

Jukka Kallunki

## **KAUKOLÄMPÖVERKOSTON SANEERAUS**

# KAUKOLÄMPÖVERKOSTON SANEERAUS

Jukka Kallunki  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Jukka Kallunki

Opinnäytetyön nimi: Kaukolämpöverkoston saneeraus

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 31 + 1

---

Toimeksiannon antoi Oulun Energian lämpöpalveluosasto, ja työn aiheena on tutkia kaukolämpöverkoston saneerauksen merkitystä energiansäästön ja toimintavarmuuden näkökulmasta esimerkkikohteen avulla.

Työn tavoitteena oli vertailla lämpöhäviöitä uusien ja vanhojen kaukolämpöjohtojen välillä sekä tutkia johtorakenteiden riskejä saneerauksen näkökulmasta. Tavoitteena oli myös laskea vuotuinen energiansäästö, kun johtorakenne muuttuu sekä pohtia mahdollisia parannuskeinoja kaukolämpöverkoston saneeraukseen tai sen työvaiheisiin.

Vuotavat ja vanhat kaukolämpöjohdot, joiden eristyskyky on huono, ovat aina riski rikkoutumisen takia ja ylimääräinen kustannuserä. Lämpöhäviölaskenta aloitettiin hankkimalla saneerattavan alueen kiinteistöjen kulutustiedot edellisvuodelta. Kiinnivaahdotettujen kaksiputkielementtien lämpöhäviöiden laskemiseen käytettiin Chalmersin teknillisen yliopiston esittämää menetelmää. Vanhojen kaukolämpöjohtojen lämpöhäviöt arvioitiin energiateollisuuden tutkimuksen ja laskentatyökalun avulla.

Tuloksien perusteella energiansäästöpotentiaalia saneerattavissa kaukolämpöjohdoissa riittää. Energiansäästö koostui suureksi osaksi korttelijohdon eristyskyvyn parannuksesta. Talojohtojen osalta energiansäästö jäi maltilliseksi talojohtojen reittimuutosten vuoksi. Kehitysehdotuksia kivi- ja puu- ja betonijohdotuksen suorittamiseen ovat rumpuputkien asentamisen välttäminen sekä erityisen huomion kiinnittäminen elementtijatkokkien vedenpitävyyteen.

---

Asiasanat: kaukolämpö, lämpöhäviö, energiansäästö, kestävä kehitys

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	5
2 KAUKOLÄMPÖ.....	6
2.1 Kaukolämpö Suomessa.....	6
2.2 Kaukolämpö Oulussa.....	7
3 VERKOSTON SANEERAUS.....	8
3.1 Uudistava perusparantaminen.....	8
3.2 Korvaava perusparantaminen.....	8
3.3 Johtorakenteet.....	8
3.3.1 2Mpuk ja Mpuk.....	8
3.3.2 Mpul.....	9
3.3.3 Emv.....	10
3.4 Vauriot.....	11
4 KORTTELI- JA TALOJOHTOJEN SANEERAUS.....	13
4.1 Alue.....	13
4.2 Suunnittelu ja toteutus.....	14
5 LÄMPÖHÄVIÖLASKENNAN MENETELMÄT.....	16
5.1 2Mpuk.....	16
5.2 Mpuk.....	19
5.3 Mpul.....	22
6 LÄMPÖHÄVIÖLASKENNAN TULOKSET.....	24
6.1 Korttelijohto.....	24
6.2 Talojohdot.....	25
6.3 Energiansäästö.....	25
6.4 Häviöenergia.....	26
7 PARANNUSEHDOTUKSET.....	27
8 YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET.....	30
LIITTEET.....	32

# 1 JOHDANTO

Eurooppa-neuvosto linjasi vuonna 2009, että Euroopan unionin (myöh. EU) tavoitteena on alentaa päästöjä 80–95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta. Vuonna 2015 solmittiin uusi ilmastopöytäkirja, jonka tarkoituksena on rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahteen asteeseen ja pyrkiä toimiin, jolla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteeseen. Vuonna 2014 Eurooppa-neuvostossa sovittiin energia- ja ilmastotavoitteista. Päästöjä vähennetään vähintään 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta ja lisätään uusiutuvan energian käyttöä 27 prosenttia. Tavoite energiatehokkuuden parantamiselle on 27 prosenttia. Suomen hallitusohjelman energialinjaukset ovat, että uusiutuvan energian osuus 2020-luvulla nousee yli 50 prosenttiin ja omavaraisuus yli 55 prosenttiin sisältäen muun muassa turpeen. Lisäksi hallitusohjelman tavoite on, että Suomi on saavuttanut 2020 ilmastotavoitteet jo vaalikauden aikana. 2020 ilmastotavoitteet tarkoittavat 20 prosentin päästövähennyksiä, 20 prosentin uusiutuvan energian käyttöä ja 20 prosentin energiatehokkuuden parantamista. (1.)

Energian tuotannosta ja siirrosta aiheutuu monenlaisia ympäristövaikutuksia, vaikutusalueeltaan laajoja tai paikallisia. Ympäristön kannalta suurimpia huolenaiheita ovat ilmastonmuutos, luonnonvarojen ja luonnon monimuotoisuuden väheneminen sekä jätteiden määrän lisääntyminen. Kaukolämpöverkon rakentamisesta ja kunnossapidosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia ovat kemikaalien ja polttonesteiden ja työssä syntyvien jätteiden käsittely sekä kaivutyön aikaansaama melu ja liikennehaitat. (2.)

Tämän työn tarkoitus on tarkastella kaukolämpöverkon saneerauksen toteutusta energiansäästön ja toimitusvarmuuden kannalta. Säästöt koostuvat pääosin kaukolämpöjohdon eristyskyvyn parantamisesta sekä mahdollisten vaurioiden korjaamisen välttämisestä. Työssä lasketaan lämpöhäviöistä aiheutuvat säästöt vuodessa. Työssä tarkastellaan myös eri johtorakenteita saneerauksen näkökulmasta ja miten saneerausta voitaisiin parantaa. Työn aihe sekä esimerkkikohteet saatiin Oulun Energia Oy:ltä.

## 2 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Kaukolämpö tuotetaan paikallisesti lähellä asiakasta yleensä polttolaitoksissa yhdessä sähkön tuotannon kanssa. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa polttoaineen sisältämä energia saadaan talteen kaikkein energiatehokkaimmin ja ympäristöystävällisemmin. Osa polttoaineen energiasta, jota ei saada muutettua sähköksi, käytetään lämpönä. Yhteistuotannon tehokkuuden vuoksi polttoaineiden käyttö ja ympäristöpäästöt ovat lähes kolmanneksen pienempiä kuin tuottaessa sama energia erillisissä sähkön ja lämmön tuotantolaitoksissa. Suomessa on myös pelkästään lämpöä tuottavia polttolaitoksia, joita käytetään yleensä huippu- ja varalaitoksina. (3.)

