

Pakkosujutustekniikka ja -menetelmät

Pauli Lyytinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Lyytinen Pauli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 59	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkajulkaisulupa Myönnetty: x
Työn nimi Pakkosujutustekniikka ja -menetelmät		
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaajat Hannu Haapamaa (JAMK), Marko Viinikainen (JAMK) ja Pekka Ulvila (Oteran Oy)		
Toimeksiantaja Oteran Oy		
Tiivistelmä <p>Toimivan yhteiskunnan perusta on luotettava vedenjakelu. Vesijohtoverkoston ikääntyessä sen eri osat eivät välttämättä täytä enää niille asetettuja toiminnallisia vaatimuksia. Tästä syystä verkostolle täytyy tehdä korjausrakentamista, jotta talousvesi pysyy laadukkaana ja jakelu luotettavana. Tiheään rakennetuilla tai maaperältään haastavilla alueilla maan alla olevien verkostolinjojen saneeraaminen avokaivantomenetelmällä voi olla haastavaa tai jopa mahdotonta. Linjojen saneeraukseen tarvitaan siis yhä useammin jokin toinen menetelmä.</p> <p>Työssä keskityttiin tutkimaan sellaisia vesihuoltoverkoston runkolinjojen vanhan putken korvaavia saneerausmenetelmiä, jotka mahdollistavat vanhan linjan uusimisen samalla putken sisämitalla, ja maaperän/ympäristön salliessa jopa putkikoon suurentamisen ilman suuria avokaivantoja. Tähän tarvittavaa tekniikkaa kutsutaan pakkosujutustekniikaksi.</p> <p>Tutkimustyön tavoitteena oli kertoa yksityiskohtaisesti pakkosujutustekniikasta, sen eduista ja haitoista. Tavoitteena oli myös vertailla PE-, PVC- ja SG-putkia pakkosujutuksen käytössä, ja siten tarkoituksellisesti kehittää pakkosujutustekniikkaa kaivamattomien tekniikoiden osa-alueena.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Pakkosujutus, Pakkosujutustekniikka, SG, SG-ZMU, NO-DIG, kaivamaton tekniikka, kaivamattoman tekniikan menetelmä, putkistosaneeraus		
Muut tiedot -		

Author(s) Lyytinen Pauli	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 59	Permission for web publication: x
Title of publication Technique and methods of pipe bursting		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisors Hannu Haapamaa (JAMK), Marko Viinikainen (JAMK) and Pekka Ulvila (Oteran Oy)		
Assigned by Oteran Oy		
Abstract <p>The foundation for a functioning society is a reliable water supply. As the water supply network is aging, its various components may not meet the functional requirements which are set for them. For this reason the network needs to be renovated so that drinking water remains high quality and distribution is reliable. In tight built or soil-challenging areas redevelopment of underground network lines in open-cut process may be challenging or even impossible. There is a growing need for another method to renovate lines.</p> <p>The research focused on exploring the renovation techniques of the main pipelines that allow the old line to be renewed at the same-size pipeline and if possible, even up-sizing the pipe size without major open-cuts. The technology required for this is called pipe bursting technique.</p> <p>The aim of this research was to explain in detail but in a common sense about pipe bursting technic, its advantages and disadvantages. The aim was also to compare the PE, PVC and SG-pipe materials in the using of pipe bursting. And intentionally develops pipe bursting as a part of trenchless technologies.</p>		
Keywords/tags (subjects) Pipe burst, pipe bursting techniques, SG, SG-ZMU, NO-DIG, trenchless technology, method of trenchless technology, renovation of pipeline		
Miscellaneous -		

Sisältö

Sanasto	4
1 Johdanto	8
1.1 Alkusanat	8
1.2 Opinnäytetyön tausta.....	8
1.3 Yrityksen taustaa	9
1.4 Tutkimustyön tavoitteet ja toteutus	10
2 Putkilinjojen saneeraus	12
2.1 Yleistä putkiverkoston ylläpidosta ja saneeraustekniikoista.....	12
2.2 Saneerausmenetelmät lyhyesti.....	13
2.3 Saneeraustekniikan valinta	14
3 Pakkosujutustekniikka	17
3.1 Pakkosujutustekniikan historiaa.....	17
3.2 Työtekniikkaa yleisesti.....	17
3.3 Pakkosujutustekniikka muihin sujutustekniikoihin verrattuna.....	19
3.4 Pakkosujutusmenetelmät.....	20
4 Pakkosujutustekniikan vertailu muiden tekniikoiden kanssa	30
4.1 Vertailu tavalliseen aukikaivuutekniikkaan	30
4.2 Vertailu muihin NO-DIG-menetelmiin.....	31
5 Huomioitavaa pakkosujutuksen suunnittelussa	32
5.1 Vaativuusluokat	33
5.2 Huomioitavia asioita, jotka rajoittavat maaperän suotuisuutta	36
6 Pakkosujutuksen vaikutukset	37
6.1 Uuden putken sijoittuminen	37
6.2 Vanhan putken sirpaleiden sijoittuminen	38
6.3 Ympäristäytön ja maaperän asettuminen.....	39
6.4 Vaikutukset läheisille rakenteille.....	40
7 Olemassa oleva putkilinja	40

7.1	Putken materiaali	40
7.2	Syvyys ja linja	41
7.3	Liitos- ja haaroituskohdat	42
7.4	Muut tekijät	43
7.5	Aloituspiste	43
7.6	Lopetuspiste	44
7.7	Pakkosujutuspuisteiden lukumäärä ja linjan pituus	45
7.8	Mahdolliset haasteet	45
8	Uuden putkimateriaalin valinta	49
8.1	Asennettavan putken kriittiset tekijät	49
8.2	Muoviputki	50
8.3	Pallografiittivalurauta	51
8.4	Putkimateriaalien vertailua	53
9	Johtopäätökset ja pohdinta	55
	Lähteet	56

Kuviot

Kuvio 1. Vesijohtoverkoston saneeraustoimenpiteet ja –menetelmät.....	13
Kuvio 2. Saneeraustekniikan alustava valintakaavio.....	16
Kuvio 3. Putkisujutuksen (Sliplining) periaatekuva, vanhaa putkea ei rikota.	19
Kuvio 4. Pakkosujutuksen (Pipe bursting) periaatekuva, vanha putki rikotaan.....	19
Kuvio 5. Pneumaattisen pakkosujutustyön havainnekuva	23
Kuvio 6. Staattisen pakkosujutusmenetelmän havainnekuva	24
Kuvio 7. Halkaisevassa menetelmässä käytettäviä pakkosujutuspuheen laitteita	25
Kuvio 8. Tunkkaavan pakkosujutuksen havainnekuva.....	26
Kuvio 9. Poraavan pakkosujutuksen havainnekuva.	27
Kuvio 10. Mikrotunneloivan pakkosujutuksen havainnekuva	29
Kuvio 11. Mikrotunneloivan pakkosujutuksen tunnelointipään murskain.....	29
Kuvio 12. A-luokan havainnekuva.	34
Kuvio 13. B-luokan havainnekuva	35
Kuvio 14. C-luokan havainnekuva	35
Kuvio 15. Esimerkki lähtökaivannon koon mitoittamiseksi	44
Kuvio 16. Egelplast SLM DCT kaivamattomaan asennukseen suunniteltu putki.....	51
Kuvio 17. SG-ZMU putken TIS-K-liitostyyppin ja kulmapoikkeaman havainnekuva.	53

Sanasto

Tässä työssä käytetty sanasto, *kursivoidut* sanat ovat synonyymejä.

Aloituspiste	<i>Lähtökaivanto, aloituskaivanto, eng: entry pit, insertion point</i> on olemassa olevan putken kohdalle, vähintään sen alapintaan asti ylettyvä, uuden putken dimensioihin nähden riittävän laaja kaivanto. Tietyissä kohteissa aloituspisteeksi riittää olemassa oleva kaivo, mutta yleensä pakkosujutuksessa aloituspiste pitää kaivaa uudesta putkimateriaalista johtuen. Aloituspisteessä asennetaan vanhan putkilinjan hajotukseen, avartamiseen ja uuden linjan vetämiseen tarkoitetut pakkosujutuslaitteet ja syötetään uusi putkimateriaali. (Guideline for pipe bursting 2012, 20-21.)
Avarrin	<i>Avennin, avarrinpää, eng: expander, expansion shell</i> on työkalu, joka laajentaa/avartaa vanhan linjan uudelle putkelle riittäväksi. Sijaitsee usein vetopään ja leikkaustyökalan välissä.
FiSTT	Finnish Society for Trenchless Technology, eli Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys.
IPBA	International Pipe Bursting Association, eli Kansainvälinen pakkosujutusyhdistys.
Leikkaustyökalu	<i>Halkaisupää, "pizzaleikkuri", eng: cutting tool, pipe splitting head, slitter</i> on pakkosujutuslinjassa ensimmäinen, yleensä staattisesti toimiva työkalu, joka halkaisee vanhan putkilinjan.
Lopetuspiste	<i>Päätöskäivanto, päätekaivanto, lopetuskaivanto, vastaanottopiste, eng: exit pit, receiving point</i> on olemassa olevan putken kohdalle, vähintään sen alapintaan asti ylettyvä pakkosujutuksen vetolaitteiston kokoon nähden riittävän laaja kaivanto. Tietyissä kohteissa lopetuspisteeksi riittää olemassa oleva kaivo, jolloin vältetään kaivuutöitä.

Lopetuspisteeseen asennetaan hydraulinen veto-
laite/vinssi apulaitteineen, joka tuottaa tarvittavat veto- ja
hajotusvoimat, pisteessä usein vastaanotetaan myös linjan
läpi kulkeneet pakkosujutus pääin laitteet/työkalut. (Guide-
line for pipe bursting 2012, 21-22.)

NO-DIG

kaivamaton, eng: trenchless on englanninkielinen nimitys
kaivamattomien tekniikoiden menetelmille.

Pakkosujutus

Eng: pipe bursting on sujutustekniikka, jossa vanha putki
hajotetaan/rikotetaan ja sen ala avarretaan voimaa käyt-
tään. Tilalle sujutetaan samassa yhteydessä uusi, vähin-
tään vanhan linjan halkaisijan mitan kokoinen putkilinja.

Pakkosujutus pää

Eng: bursting head, on vetotangon/-vaijerin ja uuden put-
ken pään väliin asennettava laitekokonaisuus, joka vede-
tään uuden putken edellä vanhan pakkosujutettavan lin-
jan läpi. Pakkosujutus pääin tarkoituksena on hajottaa
vanha putkilinja ja avartaa se uudelle putkelle riittäväksi
sekä vetää uusi putkilinja samalla vanhan tilalle. Pakko-
sujutus pääin kuuluvat laitteet menetelmästä riippuen:
avarrin, leikkaustyökalu, rikotuspää ja vetopää. (Guideline
for pipe bursting 2012, 3;5.)

PEH

PE-HD, HDPE=high-density polyethylene on muoviputken
materiaali. PE=polyeteeni, PEH=suuritiheysinen poly-
eteeni, jota nykyisin käytetään suurimmassa osassa muo-
viputkijärjestelmistä. Suuritiheysisestä polyeteenistä käy-
tetään myös nimitystä PE100, lukema tarkoittaa paineen-
kestoa baareissa. Pakkosujutuksessa PE-putki on aina
päällystettävä suojakuorella. (PE-paineputket ja -yhteet,
n.d.)

Pilottiputki

Pilottikärki, eng: pilot on vanhassa linjassa ensimmäisenä,
ennen rikotuspäätä kulkeva työkalu, joka on lähes saman-
kokoinen kuin vanhan putken sisähalkaisija. Pilottiputken

tarkoituksena on pitää pakkosujutuslaite ja uuden putken asennus linjassaan vanhan putken aseman suhteen, ettei paikallisia painumia pääse syntymään. Käytetään yleensä vain pneumaattisessa pakkosujutuksessa. (Guideline for pipe bursting 2012, 12.)

Putkisujutus	<i>Eng: sliplining</i> on putkilinjan saneeraustekniikka, jossa vanhan putken sisälle vedetään ja/tai työnnetään, eli sujutetaan uusi putkilinja. Vanhaa putkea ei tietoisesti pyritä hajottamaan, joten uuden putken ulkohalkaisijan on oltava pienempi kuin vanhan putken sisähalkaisija.
Rikotuspää	<i>Putkimurskain, eng: bursting head</i> on vanhan putken materiaalista riippuen, dynaamisesti/staattisesti toimiva työkalu, joka rikkoo vanhan putken ja samalla avartaa riittävän tilan uudelle putkelle. Uusi putki voi olla suoraan kiinni rikotuspäässä, jolloin erillistä vetopäätä ei tarvita.
Saneeraus	<i>Korjausrakentaminen</i> on olemassa olevan rakenteen, rakennelman tai rakennuksen mittavaa korjaamista tai uusimista. Saneeraus voidaan jakaa myös käsitteisiin peruskorjaus, perusparannus ja uusiminen. (Korjausrakentaminen, n.d.)
Saostuma	Veden mukana kulkevien epäpuhtauksien (sakan) aiheuttama hyytymä tai keskittymä, jossa sakka on tarttunut putken sisäpinnan huokosiin.
SG	Saint-Gobain tuotemerkki ja putkivalmistaja.
SG-putki	Saint-Gobainin valmistama pallografiittivaluraudasta valmistettu muhvinen puhdasvesiputki. Tässä työssä puhuttaessa SG-putkesta tarkoitetaan nimenomaan pakkosujutukseen kehitettyä SG-ZMU-putkea. (ZMU sementtipinnoitettu SG-putki DN 100-700 UNIVERSAL Std lukittu, n.d.)

Tangosto	<p><i>Vetotangosto, vetotangot, tankoletka, eng: bursting rod, pulling rod</i> on toisiinsa liitettävistä tangoista muodostettu, yhtenäinen linja. Käytetään välittämään vetovoima pakkosujutuskoneelta pakkosujutuspaalle. (Guideline for pipe bursting 2012, 3;5.)</p>
Talousvesi	<p>Kotitalouksissa ja elintarvikealan yrityksissä käytettävää vettä, jota käytetään juomavetenä ja ruoan valmistamiseen. Yleisesti talousvettä jaellaan siihen tarkoitettua vesijohtoverkostoa pitkin. (Vesilaitostekniikka ja hygienia 2013.)</p>
Vesihuolto	<p>Asia- ja verkostokonaisuus, joka sisältää talous- ja jäteveden kaikki vaiheet. Hulevedet eivät kuulu vesihuoltoon. (Vesilaitostekniikka ja hygienia 2013.)</p>
Vetopää	<p><i>eng: pulling head</i> on työkalu, jonka tehtävänä on vetää uusi putki leikattuun, rikottuun ja avarrettuun linjaan. Vetopää-työkalua ei tule käyttää rikotuspäänä. Vetopää on heti avartimen jälkeen, uuden putkilinjan päässä kiinni. (Guideline for pipe bursting 2012, 3.)</p>
Vetotanko/-vaijeri	<p><i>vetotangosto, vetovaijeristo, vetoköysi, eng: pulling cable, pulling rod</i> on toisiinsa pituussuunnassa kiinnitetyt vetotangot tai teräsköysi, joka on työnnetty tai muulla tavalla viety vanhan pakkosujutettavan putkilinjan läpi lopetuspisteestä aloituspisteeseen. Vetotangon/-vaijerin tehtävänä on välittää hydraulisen pakkosujutuskoneen aikaansaama vetovoima pakkosujutuspaalle. Vetotankoa käytetään yleensä staattisessa/auki leikkaavassa pakkosujutuksessa ja vaijeria pneumaattisessa pakkosujutuksessa. (Guideline for pipe bursting 2012, 3;5.)</p>

1 Johdanto

1.1 Alkusanat

Tutkimustyö tehtiin omasta kiinnostuksestani kaivamattomien tekniikoiden ja erityisesti pakkosujutustekniikan kehittämiseksi. Työn tilaajana toimi Oteran Oy, jonka kautta olin työmaamestarina SG-putken pakkosujutustyömaalla syksyllä 2016. Tämän työn tarkoituksena oli lisätä ymmärrystä pakkosujutustekniikkaa kohtaan. Tavoitteena oli saada vastauksia mm. seuraaviin kysymyksiin: mitä rakennuttajan, suunnittelijan ja hankkeen toteuttavan urakoitsijan pitää tehdä ja tietää ennen hankkeeseen ryhtymistä? Mitä erityistä pakkosujutushankkeessa pitää ottaa huomioon? Mikä putkimateriaali on sopivin pakkosujutukseen? Mitä riskejä pakkosujutukseen sisältyy? Millaisia etuja ja mahdollisuuksia pakkosujutustekniikalla on?

Tutkimusta ohjasivat Hannu Haapamaa ja Marko Viinikainen Jyväskylän Ammattikorkeakoulusta sekä Pekka Ulvila Oteran Oy:sta. Aktiivisesti mukana työn tekemisessä olivat myös Jari Kaukonen ja Jukka Huusko Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys ry:stä, sekä Matti Andersin Saint-Gobain Pipe Systems Oy:sta. Haluan kiittää lämpimästi kaikkia osapuolia onnistuneesta yhteistyöstä tämän tutkimustyön parissa.

1.2 Opinnäytetyön tausta

Yhä suurempi osa ihmisistä asuu kaupungeissa, asutuskeskusten ympäristö on muuttumassa yhä tiiviimmäksi. Tällä hetkellä yli 70% suomalaisista asuu kaupungeissa, ja on ennustettu, että tulevaisuudessa kaupungissa asuvien ihmisten osuus jatkaa kasvuaan. Tiiviisti rakennetut alueet tuovat haasteita maan alla olevien kunnallisteknisten rakenteiden tarkkailuun, huoltoon ja saneeraamiseen. (Nissinen 2015.)

Samaan aikaan korjausrakentamisen markkinat ovat kasvaneet uudisrakentamista suuremmiksi, sillä monet rakenteet ja rakennukset ovat käyttöikänsä puolesta saneerauksen tarpeessa. Markkinamuutos on näkynyt niin talopuolella kuin infra-alallakin. Infrarakentamisen puolella saneerattavia kohteita ovat mm. tieverkosto ja kunnallis-

tekniset palvelut, kuten vesihuolto. (Pajakkala 2015.) Olemassa olevan vesijohtoverkoston huoltaminen ja korjausrakentaminen on hyvin tärkeää, sillä verkoston ikäännyessä sen eri osat ja niiden rakenteet alkavat muodostua riskiksi laadukkaalle talousvedelle. Riskit muodostuvat verkoston teknisen kestävyuden heikkenemisestä sekä saostumisesta. Vesijohtolinjojen saostuminen, eli sakan kertyminen verkostoon aiheuttaa talousveteen maku- ja väriongelmiä sekä heikentää sen mikrobiologista laatua, sillä mikrobit tarttuvat helposti saostumiin.

Edellä mainitut asiat yhdessä muodostavat haasteellisen kokonaisuuden: vedenjakelun pitää pystyä tuottamaan laadukasta talousvettä entistä suuremmalle määrälle käyttäjiä, jotka elävät entistä tiiviimmin alueella, jossa vesijohtoverkosto on yleisesti ottaen hyvin ikäännytynyt. Tämä kaikki on vielä pyrittävä toteuttamaan mahdollisimman pienin häiriöin ilman suuria jakelukatkoksia. Haasteita verkoston huollolle ja saaneeraukselle voivat aiheuttaa myös maaperän alueellinen erilaisuus: maan pinnan kaltevuus, kallio, hetteiköt, vesistöt tms. Kaikilla sellaisilla alueilla, joissa maankaivuutyö on haastavaa, materiaalien toimittaminen tai niiden asennustyö on vaikeaa.

