Kohteessa maaperän olosuhteet oli määritetty kairausten perusteella. Maaperässä alimmaisena sijaisi vähintään 5 m paksu moreenikerros, jonka päällä 7–9 m paksuinen savikerros. Savikerroksen päällä oli 3–4 m paksuinen kuivakuorikerros. Paikoitellen kuivakuorikerroksen päällä oli 0.5 m:n paksuinen täyttökerros. Pohjaveden pinnan oli havainnoitu olevan 3–4 m syvyydessä maanpinnasta, jolloin se ei koitunut ongelmaksi matalia kaivantoja toteuttaessa eikä sitä ollut tarvetta alentaa. Alentaminen olisi tapahtunut kaivannon pohjalta pumppaamalla perustustapalausunnon mukaan. Alueen pohjavettä oli suojeltava kaikin mahdollisin tavoin, minkä takia vaadittiin erityistä tarkkuutta haitallisten aineiden kanssa, koska ne voisivat imeytyä maaperään vahingoittaen pohjavettä. Kaivantojen kuivatus toteutettiin tarvittaessa suunnitelman mukaisesti uppopumpuilla kaivannon pohjalta sinne tehdyistä pumppauskuopista. Kaivumaita, jotka eivät sopineet kaivannon täyttörakenteisiin, pystyttiin käyttämään maisemointiin.

Tarjouskilpailuun jätetty tarjous tuli perustua urakoitsijan itse suorittamiin määrälaskelmiin eikä tarjouspyynnössä toimitettu erikseen rakennuttajan suorittamaa määrälaskentaa. Lähtötiedoissa oli selvillä, että maaperässä on vanhoja paineellisia putkia, mutta niiden tarkat sijainnit ja korkotasot eivät olleet selvillä, koska rakennus, johon putket liittyivät, oli vanha. Vanhasta rakennuksesta oli suunnitelmia saatavilla, mutta todennäköisesti rakennusvaiheessa suunnitelmiin oli tehty muutoksia eikä näitä kyseisiä poikkeamia alkuperäisistä suunnitelmista ollut dokumentoitu, jolloin todellisuus maanpinnan alla ei ilmennyt suunnitelmista. Koska rakennus oli toiminnassa,

eikä sen toimintaa voitu lopettaa, oli johdot pidettävä toiminnassa ja paineellisena rakentamisen ajan ja varottava erityisesti niiden vaurioitumista. Tarjouspyyntövaiheessa pystyttiin siis pitämään vanhoja johtoja riskinä ja hidastavana tekijänä urakan aikana.