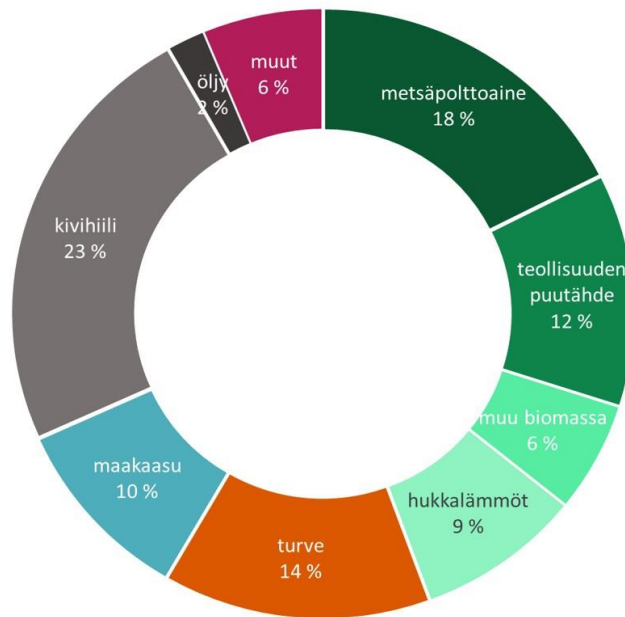
Kaukolämpöverkosto muodostuu runko-, siirto- ja talojohtoista. Siirtojohdot yhdistävät voimalaitokset ja lämpökeskukset varsinaisiin verkoston runkojohtoihin. Siirtojohdot voivat myös yhdistää eri alueita yhteen. Runko- ja jakelujohdot jakavat kaukolämpöveden pienempiin jakelu- ja talojohtoihin. Jakelujohdosta voidaan käyttää myös nimitystä korttelijohto. (4, s. 51)

Kaukolämpöverkossa lämpö siirretään asiakkaalle tuotantolaitoksessa lämmitettynä vetenä suljetussa kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Kaukolämpöveden menolämpötila vaihtelee sään mukaan 65 ja 115 celsiusasteen välillä ja paluuputkessa yleensä 40 ja 60 celsiusasteen välillä. Kaukolämpöjohdot asennetaan 0,5–1 metrin syvyyteen maan pinnasta katujen, jalkakäytävien ja kevyen liikenteen väylien alle, isot johdot joskus myös tunneleihin. Johtojen siirtämästä energiasta Suomessa kuluu lämpöhäviöihin noin 8–9 prosenttia, isoimpien kaupunkien verkoissa 5–8 prosenttia ja pienten taajamien verkoissa 10–15 prosenttia. (5.)

### 2.1 Kaukolämpö Suomessa

Suomessa kaukolämpöä rakennettiin ensimmäisenä vuonna 1940 Helsingin Olympiakylään. Nyt kaukolämpöä on jo suurimassa osassa kaupunkeja ja taajamia. Kaukolämpöverkon kokonaispituus Suomessa vuonna 2015 oli noin 14 600 kilometriä. Vuosittain verkon pituus kasvaa noin 250–500 kilometriä pääasiassa uusien asiakkaiden liittämisenä kaukolämpöverkkoon ja kaukolämpöverkon

täydentämiskäytännönä. (6.) Vuonna 2017 kaukolämmön energianlähteistä 62 % oli kotimaisia (kuva 1).



KUVA 1. Kaukolämmön energianlähteet vuonna 2017 (6)

## 2.2 Kaukolämpö Oulussa

Oulussa kaukolämpöä on rakennettu vuodesta 1969. Voimalaitoksia Oulussa on kaksi kappaletta, joista yksi sijaitsee Toppilassa, jossa on kaksi voimalaitosyksikköä, sekä yksi ekovoimalaitos Laanilassa. Lisäksi on Limingantullissa, Maikkulassa, Vasaraperällä, Pateniemessä ja Oulunsuussa sijaitsevat vara- ja huippulämpökeskukset, joiden polttoaineena on öljy. Toinen Toppilassa sijaitsevista voimalaitosyksiköistä on tulossa elinkaarensa päähän, ja sen tilalle on tulossa uusi biovoimalaitos vuonna 2020 Laanilaan samalle alueelle ekovoimalaitoksen kanssa. Oulussa polttoaineina kaukolämmön tuotantoon käytetään pääasiassa turvetta, jonka osuus on 59 %, ja puuta, jonka osuus on 36%. Johtorakenteina Oulussa on käytössä kiinnivaahdotettu yksiputki- ja kaksiputkirakenne, betonielementtikanavarakenne tai muovisuojuorielementti, jossa teräsputket pääsevät liikkumaan, niin sanottu Mpul-rakenne. Oulun kaukolämpöverkon kokonaispituus on noin 800 kilometriä. (7.)

## **3 VERKOSTON SANEERAUS**

### **3.1 Uudistava perusparantaminen**

Uudistavalla perusparantamisella tarkoitetaan perusparannuskohdetta, jossa huonokuntoinen johto-osuus korvataan uudella, samaa käyttötarkoitusta palvelevalla uudella johdolla. Uudistavassa perusparantamisessa uudet kaukolämpöasiakkaat, uusi mahdollisesti edullisempi johtoreitti, johdon mitoituksen tarkistaminen ja uudet tuotantoinnovaatiot on aina huomioitava kohteen suunnittelussa. (8, s. 356.)

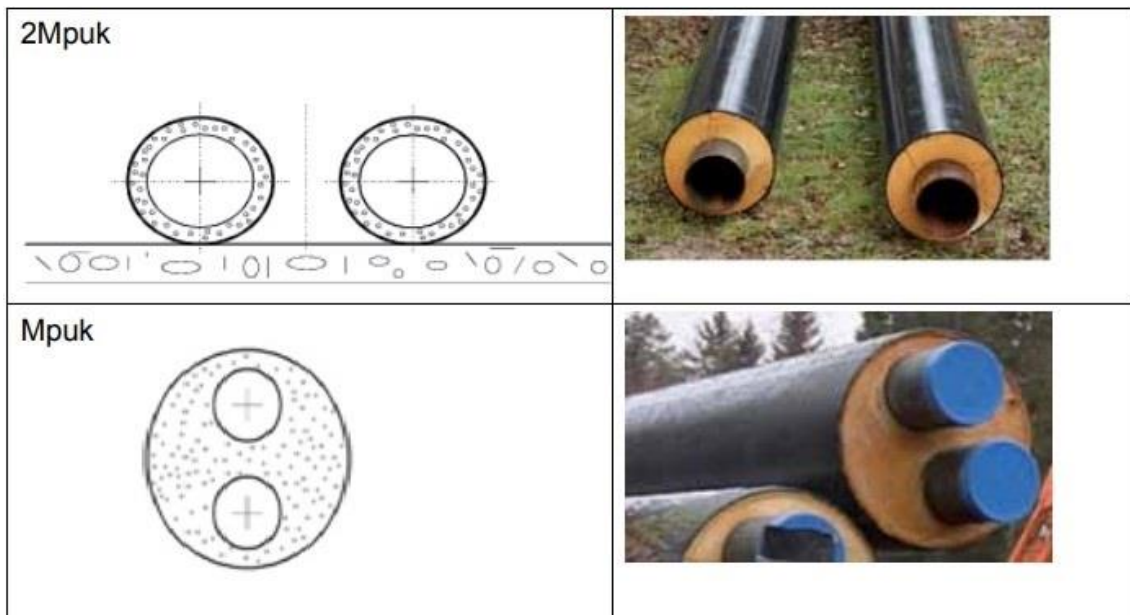
### **3.2 Korvaava perusparantaminen**

Korvaavalla perusparantamisella tarkoitetaan uudisrakennus- ja perusparannuskohteen väliin sijoitettavaa kohdetta, jossa uuden järjestelmän rakentamisella korvataan sekä käytöstä poistettavan osan tai johdon käyttötarkoitus että toteutetaan mahdollisesti uusia, muuttuneen ympäristön luomia käyttötarkoituksia. Useimmiten tämänkaltaiset kohteet luokitellaan kokonaan uudisrakennuskohteiksi, mutta korvattavan johdon perusparannustarpeella on usein ratkaiseva merkitys rakennushakkeen toteutumisen ja rakentamisen käynnistämisaikajankohtaan. (8, s. 356.)

### **3.3 Johtorakenteet**

#### **3.3.1 2Mpuk ja Mpuk**

Kiinnivaahdotettuja johtorakenteita on kaksi, kaksiputki- (myöh. Mpuk) ja yksiputkielementti (myöh. 2Mpuk). Nimitykset johtuvat niiden rakenteesta. M tarkoittaa muovisuojakuorta, pu polyuretaanieristettä ja k että eriste on kiinni virtausputkessa. 2Mpuk-rakenteessa molemmat virtausputket ovat omassa eristeessä ja suojakuoren sisällä, kun taas Mpuk-rakenteessa molemmat virtausputket ovat saman suojakuoren ja eristeen sisällä (kuva 2). Kiinnivaahdotettu johtorakenne on yleisin tällä hetkellä asennettavista johtorakenteista. Kiinnivaahdotettua johtorakennetta on asennettu 1980-luvulta asti.