1.3 Yrityksen taustaa

Oteran Oy on vuonna 2009 perustettu suomalainen, uudis- ja korjausrakentamisen aloilla maanrakennushankkeiden johtamispalveluita tarjoava yritys. Toiminta perustuu projektinjohtokonseptiin päätoimialana infra-alan pääurakointi ja konsultointi. Hankkeet toteutetaan luotettavasti, sitoutuneiden omistajatyöntekijöiden ja aliurakoitsijaverkoston kanssa.

Yrityksen toiminnan tavoitteena on saada toteutettua kestäviä ratkaisuja yhteistyössä asiakkaiden ja aliurakoitsijoiden kanssa. Siten luodaan menestyvää yhteiskuntaa. Asiakkaina ovat pääsääntöisesti ELY-keskukset, kaupungit, kunnat, energiayhtiöt ja erilaiset kiinteistöalan toimijat. Oteran Oy toimii maanlaajuisesti; aluetoimistoja on seitsemässä eri maakunnassa. Avainluvut kertovat yhtiön hyvästä kasvusta. Vuodesta 2010 vuoteen 2016 työntekijöiden määrä on kasvanut seitsemästä kolmeenkymmeneen ja liikevaihto kohonnut 8M€:sta noin 30M euroon (Yritystiedot 2017; Ulvila

2017). Oteran Oy:n omistavat yrityksen työntekijät sekä joukko rakennusalalla toimivia yksityissijoittajia ja Finnveran Aloitusrahasto Vera Oy.

Oteran Oy:n pääurakoimien maanrakennustöiden sisältö on moninaista. Hankkeet ovat yleisesti ottaen kuuluneet kolmeen eri maanrakennuskategoriaan: Katujen ja kunnallistekniikan rakentamiseen, sillankorjauksiin sekä kiinteistöjen maanrakennus- ja perustustöihin. (Oteran 2016.) Viime vuosina katujen ja kunnallistekniikan saneerauksen volyymi on noussut Suomessa.

1.4 Tutkimustyön tavoitteet ja toteutus

Vesijohtolinjojen saneerauksessa pakkosujutustekniikat ovat nykyisin eniten käytetty kaivamattoman tekniikan menetelmä Suomessa ja Euroopassa. (Kaukonen, J. 2017.) Tämän tutkimustyön tavoitteena oli kertoa yksityiskohtaisesti eri pakkosujutustekniikan menetelmistä, -menetelmien eroista ja niiden eduista ja haitoista. Työn tarkoituksena oli myös vertailla nykyisin yleisimmin vesijohtolinjojen rakentamisessa ja saneerauksessa käytettyjen putkimateriaalien, eli PE-, PVC- ja SG-putkien ominaisuuksia ja niiden eroja pakkosujutustyössä.

Tavoitteena oli saada vastauksia mm. seuraaviin kysymyksiin:

- Millaisten putkilinjojen saneeraukseen voidaan käyttää pakkosujutusta?
- Mitä reunaehtoja pakkosujutus tuo?
- Mitä asioita pakkosujutettavan putkilinjan saneerauksen suunnittelussa, valmistelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon?
- Millaisia uuden putken materiaaleja voidaan käyttää pakkosujutuksessa?

Suomenkielistä kirjallisuutta pakkosujutustekniikasta ja kokemuksia etenkin SG-putken pakkosujutuksesta on vielä vähän, siitä syystä osa tutkimustyön aineistosta on kirjoittamatonta. Se hankittiin haastatteleamalla asiantuntijoita, urakoitsijoita ja työntekijöitä; mukana oli myös ulkomaalaisia asiantuntijoita. Tietoa kerättiin paljon myös materiaalityöntekijöiltä, rakennuttajilta ja alan internet-sivustoilta. FiSTT:n internet-sivustolla on paljon tietoa yleisesti kaivamattoman tekniikan menetelmistä eli

NO-DIG-tekniikoista. Sivustolta saatavaa tietoa käytettiin hyväksi myös tässä tutkimuksessa. Työssä käytettiin myös ulkomaisia laadukkaita verkkosivustoja. Ulkomaisista lähteistä tärkeimpänä oli mm. IPBA:n julkaisemaa opas putken pakkosujutukseen, jonka käänsin suomeksi tätä opinnäytetyötä varten.

Yksityiskohtaista käytännön kokemusta saatiin toteuttamalla yksi DN300 vesijohtolinjan saneerauskohte auki leikkaavalla pakkosujutustekniikalla, jossa sujutettavana putkimateriaalina oli SG-ZMU-putki. Uusi putkilinjan koko oli ”*size-to-size*” vanhan putkilinjan kanssa, eli uudella ja vanhalla putkella oli sama sisähalkaisijamitta. Auki leikkaava eli halkaiseva pakkosujutusmenetelmä oli valittu toteutusmenetelmäksi lähtötietojen perustella, lähtötiedoissa oli kerrottu vanhan linjan olevan materiaalltaan valurautaputkea.

2 Putkilinjojen saneeraus

2.1 Yleistä putkiverkoston ylläpidosta ja saneeraustekniikoista

Putkiverkostot vaativat toimiakseen ylläpitoa. Ylläpito on kokonaisuus, joka käsittää kaikki toimenpiteet putkilinjastojen toiminnallisten ja rakenteellisten kunnan säilyttämiseksi ja parantamiseksi. Saneeraustyön toiminnallisia syitä ovat mm. putkilinjan kapasiteetin pieneneminen saostumisen seurauksena sekä ali- tai ylimitoitus. Rakenteellisia saneeraustarpeen aiheuttajia ovat mm. putken rakenteen heikkeneminen, rikkoutuminen tai korroosio.

Putkilinjojen saneeraustekniikat on mahdollista jakaa niissä käytettävien menetelmien rakenteellisiin eroihin perustuen menetelmiin, jotka:

- muodostavat itsenäisen, vanhasta riippumattoman putkirakenteen,
- vahvistavat olemassa olevaa putkirakennetta ja
- muodostavat vanhan putken sisäpintaan uuden pinnan: ohutpinnoitteet.

(Vesijohtojen ja viemäreiden saneerausmenetelmät 95 1995, 1–3.)

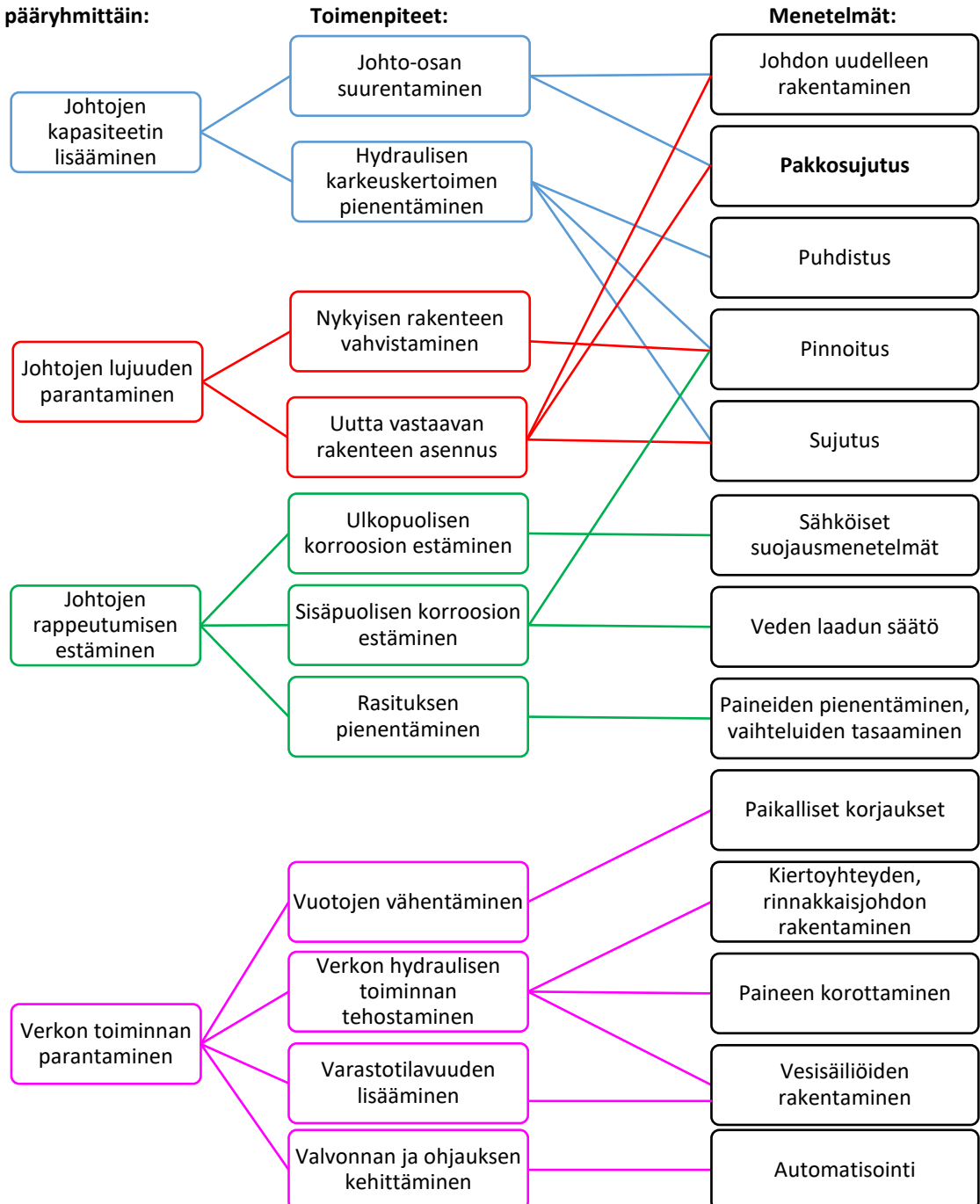
Verkoston saneeraus tarkoittaa vanhan rakenteen korjausta, sen parantamista tai uusimista. Korjauksessa olemassa olevaa putkirakennetta korjataan niin, että se toimii riittävän luotettavasti osana muuta kokonaisuutta. Parantamisella tarkoitetaan laajojen huoltotoimenpiteiden tekemistä ja linjan osittaista uusimista, nämä toimenpiteet antavat linjalle lisää käyttöikää. Uusiminen tarkoittaa kirjaimellisesti vanhan verkostolinjan korvaamista uudella linjalla. Uusiminen voidaan tehdä joko perinteisin aukikaivuu-menetelmin tai kaivamattoman tekniikan menetelmin. (RIL124-2-2004 Vesihuolto II 2004, 648–651.)

2.2 Saneerausmenetelmät lyhyesti

Kaikki yleisimmät Suomessa käytetyt vesijohtojen saneeraustoimenpiteet ja -menetelmät on esitetty seuraavassa kuviossa.

Saneeraustoimenpiteet

pääryhmittäin:



Kuvio 1. Vesijohtoverkoston saneeraustoimenpiteet ja -menetelmät.
(alkup. kuvio ks. Vesijohtojen ja viemäreiden saneerausmenetelmät '95 1995, 2, muokattu.)

2.3 Saneeraustekniikan valinta

Putkilinjan saneeraustekniikan valinta voi olla hyvin vaativa prosessi, sillä siihen vaikuttaa useita eri tekijöitä. Siitä syystä saneerausmenetelmän valinta vaatii usein huolellista suunnittelua. Tärkeimpiä reunaehtoja menetelmän valinnalle asettavat mm. saneerattavan linjan sijainti, maaperän laatu, vanhan ja uuden putken materiaali ja koko. Merkittäviä tekijöitä ovat myös menetelmän ympäristövaikutukset ja sitä kautta ulkopuolisille aiheutuvat haitat sekä käytettävän menetelmän taloudellisuus.

Putkilinjan saneeraaminen ja vuotokohdan korjaaminen onnistuvat yleisesti ottaen aina perinteisillä aukikaivuumenetelmillä. Aukikaivuu voi kuitenkin osoittautua hyvin ongelmalliseksi tekniikaksi alueilla, jotka ovat tiheästi rakennettuja tai vilkkaasti liikennöityjä, maaperältään tai muutoin sijainniltaan poikkeuksellisen haasteellisia. Tällaisia haastavia alueita voivat olla esimerkiksi tiheään rakennetut asutuskeskukset, jyrkät rinteet, vilkkaasti liikennöidyt alueet tai muut maa-alueet joilla on poikkeuksellisia ominaisuuksia. Aluetta voi koskea myös jokin erityinen ympäristövaatimus, sen seurauksena alueella täytyy usein pyrkiä minimoimaan vallitsevalle ympäristölle työstä aiheutuvia haittoja.

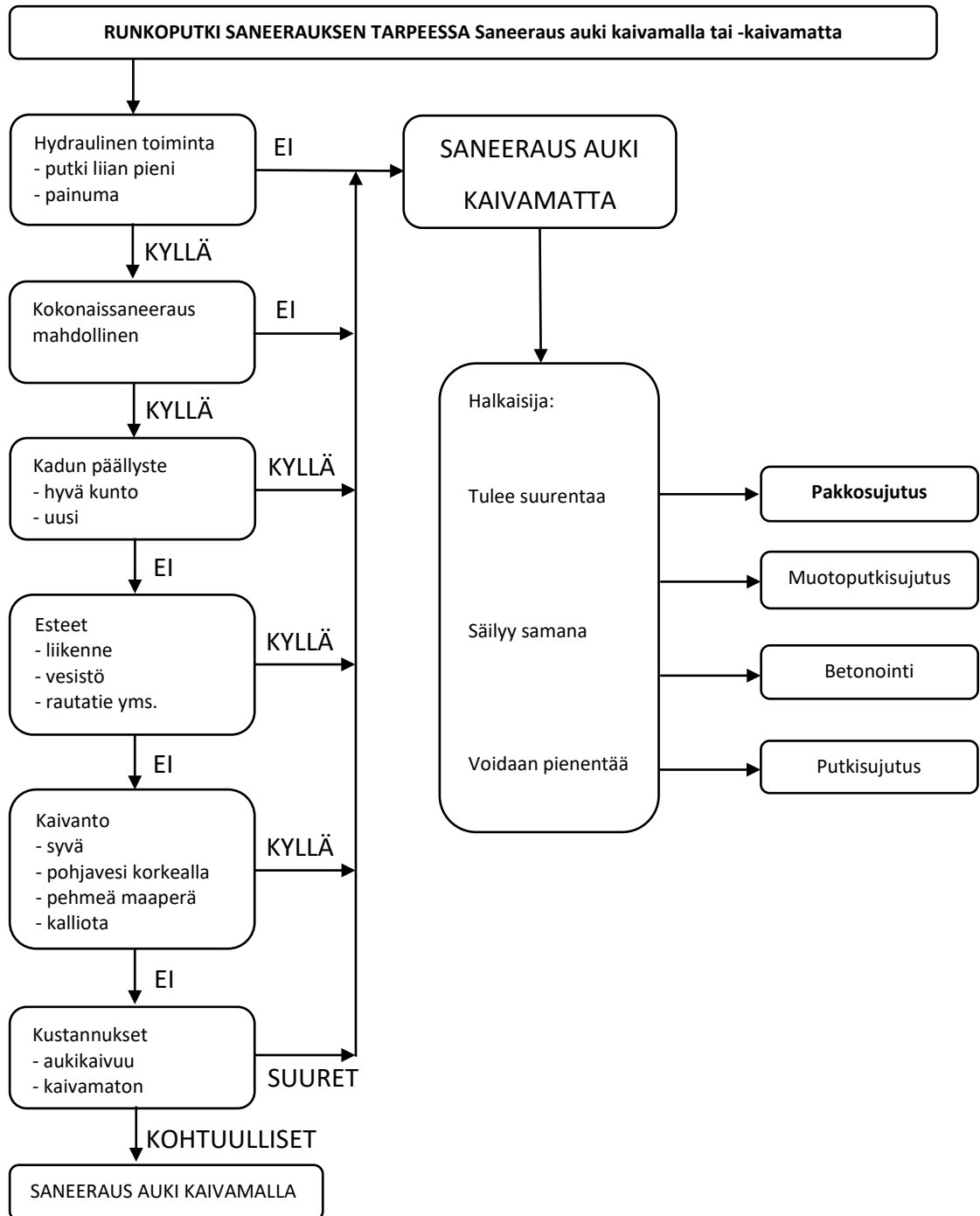
Kaivamattomien tekniikoiden menetelmät ovat hyvin varteen otettavia ja tehokkaita vaihtoehtoja saneerauskohteissa ja uudisrakentamisessa, kun aukikaivuutekniikan menetelmät kohtaavat edellä esiteltyjä alueellisia haasteita. Kaivamattomat tekniikat tarjoavat yleisesti ottaen pienempiä ympäristölle ja ulkopuolisille aiheutuvia haittoja ja häiriöitä aukikaivuumenetelmiin verrattuna, sillä maankaivuutyötä ja aluerajauksia yms. liikennejärjestelyjä on tarpeellista tehdä huomattavasti vähemmän. Lisäksi putkilinjaston saneeraustyö kaivamattomien tekniikoiden menetelmillä on yleisesti ottaen kustannustehokkaampaa, vaivattomampaa ja nopeampaa aukikaivuumenetelmiin verrattuna. Kaivamattomista tekniikoista pakkosujutusmenetelmä on ainoa, jonka avulla vanha linjan saneeraus on mahdollista toteuttaa sisähalkaisijaltaan vähintään saman kokoisella putkella, ja lopputulos on laadultaan ja kestoaltaan yleensä auki kaivamalla asennetun putkilinjan veroinen.

Kaivamattomilla tekniikoillakin on kuitenkin omat rajoituksensa ja heikkoutensa. Esimerkiksi: mikäli alueella/linjalla on suunniteltu saneerattavan/asennettavan muitakin putki- tai verkostolinjoja, tai linjan yläpuolella kulkeva tiealue tms. on suunniteltu

kunnostettavan, linjan saneeraus auki kaivamalla tulee todennäköisesti kokonaisuuden kannalta tehokkaimmaksi ratkaisuksi. Eräs huomioitava asia on myös se, että kaivamattomia menetelmiä käytettäessä on kuitenkin kaivettava esille kaikki suorasta linjasta poikkeavat kohdat, esim. haara-, kulma-, ja putkikoon muutoskappaleet.

Pelkkä alku- ja päätepisteiden kaivannot eivät siis välttämättä aina riitä, vaan mahdollinen välikaivantotarve on selvitettävä ja toteutettava etukäteen. Välikaivantojen tekemiseen on vähintäänkin varauduttava, mikäli kaivamattoman menetelmän toteutuksessa ilmenee paikallisia ongelmia. Joissain kaivamattomien tekniikoiden saneerausmenetelmissä alku-, väli ja lopetuskohdissa sijaitsevat tarkastuskaivot ovat saneeraukseen riittävä tila, eikä erillisiä kaivantoja välttämättä tarvita. Pakkosujutus tekniikka vaatii yleisesti ottaen kaivantojen tekemisiä, sillä siinä käytettävät laitteet ovat usein niin suuria, että olemassa olevat kaivot eivät riitä pakkosujutusmenetelmien toteutukseen.

