

# **LÄMMÖNJAKELUKESKEYTYKSIEN OPTI- MOINTI JA YMPÄRISTÖVASTUU**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Ympäristö- ja energiatekniikka  
Syksy 2020  
Jussi Rautiainen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Rautiainen, Jussi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2020
	Sivumäärä 33	
Työn nimi <b>LÄMMÖNJAKELUKESKEYTYKSIEN OPTIMOINTI JA YMPÄRISTÖVASTUU</b>		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Pia Haapea, Yliopettaja, Energia- ja ympäristötekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Janne Vääätäjä, Kunnossapitopäällikkö, Helen Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää eri menetelmien kustannustehokkuutta lämmön ja jäähdytyksen jakelukeskeytyksissä asiakastyytyväisyys huomioiden. Työssä keskityttiin myös jakelukeskeytyksien ympäristöystävällisyyteen.</p> <p>Opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa lähdettiin ensin tarkastelemaan kaukolämmitystä ja jäähdytystä yleisesti, jonka jälkeen tarkasteltiin eri optimointimenetelmiä. Optimointimenetelmistä tarkasteluun otettiin poratulppaus, matalakaraventtiilien käyttö, venttiilin yli pumppaaminen sekä linjan tulppaus litistämällä. Työn keskeisimpänä tiedonkeruumenetelmänä käytettiin haastatteluita.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksissa verrataan eri menetelmien hyötysuhdetta nykyiseen menetelmään ja sitä, miten putkikoon suurentuminen vaikuttaa käytön hyödyllisyyteen. Tuloksissa keskitytään poratulppauksen ja matalakaraventtiilien käyttöön. Tulokset on laskettu opinnäytetyön osana rakennetusta laskentataulukosta ja tuloksissa on käytetty todellisia esimerkkitapauksia apuna. Pienemmät putkikoot alle DN150 osoittautuivat kustannustehokkaiksi tutkituilla menetelmillä, mutta kustannustehokkuuden kannattavuus laskee suuremmissa kuin DN100 putkikoissa.</p>		
Asiasanat kaukolämpö, jakelukeskeytys, poratulppaus, matalakaraventtiili, kustannustehokkuus		

## Abstract

Author(s) Rautiainen, Jussi	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2020
	Number of Pages 33	
Title of Publication <b>OPTIMIZATION OF INTERRUPTIONS IN HEATING AND COOLIN DISTRIBUTIONS INCLUDING ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY</b>		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Pia Haaopea, Head teacher, Energy- and environmental technology. LAB university of applied sciences		
Name, title and organization of the client Janne Väättäjä, Maintenance manager, Helen Oy		
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to find out the cost-efficiency of different methods in district heating and cooling distribution interruptions, taking customer satisfaction into account. In addition to these goals the thesis also focused on the environmental friendliness of distribution interruptions.</p> <p>In the theoretical part of the thesis, was first set out to look at district heating and cooling in general, after which different optimization methods were reviewed. The reviewed optimization methods were hot tapping and line stopping, the use of branching valves, pumping over the valve and line plugging by flattening. Interviews were used as the main data collection method of the thesis.</p> <p>The results of the thesis compare the efficiency of the reviewed methods with the currently employed methods in addition to the effects of an increase in pipeline size to the usefulness of the used methods. The results focus on the usage of hot tapping and line stopping, as well as the usage of branching valves. The results have been calculated based on a spreadsheet that was built during the research process. Calculations were made by using real-life cases from earlier this year. According to the study's findings smaller pipelines less than DN150 proved to be more cost-effective, but cost-effectiveness was perceived to lower as the pipeline grows higher than DN100.</p>		
<p>Keywords</p> <p>district heating, distribution interruption, hot tapping and line stopping, branching valve, cost-efficiency</p>		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Helen Oy ja kaukolämpö- ja jäähdytysverkosto.....	2
2.1	Kaukolämpö.....	2
2.1.1	Kaukolämpöverkosto .....	3
2.1.2	Uusiutuva kaukolämpö .....	5
2.1.3	Kaukolämmön haitat .....	6
2.2	Kaukojäähdytys .....	8
3	Jakelukeskeytyksien optimointimenetelmiä .....	9
3.1	Poratulppaus .....	9
3.2	Matalakarventtiin käyttö.....	12
3.3	Venttiin yli pumpppaaminen .....	14
3.4	Linjan tulppaus litistämällä .....	15
4	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät .....	17
5	Jakelukeskeytyksien optimointimenetelmien tulokset.....	18
5.1	Poratulppauksen hyötysuhde DN putkikoon suurentuessa .....	18
5.2	Haaran poratulppaus suuremmasta rungosta .....	21
5.3	Porasulun vai uudelleentulppauksen käyttö poratulppauksessa?.....	23
5.4	Case-esimerkki Kauppalantie .....	24
5.5	Matalakarventtiilien hyötysuhde DN putkikoon suurentuessa.....	26
6	Asiakastyytyväisyys Helenillä.....	28
7	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	30
	Lähteet .....	32

## Liitteet

Liite 1. 2020 alkuvuoden jakelukeskeytykset Helenillä

## 1 Johdanto

Helsingin kaupungin alla kulkee yli tuhannen kilometrin pituinen kaukolämmön- ja jäähdytyksen jakeluverkosto. Työn toimeksiantajana oli Helen Oy, joka halusi tietoa keinoista, joilla jakelukeskeytysten aikaa ja määrää voidaan vähentää. Kaukolämmön putkisto alkaa olemaan osittain jo vanhaa ja tarvitsee kunnossapito- ja korjaustöitä. Jakelukeskeytyksien vuosittainen määrä Helenillä on noin 400–500 kpl. Luku sisältää perusparannus-, muutos ja korjaustyöt sekä uusiorakentamisen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeä kaava siitä, miten jakelukeskeytyksien aikaa ja määrää voitaisiin vähentää asiakkailta kustannustehokkaasti. Työn aikana myös selvitettiin ja laskettiin hyötyjä eri menetelmien tehokkuudesta putkikoon suurentuessa. Opinnäytetyössä on käsitelty erilaisia menetelmiä jakelukeskeytyksien optimointiin. Suurimpina kiinnostuksen kohteina niistä poratulppaus ja matalakaraventtiilien käyttö.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan Helenistä ja kaukolämmöstä- ja jäähdytyksestä yleisesti. Samalla vertaillaan Helenin osuutta kaukolämmössä ja jäähdytyksessä. Teoria osuuden jälkeen siirrytään tutkivaan osuuteen ja kuvataan opinnäytetyössä käytetyistä menetelmistä. Empiirisessä osuudessa on selvitetty eri optimointimenetelmiä eli tapoja, joilla lämmönjakelukeskeytyksiä saadaan vähennettyä, keskeytysten kestoa lyhenemään ja hiilijalanjälkeä pienennettyä. Keskeytysten optimoinnissa selvitettiin poratulppausten, matalakaraventtiilien, sulkuventtiilin yli pumppaamista ja putken litistämisen käyttöä jakelukeskeytyksissä.

Opinnäytetyölle oli selkeä työelämänlähtöinen tarve, koska kaukolämpökeskeytyksen nykyiseen malliin koettiin löytyvän ympäristöystävällisempi, asiakaslähtöisempi ja kustannustehokkaampi malli. Työssä hyödynnettiin myös tekijän kokemusta Helen Oy:n kaukolämpöverkolla työskentelystä haastatteluiden ja tiedonhaun lisäksi.

## 2 Helen Oy ja kaukolämpö- ja jäähdytysverkosto

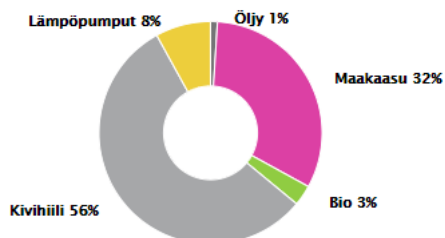
Helen Oy on helsinkiläinen energiayhtiö, joka on perustettu jo vuonna 1877. Helen Oy on aiemmin tunnettu nimellä Helsingin Energia. Yhtiön nimi ja yhtiömuoto muuttui Helen Oy:ksi vuonna 2015. Helenillä on noin 500 000 asiakasta ympäri Suomea. Helen on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä ja on palkittu maailman parhaana kaupunkienergian tuottajana. Liiketoiminta Helenillä perustuu sähkön, kaukolämmön- ja jäähdytyksen tuotannosta sekä energian jakelusta ja myynnistä. Helen Oy tuottaa kaukolämpöä Hanasaaren, Vuosaaren ja Salmisaaren voimalaitoksilla, sekä pienemmillä lämpölaitoksilla ja lämpöpumppulaitoksilla. Kaukolämpö tuotetaan voimalaitoksilla yhteistuotannolla CHP-voimalaitoksissa (Combined Heat and Power) yhdessä sähkön kanssa, jolloin voidaan mahdollistaa energiatehokkain ja ympäristöystävällisin ratkaisu polttoaineen energiasisällön talteen saamiseksi. Polttoaineen sisältämä energia pystytään hyödyntämään lähes 90 prosentin hyötysuhteella. Salmisaaren voimalaitoksella tuotetaan lämmön ja sähkön lisäksi myös jäähdytystä. Tällöin voidaan puhua kolmoistuotannosta, josta jäähdytyksen tuotanto perustuu lähes 80-prosenttisesti muuten hyödyntämättä jäävään energiaan. Jäähdytystä tehdään kylmän meriveden avulla. (Helen Oy 2020.)

### 2.1 Kaukolämpö

Suomessa kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto kaupungeissa sekä taajamissa. Kaukolämmöllä lämmitettiin 46 prosenttia asuin- ja palvelurakennuksista vuonna 2017, ja sen suosio on kasvanut. Kaukolämpö siirretään asiakkaalle menoputkessa, ja palautetaan paluuputkessa takaisin voimalaitokselle jäähtyneenä uudelleen lämmitettäväksi (Energiamailma 2020). Kaukolämpöverkoston vettä ei suoraan johdeta kiinteistön asuntojen lämmitysverkostoon, vaan se luovuttaa lämpöenergiansa kunkin rakennuksen omaan verkostoon lämmönsiirtimen avulla. Kaukolämmön sanotaan olevan energiatehokasta, edullista ja lämmitysratkaisuna toimitusvarmaa. Kaukolämmöllä voidaan lämmittää tilat sekä käyttövesi, ja lämmitys pysyy suhteellisen tasaisena ulkolämpötilasta huolimatta. Kaukolämmön hinnanvaihtelu on pientä ja usein sen tuottamisessa käytetään erilaisia hajautettuja energianlähteitä. Kaukolämmön energialähteinä voidaan käyttää kivihiiltä, maakaasua, turvetta, öljyä sekä uusiutuvia energialähteitä: puuta ja biokaasua. Bioperäisten energialähteiden käyttö on lisääntymässä kaukolämmön tuotannossa. (Energiateollisuus.) Tällä hetkellä Helenillä suurin energialähde kaukolämmössä on kivihiili (56 prosenttia kokonaismäärästä), jonka käytöstä ollaan poistumassa viimeistään vuonna 2029. Biopolttoaineiden määrä energiantuotannossa on Helenillä 3 prosenttia (Kaavio 1). Tiedot ovat vuoden 2019 mukaan. (Helen Oy 2020.)

## Kaukolämmön alkuperä

2019



Kaavio 1. Helen Oy. Kaukolämmön alkuperä Helenillä.

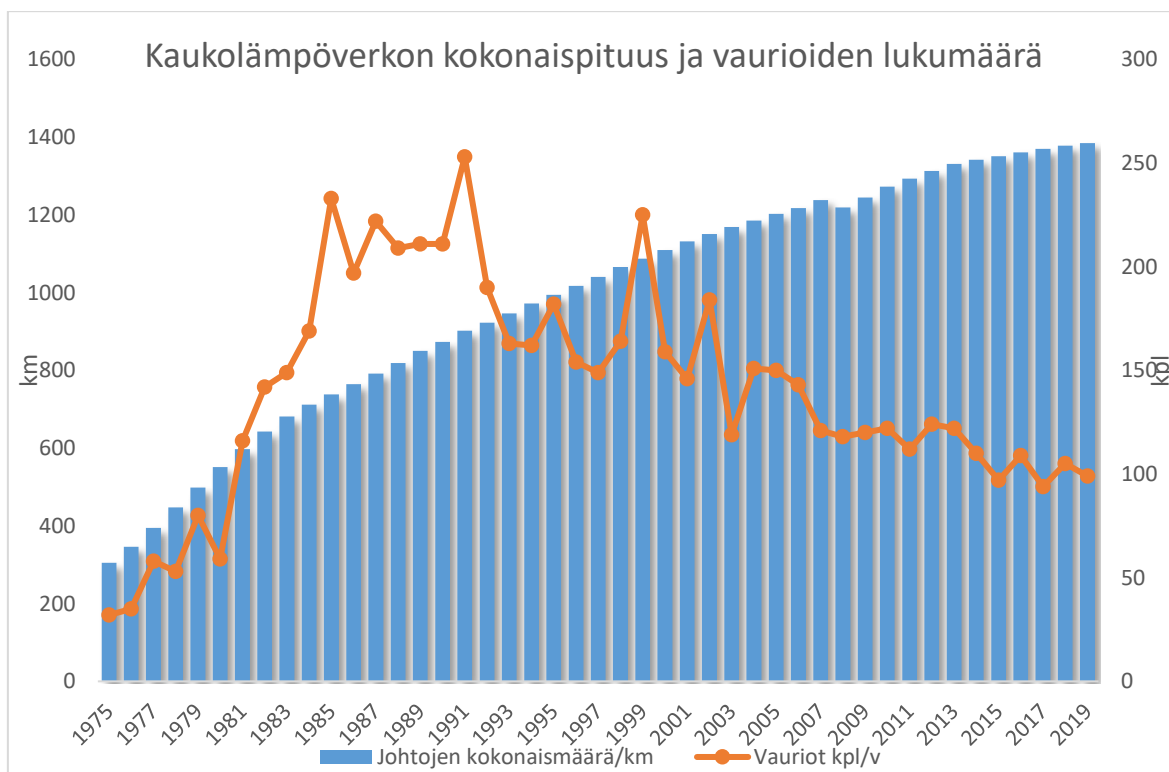
### 2.1.1 Kaukolämpöverkosto

Kaukolämpöverkon kokonaispituus Suomessa on jo yli 15 000 kilometriä (Energiateollisuus). Helenillä kaukolämpöverkostoa on vuonna 2019 1385 kilometriä. Vanhin käytössä oleva putki on vuodelta 1956, mutta höyryverkostosta löytyy putkia jo vuodesta 1950 lähtien. Kaukolämpöverkossa lämpöhäviö kaupunkialueilla on keskimäärin 5–8 prosenttia. Vedden lämpötila kaukolämpöverkossa vaihtelee sään mukaan ja on menopuolella 65–115 astetta ja paluuputkessa 40–60°C.

