

Kaivamattomien menetelmien vaikutus infrarakentamisen hiilidioksidipäästöihin

Jare Virtanen

Novia Tekniikka

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjema

Vaasa, 2022

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Jare Virtanen

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Rakennusmestari AMK, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Maarakennus

Ohjaaja: Tom Lipkin

Nimike: Kaivamattomien menetelmien vaikutus hiilidioksidipäästöihin

Päivämäärä 29.11.2022

Sivumäärä 40

Tiivistelmä

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on sekä kansallinen että globaali tavoite. Jotta Suomen tavoite hiilineutraaliudesta toteutuisi vuoteen 2035 mennessä, on syytä tarkastella monipuolisesti eri tapoja, jotka voivat auttaa hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Yksi tällainen on kaivamattomien menetelmien käytön vaikutus hiilidioksidipäästöihin verrattuna perinteisiin menetelmiin.

Maailmalla on tehty joitakin tutkimuksia kaivamattoman tekniikan vaikutuksesta hiilidioksidipäästöihin, mutta Suomessa asiaa ei vielä ole kovin paljoa käsitelty. Tämä opinnäytetyö tarkastelee ensiksi asetettuja tavoitteita ja hiilidioksidin vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Sen jälkeen käydään läpi yleisimmät kaivamattomat menetelmät sekä verrataan auki kaivamista ja kaivamattomia menetelmiä ympäristön näkökulmasta.

Tutkimusten mukaan kaivamattomilla menetelmillä työskenneltäessä hiilidioksidipäästöt vähenevät jopa yli 78%. Samalla liikenteen sujuvuus paranee, koska useinkaan liikennettä ei tarvitse ohjata kiertoreiteille. Yleensä kaivamattomat menetelmät nopeuttavat työtä ja ympäristön kokemat vauriot jäävät monella tapaa vähäisemmiksi.

Kieli: suomi

Avainsanat: kaivamaton tekniikka, hiilidioksidi, kaivaminen

BACHELOR'S THESIS

Author: Jare Virtanen

Degree Program and place of study: Degree Program in Construction Management, Vaasa

Specialization: Community Infrastructure Engineering

Supervisor: Tom Lipkin

Title: Impact of No-Dig Methods on CO₂ Emissions

Date: 29.11.2022 Number of pages: 40

Abstract

Reducing carbon dioxide emissions is both a national and a global goal. In order for Finland's goal of carbon neutrality to be reached by 2035, it is necessary to take a comprehensive look at different ways to help reduce carbon dioxide emissions. One such is the effect of using no-dig methods on carbon dioxide emissions if it is compared to traditional open-digging.

Some studies have been conducted around the world on the effect of trenchless technology on carbon dioxide emissions but this has not been discussed in Finland so much. This thesis first examines the goals set and the effect of carbon dioxide on global warming. Second, the most common no-dig methods are reviewed and a comparison is made between open-digging and no-dig methods from an environmental point of view.

According to some studies, when working with no-dig methods, carbon dioxide emissions are reduced by up to 78%. At the same time traffic flow improves as there is often no need to divert traffic to detours. In general, the work also goes faster and the damage caused to the environment is reduced in many ways.

Language: Finnish

Key Words: no-dig, trenchless technology, carbon dioxide, digging

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tulevaisuuden ympäristötavoitteet infrarakentamisessa	2
3	Hiilidioksidin vaikutus ilmastonmuutoksessa.....	4
4	Kaivamattomien menetelmien esittely.....	8
4.1	Suuntaporaus.....	10
4.2	Perinteinen työntöporaus.....	12
4.3	Ohjattava työntöporaus	13
4.4	Tarkkuustyöntöporaus	13
4.5	Vasaraporaus	13
4.6	Pipe Express® menetelmä	14
4.7	Junttaus	15
4.8	Myyräys.....	16
4.9	Pakkosujutus.....	17
4.10	Pitkäsujutus.....	17
4.11	Pätkäsujutus.....	18
4.12	Sukkasujutus.....	18
4.13	Muotoputkisujutus	18
4.14	Sementtilaastivuoraus	19
4.15	Kaivamaton putkilinjan poisto	19
5	Kustannukset eri menetelmien välillä	20
6	Hiilidioksidipäästöt perinteisessä kaivamisessa	21
6.1	Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt.....	22
6.2	Kaivamisen seurauksena maaperästä vapautuva hiilidioksidi	23
6.3	Kaivamisesta aiheutuvat välilliset päästöt.....	26
7	Hiilidioksidipäästöt kaivamattomissa menetelmissä	27
8	Kaivamattomien menetelmien esimerkkikohteita.....	28
8.1	Yuman kaupunki, vesilinjan vaihtoprojekti	28
8.1.1	Kaivuutyö- ja suuntaporauslaitteet.....	29
8.1.2	Päästöjen mittaustulokset.....	29
8.1.3	Vaikutukset liikenteelle ja tuottavuus.....	29
8.2	Pedersöre, valtatie 8 alitus	30
8.3	Pohjanmaan rannikko, tien alitus vasaraporausella	32
9	Johtopäätökset.....	34
10	Yhteenveto.....	36
11	Lähteet	38

1 Johdanto

Kiinnostuin kaivamattomista menetelmistä valittuani opiskeluni aikana erään esseen aiheeksi No-Dig menetelmät. Tuossa tutkielmassa käsittelin lyhyesti suuntaporauksen tekniikkaa ja sen tuomia hyötyjä verrattuna perinteiseen kaivamiseen. Talvella 2022 Johan Lundberg Oy:stä järjestettiin kiinnostava luento, jossa kerrottiin muutamasta referenssikohteesta Ruotsissa. Luento lisäsi kiinnostustani kaivamattomiin menetelmiin ja mietin, että ne voisivat olla sopiva aihe opinnäytetyötäni varten.

Panin merkille, että kaivamattomien menetelmien hiilidioksidipäästöjä ei ole kovin paljoa varsinkaan Suomessa tutkittu ja toisaalta ilmastoon ja ympäristöön liittyvät kysymykset ovat tällä hetkellä erittäin ajankohtaisia. Siitä syystä valitsin opinnäytetyön näkökulmaksi kaivamattomien menetelmien vaikutuksen hiilidioksidipäästöihin infrarakentamisessa. Ohjaajani Tom Lipkin neuvoi kysymään apua Maanrakennus B. Dahlbacka Oy:stä, ja yritys lupasi avustaa opinnäytetyössäni. Kun kesällä 2022 vierailin Dahlbacka Oy:ssä, sain hyödyllisiä tietoja siitä, mitä opinnäytetyössä voisi käsitellä. Sovimme, että tutustuisin muutamaa heidän työkohteistaan, ja voisin kerätä niistä materiaalia opinnäytetyöhöni.

Ensimmäinen tilaisuus koitti, kun Dahlbacka Oy:stä tultiin tekemään suuntaporauksia samalle Skanskan työmaalle missä olin työnjohtoharjoittelussa. Olin mukana kahdessa eri suuntaporauksessa ja haastattelin poraria työn eri vaiheista. Sain käyttökelpoista kuvamateriaalia ja tietoja suuntaporauksen tekniikasta. Toinen kohde, jossa vierailin, oli Pohjanmaan rannikolla tehtävä vasaraporaus. Tuo poraus tehtiin kiinteään peruskallioon, jotta tien ali voitaisiin viedä suurjännitekaapeleita. Kolmanneksi esimerkiksi valitsin suuntaporaukset, jotka tehtiin Yuman kaupungissa Arizonan osavaltiossa. Tuossa kohteessa käytettiin samanaikaisesti sekä kaivamattomia menetelmiä, että perinteistä kaivamista, joten saadut tulokset ovat erityisen vertailukelpoisia.

Tässä opinnäytetyössä pohdin kaivamattoman teknologian hyötyjä erityisesti ympäristön kannalta, mutta myös liikenteen ja ohikulkevien ihmisten näkökulmasta. Vertailen kaivamatonta tekniikkaa ja perinteistä auki kaivamista lähinnä edellä mainittujen kolmen esimerkkikohteen avulla. Pyrin opinnäytetyössä löytämään vastaukset ainakin kolmeen kysymykseen. Kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä voitaisiin vähentää kaivamattomia menetelmiä käyttämällä? Mitä muuta hyötyä kaivamattomien menetelmien käytöstä on? Mitä olisi tarvetta selvittää lisätutkimuksilla?

Aihepiiri, joka liittyy CO₂ päästöihin, hiilidioksidin vaikutukseen ilmakehässä, ympäristötavoitteisiin sekä kaivamattomien menetelmien etuihin, on todella laaja ja moniulotteinen. Moneen osa-alueeseen voisi ja on syytä paneutua tarkemmin. Kaikkea ei opinnäytetyöhön ole voitu sisällyttää mukaan, mutta toivon, että lukija saa kuitenkin hyvän yleiskäsityksen laajasta asiakokonaisuudesta.

2 Tulevaisuuden ympäristötavoitteet infrarakentamisessa

Tällä hetkellä ilmastopolitiikan keskiössä niin kansainvälisesti kuin kansallisesti on ilmastomuutoksen hillintä kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä ja hiilinieluja lisäämällä. Marraskuussa 2022 järjestettiin Egyptin Sharm-el-Sheikhissä YK:n ilmastokokous COP27, jonka tärkein tavoite oli pitää Pariisin ilmastopimukseen vuonna 2015 kirjattu 1,5 asteen tavoite saavutettavissa. Kokouksen tavoite jäi valitettavasti saavuttamatta. Tuossa kokouksessa YK:n pääsihteeri António Guterres varoitti, että ilmasto on muuttumassa katastrofaalisella vauhdilla. YK:n tuoreen ilmastoraportin mukaan viimeiset kahdeksan vuotta ovat kaikki olleet maailman tilastoidun ilmastohistorian kuumimmat ja 1,5 asteen tavoitteen saavuttaminen näyttää yhä vaikeammalta. (Hallamaa, 2022)

Vuotta aiemmin, marraskuussa 2021 Glasgow'n COP26-ilmastokokouksessa odotettiin, että maailman valtiot tekisivät entistä pidemmälle meneviä sitoumuksia sen varmistamiseksi, että hiilineutraalius saavutettaisiin globaalissa mittakaavassa vuoteen 2050 mennessä. Valitettavasti päätökset Glasgow'ssa jäivät melko vähäisiksi, mutta ilmastokokous kuitenkin kehotti maita päivittämään päästövähennystavoitteensa ja pitkän tähtäimen vähähiilisyysuunnitelmansa jo vuoden 2022 aikana. (Aakkula, 2021)

Euroopan unionin (EU) komissio julkaisi heinäkuussa 2021 ehdotuksen ilmasto ja energiapolitiittisiksi toimenpiteiksi (Fit for 55-paketti). Sen tavoitteena on hiilineutraaliuden saavuttaminen EU-tasolla vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteeseen pyritään kiristämällä kasvihuonekaasujen (KHK) nettopäästöjen vähentämistavoitetta siten, että vuoteen 2030 mennessä KHK-nettopäästöt olisivat vähentyneet 55 % vuoden 1990 tasosta. (Aakkula, 2021)

Suomella on omassa kansallisessa ilmastopolitiikassaan tavoite olla hiilineutraali jo vuoteen 2035 mennessä. Tuota tavoitetta tuetaan ilmastolain uudistamisella ja uusilla politiikkaohjelmilla. Keskeisimmässä asemassa ilmastopolitiikanohjauksessa ovat uusi Ilmasto- ja energiastrategia, Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MISU) sekä

järjestyksessä toinen Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma (KAISU). (Aakkula, 2021) Joillakin kunnilla, kaupungeilla ja yrityksillä on päästöjen vähentämisessä vieläkin kunnianhimoisemmat tavoitteet.

Syyskuussa 2020 Ympäristöministeriö, Senaatti-kiinteistöt sekä Espoon, Helsingin, Turun ja Vantaan kaupungit julkistivat allekirjoittamansa vapaaehtoisen Green Deal-sopimuksen työmailla syntyvien päästöjen vähentämiseksi. Tavoitteeksi asetettiin, että mukana olevien kuntien ja Senaatin työmailla lopetetaan fossiilisten polttoaineiden käyttö vuoden 2025 loppuun mennessä. Lisäksi vuoteen 2030 mennessä työmailla käytettävistä työkoneista ja työmaiden kuljetuksista vähintään 50 prosenttia toimii sähköllä, biokaasulla tai vedyllä. Sopimus on voimassa vuoden 2030 loppuun asti. (Sitoumus 2050, 2022)

Myös Väylävirasto on asettanut tavoitteeksi vähentää ilmaston ja muun ympäristön kannalta haitallisia päästöjä sekä energian ja materiaalien käyttöä väylien elinkaaren aikana. Sen vuoksi on perustettu infrarakentamisen kansallinen päästötietokantahanke. Se on Väyläviraston tutkimus- ja kehityshanke, jossa kehitetään avoin elinkaaripohjainen tietokanta tukemaan sekä väylärakentamisen että väylänpidon CO₂-päästöjen laskentaa. Päästötietokanta laaditaan Suomen ympäristökeskuksessa ja hankkeen tilaaja on Väylävirasto. Helsingin kaupunki ja ympäristöministeriö osallistuvat hankkeen ohjausryhmään. Hanke käynnistyi maaliskuussa 2021 ja kestää vuoden 2022 loppuun. (Väylävirasto, 2022)

Jotta saadaan käsitys Infrarakentamisessa syntyvistä hiilidioksidipäästöistä, tarvitaan päästölaskentaa. Sitä voidaan tehdä hankekohtaisesti, kun rakenneosien määrätietoja kerrotaan niiden päästökertoimilla. Jotta todellisia kokonaispäästöjä voidaan arvioida, tarvitaan myös päästötietoja, jotka liittyvät kuljetukseen, asentamiseen, rakentamisessa käytettäviin koneisiin ja jätteenkäsittelyyn. Talonrakentamiseen liittyviä päästötietoja voi käydä katsomassa esimerkiksi CO2data.fi-verkkopalvelusta, joka tarjoaa puolueetonta dataa Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ilmastovaikutuksista kuten hiilijalan- ja kädenjäljestä, materiaalitehokkuudesta sekä kierrätettävyydestä. (SYKE, 2022) Infrarakentamisessa vastaavaa palvelua ei vielä ole, mutta toivottavasti edellä mainittu Väyläviraston toteuttama hanke tulee aikanaan vastaamaan tähän puutteeseen.