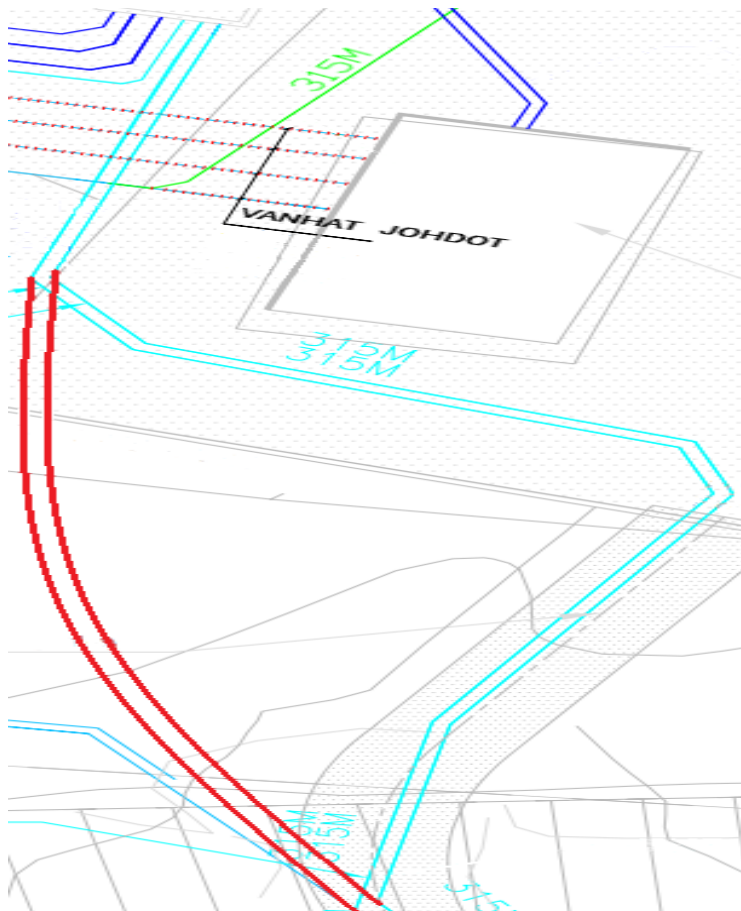
Perustamistapalausunnon mukaan putkijohdot perustettiin 150 mm paksulla asennusalustalla ja sekoittamisen estämiseksi alle asennettiin N3-suodatinkangas. Kaivanto oli suunniteltu toteutettavaksi luiskattuna 1:1 luiskilla tai loivempuna. Kaivannosta yksi osuus oli suunniteltu tuettavaksi tuentaelementeillä, mutta linjauksen suunnitelmat työvaiheen aikana muuttuivat niin, että tämäkin osuus pystyttiin toteuttamaan luiskattuna.

Kaikki kohteessa asennettavat yli Ø90 mm halkaisijaltaan olevat alueputket olivat kestumuoviputkia, materiaaliltaan PE 100-RC. Putkien liitännät toteutettiin vetoa kestävillä liitännätavoilla, joita olivat sähköhitsausmuhvit sekä laippaliitokset. Putkia ei ollut työselostuksen mukaan tarpeellista tukea, koska liitoksissa käytettiin vetoa kestäviä sähköhitsausmuhveja, joka tarkastettiin muhvien valmistajalta.

Vanhat paineputket aiheuttivat riskin, joka oli tunnistettavissa selvästi tarjouslaskennan aikana. Tarjouspyynnön teknisissä asiakirjoissa esitettiin, että vanhat putket eivät ole tarkemitattuja sekä mahdolliset putkien ja johtojen siirrot ovat urakoitsijan vastuulla, jolloin tällaiselle työsuoritteelle on hankala laskea tarkkoja kustannuksia, kun paljastuvista ongelmista aiheutuva työmäärä, on vain arvuuteltavissa. Rakennusvaiheessa alueputkien suunnitelmat osoittautuivat osittain toteuttamiskelvottomiksi ja niihin jouduttiin tekemään useita muutoksia. Työvaiheen aikana selvisi, että vanhat putket kulkevat juuri sellaisessa korossa ja sellaisilla sijainneilla, että ne tekivät suunnitelmien toteuttamisen mahdottomaksi sekä niitä ei ollut tuettu tarpeellisella tavalla. Tästä syystä linjauksiin jouduttiin tekemään runsaita muutoksia lisä- ja muutostyönä.

Halkaisijaltaan suurimpien putkien linjauksesta pystyttiin valvojan ja suunnittelijan suostumuksella muuttamaan linjausta niin, että yksi turha jyrkkä

mutka pystyttiin jättämään pois linjauksesta, jolloin käytettiin järkevämpää reittiä ilman turhaa mutkaa, joka oli helpompi toteuttaa. Tämä mutka olisi aiheuttanut turhaa rasitusta liitoksille. Linjauksen korjattu reitti on nähtävissä kuvassa 10. piirrettynä suuntaa antavasti.