Perusparannuksessa ja uudisrakennuksissa käytettävä putkimateriaali on kiinnivaahdotettu, jonka arvioitu käyttöikä on 100 vuotta (Kuva 1). Muita putkimateriaaleja ovat 2Mpuk (kiinnivaahdotettu yksiputkijohto), joustoelementti, betonielementti (Kuva 1), fiskars Mpul (kaksiputkijohto) ja sisätiloissa spiroputket (peltieristeinen kiinnivaahdotettu putki) (Väättäjä). Helenillä 2Mpuk johtotyyppin rakennus on lisääntynyt tasaisesti. Kaukolämpöverkon kokonaispituudet ja vaurioiden lukumäärät on esitetty kaaviossa 2. Helenin kaukolämpöverkon putkistoista on tällä hetkellä eniten kiinnivaahdotettua johtotyyppiä, yhteensä 922 km (2019).



Kuva 1. Betonielementti ja kiinnivaahdotettu linja



Kaavio 2. Kaukolämpöverkon kokonaispituus ja vaurioiden lukumäärä Helenin kaukolämpöverkossa.

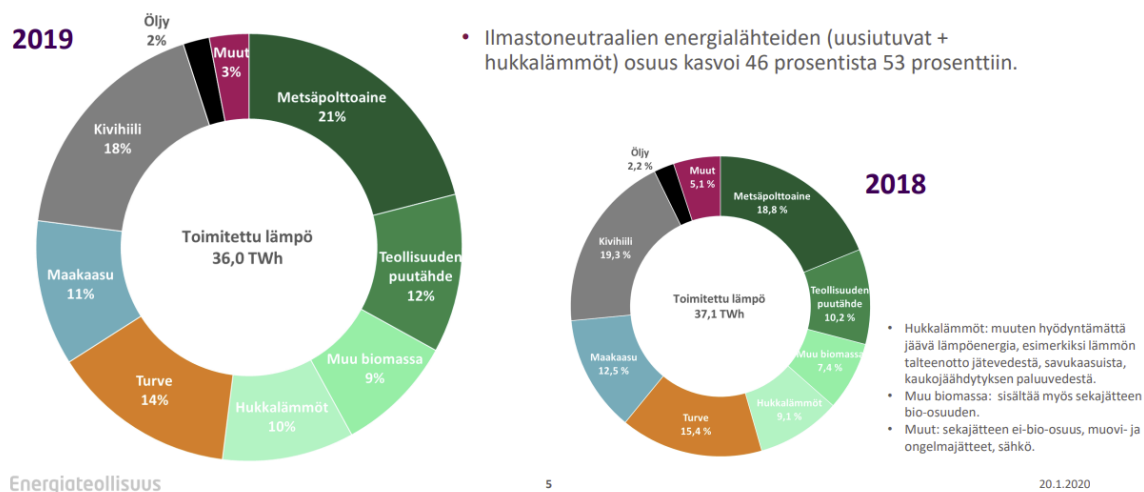
Kaukolämmön hyötysuhde riippuu pääosin siitä, missä se on tuotettu. Helenin Vuosaaren voimalaitoksessa kaukolämpö tuotetaan jopa 93 prosentin hyötysuhteella. Vuosaaren voimalaitos on kombivoimalaitos, jossa tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä maakaasusta.



Kombivoimalaitoksessa kaasuturbiinivoimalaitos tai polttomoottorivoimalaitos on yhdistetty höyrykattilavoimalaitokseen parhaimman mahdollisen hyötysuhteen takaamiseksi (Wikipedia). Hyötysuhde kaukolämmölle on korkein yhteistuotannolla tuotetuissa voimalaitoksissa. Vuosaaren voimalaitoksen hyötysuhde on erittäin hyvä 93 prosenttia (Helen Oy). Oulussa kaukolämmön hyötysuhteessa päästään 85 prosentin lukemiin (Oulun energia). Suomessa 80 prosenttia kaukolämmön tuotannosta tuotetaan yhteistuotannolla, jolloin ympäristöpäästöt ovat arviolta 30 prosenttia pienemmät kuin erikseen tuotetuissa voimalaitoksissa (Gebwell). Tanskassa yhteistuotannolla tuotettua kaukolämpöä tuotettiin 67,4 prosenttia vuonna 2015, ja Tanska on Suomen lisäksi yksi maailman johtavista maista yhteistuotannolla (CHP) valmistetulla kaukolämmöllä. (Danish energy agency 2015.)

## 2.1.2 Uusiutuva kaukolämpö

Tulevaisuuden tavoitteena on saada kaukolämmön tuotanto hiilineutraaliksi. Kymmenen vuoden ajanjaksolla uusiutuvien energialähteiden osuus lämmön tuotannossa on noussut Suomessa yli kolminkertaiseksi (2019). Kaaviossa 3 on esitetty uusiutuvien polttoaineiden kasvu vuosina 2018–2019. Uusiutuvien polttoaineiden käyttö energialähteinä on lisääntynyt metsäpolttoaineissa, teollisuuden puutähteissä, muissa biomassoissa (sisältää myös sekajätteen bio-osuuden) sekä hukkalämmössä (Kaavio 3). (Energiateollisuus.)



Kaavio 3. Energiateollisuus. Ilmastoneutraalin energian osuus yli puolet kaukolämmöntuotannossa.

Suomi on sitoutunut merkittäviin energiantuotannon hiilijalanjäljen vähentämistavoitteisiin. Suomi sitoutuu olemaan kivihiilivapaa viimeistään vuoden 2029 mennessä (Vantaan Energia). Tämä edellyttää myös energiayhtiöiltä aktiivisia toimia kohti kivihiiletöntä energian tuotantoa. Esimerkiksi Vantaan energian on ilmoittanut korvaavansa kivihiilen lisäämällä hyötykäyttöön kelpaamattoman jätteen, tuuli- ja aurinkoenergian ja maalämmön osuutta

tuotannossa. Merkittävimmäksi toimenpiteeksi Vantaan energialla nousee kuitenkin jätevoimalan laajennus. Kyseisillä toimenpiteillä Vantaa on sitoutunut olemaan kivihiiletön jo vuonna 2022.

Helen Oy on asettanut omat tavoitteensa ilmastoneutraaliin energiantuotantoon. Kivihiilen käytön vähentämiseen Helen aloitti valmistelut jo vuonna 2015 ilmoittamalla luopuvansa Hanasaaren voimalaitoksesta vuonna 2024. Hanasaaren voimalaitoksen sulkeuduttua kaukolämmön tuotantokapasiteetti vähenee 870 MW ja sähköntuotantokapasiteetti 380 MW. Helen onkin lähtenyt ottamaan isoja harppauksia saadakseen paikattua Hanasaaren jättämän lämpötehon uusiutuvilla energialähteillä. Hanasaari tullaan korvaamaan laajentamalla Katri Valan lämpöpumppulaitosta yhdellä uudella lämpöpumpulla (lämmitys ja jäähdytys jäte- ja merivedestä kierrättämällä), Mustikkamaan tunnelien öljyluolien modifioinnilla lämpövarastoiksi ja biolämpölaitosten rakentamisella. Korvaavista laitoksista valmiina ovat Salmisaaren pellettivoimalaitos sekä Esplanadin alla sijaitseva uusi maanalainen lämpöpumppulaitos. Helen Oy:n tavoite on olla ilmastoneutraali vuoteen 2035 mennessä. Lämmöntuotannossa yhteistyötä tehdään Vantaan, Espoon ja Kilpilahden kanssa. (Helen Oy 2018.)

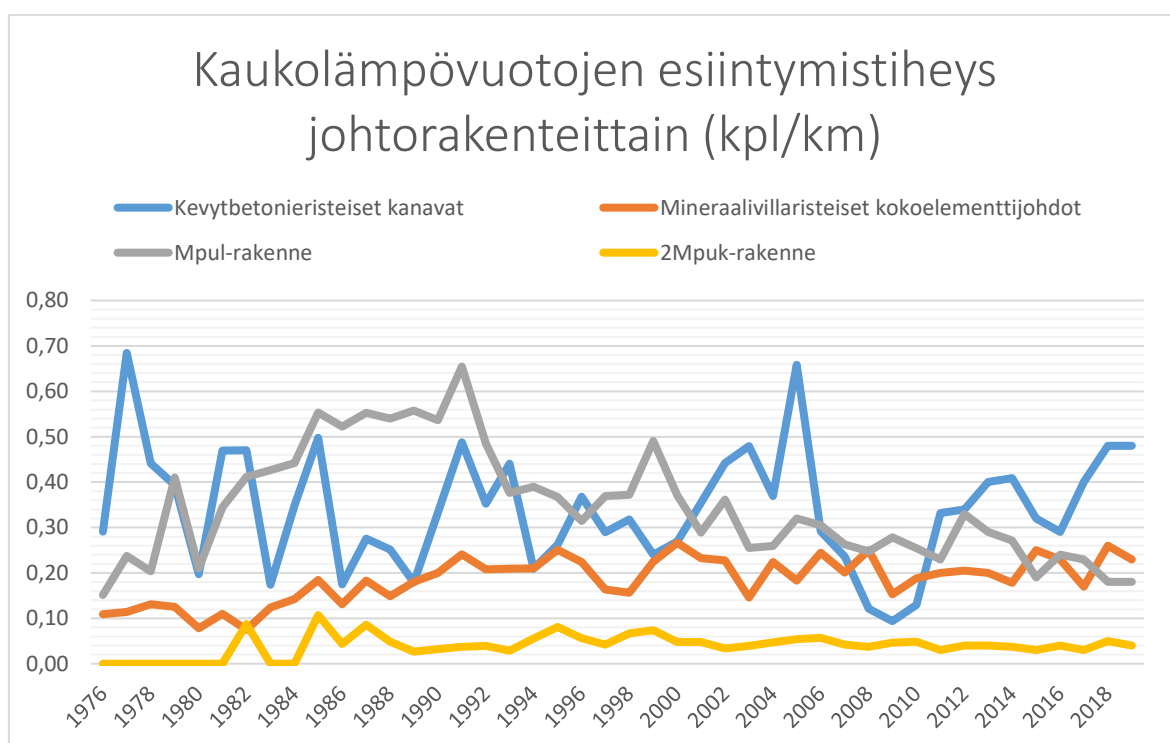
Kivihiilen poistuminen käytöstä tarkoittaa biopolttoaineiden suhteellisen määrän lisäämistä. Yksi iso ratkaistava asia on biopolttoaineiden riittävyys. Helenin mukaan kotimainen biopolttoaine ei tule riittämään kaikille (Helen Oy). Avoimena onkin vielä kysymykset siitä, mistä biopolttoaine tullaan siis tulevaisuudessa hankkimaan ja paljonko siirrosta aiheutuu ympäristöpäästöjä? Kivihiilirajoitukset lyövät paineita energiayhtiöille, jolloin tarvitaan nopeita päätöksiä ja toimia, mikä voikin estää parempien energianlähteiden löytymisen ja hyödyntämisen.

### 2.1.3 Kaukolämmön haitat

Kaukolämmön huonoiksi puoliksi voidaan laskea vielä nykyisin käytettävät fossiiliset polttoaineet. Kaukolämmön hyötysuhde on hyvä varsinkin yhteistuotannolla tuotetuissa laitoksissa, mutta siitä huolimatta kaukolämmön tuottamisesta aiheutuu päästöjä. Näistä suurimmat aiheutuvat fossiilisista polttoaineista kuten kivihiili, vaikka sen käyttöä ollaankin vähentämässä. Kaukolämmön CO<sub>2</sub> päästökerrointa on päivitetty vuoteen 2019 asti. Tilastokeskus on julkaissut Suomen keskimääräisen kaukolämmön CO<sub>2</sub> päästöille 154 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Määrä on pitkälle riippuvainen kaukolämmön tuotantotavoista, prosesseista ja energian lähteistä. Motivan mukaan CO<sub>2</sub> päästökerrointa ei tarvitse enää julkaista vuoden 2018 jälkeen tilastokeskukseen. (Motiva 2018.)

Muita kaukolämmön haittapuolia aiheutuu siihen vaadittavan infrastruktuurin rakentamisesta ja kunnossapidosta. Kaukolämpöverkosto on pääosin vanhaa ja vaatii kunnossapitoa

ja uusimista. Vanhan putken vaihtamista uuteen kutsutaan linjan perusparannukseksi. Helen kartoittaa jatkuvasti mahdollisia riskipaikkoja, joita lähdetään suunnitelmallisesti korjaamaan linjan perusparannuksella. Välillä kaukolämpöverkoston aiheutuu odottamattomia vuotoja. Vuotojen määrä vaihtelee vuosittain, mutta vuodot osuvat pääosin vanhempaan putkimalliin (kevytbetonieriste, mineraalivillaeriste ja Mpul) (Kaavio 4). Helenin verkostossa vuotoja on vuosittain noin 100 kappaletta. Tämä on lähes puolet vähemmän kuin 20 vuotta taaksepäin (Kaavio 4). Kiinnivaahdotetuissa putkissa on putkimetreihin nähden vähän vuotoja (uutta linjaa). Suurin osa vuodoista johtuu ulkoisesta syystä, esimerkiksi kevytbetonieristeen sauman vuodosta tai eristeen vaurioitumisesta, jolloin putken päälle pääsee valumaan vettä, ja putki ruostuu nopeasti. Parhaimmillaan kiinnivaahdotetun putken käyttöikä on noin 100 vuotta. Vanhan johtotyyppin perusparannuksesta aiheutuu ympäristöjätettä putkien hävittämisen ja työmaaliikenteen osalta.