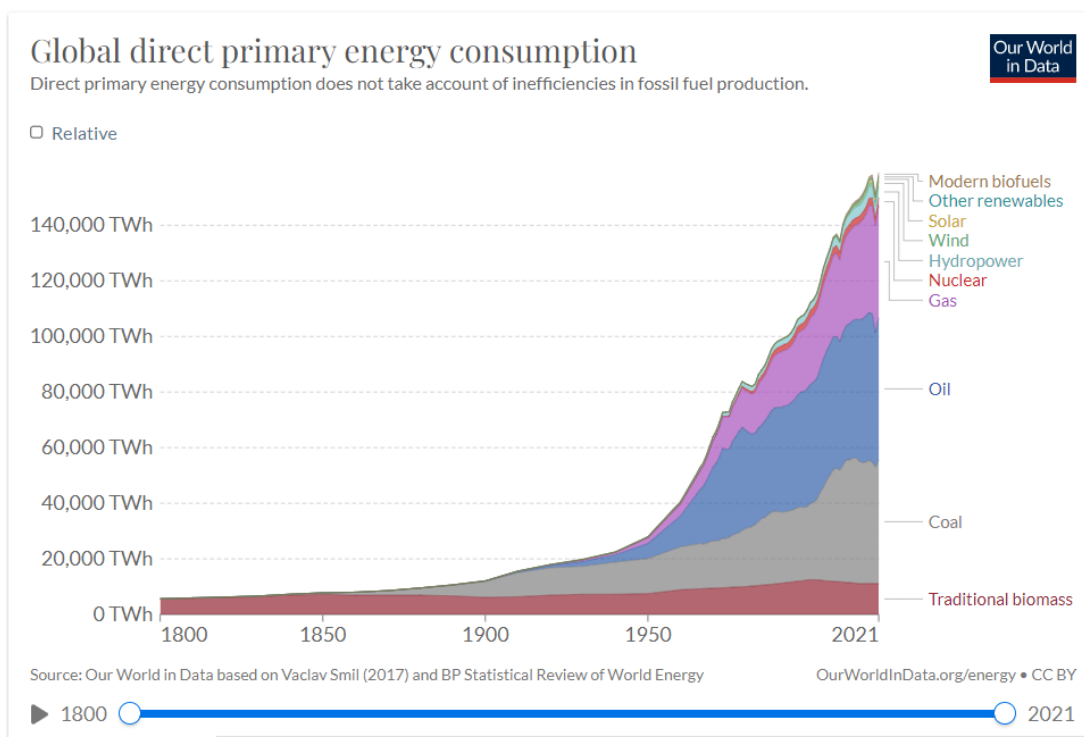
Työkoneista aiheutuu noin kahdeksan prosenttia koko päästökaupan ulkopuolelle jäävien sektoreiden hiilidioksidipäästöistä, ja sen lisäksi haitallisia paikallispäästöjä sekä moottorimelua. Eri päästölähteistä juuri työkoneiden päästöt ovat monella tapaa vaikeimmin vähennettäviä ja hallittavia, koska käytettävät koneet ovat pitkäikäisiä ja sellaisten koneiden

saatavuus, jotka toimivat fossiilittomilla käyttövoimilla on osittain heikkoa. Tulevaisuudessa vaihtoehtoiset ratkaisut yhdessä toimintatapamuutosten kanssa voivat kuitenkin mahdollistaa jopa lähes päästöttömät työmaat. (Sitoumus 2050, 2022)

3 Hiilidioksidin vaikutus ilmastonmuutoksessa

Hiilidioksidi eli CO₂ on kaasu, joka nousee usein esiin keskustelussa ilmaston lämpenemisestä. Hiilidioksidia syntyy esimerkiksi öljyä poltettaessa ja samalla syntyy myös typenoksideja ja muita haitallisia orgaanisia yhdisteitä. Jo vuonna 1968 Stanfordin tutkimusinstituutin tiedemiehet Elmer Robinson ja R. C. Robbins ilmaisivat olevansa huolissaan ihmisen mahdollisesti aiheuttamasta kasvihuoneilmiöstä ja heidän huolensa kohdistui eritoten fossiilisten polttoaineiden käyttöön. (Robinson & Robbins, 1968)

Tuoreimman saatavilla olevan tiedon mukaan ihmiskunta lisää ilmakehään joka vuosi 51 miljardia tonnia kasvihuonekaasuja. (Gates, 2021) Vaikka COVID-19 takia maailman energiankulutus hieman notkahti, niin kuten kuva 1 osoittaa, fossiilisten polttoaineiden käyttö on kaiken aikaa vain kasvanut. Tulevaisuudessa päästöt pitäisi saada nolnaan, mikäli ilmaston lämpeneminen halutaan pysäyttää. Tehtävä on haastava, 51 miljardista tonnista nolnaan. Lisäksi ilmakehässä jo olevia kasvihuonekaasuja täytyy yrittää poistaa sieltä erilaisiin hiilinieluihin.



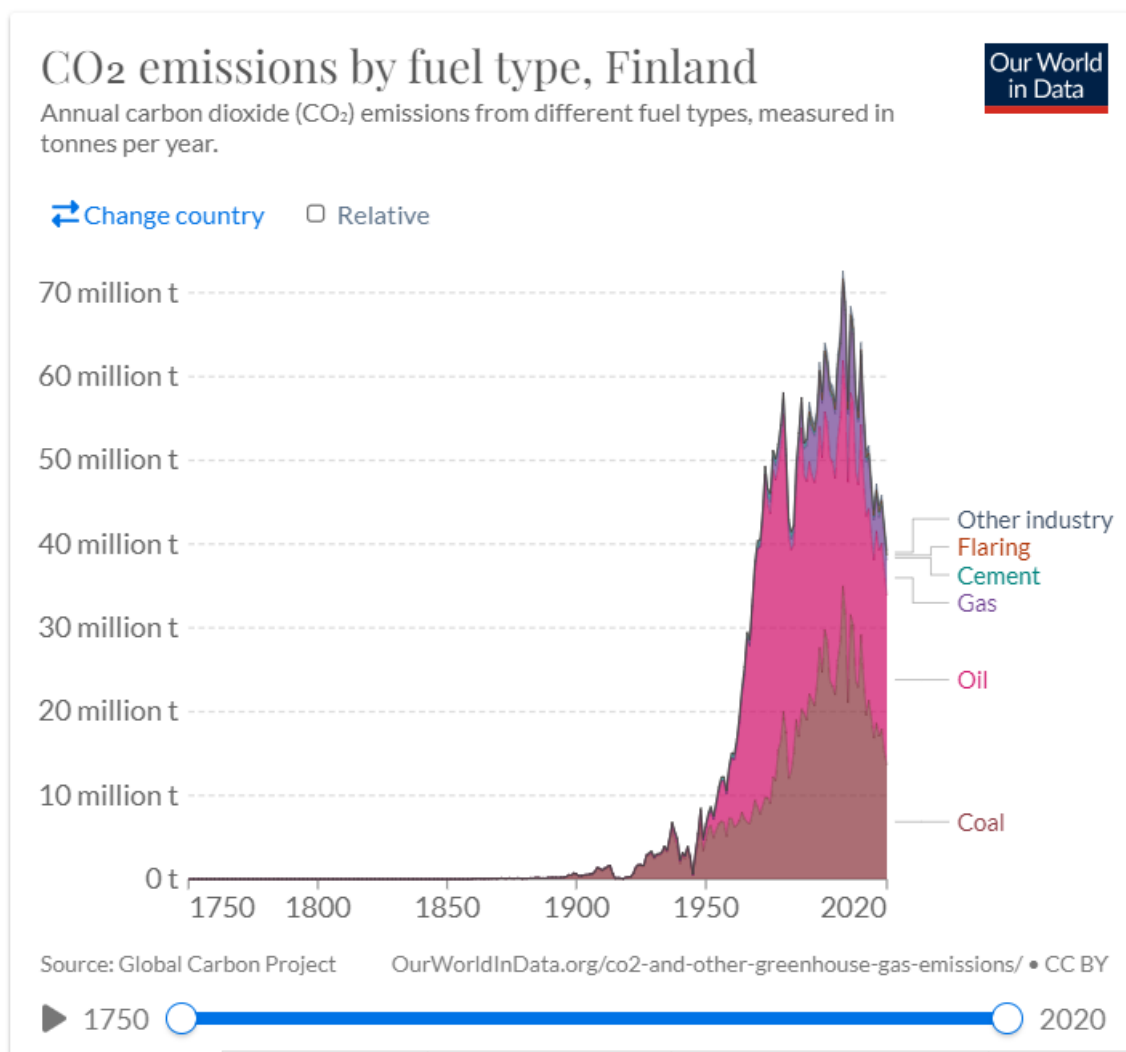
Kuva 1. Maailman energiankulutus (Our World In Data, 2022)

Ilmastonmuutoksen kannalta hiilidioksidin vaikutus ilmakehään on kasvihuonekaasuista merkittävin. Ilmakehässä tapahtuu myös luontaista hiilidioksidimäärän vaihtelua, mutta viimeisen sadan vuoden aikana kasvihuonepäästöjen pitoisuudet ylittävät reilusti luontaisen vaihtelun. Muutosvauhti on ollut ennenäkemätöntä; se mikä ennen tapahtui vuosituhansien skaalassa, tapahtuu nyt vain vuosikymmenissä. Hiilidioksidin on laskettu aiheuttaneen kaksi kolmasosaa tähänastisesta ilmaston lämpenemisestä. Esiteollisen ajan jälkeen ilman hiilidioksidipitoisuus on kohonnut 146 %, ja uusia ennätyksiä tulee vuosittain. (Taalas, 2021)

Hiilen sitominen esimerkiksi metsää istuttamalla ja muiden erilaisten hiilinielujen luominen on toki kannatettavaa ja monet maat ovatkin ilmaiset halunsa lisätä hiilen sitomista kasvillisuuteen. Jos ilmastonmuutosta halutaan jarruttaa tai pysäyttää kokonaan, metsän istuttaminen ei pelkästään riitä. Karkeasti arvioiden yksi istutettu puu voi sitoa hiilidioksidia noin 4 tonnia 40 vuoden aikana. (Gates, 2021, s. 169) Se on paljon, mutta ei riittävästi, koska puita pitäisi istuttaa miljardeja kappaleita ja silti aikaa kuluisi liikaa, jotta istutetuilla puilla olisi merkittävää vaikutusta tämänhetkiseen ilmastonmuutokseen. Lisäksi, mikäli puuta jossain vaiheessa poltetaan, sen sisältämä hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään.

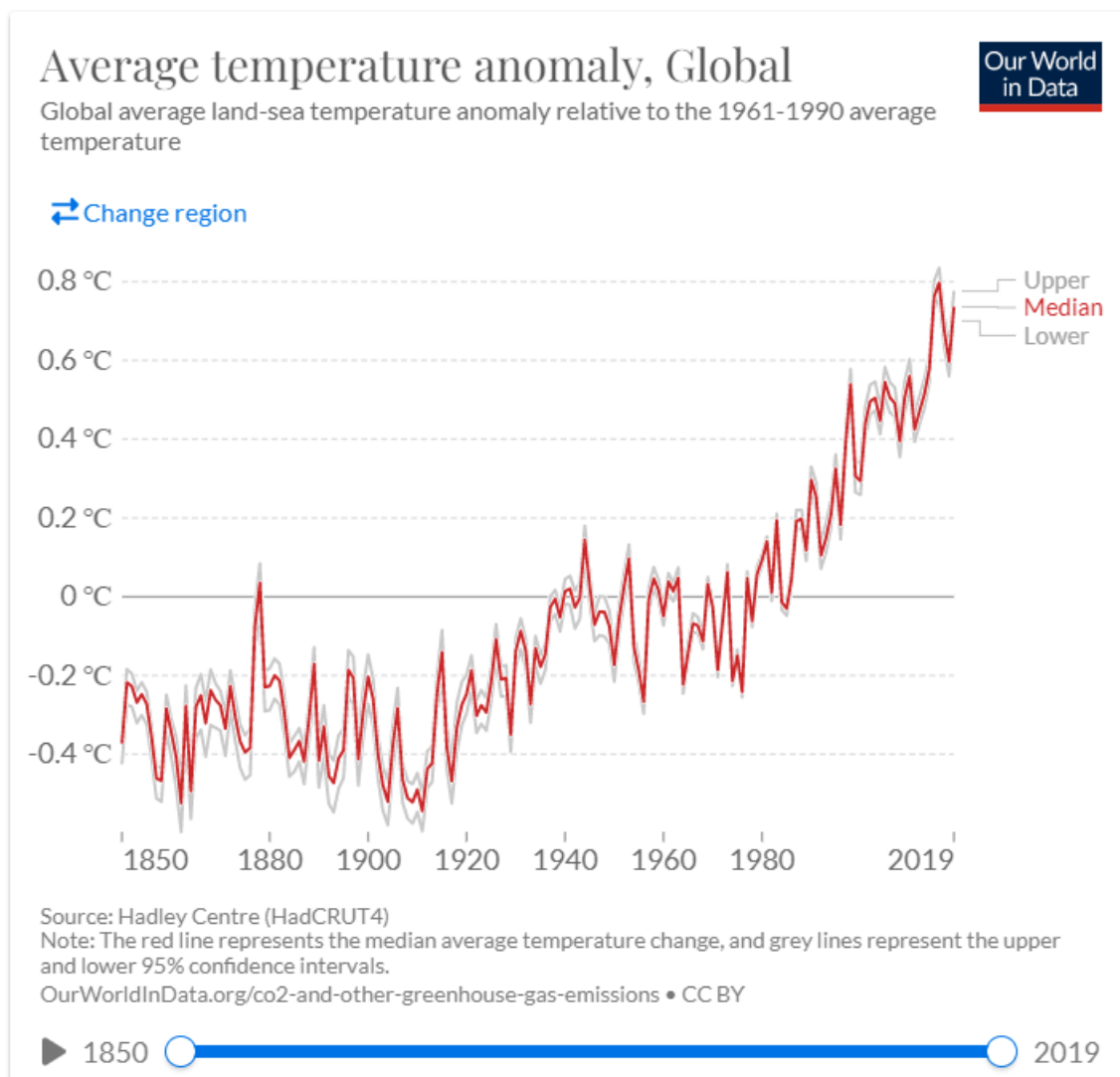
Viime vuosina fossiilisen energian käyttö on tuottanut 85-90 % hiilidioksidipäästöistä, joten ongelman ratkaisemiseksi on pureuduttava juurisyöhyn, kivihiilen, maakaasun ja öljyn käytön vähentämiseen. Viimeisten vuosien aikana öljyn kulutus on globaalilla tasolla kasvanut noin 1,5 % vuodessa, joten kulutustrendin tulisi muuttua pikaisesti aivan toiseen suuntaan. (Taalas, 2021)

Kuvan 2 mukaisesti Suomessa öljyn käyttö on onneksi vähentynyt. Huippuvuosina 2003-2004 öljyn käyttö aiheutti Suomessa CO₂ päästöjä 26,93 miljoonaa tonnia. Vuonna 2020 öljyn aiheuttamat CO₂ päästöt olivat laskeneet 20,21 miljoonaan tonniin, mutta edelleen öljyn käyttö on Suomessa suurin yksittäinen hiilidioksidin päästölähde. (Our World In Data, 2022)