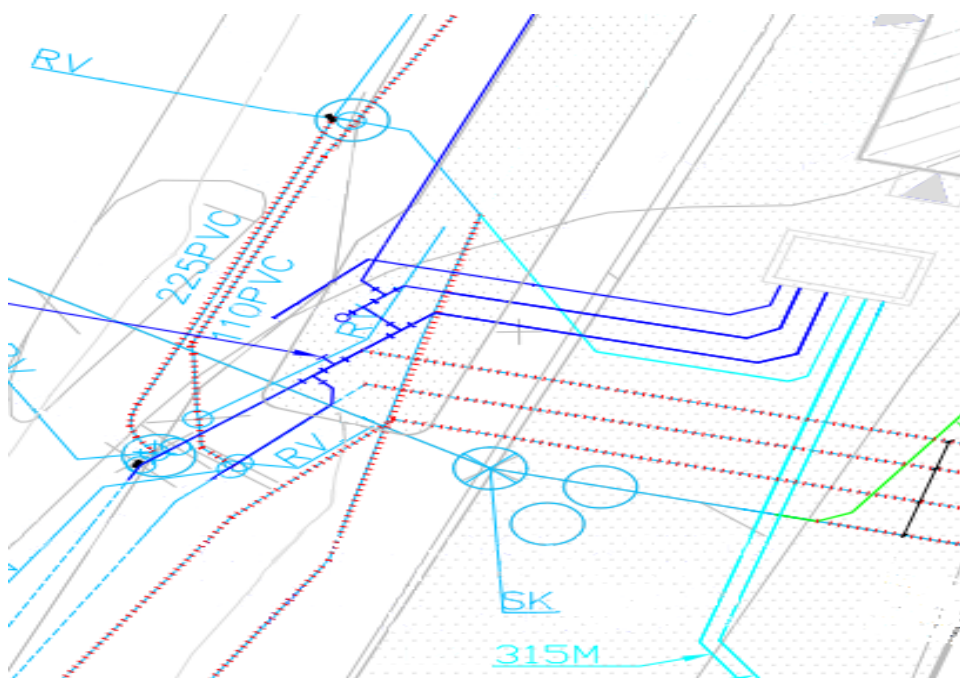


Kuva 10. Korvaavan reitin linjaus suuntaa antavasti.

Rakennusvaiheen aikana vanhojen alueella sijaitsevien putkien aiheuttama riski suunnitelmien muuttumiseen toteutui ja niiden kanssa törmättiin ongelmiin pitkin rakennusvaihetta. Suunnitelmien mukaan asennettavien putkien tuli alittaa maassa sijaitsevat vanhat putket, mutta todellisuudessa työvaiheen aikana huomattiin, että ne törmäsivät. Törmäyskohta on havaittavissa kuvassa 10. Tästä syystä PEH-linja jouduttiin nostamaan kulkemaan vanhojen putkien yli ja laskeutumaan takaisin suunniteltuun korkeuteen vanhojen putkien ohittamisen jälkeen. Heti kun tilanne oli havaittu, valvojaan ja rakennuttajaan oltiin yhteydessä ja ehdotettiin putkien ylittämistä, minkä jälkeen odoteltiin

suunnittelijan suostumusta muutokseen. Kohdassa, jossa uudet putket ylittivät vanhat putket, painekokeen aikana korkeimpaan kohtaan syntyi ilmatasku, joka puristui kasaan painekoetta suorittaessa ja vaikutti painekokeen tuloksiin aiheuttaen hieman hämmennystä.

Työalueen toisessa ongelmakohtassa, johon oli asennettava suunnitelmien mukaiset venttiilit ja johdot, sijaisi vanhoja paineellisia johtoja. Ongelma-alue on näkyvissä kuvissa 11. ja 12.