Kaavio 4. Kaukolämpövuotojen esiintymistiheys johtorakenteittain (kpl/km)

Yksi merkittävä vuotojen aiheuttama haitta on kaukolämpöveden pääsy ympäristöön. Vaikka kaukolämpövesi pyritään tyhjentämään viemäristöön maaston sijaan, kulkeutuu se aina kuitenkin ympäristöön. Kaukolämpöverkko pitää tyhjentää verkossa tehtävien hitsaus- töiden ajaksi. Kaukolämpövesi on kuumaa ja sen lisäksi vesi sisältää hydratsiinia ja väriai- netta. Hydratsiini ja väriaine eivät ole kaukolämpöverkossa myrkyllisiä, sillä pitoisuudet ovat todella pieniä ja hydratsiini reagoi nopeasti hapen kanssa, jolloin se hajoaa (Väättäjä 2020). Hydratsiini on kuitenkin aineena erittäin myrkyllistä vesieliöille (TTL). Hydratsiinia käytetään

kaukolämpövedessä korroosion estoon ja väriainetta vuotojen havainnointiin ja paikallistamiseen.

## 2.2 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on verrattavissa toiminnaltaan kaukolämmitykseen. Poikkeuksena kaukolämmössä- ja jäähdytyksessä on jäähdytyksessä ylimääräisen lämmön siirtäminen asiakkaalta energiayrityksen kaukolämmitysverkkoon. Jäähdytysenergia tuotetaan energiayhtiöillä keskitetysti, eikä rakennuskohtaisesti. Keskitetysti tuottamalla energia voidaan tuottaa ympäristöystävällisemmin ja kustannustehokkaammin. Jäähdytystä voidaan tuottaa vapaajäähdytyksenä merestä tai järvestä saatavan kylmän veden avulla. Absorbtiojäähdytyskoneilla hyödyntämällä teollisuuden hukkalämpö käyttöenergiana, kompressiotekniikalla ja lämpöpumpuilla. Varastoimalla kaukojäähdytysenergia voidaan pienissäkin järjestelmissä parantaa toiminnan kannattavuutta. (Energiamaaailma.)

Helsingin maan alla sijaitsee lämpöpumppulaitoksia, joissa Helenin kaukojäähdytys tuotetaan siirtämällä jäähdytetty vesi rakennuksiin maanalaisen putkiverkoston kautta. Kylmä vesi kiertää kahdessa erillisessä vesipiirissä, joista toinen on Helenin ja toinen asuinrakennuksen. Helenillä on noin 90 kilometriä maanalaista jäähdytysverkostoa Helenin myyntipäällikkö Jani Luukkosen mukaan. Kaukojäähdytysverkosto on Helenillä rakennettu 2Mpuk, muovi ja spiro (peltieristeinen kiinnivaahdotettu putki) putkista (Väätäjä 2020). (Helen Oy 2019.)

Kaukojäähdytys on ekologinen ja huomaamaton vaihtoehto. Jäähdytyksen tuotannossa hyödynnetään uusiutuvaa lämpöä ja sähköä, jolloin jäähdytys on päästötöntä. Energia kierätetään sinne missä sitä kulloinkin tarvitaan, siksi jäähdytys on osa Helenin energiatehokasta järjestelmää. Kylmä vesi lämpiää asuntoa viilennettäessä, jolloin se johdetaan takaisin lämpöpumppulaitokseen ja sieltä kaukolämpöverkostoon. Rakennuksessa jäähdytys on huomaamatonta ja jäähdytyksen putkiverkosto integroidaan talon seiniin, jolloin jäähdytyksestä on esillä vain ulostuloritilä. Kaukojäähdytyksen voi hankkia uuteen sekä vanhaan taloon. (Helen Oy 2019.)

### 3 Jakelukeskeytyksien optimointimenetelmiä

Jakelukeskeytyksien optimoinnilla halutaan tehostaa jakelukeskeytyksiin käytettävää aikaa, rajata jakelukeskeytykseen jäävä alue mahdollisimman pieneksi ja vähentää kaukolämpöverkostosta tyhjennettävän veden määrää. Optimoinnilla pyritään myös saavuttamaan Helenin itselleen asettamat tavoitteet. (Nuutinen 2020.) Helenin uutena tavoitteena on, että asiakkaiden lämmöntoimitusten keskeytysaikojen keskiarvo olisi korkeintaan 2,9 tuntia asiakasta kohden vuoden aikana. (Väättäjä 2020.)

Helenillä on jo nyt käytössään useita eri menetelmiä jakelukeskeytyksien lyhentämiseksi, kuten poratulppaukset ja kertakäyttöventtiilien käyttö. Helen käyttää aktiivisesti kertakäyttöventtiilejä saadakseen lämmön mahdollisimman nopeasti takaisin kuluttajilleen. Se näkyy myös kertakäyttöventtiilien käytön määrässä, sillä vuonna 2019 Helen asensi 303 merkittyä kertakäyttöventtiiliä kaukolämpöverkkoon, ja 24 merkittyä kohdetta kaukojäähdytysverkkoon. Helen on lisännyt kertakäyttöventtiilien käyttöä selvästi viimeisen 3 vuoden aikana. Nämä on esitetty KeyDH järjestelmästä haetuista tiedoista (Liite 1).

Optimoinnilla saavutetaan säästöjä ympäristön ja asiakastytytyvyyden lisäksi henkilökustannuksissa. Kun jakelukeskeytyksien aikaa saadaan lyhennettyä siitä ei aiheudu ylityökustannuksia, jotka ovat pitkissä jakelukeskeytyksissä kaksinkertaiset.

#### 3.1 Poratulppaus

Paineellinen poratulppaus toimii teräsputkiin lähtökohtaisesti niin, että siinä käytetään hitsattavaa tulppausyhdetä. Paineellisessa poratulppauksessa putkeen hitsataan tulppausyhde ja tulppausyhteeseen kiinnitetään työnaikainen instrumentti, porauslaite tai tulppauslaite. Tulppausyhteet hitsataan Helenin toimesta sopimuksen mukaan. Porauslaitteella tehdään ensin paineelliseen putkeen reikä, jonka jälkeen vaihdetaan tulppauslaite ja paineellistetaan molemmat puolet. Työnaikaista instrumenttia avaamalla tulppa saadaan työnnettyä paikalleen. Ennen tulpan asettamista paikalleen on syytä varmistua tulppauskohdan puhtaudesta, sillä sinne on voinut päästä irronnutta porausjätettä. Tarvittaessa voidaan käyttää magneettia tulppauskohdan puhdistamiseksi. Porausjätteen takia on syytä pyrkiä asentamaan porauslaite suoraan, jolloin voidaan hyödyntää painovoimaa apuna. Porauslaitteen ollessa 45 astetta alaspäin, pääse porausjäte helpommin kriittisiin paikkoihin, kuten tiivistisiin. Kun tulppa on saatu asennettua paikalleen ja kiristetty, varmistetaan vielä tulpan pitävyys. Pitävyys tarkistetaan paineettomalta osalta, jolla saadaan varmuus, että muutostyön kohdalta verkosto on paineeton. Tonisco service Oy:llä myydään haaroitus- ja tulppauspalvelua. Tonisco System Oy puolestaan myy ja valmistaa paineenalaisiin

kunnossapitotöihin käytettäviä laitteita ja työkaluja. Tonisco on lähes 50-vuotta vanha suomalainen yritys. (Nisso 2020.)

Poratulppauksen avulla verkon kunnossapito- ja korjaustyöt saadaan suoritettua ilman jakelukeskeytyksiä. Poratulppaus soveltuu kaukolämmön- ja jäähdytyksen putkistoille koko-  
luokissa DN20-DN600. (Boström). Vuodesta 2013 Tonisco on ruvennut suunnittelemaan ja valmistamaan laitteet italialaisen firman kanssa, jolla on paljon aikaisempaa kokemusta alalta. Paineellisen poratulppauksen avulla verkosta voidaan eristää muokattava osuus, jolloin muu verkosto toimii normaalisti ja asiakkaiden lämmönsaanti ei häiriinny (Boström). Tämän voi varmistaa ohituksella, jota Tonisco tarjoaa osana poratulppauspalveluaan. Tällöin Tonisco asentaa tulppauslaitteessa olevan integroidun ohituksen veloitusetta (Kuva 2). Ohitus rakennetaan teräspunosletkuista, mutta erikseen sovittaessa onnistuu myös ohuteristeisen putken rakennus. Ohituksen suuruus riippuu tulpattavan putken suuruudesta. Jos tehon tarve ylittää integroidun ohituksen antaman virtaaman, voi ohituksen rakentaa myös itse. Ohituksen rakentaminen onkin suositeltavaa, sillä silloin työn voi suorittaa rauhassa, kun verkko on paineellinen ja asiakkaiden lämmönsaanti ei häiriinny. (Nisso 2020.).



Kuva 2. DN300 poratulppaus ja ohitus. Kuvaaja Kaarlo Nisso.

Poratulppauksen suurin hyöty saavutetaan varmistamalla energiamyynnin jatkuvuus, jolloin asiakkaille ei aiheudu myöskään haittaa verkolla tehtävien muutostöiden takia. Poratulppaus onkin lämmön jatkuvuuden varmistamalla kannattava menetelmä sekä asiakkaalle että energiayhtiölle. Suurin hyöty saavutetaan, kun tulpataan isosta rungosta lähtevä haara, jolloin ei ole tarvetta tyhjentää ison runkojohdon putkea. (Nisso 2020). Poratulppauksen hinnat ovat huomattavasti alempia haarojen tulppauksissa. Suuria hintaeroja ilmenee putkikoon DN125 ylimenevissä, mutta vielä huomattavasti suurempi hintaero on DN400 ylimenevissä poratulppauksissa. Haaran poratulppauksesta löytyy Case-esimerkki Kauppalan-tieltä, jossa välttyttiin DN600 runkojohdon tyhjentämiseltä tekemällä DN50 poratulppaus. Pienissä poratulppauksissa poralaitteisto on pienempi, jolloin paikalle riittää yksi henkilö Toniscolta, joka voi tehdä porauksen yksin DN150 kokoon asti (Nisso 2020).

Poratulppauksella saavutettavia hyötyjä on tyhjennettävän vesimäärän väheneminen. Tämä korostuu suuremmissa linjoissa ja etenkin silloin, kun tulppauksen väliin jää sulkuventtiili, jolloin vesimäärä ja teho yleensä tuplaantuvat. Esimerkiksi KeyDH-karttajärjestelmästä katsottuna Kulosaaresta löytyy DN200 putki, jossa lämmönjakelukeskeytys voidaan tehdä sulkuventtiilin yli, jolloin saataisiin vesimääräksi alueelle 175m<sup>3</sup> ja tehoksi 6009 kWh. Kyseisessä kohteessa venttiilin ylimeno aiheuttaisi 100 prosenttisen kasvun vesimäärässä ja tehossa. Näistä aiheutuu lisäkustannuksia keskeytyksestä aiheutuvan myyntitappion ja tyhjennettävän vesimäärän takia.

Poratulppauksella säästetään myös muuten tyhjennettävä vesimäärä. Tämä säästää ympäristöä kaukolämpöveden valmistuksen ja ympäristöön tyhjennettävän veden osalta. Kaukolämpövesi on sinänsä myrkytöntä, eikä se ole ympäristölle haitallista, mutta suurimpia ongelmia aiheutuu kaukolämpöveden kuumuudesta (Väätäjä 2020). Kaukolämpövettä ei ole aina mahdollista tyhjentää viemäristöön, eikä viemäristöönkään saa tyhjentää yli 50 astetta vettä. Siksi ohjeistuksena on sekoittaa menopuolen ja paluupuolen vedet mahdollisuuksien mukaan, jolloin lämpötila laskee. Maastoon laskettaessa kuuma vesi voi aiheuttaa maa-aineksen valumista ja lähialueen kasviston surkastumista. (Väätäjä & Rautiainen 2020)

Poratulppauksen haasteina on laitteiston suuri koko yli DN125 menevissä poratulppauksissa. Laitteiston koko moninkertaistuu DN koon suurentuessa. Nostoapua tarvitaan jo DN125 yli meneviin porauksiin. DN300 kokoon asti riittää kaivinkone, mutta DN400 yli mentäessä tarvitaan paikalle erillinen nostin (Kuva 3). Tonisco tarjoaa nostinpalvelua, mutta on suositeltavaa hankkia nostokalusto tilaajan puolesta, jolloin se tulee todennäköisimmin olemaan kustannustehokkaampaa. Työmaalla on yleensä valmiiksi vaadittava nostin kaukolämpöputkien siirron tai kaivauksien vuoksi. Suurehkot laitteistot vaativat ympärilleen myös



paljon tilaa. Suurimmassa kokoluokassa tilaa olisi oltava yläpuolella vähintään 4–5 metriä. Muissa kokoluokissa ympärille vaadittava tilan tarve on 1,6–2,8 metriä. Katualueella, joihin suuret tulppaukset yleisimmin tehdäänkin, on yläpuolella normaalisti paljon tilaa. Nisso (2020) mainitseekin, ettei poraus ole koskaan jäänyt tilan puutteen takia tekemättä, vaan aina on saatu poratulppaus tehtyä. Siinä tärkeimmiksi apuvälineiksi osuukin suunnittelu. (Nisso 2020).



Kuva 3. DN400 poratulppauslaitteisto. Kuvaaja Kaarlo Nisso.

### 3.2 Matalakaraventiilin käyttö

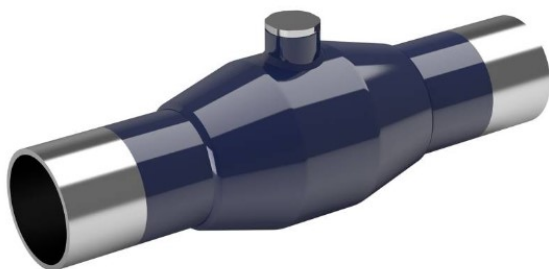
Matalakaraventiilejä käyttämällä on mahdollista pienentää jakelukeskeytyksen aluetta. Matalakaraventiili voidaan lisätä esimerkiksi haaraan tai perusparannettavan linjan uudistetun osan päähän, jolloin käyttökeskeytyksen vaikutusalue saadaan pienenemään myöhemmissä lämmönjakelukeskeytyksissä. Matalakaraventiili hitsataan putken päähän, josta on sen jälkeen mahdollista sulkea linja ja erotella paineellinen ja paineeton puoli. Lopuksi kun työt on saatu tehtyä, venttiilin jälkeinen johto-osuus on otettu käyttöön ja venttiili on auki



asennossa, kiristetään venttiilin karan päälle suojatulppa. Nyt venttiili eristetään samalla tavoin kuin elementtijatkos. (Energiateollisuus 2020.)