Kuva 2. CO₂ päästöt Suomessa (Our World In Data, 2022)

Samaan aikaan kun hiilidioksidin määrä ilmakehässä on lisääntynyt, maapallon keskilämpötila on noussut. Kuten kuva 3 osoittaa, globaali keskilämpötila on noussut 1900 luvun alusta lähtien noin +1,2 °C verran. Maapallo ei kuitenkaan lämpene tasaisesti, vaan napa-alueet lämpenevät muita alueita nopeammin. Suomessa lämpötila on noussut globaalia keskiarvoa nopeammin, noin +2 °C verrattuna vuosien 1951-1980 keskiarvolämpötilaan. (Koskinen, 2021, s. 33)



Kuva 3. Globaali keskilämpötilan poikkeama verrattuna vuosien 1961-1990 keskiarvoon (Our World In Data, 2022)

Meillä Suomessa ei kuulosta pahalta, jos lämpötila talvipakkasella ei olekaan -25 °C vaan onkin -23 °C , eroa on jopa vaikea huomata katsomatta lämpömittariin. On kuitenkin helppoa ymmärtää, että sillä onko lämpötila -1 °C vai $+1\text{ °C}$ onkin jo suuri merkitys. Se voi vaikuttaa siihen, sataako lunta vai vettä, onko pihalla liukasta vai ei tai täytyykö raaputtaa auton tuulilasista jääkerros vai ei. Samoin sillä, onko pohjoinen meri jäässä vai ei, on suuri vaikutus. Jääpeite voi heijastaa lämpösäteilyä takaisin avaruuteen noin 80 %, mutta sula ja tumma meri imee siitä itseensä noin 90 %. (Koskinen, 2021, s. 89)

Joskus pieniltä tuntuvat asiat voivat näytellä suurta roolia ja aiheuttaa asioiden kertaantumista ja kasaantumista sekä hyvässä, että pahassa. Jos meri joillakin alueilla jäätymisen sijaan pysyykin sulana, se imee itseensä entistä enemmän lämpöenergiaa. Kun meri lämpenee, jäätiköt alkavat sulaa yhä laajemmalla alueella. Se johtaa maapallon edelleen

kiihtyvään lämpenemiseen, jolloin tulvat, myrskyt, kuivuus ja kaikki muut ilmaston lämpenemisestä johtuvat ympäristövaikutukset voivat entisestään lisääntyä ja pahentua.

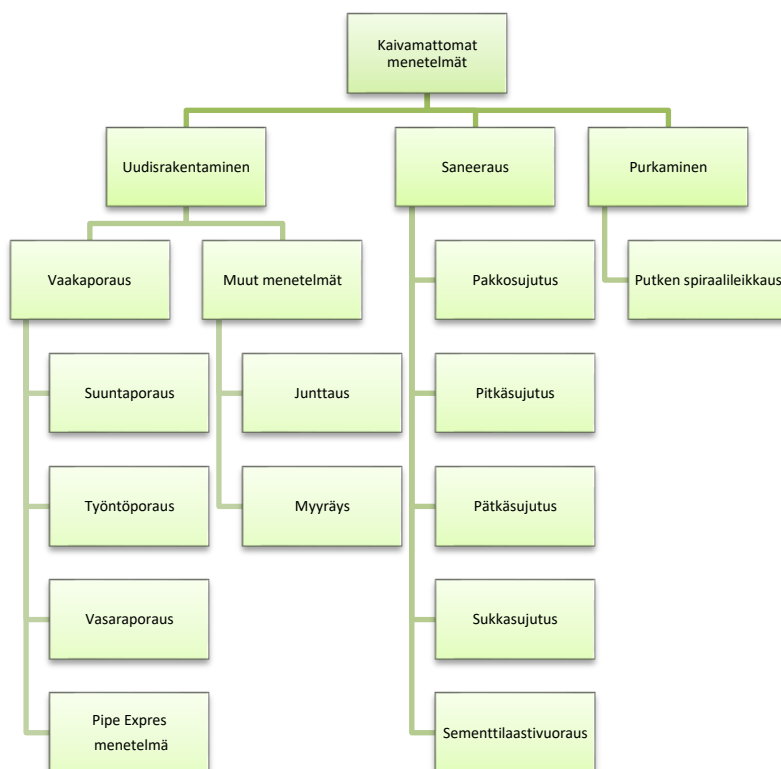
Tutkijat pitävät yhtenä tärkeänä syynä ilmaston lämpenemiseen hiilidioksidin määrän lisääntymistä maapallon ilmakehässä. Sen vuoksi tutkitaan erilaisia keinoja millä hiilidioksidipäästöjä voitaisiin vähentää. Yhtenä vaihtoehtona ovat vaihtoehtoiset polttoaineet, kuten vety, etanoli tai biokaasu. Näistä polttoaineista ehkäpä vetyyn kohdistuu eniten mielenkiintoa ja se tarjoaakin monenlaisia mahdollisuuksia. Tuulisina päivinä kertyvää ylijäämäsähköä voitaisiin käyttää vedyn valmistamiseen. Vety olisi päästötön fossiilisten polttoaineiden korvaaja, tai se voitaisiin muuttaa uudelleen sähköksi polttokennon avulla. Tällaisella teknologialla on tulevaisuudessa varmasti oma paikkansa myös infrarakentamisessa.

Tämä opinnäytetyö keskittyy kuitenkin kaivamattomien menetelmien vaikutukseen hiilidioksidipäästöihin. Kaivamattomien menetelmien vaikutus ilmastomuutokseen tai CO₂ päästöihin globaalissa kokonaiskuvassa voi tuntua hyvin pieneltä. Edellä esitetyn mukaisesti, tarve fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen on kuitenkin suuri, ja vähäisiltä tuntuvilla asioilla voi parhaimmillaan olla tärkeä, myönteistä kehityskulkua edistävä vaikutus. Jos edistys on oikean suuntaista, myös pienet asiat voivat kertautua myönteisellä tavalla.

4 Kaivamattomien menetelmien esittely

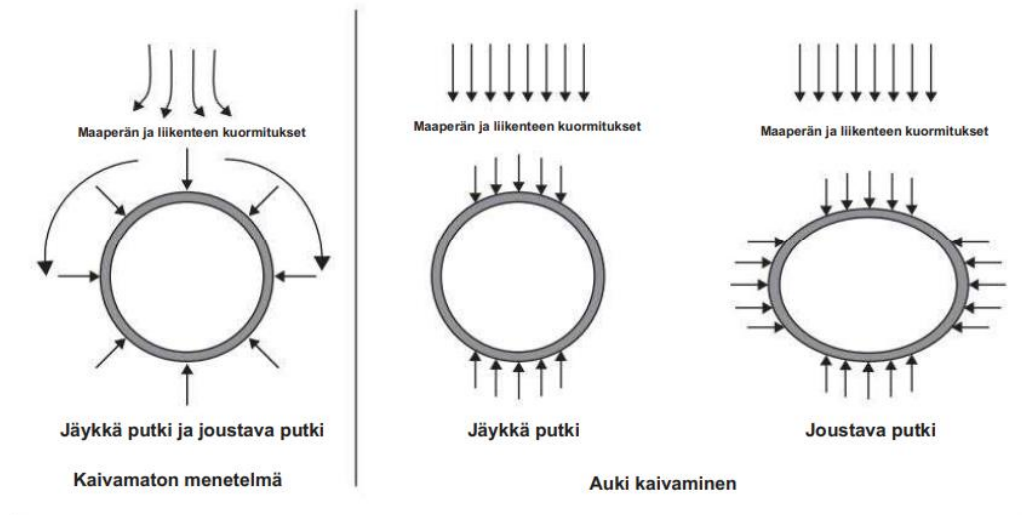
Erilaisia kaivamattomia tekniikoita putkien ja kaapeleiden asentamiseen on lukuisia. Kaivamattomat asennusmenetelmät sisältävät kaikki menetelmät uusien putkistojen tai sähköjärjestelmien asentamiseksi maanpinnan alle ilman suoraa asennusta avokaivantoon. Jokaisella menetelmällä on tiettyjä ominaisuuksia ja rajoituksia, jotka tekevät niistä sopivampia tiettyihin kohteisiin tai olosuhteisiin. (Najafi, 2010)

Sekä menetelmiä, että laitteita kehitetään kaiken aikaa. Käytettävän tekniikan valintaan vaikuttavat maaperän tutkimustiedot, tarjolla olevat menetelmät ja se millaisesta työstä on kysymys. Työn tilaajan, suunnittelijan ja toteuttajan on tarpeen tietää erilaisten toteutustapojen vaatimukset, rajoitukset ja käyttöominaisuudet, jotta voidaan valita tarkoitukseen kaikkein sopivin menetelmä. Kuten kaavio kuvassa 4 havainnollistaa, kaivamattomia menetelmiä voidaan käyttää sekä uudisrakentamisessa, saneerauksessa että olemassa olevien putkilinjojen purkamisessa.



Kuva 4. Kaavio kaivamattomista menetelmistä (Virtanen, 2022)

Kaivamattomat asennusmenetelmät vähentävät merkittävästi kaivu-, täyttö-, tiivistys- ja päällystystyön tarvetta. Kaivamattomassa asennuksessa kallein työvaihe on putkien asennus, joka voidaan arvioida lineaarisesti juoksumetripohjalta. Sen sijaan avokaivuumenetelmässä suurimmat kustannuserät ovat kaivaminen, tuenta, täyttö, ja päällysteen uusiminen, ja ne arvioidaan kaivettavien kuutiomäärien tai pinta-alojen perusteella. Kuten kuvasta 5 näkyy, avokaivuumenetelmässä putken yläpuolella olevan maaprisman kautta maaperän täyttö ja liikennekuormat vaikuttavat suoraan putken päälle. Se aiheuttaa taipuisissa putkissa putken taipumia ja jäykissä putkissa enemmän jännitystä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että kaivamattoman teknologian asennuksissa maaperän putkeen kohdistamat kuormat ovat huomattavasti pienempiä sekä jakautuvat tasaisemmin putken pinnan ympärille, jolloin putken taipumat ovat minimaalisia. (Najafi, 2010)



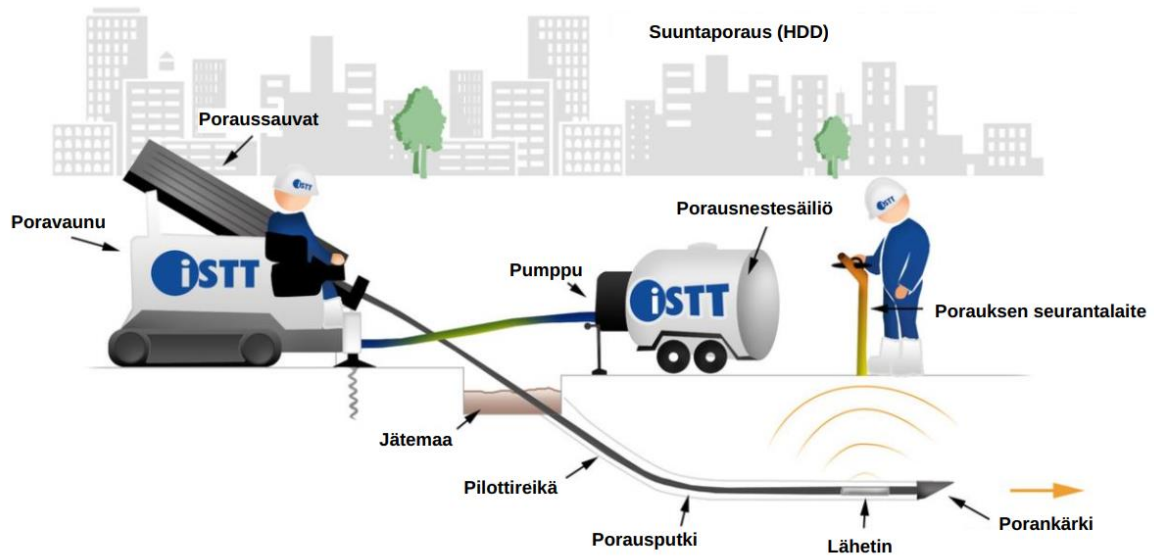
Kuva 5. Havainnekuva siitä, miten putkeen kohdistuva paine jakautuu eri menetelmien välillä. (Najafi, 2010)

Myös kaivamattomien menetelmien turvallisuus on parempi verrattuna auki kaivamiseen. Liikennevirasto selvitti kaivantotyön turvallisuutta tutkimushankkeessaan vuonna 2013. Siihen mennessä 2000-luvulla oli sattunut seitsemän kuolemaan johtanutta työtapaturmaa, jotka liittyivät kaivannon sortumiseen. Valitettavasti muutamia kuolemantapauksia on ollut sen jälkeenkin. (Kujala, 2019) Kaivamattomilla menetelmillä tällaisia tapaturmia voidaan estää.

4.1 Suuntaporaus

Suuntaporaus (horizontal directional drilling, HDD) on porausmenetelmä, joka mahdollistaa maanalaisen infran asennuksen ilman liikennettä ja ympäristöä häiritseviä kaivantoja ja pintarakenteiden rikkomisia. Suuntaporausessa poran kärjen sijaintia pystytään seuraamaan ja porauksen suuntaa voidaan ohjata, joten se on erittäin käyttökelpoinen vaihtoehto kohteisiin, jossa tarvitsee alittaa esimerkiksi joku tie, joki tai rakennus.

Suuntaporaus aloituskohdasta porataan pilottireikä suunniteltua reittiä myöden lopetuskaivantoon. Lopetuskaivannossa porausputkeen kiinnitetään joko asennettava putki, avarrin tai molemmat, ja se vedetään takaisin porausreiän läpi. Kuvassa 6 havainnollistetaan suuntaporaus etenemistä. Poraukseen tarvitaan yleensä kaksi henkilöä, joista toinen työskentelee poravaunussa ja toinen tarkkailee seurantalaitteen avulla porankärjen sijaintia ja etenemistä.



Kuva 6. Havainnekuva suuntaporausesta (ISTT, 2022)

Porausputki koostuu poraustangoista, joita voidaan lisätä yksitellen porauslaitteeseen suuntaporaus edetessä. Aluksi käytetään pyörivää liikettä ja työntöä. Kun pora on riittävän vakaa, koneenkäyttäjä voi vaihtaa suuntaa, jolloin pora voidaan ohjata kulkemaan suunniteltua reittiä.