Saneeraustekniikan alustavaan valintaan kaivamattomien ja aukikaivuutekniikoiden välillä on mahdollista käyttää seuraavaa kuviota (kuvio 2.). Kuviossa on esitetty tekniikoiden reunaehtoja ja niiden vaikutuksia valintaan.



Kuvio 2. Saneeraustekniikan alustava valintakaavio. (alkup. kuvio ks. Saartenkorpi 2007, 8, muokattu.)

Pakkosujutustekniikoiden ja yleisesti kaivamattomien tekniikoiden kysyntä on nykyisin Suomessa vielä melko pientä, koska suhteellisen väljät kaupunkialueet ovat suosineet enemmän perinteisen aukikaivuun valitsemista saneeraustekniikaksi. Pakkosujutus on kuitenkin putkisujutuksen ohella yleisimpiä kaivamattomia tekniikoita vesijohtojen saneerauksessa. (Kaukonen, J. 2017.)

3 Pakkosujutustekniikka

“Miksi kaivaa, kun on mahdollisuus olla kaivamatta” (Why Trenchless? ('No-Dig') n.d.)

3.1 Pakkosujutustekniikan historiaa

Pakkosujutus kehitettiin Britanniassa 1970-luvun loppupuolella, pienten, 3-4 tuumaisten kaasuputkien saneeraamiseksi. Pakkosujutustekniikan kehittivät D.J Ryan&Sons yhteistyössä British Gas-kaasunjakeluyhtiön kanssa. Kyseinen tekniikka patentoitiin Britanniassa vuonna 1981 ja Yhdysvalloissa 1986, nämä patentit raukesivat huhtikuussa 2005. Tekniikan keksimisen myötä pakkosujutus on kasvattanut huomattavasti suosiotaan. Globaalin kasvun odotetaan jatkuvan tulevaisuudessa vesi-, viemäri-, kaasu-, ja muiden maanalaisten verkostojen saneerauksessa. (Guideline for pipe bursting 2012, 3.)

3.2 Työtekniikkaa yleisesti

Pakkosujutustekniikka on osa kaivamattomien tekniikoiden (teknologioiden) menetelmiä ja vanhan putken korvaava saneeraustekniikka, jossa olemassa oleva putki rikotaan joko haurasmurtumalla tai halkaisemalla, osoittamalla siihen pakkosujutuslaitteiston tuottamaa ja aiheuttamaa voimaa. Samalla uusi putki vedetään vanhan hajotetun ja avarretun putkilinjan tilalle. Pakkosujutusta käytetään putkistolinjojen saneerauksessa silloin, kun vanha putki halutaan korvata uudella, vähintään saman kokoisella tai suuremmalla putkella. Pakkosujutustekniikka on ainoa kaivamattoman

tekniikan menetelmistä, joka mahdollistaa uuden putken sisähalkaisijan pysymisen vähintään samana vanhaan putkeen verrattuna. (Guideline for pipe bursting 2012, 3; 8.) Pakkosujutustekniikka ei yleensä ole järkevä valinta saneeraustekniikaksi, mikäli putkikokoa halutaan perustellusti pienentää.

Pakkosujutus on hyvin käyttökelpoinen vaihtoehto, mikäli vanha putkilinja on kapasiteetiltaan riittämätön ja siinä on rakenteellisia heikkouksia. Jos vanha putkilinja on alueella, jonka maanpäälliset olemassa olevat rakenteet tai maan muoto yms. estävät aukikaivuutekniikan käyttämisen, pakkosujutus on silloin erityisen potentiaalinen valinta saneeraustekniikaksi. Pakkosujutustekniikka vähentää ympäristölle saneeraustyöstä aiheutuvia haittoja ja häiriöitä, sitä kautta vähentää kustannuksia, ja tarjoaa huomattavasti pienemmän ympäristöllisen jalanjäljen. Pakkosujutusta vertaillaan usein eri kunnostustekniikoiden kanssa, mutta sitä pitäisi vertailla myös uuden putken asennustekniikoiden kanssa. (Guideline for pipe bursting 2012, 2.)

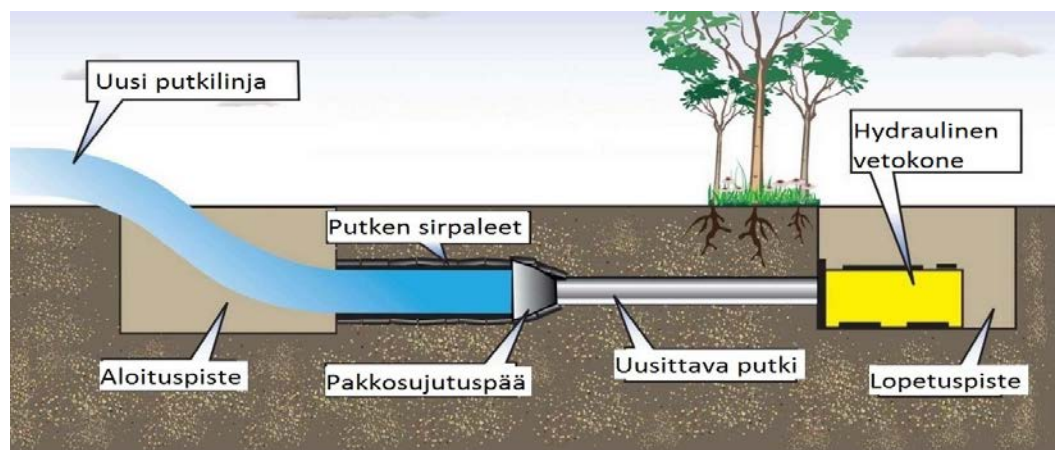
Vanhan linjan läpi kulkevan pakkosujutuspuheen kärki-etuosassa voidaan käyttää vanhaan putkeen verrattuna ulkohalkaisijaltaan hieman pienempää putkimaista kärkiosaa. Sen tehtävänä on säilyttää pakkosujutusvoiman kohdistaminen yhtenäisesti koko linjan halkaisijan alalle, tästä kärkiosasta käytetään nimitystä *pilottiputki*. Kärkiosan jälkeen tulee yleensä leikkaus-rikotuslaite, eli *leikkaustyökalu*, jolla halkaistaan ja heikennetään olemassa oleva putki. Sen jälkeen tulee pakkosujutuspuheen keskiosa, joka on suurempi kuin olemassa olevan putken sisähalkaisija. Tämä saa aikaan vanhan linjan lopullisen rikotuksen, keskiosasta käytetään yleensä termiä *avarritin*. Avartimen on oltava myös suurempi kuin uuden putken leveimmän kohdan ulkohalkaisija tehdäkseen uudelle putkelle ja sen muhviosille riittävästi tilaa ja siten vähentäen maaperästä aiheutuvaa kitkaa. Avartimen jälkeen yleensä viimeisenä työkaluna on *vetopää*, joka nimensä mukaisesti vetää siihen kiinnitettyä uutta putkilinjaa vanhan, avarretun putkilinjan tilalle. (Guideline for pipe bursting 2012, 3.) Pakkosujutustyössä käytettävä pakkosujutuspuhe koostuu ainakin halkaisu/rikotuspuheesta, avartimesta ja vetopädestä. Työn toteutuksessa hyvin tärkeä huomio on se, että työ on pyrittävä jatkamaan ilman huomattavia keskeytyksiä, sillä avarrettu linja voi romahtella nopeastikin uuden pakkosujutetun putkilinjan päälle. Romahtelusta voi olla seurauksena se, että työn jatkamista varten tarvittava vetovoima kasvaa kohtuuttoman suureksi, eli työtä ei pystytä välttämättä enää jatkamaan keskeytyksen jälkeen.

3.3 Pakkosujutustekniikka muihin sujutustekniikoihin verrattuna

Pakkosujutusta ei tule yhdistää putkisujutukseen tai pätkäsujutukseen, vaikka nimensä mukaisesti putki- ja pätkäsujutus ovat myös sujutustekniikoita vanhan linjan saneeraamiseksi. Selvänä erona tekniikoiden välillä on se, millainen uuden putken koko on suhteessa vanhaan putkeen, ja millaiseen kuntoon vanha linja saneerauksen jälkeen jää. Putki- ja pätkäsujutuksessa uusi linja sujutetaan vanhan sisään ilman, että olemassa olevaa linjaa tarkoituksellisesti rikotaan. Uuden putken ulkohalkaisijan on oltava vähintään kokoa pienempi kuin vanhan putken sisähalkaisija. Pakkosujutuksessa vanha putki pyritään rikkomaan ja pakkosujutustekniikasta riippuen myös poistamaan; uuden putken ulkohalkaisija voi olla jopa suurempi vanhaan putkeen nähden. Pakkosujutustekniikka laajentaa pitkä- ja pätkäsujutuksen käyttöaluetta. Pakkosujutus perustuu putkimurskaimen ja avartimen käyttöön, ne rikkovat saneerattavan putken ja tekevät tilaa perässä tulevalle uudelle putkelle.



Kuvio 3. Putkisujutuksen (Sliplining) periaatekuva, vanhaa putkea ei rikota. (alkup. kuvio ks. Sliplining with pe pipe n.d, muokattu)



Kuvio 4. Pakkosujutuksen (Pipe bursting) periaatekuva, vanha putki rikotaan. (alkup. kuvio ks. Pipe Bursting n.d, muokattu.)

3.4 Pakkosujutusmenetelmät

Pakkosujutusmenetelmien pääluokat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Luokitus perustuu työssä käytettävien työkalujen/laitteiden eri periaatteisiin: miten ja millaisilla välineillä vanha putki hajotetaan. Sopivan pakkosujutusmenetelmän valitseminen tietylle kohteelle riippuu mm. maaperästä, putken halkaisijan koon kasvattamisen asteesta sekä uuden ja vanhan putken ominaisuuksista. Myös käytettävissä oleva laitteisto ja urakoitsijoiden ammattitaito voivat määritellä käytettävää menetelmää. Tässä työssä esiteltävä menetelmien luokittelu perustuu International Pipe Bursting Association (IPBA) eli Kansainvälinen pakkosujutusyhdistyksen käyttämään jakoon, jossa pakkosujutusmenetelmien pääluokat ovat:

- pneumaattinen pakkosujutus ja
- staattinen pakkosujutus, joka sisältää halkaisevan pakkosujutuksen.

(Guideline for pipe bursting 2012, 4.; Pipe bursting n.d.)

Pakkosujutustekniikan menetelmät voidaan kuitenkin jakaa myös hydrauliseen pakkosujutukseen ja halkaisevaan pakkosujutukseen. Näin esimerkiksi International Society for Trenchless Technology (ISTT), eli Kansainvälinen kaivamattoman tekniikan järjestö on jakanut pakkosujutusmenetelmät. Hydraulinen pakkosujutus käsittää staattisen- ja pneumaattisen pakkosujutuksen menetelmät. Kyseinen luokitus perustuu putkien haurauteen: hauraille putkille sopii hydraulinen pakkosujutus joko staattisesti tai pneumaattisesti, sitkeille putkille halkaiseva pakkosujutus. (Inkinen 2016, 26–27; Pipe bursting n.d.)

Lisäksi on pakkosujutusmenetelmiä, jotka perustuvat muihin kaivamattomiin teknologioihin ja menetelmiin mutta niitä sovelletaan käytettäväksi pakkosujutuksessa. Ei ole tarkkaan määritelty, voidaanko näitä sovellettuja tekniikoita sisällyttää pakkosujutusmenetelmien pää- tai alaluokkiin, joten tässä työssä näistä muista menetelmistä käytetään nimitystä *Sovelletut pakkosujutusmenetelmät*.

Sovellettuihin pakkosujutusmenetelmiin voidaan lukea:

- tunkkaava pakkosujutus,
- poraava pakkosujutus,
- kohdistava pakkosujutus ja
- mikrotunneloiva pakkosujutus.

Perinteisiä pakkosujutustekniikan menetelmiä käytettäessä vanhan putkilinjan kappaleet jäävät työn jälkeen maaperään. Tästä syystä perinteisiä menetelmiä voidaan käyttää saneerausmenetelmänä silloin, kun vanhan putken muovi-, metalli-, tai betonijätteen jättäminen maan sisälle ei aiheuta riskiä tai ongelmia. Vanhojen putkilinjojen materiaalit ja liitokset voivat sisältää haitallisia yhdisteitä mm. lyijy, asbesti. Jos on epäily, että vanha putkilinja sisältää haitallisia aineita, on yleisesti parempi vaihtoehto, että vanhat putkimateriaalit poistetaan. Tästä syystä perinteisten pakkosujutusmenetelmien tilalle on kehitetty sovellettuja pakkosujutusmenetelmiä.

Sovelletuista menetelmistä, tunkkaavassa-, poraavassa- ja mikrotunneloivassa pakkosujutusmenetelmässä vanha putki saadaan linjasta pois, menetelmästä riippuen joko ehyenä tai murskattuna. (Kivivuori 2015, 33; Inkinen 2016, 27–29.) Pakkosujutukselle ei ole olemassa standardia. (Viemäreiden sisäpuoliset saneerausmenetelmät 2014, 121.) Tärkeä huomioitava asia haitallisten putkimateriaalien kanssa pakkosujutusta suoritettaessa on, että työntekijöiden on suojauduttava ja alue on eristettävä asianmukaisesti, ettei työntekijöiden ja ulkopuolisten turvallisuus vaarannu. (Pipe Extraction n.d)

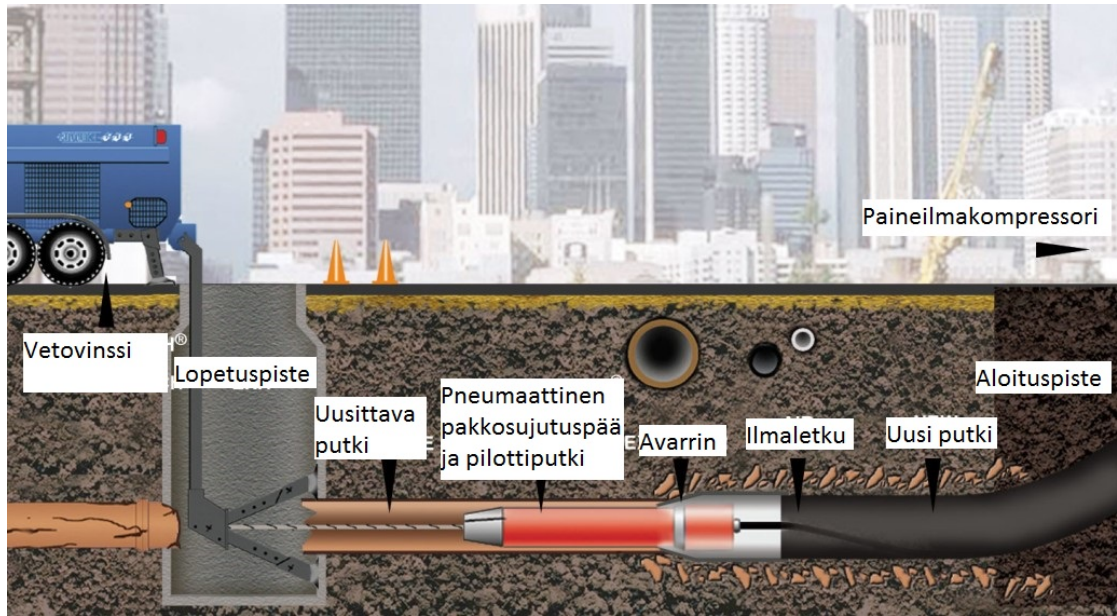
Pneumaattinen pakkosujutus

Pneumaattista pakkosujutusta käytetään yleensä haurasmurtuville putkimateriaaleille kuten savi, tiili ja raudoittamaton betoni. Pakkosujutus päässä oleva pneumaattinen rikotuspää hajottaa vanhan putken ja avartaa putkilinjaa impulssimaisesti toimivan paineilmasaran avulla. Tätä pneumaattista rikotuspäätä ja siihen liitettyjä pakkosujutus päässä muita laitteita vedetään linjassa eteenpäin jatkuvan vetojännityksen aikaansaavalla vinssillä, joka sijaitsee päätepisteessä. Jatkuva vetojännitys pitää

pakkosujutuspuheen jatkuvasti kosketuksissa vanhan putken ehyen puheen kanssa. Se myös auttaa pitämään puheen keskittynä isäntäputkeen nähden, mikäli pakkosujutuspuheessa ei käytetä pilottiputkea. Keskittetty jatkuva vetojännitys on tärkeää pneuma-vasaralaitteen iskuvoiman kohdistamiseksi vanhaa putkea kohti.

Yleensä kartion muotoisen, pneumaattisen rikotuspään iskuvoiman vaikutus on saman tyyppinen kuin naulaa puuhun naulattaessa: Jokainen vasaran lyönti työntää naulaa hieman syvemmälle. Pneumaattisessa pakkosujutuksessa jokainen vasaran lyönti heikentää ja hajottaa olemassa olevaa vanhaa putkea hieman lisää ja häiritsee myös putken ympärillä olevaa maaperää. Avarrintyökalu yhdistettynä iskuvasaran toimintaan saavat aikaan työn, joka rikkoo putken, työntää vanhan putkilinjan sirpaleet ja sitä ympäröivää maata ulospäin putkilinjalta, ja siten muodostaa uudelle putkelle tarvittavan tilan.

Kun pneumaattinen pakkosujutus on aloitettu, työn eteneminen on pyrittävä pitämään lähes katkeamattomana, kunnes pakkosujutuspuhe saavuttaa päätepisteen ja työ on valmis. Pneumaattisessa pakkosujutuksessa ei siis voida käyttää vetotankoja, joten työssä käytettävän vetovoiman on oltava pienempi staattiseen pakkosujutukseen verrattuna. Pneumaattisesta pakkosujutuksesta aiheutuu äänimelua, äänilähteinä ovat mm. ilmakompressori, pneumavasara ja voimakone. Yleisesti ottaen työstä aiheutuva melu keskittyy alku- ja päätepisteiden tai -kaivantoihin ja työkoneiden läheisyyteen. On myös olemassa käännettäviä/kääntyviä pneumaattisia pakkosujutuspuheitä, jotka mahdollistavat puheen palaamisen aloituspisteeseen asennettua putkilinjaa pitkin. Käännettävä pakkosujutuspuhe voi tulla tarpeeseen kohteessa, jossa päätepiste on kaivo, tai kaivannon koko on niin rajallinen, että pakkosujutuspuheen irrottaminen on mahdotonta. (Guideline for pipe bursting 2012, 4.)



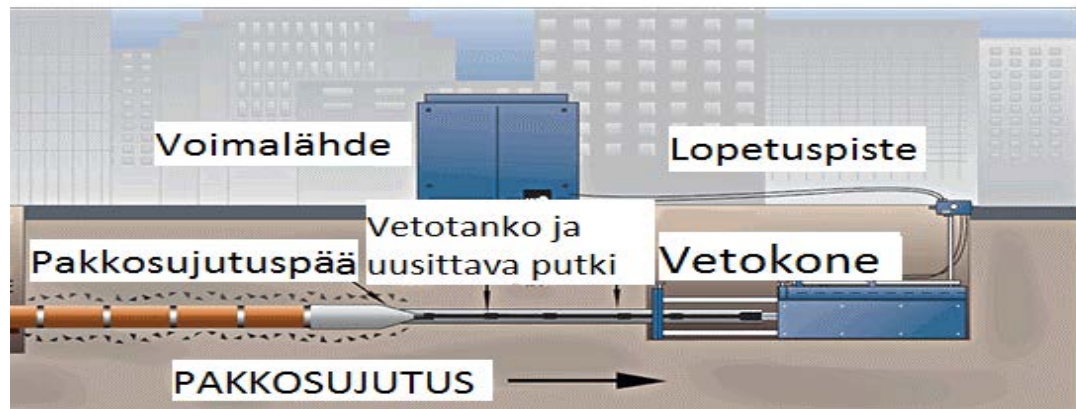
Kuvio 5. Pneumaattisen pakkosujutustyön havainnekuva, päätepisteenä huoltokaivo. (alkup. kuvio ks. Pipe bursting pneumatic n.d, muokattu.)