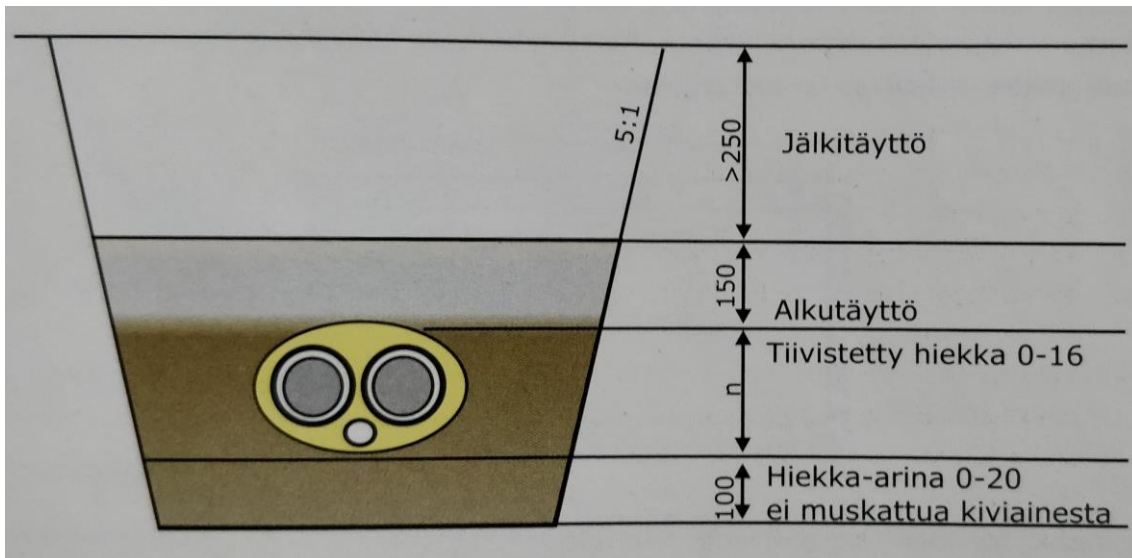


KUVA 2. Kiinnivaahdotettu kaukolämpöjohto (4, s. 57)

Kiinnivaahdotettuja kaukolämpöputkia ja -osia on saatavilla valmiina tehdasvalmisteisina elementteinä. Asennuksissa pitää käyttää tehdasvalmisteisiä osia. Asennuksessa on myös erityisen tärkeää tehdä johdon jatkokset huolellisesti. Huolimattomasti tehty jatkos ei ole vesitiivis, ja ulkopuolinen vesi pääsee virtausputken ulkopinnalle ja voi ruostuttaa virtausputken puhki lyhyessäkin ajassa. Kaukolämpötuotteissa käytetty polyuretaanieriste voi imeä huolimattomasti tehdyn jatkoksen, vaurioituneen suojakuoren tai virtausputken korroosion takia vettä itseensä ja näin aiheuttaa korroosiota pitkälläkin matkalla. (4, s. 58.) Tämän johtorakenteen energiankulutusta ja lämpöhäviöitä käsitellään myöhemmin tässä työssä.

### 3.3.2 Mpul

Mpul-johtorakenteessa teräksiset virtausputket pääsevät liikkumaan lasikuituisien suojaputkien sisällä. Tätä johtorakennetta on käytetty yleisesti 1960-luvun puolivälistä noin 20 vuoden ajan. Tästä johtorakenteesta käytetään lyhenteenä Mpul. Kanavarakenteen muodostavat polyuretaanieristeellä yhteen liitetty muovisuojakuori ja lasikuituiset virtausputkien suojaputket. Virtausputket asennetaan lasikuituisien suojaputkien sisään, jolloin ne pääsevät liikkumaan lämpöliikkeiden vaikutuksesta. Rakenteeseen kuuluu myös erillinen vuotovesiputki elementin alareunassa (kuva 3).



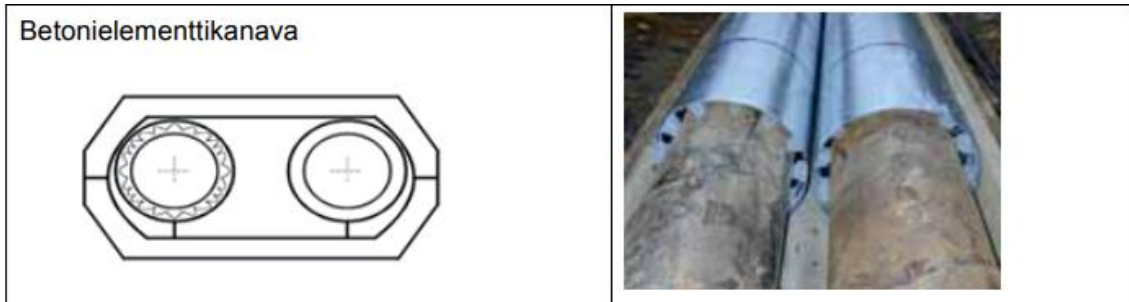
KUVA 3. Muovisuojakuorijohto liikkuvin teräspuikin (8, s. 145)

Tämä johtotyyppin tyypillinen virtausputkien korroosion aiheuttaja on ulkopuolinen vesi. Vesi pääsee virtausputkien ulkopinnalle huolimattomasti tehdyn jatkoksen tai suojakuoren rikkoutumisen takia. Ulkopuolinen vesi pääsee virtaamaan koko kaukolämpökaivovälille ja aiheuttaa korroosiota pitkällä matkalla vuotovesiputkesta huolimatta. Tätä johtotyyppiä ei ole asennettu enää 1990-luvun jälkeen. (8, s. 145) Tämän johtorakenteen energiankulutusta ja lämpöhäviöitä käsitellään myöhemmin tässä työssä.

### 3.3.3 Emv

Betonielementtikanavan rakenteeseen kuuluu ala- ja yläelementti, virtausputket sekä lämpöeriste (kuva 4). Virtausputket on asennettu kannakkeille betonielementtien sisään irti betonipinnasta, ettei ulkopuolinen vesi pääse koskettamaan lämpöeristettä ja kastelemaan sitä. Eristeen ja betonikanavan väliin jäävän ilmatilan kautta kanavarakenne tuulettuu. Betonielementtikanava on asennettava laskevaksi, jotta rakenteen sisään päässyt vesi virtaa kaukolämpökaivoon. Asennuksessa on myös huomioitava salaojituksen tarve, jos maaperä on kostea tai pohjavesi yltää lähelle betonielementtikanavaa. Salaojien merkitys tälle kanavarakenteelle on iso, koska kanavarakenne ei ole vesitiivis. Betonielementtikanavaa ei käytetä enää nykyisin, vaan tämän kanavarakenteen sijaan saneerauksen yhteydessä käytetään kiinnivaahdotettua johtorakennetta. Betonielementtikanavaan voidaan

vaihtaa vanha ja mahdollisesti irti oleva mineraalivillaeriste polyuretaanieristeeseen, jos itse virtausputket eivät ole saneerauksen tarpeessa. Saneerauksen näkökulmasta betonielementtikanava on riskirakenne, koska ne ovat jo lähellä käyttöikänsä loppua ja vanhat kivivillaeristeet ovat saattaneet kastua ja pudota putken ympäriltä pois. (4, s. 59).