Matalakaraventtiiliä (kertakäyttöventtiili) voi käyttää useampia kertoja. Venttiilin voi kaivaa jälkikäteen esille ja purkaa eristeet venttiilin ympäriltä. Tällöin venttiili on jälleen valmis käytettäväksi. Tärkeää on tarkastaa venttiilin kunto ennen käytön aloittamista ja käyttää venttiiliä varoen. Matalakaraventtiileitä voidaan käyttää myös väliaikaisessa käytössä, jolloin venttiili voidaan käytön jälkeen katkaista putkesta ja siirtää seuraavaan paikkaan, esimerkiksi väliaikaisen putken käyttöönotossa. Aina on kuitenkin tarkistettava venttiilin kunto ennen siirtoa. Mikäli venttiilin kunto pysyy hyvänä, voi venttiiliä käyttää mahdollisesti kymmeniäkin kertoja. (Nuutinen 2020.)

Matalakaraventtiilin rakenne ei juurikaan eroa palloventtiilistä, vaan venttiilin rakenne on lähes sama. Rakenteellinen ero löytyy venttiileiden karasta (Kuva 4). Matalakaraventtiilin karassa on vain yksinkertaiset tiivisteet, kun taas palloventtiileissä on useampi tiiviste. Matalakaraventtiilissä ei ole käyttökahvaa, vaan käyttö toimii hylsyavaimella (Jyrinki 2020). Kara onkin matalakaraventtiin heikko kohta, ja mahdolliset vuodot tulevat usein karan kohdalta. Tällaisessa tilanteessa voidaan venttiilin karan päälle hitsata tulppa, kun venttiili on auki asennossa, jolloin venttiilistä tulee teräsputken jatke. (Nuutinen 2020.) Matalakaraventtiilit ovat myös täysaukkoisia. Täysaukkoinen venttiili tarkoittaa venttiilin ja putken olevan samanpituisia halkaisijaltaan, jolloin virtaukseen ei tule supistusta. Palloventtiili saa olla lain mukaan yhden aukon verran supistettu, tällöin puhutaan supistettuaukkoisesta venttiilistä. (Jyrinki 2020.)



Kuva 4. Vexve. Matalakaraventtiili DN80 hitsattava/hitsattava.

### 3.3 Venttiilin yli pumppaaminen

Venttiilin yli pumppaamisella tarkoitetaan paineettoman puolen veden pumppaamista paineelliselle puolelle. Helen Oy on jo hankkinut kyseiseen tarkoitukseen sopivan kaluston, mutta pumppaamista ei ole vielä testattu pintaverkolla. Tunneleissa venttiilin ylipumppaamista on tehty aiemminkin ja se on todettu hyväksi tavaksi tunneleissa, koska pumppu on sähkökäyttöinen ja kuuman veden sijoittaminen olisi tunneleissa haastavaa. Kuuma vesi aiheuttaa höyryä, joka syrjäyttää happea tunnelissa. Venttiilin yli pumppaamisella säästytään varsinkin tunneleissa monelta ongelmalta. (Rautiainen & Murtomäki 2020.)

Itse pumppaus onnistuu kätevästi, eikä kaukolämpövettä ole tarvetta jäähdyttää ennen pumppaamista. Pumppaaminen tapahtuisi ”sotkemalla”, eli meno- ja paluupuolen vesi paisutetaan paluupuolelle, jolloin veden lämpötilat tasaantuvat. Veden paisuttaminen on pakollista tehdä paluupuolelle, sillä menopuolelle ei ole järkevää paisuttaa. Menopuolelle ei voi lakea paluupuolen vettä, koska se viilentäisi menopuolen veden, jolloin asiakkaat eivät saisi oikeanlämpöistä vettä. Toisena syynä on pumpun aiheuttamat rajoitukset. Pumppu kestää vain noin 64–70 asteisen veden. Lämpötilan laskemiseksi pumppaaminen tapahtuu ”sotkemalla” vedet keskenään. Vaikka pumppu onkin suurempi, tarvittavien asentajien määrä on sama kuin normaalisti tehdyssä jakelukeskeytyksessä. (Rautiainen & Murtomäki 2020.)

Helenillä venttiilin yli pumppaamista ei ole vielä testattu pintaverkolla, joten ei ole selvää, miten pumppu käyttäytyisi pintaverkolla. On hyvinkin mahdollista, että pumppua ei voisi käyttää kaikissa paikoissa varsinkaan vaaterissa olevassa linjassa, koska pumppu ei toimi imemällä vaan tarvitsisi vedelle painetta lähteäkseen pumppaamaan. Tunneleissa paine tulee pystykuiluista, joten ongelma on vain pintaverkolla pumpattaessa tasaisella maasto-alueella. Pintaverkolla pumpun virta otetaan pakettiautosta, jolloin pumppu toimii dieselillä. (Rautiainen & Murtomäki 2020.)

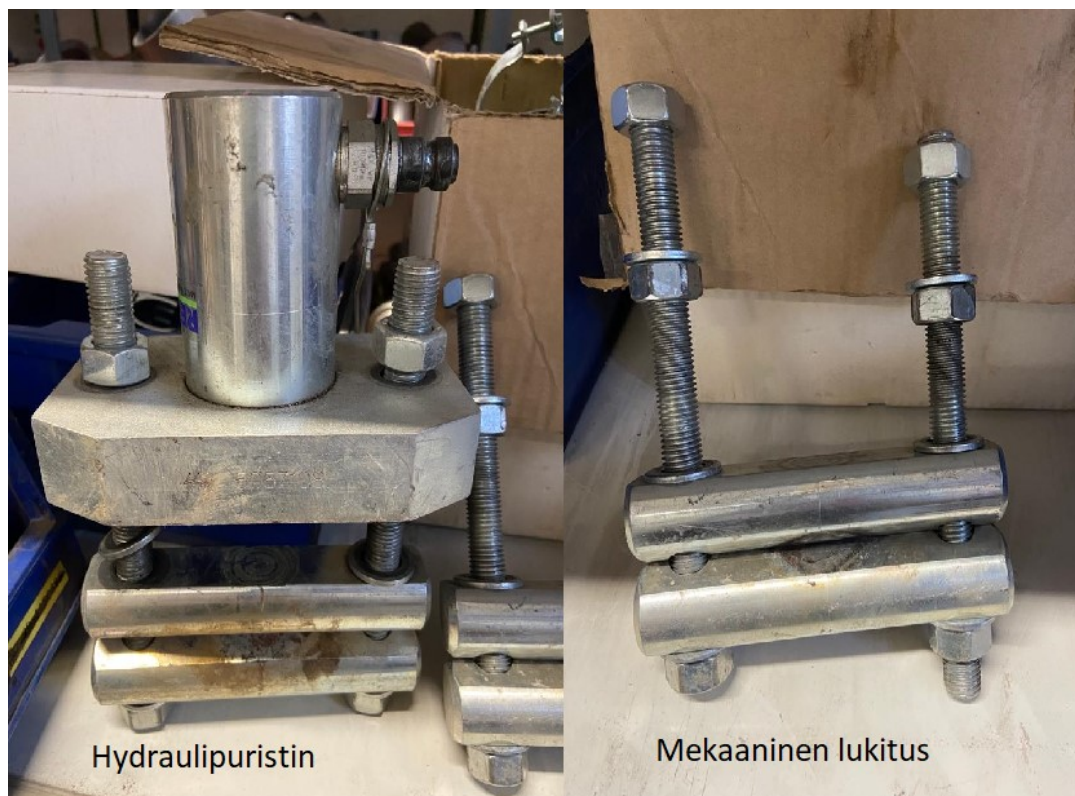
Kun verkkoa paisutetaan, menee ylimääräinen vesi laitoksen akkuihin tai mereen. Tästä syystä onkin järkevää ilmoittaa paisutuksesta valvomoon ja tarkistaa, että akuissa on tilaa, jolloin paisutuksesta saadaan mahdollisimman suuri hyöty irti. Useimmiten akuissa on aina jonkin verran tilaa, ellei vettä ole erikseen tilattu suurta jakelukeskeytystä varten. Paisutuksesta on hyvä ilmoittaa, jottei akkuja oteta täyteen. (Rautiainen & Murtomäki 2020.)

Venttiilin ylipumppaamisella säästytään veden hukkaan pumppaamiselta ja siksi säästetään myös ympäristöä. Vaikka kaukolämpövesi ei itsessään ole myrkyllistä, kuuma vesi tekee tuhoja ympäristölle. Vettä pyritään jäähdyttämään ja pumppaamaan sadevesikaivoihin, mutta se ei ole aina mahdollista. Venttiilin yli pumppaamisella säästetään myös rahaa,

koska venttiilin ylipumppaamisesta ei aiheudu muita ylimääräisiä kuluja kuin itse pumpun aiheuttamat kulut. Pumpun huolto ja korjaus ovat samoissa hinnoissa kuin polttomoottoripumppujen, joita tällä hetkellä käytetään verkon tyhjennyksessä. Suurin hyöty tulee veden säästöstä. Paisuttaessa vesi menee takaisin käyttöön, jolloin uutta kaukolämpöä ei ole tarvetta valmistaa. Vuoden jaksolla puhutaan jo suuresta säästöstä. (Rautiainen & Murto-mäki 2020.)

### 3.4 Linjan tulppaus litistämällä

Kun linja halutaan tulpata ilman, että alueelle pidetään lämmönjakelukeskeytystä, on tulp-paus litistämällä poratulppauksen lisäksi ainoa keino. Linjan tulppaus litistämällä tehdään hydraulipuristimella ja mekaanisilla lukitusmuttereilla (Kuva 5), joiden on tarkoitus varmistaa hydraulipuristuksen pitävyys. Hydraulipuristimessa puristavat pinnat ovat pyöreät, jolloin putkeen ei kohdistu terävää iskua. Kun putki on litistetty, putki katkaistaan ja hitsataan vielä umpeen litistetystä kohdasta. Jos litistys ei pidä kunnolla, se vaikeuttaa hitsausta huomattavasti ja voi johtaa alueen sulkemiseen ja paineiden poistamiseen. Puristus tehdään paineellisenä, koska halutaan välttyä käyttökeskeytykseltä, joten putken kunto on tärkeää tarkistaa ennen aloittamista. Jos putki on haurastunut, ei puristusta silloin voida tehdä suurentuneen vuotoriskin vuoksi. Mahdollisen vuotoriskin takia pitää myös sulkualue olla selvillä ja olla asentajat varattuina sulkuihin. (Sivonen 2020.)



Kuva 5. Hydraulipuristin ja mekaaninen lukitus

Linjan litistäminen on yksinkertainen ja nopea menetelmä linjan tulppaamiseksi. Linjan tyhjentämiseen verrattuna litistamisellä on hieman suurempi riski mahdolliseen ongelmatilanteeseen tai jopa työtapaturmaan, koska työ tehdään verkon ollessa paineellinen. Litistämiseen ei olla tehty erikseen työturvaohjeita vaan yleiset työturvallisuusohjeet pätevät myös litistämisessä. (Sivonen 2020.)

Onnistuneessa litistyksessä ei ole suoranaisia haittoja, mutta litistämistä ei pystytä käyttämään isoihin linjoihin, mikä onkin litistuksen huono puoli. Litistystä voidaan käyttää pieniin linjoihin (lähinnä haaroihin) ja onkin hyvä ja nopea tapa siihen, vaikka litistämisen käyttö on nykyään vähentynyt. Litistämistä voidaan käyttää maksimissaan DN40 kokoon asti ja litistäminen tehdään Helenin omien hitsareiden toimesta, eikä tarvitse esivalmistelua, kuten poratulppaus. Kaivaus voi olla samankokoinen kuin muissakin menetelmissä, jopa pienempi. Tärkeää kaivauksessa on kaivauksen työturvallisuus ja hydraulipuristimelle tarvittava tila. Tähän riittää normaali kaivaus. (Sivonen 2020.)

## 4 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena saada selville mahdollisia keinoja jakelukeskeytyksien optimoinnille. Näistä tärkeimpinä menetelminä toimivat poratulppaukset ja matalakaraventtiilien käyttö. Asiaa lähdettiin selvittämään empiirisesti haastattelemalla, työmaakäyneillä, Helenin tietojärjestelmistä saatavilla tiedoilla ja tutkimalla kerättyä materiaalia. Tärkeimmäksi tiedonkeruumenetelmäksi osoittautuivat haastattelut, joiden pohjalta lähdettiin selvittämään ja laskemaan kustannustehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä tapoja jakelukeskeytyksien optimoinnille.

Tämä opinnäytetyö koostuu teoreettisesta ja tutkivasta osuudesta. Teoreettisessa osuudessa tärkeimmäksi tiedonkeruumenetelmäksi osoittautui internet ja kaukolämpöön liittyvä kirjallinen materiaali. Työhön sisältyi myös valmiin Excel taulukkopohjan tekeminen, johon on lisätty laskukaavat eri vaihtoehtojen kustannusten laskemiseksi. Taulukko laskee linja sulkemisesta ja tyhjentämisestä aiheutuvat kustannukset, sekä poratulppauksen kustannukset. Taulukkoa on käytetty kustannustehokkuuden vertailuun.

Poratulppauksen hyötysuhdetta lähdettiin selvittämään laskukaavojen ja hintatietojen perusteella. Heleniltä ja Toniscolta saaduista hintatiedoista koottiin taulukko, joka laskee suoraan hinnan poratulppaukselle ja yleisesti käytetylle menetelmälle lämmönjakelukeskeytyksien muutostöissä. Lämmönjakelukeskeytyksissä on huomioitu yleisesti käytetyssä menetelmässä kaukolämpöverkon tyhjennys, mutta ei käyttöönottokustannuksia. Käyttöönotto kustannukset ovat astetta pienemmät, sillä tyhjennettävän veden määrä pienenee sokeiden väliseltä alueelta, jolla verkon muutos tehdään.

Työn viimeisenä vaiheena selvitettiin asiakastyytyväisyyttä Helenillä ja keskeytysten optimoinnin merkitystä siihen. Asiakastyytyväisyystulokset on kerätty jo Helenin aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista, kuten asiakaspalautteesta ja projekteista asiakastyytyväisyyden varmistamiseksi. Tuloksissa on hyödynnetty myös Helenin henkilöstön pitkäaikaista työkokemusta ja asiakaslähtöistä asiakaspalvelua hyväksi.