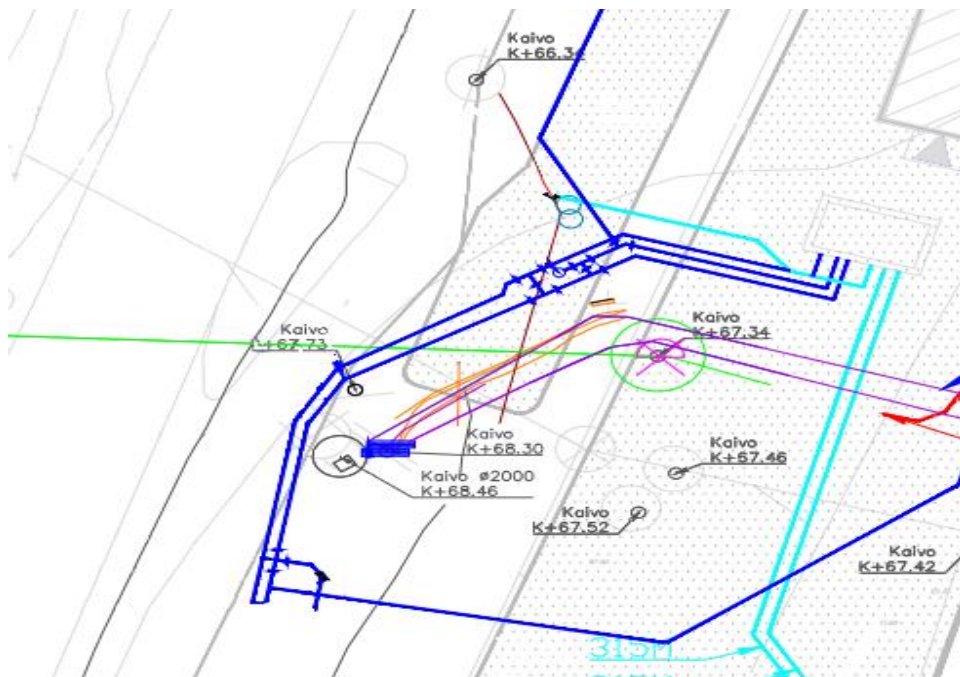


Kuva 11. Asennettavien johtojen alkuperäinen suunnitelma vanhojen johtojen arvioiduilla sijainneilla. Vanhat johdot merkitty punaisiin pistein.

Putket olivat materiaaliltaan PVC-putkia ja olivat kokoaikaisesti käytössä. Kaivamisen aikana putkien paljastuessa maaperästä havaittiin, ettei liitoksia ole varmistettu muhvilukoilla, jolloin oli työturvallisuusriski sekä riski putkien toiminnan kannalta toimia niiden läheisyydessä, kun täyterrokset oli poistettu paine putkien päältä tukemasta liitoksia. Tästä syystä putkien omistaja teki selvityksen putkien sijainnista ja koroista. Joitain viettoputkia jouduttiin selvittämään myös kuvaamalla, koska selvyttä niiden sijainnista ei ollut eikä alueella ollut mahdollista kaivaa pidemmälle johtuen alueella sijaitsevista rakenteista. Kun vanhojen johtojen sijainnit oli saatu tarkemitattua, jouduttiin

alueen uusien johtojen linjaukset suunnittelemaan uudelleen. Linjauksien uudelleen suunnittelu osoittautui suunnittelijan puolelta hitaaksi ja suunnitelmia jouduttiin odottamaan pitkään. Alueelle oli haastavaa saada mahdutettua uutta tekniikkaa järkevästi ottaen huomioon kaikki alueella sijaitsevat esteet. Oli suunniteltava kiertoreitti uusille johdoille ja kiertoreitillä oli vastassa tien läheisyydessä sijaitsevat kaapelit sekä itse tie. Kaapeleihin tarvittiin kaapelinäyttö niiden omistajilta. Uusien suunnitelmien saaminen oli hidasta ja tästä syystä aikataulu maahan asennettavien putkien osalta kärsi huomattavasti odottelusta.