KUVA 4. Betonielementtikanava (4, s. 57)

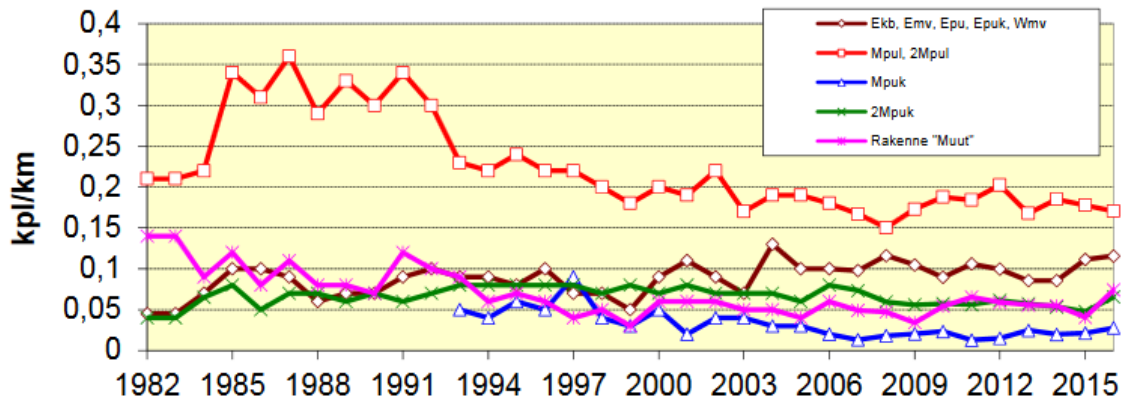
### 3.4 Vauriot

Suomessa vuonna 2016 raportoituja vaurioita kaukolämpöverkostossa esiintyi 628 kappaletta. Vauriomäärä nousi edellisvuodesta yli 100:lla, vaikka vauriomäärä on ollut laskussa 1980- ja 1990-lukujen vaihteesta lähtien. Vuonna 2016 kaukolämpöverkkoa uusittiin keskimäärin 14,2 metriä yhtä vauriota kohden. Epätiivis suojakuoriliitos oli yleisin kaukolämpöverkon vaurioiden aiheuttaja vuonna 2016.

Mpul-rakenteella vauriitiheys on tasaisen korkea läpi kyseisen johtotyypin rakentamiskauden. Vanhemmilla johdoilla vauriitiheys on hieman laskussa siksi, että huonot ja huonossa maaperässä sijainneet johdot on jo saneerattu kiinnivaahdotetuksi rakenteeksi. Mpul-rakenteen yleisimpiä vauriosyitä olivat epätiivis suojakuoriliitos, maanpainuma sekä epätiivis betonivalu.

2Mpuk-rakenteella vauriitiheys on pieni alle 20 vuotta vanhoilla johdoilla. Vanhemmilla 2Mpuk-johdoilla vauriitiheys on noussut tasolle 0,05...0,10 kpl/km. Ensimmäisinä käyttövuosina kiinnivaahdotetun rakenteen vauriitiheys on noin 0,1 kpl/km johtuen kehittymättömästä liitostekniikasta ja huolimattomasta asennustyöstä sekä valvonnasta. 2Mpuk-rakenteen yleisin vauriosyy oli epätiivis suojakuoriliitos tai puutteellinen liitoseristys. Mpuk-rakenteella vauriitiheys oli vain 0,03 kpl/km.

Betonisilla kokoelementtikanaavilla vaurioitiheys on suhteellisen alhainen. Vanhimmissa johdoissa vaurioitiheys on noin 0,1 kpl/km. Vuonna 2016 ilmoitetuista vaurioista, joissa eristemateriaali oli ilmoitettu, 77 % kohdistui mineraalivillaeristeellä eristettyihin johtoihin. Betonielementtikanaavilla yleisimpiä vauriosyitä olivat epätiivis betonielementtisauma, epätiivis betonivalu ja maanpainuma. (9, s. 2 - 4).



KUVA 5. Kaukolämpöjohtojen vaurioiden määrä (9, s. 16)

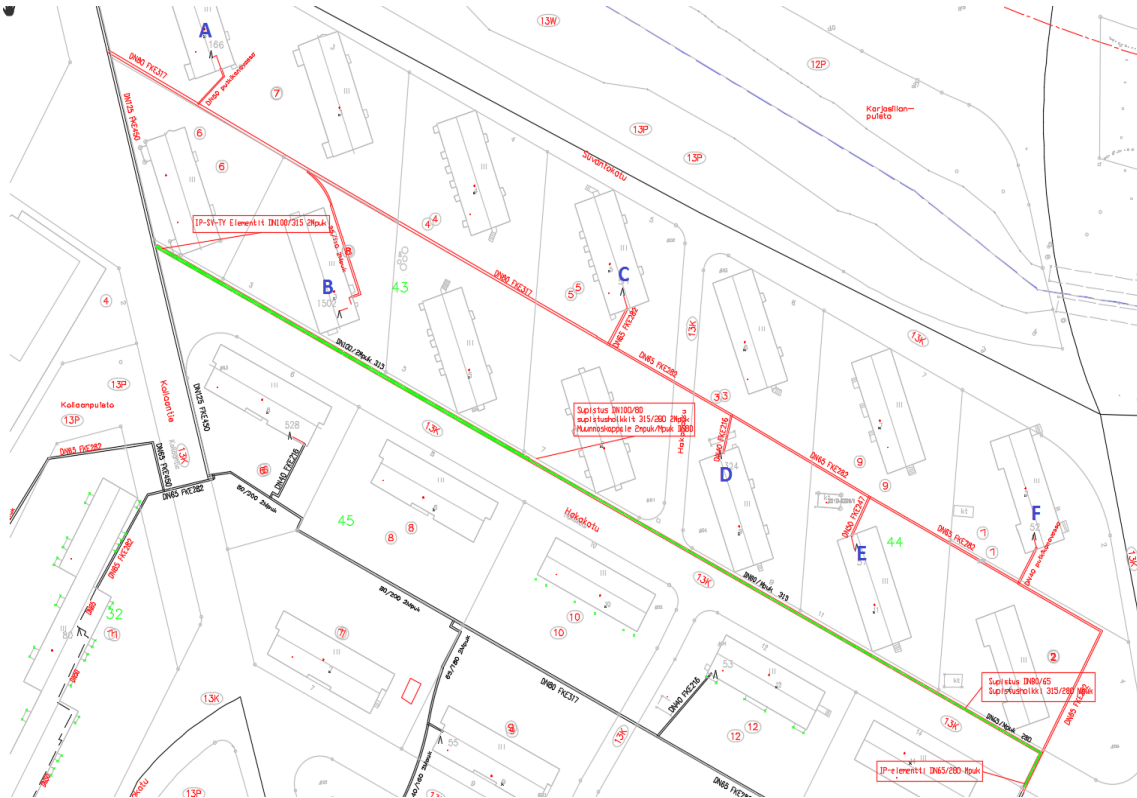
## 4 KORTTELI- JA TALOJOHTOJEN SANEERAUS

### 4.1 Alue

Saneerattavat kortteli- ja talojohdot sijaitsevat Oulun Karjasillalla. Karjasilta sijaitsee aivan Oulun keskustan tuntumassa ja noin kuuden kilometrin päässä Toppilan lämpöä ja sähköä tuottavalta voimalaitokselta. Rakennukset alueella ovat pääasiassa 1950- ja 1960-luvulla rakennettuja asuin-kerrostaloja, joissa lämminkäyttövesi sekä lämmitys tuotetaan kaukolämmöllä.

Saneerauksessa uusitaan sekä vuotava korttelijohto että kaikki johdon varrella olevat talojohdot. Kuvassa 5 näkyy vanha korttelijohto sekä talojohdot punaisella, ja uusi rakennettava korttelijohto näkyy vihreällä. Myöhemmässä vaiheessa uusi korttelijohto korvaa sen eteläpuolella, viereisessä korttelissa olevan korttelijohdon. Vanha korttelijohto sekä talojohdot sijaitsevat kerrostalojen välissä, sisäpihalla. Pinnoite on osaksi nurmea, asfalttia tai mursketta. Uusi korttelijohto rakennetaan pyörätielle, jossa on asfalttipinnoite (kuva 6).