## 5 Jakelukeskeytyksien optimointimenetelmien tulokset

Jakelukeskeytysten optimointimenetelmistä lähdettiin vertaamaan poratulppauksen- ja matalakaraventtiin käyttöä nykyiseen menetelmään. Menetelmät valittiin ympäristön ja kuluttajaystävällisyyden takia. Poratulppauksessa on otettu tarkasteluun myös seuraavat jakelukeskeytykset.

### 5.1 Poratulppauksen hyötysuhde DN putkikoon suurentuessa

Yleisesti Helenillä käytetyssä menetelmässä kaukolämpöverkko suljetaan ja tyhjennetään tyhjennyskaivoista polttomootoripumpuilla. Tyhjennyksen jälkeen linja sokeoidaan muutostyön kohdalta, eli tulpataan hitsaamalla teräslevy putken päähän. Töiden jälkeen linja otetaan takaisin käyttöön ensin tyhjentämällä linja, jotta sokeat saadaan pois ja hitsaustöiden jälkeen taas täyttämällä linja.

Poratulppauksen ja yleisesti käytetyn menetelmän laskuissa ei ole huomioitu muutostöiden aiheuttamia kustannuksia. Vain verkon tyhjentämisen, lämmönjakelukeskeytyksen ja poratulppauksesta aiheutuvat kustannukset on huomioitu. Laskennoissa ei myöskään ole huomioitu esivalmisteluja. Poratulppauksessa esivalmistelu on tulppausyhteiden hitsaaminen ja tyhjennyksessä tarvitaan pumppujen ja letkujen nouto ja kiinnitys sekä sulkuventtiilien ja tyhjennyksien tarkistukset. Poratulppauksissa ei ole huomioitu Helenin ylityötunteja, koska ideana olisi saada työ valmiiksi työajan puitteissa. Suuremmassa koossa on hyvä huomioida tulppausyhteiden hitsaukseen kuluva aika. Molemmissa menetelmissä koettiin kaivausten olevan samaa kokoluokkaa, joten kaivausten kustannukset jätettiin pois laskuista. Laskuissa ei ole myöskään huomioitu mahdollista lisälämmitystarvetta, jonka yleisesti käytetty menetelmä saattaa aiheuttaa. Lisälämmitystarpeessa voidaan laittaa lämpökeskus päälle (esimerkiksi Ruskeasuon lämpölaite) lämmön saannin varmistamiseksi (Väätäjä 2020). Lisälämmitystarpeen koettiin kuitenkin olevan harvinaista ja yksittäistä, joten se jätettiin huomiotta. Lisälämmitystarve olisi lisännyt huomattavasti kustannuksia yleisesti käytetyssä menetelmässä.

Syöttämällä taulukkoon arvoja, jotka saadaan KeyDh järjestelmästä jakelukeskeytystä tehdessä, saadaan taulukosta suora arvo linjan tyhjennys tai poratulppauskustannuksista (Taulukko 1). Tässä työssä hintatietoja ei ole esitetty, koska ne ovat Helenille kerätyistä tarjoushinnoista laskettu. Taulukossa muuttuvia arvoja yleisessä tyyliässä (linjan sulkeminen ja tyhjentäminen) ovat: keskeytyksen aika (h), asentajamäärä (kpl), tyhjennettävä vesimäärä ( $m^3$ ), teho (kWh) ja tyhjennyspisteiden määrä keskeytysalueella (kpl). Poratulppauksessa muuttuvia arvoja ovat: arvioitu kesto (vaikutus tehon määrään), Tonicon mahdolliset odotustunnit (tuovat lisäkuluja poratulppaukseen), matalakaraventtiili tai porasulku

poratulppaukseen jälkeen (hitsattavat, jolloin ei tarvita Toniscon uudelleenikäyntiä tai sokeita putken päähän) ja Toniscon uudelleentulppaus (sokeiden poisto) (Taulukko 1 & 2). Uudelleentulppauksessa linjan täyttö tapahtuu tuumaisesta venttiilistä, joka on integroitu poratulppauslaitteeseen (Nisso 2020). Isommissa täytöissä voidaan käyttää apuna ohi-tusta, josta saadaan täytettyä jopa DN150 suuruudesta linjasta. Tulppauksen välille on hitsattava ilmaus, jos sellaista ei ole valmiina. (Nisso 2020.) Poratulppauksessa tehon määrä on laskettu myyntivoittona, eli lopullista hintaa vähentävänä arvona. Poratulppauksen aikana lämmitys on käytössä asiakkailta, jolloin Helen voi myydä lämmitystä normaalisti. Jos linja tyhjennetään, myynti estyy, jolloin kulutus putoaa nolnaan. Tehon määrä saadaan keskeytysalueesta suoraan. On kuitenkin huomioitava talven ja kesän vaikutus kulutukseen. Kesällä kulutus on huomattavasti pienempää ja se vaikuttaa samalla myös myydyin kauko-lämmön määrään (Väätäjä 2020).

Dn Koko	Kok.Hinta €	Arvioitu keskeytys aika	Asentajat/ kpl	Tyhjennettävä Vesimäärä m3	Teho kwh	Tyhjennys-pisteiden määrä	Tyhjennys/ h	Täyttö/ h normipäivänä	Ylityöt 50%	Ylityöt 100%	Henkilökustannukset €	Myyntitappio €	Tyhjennettävän veden
Dn 200	0,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dn 300	0,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dn 400	0,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dn 500	0,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dn 600	0,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Taulukko 1. Yleisen menetelmän (sulkeminen ja tyhjentäminen) laskentataulukko (ensimmäinen keskeytys).

Dn Koko	Kok.Hinta €	Teho kwh	Arvioitu kesto h	Tonisco odotus tunnit	Matalakara-venttiili	Poralätkien määrä	Uudelleentulppauksien määrä	Porausku- stannukset	Uudelleentulppaus	Tulppausyhteet 4kpl	Tonisco km-korvaus	Myyntivoitto	Tonisco hlö-kusannukset	Helen hlö-kustannukset	Matalakara-venttiili hinta €	Poralätkä
Dn 200	0,0															
Dn 300	0,0															
Dn 400	0,0															
Dn 500	0,0															
Dn 600	0,0															

Taulukko 2. Poratulppauksen laskentataulukko (ilman hintatietoja)

Porasulku on halvempi vaihtoehto verrattuna uudelleentulppaukseen DN200 ja pienemmissä putkissa, mutta suuremmissa hinta nousee merkittävästi, jolloin Toniscon uudelleensaapuminen paikalle on oletettavasti kustannustehokkaampaa. Porasulku voidaan hitsata katkaistun putken päähän, jonka jälkeen sitä voidaan käyttää sulkuventtiilinä (Kuva 6). Kun putki on porasulusta täytetty, otetaan siitä sulku pois ja sauma hitsataan umpeen, jolloin porasulusta tulee osa putkea. Porasulku on täysaukkoisen ja sen Kv-arvot (virtauskerroin) ovat venttiileissä mahdollisimman hyvät. Porasulkuja voidaan käyttää esimerkiksi

saneerausventtiiliin tavoin linjan rakennusvaiheessa. Matalakaraventtiiliä on saatavissa vain DN200 kokoluokkaan asti, jolloin suuremmissa kokoluokissa on syytä käyttää Toniscon uudelleentulppausta. Uudelleentulppauksessa Tonisco saapuu paikalle tulppauslaitteen kanssa ja tulppaa linjan uudelleen, jolloin porausta ei enää tarvita. Hinta on poratulppaukseen verrattuna 0.3 % pienempi, mutta voi vaihdella tilannekohtaisesti. Putkikoon ollessa suurempi kuin DN400 tulppauksen hinta määritellään aina tapauskohtaisesti. (Nisso 2020.)



Kuva 6. Tonisco. Porasulut.

Kustannustehokkuuteen vaikuttavia arvoja ovat teho, vesimäärä, poratulppauksen hinta sekä aika. Ajan voidaan todeta suurentuvan putkikoon suurentuessa, jolloin putkessa oleva vesimäärä ja hitsausaumojen koko kasvaa. Poratulppauksen ja tulppausyhteiden hinnoista voidaan suoraan todeta, että poratulppauksen tekeminen ei ole kustannustehokasta putkikoolle DN500-600. Pienemmissä putkikoissa tulppauksen kustannustehokkuus riippuu ensisijaisesti paikasta, johon tulppaus tehdään (omakotitaloalue verrattuna kerrostaloalueeseen). Voidaan myös todeta, että kun mennään venttiiliin yli keskeytysalueessa, on poratulppauksen arvo suurempi, ja kustannustehokkuus poratulppaukseen paranee huomattavasti. Keskeytysalueen mennessä venttiiliin yli joudutaan venttiiliin molemmilta puolelta sulkemaan ja tyhjentämään linja

Kaavion 5 arvot on selvitetty aiemmista käyttökeskeytyksistä ja vertailuun on otettu suuria vesi- ja tehomääriä omaavia keskeytyksiä (Liite 1). Keskeytyksiin on annettu hitsausajaksi 8 tuntia, jolloin käyttökeskeytysaika muodostuu hitsausajasta sekä tyhjennyksestä ja täytöstä, minkä taulukko laskee suoraan pumppujen tehon ja annetun vesimäärän perusteella. Ylityöt tulevat taulukkoon myös suoraan annetun käyttökeskeytys-ajan mukaan, joista kaksi ensimmäistä ovat 50 prosenttisia ja loput 100 prosenttisia tunteja. Vertailun tueksi keskeytyskohteiksi on otettu myös eri DN putkikoista ja eri asuinrakennuskeskittymistä.



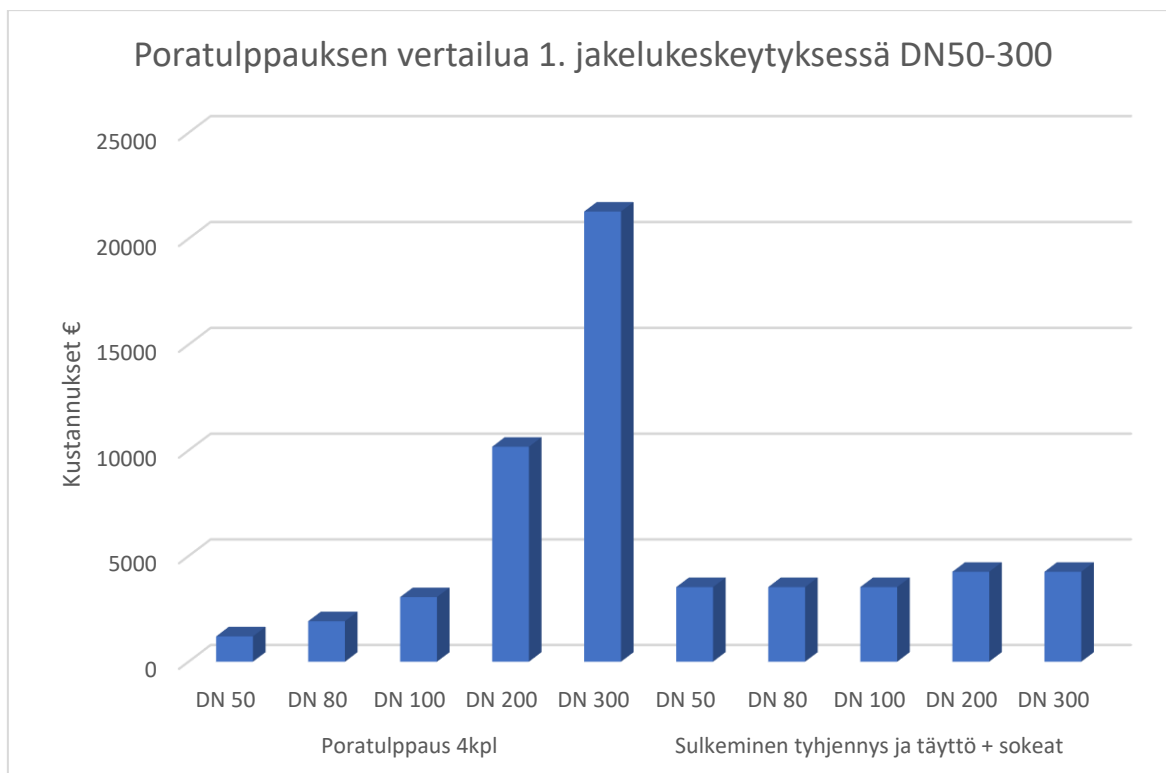
Laskelmien perusteella voidaan todeta seuraavaa: kyseisillä arvoilla käyttökeskeytyksen pitäminen normaalisti olisi kustannustehokkaampaa (Kaavio 5). DN400 putkikoossa ero alkaa kuitenkin jäämään pieneksi, jolloin tärkeiksi kriteereiksi osoittautuu asiakastytyväisyys, sekä mahdolliset tulevat lämmönjakelukeskeytykset. Näihin voidaan varautua esimerkiksi hitsaamalla pysyvän sulkuventtiilin poratulppauksen päähän, jonka jälkeen ei enää tarvittaisi Toniscoa paikalle ja seuraava käyttökeskeytys lyhenee huomattavasti. Suurimmat käyttökeskeytyksien teho- ja vesimäärät olivat DN600 putkikoossa vesimäärä 619 m<sup>3</sup>, teho 15893 kWh ja kuluttajamäärä 365 kpl. Parhaat tehomäärät olivat DN400 putkikoossa 24846 kWh, jolloin kuluttajia oli alueella 140 kpl ja vesimäärä 107 m<sup>3</sup>. Laskelmissa ei ole huomioitu tulevaa käyttökeskeytystä sokeiden poistolle. Molemmissa menetelmissä kustannukset tulisivat olemaan noin 0.3 prosenttia pienemmät.



Kaavio 5. Poratulppauksen ja yleisen käyttökeskeytyksen vertailua 2020 alkuvuoden suurimmilla arvoilla

## 5.2 Haaran poratulppaus suuremmasta rungosta

Haaran poratulppauksessa haluttiin varmistaa, missä kohtaa menee poratulppauksen kustannustehokkuuden raja. Poratulppauksen kustannustehokkuus haaran tulppauksessa laskettiin vuoden 2020 aikana tehdystä poratulppauksesta, jossa vesimäärä oli 167 m<sup>3</sup>, teho 5729 kWh, kesto 4 tuntia ja kuluttajamäärä 54 kappaletta (Kaavio 6). Arvoja on käytetty kaikissa DN putkikoissa, mutta aika (h) on pidennetty yli DN100 putkikoon menevissä poratulppauksissa. Tuloksista voidaan päätellä haaran poratulppauksen olevan kustannustehokasta DN100 putkikokoon asti. On kuitenkin huomioitava tilanteen mukaan vaihtuvat tehon (kWh), vesimäärän (m<sup>3</sup>) ja keston (h) vaikutus kustannustehokkuuteen. Haaran poratulppauksissa suuremmasta runkojohdosta kyseiset arvot tulevat kuitenkin olemaan suuria.