Muutamista suunnitelmien muutoksista ja uusien suunnitelmien odottelusta johtuen aikataulu putkilinjojen rakentamiseen pitkittyi ja sääolosuhteet ehtivät mennä huonommiksi vuodenajasta johtuen, haitaten hieman kaivamis- ja asentamistyötä. Suunnitelmien odotteluun kului aikaa, mistä aiheutui haittaa hankkeen aikataululle. Lisääntyneen työn ja materiaalikustannusten takia maahan asennettavien putkien litteran kustannukset ylittyivät noin 50 % kustannuslaskennassa lasketusta, kun lasketaan mukaan suunnitelmien muutoksista johtuneet lisä- ja muutostyöt.



Kuva 12. Johtojen linjaukset vanhojen putkien tarkemittausten jälkeen. Uudet johdot sinisellä ja turkoosilla värillä.

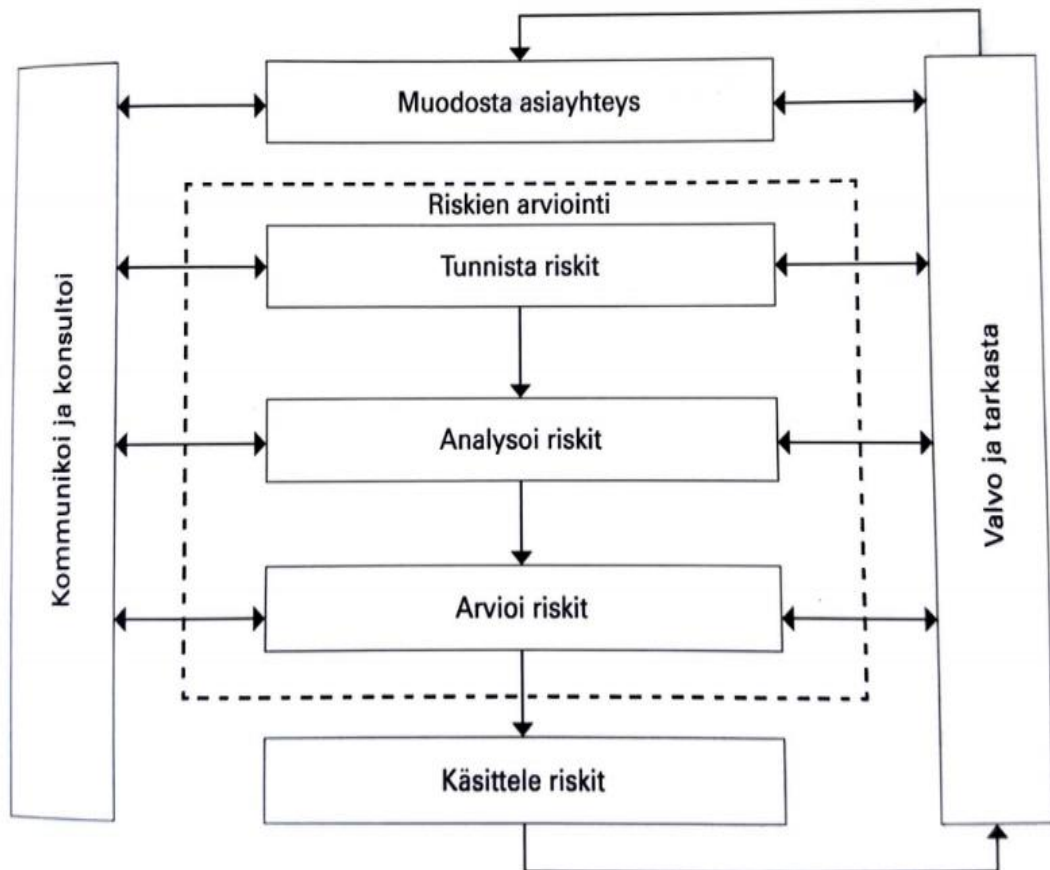
## 6 Riskienhallinta

Riskienhallinta aloitetaan heti tarjouspyyntövaiheen alussa riskien tunnistamisella ja luokittelulla, jotta kustannusarvio pystyttäisiin toteuttamaan mahdollisimman tarkalla tasolla huomioiden jokainen mahdollinen muuttuja projektissa. Luokittelun aikana arvioidaan riskin vaikuttavuutta projektin toteutukseen ja sen todennäköisyyttä tapahtumiseen projektin aikana. Kun kaikki mahdolliset riskit on tunnistettu ja luokiteltu, voidaan miettiä toimenpiteitä, joita riskeille on tehtävissä sekä miten ne saadaan joko torjuttua tai niiden vaikuttavuutta projektiin vähennettyä. Näiden vaiheiden jälkeen mietitään, onko riskin kanssa kannattava toimia. Työvaiheen aikana riskien toteutumista seurataan ja havainnoidaan, jotta suunnitellut toimenpiteet voidaan kohdistaa, elleivät toimenpiteet ole olleet ennakoivia, jotka on toteutettu ennen riskin toteutumisen havaitsemista.

Riskienhallintaan tarjouslaskennan ja projektien aikana pyritään koko ajan kehittämään uusia parempia tekniikoita ja viilaamaan vanhoja tekniikoita paremmiksi, jotta riskejä pystyttäisiin tunnistamaan, arvioimaan ja hallitsemaan paremmalla tasolla. Riskienhallinta on avain projektien toimivuuteen ja kannattavuuteen ja oikeanlaisella riskienhallinnalla pystytään tekemään enemmän tulosta projekteissa. Toteutuneita riskejä voidaan käyttää oppimiseen ja niistä luodaan dataa, jota voidaan hyödyntää seuraavien projektien riskienhallinnassa.