Alueella oli saneerauksen tarve, sillä vanha korttelijohto oli Mpul-johtorakennetta. Tämä johtorakenne on riskirakenne, ja näissä yleensä esiintyy vuotoja. Korttelijohdossa oli havaittu vuoto, ja kunnossapito oli käynyt sitä korjaamassa. Korttelijohto oli rakennettu vuonna 1972, joten käyttöiän puolestakin saneeraus oli ajankohtainen 45 vuotta käytössä olleelle johto-osuudelle.



KUVA 6. Saneerattava korttelijohto (Oulun Energia Oy)

#### 4.2 Suunnittelu ja toteutus

Korttelijohdon suunnittelussa otettiin huomioon myös viereinen kortteli, sillä viereisessä korttelissa on saman ikäluokan kaukolämpöjohtoja ja niiden saneerauksen tarve koettiin lähitulevaisuudessa tarpeelliseksi. Vanha korttelijohto on DN80 Mpul-johtorakennetta, joka supistuu kolmen talojohtohaaran jälkeen DN65-kokoon. Käytöstä poistetaan vanha korttelijohto sekä myöhemmin myös toinen vanha korttelijohto. Uusi korttelijohto on DN100 2Mpuk-johtorakennetta, joka supistuu kahden talojohtohaaran jälkeen DN80-kokoon sekä muuttuu Mpuk-johtorakenteeksi. Lopussa korttelijohto on DN65-kokoa. Korttelijohdon alkuun asennettiin sulk-, tyhjennys- ja ilmanpoisteventtiiliyhdistelmä, jotta kortteli saadaan tarvittaessa erotettua muusta kaukolämpöverkosta ja tyhjennettyä mahdollisten huolto- ja korjaustöiden ajaksi. Putkikoon suurentaminen yhdellä dimensiolla oli tarpeellista, koska uudesta korttelijohdosta tullaan jakamaan kaukolämpö myös viereisen korttelin kiinteistöihin. Uuden korttelijohdon rakentamista uudestaan sisäpihalle, vanhan johdon viereen ei harkittu vaan päätettiin rakentaa uusi korttelijohto kevyen liikenteen väylän alle. Uuden johdon rakentaminen sisäpihalle olisi ollut haastavaa sekä hidasta sisäpihalla olevien esteiden ja tilan puutteen vuoksi.

Työ alkoi kaivannon suojausvälineiden ja muiden tarvikkeiden tuomisella työmaalle sekä kaivinkoneiden tuomisella. Työn ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin korttelijohto valmiiksi ja liitettiin se kaukolämpöverkkoon. Liitostyön jälkeen, kun korttelijohto oli lämmennyt, voitiin peittää korttelijohto ensin kivettömällä hiekalla ja sen jälkeen murskeella. Kivettömän hiekan päälle laitettiin myös kaukolämpöjohdosta varoittava merkinauha. Kun korttelijohto oli valmis, voitiin aloittaa talojohdojen rakentaminen.

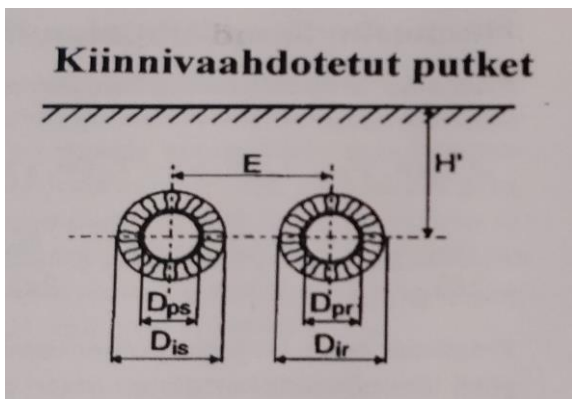
Talojohdojen liitostyöt tehtiin paineenalaisina porausliitoksina, joten turhia lämmönkatkoksia ei syntynyt. Menetelmässä kaukolämpörunkojohdo on paineenalaisena ja talojohdohaara porataan siihen tarkoitetulla työkalulla runkojohtoon hitsatun palloventtiilin läpi. Talojohdojen reitti suunniteltiin lyhyintä reittiä pitkin siihen pisteeseen, josta taloon voitiin mennä putkella sisään sekä tehdä läpivienti talon seinään. Jokaiseen taloon asennettiin uusi mittauskeskus sekä kaukolämpöputket lämmönjakokeskukselle asti.

Kustannuksia kaukolämpöjohdojen saneeraustöistä tulee monesta eri vaiheesta, kaivu- ja putkityön työnjohdosta, kaivu- ja peittotöistä, rakennusteknisistä töistä, suojaus- ja liikennejärjestelyistä, putkimateriaaleista, seinäläpivienneistä ja niiden tiivistysmateriaaleista sekä rakennuksen sisäpuolella tehtävistä putki- ja eristystöistä.

## 5 LÄMPÖHÄVIÖLASKENNAN MENETELMÄT

### 5.1 2Mpuk

Yksiputkielementin lämpöhäviö laskentaan käytettiin kaukolämmön käsikirjassa esitettyjä kaavoja (kuva 7).



KUVA 7. 2Mpuk-elementin lämpöhäviöiden määrittämisessä tarvittavia merkintöjä (8, s. 207)

Maanpinnan lämpövastus muutetaan ekvivalenttiseksi maakerrokseksi, jolloin korjattu putken sijaintisyvyys saadaan kaavalla 1 (8, s. 205).

$$H' = H_p + \frac{\lambda_g}{\alpha_g}$$

KAAVA 1

$H'$  = korjattu putken sijaintisyvyys (m)

$H_p$  = putken todellinen sijaintisyvyys maanpinnasta (m)

$\lambda_g$  = maaperän lämmönjohtavuus (W/m °C)

$\alpha_g$  = lämmönsiirtokerroin maanpinnalla, (yleensä 12...15 W/m<sup>2</sup> °C)

Putkien keskinäisen vaikutuksen huomioiva lämpövastus määritetään kaavalla 2 (8, s. 207).

$$R'_m = \frac{1}{4\pi\lambda_g} * \ln\left(1 + \left(\frac{2H'}{E}\right)^2\right) \quad \text{KAAVA 2}$$

$R'_m$  = putkien keskinäisen vaikutuksen huomioiva lämpövastus (m °C /W)

$\lambda_g$  = maaperän lämmönjohtavuus (W/m °C)

$H'$  = putken korjattu sijaintisyvyys (m)

$E$  = putkien keskikohtien välinen etäisyys (m)

Maaperän lämmönjohtavuuden arvona käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 antamaan arvoa 2,3 W/m °C (11, s. 19).

Maaperän lämpövastus määritetään kaavalla 3 (8, s. 206).

$$R'_g = \frac{1}{2\pi\lambda_g} * \ln\left(\frac{4H'}{D}\right) \quad \text{KAAVA 3}$$

$R'_g$  = maaperän lämpövastus (m °C /W)

$\lambda_g$  = maaperän lämmönjohtavuus (W/m °C)

$H'$  = putken korjattu sijaintisyvyys (m)

$D$  = putken suojakuoren halkaisija (m)

Eristeen lämpövastus määritetään kaavalla 4 (8, s. 205).

$$R'_e = \frac{1}{2\pi\lambda_e} * \ln\left(\frac{D}{d_u}\right) \quad \text{KAAVA 4}$$

$R'_e$  = eristeen lämpövastus (m °C /W)

$\lambda_e$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/m °C)

$D$  = putken suojakuoren halkaisija (m)

$d_u$  = virtausputken ulkohalkaisija (m)

Uuden kaukolämpöjohdon polyuretaanieristeen lämmönjohtavuuden arvona käytetään 0,027 W/m°C (12, s. 6).