Poraukärkiä on monenlaisia ja niitä voidaan käyttää erityyppisissä maalajeissa, kuten savessa, hiekassa ja kivessä. Yleensä porassa on viisto pää, jolloin kärjen suunta määrittää sen mihin suuntaan poraus etenee. Jos koneenkäyttäjä haluaa edetä suoraan, hän sekä pyörittää että työntää porausputkea. Mikäli suuntaa täytyy muuttaa, koneenkäyttäjä lopettaa pyörittämisen ja pelkästään työntää poraa, jolloin suunta muuttuu sen mukaan mitä kohti poraukärjen kalteva puoli osoittaa.

Mikäli kaivaminen on vaikeaa tai mahdotonta, kaivamisen aiheuttamat liikennejärjestelyt tai esimerkiksi pinnoitusten uusimisesta johtuvat jälkityöt aiheuttavat suuria kustannuksia suuntaporaus voi olla järkevä valinta. Suuntaporaus on erinomainen vaihtoehto kaivamalla suunnitellulle linjalle, jossa on alitettavia kohteita, kuten rakennuksia, teitä tai vesistöjä tai säilytettävää ympäristöä. Kuvassa 7 tehdään tien alitus suuntaporaamalla Edsevössä. Suuntaporausessa porauspituus voi olla jopa 1000 metriä kerralla ja sen avulla voidaan tehdä jouhevia kaarroksia. Suuntaporaus tekniikka on kehittynyt ja sen ansiosta on mahdollista porata ohjattuja reikiä myös sekamaihin ja jopa kallioon. Käytettävät putkikoot ovat 25 – 1000 mm. (Dahlbacka, Maanrakennus Dahlbacka, 2022)



Kuva 7. Suuntaporaus Edsevössä (Virtanen, 2022)

4.2 Perinteinen työntöporaus

Työntöporauksella (horizontal auger boring, HAB) voidaan asentaa teräsputkia tehokkaasti pehmeisiin maalajeihin. Poraus aloitetaan kaivamalla n. 10-16 metriä pitkä alkukaivanto, johon poralaite sijoitetaan. Poralaite suunnataan ja sen kaltevuus asennetaan halutulla tavalla. Sen jälkeen aloitetaan poraus, jossa porataan teräsputkia 6-12 metrin pätkissä. Putkien saumat hitsataan yhteen. Työntöporauksessa käytetään poralaitetta, joka työntää ja tyhjentää putkea samaan aikaan. Putken sisällä pyörii kuljetusruuvi, joka kuljettaa poratun maa-aineksen alkukaivantoon, josta se voidaan poistaa. Kun porakärki on saapunut lopetuskaivantoon, porakärki irrotetaan ja kuljetusruuvi vedetään pois asennetun putken sisältä. Sen jälkeen putki voidaan puhdistaa ylimääräisestä materiaalista esimerkiksi vesipainehuuhtelun avulla. (Tukiainen Group, 2022)

Työntöporausta käytetään tyypillisesti teiden ja rautateiden alituksissa koska se aiheuttaa vähemmän tärinää kuin vasaraporaus tai junntaus. Poran pyörimisliike jauhaa maan hienoksi materiaaliksi ja porauksessa voidaan tarvittaessa käyttää apuna myös vettä tai paineilmaa. Kuvassa 8 asennetaan metalliputkea työntöporauksen avulla.



Kuva 8. Työntöporaus (Lännen alituspalvelu Oy, 2022)

4.3 Ohjattava työntöporaus

Ohjattavalla työntöporauksella (guided auger boring, thrustboring) voidaan asentaa pehmeisiin maaperiin teräs-, muovi-, betoni-, ja muovikomposiittiputkia. Ohjattavassa työntöporauksessa käytetään kameraa, joka kuvaa poratangon kärjen keskipisteen sijaintia. Ohjattavan ohjauspään avulla voidaan muuttaa poraustangon kaltevuutta porauksen aikana. (Knuutila & ym., 2018, s. 58)

4.4 Tarkkuustyöntöporaus

Tarkkuustyöntöporaukseen sisältyy normaalin työntöporauksen lisäksi pilottiporaus. Pilottiporaus tehdään erittäin tarkasti, jopa millimetrien tarkkuudella kamerajärjestelmän avulla. Kun pilottiporaus on tehty, pilottitankoon kiinnitetään teräsputki, joka seuraa pilottitankoa normaalin työntöporauksen aikana. Jos tarkoituksena on asentaa muoviputki, se kiinnitetään pilottiputkeen vastaanottokaivannossa ja pilottitangot peruutetaan takaisin porauskaivantoon. (Tukiainen Group, 2022)

4.5 Vasaraporaus

Vasaraporaus (iskevä vaakaporaus, LAB) on tehokas ja toimintavarma kaivamaton menetelmä monenlaisissa maaperäolosuhteissa. Vasaraporausta voidaan käyttää

ongelmallisissa maaperissä, sekalaatuisissa maaperissä, kivisissä maaperissä ja kalliassa. Kuvassa 9 porataan reikää vasaraporauksen avulla peruskallioon. Menetelmässä porakruunu jauhaa pyöriessään erilaiset maa-ainekset, kivet ja kallion hienoksi pölyksi. Vasaraporauslaitteilla voidaan työskennellä myös lähellä tienpintaa. Vasaraporauskohteita ovat esimerkiksi teiden, katujen ja rautateiden alitukset salaojitukset, teiden rumpuputket, sähkö-, tele- ja kaasulinjat sekä vesi- ja viemäriputkisto. (Tukiainen Group, 2022)



Kuva 9. Vasaraporaus peruskallioon. (Virtanen, 2022)

4.6 Pipe Express® menetelmä

Pipe Express® menetelmä on hiljattain kehitetty puolittain kaivamaton menetelmä. Tulevaisuus näyttää, saako se jalansijaa täällä Suomessa. Pipe Express® menetelmä sisältää tunnelointiyksikön, syöttöyksikön ja operointi ajoneuvon. Tunnelointiyksikössä on kaivuulaite, joka on kiinnitetty maan päällä sijaitsevaan pyörillä tai teloilla liikkuvaan kaivuuyksikköön. Kuten kuva 10 havainnollistaa, tunnelointiyksikkö kaivaa maata syötettävää putkea varten ja vetää mukanaan asennettavaa putkea. Syöttöyksikkö työntää alkukaivannosta käsin asennettavaa putkea eteenpäin sitä mukaa, kuin tunnelointiyksikkö saa kaivettua linjaa eteenpäin. Operointiajoneuvo tarjoaa tunnelointiyksikölle sen tarvitseman hydraulisen energian ja porausnesteen. (Herrenknecht AG, 2022)



Kuva 10. Havainnekuva Pipe Express® menetelmästä (© Herrenknecht AG, 2022)

Pipe Express® menetelmän avulla maan pinnalle syntyvät vauriot jäävät noin 30%:iin verrattuna auki kaivamiseen, joten se soveltuu erityisesti ahtaisiin paikkoihin tai kohteisiin, joissa ympäristönäkökohtia halutaan ottaa huomioon. Sen avulla voidaan asentaa jopa 2000 m pitkiä putkistoja, joiden halkaisija on 760 - 1500 mm. (Herrenknecht AG, 2022)

4.7 Junttaus

Juntauksessa (pipe ramming) paineilmatoiminen lyöntilaite “juntta” iskee avonaista terässuojaputkea maan sisään, jolloin putken syrjäyttämä maa-aines tunkeutuu putken sisään. Putken sisälle kertynyt maa-aines poistetaan putkesta käsin tai vesipainehuuhtelulla. Teräsputket liitetään toisiinsa hitsaamalla. Junttausta voidaan käyttää erityisesti pehmeillä maalajeilla, (savi, siltti tai löyhä hiekka) mutta se ei sovellu kalliioon, eikä kivisiin sekamaihin. (Tukiainen Group, 2022)

Juntaus on toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen menetelmä. Koska juntattavan putken kärkeä ei pysty ohjaamaan, ongelmia saattaa aiheutua vastaan tulevasta kivistä tai kalliosta, joka saattaa ohjata putken kärkeä väärään suuntaan. Haittapuolena on myös juntauksesta aiheutuva tärinä, joka saattaa aiheuttaa vaurioita lähellä oleviin rakenteisiin. Junttaamalla asennettavien putkien halkaisijat ovat yleensä 168 – 1200 mm, mutta suurempiakin putkia voidaan asentaa. Kuvassa 11 juntataan kaukolämpösuojaputki rautatien ali. (Dahlbacka, Maanrakennus Dahlbacka, 2022)



Kuva 11. Kaukolämpösuojaputken asennus juntaamalla (Dahlbacka, Maanrakennus Dahlbacka, 2022)

4.8 Myyräys

Myyräyksessä (pipe moling) tarvitaan yleensä aloitus ja lopetus kaivanto. Aloituskaivannossa myyrä asennetaan hiekka- tai murskepetille, josta se suunnataan lopetuskaivantoon. Myyrä toimii paineilmalla ja sen sisällä on mäntä, joka iskee laitetta maan sisällä eteenpäin. Myyrä vetää perässään PVC-putkea, jonka kautta mäntää liikuttava paineilma tulee laitteeseen. Paineilmamyyrän liikkeessa, se syrjäyttää maa-ainesta tieltään. Lopetuskaivantoon saapuessaan myyrä irrotetaan putkesta ja paineilmaletkut vedetään putken läpi. (Maanrakennus Velj. Jussila Oy, 2022)

Suomessa ja ulkomailla on hieman erilaisia työkäytäntöjä myyräyksen suhteen. Suomessa myyrä vetää putken suoraan reikään, mutta ulkomailla tehdään yleensä pilottiporaus ennen putken asentamista reikään, Myyräalitusta voidaan käyttää parhaiten sähkö- ja telekaapeleiden suojaputkien asennukseen. Myyrää ei etäohjata, joten riskinä myyräystä käytettäessä on alitusreitiltä harhautuminen, pahimmassa tapauksessa sukeltaminen alas- tai ylöspäin ja osuminen maanalaisiin rakennelmiin. Myyrälle sopivin maalaji on pehmeä, pienikivinen, tasalaatuinen ja kuivahko. Kun olosuhteet ovat oikeat, putken asennus myyrän avulla on suhteellisen helppoa ja yksinkertaista. (Maanrakennus Velj. Jussila Oy, 2022) Asennettavat putkihalkaisijat myyräykselle ovat 50 – 160 mm. (Suomen alitustekniikka Oy, 2022)

4.9 Pakkosujutus

Pakkosujutus (pipe bursting, pipe cracking) on toimiva menetelmä linjaston saneeraukseen, kun saneerattavan linjan koko pysyy samana, tai kasvaa hieman isommaksi. Menetelmässä vanha putki halkaistaan ja samalla vedetään uusi putki paikalleen. Pakkosujutuksen avulla putken halkaisijaa voidaan kasvattaa jopa noin 30 %.

Aluksi pakkosujutuskoneella työnnetään vetotangot olemassa olevaan linjaan. Kun tangot on saatu menemään vastapuolelle, tankoihin asennetaan kiinni vetoleikkuri, avarrin sekä asennettava putki. Sen jälkeen tankoja aletaan vetämään takaisin ja samanaikaisesti vetoleikkuri leikkaa saneerattavan putken sekä avarrin tiivistää materiaalit ympärilleen. (Suomen alitustekniikka Oy, 2022) Kuvassa 12 asennettavaa putkea vedetään avartimen vapauttamaan tyhjään tilaan.



Kuva 12. Pakkosujutus (Dahlbacka, Maanrakennus Dahlbacka, 2022)

4.10 Pitkäsujutus

Kun saneerattavaa linjan kokoa voidaan pienentää, pitkäsujutus (lining with continuous pipes) on käyttökelpoinen saneerausmenetelmä olemassa olevalle linjastolle. Pitkäsujutuksessa saneerattavan putken sisään asennetaan sujuttamalla uusi virtausputki. Pääsääntöisesti työskentely tapahtuu kaivannossa, mutta menetelmän pystyy myös tarvittaessa suorittamaan esimerkiksi kaivosta-kaivantoon. (Suomen alitustekniikka Oy,

2022) Pitkäsujutus soveltuu paineettomien viemäriputkien Ø 100 mm – 300 mm saneeraukseen. Yleensä viemäri voi olla käytössä saneerauksen aikana. (Maunuksela, 2016)

4.11 Pätkäsujuutus

Pätkäsujuutusta (lining with discrete pipes) tuvoidaan käyttää olemassa olevan linjan saneerauksessa. Siinä työnnetään 0,5 metrin mittaisia putken pätkiä saneerattavan linjan sisään. Asennus voidaan suorittaa joko kaivosta tai kaivannosta käsin. Tarvittaessa saneerattavan sekä asennetun putken välitila vaahtobetonoidaan putkien asennuksen jälkeen. (Suomen alitustekniikka Oy, 2022)

4.12 Sukkasujutus

Sukkasujutus (cured-in-place pipe) soveltuu viemäreille silloin kun putken halkaisijaa ei juurikaan voi pienentää. Sukkasujutuksessa eli sukituksen vanhan viemäriputken sisään ajetaan paineilman tai veden avulla polyesterihuovasta tai lasikuidusta valmistettu sukka, joka kyllästetään hartsilla. Sujutettu putki painautuu tiiviisti saneerattavan putken seinämiä vasten. Asennuksessa ei yleensä tarvita kaivantoja, vaan sukan asennus voidaan tehdä olemassa olevien kaivantojen kautta. (Maunuksela, 2016)

Viemärissä olevat piiloliitokset voidaan tarvittaessa avata robottiporalla, mutta siihen ei mielellään tehdä liitoksia jälkeinpäin. Piiloliittymät voidaan tiivistää ns. hattuprofiileja käyttäen. Sujutustyö suoritetaan pääsääntöisesti viemärin tarkastuskaivoista, joten kaivutöitä ei useinkaan tarvita. Jätevesien ohipumppaus on tarpeellista järjestää saneerauksen aikana. Sukan materiaali ja asennustapa valitaan tapauskohtaisesti. (Sujutek Oy, 2022)

4.13 Muotoputkisujutus

Muotoputkisujutusta (close-fit pipe) voidaan käyttää vesijohdoille ja paineviemäreille tapauksissa, joissa putken halkaisijaa ei juurikaan voi pienentää. Muotoputkisujutuksessa putkeen asennetaan munuaisen muotoon jo tehtaalla valmiiksi pakotettu putki, joka ennen asennusta esilämmitetään ja asennuksen jälkeen sitä vielä lämmitetään höyryllä. Kun putki on asennettu paikoilleen, se palautetaan vesipaineen avulla pyöreään muotoonsa. (Maunuksela, 2016) Sujutustyön onnistuminen edellyttää työskentelytilaa saneerattavan putken molemmissa päissä. Muotoputkisujutuksen seurauksena on yhtenäinen putki, johon ei mielellään tehdä liitoksia jälkeinpäin. Väliaikainen vedenjakelu tai jätevesien ohipumppaus on työn aikana useimmiten tarpeen. (Sujutek Oy, 2022)