Riskienhallinta tarjouslaskennan aikana yleisesti perustuu laskennan suorittavien henkilöiden vankkaan kokemukseen samantapaisista projekteista sekä työmenetelmistä ja konsultointiin muilta alan ammattilaisilta. Kuvassa 13 osoitetaan, kuinka normaali riskienhallintaprosessi yleisesti toimii rakennusprojektien kustannuslaskennassa sekä työvaiheen aikana. Yleisimmät menetelmät riskien tunnistamiseen ovat erilaiset riskipalaverit ja tarkastuslistat. Tarkastuslistoissa projektin luonteiden mukaan on listattu yleisimmät riskejä aiheuttavat tekijät. Näitä tekijöitä analysoidaan ja luokitellaan tarkastuslistan mukaisesti vakavuuden ja toteutumisen todennäköisyyden mukaan.

Tarjouspyyntövaiheessa kustannuslaskennan aikaisissa riskipalaverissa keskitytään analysoimaan projektin mahdollisia riskejä ja niiden vaikutuksia sekä luokitellaan riskit vaikuttavuutensa mukaan. Lisäksi käytössä voi olla riskipankki, johon on kerätty jo toteutuneiden projektien riskeistä dataa. Jos olosuhteet ja projektin luonne ovat vastaavat, voidaan niitä hyödyntää tulevissa urakoissa riskin analysoimiseen. Riskit luokitellaan vaikuttavuutensa mukaan ja luokitteluun voidaan käyttää apuna erilaisia riskimatriiseja. Riskimatriisin avulla riskit luokitellaan tunnistetun riskin tapahtumisen todennäköisyyden sekä sen arvioitujen vaikutuksien mukaan.



Kuva 13. Kuvaus normaalista riskienhallinta prosessista (Immonen ym. 2013, 29).

## 6.1 Tekoälyn hyödyntäminen riskienhallinnassa

Tekoälyn ollessa suuresti pinnalla ja suuressa kehitysvaiheessa, voidaan tekoälyä myös hyödyntää projektien riskienhallinnan toteuttamisessa.

Rakennusalalla tekoälyn käyttö riskienhallinnassa ei ole vielä yleistä. Tekoäly tulee yleistymään yleisesti projektienhallinnassa, koska tekoäly on tehokas tapa analysoida ja luoda erilaisia mahdollisia skenaarioita, joiden avulla voidaan luoda ennustuksia todennäköisyyksistä ja seurauksista. Tekoälyä voidaan rakennushankkeiden riskienhallinnassa käyttää apuna nykyisten riskienhallintamenetelmien ohella.