Kokonaislämpövastus saadaan kaavalla 5.

$$R'_t = R'_g + R'_e + R'_m \quad \text{KAAVA 5}$$

$R'_t$  = Kokonais lämpövastus (m °C /W)

$R'_g$  = maaperän lämpövastus (m °C /W)

$R'_e$  = eristeen lämpövastus (m °C /W)

$R'_m$  = putkien keskinäisen vaikutuksen huomioiva lämpövastus (m °C /W)

Meno- ja paluuputken lämpöhäviö metriä kohden ulkoilmaan saadaan kaavalla 6.

$$\varnothing' = \frac{1}{R'_t} * 2 \left( \frac{T_m + T_p}{2} - T_u \right) \quad \text{KAAVA 6}$$

$\varnothing'$  = meno- ja paluuputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$R'_t$  = kokonaislämpövastus (m °C /W)

$T_m$  = menoveden lämpötila °C

$T_p$  = paluueden lämpötila °C

$T_u$  = ulkoilman lämpötila °C

Lämpöhäviöenergia saadaan kaavalla 7.

$$Q_{\text{häviö}} = \varnothing' * \Delta t \quad \text{KAAVA 7}$$

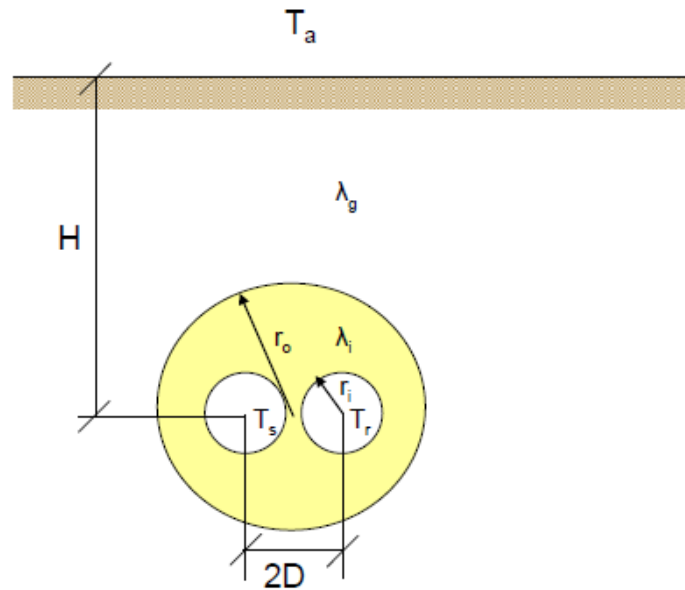
$Q_{\text{häviö}}$  = lämpöhäviöenergia vuodessa (Wh/m)

$\varnothing'$  = meno- ja paluuputken lämpöhäviö (W/m)

$\Delta t$  = aika (h)

## 5.2 Mpuk

Tässä työssä Mpuk-rakenteen lämpöhäviölaskennassa käytetään ympäristöministeriön lämmitysjärjestelmien laskentaoppaassa esitettyä menetelmää. Menetelmä on peräisin Chalmersin teknillisestä yliopistosta, eikä menetelmää suositella käytettäväksi alle kuukauden mittaisille tarkastelujaksoille (9, s. 63).



KUVA 8. Mpuk-rakenteen lämpöhäviöiden määrittämisessä tarvittavia merkintöjä (10, s.66)

Kaksiputkielementin kokonaislämpöhäviö metriä kohden lasketaan kaavalla 8 (10, s.129).

$$\varnothing'_t = \varnothing'_s + \varnothing'_r$$

KAAVA 8

$\varnothing'_t$  = kaksiputkielementin kokonaislämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\varnothing'_s$  = menoputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\varnothing'_r$  = paluuputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

Menoputken lämpöhäviö metriä kohden lasketaan kaavalla 9 (10, s.129).

$$\varnothing'_s = \varnothing'_a + \varnothing'_b$$

KAAVA 9

$\varnothing'_s$  = menoputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\varnothing'_a$  = lämpöhäviö ulkoilmaan (W/m)

$\varnothing'_b$  = lämpöhäviö putkien välillä (W/m)

Paluuputken lämpöhäviö lasketaan kaavalla 10 (10, s. 129).

$$\varnothing'_r = \varnothing'_a - \varnothing'_b$$

KAAVA 10

$\varnothing'_r$  = paluuputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\varnothing'_a$  = lämpöhäviö ulkoilmaan (W/m)

$\varnothing'_b$  = lämpövirta putkien välillä (W/m)

Lämpöhäviö ulkoilmaan lasketaan kaavalla 11 (10, s. 66).

$$\varnothing'_a = \left( \frac{T_s + T_r}{2} - T_a \right) 2\pi\lambda_i h_a$$

KAAVA 11

$T_s$  = menoveden lämpötila (°C)

$T_r$  = paluuveden lämpötila (°C)

$T_a$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/m °C)

$h_a$  = putkien ja maanpinnan välinen lämmönsiirtokerroin

Lämpövirta putkien välillä lasketaan kaavalla 12 (10, s. 67).

$$\Phi'_b = \left( \frac{T_s - T_r}{2} \right) 2\pi\lambda_i h_b$$

KAAVA 12

$T_s$  = menoveden lämpötila (°C)

$T_r$  = paluuv veden lämpötila (°C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/m °C)

$h_b$  = putkien välinen lämmönsiirtokerroin

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan lasketaan kaavalla 13 (10, s. 67).

$$\frac{1}{h_a} = \frac{2\lambda_i}{\lambda_g} \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{r_o^2}{2Dr_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^4}{r_o^4 - D^4}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - \frac{\sigma 2r_s D^3}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \sigma \left(\frac{2r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2}$$

KAAVA 13

$H$  = putkien asennussyvyys (m)

$r_o$  = elementin säde ulkopintaan (m)

$r_s$  = putken säde sisäpintaan (m)

$2D$  = virtausputkien välinen etäisyys (m)

$\sigma$  = apumuuttuja

$\lambda_g$  = maan lämmönjohtavuus (W/m °C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/m °C)

Lämmönsiirtokerroin putkien välillä lasketaan kaavalla 14 (10, s. 67).

$$\frac{1}{h_b} = \ln\left(\frac{2D}{r_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^2 + D^2}{r_o^2 - D^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - X \frac{Dr_s}{4H^2} + \frac{2\sigma r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 - \frac{Xr_s}{2H} + 2\sigma r_s^2 r_o^2 \frac{r_o^4 + D^4}{(r_o^4 - D^4)^2}} - X \left(\frac{D}{2H}\right)^2$$

KAAVA 14

$2D$  = virtausputkien välinen etäisyys (m)

$r_s$  = putken säde sisäpintaan (m)

$r_o$  = elementin säde ulkopintaan (m)

$\sigma$  = apumuuttuja

$X$  = apumuuttuja

$\lambda_g$  = maan lämmönjohtavuus (W/m °C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/m °C)

H = putkien asennussyvyys (m)

Apumuuttuja  $\sigma$  lasketaan kaavalla 15 (10, s. 68).

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g}$$

KAAVA 15

$\lambda_g$  = maan lämmönjohtavuus (W/m °C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/m °C)

Apumuuttuja X lasketaan kaavalla 16 (10, s. 68).

$$X = \frac{2(1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \left( \frac{r_o}{2H} \right)^2}$$

KAAVA 16

H = putkien asennussyvyys (m)

$r_o$  = elementin säde ulkopintaan (m)

$\sigma$  = apumuuttuja

### 5.3 Mpul

Lämpöhäviöt perustuvat energiateollisuuden 1980-luvulla tekemään lämpöhäviötutkimukseen, jossa mitattiin lämpöhäviöitä noin kahden vuoden ajan. Tutkimuksen aikana Mpul-rakenne on ollut hyvässä kunnossa. Tutkimuksessa oli laskettu Mpul-rakenteen lämmönjohtavuuden arvo 0,031 W/mK, joka on todella lähellä nykyisen kaukolämpöjohdoissa käytetyn polyuretaanieristeen lämmönjohtavuuden arvoa. Tutkimuksessa lämpöhäviöt pysyivät kesäkuukausina noin 25 W/m kuin taas talvikuukausina lämpöhäviöhuiput olivat jopa 45 W/m. Tutkimuksessa linjan koko oli DN100 ja asennussyvyys noin 80 cm.