Staattinen pakkosujutus

Staattisessa pakkosujutusmenetelmässä ei käytetä iskuvoimaa, vaan huomattavan suuri vetovoima kohdistetaan kartion muotoiseen avarrintyökaluun vetämällä sitä olemassa olevaan putkeen asennetun vetovaijerin tai -tankojen kautta. Avarrinkartio siirtää vaakasuoran vetovoiman radiaalivoimaksi hajottaen olemassa olevan putken, ja siirtäen putken ympärillä olevaa maata. Staattinen pakkosujutus pää ja uusi putki linja vedetään vanhan linjan sisään vetovaijerin tai -tankojen avulla. Samalla staattinen pakkosujutus pää rikkoo vanhaa linjaa ja avartaa sen uudelle putkelle riittäväksi.

Tankovetojärjestelmässä metrin-parin mittaiset terästangot työnnetään ensin olemassa olevan putken sisään, ja samalla ne yhdistetään toisiinsa. Kun tangon pää saavuttaa lähtöpisteen, siihen liitetään pakkosujutus pää, jonka perässä on uuden putki linjan pää. Päätekaivantoon asennettu hydraulinen vetokone alkaa vetää tankoletkaa eli *tangostoa* ja siihen liitettyä pakkosujutus päätä sekä uutta putkea yksi tangon mitta kerrallaan. Kun yksi tanko on vedetty, se irrotetaan tangostosta. Irrotuksen aikana staattisessa pakkosujutuksessa käytettävää vetovoimaa ei ole, ja pakkosujutus seisahtuu. Jos tangon sijaan käytetään vetovaijeria, pakkosujutustyö voi teoriassa jatkua ilman hetkenkään keskeytystä, mutta silloin suurimman mahdollisen vetovoiman

suuruuden on oltava pienempi. Staattisessa pakkosujutuksessa käytetään yleensä huomattavasti suurempia vetovoimia (jopa 300 tonnia) kuin pneumaattisessa pakkosujutuksessa; siitä syystä lähtöpisteenä on lähes aina oltava kaivanto vetokoneen suuren koon seurauksena. Tämän seurauksena pakkosujutus pää on aina mahdollista, ja pitääkin irrottaa päätekaivannossa, sillä se ei ole käännettävä.



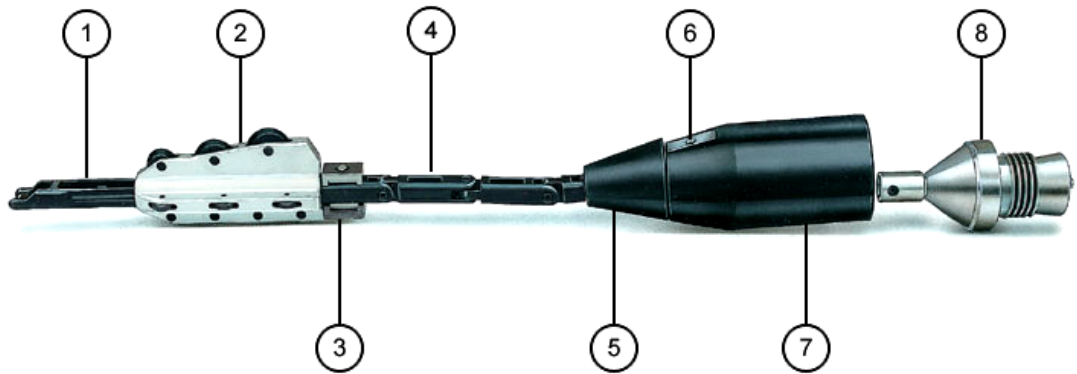
Kuvio 6. Staattisen pakkosujutusmenetelmän havainnekuva, missä käytetään vetotankoja.

(alkup. kuvio ks. Pipe bursting step 2 n.d, muokattu.)

Haurasmurtumisen ja leikkautumisen eron perusteella staattinen pakkosujutusmenetelmä voidaan jakaa kahteen eri alaluokkaan:

- staattinen pakkosujutusmenetelmä haurasmurtuville putkille, ja
- auki leikkaava, eli halkaiseva menetelmä haurasmurtumattomille putkille.

Leikkuriterä-tyyppiset staattiset työlaitteet mahdollistavat pakkosujutustekniikan käyttämisen putkimateriaaleihin, joissa haurasmurtuminen ei ole käytännössä mahdollista. Tällaisia suuremman vetolujuuden omaavia putkimateriaaleja ovat mm. teräksestä ja pallografiittivaluraudasta tehdyt putkilinjat sekä ruostumattomasta teräksestä valmistetut korjauspannat yms. Staattinen pakkosujutusmenetelmä sisältää siis auki leikkaavan pakkosujutuksen. Halkaiseva pakkosujutus on menetelmänä muuten samanlainen kuin staattinen pakkosujutus, mutta pakkosujutus päänsä ensimmäiseksi laitteeksi ennen avarrinta asennetaan lisäksi vanhan putken halkaiseva leikkaustyökalu. (Guideline for pipe bursting 2012, 5.)



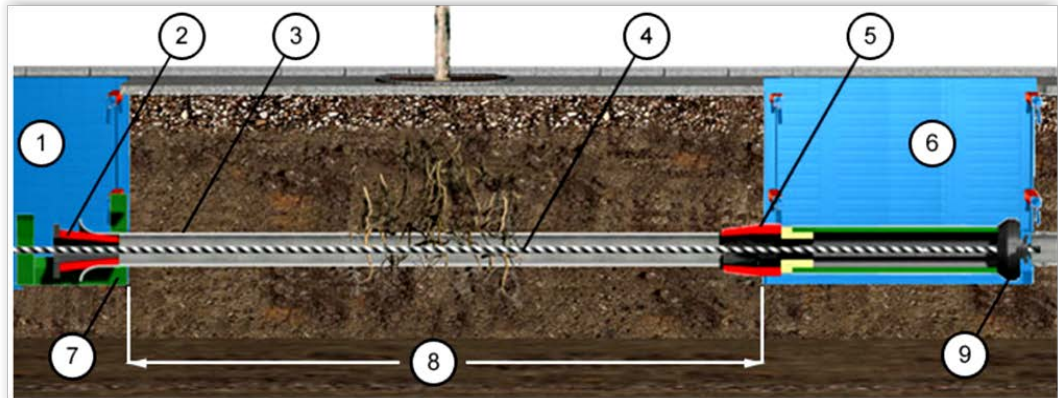
Kuvio 7. Halkaisevassa menetelmässä käytettäviä pakkosujutuspuun laitteita. 1:Veto-
tangon pää, 2:Leikkaustyökalu, 3:rikotutyökalun tuki tankoon, 4:välitangot,
5-7:Avarrin, 8:Vetopää.
(alkup. kuvio ks. Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers n.d.)

Tunkkaava pakkosujutus

Tunkkaava pakkosujutus on sovellettu pakkosujutusmenetelmä. Sillä saadaan poistettua olemassa oleva putki maaperästä, ja voidaan korvata se uudella putkimateriaalilla. Tunkkaavassa menetelmässä olemassa oleva putki vedetään ulos, ja samanaikaisesti, samalla järjestelmällä tilalle vedetään uusi putki. Kyseisessä laitteistossa voidaan käyttää vetovaijeria, johon on kiinnitetty kartioita, jotka levittyvät ja kiinnittyvät tiukasti olemassa olevan putken sisäreunoihin. Vaijeri syötetään vanhan linjan läpi ja kiinnitetään uuden putken päähän. Pakkosujutustyön aikaansaamiseksi vaijeria vedetään lopetuspisteestä käyttäen vetokonetta. Samalla uutta putkea voidaan työntää aloituspisteestä siihen tarkoitetulla työntölaitteella. Toinen tunkkaavan pakkosujutuksen tapa on käyttää vetotankoja. Tangon pää kiinnitetään lähtöpisteessä sovitinpäähän, mikä on suurempi kuin vanha putki. Sovitinpää työntää vanhaa putkea sen päästä ja vetää samalla sovitinpäähän kiinnitettyä uutta putkea paikoilleen. Päätepisteessä vanha putkimateriaali hajotetaan ja kerätään pois. (Pipe Extraction n.d. ISTT.)

Tunkkaava pakkosujutus ei ole mahdollista, mikäli vanhan putkilinjan matkalla on liitososia, korjauspantoja tai huomattavia taipumia. Tyypillinen päivittäinen etenemä suotuisissa olosuhteissa on 60-90m. Huomioitava asia haitallisten putkimateriaalien kanssa pakkosujutusta suoritettaessa on, että työntekijöiden on suojauduttava ja

alue on eristettävä asianmukaisesti, niin ettei työntekijöiden ja ulkopuolisten turvallisuus vaarannu. (Pipe Extraction n.d. PE100+.)



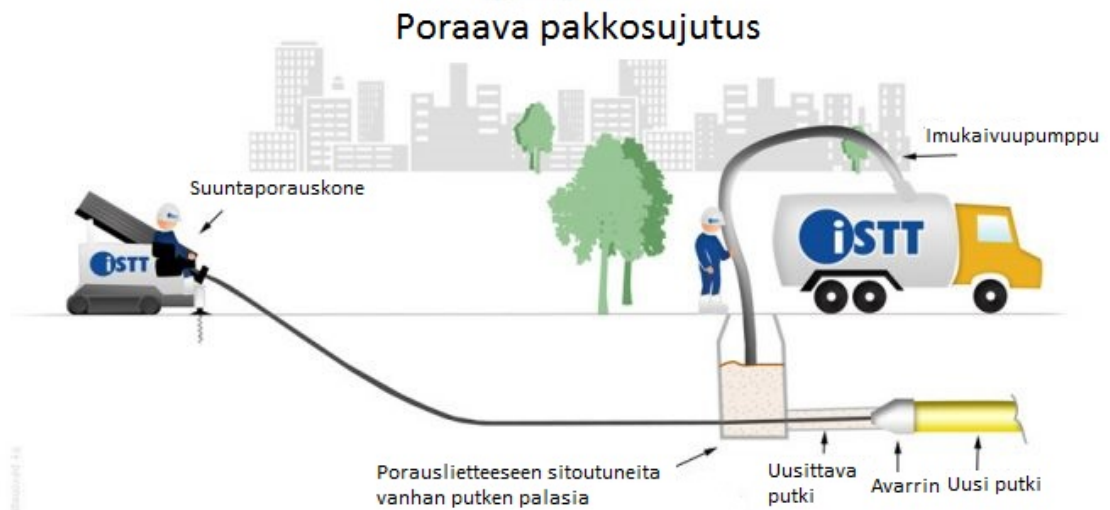
Kuvio 8. Tunkkaavan pakkosujutuksen havainnekuva. 1:Lopetuspiste, 2:Vanhan putken hajoituskartio, 3:Vanha putkimateriaali, 4:Vetovaijeri, 5:Sovitinpää, 6:Aloituspiste, 7:vetokoneen tuenta, 8:<100m, sisältäen mahdolliset välikaivannot, 9:Vetolevy (alkup. kuvio ks. Pipe extraction process for the replacement of cast iron pipelines (Hydros System) n.d.)

Poraava pakkosujutus

Poraava pakkosujutusmenetelmä on yhdistelmä vaakasuuntaista suuntaporaustekniikkaa ja pakkosujutustekniikkaa. Kyseisessä sovelletussa menetelmässä vanha putki poistetaan poraamalla se murskaksi samalla asentaen uusi putki tilalle. Poraavalla pakkosujutusmenetelmällä on mahdollista korvata useita eri putkimateriaaleja, mutta pääosin se on rajoitettu metallittomien putkilinjojen saneeraukseen. (Pipe Reaming n.d. PE100+) Erityisesti se sopii kohteisiin, joissa halutaan kasvattaa putkikokoa, vaikka maaperä olisi hyvin tiivistä tai kovaa.

Poraavassa pakkosujutuksessa käytetään vaakasuuntaporauskonetta, jota on muokattu käyttötarkoitukseen sopivaksi. Suuntaporauskoneen porausputki työnnetään saneerattavan putkilinjan läpi aloituspisteeseen saakka, missä putken päähän kiinnitetään pakkosujutus pää, joka sisältää putkimurskaimen/keräimen ja avartimen. Pakkosujutus pää perään asennetaan kiinni uuden putken pää. Suuntaporauskone kohdistaa vetovoiman pakkosujutus päähän, mikä aikaansaa vanhan putken murskautumisen ja linjan avartamisen, samalla vetäen uutta putkimateriaalia vanhan tilalle.

Avartimessa on reikiä, joihin johdetaan porausnestettä, neste työntää vanhan putken sirpaleita ja avarrettavaa maata vanhan putken sisälle, mistä ne kulkeutuvat lietekai-
voon tai sitä varten tehtyyn kaivantoon. Lietekaivosta/kaivannosta jätteet kerätään,
erotellaan ja toimitetaan kierrätettäväksi. (Pipe Reaming n.d. ISTT; Pipe Reaming n.d.
PE100+)



Kuvio 9. Poraavan pakkosujutuksen havainnekuva.
(alkup. kuvio ks. Pipe Reaming n.d. ISTT, muokattu.)

Kohdistava pakkosujutus

Kohdistava pakkosujutus on harvinaisempi menetelmä, jossa vanha putki hajotetaan kartion avulla sisäänpäin, muuten kohdistavan pakkosujutusmenetelmän toimintamalli on verrattavissa perinteisiin pakkosujutusmenetelmiin. (Manual for Controlling and Reducing the Frequency of Pavement Utility Cuts n.d.)

Mikrotunneloiva pakkosujutus

Mikrotunneloiva pakkosujutus on nimensä mukaisesti mikrotunnelointitekniikan ja pakkosujutustekniikan yhdistelmätekniikka, jota sovelletaan pakkosujutukseen. Vanha putkilinja hajotetaan ja murskataan tunnelointipäällä; sen kärkeen syötetään

porausnestettä, joka murskatun putkimateriaalin ja maa-aineksen kanssa sekoittuessaan saa aikaan lietettä. Syntyvä liete poistuu tunnelointipäästä sen perään asennettua uutta putkilinjaa pitkin joko ruuvikuljettimella tai alipaineisesti imettynä. Halkaisijamitan suurentaminen alkuperäiseen linjaan verrattuna on tavallista mikrotunneloivaa pakkosujutusmenetelmää käytettäessä.

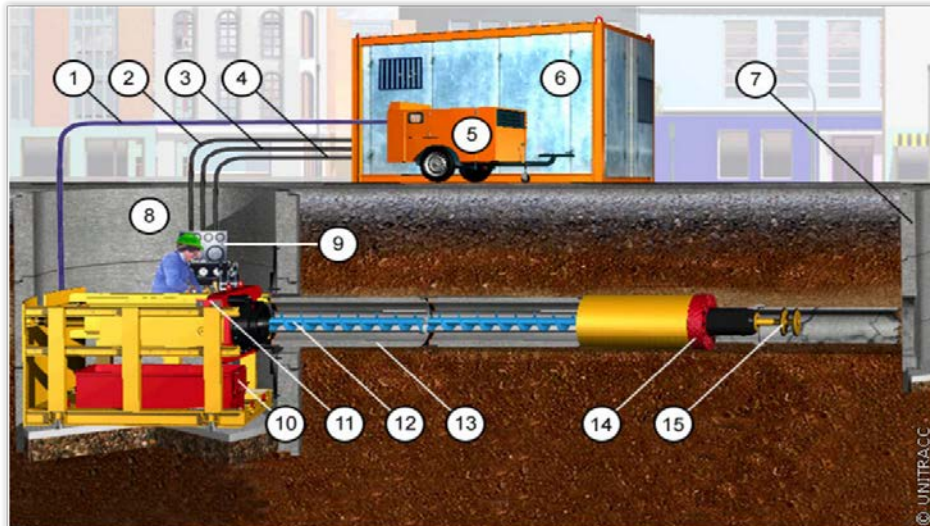
Tunnelointipäätä eteenpäin työntävä voima saadaan aikaiseksi lähtöpisteessä olevalla työntölaitteella/koneella. Työntölaite työntää yksi mikroputki kerrallaan linjaa eteenpäin, mikroputkien kautta työntövoima välittyy tunnelointipäälle asti. Pään kärjessä on usein pilottiputki, joka pitää sen oikeassa linjassa. Pilottiputken lisäksi kärjessä on oltava tiivistyslaippa, tai -laippoja.

Tiivistyslaipoilla on monta tehtävää, ne:

- estävät paineella syötetyn porausnesteen ja murskauslietteen etenemisen vanhaa putkilinjaa pitkin,
- luovat jatkuvasti liikkuvan painekammion tunnelointipään eteen ja
- estävät olemassa olevan putken lietteen tai viemäriveresien kulkeutumisen ympäröivään maaperään.

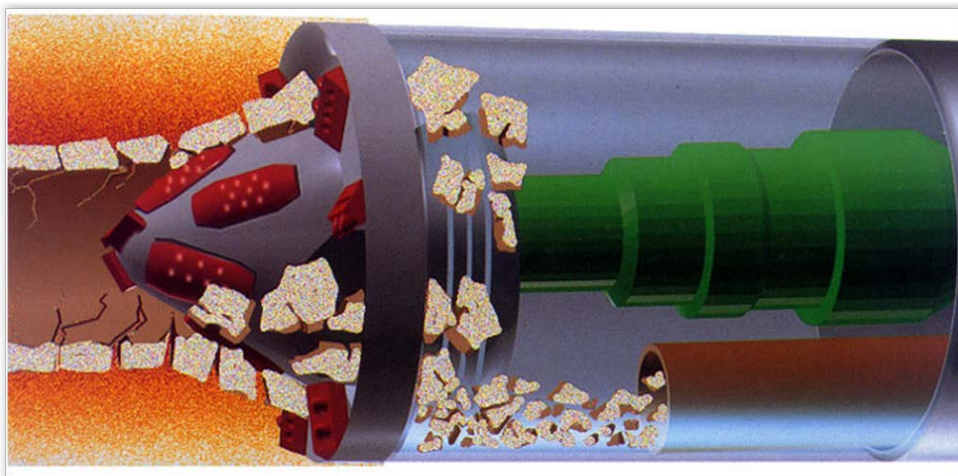
(Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers n.d.)

Mikäli vanhassa putkilinjassa on painumia, tai linjausta halutaan muuttaa paikallisesti, tunnelointipäätä voi olla mahdollista ohjata epäkeskisesti. Se mahdollistaa linjan uudelleenkohdistamisen tai vanhan linjauksen paikallisen korjaamisen. Mikrotunneloivaa pakkosujutusta voidaan käyttää muovi-, valurauta-, savi-, betoni-, asbestisementti-, betoniputkien ja muiden tavanomaisten putkimateriaalien korvaamiseen. Tunnelointipään murskaimessa on kartiomaiset hampaat, jotka mahdollistavat teräsraudoituksen leikkaamisen betoniputkessa. Mikrotunneloiva pakkosujutus soveltuu suuren halkaisijakoon putkisaneerauksiin. Se on sopiva myös kohteisiin, joissa halutaan kasvattaa putken kokoa huomattavasti. (Manual for Controlling and Reducing the Frequency of Pavement Utility Cuts n.d.)