Tekoälyn etuna on sen nopeus riskien tunnistamisessa, analysoinnissa sekä riskienhallintakeinojen luonnissa. Kuitenkin kokeneella asiantuntijalla on tekoälyä enemmän kokemusta ja tietoa, johon tekoälyllä ei ole mahdollisuutta päästä käsiksi. (Peltokorpi & Nyqvist 2024, 17.) Tekoäly mahdollistaa olemassa olevan datan nopean ja tarkan käsittelyn sekä analysoinnin, jonka avulla se pystyy tunnistamaan ”trendejä” ja malleja sille annetusta datasta, jolloin se pystyy tunnistamaan riskejä ja ehdottamaan toimintatapoja riskienhallintaan. Tämä data, jota tekoälylle voidaan syöttää, on juurikin esimerkiksi riskipankissa oleva tieto toteutuneiden projektien riskeistä sekä kustannusarvioitavan projektin olosuhteet. Lisäksi tekoälyllä on mahdollista työvaiheessa analysoida käynnissä olevan projektin dataa, jolla voidaan ennakoivasti varautua riskeihin ja niiden torjuntaan.

Tekoäly ei siis tule vielä korvaamaan alan ammattilaisten vuosien kokemusta ja osaamista, mutta se voi olla hyvä työväline parantamaan riskienhallinnan prosessin tarkkuutta ja nopeutta sekä luomaan uutta näkökulmaa riskienhallintaan. Tekoälyllä on mahdollista pienentää tarjouslaskentaprosessin aikaista työmäärää ja parantaa prosessin tarkkuutta sekä ulottuvuutta.

## 6.2 Yhteenveto

Projektit, jotka pitävät sisällään maahan asennettavia putkia, voivat sisältää riskejä, joita voi olla haastava tunnistaa sekä arvioida tarjouslaskennan aikana riskien vaikutuksia kustannuksiin ja aikatauluun. Usein riskit voivat olla luonteeltaan sellaisia, että ne paljastuvat toteutuessaan äkillisesti työvaiheen aikana, sillä olosuhteet maanpinnan alapuolella ovat vaikeasti ennustettavissa etenkin, jos lähtötiedot ovat puutteellisia.

Huonot suunnitelmat ja lähtötiedot aiheuttavat tarjouslaskennan aikana huomattavimmat riskit ja vaikeuttavat laskennan toteuttamista sekä aiheuttavat työvaiheessa lisäkustannuksia sekä viivästyksiä aikatauluun. Huonojen sekä epäselvien suunnitelmien taustalla ovat yleensä juurikin kyseiset suunnittelussa käytetyt puutteelliset tai epätarkat lähtötiedot, jotka tulevat vaikuttamaan huomattavasti kustannuksiin sekä aikatauluun projektin toteuttamisen aikana. Tarjouslaskentavaiheessa on kuitenkin vaikeaa todeta toteutuskelvottomia suunnitelmia tai kuinka luotettavalla tasolla lähtötiedot ovat, jolloin riskivaruksen suuruuden arviointi voidaan toteuttaa vain kokemuksen ja harkinnan pohjalta. Kaivantojen ja maaperässä vallitsevien olosuhteiden luomia riskejä voidaan ehkäistä paremmalla suunnittelulla sekä paremmilla etukäteen suoritetuilla tutkimuksilla, jotka parantavat lähtötietojen tasoa.