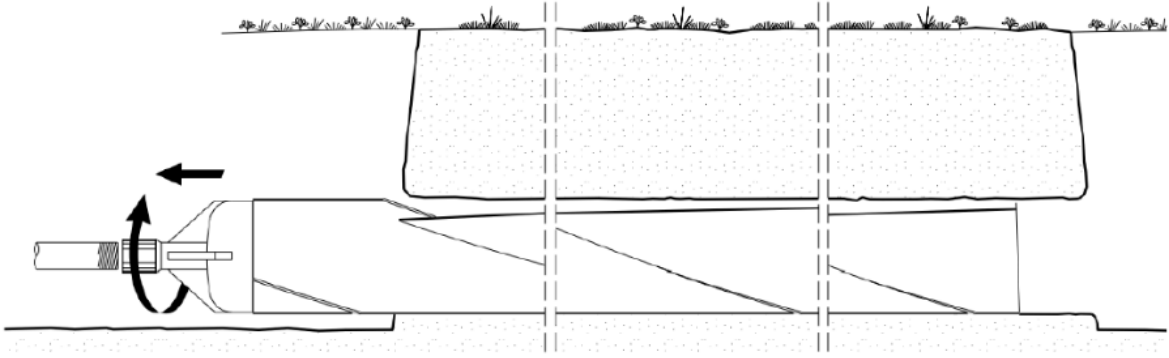
4.14 Sementtilaastivuoraus

Sementtilaastivuoraus on vanhin vesijohtojen saneerausmenetelmä. Siinä saneerattavan metallisen vesijohdon sisäpintaan ruiskutetaan (putken halkaisijasta riippuen) 3-12mm sementtilaastikerros paineilmatoimisella keskipakoisruiskulla, eli sentrifugilla, jonka verran myös putken halkaisija pienenee. Sementtilaastikerroksen tarkoituksena on pysäyttää putken sisäpuolinen korroosio. Menetelmää voidaan käyttää teräs- ja valurautaputkille. (Maunuksela, 2016)

Sementtilaastilla vuoratut putket vuorataan keskipakoisesti, jotta varmistetaan tasainen laastipaksuus koko olemassa olevan putken pituudelle. Sementtilaastivuoraukset estävät korroosiota luomalla korkean pH:n putken seinämään. Ne toimivat fyysisenä esteenä veden ja olemassa olevan putken välillä sileän pinnan avulla, mikä saattaa lisätä olemassa olevan putken hydraulista kapasiteettia, vaikka sisähalkaisija hieman pienenee. Sementtipäälysteiden suojaavat ominaisuudet johtuvat kahdesta sementin ominaisuudesta: sementin alkalisuudesta ja veden vähentyneestä kosketuksesta rautaputken kanssa. Sementtilaastivuoraus levitetään letkun päässä olevalla pyörivällä ruiskupäällä, joka on kiinnitetty vuorauslaitteistoon. Laasti syötetään koneeseen korkeapaineletkun kautta, ja laastikerroksen tasainen paksuus syntyy koneen liikkuessa olemassa olevan putken läpi vakionopeudella. Laastikerroksen paksuus on suoraan verrannollinen nopeuteen, jolla kone liikkuu. Kun vuoraus on levitetty, pyörivällä tai kartiomaisella hiertolastalla saadaan aikaan tasainen pinta. (Najafi, 2010)

4.15 Kaivamaton putkilinjan poisto

Kaivamaton putkilinjan poisto (trenchless pipeline removal, TPR) on uusi teknologia, joka on tarkoitettu putkistoihin, jotka ovat saavuttaneet käyttöikänsä lopun. TPR-menetelmää voidaan käyttää siellä, missä kaivannon kaivaminen putken poistoa varten ei ole mahdollista. TPR suoritetaan tekemällä putkeen kierteinen leikkaus vesisuihkun avulla. Tämä kierteinen leikkaus saa putken toimimaan jousena, kun siihen kohdistetaan veto- ja pyöritysvoimaa. Kuten kuva 13 osoittaa, samalla sen halkaisija pienenee, mikä vähentää merkittävästi sen poikkileikkausta ja siten sen maa-putkikitkaa. Tämä mahdollistaa putkilinjan vetämisen helposti ulos. (Nanan, 2022)



Kuva 13. Putken poisto kierteisleikkauksen jälkeen (Nanan, 2022)

Leikkauskone koostuu pyörivästä päästä, jossa on vesisuihkusuutin, joka suihkuttaa korkeapaineista, suurinopeuksista vesisuihkua, joka pystyy leikkaamaan teräksen läpi. Vesisuihkutekniikka mahdollistaa leikkaamisen paikan päällä ilman kipinöiden muodostumista, jolloin teräsputkia voidaan leikata, vaikka putkessa olisi jäännöskaasuja tai hiilivetyjä ilman tulipalon tai räjähdysvaaraa. Lisäbonuksena suihkutettu vesi voitelee myös ympäröivää maaperää vähentäen entisestään kitkaa maan ja putken välillä. TPR:n viimeinen vaihe on täyttö, jossa jäljellä oleva reikä täytetään sopivalla materiaalilla. Tällä hetkellä tätä tekniikkaa voidaan käyttää putkissa, joiden halkaisija on 250mm tai suurempi. (Nanan, 2022)

5 Kustannukset eri menetelmien välillä

Avoimessa kaivamisessa joudutaan usein tekemään paljon ylimääräistä oheistyötä, joka ei suoranaisesti liity varsinaiseen putkien tai kaapeleiden asentamiseen. Tällaisia töitä voivat olla esimerkiksi kaivannon seinien tukeminen, vedenpoisto kaivannon sisältä, erilaiset tiivistystyöt, liikennevirtojen uudelleenohjaus ja mahdollinen kiertotien rakentaminen. Näistä muodostuu helposti merkittävä osuus kokonaiskustannuksista. Joka tapauksessa maamassoja joudutaan käsittelemään vähintään kahteen kertaan, kun kaivanto ensiksi avataan ja myöhemmin täytetään. Tämä johtaa siihen, että vain pieni osa rakennustyöstä keskittyy pääasiaan, joka on itse putken asennus. Tyypillisesti 70 prosenttia hankkeen kokonaiskustannuksista aiheutuu kaivamisesta, varastoinnista, kuljetuksesta, täytöstä, tiivistämisestä ja päällysteen uudelleen asentamisesta. (Najafi, 2010) Varsinainen putkien ja kaapeleiden asentaminen on siinä tapauksessa vain 30 % kustannuksista.

Avokaivamiseen sisältyvät myös korkeammat "sosiaaliset kustannukset", joita ovat ympäristölle sekä alueella liikkuville ja asuville ihmisille aiheutuvat haitat. Kaivamisesta aiheutuu melua, pölyä ja liikennehäiriöitä. Kaivamisesta voi aiheutua myös turvallisuusriskejä kuten, kaivannon sortumisesta aiheutuvia vaaroja, liikenneonnettomuuksia, kaivuuojaan putoamisia ja niin edelleen. Myös ympäristölle voi aiheutua haittaa, kuten puut ja puiden juuristot voivat vaurioitua, tienpäällysteen käyttöikä voi lyhentyä, tärinästä ja mahdollisesta sortuma- ja painumavaarasta voi aiheutua vaurioita ympärillä oleville rakennuksille ja CO₂ päästöt voivat lisääntyä. (Najafi, 2010)

Suurta osaa edellä mainituista kustannuksista voidaan vähentää tai jopa poistaa kokonaan käyttämällä kaivamattomia menetelmiä. Kokonaistaloudellisesti kaivamaton menetelmä voi tulla siis usealla osa-alueella edullisemmaksi kuin auki kaivaminen.

6 Hiilidioksidipäästöt perinteisessä kaivamisessa

Perinteisessä kaivamisessa hiilidioksidipäästöjä aiheutuu sekä kaivamisessa että maamassojen kuljetuksessa käytetyistä fossiilisista polttoaineista sekä myös maaperästä vapautuvasta hiilidioksidista. Välillisiä päästöjä aiheutuu siitä, jos liikennevirtoja joudutaan ohjaamaan alkuperäistä pidemmälle reitille, tai liikenne pysähtyy ja ajoneuvojen moottorit käyvät tyhjäkäynnillä.

Kun joku linja kaivetaan auki perinteisellä menetelmällä, joudutaan siirtämään suuria määriä massoja sekä todennäköisesti myös kuljettamaan ylijäämämassoja läjitysalueille ja parempilaatuisia maa-aineksia kaivannon täyttöön. Kun maan pintakerros rikotaan ja vaikkapa kaivannon vierelle läjitetään maa-ainesta, siitä vapautuu CO₂ päästöjä ilmakehään. Tuota kaivamisen yhteydessä maaperästä vapautuvan hiilidioksidin määrää on tutkittu tällä hetkellä hyvin rajallisessa määrin. (Isomäki, 2022)

Kaivannon auki kaivamiselle on usein hyvät perusteet ja tällöin ei useinkaan ole mahdollista miettiä ympäristönäkökulmia ja rakentamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Mikäli esimerkiksi koko katu joudutaan rakentamaan tai saneeraamaan kaikkine rakennekerroksineen, auki kaivaminen on perusteltu ja useimmiten ainoa järkevä vaihtoehto. Samassa yhteydessä on helppoa uusia putkilinjoja tai asentaa erilaisia kaapeleita. Samoin jos samalla kertaa joudutaan saneeraamaan tai asentamaan useita eri asioita, kuten viemäreitä, putkia ja kaapeleita, voi olla perusteltua kaivaa rakennettava tai saneerattava linja auki. Auki kaivaminen voi olla paras vaihtoehto myös silloin, kun saneerattava viemäri on

rakenteellisesti niin huonossa kunnossa, että se aiheuttaa esimerkiksi sortumisriskin. (Suomen ympäristökeskus, 2017)

Jos alueelle tehdään esimerkiksi tonttviemäriin liitoskohtia tai muita vastaavia niin tiheästi, että käytännössä maanpinta on muutenkin suurelta osin auki voi kustannustehokkain tapa toimia olla auki kaivaminen. Mikäli viemäriin todetaan asennusvirheitä, tai saneerauksella pyritään eroon sekaviemäroinnistä ja rakennetaan hulevesiviemäriä, usein ainoa mahdollisuus on kaivaa auki. Kun päädytään auki kaivamiseen, on järkevää miettiä sitä, mitä kaikkea voidaan tehdä samalla kertaa tai onko järkevää tehdä saneeraustöitä laajemmalla alueella. Auki kaivamalla voidaan parantaa verkoston kuntoa kaivannon pohjatöistä lähtien. (Suomen ympäristökeskus, 2017, s. 24)

Monissa tilanteissa on kuitenkin mahdollista käyttää kaivamattomia menetelmiä ja tällöin sen ratkaisemiseksi mikä menetelmä valitaan, on hyvä ymmärtää kustannustekijöiden lisäksi myös auki kaivamisesta johtuvia hiilidioksidipäästöjä.

6.1 Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt

Kirjoittamishetkellä suurin osa Suomessa tapahtuvasta kaivamisesta tapahtuu energialla, mitä saadaan fossiilisista polttoaineista. Työkonemoottoreiden osalta ei ole toistaiseksi mitään rajoituksia CO₂ päästöille, ainoastaan pelkkä ilmoitusvaatimus itse moottorin osalta. Suomessa kaikkien työkoneiden vuosittainen yhteenlaskettu polttoaineen kulutus on noin 770 000 t/a. Tästä määrästä noin 90 % on dieselpolttoainetta (lähinnä moottoripolttoöljyä) ja noin 10 % bensiiniä. (Nylund;Söderena;& Rahkola, 2016) Tarjolla on toki erilaisia uusiutuvia ja biopohjaisia polttoaineita, joiden käyttö voi vähentää polttoaineen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä jopa 90 %. (Neste Oyj, 2022) Lisäksi hybriditeknologian avulla polttoaineenkulutusta voidaan vähentää jopa 50 %, (Nokka, 2018) ja sähkökäyttöiset kaivinkoneet epäilemättä yleistyvät tulevaisuudessa. Tyypillisesti maanrakennustöissä käytetään kuitenkin tällä hetkellä dieselöljyä. Tässä opinnäytetyössä asiaa tarkastellaan tämänhetkisen tilanteen mukaisesti dieselpolttoainetta energianlähteenään käyttävän kaivinkoneen näkökulmasta.

Dieselöljy sisältää paljon energiaa, sen energiasisältö on jonkin verran yli 10 kWh / kg. Dieselöljyn etuja on, että sitä on helppo ja nopea tankata, se vie vähän tilaa ja varastointi on yksinkertaista. Dieselmoottori kuitenkin käyttää dieselöljyn sisältämää energiaa huonosti. Parhaimmillaankin vain hiukan yli 40% dieselöljyn sisältämästä kemiallisesta energiasta

pystytään muuntamaan mekaaniseksi, mutta yleensä todellinen hyötysuhde on lähempänä 20%. (Nokka, 2018)

Nimensä mukaisesti polttomoottorissa poltetaan jotain polttoainetta, joka ainakin fossiilisia polttoaineita käytettäessä sisältää hiiltä. Hiilen palamisreaktio voidaan kirjoittaa $C + O_2 \rightarrow CO_2$. Tuossa reaktioyhtälössä hiili (C) reagoi hapen (O_2) kanssa muodostaen hiilidioksidia (CO_2)

Litra dieselöljyä painaa noin 850 grammaa. Dieselöljy sisältää 86,2 % hiiltä, eli litrassa dieseliä on noin 730 grammaa hiiltä. Tämän hiilimäärä polttamiseksi CO_2 :ksi tarvitaan 1940 grammaa happea. Kun kaivinkoneessa poltetaan litra dieselöljyä, siitä muodostuu hiilidioksidipäästöjä siis seuraavasti: $730 \text{ g} + 1940 \text{ g} = 2670 \text{ grammaa}$. (Euroopan Unioni, 2010)

Kaivinkoneen polttoaineen kulutus riippuu tietenkin työkoneesta, olosuhteista ja monesta muusta tekijästä. Hyvä keskiarvo kulutukselle on kuitenkin noin 20 litraa tunnissa. (Nokka, 2018) Karkeasti arvioiden kaivinkoneen voidaan ajatella tuottavan hiilidioksidipäästöjä tunnissa siis 20 kertaa 2,67 kg, eli noin 53,4 kg.