Kuvio 10. Mikrotunneloivan pakkosujutuksen havainnekuva. 1:Paineilmalinja, 2-4:Hydrauliletkuja, 5:Paineilmakompressori, 6:Hydrauliyksikkö, 7:Lopetuspiste, 8:Aloituspiste, 9:Ohjausyksikkö, 10:Lietteen keräysastia, 11:Työntölaite, 12:Ruuvikuljetin, 13:Asennettu mikroputki, 14:Tunnelointipää ja -pään murskain, 15:Pilottiputki ja tiivistyslaipat.

(alkup. kuvio ks. "AVP-Crush-Lining" with reference to [FI-Herreb] - Sketch of principle n.d.)



Kuvio 11. Mikrotunneloivan pakkosujutuksen tunnelointipään murskain. Pää toimii ilman pilottiputkea ja tiivistyslaippoja.

(alkup. kuvio ks. Pipe-Replacer [FI-NLW] - View of the cutting head n.d.)

4 Pakkosujutustekniikan vertailu muiden tekniikoiden kanssa

4.1 Vertailu tavalliseen aukikaivuutekniikkaan

Aukikaivuutekniikka voi olla paras ja edullisin vaihtoehto putken saneerausissa, kun uusittava putki on lähellä maan pintaa ja linjalla olevat maanpinnan muodot ja rakenteet eivät tuota ongelmia. Kuitenkin tällaisissa perustavan laatusisissäkin kohteissa pakkosujutustekniikka voi tuoda merkittäviä etuja auki kaivamiseen verrattuna.

Pakkosujutustekniikan edut ovat huomattavia saneerattaessa syvälle kaivettuja linjoja. Niiden aukikaivuu vaatii suurempia kaivantoja, läjitysalueita ja pohjaveden kontrollointia, joista aiheutuu huomattavia kustannuksia ja ajallisia haasteita. Lisäksi maanalaisten verkostojen määrän kasvaessa entisestään, kuten kaasu, sähköjohdot, valokuitu yms. tulee tarve säilyttää maanalaista tilaa tulevia verkostoja varten. Käyttämällä hyödyksi olemassa olevia vanhoja putkilinjoja uusia rasitteita ei tarvita, ja rakentaminen voi tapahtua vanhaan linjaan. Tavallinen käytäntö aukikaivuu -saneerausissa on ollut, että uudet putkilinjat on rakennettu kokonaan muualle. Vanhat putkilinjat on hylätty, ja päät mahdollisesti tulpattu tai muurattu umpeen. Tällaiset vanhat hylätyt linjat vaikeuttavat tulevaisuudessa maanalaisia verkostonrakennushankkeita.

Muita etuja pakkosujutuksen ja aukikaivuun välillä pakkosujutuksen eduksi ovat epäsuorat säästöt, kuten:

- tarve liikennejärjestelyille vähenee,
- saneeraustyöhön käytettävä aika lyhenee,
- vähemmän häiriöitä alueen ihmisille, kaupoille ja palveluille,
- tiealueiden ja aluerakenteiden palauttamisesta alkuperäiseen kuntoon aiheutuvan työn väheneminen ja
- pienempi tarve maansiirrolle.

Avoimissa kaivannoissa maanpaineen aiheuttamaa voimaa joudutaan vähentämään luiskaamalla kaivantoa etenkin löyhässä maaperässä. Myös kaivannon kanssa samansuuntaisesti kulkevat muut linjat on tuettava kaivamisen ajaksi, ja poikittain kulkeviin

linjoihin tulee helposti painuma. Aukikaivamalla tehtävä saneeraustyö, joka sisältää kestopäällystetyn tien leikkaamista ja kaivuutöitä, voi vähentää päällysteen elinkaarta. Lisäksi kaivuutyö voi aikaansaada lähistöllä maanpinnan painumia.

Jopa silloin, kun pakkosujutustyön urakkahinta on sama aukikaivuu-urakkaan verrattuna, epäsuorien kustannusten ja ympäristön haittojen vähäisyys tekee pakkosujutustekniikasta silti todennäköisesti edullisemman ja kokonaisuutena paremman ratkaisun. (Guideline for pipe bursting 2012, 6.)

4.2 Vertailu muihin NO-DIG-menetelmiin

Yksi merkittävä etu pakkosujutuksessa muihin kaivamattoman tekniikan menetelmiin, esim. muihin sujutustekniikoihin verrattuna, on mahdollisuus suurentaa olemassa olevan linjan kokoa, samalla muodostaen uusi, itsenäinen, uutta putkea vastaava putkilinja. Viemäri- ja vesijohtojen päälinjojen saneeraamista pakkosujuttamalla puoltavat myös haara- ja liitososien kohdat, sillä haarat, kulmaosat sekä liitoksen kohdat kaivetaan auki pakkosujutuksessa ja liitetään manuaalisesti täysin uusilla liitososilla.

Pakkosujutusmenetelmää suositellaan hyväksi vaihtoehdoksi viemäri- ja vesijohtolinjojen saneerauksessa, koska esimerkiksi sukkasujutus pinnoittaa vanhan putken uudella sisäpinnoitteella. Sisäpinnoite seuraa olemassa olevaa putken profiilia ja mahdollisia muodonmuutoksia samalla vähentäen putken sisähalkaisijan mitta. Putkipinnoitustekniikat tarjoavat kaivamattoman tekniikan kunnostusta vanhalle putkelle, mutta pinnoitemateriaali seuraa tiukasti vanhan putken sisäpinnan muotoja kaikkine ongelmakohtineen. Pakkosujutustekniikka tarjoaa mahdollisuuden asentaa kaivamattomasti vanhan putken tilalle vähintään saman sisähalkaisijan mitan kokoisen uuden, tehtaassa kokonaan valmistetun, tarkkaan laatuksellisesti ja käyttötarkoitukseen soveltuvan putken. Pakkosujutustekniikalla on mahdollisuus jopa suoristaa paikallisesti painuneita linjan kohtia, tämä kyky voi olla suuri apu, kun halutaan korjata virheellisiä liitospaikoita tai olemassa olevan putkilinjan painumia.

Sementtilaastivuoraus ja polymeeripinnoitus ovat menetelmiä, joissa vanhan putken sisäpinta täytyy ensin puhdistaa huolellisesti ja videokuvata. Valmistelutöiden jälkeen

voidaan aloittaa pinnoitustyö keskipakovoiman avulla valettavalla sementtilaastilla tai polymeeriepoksilla, jotka palauttavat alkuperäisen putken virtausominaisuuksia ja estävät sitä korrosioitumasta lisää. Kuitenkin, nämäkin menetelmät tarjoavat vähän rakenteellisen kestävyuden parantamista ikääntyneelle putkelle, mikä voi olla kriittinen tekijä hauraalla ja korrosioituneella putkella. Pinnoitusmenetelmiä käytettäessä kattava putken sisäpinnan puhdistustyö saostumien yms. poistamiseksi on välttämätöntä, kun taas pakkosujutustekniikan usein kiinteä tankorakenne mahdollistaa tangon etenemisen raskaasti saostuneiden ja lähes tukkeutuneiden putkien läpi. Tästä syystä käytettäessä pakkosujutustekniikoita, vanhaa linjaa ei yleensä tarvitse puhdistaa lainkaan, mikä säästää valmisteluun käytettävää aikaa ja vähentää kustannuksia.

Pakkosujutettava putki on heti asentamisen jälkeen valmiina desinfiointiin ja painekokeen järjestämiseen. Tarvittaessa pakkosujutettua putkilinjaa voidaan käyttää välittömästi asennuksen jälkeen tilapäiseen vedenjakeeluun, mikäli linjassa on käytetty esidesinfiointia. Pakkosujutus voi olla ainoa kaivamattoman tekniikan keino linjan uusimiseksi, mikäli vanha putkilinja on hyvin hauras ja rakenteellisesti huonossa kunnossa. Jotkut osittain romahtaneet putkilinjat eivät sovi välttämättä edes pakkosujutamiseen. Muistisääntönä voidaan sanoa, että jos hydraulinen vetokone saa työnnettä vetotangot vanhan linjan läpi päätepisteestä alkupisteeseen: linja voidaan pakkosujuttaa, mikäli sille ei ole muita esteitä. (Guideline for pipe bursting 2012, 7.)

5 Huomioitavaa pakkosujutuksen suunnittelussa

Suunnitteluun liittyvät näkökohdat ovat monen eri tekijän summa. Näitä ovat mm. maasto-olosuhteet, pohjaveden korkeus, vanhan ja uuden putken välinen kokoero, vanhan putken materiaali, -tyyppi ja asennussyvyys ja muut linjan lähellä kulkevat tai sen päälle rakennetut rakenteet. Kuten kaikissa kaivamattoman tekniikan rakentamisessa, tietyt tekijät voivat rajoittaa pakkosujutustekniikan toteutettavuutta ja tehokkuutta. Esimerkiksi muut rakenteet ja kohteet voivat rajoittaa vanhan putken murtumista merkittävästi ja aiheuttaa työlle paljon ylimääräisiä kustannuksia. On tärkeää tietää, miten tunnistaa näitä rajoittavia tekijöitä, ja kyetä vertailemaan niiden suhteellista vaikutusta kunkin hankkeen menetelmän valinnassa.

Pakkosujutusta voidaan soveltaa erilaisten putkikokojen, -tyyppien ja -materiaalien kanssa, erilaisissa maaperissä ja käyttöympäristön mukaan. Pakkosujutusta käytetään kansainvälisesti vesi-, kaasu-, hulevesi-, ja muiden maanalaisten putkilinjojen saneeraustekniikkana, putkikoon vaihdellessa 50mm-1000mm välillä. Pakkosujutushankkeen onnistumiseen vaikuttavat mm. suunnittelijan ja urakoitsijan pätevyys, urakoitsijan resurssit, geotekniset olosuhteet (niiden kartoittaminen), olemassa olevan linjan materiaalit, -tyypit, -kunto, pakkosujutettavan linjan pituus ja syvyysasema, sekä vanhan putkilinjan halkaisijan mitta verrattuna uuden putken halkaisijaan. (Guideline for pipe bursting 2012, 8.)

Vanhan putkilinjan alkuperäisten rakennustietojen, muutosten ja korjaushistorian tarkat tiedot sekä tietojen oikeellisuus ovat myös avainasemassa pakkosujutushankkeissa. Vanhoista putkilinjoista on usein vaillinaisesti tietoja; tiedon puuttuminen tai sen virheellisyys aiheuttaa usein hyvin merkittäviä haasteita pakkosujutustyön toteutuksessa. Tehdyt korjaukset voivat olla kokonaan päivittämättä tietoihin, alkuperäinen putken perustamistapa tai jopa materiaali voivat poiketa suurestikin verkostokarttaan ja dokumentteihin merkittävään tietoon verrattuna. Saneerattavan putkilinjan historiatietojen puutteellisuus nostaa huomattavasti pakkosujutushankkeen riskiä ja se riski on osattava huomioida. Historiatietoihin pitää lisäksi suhtautua kriittisesti; ne kannattaakin todentaa oikeellisiksi maastossa tehtävillä tutkimuksilla hankkeen suunnitteluvaiheessa. Nykyisin rakennettavat ja saneerattavat verkostolinjat dokumentoidaan työn aikana tarkasti, siihen käytettävät kartoitus- ja dokumentointitekniikat ovat kehittyneet huomattavasti viime vuosien aikana. Rakennettavan kohten riittävän tarkka ja oikeellinen dokumentointi on erittäin tarpeellinen osa rakentamista ja korjauksia, sitä ei saa unohtaa tai jättää kiireessä tekemättä.

5.1 Vaativuusluokat

Kansainvälinen pakkosujutusyhdistys (IPBA) on luokitellut pakkosujutustyön neljään eri vaativuusluokkaan, jotka ovat helpoimmasta vaativampaan: A, B, C ja D. Tämän

luokituksen tarkoituksena on tukea pakkosujutustyön suunnittelua ja esivalmisteluvaihetta. Kun pakkosujutuksessa halutaan korvata nykyinen putkilinja uudella putkella, jossa on sama tai suurempi halkaisijamitta. Luokittelua voidaan käyttää vertailtaessa vanhan ja uuden putken halkaisijan suhde-eroja, eli voidaan puhua putkikoon suurennusasteesta. Kyseinen suurennusaste kertoo vanhan ja uuden putken sisähalkaisijan erosta eli putkikoon muutoksen suuruudesta. Putkien sisä- ja ulkomitat, ja putkikoot ovat standardoituja mittoja, jotka määräytyvät putkimateriaalin ja linjan käyttötyypin mukaan. IPBA on tehnyt luokituksen 50mm nimelliskokojen portailta eli esimerkiksi 200, 250, 300mm. Pakkosujutustyössä tarvittavan voiman määrä työn toteuttamiseksi on suhteessa siirrettävän maan tilavuuteen: voiman pitää pystyä siirtämään tarvittavan tilavuuden verran maaperää, tai tiivistämään sitä löyhemmän maan suuntaan, mikäli mahdollista. (Guideline for pipe bursting 2012, 8-9.)

IPBA:n mukaista vaativuusluokitusta luetaan niin, että kukin vaativuusluokka täyttyy, mikäli yksikin seuraavaksi esitetystä reunaehdoista täyttyy:

A: Helppo

- Uuden putken sisähalkaisija on lähellä vanhan putken sisähalkaisijaa
- Pakkosujutettavan linjan pituus alle 100m
- Laaja vanha kaivanto verrattuna avartimen kokoon
- Maaperä tiivistyvää esim. löyhä hiekka, -savi
- Vanhan linjan syvyys alle 3m, sisähalkaisija 50-300mm

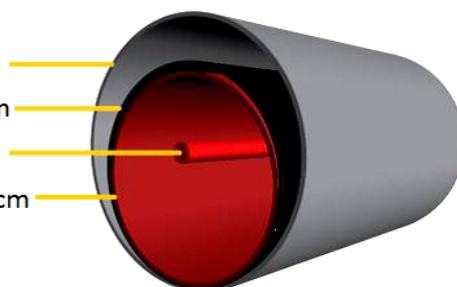
A- luokan pakkosujutus

Avarrin 30cm

Uusi putki ulkoh. 22cm

Keskilinja

Vanha putki sisäh. 20cm

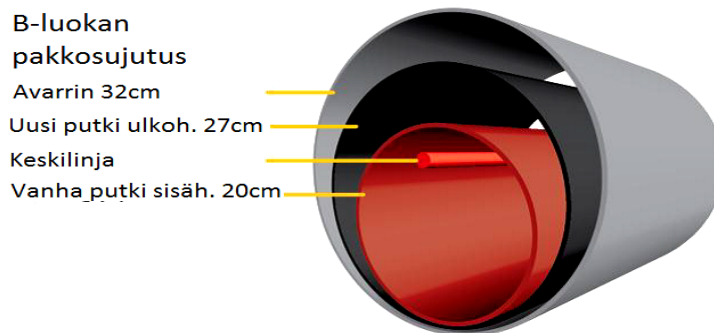


Kuvio 12. A-luokan havainnekuva.

(alkup. kuvio ks. Guideline for pipe bursting 2012, 9, muokattu.)

B: Kohtalainen

- Putken sisähalkaisija kasvaa noin 50mm
- Pakkosujutettavan linjan pituus 100-150m
- Vanha kaivanto vähintään 20cm leveämpi kuin avarrin
- Maaperä täytön ympärillä kohtalaisen tiivistä esim. tiivis moreeni
- Vanhan linjan syvyys 3-5m, sisähalkaisija 300-450mm

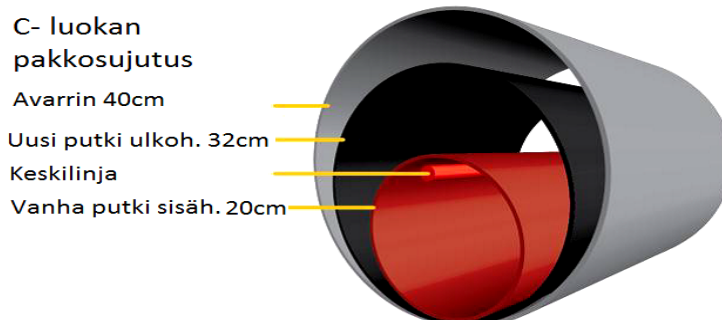


Kuvio 13. B-luokan havainnekuva.

(alkup. kuvio ks. Guideline for pipe bursting 2012, 9, muokattu.)

C: Haastava

- Putken sisähalkaisija kasvaa noin 100-150mm
- Pakkosujutettavan linjan pituus 150-300m
- Vanha kaivanto hyvin kapea
- Maaperä täytön ympärillä hyvin tiivistä esim. kalliokanaali, erittäin tiivis maa
- Vanhan linjan syvyys yli 5m, sisähalkaisija yli 450mm



Kuvio 14. C-luokan havainnekuva.

(alkup. kuvio ks. Guideline for pipe bursting 2012, 9, muokattu.)

D: Kehitettävä luokka

Perustuu tapaukseen, jossa uuden putken halkaisijaa kasvatettaisiin yli 150mm. Kyseinen putkikoon kasvattaminen on mahdollista toteuttaa tietyissä olosuhteissa, mutta hanke on suunniteltava ja valmisteltava huolellisesti, sillä uudelle putkelle tilan tekemiseksi tarvittavat voimat ovat hyvin suuria ja maaperän muutoksen riskit kasvavat. (Guideline for pipe bursting 2012, 9-10.)

5.2 Huomioitavia asioita, jotka rajoittavat maaperän suotuisuutta

Geotekniset olosuhteet ovat hyvin olennainen osa kaikkia maanrakennushankkeita. On tärkeää, että kohteesta kerätään tarkat maaperän tiedot ennen hankkeeseen ryhtymistä. Tiedot ovat kriittinen tekijä valittaessa käytettävää pakkosujutusmenetelmää. Geotekniikassa maaperän koostumus jaetaan kolmeen eri elementtiin: mineraalit, vesi ja ilma, maaperän onkalot ja mineraaliosasten välillä oleva tila sisältää vettä ja ilmaa. Maaperän teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat neljä eri päätekijää: mineraaliosasten vallitseva koko, -tyyppi, -raekoko, ja mineraalien suhteellinen määrä verrattuna veden ja ilman määrään. Pakkosujutuksessa on edullista, että maaperään avarrettu tila eli *onkalo*, pysyy suurelta osin auki, kunnes uusi putkilinja on asennettu kokonaan paikalleen. Tämä vähentää sujutustyön aikana uudelle putkelle aiheutuvaa kitkaa ja alentaa sille aiheutuvaa vetojännitystä. Avarretun tilan pysyvyys vähentää siis laitteistolta vaadittavaa vetovoimaa, pienentäen samalla laitteiston ja uuden putkilinjan vahingoittumisriskiä työn aikana.