Kaavio 6. Poratulppauksen vertailua 1. jakelukeskeytyksessä

Kun verrataan poratulppauksen kustannustehokkuutta kahdessa jakelukeskeytyksessä (soikeiden hitsaus ja poisto). Voidaan todeta uudelleentulppauksen parantavan kustannustehokkuutta alle DN100 putkikoissa (Kaavio 7). Yleisen menetelmän (sulkeminen ja tyhjentäminen) arvot on kerrottu kahdella, jotta saadaan sokeiden poiston hinta laskukaavaan mukaan. Kahdella kertominen selittyy pienemmillä vesimäärillä, mutta suuremmilla hitsaus- töillä. Suuremmissa putkikoissa kustannustehokkuuden vähenemine selittyy hitsattavien tulppausyhteiden hinnalla ja määrällä. Tulppausyhteet nostavat poratulppauksen hintaa suuremmissa kokoluokissa huomattavasti.

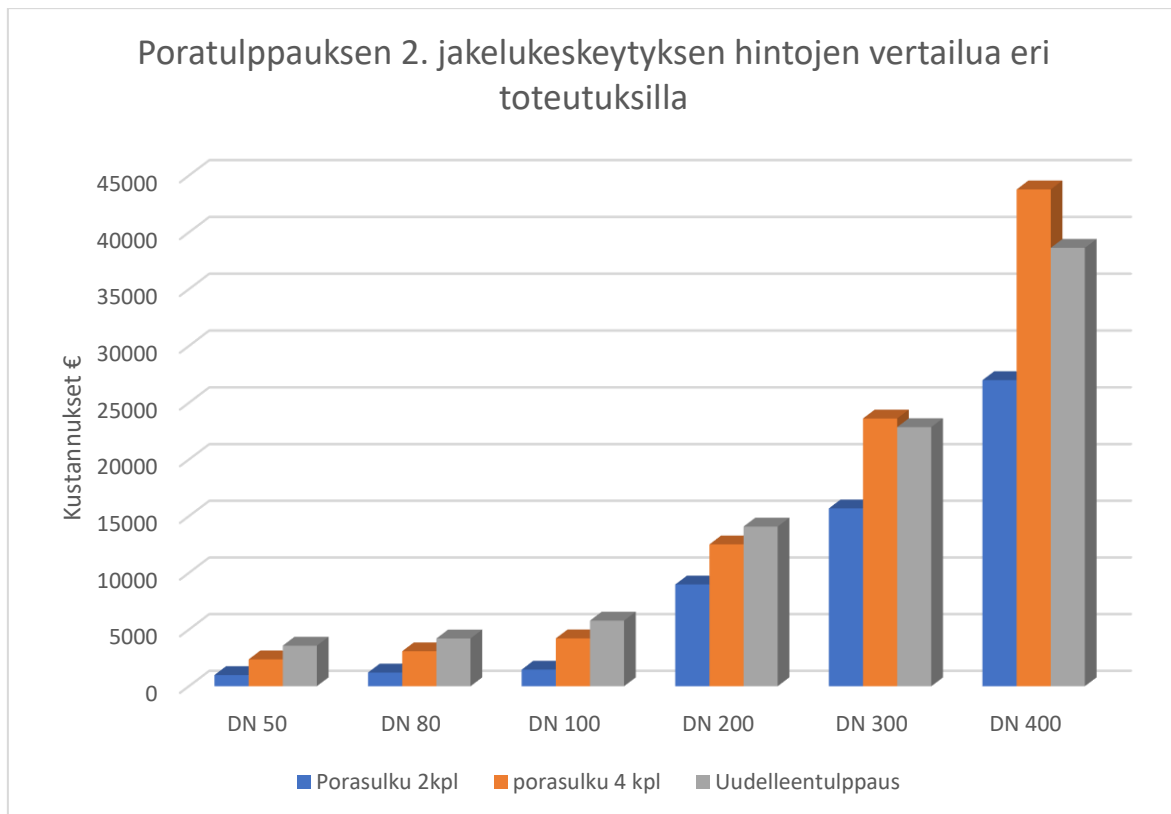


Kaavio 7. Poratulppauksen vertailu 1. ja 2. jakelukeskeytyksessä

### 5.3 Porasulun vai uudelleentulppauksen käyttö poratulppauksessa?

Kun poratulppausta käytetään, koetaan sen olevan kyseiseen tilanteeseen parhaiten sopiva vaihtoehto. Tällöin on syytä tarkastella myös mahdollisten tulevien jakelukeskeytyksien ehkäisyä. Tulevat jakelukeskeytykset voidaan estää poratulppauksen ohella hitsaamalla porasulut poratulppauksen jälkeen, jolloin säästytään jakelukeskeytykseltä sokeiden poistolle. Porasulun tapaan jakelukeskeytyksen tarve voidaan poistaa myös uudelleentulppauksella. Uudelleentulppauksessa tulee vielä mukaan kilometrikorvaukset, mikä alentaa uudelleentulppauksen kustannustehokkuutta, etenkin pienemmissä kokoluokissa.

Porasulun ja uudelleentulppauksen käyttöä verratessa. Voidaan todeta porasulun olevan kustannustehokkaampi DN200 putkikokoon asti (Kaavio 8). Tulos laskettiin ilman muuttujia tehoa kWh, kestoja h ja uudelleentulppauksesta aiheutuvia odotustunteja (tulppauksen tekijälle). Odotustunnit koostuvat tulppauksen jälkeen tehtävistä täytöstä ja hitsaustöistä, jolloin kyseisille tunneille tulee lisähinta. Odotustunnit nostavat uudelleen tulppauksen hintaa, jolloin porasulun käytön kustannustehokkuus nousee myös suuremmissa DN kokoluokissa.



Kaavio 8. Poratulppauksen vertailua eri toteutuksilla 2. jakelukeskeytyksessä

#### 5.4 Case-esimerkki Kauppalantie

Tässä esitetään päänäkökulmat Helsingin Kauppalantiellä tehdyistä poratulppauksista keväällä 2019. Kauppalantiellä kyseessä oli DN50 haaran tulppaus DN600 runkojohdosta. Runkojohto piti sisällään vettä 233m<sup>3</sup>, joten poratulppauksen käyttö oli järkevä ratkaisu. Kuluttajia käyttökeskeytykseen olisi myös tullut huomattava määrä, 31 kpl, vaikka käyttökeskeytyksen aika olisikin ollut kohtuullisen lyhyt, noin 3–5 tuntia. Poratulppauksella säästettiin DN600 runkojohdon tyhjennyksen. Runkojohtoa ei olisi kuitenkaan tarvinnut kokonaan tyhjentää, sillä tulpattava haara oli maastollisesti linjan yläpäädyssä, minkä takia tyhjennettävän veden määräksi olisi jäänyt arviolta vain 60m<sup>3</sup>. Linjan sulkeminen ja tyhjennys ja täyttö olisivat kuitenkin vieneet huomattavasti enemmän aikaa verrattuna poratulppaukseen.

Poratulppauksen ensimmäinen vaihe oli hitsattavien tulppausyhteiden asentaminen. Tulppausyhteet asennettiin putkeen poratulppauskohtaan hitsaamalla. Putken kunto aiheutti hieman ongelmia, koska putki oli hapertunut ruosteen takia. Putki ei kestänytkaan hitsausta ja hitsauksen takia putkeen tuli pieni vuoto, mikä vaikeutti hitsaustyötä ja lopulta putken ollessa liian hapertunutta, siirrettiin tulppausyhteen paikka lähemmäs runkoa (Kuva 7). Tällä estettiin pakollisen käyttökeskeytyksen järjestäminen. Toisessa vaiheessa hitsattuihin

yhteisiin asennettiin poratulppausvälineistö, jolla testattiin sauman paineenkestävyys ennen itse tulppausta. Sauma koeponnistettiin ja mahdolliset vuotokohdat etsittiin ja korjattiin. Tämän jälkeen päästiin itse poratulppaukseen. Viimeisessä vaiheessa putki tulpattiin porausliitoksesta ja todettiin, että poratulppaus pitää. Tarkistus tehtiin tarkistamalla paineiden lasku ja veden loppuminen ilmoista. Poratulppaus piti hyvin, joten putken pystyi katkaisemaan ja hitsaamaan sokeat putken päähän (Kuva 8).



Kuva 7. Porauskappaleiden tulppausyhteet ja hitsauksesta aiheutunut vuoto.



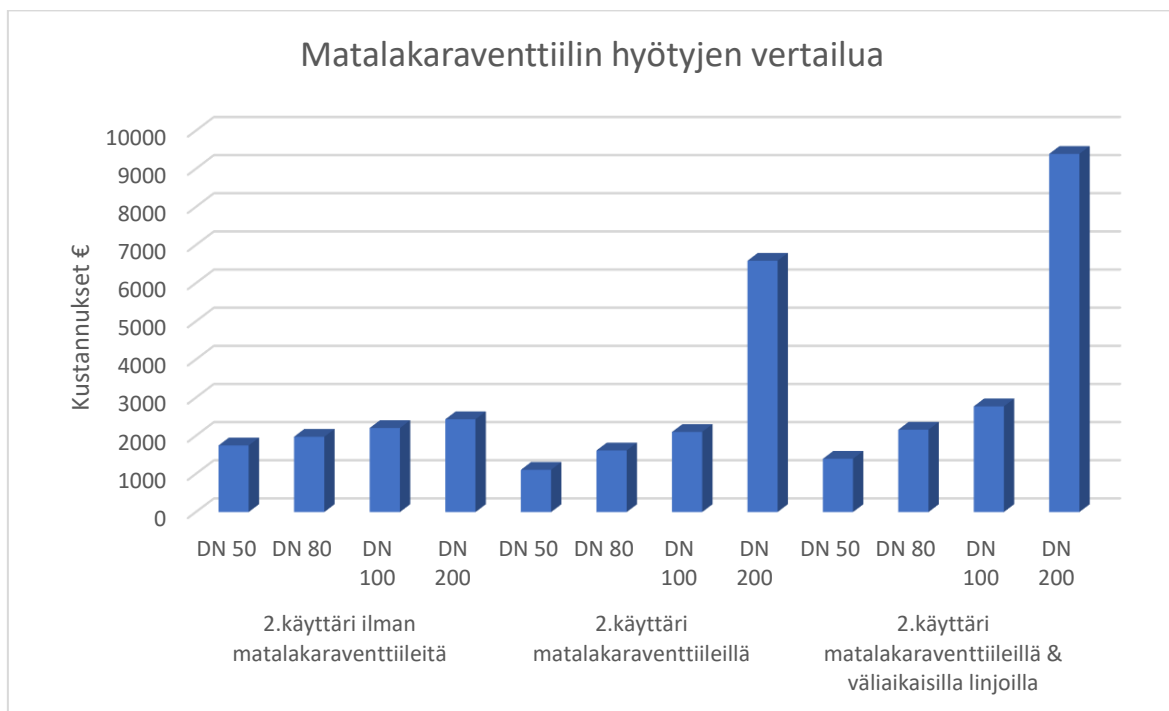
Kuva 8. Valmiiksi tehty poratulppaus (ilman eristystä)

### 5.5 Matalakaraventiilien hyötysuhde DN putkikoon suurentuessa

Matalakaraventtiili on halpa ja niillä voidaan keskittää tulevien jakelukeskeytyksien alue itse työn kohdalle, jolloin jakelukeskeytyksen alue pienenee. Matalakaraventtiilin huono puoli on kuitenkin niiden saatavuus suuremmissa kokoluokissa. Matalakaraventtiiliä valmistetaan tehdasvalmisteisesti DN200 kokoon asti, jonka jälkeen tilaustyönä voidaan tehdä vielä DN250 putkikokoa (Jyrinki 2020). Matalakaraventtiileiden hinnat vaihtelevat kokoluokittain, mutta tilausten määrästä ja tuotannon tiheydestä johtuen DN100 kokoluokasta alaspäin saatavat venttiilit ovat suhteessa halvempia kuin isomman kokoluokan matalakaraventtiilit (Jyrinki 2020).

Laskettaessa vuoden 2020 alkuvuoden jakelukeskeytyksien keskiarvoilla (teho 3612 kWh & vesimäärä 75 m<sup>3</sup>) matalakaraventtiilin käytön kustannustehokkuutta (Liite 1). Voidaan todeta matalakaraventtiilin käytön olevan hyödyllistä DN100 putkikokoon asti (Kaavio 9). Matalakaraventtiilien hintana on käytetty ohjeishintaa, joka tulee todellisuudessa olemaan halvempi. Matalakaraventtiilin hyödyt on laskettu kaavioon käyttäen vuoden 2020 alkuvuoden keskiarvoja, vesimäärälle laskettua tyhjennys & täyttö aikaa (h) sekä arvioitua hitsaus aikaa (h). Tyhjennykselle ja täytölle yhden pisteen tyhjennyksestä laskennallinen aika on 1.5 (h). Vesimäärän voidaan olettaa matalakaraventtiilin asennuksen jälkeen olematon, joten sitä ei ole huomioitu, kun käytetty matalakaraventtiiliä. Matalakaraventtiilien hinta on kuitenkin

huomioitu. Hitsausaikana laskuissa on käytetty 2 tuntia ja 30 minuuttia. Laskuissa on huomioitu myös suuremmasta putkikoosta aiheutuvat hitsaustyöt (+ 1 h/ DNnousu). Voidaan myös todeta 6 (kpl) matalakaraventtiin käyttöön olevan 2. jakelukeskeytyksessä erittäin lähellä samaa hintaa kuin ilman matalakaraventtiileitä. Tässä on hyvä huomioida matalakaraventtiileissä käytetty ohjeishinta. Matalakaraventtiileitä voidaan tarvita määrältä enemmän, jos sokeiden väliin jäävällä alueella on kuluttajia, jotka tarvitsevat lämpöä. Lämpö saadaan kuluttajille väliaikaisella linjalla ja matalakaraventtiin määrää nostettaessa ei tarvita paineellisen puolen tyhjennystä, vaan voidaan laittaa kaksi sulkua peräkkäin.