Se mikä on kaivinkoneen kaivamiskapasiteetti, riippuu erittäin paljon olosuhteista. Kolmekymmentä tonnia painavan tela-alustaisen kaivinkoneen kapasiteetti on noin 100 m^3 ltr/h. Se tarkoittaa, että teoreettinen kiintotilavuus, jonka kaivinkoneella voi kaivaa tunnissa on noin 100 m^3 . (Ratu, 2018)

Karkeasti laskettuna dieselkäyttöisen kaivinkoneen kaivamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat siis suuruusluokkaa 0,5 kg teoreettista kiintokuutiota kohti. Kaivannon täyttämistä aiheutuu myös päästöjä, mutta koska maa on löyhtynyt ne todennäköisesti ovat hieman pienempiä. Koska tämä laskelma on teoreettinen, voidaan käyttää kaivamiseen ja täyttöön samaa hiilidioksidipäästöä, jolloin saadaan CO_2 päästökseen yhteensä $1 \text{ kg}/m^3$ ltr. Mikäli maamassoja joudutaan kuljettamaan, niin siitä aiheutuu myös fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvia hiilidioksidipäästöjä.

6.2 Kaivamisen seurauksena maaperästä vapautuva hiilidioksidi

Maaperä on valtavan suuri hiilivarasto. Sen arvioidaan varastoivan maapallolla 1500-2400 gigatonnia hiiltä 1-2 metrin syvyyteen ulottuvassa kerroksessa. Tuo määrä on noin kolme kertaa enemmän hiiltä kuin koko ilmakehässä on yhteensä. Se on myös noin 300-500 kertaa vuotuisten fossiilisista polttoaineista syntyvän hiilipäästön määrä. Pienikin muutos

maaperän hiilivarastossa on siis erittäin merkittävä ilmakehän CO₂-pitoisuudelle. (Heinonsalo, 2020) Hiilen vapautumista puolestaan voidaan estää esimerkiksi välttämällä voimakasta maanmuokkausta. (Ilmatieteenlaitos, 2019)

Kuten aiemmin todettiin, kaivamisen aikana maaperästä vapautuvan hiilidioksidin määrää ei vielä toistaiseksi ole laajemmin tutkittu. Varmaa kuitenkin on se, että jonkin verran hiilidioksidipäästöjä aiheutuu sen seurauksena, että maan pinta on rikottu ja maa-ainesta läjitetty kaivannon vierelle. Päästöjen määrä luonnollisesti riippuu esimerkiksi maaperän koostumuksesta, ilmasto-olosuhteista sekä siitä kuinka pitkään kaivuutyö jatkuu ja maa-aines on tekemisissä hapen kanssa.

Eriyisen paljon hiilidioksidia on sitoutunut turveperäisiin maa-aineksiin. Kun turveperäistä maata muokataan, sen mikrobiologinen toiminta lisääntyy ja turve alkaa hajota. Hiilidioksidipäästöjen lisäksi turvemailta muodostuu vuosittain myös merkittävä määrä typpioksiduulipäästöjä (N₂O). (Heinonsalo, 2020) Typpioksiduuli tunnetaan arkikielessä nimellä ilokaasu ja se on kasvihuonekaasuna lähes 300 kertaa voimakkaampaa kuin hiilidioksidi. (Ruokokoski, 2022)

Hiilidioksidipäästöjen laskennassa päästöihin merkittävästi vaikuttava asia on maan multavuus. Jos tarkastelu tehdään hiiliyksiköissä, maaperän multavuus pitää muuttaa hiileksi. (Heinonsalo, 2020)

Otetaan esimerkki, jossa putkia ja kaapeleita asennetaan metrin syvyyteen. Oletetaan, että maan multavuus kaivualueella on 5 % ja orgaanisesta aineesta 55 % on hiiltä. Silloin maan hiilipitoisuudeksi saadaan laskettua 2,75 %. Oletetaan, että putkia ja kaapeleita asennetaan 200 metrin matkalle ja kaivanto on keskimäärin 1,2 metriä leveä, eikä sitä ole luiskattu eli reunat ovat pystysuorat. Silloin kaivannon kokonaispinta-ala on 240 m². Ajatellaan, että pinnalla on ruokamultaa 25 cm kerros, jolloin ruokamultakerroksen tilavuus on 60 m³ltr. Se täytyy muuttaa vielä painoksi. Jos maan irtotiheys on 1,3 kg/l, painoa on 78 tonnia ja siinä on hiiltä 2,9 % eli noin 2 300 kg. Jos tästä hajoaa kaivamisen ja läjityksen seurauksena 1 %, se olisi noin 23 kg. Koska hiili palaessaan yhtyy happeen, niin hiilidioksidipäästökseksi muutettuna se vastaisi noin 84 kg:n CO₂ päästöä.

Tarkastellaan uudelleen samankokoista kaivuualuetta, mutta tällä kertaa kaivetaan turvealueella. Turveperäisen maan multavuus on yleensä yli 40%. (Opetushallitus, 2022) Valitaan tähän esimerkkiin multavuusprosentiksi 40% ja oletetaan edelleen, että 55 % orgaanisesta aineesta on hiiltä. Näillä esitiedoilla maan hiilipitoisuus on 22 %. Geologiassa

suo määritellään suokasvien maatumisesta muodostuneeksi turvekerrostumaksi, jonka paksuus on yli 30 senttimetriä, pinta-ala vähintään 20 hehtaaria ja tuhkapitoisuus alle 40 %. (Lappalainen, 1984) Suomessa Tammelan Torrjonsuolta on löydetty peräti 12,3 metriä paksu turvekerros. (Mehtola, 2016) Näistä syistä valitaan turpeen kerrospaksuudeksi tässä esimerkissä 60 cm ja ilmakeivan turpeen painoksi 0,4 kg/l. Silloin 240m² alue 60cm paksuista ilmakeivaa turvemaata painaa 57,6 tonnia. Kaivaminen tässäkin kohteessa ulottuu metrin syvyyteen, mutta kuten edellisessäkin esimerkissä laskelmissa huomioidaan vain multavan turvekerroksen osuus. Tuossa määrässä turvetta on hiiltä 22 % eli 12,7 t. Ajatellaan, että kaivamisen seurauksena tästäkin hajoaisi 1 %, jolloin hiiltä vapautuisi 127 kg C. Hiilidioksidipäästökseen muutettuna se vastaisi noin 464 kg:n CO₂ päästöä.

Edellä mainitut kaksi laskelmaa eivät perustu mihinkään tutkimustulokseen, mutta niiden avulla voi hahmottaa minkä suuruisia CO₂ päästöjä voisi aiheutua maaperästä kaivamisen seurauksena. Mitä multavampaa maaperä on, sitä enemmän hiilidioksidia vapautuu.

Paljonko hiilidioksidipäästöt sitten ovat todellisuudessa? Siihen vaikuttaa ratkaisevassa määrin ainakin kaksi asiaa. Kuinka kauan kaivanto on auki ja mihin vuodenaikaan kaivaminen tapahtuu? Jos kaapeli tai putki asennetaan välittömästi kaivamisen jälkeen, vaikkapa samalla viikolla tai jopa seuraavana päivänä, ja kaivanto täytetään saman tien, silloin ei hajoamista ehdi tapahtua kovin paljoa. Toki tutkimusten mukaan peltojen muokkauksessa aiheutuu hiilidioksidipäästöjä, vaikka maan kääntäminen siinäkin tapahtuu suhteellisen nopeasti. Kaivamisen ajankohta vaikuttaa myös todella paljon. Jos kaivuu tehdään talvella ja maa on kylmä ja osittain jopa jäässä on hajotustoiminta hidasta, mutta jos kaivuu tehdään kosteana ja lämpimänä aikana niin hajotusnopeus on moninkertainen.

Peltojen muokkauksesta aiheutuvia päästöjä on tutkittu enemmän, mutta niiden tulokset eivät välttämättä ole suoraan verrannolliset maaleikkauksesta aiheutuviin CO₂ päästömääriin. (Isomäki, 2022) Viljelyssä maata muokataan useita kertoja, kun taas kaivamisessa maa-aines monesti läjitetään joko kaivannon läheisyyteen tai kuljetetaan muualle ja jonkin ajan kuluttua kaivanto täytetään. Viljelyssä siis samaa maa-ainesta on käännetty useita kertoja, mutta kaivamisessa maa-aines saattaa olla jopa neitseellistä, ennen koskemattomaa. Missä määrin se vaikuttaa hiilidioksidipäästöihin, siinä voisi olla hyvä tutkimuksen aihe.

Mikäli putkien ja kaapeleiden asennuksesta perinteisillä menetelmillä aiheutuvista CO₂ päästöistä tehtäisiin tutkimus, siinä voitaisiin mitata muutaman erilaisen, juuri kaivetun kaivannon viereen kasatun maakan hiilipitoisuuksia ja sitten mitata ne uudelleen, kun

kaivanto on luotu umpeen. Tällöin saataisiin mittaustuloksia siitä mikä on ilmiön vaikutus per m² tai kaivantometri. Kun tuon mittaustuloksen kertoisi sillä, kuinka paljon kaivantoja tehdään vuosittain Suomessa, Euroopassa tai maailmassa saisi suuntaa antavan arvion kaivamisesta aiheutuvista CO₂ päästöistä. Jos haluttaisiin tieteellisesti luotettava tutkimustulos, vaadittaisiin paljon isompi tutkimusohjelma varmistamaan, että valitut koepisteet edustavat jonkinlaista keskiarvoa esimerkiksi multavuuden ja maaperän hiilipitoisuuden suhteen. (Isomäki, 2022)

6.3 Kaivamisesta aiheutuvat välilliset päästöt

Kaduilla ja teillä tapahtuva kaivaminen vaikuttaa väistämättä liikennejärjestelyihin, joita kohteessa joudutaan tekemään rakentamisaikana. Työnaikaiset liikennejärjestelyt mahdollistavat rakennustyön sujuvuuden sekä ohjaavat alueella liikkuvat käyttämään turvallisia reittejä. Yleensä työnaikaiset liikennejärjestelyt suunnitellaan vaiheittaiseksi siten, että alueen liikenteelle aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa ja rakennustyöt voidaan toteuttaa aikataulun ja suunnitelmien mukaisesti. (Pahkakangas, 2020)

Usein kaistatilaa joudutaan kuitenkin pienentämään, nopeusrajoituksia alentamaan eikä alueen liikenteen syöttökapasiteetti ole normaalilla tasolla. Liikenne saatetaan myös ohjata kiertoreitille, joka yleensä tarkoittaa pidentynyttä ajomatkaa. Kun nopeusrajoituksia on alennettu ja reitti on hitaampi tai hankalakulkuisempi, ruuhkautuminen voi lisääntyä, mikä taas nostaa tyhjäkäynnistä aiheutuvia päästöjä. Vastaavasti kiertoreitit lisäävät ajettavaa matkaa, joka myös lisää liikenteestä aiheutuvia päästöjä. (Pahkakangas, 2020)

Edellä mainitut seikat ovat kohteesta ja liikennemääristä riippuvia, eikä niille voida sen vuoksi määritellä mitään tarkkoja yleisiä hiilidioksidin päästömääriä. Voidaan kuitenkin ajatella, että jos kiertoreittiä joudutaan käyttämään pitkän aikaa ja liikennemäärät ovat isoja, siitä aiheutuu merkittävä määrä hiilidioksidipäästöjä, ainakin jos kiertotie on suhteellisen pitkä. Mikäli voitaisiin käyttää kaivamattomia menetelmiä, jonka vuoksi liikennejärjestelyihin ei tarvitsisi tehdä muutoksia, parhaimmillaan nuo päästöt jäisivät kokonaan syntymättä.

Kaivamisella on myös vaikutusta ympärillä kasvaviin puihin, koska sen seurauksena puiden juuret voivat vaurioitua. Vauriokohdista sienet saattavat päästä kiinni puun juuriin ja lyhentää puiden odotettavissa olevaa elinikää tai vaikuttaa siihen, että puut eivät kasva yhtä suuriksi, kuin ne olisivat ilman vaurioitumista kasvaneet. Kapean kaivannon vaikutus, joka on vedetty metsän läpi voi tätä kautta ulottua suhteellisen kauas kaivannosta, sen

kummallekin puolelle, toisin sanoen kaivannon vieressä kasvavien puiden latvusten kattamalle alueelle. (Isomäki, 2022)

7 Hiilidioksidipäästöt kaivamattomissa menetelmissä

Rakennusteollisuus on ollut pitkään valokeilassa hiilidioksidipäästöjen suhteen. Rakentamisen osuus maailman energiankulutuksesta on lähes 1/3 ja se tuottaa näin ollen suhteessa saman verran hiilidioksidipäästöjä. Alan maailmanlaajuisen hiilijalanjäljen minimoimiseksi uusia teknisiä ratkaisuja tutkitaan ja testataan jatkuvasti. Yksi parhaista teknologisista edistysaskeleista viime vuosikymmenen aikana on ollut kaivamattoman tekniikan käytön lisääntyminen putkistojen asentamisessa ja kunnostamisessa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että kun kaivamattomia menetelmiä käytetään auki kaivamisen sijaan, hiilidioksidi ja muut päästöt vähenevät merkittävästi. (Vos, 2022)

Waterloon yliopiston Center for Advancement of Trenchless Technologyn (CATT) tutkijoiden tekemässä tutkimuksessa todettiin, että kaivamattomat rakennusmenetelmät vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä 78 - 100 % verrattuna perinteiseen kaivamiseen. Hiilidioksidipäästöjen väheneminen johtuu pääasiassa tekniikan häiriöttömästä luonteesta, joka mahdollistaa hankkeiden toteuttamisen lyhyemmässä ajassa pienemmillä rakennuskoneilla. Perinteisessä kaivamisessa käytetään raskaita koneita ja se usein vaatii teiden sulkemista tai pullonkauloja, mikä johtaa väistämättömiin liikenneruuhkiin ja ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen lisääntymiseen. (Vos, 2022)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti suuntaporauksessa syntyviin hiilidioksidipäästöihin, koska valtaosa Suomessa tällä hetkellä tehtävistä kaivamattoman menetelmän töistä tehdään juuri tuolla tekniikalla. Suuntaporauksessa tehdään tarvittaessa aloitus ja lopetuskavannot perinteisesti kaivinkoneella kaivamalla. Kaivannon keskimääräinen koko on noin 1 m³ ja sen kaivamiseen ja täyttämiseen kaivinkoneella kuluu noin 0,5 litraa dieselpolttoainetta. Kahden kaivannon kaivuu ja täyttö kuluttaa dieselpolttoainetta siis noin litran. Suuntaporauksessa porausnesteeksi syötetään bentoniittia, ja sen syöttö yleensä tapahtuu dieselaggregaatin voimalla. Bentoniittia kuluu noin 1,5 kertaa poratun reiän tilavuus, mutta se on ympäristöystävällistä tietynlaista savea. Aggregaatti kuluttaa dieselpolttoainetta noin 2-3 litraa tunnissa. Tämän lisäksi tarvitaan suuntaporauslaite, joka kuluttaa dieselöljyä keskimäärin noin 0,3 litraa porattua metriä kohden. (Dahlbacka, 2022)