Energiatallisuuden verkon saneeraus- ja uudisrakentamisen energia- ja kustannustehokkuuden laskentatyökalussa on käytetty tästä tutkimuksesta saatuja tietoja Mpul-rakenteen lämpöhäviöiden arvioimiseen. Laskentatyökalussa on esitetyt noin 35...40 vuotta normaalisti vanhentuneen eristeiden lämpöhäviöarvot mutta tässä työssä laskentatyökalun esitetyihin lämpöhäviö arvoihin lisättiin 15 % laskentatyökalun ohjeiden mukaisesti, kun rakenteen eriste on kastunut ja kuivunut ajoittain. Näissä lämpöhäviöarvoissa ei ole huomioitu tuuletusilman mukana poistuvaa lämpöenergiaa, joka kasvattaisi lämpöhäviöitä edelleen. (13.)

## 6 LÄMPÖHÄVIÖLASKENNAN TULOKSET

Kaukolämpöputkielementtien asennussyvyys on 0,7 m. Alueen maalaji ja kaukolämpökaivannon täyttömaa on moreenia, hiekkaa ja soraa, joten maan lämmönjohtavuuden arvona käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4 annettua arvoa 2,3 W/mK (11, s.19).

### 6.1 Korttelijohto

Korttelijohdon lämpöhäviöiden vuotuinen energiankulutus pieneni reilusti yli puolet, 68 prosenttia. Korttelijohdon pituus lyheni noin 70 metriä. Taulukossa 1 on esitetty korttelijohdon lämpöhäviölaskennan tulokset ja saneerauksen myötä saatu säästö kilowattitunteina vuodessa.

TAULUKKO 1. Korttelijohdon lämpöhäviölaskennan tulokset

Korttelijohto					
UUSI					
Rakenne	DN	W/m	m	W	kWh/a
2Mpuk	100	23,2	123	2860	25051
Mpuk	80	12,4	144	1788	15661
Mpuk	65	11,7	36	420	3680
					44393
VANHA					
Rakenne	DN	W/m	m	W	kWh/a
Mpul	80	44,85	162	7265,7	63648
Mpul	65	41,4	215	8901	77973
					141620
				Säästö	97227

## 6.2 Talojohdot

Talojohtojen energiansäästö jäi hyvin pieneksi tai negatiiviseksi johtuen talojohtojen reittimuutoksista. Keskimääräisesti energiansäästö oli noin 200 kWh vuodessa talojohtoa kohden.

Taulukossa 2 on esitetty talojohtojen lämpöhäviölaskennan tulokset ja saneerauksen myötä saatu säästö kilowattitunteina vuodessa.

TAULUKKO 2. Talojohtojen lämpöhäviölaskennan tulokset

Talojohdot						
UUSI						
Talo	Rakenne	DN	W/m	m	W	kWh/a
A	Mpuk	50	10,4	26,6	277	2424
B	2Mpuk	25	14,2	5	71	621
C	Mpuk	65	11,7	60,1	701	6144
D	Mpuk	40	12,1	34,6	419	3671
E	Mpuk	50	10,4	28,7	299	2615
F	Mpuk	40	12,1	68	824	7214
						22688
VANHA						
Talo	Rakenne	DN	W/m	m	W	kWh/a
A	Mpul	50	37,95	12,7	482	4222
B	2Mpuk	25	15,6	39,4	615	5388
C	Mpul	65	41,4	11	455	3989
D	Mpul	40	34,5	10,4	359	3143
E	Mpul	50	37,95	11,7	444	3890
F	Mpul	40	34,5	10,7	369	3234
						23865
					Säästö	1177

## 6.3 Energiansäästö

Hyvä lämpöeristys kaukolämpöjohdoissa vähentää lämmön siirtymistä ulkoilmaan ja johdon ympärillä olevaan maa-ainekseen, jolloin tarvittavan menolämpötilan ylläpitämiseen tarvitaan vähemmän energiaa. Valtaosa energiansäästöstä muodostuu korttelijohdon lämmöneristyskyvyn parannuksesta. Korttelijohdon osalta säästöt olivat noin 97 MWh vuodessa. Talojohtojen osalta säästö jää

hyvin maltilliseksi ja joidenkin osalta negatiiviseksi, vaikka lämpöhäviöt metriä kohden pienenevätkin paljon. Syynä on talojohtojen pituuden kasvu. Energiansäästö yhteensä lämpöhäviöiden osalta oli noin 98 MWh vuodessa. Lämpöhäviöiden vuotuinen energiankulutus pieneni 68 prosenttia.

#### 6.4 Häviöenergia

Häviöenergian hinta laskettiin energiateollisuuden verkoston saneerauksen ja uudisrakentamisen energia- ja kustannustehokkuus laskentatyökalulla. Häviöenergian hinta on hinta, jolla vuotuiset lämpöhäviökustannukset lasketaan jokaiselle pitoajan vuodelle. Häviöenergian hinnan laskussa on otettu huomioon vuotuinen käyttöaika, korkokanta, inflaatio, pitoaika, lämmön hinta ja lämmön hinnan nousu. Kaukolämmön hinta on 57,16 €/MWh (liite 1). Pitoaika määritettiin 40 vuodeksi. Taulukossa 3 on esitetty häviöenergian laskennan tulos.

TAULUKKO 3. Häviöenergian hinta

<b>Häviöenergian hinnan laskennan ja koron valinnan aputaulukko</b>			
<b>Kustannustekijät</b>			
Vuotuinen käyttöaika	8760	h/a	
Korkokanta	6,0 %	/a	
Inflaatio	2,0 %	/a	
→ Reaalikorkokanta	3,9 %	/a	
Pitoaika	40	a	
Lämmön hinta	57,16	€/MWh	
Lämmön hinnan nousuvauhti	3,0 %	/a	
→ Keskihinta tarkastelujaksolle	95,62	€/MWh	
<i>(hinta, jolla vuotuiset lämpöhäviökustannukset lasketaan jokaiselle pitoajan vuodelle)</i>			
Korko takaisinmaksuaikatarkasteluissa	3,0	%/a	

## 7 PARANNUSEHDOTUKSET

Kaukolämpöjohtojen saneeraus jo tiheään rakennetulla alueella on haastavaa, ja uuden reitin ja linjan sijoituspaikkaa on vaikea löytää jo valmiiksi rakennetulla alueella. Tässä kohteessa ainoa vaihtoehto uuden korttelijohdon sijoituspaikka oli kevyen liikenteen väylä ajatellen myös myöhempiä korttelijohdon käyttöä. Uuden korttelijohdon sijainti on hyvä ajatellen sen huoltoa ja muita siihen kohdistuvia töitä, kun se ei sijaitse enää ahtaalla kerrostalojen sisäpihalla vaan kaupungin omistamalla alueella. Talojohdojen reiteille ei myöskään löytynyt parempaa ratkaisua kuin lyhin mahdollinen reitti siihen pisteeseen, josta taloon voitiin mennä putkella sisään ja tehdä läpivienti talon seinään.

Korttelijohdon rakentamisen aikana jouduttiin asentamaan monia rumpuputkia kiinteistöjen liittymien kohdalle. Rumpuputkien asentaminen on ylimääräinen kustannuserä. Rumpuputkien asentaminen joissain tapauksissa on välttämätöntä liikenteen ja muun kulun takia, mutta niiden asentamista tulisi välttää. Rumpuputkien asentamista ja niiden käyttöä voidaan välttää asentamalla liittymään väliaikainen silta kaukolämpökaivannon yli. Rumpuputkien asentaminen on myös riski. Maa-aines voi valua ajan myötä niiden sisään ja voi aiheuttaa päällystevaurioita, kun maa-aines päällysteen alta poistuu.