Kaavio 9. Matalakaraventtiilien hyödyllisyyden vertailua vuoden 2020 jakelukeskeytyksien keskiarvoilla (m<sup>3</sup> & kWh)

Matalakaraventtiilien käytön tehokkuus on tapauskohtaista ja riippuu jakelukeskeytyksen pituudesta (hitsaustyöt), vesimäärästä (m<sup>3</sup>) sekä tehosta (kWh). Matalakaraventtiilien hyötysuhde laskettiin vuoden 2020 alkuvuoden keskiarvoilla, joten kustannustehokkuus laskee, kun käytetään pienempiä arvoja. Kun matalakaraventtiilejä käytetään useampaa määrää kuin neljää kappaletta, voidaan ylimääräiset venttiilit katkaista putkesta ja mahdollisesti käyttää myöhemmin uudelleen.

## 6 Asiakastyytyväisyys Helenillä

Asiakastyytyväisyys on Helenille tärkeää ja siihen on kiinnitetty paljon huomiota Helenillä. Helen on tutkinut asiakastyytyväisyyttä asiakashaastatteluiden, havainnoinnin sekä asiakas- ja asiantuntijatyöpajojen avulla. Näiden lisäksi asiakkaat voivat myös itse proaktiivisesti käydä antamassa Helenille palautetta, joko soittamalla tai käymällä Helenin nettisivuilla lähettämässä kirjallisen palautteen. (Lehtinen, Utriainen, Vihavainen & Viikari 2019.)

Kaukolämmön ja jäähdytyksen jakelukeskeytyksistä ei ole erikseen tutkittu asiakastyytyväisyyttä esimerkiksi kyselyin, mutta palautetta voi käydä antamassa Helenin nettisivuilla. Kaukolämpöön liittyvät asiakastyytyväisyyskyselyt on tehty enimmäkseen työmaiden toimivuudesta. (Lehtinen ym. 2019). Helenin saamasta asiakaspalautteesta työmaista ja jakelukeskeytyksistä voidaan yhteenvetona todeta, että tärkeimmiksi asioiksi koetaan viestintä, työmaiden siisteys ja turvallisuus, sekä sujuvat kulkureitit työmailla. Lämmönjakelukeskeytyksien osalta palaute kohdistuu työmaiden pitkittymiseen ja lämmönjakelukeskeytyksissä ilmoitettujen aikojen venymiseen. Palautetta on tullut myös, jos lämmönjakelukeskeytys on päättynyt ilmoitettua aikaisemmin. Erityisesti kampaamoiden yrittäjiltä on tullut palautetta, sillä keskeytyksistä aiheutuu heille tulonmenetyksiä. Viestinnän lisäksi tyytymättömyyttä aiheutuu työmaiden meluhaitoista, negatiivisista vaikutuksista liikennejärjestelyihin sekä työmaiden keston pitenemisestä. (Lehtinen 2020.)

Positiivista palautetta asiakkaat käyvät harvoin antamassa. Kun kaikki menee hyvin lämmönjakelukeskeytyksessä ja tiedotus on pitänyt paikkansa, palautettakaan ei silloin tule. Palautteen saamattomuus voisikin olla siis itsessään positiivista. Kun positiivista palautetta on saatu, se liittyy lähinnä yksittäisiin kohtaamisiin Helenin henkilöstön kanssa. Tällaisia tilanteita ovat olleet esimerkiksi joustavuus, keskeytyksien aikatauluttaminen ja asiakkaan kuuntelu, sekä ratkaisun löytäminen asiaan.

Lämmönjakelukeskeytyksien optimoinnilla onkin suuri vaikutus asiakastyytyväisyyteen. Optimoinnilla saadaan keskitettyä jakelukeskeytyksen alue, jolloin asiakkaille ei välttämättä aiheudu jakelukeskeytyksiä yhtä paljon. Vuoden 2020 tammikuun ja toukokuun välisenä aikana Helenillä oli huimat 177 jakelukeskeytystä ja vuonna 2019 471 käyttökeskeytystä KeyDh:sta haettujen tietojen mukaan. Yhteensä käyttökeskeytyksiä on kirjattu ylös 7618. Jos keskeytyksien vuosittaista määrää saataisiin laskemaan, vaikuttaisi se varmasti asiakastyytyväisyyteen positiivisesti. Tällä hetkellä kaukolämmityksen keskimääräinen keskeytysaika asiakasta kohti on vain 2–3 tuntia vuodessa suurista jakelukeskeytysmääristä huolimatta (Helen Oy 2020).



Asiakastyytyväisyydessä voidaan huomioida myös sääolosuhteiden vaikutus rakennuksen viilenemiseen. Rakennuksen viilentäminen riippuu rakennuksen ilmanvaihdosta, sääolosuhteista (kylmyys & tuulisuus) sekä sijainnista (avaruus ja vedenläheisyys). Usein palaute aiheutuu kylmästä käyttövedestä, mutta välillä palaute on liittynyt myös rakennuksen viilentämiseen. Jakelukeskeytyksen ollessa pitkä, tämä voidaan huomioida poratulppausten etuna.

Mahdolliset kriittiset asiakkaat voidaan myös huomioida paremmin jakelukeskeytyksien optimoinnilla. Kriittisiä asiakkaita ovat muun muassa sairaalat, palvelutalot ja vanhainkodit, joissa lämmintä vettä tarvitaan arkipäiväisessä toiminnassa hyvän hygienian varmistamiseksi.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin Helen Oy:n käyttöön laskentataulukko, jolla voi selvittää poratulppauksen ja yleisesti käytetyn menetelmän (linjan sulkemisen ja tyhjentämisen) kustannuserot. Laskentataulukon avulla voidaan todeta poratulppauksen olevan hyödyllinen pienemmissä putkikokoluokissa, etenkin haarojen tulppaus isosta rungosta. Poratulppauksen hyödyllisyys on kuitenkin aina tapauskohtainen ja riippuu ympäristöstä, vesimäärästä, tehosta sekä jakelukeskeytyksen pituudesta. Pituudessa on huomioitava myös työaikalaki. Työntekijälle on tarjottava riittävä lepoaika, jolloin voi olla tarpeellista vaihtaa jakelukeskeytyksessä oleva porukka. Tämä aiheuttaa lisäkuluja.

Esille tuoduissa optimointimenetelmissä hyödyllisimmiksi voi todeta matalakaraventtiilin käytön, poratulppauksen sekä venttiilin ylipumppaamisen. Matalakaraventtiilissä suurin haitta on isojen putkikoiden saatavuus. Matalakaraventtiiliä on tarjolla vain DN200 asti ja tilattavissa DN250 asti. Opinnäytetyössä keskityttiin pääosin putkikokoihin DN200-600, huomioiden kuitenkin myös pienemmät kokoluokat.

Tulosten perusteella voidaan todeta matalakaraventtiilin ja poratulppauksen kustannustehokkuuden olevan hyvä pienemmissä kuin DN200 putkissa. Suuremmissa putkissa hankintakustannukset tulevat olemaan poratulppauksen ja matalakaraventtiilien osien kohdalla suuret, jolloin niiden käyttö ei välttämättä ole enää kustannustehokasta. Kustannustehokkuus paranee, kun menetelmiä käytetään kahdessa kohdassa neljän sijaan (esimerkiksi haaran tulppaus).

Venttiilin ylipumppaamisella parhaat ominaisuudet koskevat säästyvää vettä, jolloin vesi saadaan takaisin uudelleenhyödynnettäväksi. Venttiilin ylipumppaaminen ei vaikuta asiakkaiden lämmönjakelukeskeytyksien määrään vähentävästi, toisin kuin poratulppaus ja matalakaraventtiilien käyttö.

Tulosten luotettavuudessa on huomioitava jakelukeskeytyksien arvojen vaihtuvuus, sillä jokainen jakelukeskeytyks on erilainen. Tulokset on laskettu arvioilla ja aiempien jakelukeskeytyksien arvoilla. Tuloksissa ei ole huomioitu mahdollisia ongelmatilanteita. Mahdollisia ongelmatilanteita jakelukeskeytyksissä voi olla esimerkiksi sulkuventtiilien pitävyys. Osa sulkuventtiileistä voi päästää vettä läpi huomattavan määrän, jolloin keskeytysaluetta pitää suurentaa. Poratulppaukset ja matalakaraventtiilien käyttö estää kyseisen ongelman. Lisäksi on myös huomioitava kesän ja talven vaikutus myyntiin. Yleisimmät ongelmat liittyvät sulkuventtiileihin, mutta tutkittujen menetelmien avulla kyseiset ongelmat kuitenkin poistuvat tai vähenevät (poratulppaus ja matalakaraventtiilin käyttö). Talvella kulutus on huomattavasti suurempi kesään verrattuna, jolloin laskuissa laskettu myynti on tarkempi.

Asiakastyytyväisyyden näkökulmasta poratulppaus on kuluttajaystävällisin menetelmä, sillä poratulppauksen onnistuessa asiakkaalle ei aiheudu jakelukeskeytystä. Asiakastyytyväisyys onkin hyvä huomioida menetelmää valittaessa. Yksikköhintaa asiakastyytyväisyydelle ei ole mahdollista saada, siksi se pitää arvioida tapauskohtaisesti.

Opinnäytetyön aikana onnistuttiin rakentamaan yksinkertainen laskentataulukko eri menetelmien hyödyllisyyden arviointiin. Laskentataulukon avulla saatiin myös selvyys poratulppauksen ja matalakaraventtiilien hyödyllisyydestä putkikoon suurentuessa. Yllätyksenä tuli se, että porasulkujen käyttö oli hyödyllisempää kustannustehokkuuden kannalta pienemmissä kokoluokissa, mutta uudelleentulppauksen käyttö oli taas kustannustehokkaampaa suurissa putkikokoluokissa.

Mahdolliset jatkotutkimukset aiheeseen liittyen on hyvä kohdistaa toteutuneisiin tuloksiin, todellisten kustannuksien ja arviointien vertailuun sekä lisäksi on hyvä huomioida eri menetelmien työturvallisuus. Työturvallisuudessa on otettava huomioon erityisesti paineellisen putken ja kuumen veden käsittelyn aiheuttamat riskitilanteet.

## Lähteet

- Danish Energy Agency. 2015. Regulation and planning of district heating in Denmark. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/regulation\\_and\\_planning\\_of\\_district\\_heating\\_in\\_denmark.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/regulation_and_planning_of_district_heating_in_denmark.pdf)
- Energiamailma. Kaukojäähdytys. Viitattu 2.11.2020. Saatavissa: <https://energiamailma.fi/mista-virtaa/kaukolampo/kaukojaahdytys/>
- Energiamailma. Suomi on kaukolämmön edelläkävijä. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa: <https://energiamailma.fi/mista-virtaa/kaukolampo/>
- Energiateollisuus ry. Kaukolämmön tuotanto. Viitattu 24.5.2020. Saatavissa: [https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolammon\\_tuotanto](https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto)
- Energiateollisuus ry. Energiavuosi 2019 Kaukolämpö mediakuvat. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4402/Energiavuosi2019\\_Kaukolampo\\_MEDIKUVAT\\_20200120.pdf](https://energia.fi/files/4402/Energiavuosi2019_Kaukolampo_MEDIKUVAT_20200120.pdf)
- Helen Oy. 2017. Energiantuotanto Helsingissä. Viitattu 24.5.2020. Saatavissa: <https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/energiantuotanto2>
- Helen Oy. 2018. Uusitalo, S. Helen valmiina kivihiilestä luopumiseen. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2018/kivihiililaki>
- Helen Oy. 2019. Eeva Louko. Jäähdytys viilentää tehokkaasti-miten se oikeasti toimii. Viitattu 2.11.2020. Saatavissa: <https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/kaukojaahdytys/kaukojaahdytys-viilentaa-tehokkaasti>
- Helen Oy. Kaukolämmön alkuperä 2019. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/energian-alkupera>
- Helen Oy. Kaukolämpö ja jäähdytys. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa: [https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo?gclid=CjwKCAjw0On8BRAGeIwAincsHHIILGeyetdQ2sPKDYJ4m7swetArq0DbcK6-dKfJjGJshT7Y8SxIOhoC4SoQAvD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo?gclid=CjwKCAjw0On8BRAGeIwAincsHHIILGeyetdQ2sPKDYJ4m7swetArq0DbcK6-dKfJjGJshT7Y8SxIOhoC4SoQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)
- Helen Oy. Vuosaaren voimalaitokset. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/vuosaari>

Intranet: Helen Oy konserni 2020. Katutyömaiden asiakaskokemus on viestinnän, sujuvien kulkureittien ja turvallisen toteutuksen summa. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <http://intranet/Ajankohtaista/Uutiset/Sivut/Katuty%C3%B6maiden-asiakaskokemus.aspx>

Murtomäki, J. Työnjohtaja. Helen Oy. Haastateltu 2.10.2020.

Nisso, K. Myyntijohtaja. Tonisco system Oy. Haastateltu 13.10.2020.

Nuutinen, H. 2020. Suunnittelupäällikkö. Helen Oy. Haastateltu 5.2020.

Oulunenergia. Mitä on kaukolämpö. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/blogi/mita-on-kaukolampo>

Ramator Oy. 2018. Anna-Stiina Boström. Kaukolämmön liki 100% toimitusvarmuus rakennetaan yhteistyöllä. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa: <https://ramator.fi/blogs/ajankohtaista/kaukolammon-lik-100-toimitusvarmuus-rakennetaan-yhteistyolla>

Rautiainen, J. 2020. Työnjohtaja. Helen Oy. Haastateltu 2.10.2020.

Sivonen, A. 2020. Esimies. Helen Oy. Haastateltu 2.10.2020.

Sähköposti: Lehtinen, K. 2020. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Rautiainen, J. Lähetetty 30.10.2020.

Tonisco. 2020. Tonisco sulut. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: <https://www.tonisco.com/fi/tuotteet/tonisco-sulut/>

Työterveyslaitos. 2014. OVA-ohje: HYDRATSIINI – tiivistelmä. Viitattu 31.10.2020. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ova/thydrats.html>

Vexve. Matalakaraventtiili DN80 hitsattava/hitsattava supistusaukkoinen. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: <https://www.vexve.com/fi/tuotteet/tuote/vexve/haaroitusventtiilit/20-200/hitsattava-hitsattava-en-din/supistettuaukkoinen/hylsyavaimella/matalakaraventtiili/>

Väätäjä, J. 2020. Kunnossapitopäällikkö. Helen Oy. Haastateltu 26.10.2020.