Hiukan monimutkaisempia maaperän olosuhteita pakkosujutukselle ovat hyvin tiivistyneet ja tiivistetyt maat, kalliokanaalit, teräväkulmainen, suurirakeinen kiviaines lähellä putkilinjaa ja pohjaveden pinnan alapuolella toimiminen. Jokaisella näistä maaperän ominaisuuksista on taipumusta lisätä pakkosujutuksessa tarvittavaa voimaa. Kun maaperän olosuhteet aiheuttavat korkeaa kitkaa uudelle putkilinjalle, tai pakkosujutettava matka on tarpeeksi pitkä, bentoniitti- tai polymeerivoiteluun perustuvia seoksia voidaan käyttää avarrintyökalun avaamassa tilassa. Seoksen ruiskuttaminen tukee onkalon pysyvyyttä ja vähentää uudelle putkelle aiheutuvaa kitkaa.

Jos putken ympärillä on tapahtunut maaperän eroosiota, pakkosujutuslaitteisto ja sitä seuraava uusi putki pyrkii syrjäyttämään edellään olevaa maaperää löyhemmän maaperän suuntaan. Tilanteissa, joissa vanha putkilinja on asennettu suhteellisen matalalle maanpintaan nähden, pakkosujutuslaitteisto pyrkii syrjäyttämään maata ylöspäin maanpinnan suuntaan. Sen seurauksena uuden putken alapinta asettuu vanhan putken alapintaan nähden hieman ylemmäs. Mikäli vanha linja on verrattain syvällä, maaperä pyrkii siirtymään putken säteen suuntaan, eli tasaisesti putken ympärille. Näin ollen uuden putken keskikohta asettuu lähes samalle kohdalle vanhaan putkeen nähden. Geoteknisten olosuhteiden oleellinen muutos pakkosujutettavan linjan matkalla voi aiheuttaa paikallisia muutoksia putken kaltevuuteen ja linjaan.

Pohjavesiolosuhteet voivat lisätä hankkeen vaativuutta kaikissa maanrakennushankkeissa, tämä ei tee poikkeusta pakkosujutuksessakaan. Pakkosujutuksessa pohjavesiolosuhteet voivat vaikeuttaa työtä sekä käytännön että teknisen toteutuksen kannalta. Tietyissä maaperäolosuhteissa pohjavedellä voi olla kelluttava ja voiteleva vaikutus, mitkä voivat olla jopa eduksi pakkosujutustöissä. Kuitenkin pohjaveden liikkeet voivat myös aiheuttaa avarretun onkalon nopean sortumisen takaisin. Hankesuunnitteluvaiheessa geoteknisessä maaperätutkimuksessa onkin siis hyvin tärkeää selvittää myös alueella vallitsevat pohjavesiolosuhteet. Pakkosujutustyön aikana aloitus- ja lopetuspisteet on pidettävä kuivina, että työntekijät voivat käyttää pakkosujutuslaitteistoa ja asentaa uusia putkia laadukkaasti ilman pohjaveden aiheuttamia häiriöitä. Pohjaveden poiston erityisvaatimukset olisi hyvä olla osa työsuunnitelmaa, siihen sisällytettynä asianmukaiset suunnitelmat veden pois saattamiseksi kaivannoista. (Guideline for pipe bursting 2012, 10–11.)

6 Pakkosujutuksen vaikutukset

6.1 Uuden putken sijoittuminen

Uusi putki seuraa luonnollisestikin vanhan putken linjaa ja kallistusta useimmissa olosuhteissa ja tapauksissa. Kuitenkin uuden ja vanhan putken keskipisteet ovat harvoin

samassa kohdassa, vaikka putkikoko pysyisi samana, sillä uuden putken korkeusasemaan ja linjaan vaikuttaa yleensä maaperän ominaisuudet mm. heterogeenisuus ja käytettävä pakkosujutusmenetelmä. Kallistuksen riittävyys uudessa pakkosujutetussa linjassa voi muodostua ongelmalliseksi, mikäli vanhat putken on asennettu vähimmäiskallistuksella ja linjaan on aiheutunut painumia. Silloin on tärkeää pyrkiä ennakkoimaan maaperän liikkeitä ja sen seurauksena tapahtuvia uuden putken sijainnin muutoksia. Uuden putkilinjan asema lähellä aloitus- ja lopetuspisteitä voivat poiketa huomattavastikin alkuperäiseen putkeen verrattuna. Pakkosujutuksessa on mahdollista käyttää rikotuspään edellä kulkevaa pilottiputkea/kärkeä, joka auttaa pitämään pakkosujutusputken oikeassa asemassa vanhaan linjaan nähden.

Kova maaperä tai kallio olemassa olevan putken alapinnan lähellä voi jopa estää alapuolelle jäävän putkiosan rikkoutumisen. Putkikoon kasvattamisen tilanteissa tämä voi aiheuttaa sen, että pakkosujutusputki ajautuu vanhan linjan lakikohdan yli. Sen seurauksena uusi putkilinja voi asettua selvästi eri kohdalle vanhaan linjaan verrattuna. Tämä ongelma on kuitenkin käytännössä minimoitu kehittämällä rikotuspää- ja halkaisutyökaluja niin, että ne edistävät paremmin alapuolelle jäävän putken rikkoutumista. (Guideline for pipe bursting 2012, 11–12.)

6.2 Vanhan putken sirpaleiden sijoittuminen

Olemassa olevan putken hajotuksen seurauksena tulevien sirpaleiden koko, muoto ja sijainti ympäröivässä maaperässä, pakkosujutustyön aikana ja sen jälkeen vaihtelee tapauskohtaisesti. Yleisesti ottaen putki rikkoutuu hyvin erilaisiin osasiin. Vanhan putken osasilla on taipumus asettua joko avarretun tilan sivuille ja pohjalle tai tasaisesti koko ympäröivään maaperään. Vanhan putken palaset sijoittuvat yleisesti ottaen lähelle uuden putken pintaa, mutta kuitenkin usein irti siitä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että avartamisen aikana tapahtuu ns. maaperän virtaamista; Avarrinlaite omaa suuremman halkaisijamitan kuin vanha putki, joten se työntää vanhan putken palaset irti toisistaan. Sen seurauksena niiden väli täyttyy maaperällä, ja avartimen jälkeen maaperä asettuu uuden putken ja vanhan putken sirpaleiden väliin.

Yleinen oletus pakkosujutusmenetelmään liittyen on, että vanhan valurauta-, tai metalliputken sirpaleet voivat leikata tai vahingoittaa uutta muoviputkea asennusvaiheessa tai tulevan käyttönsä aikana. Asennettavan putken ulkopinnan naarmuuntuminen on väistämätöntä pakkosujutuksessa, mutta se ei yleensä ole vakava ongelma. Uuden putken naarmuuntumisen aiheuttamaa riskiä voidaan pienentää valitsemalla asennettavaksi paksuseinäistä putkimateriaalia. Riskin vähentämiseksi on myös kehitetty erityisesti pakkosujutuskäyttöön soveltuvia putkimateriaaleja, joiden pinnassa on ns. *uhripinnoite*, mikä estää varsinaisen toiminnallisen putken vahingoittumisen pakkosujutustyön aikana. (Guideline for pipe bursting 2012, 12.)

6.3 Ympäristäytön ja maaperän asettuminen

Kaikki pakkosujutustekniikat ja työt aiheuttavat maaperän liikkeitä. Jopa saman koon pakkosujuttamisesta aiheutuu liikettä, sillä avarrintyökalun halkaisijan on oltava suurempi kuin vanhan putken suurin ulkohalkaisija. Maaperän liikkeet eivät yleensä aiheuta suurta vaivaa pakkosujutuksen aikana tai työn jälkeen. Maaperän siirtymät alkavat avarrintyökalun edessä, jatkuen siihen suuntaan, minne ympäristäytössä on tilaa.

Suhteellisen homogeenisessa maaperässä, jossa putkilinjan lähellä ei ole jyrkkiä maaperän laadun muutoksia, matalalle asennetussa putkessa maaperän siirtymät suuntautuvat todennäköisimmin ylöspäin maan pinnan suuntaan. Syvään asennetussa putkessa maaperän siirtymät ovat oletettavasti tasaiset joka suuntaan putken keskipisteestä katsottuna. On monen eri tekijän yhdistelmä, kohoileeko maan pinta pakkosujutustyön aikana. Jos olemassa oleva maa on löyhää hiekkaa, tai kohteessa on suhteellisen tuore kaivannon täyttö, joka vielä asettuu, pakkosujutusprosessi voi edetä helpommin ilman suuria maaperän siirtymiä tai maanpinnan kohoiluja. Jos maaperä on hyvin tiivistynyttä ja vanha putkilinja ei ole syvällä, on selvää, että pakkosujutus aiheuttaa maan pinnan muutoksia. Tämä ilmiö on todennäköinen etenkin, jos putken kokoluokkaa kasvatetaan. (Guideline for pipe bursting 2012, 12–13.)

6.4 Vaikutukset läheisille rakenteille

Pakkosujutustyössä tapahtuvat maaperän liikkeet voivat vahingoittaa lähellä olevia linjastoja ja rakenteita. Lähellä olevat hauraat putkilinjat ovat alttiimpia vakaville vahingoille, ja mekaaniset hauraat liitokset voivat alkaa vuotamaan maaperän liikkeiden seurauksena. Viereiselle putkilinjalle pakkosujutuksesta aiheutuvan haitan suuruus riippuu putken sijainnista pakkosujutustyöhön nähden, rinnakkain kulkevalle linjalle aiheutuu vähintäänkin ohimeneviä taipumia tai jännityksiä. Jos läheinen putki risteää pakkosujutettavan linjan kanssa, risteävään linjaan aiheutuu todennäköisimmin paikallista taivutusjännitystä, sillä sitä työnnetään pois päin. On siis hyvin tärkeää, että pakkosujutettavan linjan lähellä olevat muut rakenteet selvitetään tarkasti ennen pakkosujutustyön aloittamista, ja arvioidaan aiheutuvat riskit niiden sijainnin ja materiaalien perusteella.

Muistisääntönä voidaan pitää, että horisontaalinen ja vertikaalinen etäisyys pakkosujutettavasta putkesta muihin lähellä oleviin linjoihin ja rakenteisiin nähden on oltava vähintään kaksi kertaa pakkosujutettavan putken halkaisijan mitta. (Guideline for pipe bursting 2012, 13–14.)

7 Olemassa oleva putkilinja

7.1 Putken materiaali

Olemassa olevat putkimateriaalit luokitellaan usein murtuviksi ja ei-murtuviksi, mikä määrittää putkeen käytettävää pakkosujutusmenetelmää: käytetäänkö staattista voimaa vai pitääkö olla myös leikkaavaa voimaa. On myös tärkeää selvittää, sisältääkö vanha putki ympäristölle haitallisia aineita, täytyykö käyttää sovellettuja pakkosujutusmenetelmiä vanhan putkimateriaalin pois saamiseksi vai voidaanko hajotetun putken palat jättää maaperään. Murtuvia putkimateriaaleja on esimerkiksi valurauta, savi, sementti, tiili jne., murtumattomiin materiaaleihin kuuluu mm. pallografiittivalurauta, teräs ja HDPE.

Yleisimpiä putkimateriaaleja, ja niiden pakkosujuttamisen ominaispiirteet:

- Saviputket: käytetty yleisesti viemärilinjoissa
 - Sopivat hyvin pakkosujutettavaksi
- Sementti/betoniputket: käytetty useissa eri käyttötarkoituksissa
 - Sopivat yleensä hyvin pakkosujutettavaksi
 - Betoniputken seinämän huomattava paksuus, raudoitusteräket ja korjausvalut aiheuttavat haasteita pakkosujutuksessa
- Valurauta: käytetty kaikissa eri käyttötarkoituksissa
 - 80-luvulla rakennetut, ja sitä vanhemmat putkilinjat soveltuvat yleensä hyvin pakkosujutettavaksi
 - Putken korjauspannat, risteys/jälkiliitossatulat ja liitokset ovat yleisiä valurautaputkissa, ne on otettava huomioon
- Pallografiittivalurauta ja teräs: käytetty useissa eri käyttötarkoituksissa
 - Yleensä vahvoja ja sitkeitä
 - Pakkosujuttaminen mahdollista, mutta vaatii käytettäväksi halkaisevaa pakkosujutusmenetelmää ja suurta laitteiston voimaa.
- PVC, MDPE, HDPE- ja muut muoviputket: yleisesti käytettyjä
 - Sopivat hyvin saneerattavaksi pakkosujuttamalla, kun yhdistetään pakkosujutusmenetelmiä
 - Tärkeää määrittää olemassa olevan putken luokka, ja sen perusteella mitoittaa pakkosujutuslaitteisto
- Poimutetut kerrosrakenteiset metalli- ja muoviputket
 - Eivät yleensä ole ongelmattomia perinteisessä pakkosujuttamisessa, kuitenkin sovelletuilla tekniikoilla monikerrosputkien pakkosujuttaminen on tullut helpommaksi

(Guideline for pipe bursting 2012, 14–15.)

7.2 Syvyys ja linja

Olemassa olevan putken syvyys on kriittinen tieto suunniteltaessa pakkosujutusta, sillä maaperän tyypit ja vallitsevat olosuhteet vaihtelevat syvemmälle mentäessä.

Maan sisällä voi olla muuttujia, joilla voi olla perusteellisia vaikutuksia pakkosujutus-työlle. Nämä muuttujat eivät rajoitu pelkästään putken syvyytasemaan, vaan ongelmia voi aiheutua muistakin tekijöistä, kuten maaperän tiiveys, siirtymättömyys yms. Kuitenkin syvyytseikat liittyvät eniten pakkosujutusvoiman ennakoituun tarpeeseen. Putkilinjan yläpuolella oleva maa voi aiheuttaa uudelle putkelle huomattavaa kitkaa, mikäli maaperä romahtaa heti avartimen jälkeen. Kohtisuora kokonaispaino yhdistettynä maaperän ja putken väliseen kitkakertoimeen määrittää maaperän aiheuttamaa kitkavastusta. Se pitää lisätä voimaan, mikä tarvitaan olemassa olevan putken murtaamiseen sekä putken kappaleiden ja maaperän syrjäyttämiseen avartimella. Yksinkertaisen laskukaavan avulla voidaan määrittää maan liikkeiden vaikutusalueen mittaa, joka perustuu siirtyvän maan määrään tietyn täytön korkeuden vaikuttaessa: (Avartimen ulkomitta – olemassa olevan putken sisähalkaisija) x12 =laskennallinen putken syvyyden minimiarvo. Mikäli putken syvyys on vähintään tämä laskennallinen arvo, maan pinnan liikkeet ovat hyvin epätodennäköisiä.

Alkuperäisen putkilinjan tietojen hankkiminen ovat olennainen edellytys määriteltäessä putkilinjan saneerausessa käytettävää pakkosujutusmenetelmää. Pakkosujutustyö seuraa olemassa olevan putken linjaa tai linjaa, missä on vähiten vastusta. Yleensä pieniä ja paikallisia korkeusaseman vaihteluita voidaan vähentää pakkosujutuksella, mutta suuremmat vaihtelut jäävät usein uuden putken linjaan asennuksen jälkeenkin. (Guideline for pipe bursting 2012, 16.)

7.3 Liitos- ja haaroituskohdat

Liitokset ja haaroitukset on kaivettava esille tai toteutettava niitä varten rakennetuissa huoltokaivoissa. Kaivot sijaitsevat usein olemassa olevan linjojen päissä. Niitä on mahdollista hyödyntää pakkosujutushankkeessa joko aloitus- tai lopetuspisteenä, jolloin voidaan säästyä kaivamistyöltä. Huoltokaivot ovat yleensä melko pieniä, mutta mitoitettu riittäväksi uuden haaroituskappaleen liitostyön tekemiseksi. Välikaivot tai -kaivannot on oltava valmiina ennen pakkosujutustyön aloittamista. Itse sujutustyön aikana on kiinnitettävä huomiota pakkosujutuslinjan etenemiseen huoltokaivon tai -kaivannon kohdalla. (Guideline for pipe bursting 2012, 21–22.)

7.4 Muut tekijät

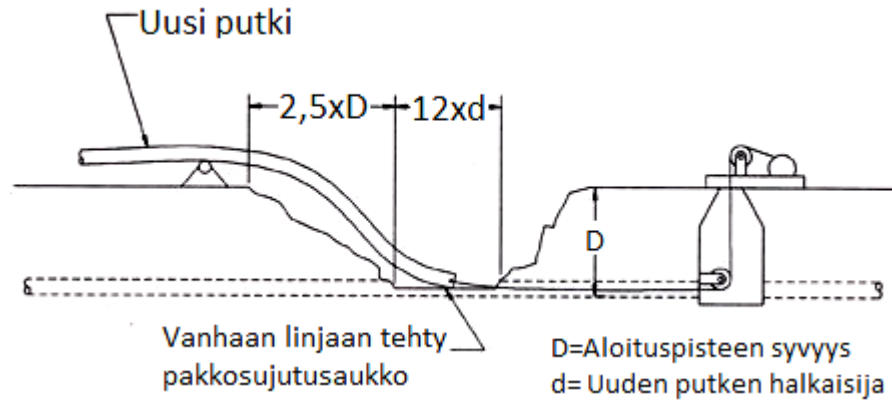
Pakkosujutus voidaan joskus suunnitella ja toteuttaa putkilinjalle, jossa on vertikaalisia tai horisontaalisia kaarteita, ja niitä on onnistuttu toteuttamaan erilaisia pakkosujutusmenetelmiä käyttämällä. Kriittistä suunnittelussa ja toteutuksessa on huomioida se, miten vanhan linjan tiedetty kaarevuussäde heijastaa pakkosujutustyön suunnitteluun. Tämä tieto on tärkeää vetotangoston ja uuden putkimateriaalin pienimmän sallitun taivutussäteen kannalta. Myös loivat mekaaniset kulmaosat on paikannettava etukäteen, sillä niiden läpi pakkosujutusta ei voi edes harkita toteutettavan. Lisäksi lukkomuhvit saattavat vaikeuttaa pakkosujutusta (Kaukonen 2017). Vanhan putken korjaushistoria on huomioitava, ja korjatut kohdat paikallistettava tarkkaan esim. videokuvaamalla. Korjauskohta voi sisältää raskaan korjauspannan ja/tai teräsbetonivahvikkeen, mitkä todennäköisesti pysäyttävät pakkosujutuksen etenemisen. Asianmukaisella hankkeen suunnittelulla ja valmistelulla kyseiset kohdat voidaan pakkosujuttaa onnistuneesti.

Putken sisällä tai ulkopuolella olevat huomattavat esteet kuten raskaat kiintoaineet, puun juuriston tunkeutuminen putkeen/putken ympärille tai romahtanut putkilinja voivat estää pakkosujutuksen etenemisen kohdan läpi. Jos estettä ei voida poistaa kaivamattomin menetelmin, kohta voi olla tarpeellista ottaa esiin aukikaivamalla ja suorittaa esteiden poistaminen mekaanisesti ennen pakkosujutusta. Ilman sitä pakkosujutustyö voi hidastua huomattavasti tai jopa pysähtyä. Riskinä on myös laitteiston tai uuden putkimateriaalin rikkoutuminen. (Guideline for pipe bursting 2012, 17.)