Keskimääräinen tien alitus on noin 20 metriä, ja suuntaporaukseen normaalissa maastossa kuluu aikaa noin 4 tuntia. Tuolla matkalla hiilidioksidipäästöt koostuen aloitus ja lopetuskuopan kaivamisesta sekä täyttämisestä, bentoniitin syötöstä ja suuntaporauksesta ovat noin 45 – 55 kg. Se tekee noin 2,3 – 2,8 kg CO₂ päästöjä porattua metriä kohden. Tämä on siis laskennallinen keskiarvo, mutta käytännössä polttoaineiden kulutus riippuu maaperästä ja asennettavan putken koosta. (Korhonen, 2022)

8 Kaivamattomien menetelmien esimerkkikohteita

8.1 Yuman kaupunki, vesilinjan vaihtoprojekti

Arizonassa olevassa Yuman kaupungissa on noin 98 000 asukasta, ja se sijaitsee lähellä Kalifornian rajaa, osavaltion lounaiskulmassa. Helmikuussa 2016 kaupunki aloitti Downtown Waterline Replacement -projektin korvatakseen vanhenevat 4 tuuman (100 mm) ja 6 tuuman (150 mm) asbestisementtivesilinjat 6-tuumaisilla (150 mm) PVC-putkilla. Saneerattavat putkilinjat ja kadut on esitetty kuvassa 14. Vanhat putket oli asennettu vuosina 1938 - 1940 joten niiden kohdalla 50 vuoden käyttöikä oli reilusti ylitetty. (North American Society for Trenchless Technology, 2017)



Kuva 14. Työaluekartta. Välit 16-20 suuntaporattiin ja loput kaivettiin auki (North American Society for Trenchless Technology, 2017)

Projektista tekee mielenkiintoisen ja käyttökelpoisen se, että osa työstä tehtiin perinteisesti auki kaivamalla ja osa kaivamattomilla menetelmillä. Ymmärtääkseen paremmin perinteisen auki kaivamisen etuja ja haittoja verrattuna suuntaporaukseen (HDD), kaupunki jakoi projektin kahteen osuuteen, joista noin 610 metriä oli suuntaporattua ja 1160 metriä auki kaivettua osuutta. Yllä olevassa kuvassa esitetyt korjausalueet 7th ja 8th Avenuella suuntaporattiin ja loput kohteet kaivettiin auki. Koska projekti oli sama sekä perinteisellä menetelmällä, että suuntaporauksella, se tarjosi erinomaisen tilaisuuden verrata näitä menetelmiä keskenään. Aineistoa kerättiin kentällä kahden kuukauden ajalta ja analysoitiin eri tekijöitä, kuten ympäristövaikutusta, liikennevaikutusta ja tuottavuutta. Tulokset osoittivat, että suuntaporauksella on etuja kaikilla kolmella osa-alueella verrattuna perinteiseen kaivamiseen. (North American Society for Trenchless Technology, 2017)

8.1.1 Kaivuutyö- ja suuntaporauslaitteet

Kaivinkoneena käytettiin vuosimallin 2012 95 hv:n Case 590 Super L kaivinkonetta. Sillä kaivettiin sekä auki kaivettavat osuudet, että suuntaporauksen aloitus ja lopetuskaivannot. HDD Suuntaporauksessa käytettiin Vermeer D24x40A suuntaporauslaitetta. (North American Society for Trenchless Technology, 2017)

8.1.2 Päästöjen mittaustulokset

Tutkimustyötä varten kehitettiin Excelissä Visual Basic -koodausta käyttävä päästölaskin E-*Calc*TM. Tuon työkalun avulla laskettiin seuraavat päästöt: hiilivedyt (HC), hiilimonoksidi (CO), typen oksidi (NO), hiukkaset (PM), hiilidioksidi (CO₂); ja rikkioksidi (SO_x). Laskelmat osoittivat, että suuntaporauksesta aiheutuneet kokonaispäästöt ovat noin 23 % ja CO₂ päästöt olivat alle 33 % verrattuna perinteiseen kaivamiseen. (North American Society for Trenchless Technology, 2017)

8.1.3 Vaikutukset liikenteelle ja tuottavuus

Osuudet, joissa asennukset tehtiin perinteisesti kaivamalla vaativat koko kadun sulkemisen liikenteeltä. Sitä vastoin vain puolet kadusta suljettiin suuntaporauksen aikana, mikä mahdollisti liikenteen sujumuuden. Tämä osoittaa kaivamattomien menetelmien hyödyn erityisesti kaupunkialueilla. Tässä hankkeessa Yuman kaupunki suunnitteli vaihtavansa päällysteen sekä suuntaporatuilta, että perinteisesti kaivetuilta alueilta. Yleensä vain pienet päällysteosat sisään- ja ulostulokohdissa on vaihdettava, kun käytetään suuntaporauksia. (North American Society for Trenchless Technology, 2017)

Kokonaistuottavuus oli paljon korkeampi suuntaporauksessa. Analyysin mukaan HDD saavutti keskimääräisen tuottavuuden 0,58 metriä/min verrattuna perinteiseen avokaivamiseen, jonka keskimääräinen tuottavuus oli 0,13 metriä/min. Tämä tarkoittaa, että suuntaporauksen tuottavuus on yli neljä kertaa suurempi kuin perinteisen kaivamisen. On syytä huomata, että päällystystyötä ei sisällytetty tuottavuusanalyysiin, koska kuten jo mainittu Yuman kaupunki suunnitteli päällystettävänsä kaikki kadut uudelleen asennustavasta riippumatta. (North American Society for Trenchless Technology, 2017)

8.2 Pedersöre, valtatie 8 alitus

Elokuussa 2022 Maanrakennus Dahlbacka Oy suoritti suuntaporauksella valtatie 8 alituksen Pedersöressä, Kolppiin johtavan sillan vieressä. Kohteeseen asennettiin 110 mm paksu putki, jota pitkin erilaiset kaapelit voidaan johtaa Valtatie 8 ali.

Valtatie 8 alituksen pituus oli noin 20 metriä ja se suoritettiin Vermeer 24x40 S3 suuntaporauslaitteella. Porausnesteinä käytettiin bentoniittia ja se syötettiin porausreikään aggregaatin tuottaman energian avulla. (Korhonen, 2022) Kuvassa 15 näkyy kohteessa käytetty laitteisto.



Kuva 15. Valtatie 8 alitus suuntaporaamalla. (Virtanen, 2022)

Porauksen etenemistä seurattiin DigiTrak seurantalaitteella, joka kertoo porauksen etenemiseen liittyviä reaaliaikaisia tietoja, kuten pilottikärjen sijaintia. Kuvassa 16 seurataan porauksen reaaliaikaista tilannetta. Lähettimen tiedot välittyvät suuntaporakoneeseen. Niiden perusteella poraaja voi tehdä esimerkiksi poran suuntauksen liittyviä muutoksia.

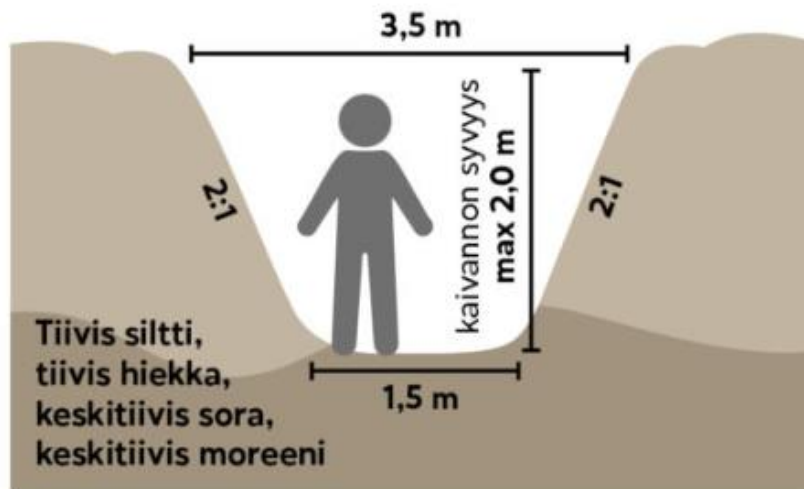


Kuva 16. Porauksen etenemisen seuranta (Virtanen, 2022)

Kohteessa ei mitattu tarkasti suuntaporauksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä, mutta niiden suuruus arvioitiin Dahlbacka Oy:n keräämän kokemuksen avulla. Porauksen polttoainekulutuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt olivat noin 50 kg. Se tekee hiilidioksidipäästöjä metriä kohden noin 2,5 kg/m.

Kuten seurantalaitte kuvassa 16 osoittaa, tien alittava putki asennettiin noin 2,7 metrin syvyyteen. Mikäli putki olisi asennettu yhtä syvälle perinteisesti kaivamalla kaivanto olisi täytynyt luiskata hyvin tai tukea. Ajatellaan tässä laskelmassa kuitenkin, että putki olisi voitu asentaa kahden metrin syvyyteen ja kaivauksen poikkileikkaus olisi ollut kuvan 17 mukainen. Poikkileikkauksen pinta-ala olisi tuolloin 5 m^2 ja mikäli kaivannon pituus olisi ollut 20 metriä, niin kaivettavaa maa-ainesta olisi ollut 100 m^3 ktr. Olen edellä laskenut, että kaivamistyöstä perinteisellä dieselkäyttöisellä kaivinkoneella aiheutuu CO_2 päästöjä sekä kaivaminen että täyttö yhteenlaskettuna noin 1 kg/ m^3 ktr. Tällöin kohteen kaivuutyön ja

täytön yhteenlasketut päästöt karkeasti arvioituna olisivat olleet noin 100 kg CO₂. Suuntaporauksen avulla hiilidioksidipäästöt olivat siis noin puolta pienemmät.



Kuva 17. Kaivannon luiskaaminen (Kujala, 2019)

Mikäli työ olisi suoritettu perinteiseen tapaan auki kaivamalla, liikenteelle olisi aiheutunut huomattavaa haittaa. Ainakin toinen kaista olisi pitänyt olla työn ajan suljettuna, tai olisi pitänyt järjestää kiertotie. Suuntaporauksella käytettäessä liikenne kulki valtatie 8:lla normaaliin tapaan koko porauksen ajan, joten mainittavaa haittaa liikenteelle ei aiheutunut.

Kaivuutyön seurauksena tien asfalttipäällyste olisi myös täytynyt paikata, ja siitä olisi aiheutunut lisäkustannuksia ja päästöjä. Suuntaporauksen ansiosta tien rakenne ei vaurioitunut porauksen aikana, eikä päällystystä tarvinnut uusia tai korjata millään tavoin. Porauksesta aiheutui ainoastaan alku- ja lopetuskaivantojen täyttäminen sen jälkeen, kun tarvittavat kaapelit oli asennettu tien alittavaan putkeen.

Kaivamatonta menetelmää käyttäen aikaa kului koneiden siirrot huomioon ottaen alle 5 tuntia. Periteisiä menetelmiä käyttäen käytetty kokonaisaikamäärä olisi ollut moninkertainen. (Korhonen, 2022).

8.3 Pohjanmaan rannikko, tien alitus vasaraporauksella

Loka- marraskuun vaihteessa 2022 Maanrakennus Dahlbacka Oy suoritti vasaraporauksella tien alituksen Pohjanmaan rannikolla. Kohteessa porattiin peruskallioon reiät halkaisijaltaan 406mm teräsputkelle. Reikiä porattiin vierekkäin 3 kappaletta ja niiden sijainnit näkyvät kuvassa 18.



Kuva 18. Vasaraporaus peruskallioon (Virtanen, 2022)

Koska porattuihin reikiin asennetaan suurjännitekaapeleita, porauksessa käytetyt halkaisijaltaan 406 mm teräsputket täytyi porauksen jälkeen poistaa induktiovaaran takia. Vaihtoehtona olisi ollut käyttää esimerkiksi haponkestävää teräsputkea, joka ei indusoidu suurjännitteen johdosta. Alituksen pituus oli noin 30 metriä, joten kolmesta vierekkäisestä reiästä muodostui porauksen kokonaispituudeksi noin 90 metriä.

Kohteessa ei mitattu tarkasti vasaraporauksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä, mutta niiden suuruus arvioitiin Dahlbacka Oy:n keräämän kokemuksen avulla. Porauksessa käytetyn kompressorin polttoaineenkulutus on noin 60 litraa tunnissa ja hydraulikkayksikön polttoaineen kulutus noin 8 litraa tunnissa. (Paavola & Mikkola, 2022) Tunnissa porauksesta siis aiheutuu hiilidioksidipäästöjä noin 182 kg. Tunnin aikana voidaan porata reikää 406 mm teräsputkea varten noin 2 metriä, joten porauksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt ovat noin 91 kg/m. Koska porattavaa reikää kohteessa oli yhteensä noin 90 metriä, kokonaishiilidioksidipäästöt olivat noin 8,2 tonnia.

Jos kohteeseen olisi tehty perinteiseen tapaan kaivanto, kalliota olisi täytynyt louhia. Tuolloin liikenteelle olisi pitänyt järjestää kiertotie, joka todennäköisesti olisi pitänyt myös päällystää. Siinä tapauksessa mittava määrä maamassoja olisi pitänyt kuljettaa ja hiilidioksidipäästöjä olisi aiheutunut myös kiertotien purkamisesta. Louhimisesta, kaivamisesta ja kuljetuksesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen lisäksi päästöjä olisi syntynyt myös kiertotietä käyttävästä liikenteestä. Nyt liikenne sujui poraamisen aikana täysin normaalisti. Perinteisiä menetelmiä käyttäen myös aikaa olisi kulunut huomattavasti enemmän.

Tässä kohteessa ei arvioitu sitä, kuinka suuret hiilidioksidipäästöt olisivat aiheutuneet perinteistä louhintaa käyttämällä. Vasaraporauksesta peruskallioon aiheutuu mittava määrä hiilidioksidipäästöjä, mutta jos kaikki perinteisestä menetelmästä johtuvat välilliset ja välittömät päästöt huomioitaisiin, on syytä olettaa, että päästöt louhintaa käyttämällä kasvaisivat vieläkin suuremmiksi.

9 Johtopäätökset

On mielestäni kiistatonta, että kaivamatonta teknologiaa käyttämällä voidaan merkittävästi vähentää sekä hiilidioksidipäästöjä, että muita haittavaikutuksia. Hiilidioksidipäästöt jäävät helposti kolmasosaan, tai jopa alle verrattuna perinteiseen kaivamiseen. Omassa laskelmassani Valtatie 8 alituksen kohdalla hiilidioksidipäästöt jäivät noin puoleen verrattuna siihen, mitä ne olisivat olleet auki kaivettuna. Mikäli laskelmassa huomioitaisiin liikenteestä, mahdollisesta kiertotiestä, päällysteen korjaamisesta ja muusta vastaavasta aiheutuvat päästöt, ero kasvaisi huomattavasti suuremmaksi.