Wikipedia. Kombivoimalaitos. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kombivoimalaitos>

Gebwell. District heating. Viitattu 30.10.2020. Saatavissa: <http://gebwell.fi/en/district-heating/>

## Liite 1. 2020 alkuvuoden jakelukeskeytykset Helenillä

**Käyttökeskeytys**

Luoja Jussi Rautiainen  
 Luotu 30.05.2020 13:35

Tunnus	Verkkolaji	Johtotil. (m3)	Kuluttajia	Teho (W)
Jakelukeskeytys 1	Kaukolämpö	2,21	43	202
Jakelukeskeytys 2	Kaukolämpö	2,16	13	244
Jakelukeskeytys 3	Kaukolämpö	0,07	4	244
Jakelukeskeytys 4	Kaukolämpö	136,91	134	11456
Jakelukeskeytys 5	Kaukolämpö	90,03	67	5737
Jakelukeskeytys 6	Kaukolämpö	2,03	55	120
Jakelukeskeytys 7	Kaukolämpö	0,81	30	221
Jakelukeskeytys 8	Kaukolämpö	52,37	78	8232
Jakelukeskeytys 9	Kaukolämpö	0,57	6	1200
Jakelukeskeytys 10	Kaukolämpö	107,33	140	24846
Jakelukeskeytys 11	Kaukolämpö	1,91	30	252
Jakelukeskeytys 12	Kaukolämpö	107,33	112	1200
Jakelukeskeytys 13	Kaukolämpö	107,33	133	17470
Jakelukeskeytys 14	Kaukolämpö	161,95	171	315
Jakelukeskeytys 15	Kaukolämpö	48,21	107	7229

Jakelukeskeytytys 16	Kaukojäähdytys	217,53	81	5341
Jakelukeskeytytys 17	Kaukolämpö	38,1	115	1423
Jakelukeskeytytys 18	Kaukolämpö	109,65	70	8393
Jakelukeskeytytys 19	Kaukolämpö	290,87	349	7156
Jakelukeskeytytys 20	Kaukolämpö	91,99	12	0
Jakelukeskeytytys 21	Kaukolämpö	97,25	7	0
Jakelukeskeytytys 22	Kaukolämpö	88,43	10	0
Jakelukeskeytytys 23	Kaukolämpö	0,09	7	391
Jakelukeskeytytys 24	Kaukolämpö	31,67	57	4109
Jakelukeskeytytys 25	Kaukolämpö	32,54	20	488
Jakelukeskeytytys 26	Kaukolämpö	32,54	20	488
Jakelukeskeytytys 27	Kaukolämpö	0,43	11	411
Jakelukeskeytytys 28	Kaukolämpö	84,1	142	15084
Jakelukeskeytytys 29	Kaukolämpö	84,1	122	372
Jakelukeskeytytys 30	Kaukolämpö	10,37	48	2650
Jakelukeskeytytys 31	Kaukolämpö	72,19	383	2669
Jakelukeskeytytys 32	Kaukolämpö	3,46	16	582
Jakelukeskeytytys 33	Kaukolämpö	3,46	19	1147
Jakelukeskeytytys 34	Kaukolämpö	0,96	7	114
Jakelukeskeytytys 35	Kaukolämpö	255,75	116	2586
Jakelukeskeytytys 36	Kaukolämpö	0,04	4	16
Jakelukeskeytytys 37	Kaukolämpö	30,87	128	7331
Jakelukeskeytytys 38	Kaukolämpö	138,94	149	13704
Jakelukeskeytytys 39	Kaukolämpö	169,81	277	21035

Jakelukeskeytytys 40	Kaukolämpö	3,54	38	878
Jakelukeskeytytys 41	Kaukolämpö	0,12	7	150
Jakelukeskeytytys 42	Kaukolämpö	3,83	44	1504
Jakelukeskeytytys 43	Kaukolämpö	20,94	6	716
Jakelukeskeytytys 44	Kaukolämpö	142,16	103	5870
Jakelukeskeytytys 45	Kaukolämpö	142,01	101	5428
Jakelukeskeytytys 46	Kaukolämpö	232,9	168	3065
Jakelukeskeytytys 47	Kaukolämpö	0,51	8	128
Jakelukeskeytytys 48	Kaukojäähdytys	9,34	7	250
Jakelukeskeytytys 49	Kaukolämpö	11,01	242	938
Jakelukeskeytytys 50	Kaukolämpö	58,55	211	11562
Jakelukeskeytytys 51	Kaukolämpö	17,46	120	2171
Jakelukeskeytytys 52	Kaukolämpö	13,61	156	1319
Jakelukeskeytytys 53	Kaukolämpö	258,8	144	7977,6
Jakelukeskeytytys 54	Kaukolämpö	277,29	148	8133,6
Jakelukeskeytytys 55	Kaukolämpö	7,4	17	1298
Jakelukeskeytytys 56	Kaukolämpö	16,46	79	5972
Jakelukeskeytytys 57	Kaukolämpö	44,48	50	3131
Jakelukeskeytytys 58	Kaukolämpö	8,36	13	3993
Jakelukeskeytytys 59	Kaukolämpö	112,41	50	600
Jakelukeskeytytys 60	Kaukolämpö	27,86	22	3280
Jakelukeskeytytys 61	Kaukolämpö	10,19	41	1613
Jakelukeskeytytys 62	Kaukolämpö	7,49	37	1613
Jakelukeskeytytys 63	Kaukolämpö	77,1	123	5533



Jakelukeskeytytys 64	Kaukolämpö	77,1	130	7267
Jakelukeskeytytys 65	Kaukolämpö	77,1	110	1734
Jakelukeskeytytys 66	Kaukolämpö	12,91	149	884
Jakelukeskeytytys 67	Kaukolämpö	32,37	73	2232
Jakelukeskeytytys 68	Kaukolämpö	3,12	75	620
Jakelukeskeytytys 69	Kaukolämpö	80,75	23	3740
Jakelukeskeytytys 70	Kaukolämpö	242,06	143	8387
Jakelukeskeytytys 71	Kaukolämpö	46,09	19	2517
Jakelukeskeytytys 72	Kaukolämpö	6,01	38	3292
Jakelukeskeytytys 73	Kaukolämpö	83,4	81	5424
Jakelukeskeytytys 74	Kaukolämpö	25,77	16	519
Jakelukeskeytytys 75	Kaukolämpö	21,48	49	3227
Jakelukeskeytytys 76	Kaukolämpö	1,5	8	1459
Jakelukeskeytytys 77	Kaukolämpö	2,81	80	205
Jakelukeskeytytys 78	Kaukolämpö	2,8	80	215
Jakelukeskeytytys 79	Kaukolämpö	347,96	33	2171
Jakelukeskeytytys 80	Kaukolämpö	347,96	33	2171
Jakelukeskeytytys 81	Kaukolämpö	87,82	69	7618
Jakelukeskeytytys 82	Kaukolämpö	0,96	36	453
Jakelukeskeytytys 83	Kaukolämpö	1,67	45	577
Jakelukeskeytytys 84	Kaukolämpö	24,16	91	4248
Jakelukeskeytytys 85	Kaukolämpö	4,64	38	1848
Jakelukeskeytytys 86	Kaukolämpö	7,41	31	3035
Jakelukeskeytytys 87	Kaukolämpö	8,21	37	1872
Jakelukeskeytytys 88	Kaukolämpö	8,21	33	465
Jakelukeskeytytys 89	Kaukolämpö	2,72	73	463

Jakelukeskeytytys 90	Kaukolämpö	6,77	78	2185
Jakelukeskeytytys 91	Kaukolämpö	6,77	78	2185
Jakelukeskeytytys 92	Kaukolämpö	8,66	72	4129
Jakelukeskeytytys 93	Kaukolämpö	164,17	187	8930
Jakelukeskeytytys 94	Kaukojäähdytys	29,92	13	2225
Jakelukeskeytytys 95	Kaukolämpö	0,46	3	1540
Jakelukeskeytytys 96	Kaukolämpö	41,72	156	2819
Jakelukeskeytytys 97	Kaukolämpö	41,65	130	120
Jakelukeskeytytys 98	Kaukolämpö	41,36	128	202
Jakelukeskeytytys 99	Kaukolämpö	290,87	349	7156
Jakelukeskeytytys 100	Kaukolämpö	394,59	144	8186
Jakelukeskeytytys 101	Kaukolämpö	619,18	365	15893
Jakelukeskeytytys 102	Kaukolämpö	243,68	277	9514
Jakelukeskeytytys 103	Kaukolämpö	258,42	192	7707
Jakelukeskeytytys 104	Kaukolämpö	82,97	96	406
Jakelukeskeytytys 105	Kaukolämpö	49,68	29	14
Jakelukeskeytytys 106	Kaukolämpö	209,39	34	1176,6
Jakelukeskeytytys 107	Kaukolämpö	6,18	47	528
Jakelukeskeytytys 108	Kaukolämpö	52,14	167	5393
Jakelukeskeytytys 109	Kaukolämpö	13,43	63	726
Jakelukeskeytytys 110	Kaukolämpö	13,43	63	726
Jakelukeskeytytys 111	Kaukolämpö	3,02	62	881
Jakelukeskeytytys 112	Kaukolämpö	5,11	73	1394
Jakelukeskeytytys 113	Kaukojäähdytys	24,95	17	250

Jakelukeskeytytys 114	Kaukolämpö	3,7	15	1764
Jakelukeskeytytys 115	Kaukolämpö	35,51	46	3838
Jakelukeskeytytys 116	Kaukolämpö	371,93	191	14486
Jakelukeskeytytys 117	Kaukolämpö	96,71	43	1244
Jakelukeskeytytys 118	Kaukolämpö	4,08	27	932
Jakelukeskeytytys 119	Kaukolämpö	81,2	106	6376
Jakelukeskeytytys 120	Kaukolämpö	137,52	22	455
Jakelukeskeytytys 121	Kaukolämpö	137,52	22	455
Jakelukeskeytytys 122	Kaukolämpö	122,22	134	9131
Jakelukeskeytytys 123	Kaukolämpö	16,93	68	3683
Jakelukeskeytytys 124	Kaukolämpö	61,11	147	2906,1
Jakelukeskeytytys 125	Kaukojäähdytys	244,63	33	3150
Jakelukeskeytytys 126	Kaukolämpö	94,1	182	6515
Jakelukeskeytytys 127	Kaukolämpö	64,54	244	939
Jakelukeskeytytys 128	Kaukolämpö	15,82	193	2382
Jakelukeskeytytys 129	Kaukolämpö	15,82	162	17
Jakelukeskeytytys 130	Kaukolämpö	62,4	90	6500
Jakelukeskeytytys 131	Kaukolämpö	54,3	38	6047
Jakelukeskeytytys 132	Kaukolämpö	97,86	48	3727
Jakelukeskeytytys 133	Kaukolämpö	42,46	6	0
Jakelukeskeytytys 134	Kaukolämpö	42,46	6	0
Jakelukeskeytytys 135	Kaukolämpö	6,59	52	4149
Jakelukeskeytytys 136	Kaukolämpö	31,97	70	7538
Jakelukeskeytytys 137	Kaukolämpö	6,27	5	0
Jakelukeskeytytys 138	Kaukolämpö	186,06	37	1776

Jakelukeskeytytys 139	Kaukolämpö	5,14	37	206
Jakelukeskeytytys 140	Kaukolämpö	242,55	189	8977
Jakelukeskeytytys 141	Kaukolämpö	13,23	71	2096
Jakelukeskeytytys 142	Kaukolämpö	0,91	21	465
Jakelukeskeytytys 143	Kaukolämpö	21,96	64	1186
Jakelukeskeytytys 144	Kaukolämpö	4,65	107	371,7
Jakelukeskeytytys 145	Kaukolämpö	45,42	15	325
Jakelukeskeytytys 146	Kaukolämpö	3,88	75	1408,5
Jakelukeskeytytys 147	Kaukolämpö	52,37	78	8232
Jakelukeskeytytys 148	Kaukolämpö	0,73	12	727
Jakelukeskeytytys 149	Kaukolämpö	64,07	128	7979
Jakelukeskeytytys 150	Kaukolämpö	133,51	143	10807
Jakelukeskeytytys 151	Kaukolämpö	133,51	143	10807
Jakelukeskeytytys 152	Kaukolämpö	111,13	119	7709
Jakelukeskeytytys 153	Kaukolämpö	111,13	125	9110
Jakelukeskeytytys 154	Kaukolämpö	0,57	6	1200
Jakelukeskeytytys 155	Kaukolämpö	118,12	132	9110
Jakelukeskeytytys 156	Kaukolämpö	1,35	7	892
Jakelukeskeytytys 157	Kaukolämpö	1,9	27	1401
Jakelukeskeytytys 158	Kaukolämpö	5,19	34	1780
Jakelukeskeytytys 159	Kaukolämpö	151,52	235	11918
Jakelukeskeytytys 160	Kaukolämpö	151,52	228	10138
Jakelukeskeytytys 161	Kaukolämpö	28,85	160	1638
Jakelukeskeytytys 162	Kaukolämpö	2,56	66	630
Jakelukeskeytytys 163	Kaukolämpö	1,1	43	121

Jakelukeskeytys 164	Kaukolämpö	2,36	23	157
Jakelukeskeytys 165	Kaukolämpö	85,58	78	1452
Jakelukeskeytys 166	Kaukolämpö	122,22	135	9131
Jakelukeskeytys 167	Kaukolämpö	122,22	134	9131
Jakelukeskeytys 168	Kaukolämpö	9,61	72	1306
Jakelukeskeytys 169	Kaukolämpö	54,76	26	3280
Jakelukeskeytys 170	Kaukolämpö	5,12	75	1416
Jakelukeskeytys 171	Kaukolämpö	16,4	46	4211
Jakelukeskeytys 172	Kaukolämpö	0,08	8	607
Jakelukeskeytys 173	Kaukolämpö	103,74	87	4984
Jakelukeskeytys 174	Kaukolämpö	56,98	92	902
Jakelukeskeytys 175	Kaukolämpö	183,29	66	1512
Jakelukeskeytys 176	Kaukolämpö	181,23	56	1512
Jakelukeskeytys 177	Kaukolämpö	2,36	32	58