7.5 Aloituspiste

Lähtö- eli aloituspiste on sitä varten tehty kaivanto, tai olemassa oleva tarkoitukseen sopiva kaivo, joka soveltuu uuden putken liitostyöhön ja pakkosujutuspannän laitteiston asentamiseen vanhaan linjaan. Pakkosujutettavan putken koosta tai taivutussäteestä johtuen aloituspiste on lähes aina kaivanto, oli kyseessä sitten jatkuva putki tai irtoputki. Aloituskaivannossa on oltava riittävä tila uuden putken liitostyön tekemiseksi, mikäli käytetään irtoputkia. Jatkuvat putket on voitava syöttää maan pin-

nalta olemassa olevaan, avarrettuun putken linjaan. Siinä on hyvin tärkeää huomioida uuden putken taivutussäde, että aloituskaivanto on riittävän pitkä. (Guideline for pipe bursting 2012, 20–21.)



Kuvio 15. Esimerkki lähtökaivannon koon mitoittamiseksi pakkosujutettaessa jatkuva putkimateriaalia.
(alkup. kuvio ks. Guideline for pipe bursting 2012, 21, muokattu.)

7.6 Lopetuspiste

Lopetus- eli päätöspiste on sitä varten tehty kaivanto, tai olemassa oleva kaivo, mistä on mahdollista vetää pakkosujutettavaa linjaa, ottaa pakkosujutus pää vastaan ja pois linjasta. Lopetuskaivannon koon tarve vaihtelee suuresti, riippuen olennaisesti siitä millaista pakkosujutuslaitteistoa käytetään. Pneumaattista pakkosujutusta käytettäessä suuret kaivot ovat useasti riittävän suuria lopetuspisteeksi, kun uuden linjan putken halkaisija on alle 30cm. Lopetuskaivanto täytyy yleensä tehdä, mikäli putken halkaisija on yli 30cm.

Staattisessa pakkosujutusmenetelmässä käytettävä tangoston/kaapelin vetokone ja siihen liittyvät laitteet on kiinnitettävä ja ankkuroitava asianmukaisesti niin, että vetokone voi tuottaa huomattavan suuria horisontaalisia voimia ilman, että laite siirtyy itse huomattavasti. Tämä voi edellyttää lopetuskaivannon tai -kaivon seinämältä asianmukaisia ja riittävän kestäviä tukirakenteita. Kullakin pakkosujutusmenetelmällä on omat vaatimuksensa aloitus- ja lopetuspisteiden suhteen. (Guideline for pipe bursting 2012, 21.)

7.7 Pakkosujutuspuisteiden lukumäärä ja linjan pituus

Aloitus- ja lopetuspuisteiden lukumäärä on pyrittävä minimoimaan ja niiden välinen etäisyys maksimoimaan; etäisyyden rajoittavana tekijänä on kuitenkin pakkosujutuslaitteiston tehokkuus ja uuden putkimateriaalin vetojännityksen kestävyys. Viemäri- linjojen saneeraustyössä kerralla pakkosujutettava matka on usein kaivosta kaivoon. Suoralla linjalla olevan kaivon läpi voidaan suorittaa pakkosujutustyö, mikäli asianmukaiset valmistelutyöt on suoritettu. Vesijohtolinjojen saneerauksessa kerralla pakkosujutettava matka on usein venttiilien väli tai muu suora linjan kohta, esimerkiksi haarasta haaraan.

Pakkosujutukselle ei voi määritellä ”vakiomatkaa”, mikä sopisi kaikkiin putkityyppisiin, -materiaaleihin, kaikissa maaperissä ja tilanteissa. Kuitenkin voidaan sanoa, että yleensä kerralla pakkosujutettava matka runkoputkille on 90-150m välillä, ja 20-60m sivuhaaroille. On tärkeää huomioida, että varsinainen kerralla pakkosujutettava matka perustuu maaperän olosuhteisiin, uuden putken materiaalivalintoihin ja sitä kautta putken sallittuihin vetojännityksiin sekä moneen muuhun tekijään. (Guideline for pipe bursting 2012, 22.)

7.8 Mahdolliset haasteet

Olemassa olevien linjojen pakkosujutustyö ei aina onnistu, kuitenkin monissa tapauksissa korjaaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä, mikäli projektiryhmällä on ymmärrystä pakkosujutustekniikasta.

Mahdollisia haasteita, joita voi esiintyä pakkosujutustyön aikana:

A) Olemassa olevan putken romahtaminen ennen pakkosujutustyötä:

Vaikka ennen pakkosujutustyötä tehtävässä linjan tarkastelussa tai arvioinnissa putken kunto olisi todettu riittäväksi, hauraassa linjassa muutokset voivat tapahtua nopeasti. Jos olemassa oleva putkilinja on romahtanut osittain ennen pakkosujutustyön aloitusta, romahtaneita kohtia voidaan joutua kaivamaan esille niin, että vetotangosto tai -kaapeli saadaan vietyä linjan läpi.

- B) Vanhan putken suunta, linja, materiaali tai koko on toteutettu poikkeavasti: Pakkosujutusmenetelmää tai käytettäviä työkaluja voidaan joutua muuttamaan, sillä niiden valinta perustuu olemassa olevan linjan todelliseen kokoon ja materiaaliin. Huomattavat linjan poikkeavuudet voivat aiheuttaa linjan auki kaivamisen.
- C) Maan pinnan kohoaminen tai painuminen:
Liian suuri maanpinnan kohoama voi syntyä, kun olemassa olevan linjan syvyys, eli täytön korkeus ei ole riittävä. Tilavuudeltaan suuret maaperän siirtymät voivat aiheuttaa välitöntä maan pinnan kohoamista pakkosujutustyön aikana. Kuitenkin tällaiset kohoamat tasoittuvat yleensä ajan myötä. Painumia voi ilmetä, mikäli linjan alla on olemassa tyhjää tilaa tai onkaloita. Lisäksi tietyissä maaperän olosuhteissa pakkosujutustyö voi aiheuttaa maaperän konsolidaatiota, mikä aiheuttaa mahdollisia maan pinnan painumia.
- D) Olemassa olevan linjan odottamattomat muutokset suunnassa tai kaarevuudessa, mitkä ylittävät suunnitteluvaiheessa havaitut arvot:
Staattista pakkosujutusmenetelmää käytettäessä olemassa olevan putkilinjan kaarevuudet ja muutokset voivat olla haaste asennettaessa vetotangostoa linjaan ja uuden putken asennuksessa. Pienimmän sallitun taivutussäteen alitus voi aiheuttaa vahinkoa tangostolle tai uudelle putkimateriaalille, ja voi siten keskeyttää koko pakkosujutustyön.
- E) Pakkosujutusvoiman tarpeen liiallinen kasvu:
Ennakoimattomat muutokset voivat aiheuttaa pakkosujutustyötä jatkavan voiman kasvamisen suuremmaksi mitä vetovoimaa tarjoavan koneen tuottaa. Kasvu johtuu usein muutoksista olemassa olevassa putkimateriaalissa tai -linjassa, merkittävistä maaperän muutoksista, olemassa olevan linjan suoja-putkituksista tai liian pitkän putkilinjan pakkosujuttamisesta kerralla. Myös pakkosujutustyön pitkä keskeytys voi aiheuttaa tarvittavan voiman kasvamisen liialliseksi.

F) Odottamattomat tai yllättävät esteet:

Verkostokarttaan merkitsemättä jääneet mekaaniset satulat tai korjauspannat, betonivahvikkeet ja putken liikettä estävät lohkot aiheuttavat todennäköisesti haasteita. Raskas puiden juuristo putken ympärillä ja huomattavasti toisistaan pois siirtyneet liitokset ovat potentiaalisia pakkosujutustyön toiminnan pysäyttäjiä.

G) Lähellä olevat rakenteet, jotka ovat mahdollisen vaikutusalueen sisäpuolella:

Pakkosujutuksen vaikutusalueella olevat muut rakenteet ja linjat havaitaan monesti vasta pakkosujutustyön aikana, kun ne ovat vahingoittuneet työn seurauksena. Jos muun rakenteen tai linjan tarkka sijainti, koko, tyyppi tai etäisyys pakkosujutettavaan linjaan ei ole riittävällä tarkkuudella selvillä, ne voivat aiheuttaa huomattavaa haittaa pakkosujutustyölle.

H) Uuden putken vahingoittuminen asennuksen aikana:

Asennettava putkilinja voi vaurioitua ennen pakkosujutustyötä, tai pakkosujutustyön aikana. Vahingot voivat olla seurausta putken virheellisestä käsittelystä putkimateriaalin siirtojen aikana, liian pienestä taivutussäteestä pakkosujutustyön aikana, hankauksesta tai raahaamisesta maata vasten, sallitun vetojännityksen ylittymisestä asennustyön aikana, tai vanhan putken palasista.

I) Ennakoimattomat geotekniset olosuhteet:

Merkittävät maaperän muutokset pakkosujutettavalla matkalla voivat aiheuttaa haasteita ja muuttaa pakkosujutustyön luonnetta. Geotekninen tutkimus tulisi tehdä koko pakkosujutettavalle matkalle, ja erityistä huomiota on kiinnitettävä maaperän laatuun nykyisissä kaivannoissa ja niiden vieressä.

J) Kapea kaivannon geometria:

Tieto alkuperäisen kaivannon tyypistä on tärkeä lähtökohta suunniteltaessa pakkosujutustyötä, ja valittaessa, mitä menetelmiä työssä on tarkoitus käyttää. Maan laajentumisen vastustuskyky voi lisätä huomattavasti tarvittavia

voimia, ja se voi aiheuttaa pakkosujutuspään linjauksen muutoksia sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti.

K) Saastuneet maaperät:

Jos maaperä on todettu saastuneeksi, se vaatii erityislupaa tai puhdistusta. Saastunut maaperä voi vaikuttaa myös pakkosujutuksen toimivuuteen ja aika-
tauluun. On myös usein tarpeellista muuttaa asennettavan putken materiaalia, sillä kaikki materiaalit eivät sovellu käytettäväksi saastuneissa maissa.

L) Voiteluaineen häviäminen /vähäisyys:

Jos pakkosujutuksessa käytetään voiteluaineita edistämään työtä tai vähentämään maaperästä uudelle putkelle aiheutuvaa kitkaa, on mahdollista että voiteluneste katoaa putken ympärillä maaperässä oleviin huokosiin tai onkaloihin. Voi olla myös muita geoteknisiä olosuhteita, jotka aiheuttavat voiteluaineen pakenemisen avarretusta linjasta. Nesteen vähentyminen tai häviäminen voi aiheuttaa liiallisia asennusvoimia tai rasituksia.

M) Liiallinen vetokoneen tukimuurin tai kaivon siirtymä vedon aikana:

Suurien vetovoimien vuoksi hydraulinen vetokone vaatii staattista ja tukevaa vastapenkkaa. Mikäli vastapenkka tai kaivon seinä ei kestä vetokuormaa, pakkosujutustyö voidaan joutua keskeyttämään ja tekemään muutoksia vetokoneen asennukseen.

(Guideline for pipe bursting 2012, 24–26.)

8 Uuden putkimateriaalin valinta

8.1 Asennettavan putken kriittiset tekijät

”Pakkosujutustekniikan uudelle putkelle aiheuttamat olosuhteet ovat monella tapaa hallitsemattomia, ja siksi putken lujuus on syytä mitoittaa moninkertaisella varmuudella” (Andersin 2017.)

Pakkosujutetulta putkelta halutaan yleisesti sama rakenteellinen käyttöikä, mitä auki kaivaen asennetulta putkelta voidaan odottaa; vaikkakin pakkosujutuksessa putken ulkopintaan aiheutuu vähintäänkin naarmuja vanhan putkimateriaalin sirpaleista tai terävistä kivistä. Normaali uuden putken käyttöikäodotus on nykyisin noin sata vuotta, jopa enemmänkin. Pakkosujutuksessa käytettävän putkimateriaalin valinta perustuu isoihin materiaalin varmuuslukuihin, eli tietoiseen huomattavaan ylimitoitamiseen. Putkimateriaalin kestävyys ylimitoitus perustuu siihen, että hyvin suurella todennäköisyydellä putkeen aiheutuu sitä heikentäviä naarmuja ja pistemäisiä kuormia pakkosujutustyössä, sekä sen käyttöiän aikana. On selvää, että pakkosujutuksessa saa käyttää vain siihen erityisesti suunniteltuja putkimateriaaleja ja -tyyppejä. Mm. putken materiaali, paineluokka ja liitostekniikat ovat kriittisiä tekijöitä pakkosujutettavan putken valinnassa.

Lisäksi pakkosujutukseen soveltuvilla putkimateriaaleilla on suurimmat sallitut vetojännitykset, mikä on keskeinen tekijä pakkosujutettavan matkan suunnittelussa. Pitääkö käyttää voiteluaineita, kuinka suuri vetovoima tarvitaan, paljon putkella on ylikapasiteettia, jos avarrettu linja alkaa vastustamaan pakkosujutusta. Tärkeä huomio tässä on se, että mikäli mahdollista, pakkosujutustyö täytyy pyrkiä suorittamaan ilman suuria keskeytyksiä ja taukoja putken etenemisessä. Pahimmassa tapauksessa ympäröivä maaperä painuu välittömästi avartamisen jälkeen uuden putkilinjan pintaan kiinni ja voitelu ei toimikkaan suunnitellusti. Seurauksena uuteen putkilinjaan kohdistuva kitka kasvaa. Silloin putken vetojännitys voi kasvaa yli sallitun arvon ja pakkosujutus joudutaan keskeyttämään, vaikka itse pakkosujutuslaitteistossa olisi kapasiteettia vetää vielä suuremmalla voimalla. (Andersin 2017; Kaukonen 2017.)

8.2 Muoviputki

Termoplastiset putkimateriaalit, jotka liitetään toisiinsa puskuhitsaamalla, ovat tällä hetkellä hyvin suosittuja materiaaleja pakkosujutuksessa. Nämä putkijärjestelmät tarjoavat monoliittisen putken koko pituudeltaan, täysin kontrolloidun ja tiivisteettömän liitoksen, jossa kaikki on samaa materiaalia kuin itse putki. Kun liitoksia verrataan itse putkeen, tämän tyyppiset liitokset ovat erinomaisia vetokestävyydeltään ja paineenkestävyydeltään, ja niissä on hyvin pieni vuotoriski. Nykyisin on tarjolla kaksi eri termoplastista putkimateriaalia; korkean tiheyden polyetyleeniputki (HDPE) ja sulava polyvinyylikloridiputki (FPVC). Molemmat järjestelmät ovat yleensä koottu 12–18metrin pituisina työmaalle toimitetuista putkista. Nämä putket liitetään usein valmiiksi, yhtenäiseksi linjaksi ennen pakkosujutustyön aloitusta. (Guideline for pipe bursting 2012, 17.)

Yleisesti pakkosujutuksessa käytettävä muoviputki on HDPE-, ja siitä jalostettuja putkimateriaaleja ja -tyyppejä. PE-putki voidaan pinnoittaa kovemmalla polypropeenipinnoitteella, joka toimii suojamuovina eli uhrinpinnoitteena varsinaiselle toiminnalliselle putkilinjan materiaalille. Tärkeimmät PE-putkimateriaalin edut ovat sen jatkettavuus/liitostyö, joustavuus ja monipuolisuus. Joustavuus mahdollistaa putken taivuttamisen aloituskaivannossa, ja sillä on pienempi taivutussäde kuin FPVC-putkella. PE-putken monipuolisuus tarkoittaa käytännössä myös sitä, että se täyttää useimmat vaatimukset kaasu-, vesi-, ja jäteveden putkijärjestelmissä.

FPVC on myös paljon pakkosujutettu putkimateriaali, sitä voidaan jatkaa PE-putken tavoin puskuhitsausmenetelmällä. Tärkeimmät PVC-järjestelmän edut ovat sen korkea vetolujuus ja naarmuuntumislujuus, mutta heikkoutena sillä on halkeamisherkkyys. Korkean lujuuden ansiosta putken seinämä voi olla ohuempi, mikä tarkoittaa pienempää ulkohalkaisijaa, jolloin pakkosujutustyössä tehtävän laajennustyön tarve on pienempi. (Guideline for pipe bursting 2012, 17–18.)

Pakkosujutuksessa käytettävät uuden sukupolven polyeteeniputket ovat ns. 3-sarjan putkia, joiden uloin kerros on modifioitua PE-plus materiaalia. Putken valmistuksessa käytetty materiaali yhdessä suojakuoren kanssa eliminoi esimerkiksi putkelle kohdistuvia, kivien aiheuttamia pistemäisiä painumajännitteitä. Koska toiminnallinen vir-

tausputki ja suojakuori on valmistettu polyeteenistä, hitsaussaumaan ei synny materiaalin vaihtumisesta aiheutuvia riskejä, joita syntyy esim. polypropeenipinnoitteella. Lisäksi uuden sukupolven pakkosujutettavassa muoviputkessa on sähköä johtava alumiininauha asennuksen jälkeistä putken kunnon tarkastamista varten sekä putken myöhempää paikallistamista silmällä pitäen. Putki on myös saatavana ilman alumiininauhoitusta, jolloin se pystytään hitsaamaan kuorimatta. Kolmannen sarjan muoviputket täyttävät RC-putkien (*Resistance to crack – murtumisen esto*) korkeat laatuvaatimukset, ja soveltuvat asennettaviksi millä tahansa markkinoilla olevalla menetelmällä. (SLM® 3.0 / SLM® DCT n.d.)



Kuvio 16. Egeplast SLM DCT kaivamattomaan asennukseen suunniteltu putki. (alkup. kuvio ks. Egeplast SLM DCT-pipes. n.d.)

8.3 Pallografiittivalurauta

”Jos kohde on mahdollista pakkosujuttaa muoviputkella, pystyt toteuttamaan sen SG-pakkosujutusputkella” (Birkebeck 2017.)

Pakkosujutuksessa on mahdollista käyttää myös metalliputkea. Käytetyimpänä on pallografiittivaluraudasta valmistettu putki, josta voidaan käyttää nimeä SG-putki. SG-putki on nykyaikana hyvin suosittu uudisrakentamisessa käytettävä vesijohtojen runkolinjojen putkimateriaali sen luotettavuuden, varmuuden, korroosion kestävyys- ja pitkäikäisyyden ansiosta. Pakkosujutuksessa käytettävä SG-ZMU putki on alun

perin suunniteltu käyttöolosuhteisiin, jossa hiekan tai vastaavan putken täyttömateriaalin käyttö on hyvin haastavaa tai jopa mahdotonta. Mikäli halutaan säästää luonnonvaroja ja pienentää kuljetusmääriä, täyttötyö voidaan tehdä kaivuumaalla, sillä putki ei vaadi minkäänlaisia edellytyksiä täyttömateriaalilta. Tästä syystä SG-ZMU putkia käytetään hyvin paljon esimerkiksi Sveitsissä ja Norjassa.

Pakkosujutuksessa käytettävä putkien liitos- ja lukituselementti on aina metallinen TIS-K-liitostyyppi. Pakkosujutukseen putket valitaan tiukemmilla toleranssivaatimuksilla verrattuna ”tavallisen” käytön ZMU-putkiin ja liitoskohdat suojataan lisäksi teräsvahvisteisella kumisuojaalla. Samaa putkimateriaalia käytetään myös vaakaporauksiin uudisrakentamisessa. SG-putken murtolujuus ja venymäraja ovat yliveraisia verrattuna muoviputkiin. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että putken runkolujuus ei tule ongelmaksi vetotilanteessa, eikä putkeen jää jännityksiä, jotka myöhemmin voisivat aiheuttaa vuotoriskiä.