Vaurioiden syyksi monessa tapauksessa on paljastunut epätiivis suojakuoriliitos. Kaukolämpöputkien jatkoksien tekemiseen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota ja tehdä jatkokset huolellisesti. Perinteisessä kutisteliitoksessa tulee kiinnittää huomiota että jatkos on lämmitetty koko alueeltaan ja kiinnittynyt kunnolla putkeen. Toinen ratkaisu jatkoksien vedenpitävyyteen olisi tehdä jatkokset SWJ-liitos menetelmällä. SWJ-muovihitsausmenetelmässä muoviholkkijatkos hitsataan siihen tarkoitetulla muovihitsaus laitteella ja takaa tiiveyden pitkäksi aikaa.

## 8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tarkastella kaukolämpöjohtojen saneerauksen myötä saatuja hyötyjä ja mahdollisia parannuskeinoja sekä vertailla lämpöhäviöiden aiheuttamaa energiankulutusta uuden ja vanhan johtorakenteiden välillä. Työssä käytiin läpi myös eri johtorakenteiden riskialttiutta saneerauksen näkökulmasta. Kaikki laskelmat suoritettiin Excel-taulukkolaskentatyökalulla.

Vanha korttelijohto oli Mpul-johtorakennetta, jossa oli havaittu vuoto, ja sen vuoksi se koettiin ajankohtaiseksi saneerata. Samalla saneerattiin myös kaikki korttelijohdon varrella sijaitsevat talojohdot.

Kaukolämpöverkoston saneeraus on osa energiatehokkuutta. Energiansäästöä voidaan saada saneeraamalla vanhat, vanhalla ohuella eristepaksuudella olevat kaukolämpöjohdot kiinnivaahdotettuun johtorakenteeseen. Tässä työssä lämpöhäviöiden pienenemisen vuoksi saatu säästö koostui pääosassa korttelijohdon saneerauksesta. Korttelijohdon säästö oli noin 250 kWh vuodessa yhtä johtometriä kohden. Energiansäästöpotentiaalia saneerattavissa vanhoissa kaukolämpöjohdoissa siis riittää.

Kaukolämpöverkoston saneeraukseen on yritetty kehittää erilaisia keinoja tehdä siitä helpompaa ja taloudellisesti kannattavampaa. Yksi keino on ollut tehdä pienet kaukolämpöjohdot taipuisalla elementillä, joka rullataan kiepiltä suoraan kaivannon pohjalle. Tämä on kuitenkin epäkäytännöllinen asentaa ja vaatii johtoelementtikiepile telineen sekä kuljetuskaluston koko linjan asennuksen ajaksi. Tätä menetelmää voidaan käyttää pääasiassa pienien talojohdojen rakentamiseen.

Vaurioiden korjaamisesta aiheutuvat kustannukset ovat merkittäviä ja niitä voidaan kattavalla verkoston kunnossapidolla välttää. Suomessa vuonna 2016 kustannukset Mpul-rakenteella olivat noin 11 000 € yhtä vauriota kohti DN20-80-kokoluokassa ja sitä suuremmissa putkissa noin 10 000 € yhtä vauriota kohti. Kustannukset voivat olla myös suuremmat lämmönkatkoksen keston vuoksi, kun korjattavan johdon koko on suuri ja korjattavan putken varrella on merkittävän suuria kuluttajia. Lisäveden menekki vuotavan johdon vuoksi lisää osaltaan myös kustannuksia.

Oikein mitoitettut lämmönsiirtimet sekä säätöventtiilit kiinteistöissä pitävät huolen, ettei kaukolämmön paluuvien lämpötila pääse nousemaan liian suureksi ja kaukolämmön paluuvien ja kiinteistön lämmitysverkoston paluuvien välinen lämpötilaero pysyy määräysten mukaisina. Kun kaukolämpöverkon paluuvien lämpötila ei kohoa tarpeettomasti, pienentää se myös osaltaan lämpöhäviöitä kaukolämpöverkossa. Kiinteistöjen kulutustietojen mukaan kaukolämmön paluuvien lämpötila oli noin 25–60 astetta kun se poistui kiinteistön lämmönsiirtimeltä.

Tämän työn tarkastelujen ja laskelmien perusteella voidaan sanoa, että vanhoista ja huonokuntoisista kaukolämpöjohdoista kannattaa päästä systemaattisesti eroon. Vanhat ja vuotavat johdot ja johdon osat ovat aina riski ja ylimääräinen kustannuserä.

## LÄHTEET

1. Energia- ja ilmastotavoitteet strategiatyön taustalla. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <http://tem.fi/energia-ja-ilmastotavoitteet>. Hakupäivä 23.1.2018
2. Energiaverkkojen ympäristövaikutukset. 2018. Energiateollisuus Ry. Saatavissa: [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/ymparisto/energiaverkkojen\\_ymparistovaikutukset](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/ymparisto/energiaverkkojen_ymparistovaikutukset). Hakupäivä 9.4.2018
3. Kaukolämpö. 2018. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kaukol%C3%A4mp%C3%B6>. Hakupäivä 23.1.2018
4. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
5. Kaukolämpöverkkoja lähes 15000 km. Sirola, Veli-Pekka. Energiateollisuus. Saatavissa: [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiaverkot/kaukolampoverkot](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/kaukolampoverkot). Hakupäivä 31.1.2018
6. Leskelä, Jukka. 2018. Kaukolämpövuosi 2017. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankoh-taista\\_ ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampovuosi\\_2017\\_-\\_tilaisuus\\_\(esittely-kalvot\).html](https://energia.fi/ajankoh-taista_ ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampovuosi_2017_-_tilaisuus_(esittely-kalvot).html). Hakupäivä 9.3.2018
7. Kangas, Aleksi 2018. Verkostopäällikkö, Oulun Energia Oy. Keskustelu 5.4.2018.
8. Kaukolämmön käsikirja. 2006. Kaukolämpö. Helsinki: Energiateollisuus Ry.
9. Kaukolämpöverkon vaurioutilasto 2016. 2017. Energiateollisuus Ry. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampojohtojen\\_vauriot.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampojohtojen_vauriot.html). Hakupäivä 9.3.2018
10. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BCA99FFCB-627B-48C8-8EB0-607F36B178A5%7D/30751>. Hakupäivä 5.3.2018
11. C4 (2003). 2002. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. C4 Suomen rakentamismääräyskoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>. Hakupäivä 5.3.2018
12. Kaukolämpö käsikirja. 2015. Logstor. Saatavissa: <https://www.logstor.com/media/1987/kaukol%C3%A9mp%C3%B4k%C3%A9sikirja-2015.pdf>. Hakupäivä 9.3.2018

13. Laskentatyökalu kaukolämpöverkon uudisrakentamisen ja perusparantamisen energia- ja kustannustehokkuus tarkasteluja varten. 2016. Sirola, Veli-Pekka. Energiateollisuus Ry. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/laskentatyokaluu\\_kaukolampoverkon\\_uudisrakentamisen\\_ja\\_perusparantamisen\\_energia-\\_ja\\_kustannustehokkuustarkasteluja\\_varten.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/laskentatyokaluu_kaukolampoverkon_uudisrakentamisen_ja_perusparantamisen_energia-_ja_kustannustehokkuustarkasteluja_varten.html). Hakupäivä 9.3.2018

TUOTE	HINTA (ALV 24%)
<b>Energiamaksut</b>	
- Energiamaksu	47,08 €/MWh
<b>Kaukolämmön yleisimmät perusmaksut</b>	
- Pientalo	463,74 €/v
- Rivitalo, pieni kerrostalo	1512,18 €/v
- Suuri kerrostalo	5007,00 €/v
<b>Kaukolämmön yleisimmät kokonaishinnat</b>	
- Pientalo	72,84 €/MWh
- Rivitalo, pieni kerrostalo	57,16 €/MWh
- Suuri kerrostalo	55,43 €/MWh