Maaperän olosuhteet määräävät suurimman osan kustannuksista putkilinjaa rakennettaessa. Olosuhteet vaikuttavat jokaisen työvaiheen toteuttamisratkaisuihin ja työn tehokkuuteen. Piilevistä epäsuotuisista olosuhteista johtuen voi rakennustyö vaatia huomattavasti enemmän työtä kaivantojen tuennan, pohjaveden alentamisen tai esimerkiksi putkilinjan perustamisen muodossa. Maaperän olosuhteisiin voi aina sisältyä riskejä, jotka voivat yllättää työvaiheen aikana.

Putkilinjojen rakentamiseen vaikuttavat myös monet ulkoiset tekijät, joita ei voida etukäteen ennustaa, kuten sääolosuhteet tai kustannusten nousu, ja ne vaikuttavat työn toteuttamiseen huomattavasti nostaen kustannuksia ja hidastaen työn suorittamisen tehokkuutta. Tarjouslaskentavaiheen aikana on

mahdotonta ennustaa sääolosuhteiden aiheuttaman riskin toteutumista jopa mahdollisesti muutaman vuoden päähän, kun projektin työvaihe aloitetaan.

Tarkasti toteutetulla riskienhallinnalla tarjouslaskennan aikana sekä työvaiheessa on suuri vaikutus projekteihin niin kustannuksellisesti kuin aikataulullisesti. Riskienhallinnan prosessin kokoaikainen kehittäminen mahdollisimman helposti ja tehokkaasti toteutettavaksi on tärkeä tekijä tarjouslaskennan onnistumisen kannalta sekä työvaiheessa riskien kanssa toimimisen kannalta, kun riskit tiedostetaan ja niiden vaikutukset voidaan pyrkiä minimoimaan. Tästä syystä riskienhallinnan suorittamiseen on kannattavaa kehittää uusia keinoja, joilla riskienhallintaprosessi saadaan muodostettua mahdollisimman tehokkaaksi sekä tarkaksi ja seuraava askel tähän voi mahdollisesti olla tekoälyn hyödyntäminen projektien riskienhallinnassa vankan kokemuksen ja osaamisen rinnalla.

## Lähteet

Honkaharju, R. 2016. Kaivamattomat tekniikat kunnallisrakentamisessa. Diplomityö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Oulu: Oulun yliopisto. Viitattu 10.2.2024. [http://3.72.176.9/wp-content/uploads/2016/06/Kaivamattomat-tekniikat-kunnallisrakentamisessa\\_10052016-1.pdf](http://3.72.176.9/wp-content/uploads/2016/06/Kaivamattomat-tekniikat-kunnallisrakentamisessa_10052016-1.pdf)

Immonen, I.; Kallio, J.; Koskinen, J. & Rajamäki, M. 2013. Johda riskejä: käytännön opas yrityksen riskienhallintaan. Helsinki: Finva Finanssi- ja vakuutuskustannus.

InfraRYL 2023. Helsinki: Rakennustieto Oy.

ISTT 2024. Trenchless Methods – Chart and Descriptions. Viitattu 2.4.2024. <https://www.istt.com/index/guidelines>

Lindholm, M. 2009. Kustannushallinta rakennushankkeessa. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.

Muoviteollisuus ry 2022. Muoviputkien asentaminen maahan. Viitattu 25.1.2024. [https://www.plastics.fi/putkijaosto/muoviputkien\\_asentaminen\\_maahan/](https://www.plastics.fi/putkijaosto/muoviputkien_asentaminen_maahan/)

Peltokorpi, A. & Nyqvist, R. 2024. Riskienhallinta 2.0 rakennusalalla. Helsinki: Aalto-yliopisto. Saatavissa [https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2024-01/B2030%20Riskienhallinta%20loppuraportti\\_9.1.2024%20.pdf](https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2024-01/B2030%20Riskienhallinta%20loppuraportti_9.1.2024%20.pdf)

Rantamäki, M. & Tammirinne, M. 2002. Pohjarakennus. Helsinki: Otatieto.

RIL 237-2-2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RIL 263-2014. Kaivanto-ohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RIL 77-2013. Maahan ja veteen asennettavat kestumuoviputket: asennusohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.