Toisin kuin voisi luulla, SG-valurautaputkilinjalla on mahdollista toteuttaa kaarevia putkilinjoja ilman mekaanisia kulmaliitososia, mikä käytännössä lisää kyseisen putken mahdollisuuksia pakkosujutuksessa ja vaakaporauksissa. SG-putket ovat kuuden metrin mittaisia, ja jokaisen muhviitoksen kohdalla voidaan tehdä kolmen asteen kulmapoikkeama sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti. Tähän voidaan käyttää muistisääntöä: jokaisen liitoksen kohdalla SG-putkea voi kääntää putken nimellisen halkaisijan verran sivuun suoraan linjaan verrattuna. Pakkosujutuskokeiluja SG-ZMU-putkella on tehty lähes kaikissa Euroopan maissa, ja esimerkiksi Norjassa pakkosujutuksen määrä on kasvanut. Pakkosujutuksessa käytetään lisäksi suurempia varmuuslukuja verrattuna tavallisen SG-ZMU putken aukikaivuutekniikalla tapahtuvaan asentamiseen, vaikka putkimateriaali on sama.

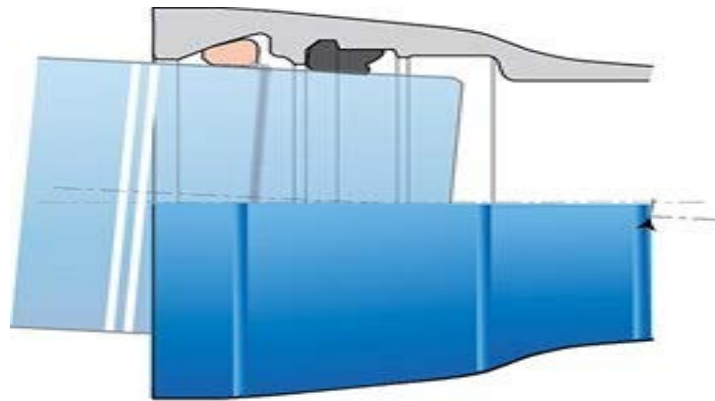
Vanhan harmaan valurautaputkilinjan palaset ovat samaa kovuusluokkaa SG-putken kanssa, minkä takia pakkosujutettavan putken materiaaliksi kannattaa valita ZMU-pinnoitettu SG-putki. ZMU on standardoitu kuituvahvistettu putken ulkopuolinen sementtipinnoite, joka suojaa varsinaista putkea naarmuuntumiselta pakkosujutustyön aikana. ZMU-pinnoitteeseen perustuvia putkia on saatavilla myös muilta valmistajilta, kuten Ductus ja Buderus. Pakkosujutuksen lopputuloksena on täysin kunnossa oleva SG-putki, jota ympäröi naarmuuntunut kuitusementtikuori. Kuori vähentää

myös pistemäisten kuormien vaikutusta, vaikka pistemäiset kuormat eivät ole SG-putkelle ongelma, johtuen runkomateriaalin lujuudesta. (Andersin 2017.)

SG-ZMU pakkosujutusputken liitostyön muistilista:

1. Asennukselle ja asennustyökalulle tulee jättää riittävä työtila, putkea ei saa viedä liian lähelle kaivannon seinämää
2. Seuraavaa liitosta varten metallinen suojakaulus on asennettava putken ympärille ennen liitosta
3. Kuminen suojakaulus on asennettava putken päälle ensimmäisenä ennen liittostyötä
4. Kulmapoikkeaman saa toteuttaa vasta liitostyön jälkeen

(TIS-K Liitoksen tekeminen ja pakkosujutuksen valmistelu. n.d, 2.)



Kuvio 17. SG-ZMU putken TIS-K-liitostyyppin ja kulmapoikkeaman havainnekuva. (alkup. kuvio ks. TIS-K lukitus. n.d.)

8.4 Putkimateriaalien vertailua

Kriittisiä tekijöitä pakkosujutettavan putkimateriaalin valinnassa ovat muun muassa putken luotettavuus, käyttövarmuus ja huoltovapaus sen mahdollisimman pitkän elinkaaren aikana. Neljäs kriittinen tekijä on asennusaikainen vetokestävyys. Jos pakkosujutettu putki ei kestä näitä kriittisiä tekijöitä asennuksen ja odotetun käyttöiän aikana, se tuottaa huomattavasti riskiä verkoston toimintavarmuudelle. Siitä voi ai-

heutua huomattavasti lisää putkilinjojen huoltokustannuksia. Putkimateriaalin käyttötarkoituksen mukainen, oikea valinta on hyvin suuri ja kauas kantoinen asia kaikissa putkilinjojen rakennus- ja saneeraushankkeissa, mutta erityisesti pakkosujutuksessa. Siinä putken kestävyys ja ympäristöolosuhteet viedään äärimmilleen.

PE-putken heikkoutena on suhteellisen huono lujuus yhdistettynä vaurioherkkyyteen. Tämä asettaa rajoituksia pakkosujutuksessa käytettävälle vetojännitykselle. Lisäksi pakkosujutuksen jälkeen muoviputkella on tietty vetäytymisaika, jolloin se palautuu vetorasitetusta tilasta. Rikotun putken sirpaleen, tai kiven kärjen jäädessä puristamaan putkea pistemäisesti, on riski, että muoviputki alkaa vuotamaan käyttökänsä aikana, sillä muovi ei ole stabiili materiaali, vaan heikkenee ajan kuluessa. Pakkosujutuksen putkimateriaalin valinnassa on hyvä miettiä, onko uuden putken ympäristäytön olosuhteet millään tavalla kontrolloidut, ja mitä riskejä kontrolloimat otomat olot aiheuttavat putkelle. Kuitenkin uusimmat muoviputkien kehittyneet materiaalit ovat vastanneet näihin kysymyksiin hyvin, siten muoviputki on entistä riskitömämpi valinta uuden putken materiaalin valinnaksi pakkosujutuksessa.

SG-putken puolesta puhuvat äärimmäisen hyvät, kymmeniä kertoja suuremmat lujuusominaisuudet verrattuna muoviputkeen. Se voi pakkosujutustilanteessa nousta kriittiseksi ominaisuudeksi, jos maan aiheuttama kitka kasvaa huomattavasti suunniteltua suuremmaksi. SG-putki on myös täysin venymätön, joten pakkosujutuksen jälkeen se on välittömästi otettavissa käyttöön tai liitettävissä muuhun järjestelmään, mikäli siihen on tarve. Kuitenkin myös metalliputkella on heikkoutensa, se on ulkopuolelta altis maaperän aiheuttamalle korroosiolle. Putken sisäpuolella kulkeva vesi ja veden mahdollisesti korroosiota lisäävät ominaisuudet lisäävät myös putken kohdistuvaa korroosioainetta. Tähän vastauksena SG-putken sisäpinta on keskipakoisvalettua sulfaatin kestävästä masuunikuonasementtiä, joka estää tehokkaasti korroosiota ja saostumien muodostumista. Ulkopuoli on pinnoitettu aktiivisella Zinaliumkorroosiosuojauksilla, pakkosujutukseen käytettävä putki on pinnoitettu lisäksi kauttaaltaan kuitusementtikerroksella.

Suuri lujuus ja rengasjäykkyys mahdollistavat SG-putkien asentamisen erittäin syväälle tai hyvin lähelle maan pintaa. Pakkosujutettavassa linjassa voi olla paikallisia painumia tai siirtymiä, joten uuden putkimateriaalin jäykkyys voi aiheuttaa lisähaasteita pakkosujutustyön aikana. Verrattuna metalliputkeen, muoviputki on huomattavasti

taipuisampi, joten muoviputki voi edetä pakkosujutuksessa helpommin painumien ja siirtymäkohtien läpi. Myös muoviputkien puskuhitaussuomenetelmään perustuva liitosten muhvitomuus verrattuna muhvilisiin SG-putkiin, voi jossain kohteessa tulla kynnyskysymykseksi materiaalia valittaessa.

9 Johtopäätökset ja pohdinta

Pakkosujutus on kehittynyt tekniikka; se on ottanut vahvan aseman kaivamattomana tekniikkana putkilinjojen saneeraamiseksi. Olemassa olevien maanalaisten linjojen elinkaaret ovat monin paikoin päättymässä, ja niissä ilmenevien häiriöiden määrä on korkealla tasolla. Pakkosujutus on kaivamattomista tekniikoista ainoa, jolla voi suurentaa olemassa olevan putkilinjan kokoa. Näin ollen se soveltuu erityisen hyvin linjalle, jolle on lisäkapasiteetin rakentamisen tarve, olipa kyseessä viemäri-, vesi-, kaasu-, tai muu palvelulinja.

Rajoitettu käytettävissä oleva rahoitus verkostojen saneeraamiseksi ja pitkään jatkunut kaupungistuminen saavat aikaan tarpeen saneeraustekniikoiden kehittämiseksi. Auki kaivaminen voi olla hyvin kallis ja tehoton saneeraustapa, lisäksi on lähes mahdotonta toteuttaa vanhan linjan aukikaivuu erityisillä alueilla. On tärkeää, että käytettävä tekniikka on tehokas mutta edullinen. Sen on myös pyrittävä minimoimaan ympäristövaikutuksia ja antamaan mahdollisuus valmistautua tuleviin kapasiteetin korotuspaineisiin. Tämä kaikki on mahdollista toteuttaa tekniikalla, joka tarjoaa paremman lopputuotteen sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.

Pakkosujutus on erityistekniikka. Pakkosujutushankkeet edellyttävät aina hyvää esisuunnittelua ja valmistelua, sekä vaativat työn suorittajalta huolellista työtä ja ammattitaitoa. Kun suunnittelusta toteutukseen hanke on tehty laadukkaasti ja ammattitaitoisesti, se luo turvallisen ja hyvin asennetun lopputuloksen tarjoten luotettavan verkoston sen omistajille ja sitä käyttäville yhteisöille lukuisiksi vuosiksi eteenpäin.

Kokemukset pakkosujutuksesta ovat olleet hyviä ja opettavaisia. Kyseisen erityistekniikan tietotaidon kasvaessa ja putkistojen saneeraustarpeen lisääntyessä tekniikka kasvattaa varmasti suosiotaan Suomessa.

Lähteet

"AVP-Crush-Lining" with reference to [FI-Herreb] - Sketch of principle. N.d. Visaplan GmbH, a subsidiary of Prof. Dr. Ing. Stein & Partner GmbH internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 20.4.2017. <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/replacement-en/replacement-by-the-trenchless-method-en/unmanned-techniques-en/pipe-eating-en>

Andersin, M. 2017. Pakkosujutus. Sähköpostiviestit 17.2.2017 ja 18.2.2017. Vastaanottaja Pauli Lyytinen. Liiketoimintajohtaja, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Pipe Systems.

Birkebekk, T. 2017. Tekninen päällikkö, Saint-Gobain PAM Norway. Puhelinkeskustelu 17.2.2017.

Egeplast SLM DCT-pipes. N.d. Egeplast international GmbH internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 20.4.2017. <http://www.egeplast.de/en/rfp-forms/>

Guideline for pipe bursting. 2012. The International Pipe Bursting Association (IPBA) internetsivustolla. Ohje. <http://www.ipbaonline.org/wp-content/uploads/2016/05/IPBA-Guidelines-Rev2012-01-18.pdf>

Grundoburst process [FI-Tracta] - Roller knives. N.d. Visaplan GmbH, a subsidiary of Prof. Dr. Ing. Stein & Partner GmbH internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 18.4.2017. <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/replacement-en/replacement-by-the-trenchless-method-en/unmanned-techniques-en/pipe-bursting-en/hydraulic-and-static-pipe-bursting-en>

Inkinen, K. 2016. Kaivamattoman teknologian käsitteiden määrittely. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma, Infratekniikka. Viitattu 12.2.2017. <http://www.theseus.fi/handle/10024/114379>

Kaukonen, J. 2017. Sähköpostiviestit 25.1.2017 ja 3.5.2017. Vastaanottaja Pauli Lyytinen. SG pakkosujutustekniikan opinnäytetyö /JAMK. Puheenjohtaja, FiSTT ry.

Kaunisto, T. 2014. Pakkosujutus. Viemäreiden sisäpuoliset saneerausmenetelmät. Satakunta: Sarja B, Raportit 9/2014, Vesi-Instituutti WANDERin julkaisuja 2.

Kivivuori, T. 2015. Vesijohtojen ja viemäreiden saneeraus kaivamatta. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikka, insinööri (AMK). Viitattu 14.2.2017. <http://www.theseus.fi/handle/10024/90161>

Korjausrakentaminen. N.d. Wikipedia internetsivustolla. Viitattu 2.2.2017. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Korjausrakentaminen>

Manual for Controlling and Reducing the Frequency of Pavement Utility Cuts. N.d. Federal Highway Administration internetsivustolla. Julkaisu. Pavement Utility Cuts, 4. Reducing Pavement Cuts by Integrating Technology. Viitattu 22.4.2017. <https://www.fhwa.dot.gov/utilities/utilitycuts/man04.cfm>

Nissinen, H. 2015. Sitran trendit: Kaupunkien roolit korostuvat. Artikkelit 30.3.2015. Viitattu 20.1.2017. <https://www.sitra.fi/artikkelit/sitran-trendit-kaupunkien-roolit-korostuvat/>

Oteran. 2016. Oteran Oy internetsivustolla. Viitattu 24.1.2017. <http://www.oteran.fi/index.html>

Pajakkala, P. 2015. Korjaaminen nyt ja tulevaisuudessa. Esitys. Johtava neuvonantaja, Forecon Oy. Ara päivä Helsinki 20.1.2015. Viitattu 20.1.2017. <http://www.ara.fi/download/noname/%7BFA9A3E64-BCF5-49AE-9415-02939ABB8B48%7D/106628>

PE-paineputket ja -yhteet. N.d. Pipelife Finland Oy internetsivustolla. Viitattu 22.4.2017. http://www.pipelife.fi/fi/tuotteet/infra/PE-paineputket_ ja_-yhteet.php

Pipe Bursting. N.d. Raymond International – KSA internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 27.2.2017. <http://raymondsaudi.com/pipe-bursting/>

Pipe bursting. N.d. ISTT - The International Society For Trenchless Technology internetsivustolla. Viitattu 28.2.2017. <http://www.istt.com/guidelines/pipe-bursting>

Pipe bursting pneumatic. N.d. TT Technologies, Inc. internetsivustolla. Grundocrack system. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 17.4.2017. <http://www.tttechnologies.com/methods/pipe-bursting/>

Pipe bursting step 2. N.d. The Logan Clay Products Company internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 18.4.2017. <http://no-digpipe.com/static-pipe-bursting.html>

Pipe Extraction. N.d. ISTT - The International Society For Trenchless Technology internetsivustolla. Viitattu 18.3.2017. <http://www.istt.com/guidelines/pipe-extraction>

Pipe Extraction. N.d. PE100+ Association internetsivustolla. Technique. Viitattu 28.3.2017. <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/No-Dig-technical-Guide/Trenchless-Methods/Pipe-Rehabilitation-Methods/Pipe-Extraction-i1309.html>

Pipe extraction process for the replacement of cast iron pipelines (Hydros System). N.d. Visaplan GmbH, a subsidiary of Prof. Dr. Ing. Stein & Partner GmbH internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 20.4.2017. <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/replacement-en/replacement-by-the-trenchless-method-en/unmanned-techniques-en/pipe-extraction-process-en>

Pipe Reaming. N.d. ISTT - The International Society For Trenchless Technology internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 22.4.2017. <http://www.istt.com/guidelines/pipe-reaming>

Pipe Reaming. N.d. PE100+ Association internetsivustolla. Technique. Viitattu 20.4.2017. <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/No-Dig-technical-Guide/Trenchless-Methods/Pipe-Rehabilitation-Methods/Pipe-Reaming-i1308.html>

Pipe-Replacer [FI-NLW] - View of the cutting head. N.d. Visaplan GmbH, a subsidiary of Prof. Dr. Ing. Stein & Partner GmbH internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 20.4.2017. <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/replacement-en/replacement-by-the-trenchless-method-en/unmanned-techniques-en/pipe-eating-en/view?SearchableText=microtunneling>

Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers. N.d. Visaplan GmbH, a subsidiary of Prof. Dr. Ing. Stein & Partner GmbH internetsivustolla. Pipe Eating. Viitattu 22.4.2017. <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/replacement-en/replacement-by-the-trenchless-method-en/unmanned-techniques-en/pipe-eating-en/view?SearchableText=microtunneling>

RIL124-2-2004 Vesihuolto II. 2004. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Saartenkorpi, P. 2007. Alueellinen vesihuoltoverkostojen saneeraus Hämeenlinnassa. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu, rakennustekniikka INRAAI05X3. Viitattu 15.3.2017. http://www.fistt.net/wp-content/uploads/2016/04/Opinnaytetyo_web.pdf

Sliplining with pe pipe. N.d. Trenchless Pipe Solutions internetsivustolla. Kaikki oikeudet pidätetään. Viitattu 27.2.2017. <http://www.cippolutions.com/sliplining-with-pe-pipe.html>

SLM® 3.0 / SLM® DCT. N.d. NRG Suomi Oy internetsivustolla. Kuvaus, Tuotekuvaus. Viitattu 20.4.2017. <http://www.nrgfinland.fi/product/slm-slm-dct/#description>

TIS-K Liitoksen tekeminen ja pakkosujutuksen valmistelu. N.d. Saint-Gobain Pipe Systems. Viitattu 20.4.2017. www.sgps.fi/Download/22383/Pakkosujutus%20tis-k.pdf

TIS-K lukitus. N.d. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Pipe Systems internetsivustolla. ZMU sementtipinnoitettu SG-putki DN 100-700 UNIVERSAL Std lukittu. Ei tekijänoikeustietoja. Viitattu 20.4.2017. <http://www.sgps.fi/vesihuolto/tuotteet-puhtaalle-vedelle/sg-paineputket/4925/zmu-sementtipinnoitettu-sg-putki-dn-100-700-universal-std-lukittu>

Ulvila, P. 2017. Sähköpostiviestit 27.4.2017. Vastaanottaja Pauli Lyytinen. Opinnäytetyön julkaiseminen kirjaksi. Projenktinjohtaja, Oteran Oy.

Vesijohtojen ja viemäreiden saneerausmenetelmät '95. 1995. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Helsinki: Ympäristöministeriö - Suomen kuntaliitto.

Vesilaitostekniikka ja hygienia. 2013. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 51. Vesilaitosyhdistys (VVY). 2. painos. Helsinki: 2013.

Why Trenchless? ('No-Dig'). N.d. ISTT - The International Society For Trenchless Technology internetsivustolla. Viitattu 18.4.2017. <http://www.istt.com/why-trenchless-no-dig>

Yritystiedot. 2017. Sanoma Media Finland Oy:n julkaiseman Ilta-Sanomien internetsivustolla. Yrityshaku, Oteran Oy. Viitattu 24.1.2017.

<http://www.is.fi/yritys/oteran-oy/espoo/2245597-0/>

ZMU sementtipinnoitettu SG-putki DN 100-700 UNIVERSAL Std lukittu. N.d. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Pipe Systems internetsivustolla. Viitattu 2.2.2017.

<http://www.sgps.fi/vesihuolto/tuotteet-puhtaalle-vedelle/sg-paineputket/4925/zmu-sementtipinnoitettu-sg-putki-dn-100-700-universal-std-lukittu>