Kaivamaton teknologia vähentää merkittävästi myös muita lähiympäristölle koituvia haittavaikutuksia. Liikenne kärsii vähemmän ja esimerkiksi puiden juuret eivät vaurioidu yhtä paljon kuin jos linja kaivettaisiin auki. Koska puiden juuret eivät vaurioidu, voidaan välttyä ennenaikaisilta puiden kuolemilta ja ne voivat kasvaa suuremmaksi, koska juurivaurioista aiheutuneita sienitauteja ei ilmaannu.

Kaivamattoman tekniikan avulla työ sujuu yleensä nopeammin kuin perinteisiä menetelmiä käytettäessä. Tämä johtuu siitä, että kaikenlainen oheistyö, kuten kiertoteiden rakentaminen ja suurten maamassojen kuljetus edestakaisin jää vähäisemmäksi tai poistuu kokonaan. Sen ansiosta suurin osa työpanoksesta voidaan kohdentaa varsinaiseen työhön, kaapeleiden tai

putkien asentamiseen. Siksi tuottavuus kaivamattomassa tekniikassa on huomattavasti parempi kuin auki kaivettaessa.

Joitakin kysymyksiä jäi kuitenkin auki. Suurimpana niistä ehkä se, kuinka paljon maaperän leikkaamisesta ja maan läjityksestä aiheutuu maaperästä vapautuvia hiilidioksidipäästöjä. Laskelmani osoittavat, että maaperän koostumuksella ja sen multavuudella on vaikutusta, mutta minkä suuruisia todelliset hiilidioksidipäästöt ovat? Tästä aiheesta en löytänyt tutkimuksia, jotka suoranaisesti liittyvät maarakentamiseen. Siinä voisi olla sopiva ja tärkeä tutkimuksen ja miksei myös tulevan opinnäytetyön aihe.

Tutkimuksessa voitaisiin mitata auki kaivetun maaperän hiilipitoisuudet heti kaivamisen jälkeen ja uusia mittaus kaivannon täyttämisen jälkeen. Kahta eri tulosta vertailemalla voitaisiin laskea kaivamisen seurauksena maaperästä irronneen hiilen määrä. Kun määrä kerrottaisiin kaivuutyön kuutiomäärällä, saataisiin jonkinlainen käsitys maaperästä vapautuneen hiilidioksidin määrästä. Mikäli kaivanto on auki pidemmän aikaa, mittauksia voitaisiin tehdä esimerkiksi kuukauden välein ja tällöin paljastuisi, millä tavoin hiilidioksidin vapautuminen muuttuu suhteessa kuluneeseen aikaan.

Opinnäytetyössäni tarkastelin kahta kohdetta Pohjanmaan alueella Suomessa. Laskelmani niistä aiheutuneisiin hiilidioksidipäästöihin perustuvat Dahlbacka Oy:n keräämään asiantuntijatietoon, mutta mitään tarkkoja mittauksia esimerkiksi polttoaineen kulutuksesta ei tehty. Jos haluttaisiin täysin luotettavia tuloksia, kaikki tuollainen tieto täytyisi perustua tarkkoihin mittauksiin. Valitettavasti tässä opinnäytetyössä siihen ei ollut mahdollisuutta.

Maailmalta löytyy muutama tutkimus, joissa suoranaisesti verrataan kaivamattoman tekniikan käyttöä perinteiseen kaivamiseen, mutta sellaiselle voisi olla tarvetta myös Suomessa. Ihanteellinen esimerkki Suomessa tehtävälle tutkimukselle olisi kohde, jossa osa työstä tehtäisiin perinteisesti auki kaivamalla ja osa kaivamattomia menetelmiä hyödyntämällä. Kun molempia menetelmiä tutkittaisiin rinnakkain, olisi helppoa arvioida todellisia eroja hiilidioksidipäästöjen suhteen. Tällaisesta tutkimuksesta olisi mainosarvoa alan yrityksille. Kaivamatonta tekniikkaa käyttävät yritykset voisivat markkinoinnissaan hyödyntää saatuja tutkimustuloksia, jotka konkreettisesti osoittaisivat kaivamattoman teknologian mukanaan tuomat ympäristöhyödyt.

On todennäköistä, että tulevaisuudessa ihmiskunta havahtuu nykyistä suuremmassa määrin ilmastonmuutoksen eskaloitumiseen. Silloin hiilidioksidipäästöjen vähentämisen merkitys korostuu entisestään, ja ne voivat muodostua jopa tärkeimmäksi valintakriteeriksi sille mikä

teknologia tai yritys valitaan jonkin hankkeen toteuttajaksi. Jos ja kun tämä toteutuu, niillä yrityksillä, jotka ovat liiketoimintamallissaan huomioineet ympäristönäkökulmat, on kilpailussa vahva etulyöntiasema.

10 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä ei ollut mahdollisuutta käsitellä kaikkia tällä hetkellä käytössä olevia kaivamattoman tekniikan muotoja. On useita eri menetelmiä, joita opinnäytetyössä ei ole lainkaan mainittu. Esimerkkeinä tällaisista voitaisiin mainita spiraalinauhasujutus ja mikrotunnelointi. Niistä tekniikoista, joita opinnäytetyössä käsiteltiin, hiilidioksidipäästöjä arvioitiin vain suuntaporauksen ja vasaraporauksen osalta. Luonnollisesti jokaisesta eri menetelmästä muodostuu erilaiset päästöt, ja jos kaikkia niitä arvioitaisiin huolellisesti työmäärä olisi mittava.

Kaivamaton tekniikka kokonaisuutena on nykyaikainen ja kiinnostava tekniikanala, jonka käyttäminen tuo mukanaan monia ympäristöhyötyjä. Tulevaisuudessa todennäköisesti myös kaivamaton tekniikka tulee sähköistymään, jolloin sen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt edelleen vähenevät. Uudenlaisia menetelmiä kehitetään kaiken aikaa, joten niiden ansiosta ympäristöystävällisyys voi entisestään parantua. Kuitenkin jo tällä hetkellä kaivamaton tekniikka on erittäin käyttökelpoista monenlaisissa kohteissa.

Kun hankkeen toteutusta suunnitellaan, on tärkeä selvittää mitä kaivamattomia tekniikoita kohteessa voitaisiin käyttää. Valintaan vaikuttavat maalajin ominaisuudet, asennettavan putken ominaisuudet ja dimensiot, olosuhteet sekä tekniset ja taloudelliset näkökohdat. Samassa kohteessa on myös mahdollisuus yhdistää useita eri kaivamattomia menetelmiä. On tilanteita, joissa auki kaivaminen on ainoa mahdollisuus, mutta useissa tapauksissa kaivamaton menetelmä osoittautuu kokonaisuutta ajatellen parhaaksi vaihtoehdoksi. Se on usein taloudellisin, ympäristöystävällisin ja työturvallisin vaihtoehto, josta aiheutuu vähiten haittaa liikenteelle ja lähiympäristölle.

Kaivamattoman tekniikan tuomia etuja verrattuna perinteiseen kaivamiseen voisi verrata kirurgin suorittaman tähystysleikkauksen etuihin verrattuna avoleikkaukseen. On varmasti tilanteita, joissa avoleikkaus on välttämätön tai järkevämpi tapa, mutta tähystysleikkauksella saavutetaan monissa tapauksissa merkittäviä hyötyjä. Leikkaushaava ja sitä kautta arvet jäävät pienemmiksi, verenhukka on vähäisempi sekä toipuminen ja kotiin pääsy on usein nopeampaa. Tähystysleikkaus voi vaatia kirurgilta erityisosaamista ja siihen käytettävän

teknologian hallinta voi olla monimutkaisempaa kuin pelkän leikkausveitsen käyttö. Kuitenkin kokonaisuutta ajatellen, useissa tapauksissa tähystysleikkaus on järkevin valinta.

Vastaavasti on tilanteita, joissa on pakko kaivaa käyttämällä perinteisiä menetelmiä. Kaivamattomilla menetelmillä on kuitenkin monissa kohteissa huomattavia etuja. Päälystettä ei tarvitse paikata ollenkaan tai täytyy korjata vähemmän kuin auki kaivettaessa. Puiden lähellä operoitaessa niiden juuret vaurioituvat vähemmän ja CO₂ päästöt jäävät pienemmiksi. Työhön saattaa kulua vähemmän aikaa ja sen seurauksena tie tai katu voidaan ottaa nopeammin käyttöön ja monissa tapauksissa liikennettä ei tarvitse edes pysäyttää. Tähystysleikkauksen tavoin kaivamaton teknologia vaatii erikoisosaamista ja erityistä tekniikkaa, mutta useissa tapauksissa se on kaikkein järkevin valinta.

11 Lähteet

- Aakkula, J. (2021). *Hiilineutraali Suomi 2035 – maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot*. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia.
- Dahlbacka, J. (Useita haastatteluja 2022). (J. Virtanen, Haastattelija)
- Dahlbacka, J. *Maanrakennus Dahlbacka*. Noudettu (22. 10. 2022) osoitteesta <https://dahlbacka.fi/>
- Euroopan Unioni. (2010). *Annex 5: Subsidy level indicators for the case studies*. EU.
- Gates, B. (2021). *Kuinka välttää ilmastokatastrofi*. Helsinki: Werner Söderström Oy.
- Hallamaa, T. *yle uutiset*. Noudettu (8. 11. 2022) osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/74-20003777>
- Heinonsalo, J. (2020). *Hiiliopas - Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin*. Kaarina: Paino Kaarina.
- Herrenknecht AG. *Herrenknecht.pipe-express*. Noudettu (11. 10. 2022) osoitteesta <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/pipe-express/>
- Ilmatieteenlaitos. (2019). *Maaperän kyky sitoa hiiltä voidaan todentaa mittauksilla*.
- Isomäki, R. Sähköpostikeskustelu (20. 10 2022). (J. Virtanen, Haastattelija)
- ISTT. *The International Society for Trenchless Technology*. Noudettu (10. 11. 2022) osoitteesta <https://www.istt.com/>
- Knuutila, J. & ym. (2018). *Vesihuoltoverkostot ja maantiet*. Helsinki: Liikennevirasto.
- Korhonen, A. Haastattelu (24. 8. 2022) työmaalla Pedersöressä. (J. Virtanen, Haastattelija)
- Koskinen, J.-P. (2021). *Hiilijalanjäljillä*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Kujala, H. (2019). Stoppi sortumille kaivannoissa. *Työ Terveys Turvallisuus*.
- Lappalainen, E. (1984). *Turvetutkimusten Maasto-opas*. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
- Lännen alituspalvelu Oy. *LAP*. Noudettu (10. 11. 2022) osoitteesta <https://lannenalituspalvelu.fi/>
- Maanrakennus Velj. Jussila Oy. *Maanrakennusjussila.paineilmamyyrä*. Noudettu (11. 10. 2022) osoitteesta <https://www.maarakennus-jussila.fi/paineilmamyyra>
- Maunuksela. (2016). *Putkistojen kaivamattomat saneerausmenetelmät*. FiSTT.
- Mehtola, J. (2016). Suomen ääripisteet: Paksun suon salaisuus. *Suomen luonto*.
- Najafi, M. (2010). *Trenchless Technology Piping Installation and Inspection*. Alexandria, Virginia: ASCE-press.

- Nanan, K. *Trenchlesspedia*. Noudettu (21. 10. 2022) osoitteesta <https://www.trenchlesspedia.com/the-definitive-guide-to-trenchless-pipeline-removal/2/4506>
- Neste Oyj. *neste.fi*. Noudettu (21. 10. 2022) osoitteesta <https://www.neste.fi/artikkeli/biodiesel-ja-uusiutuva-diesel-mita-eroa>
- Nokka, J. (2018). *Hybridityökoneet, Haasteet, Keinot, Tehokkuus*. Lappeenranta: Mavea Oy.
- North American Society for Trenchless Technology. (2017). *Head-to-Head Comparison of Open-Cut vs. HDD: City of Yuma, AZ Water Line Replacement Project*. Washington, D.C.: (NASTT).
- Nylund, N.-O.; Söderena, P.; & Rahkola, P. (2016). *Työkoneiden CO2 päästöt ja niihin vaikuttaminen*. Espoo: VTT.
- Opetushallitus. *Laboratorioanalyysit*. Noudettu (21. 10. 2022) osoitteesta http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit_maana_ytteen_multavuus.html
- Our World In Data. *Our World In Data / Global direct primary energy consumption*. Noudettu (19. 10. 2022) osoitteesta <https://ourworldindata.org/grapher/global-primary-energy>
- Paavola, M.; & Mikkola, J. Haastattelu (31. 10. 2022) vasaraporaustyömaalla. (J. Virtanen, Haastattelija)
- Pahkakangas, S. (2020). *Hämeentien CO2-päästölaskenta ja ilmastoviisaat tarkastelut*. Helsinki: Helsingin kaupunki.
- Ratu. (2018). *TALO-RATU-OHJE Menekit ja menetelmät Ratu 0441*. Rakennusteollisuus RT ry .
- Robinson, E.; & Robbins, C. R. (1968). *Sources, Abundance, and Fate of Gaseous Atmospheric Pollutants*. SRI Project PR-6755.
- Ruokokoski, V. *Suopelloissa piilee lähes 300 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu*. Noudettu (21. 10. 2022) osoitteesta Yle Uutiset: <https://yle.fi/uutiset/3-10293221>
- Sitoumus 2050. *Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimus*. Noudettu (23. 10. 2022) osoitteesta <https://sitoumus2050.fi/paastotontyomaa#/>
- Sujutek Oy. (11. 10. 2022). *sujutek.fi*. Noudettu osoitteesta <http://sujutek.fi/>
- Suomen alitustekniikka Oy. *Alitustekniikka*. Noudettu (20. 10. 2022) osoitteesta <https://alitustekniikka.fi/>
- Suomen ympäristökeskus. (2017). *Parhaat ympäristökäytännöt (BEP) viemäriverkostojen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- SYKE. *Rakentamisen päästötietokanta*. Noudettu (23. 10. 2022) osoitteesta <https://co2data.fi/>

Taalas, P. (2021). *Ilmaston muutos ilmatieteilijän silmin*. Helsinki: Tammi.

Tukiainen Group. *Tukiainengroup tyontoporaus*. Noudettu (11. 10. 2022) osoitteesta <https://www.tukiainengroup.fi/tyontoporaus/>

Vos, B. *What are some of the new trenchless technologies being used to minimize carbon emissions?* Noudettu (24. 10. 2022) osoitteesta Trenchless Pedia: <https://www.trenchlesspedia.com/>

Väylävirasto. *Infrarakentamisen CO₂-päästötietokanta kokoaa tietoa väylänpidon hiilijalanjäljestä* . Noudettu (23. 10. 2022)osoitteesta <https://vayla.fi/>