

29.11.2011

**Loppuraportti:  
Kaukolämpöverkkojen prosessitiedon mallinnustutkimus ja soveltuvuus selvitys  
automaattisen vuodonvaroitus- ja ilmaisinjärjestelmän kehitystyötä varten**

Matti Malinen, Tapio Grönfors ja Antti Vanne  
Kuava Oy  
PL 1188  
70211 Kuopio  
email: [Matti.Malinen@kuava.fi](mailto:Matti.Malinen@kuava.fi)  
puh. 050-3033747

## **Tiivistelmä: Kaukolämpöverkkojen prosessitiedon mallinnustutkimus ja soveltavuusselvitys automaattisen vuodonvaroitus- ja ilmaisinjärjestelmän kehitystyötä varten**

Kaukolämpöverkkojen vuodot tapahtuvat usein yllättäen ja ilman ennakkovaroitusta. Nopeaa ja luotettavaa kaukolämpöverkkojen vuotojen ennakointi- ja paikallistamisjärjestelmää ei tällä hetkellä ole kaupallisesti saatavilla. Lisäksi hitaasti etenevien vuotojen löytämiseen ja paikallistamiseen ei myöskään ole olemassa luotettavaa järjestelmää. Edellisistä seikoista johtuen Kuava Oy:ssä ja GWM-Systems Oy:ssä käynnistettiin hanke, jonka tarkoituksena oli analysoida kaukolämpöverkkojen prosessidataa matemaattisin menetelmin ja toisaalta tutkia kuinka suuren päivityksen GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmä vaatisi soveltuakseen nykyisille tietokoneille ja miten sen käytettävyyttä voisi parantaa. GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmä on kehitetty vuosina 1999-2000 ja se on käytössä Kuopion Energialla.

Prosessidatan matemaattinen analyysi tehtiin Vantaan Energialta saatuun dataan. Analyysin tavoitteet olivat: 1) tutkia löytyykö normaalista prosessidatasta muutoksia ennen äkillistä vuotoa, 2) analysoida prosessidataa siten että hitaasti eteneviä vuotoja saataisiin näkyviin ja 3) tutkia mahdollisuutta kaukolämpöverkkojen optimointiin, eli kuinka haluttu kaukolämpöteho voidaan parhaiten toimittaa asiakkaalle.

Toisena pääkohtana projektissa oli GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmän päivityksen tarpeen selvittäminen. Tämä osio suoritettiin GWM-Systems:in ja Kuavan yhteistyönä. GWM-DH ohjelmiston lähdekoodin pääluokat katselmoitiin ja sen lähdekoodi modernisoitiin nykyiseen ohjelmistokehitysympäristöön sopivaksi. Myös ohjelmiston muutostarpeita hyödyntämään nykyaikaisten tietojärjestelmien mahdollisuuksia selvitettiin. Lisäksi selvitettiin nykyaikaisten kaupallisesti saatavien valmiskomponenttien soveltuvuutta tiedonkeruuseen ja tiedonsiirtoon osana GWM-DH -järjestelmää.

Projektin analyysiosioita varten saatiin normaalia kaukolämpöverkkojen prosessidataa Vantaan Energialta. Kyseisen datan avulla suoritetusta analyysistä voidaan lopputuloksena sanoa, että nopeiden vuotojen ilmaiseminen vaatisi tiheämmällä näytteistyksellä kerättyä dataa. Tarkalla pitkän aikavälin datan analyysillä on mahdollista paikallistaa hitaita vuotoja verkossa. Lisäksi analyysin tulokset näyttävät että verkon ajon optimointi on mahdollista: haluttu kaukolämpöteho voidaan tuottaa hyvin monella tavalla, ja eri tapojen välillä on varmasti kustannuseroja. GWM-DH -järjestelmän päivitystarpeen selvityksessä edistyttiin myös hyvin. Tuloksena saatiin suunnitelma järjestelmän parantamisesta sekä tiedonkeräyksen, käyttöönoton helpottamisen että varmatoimisuuden parantamisen osalta. Yksi jatkokehitysaihe on myös mallinnuksen ja GWM-DH -vuodonilmaisinjärjestelmän yhdistäminen. Koska GWM-DH kerää jatkuvasti tietoa korkeammalla näytteenottoaajuudella, voitaisiin tätä dataa käyttää analyysissä ja toisaalta GWM-DH -järjestelmän opetuksessa. Tällöin muodostettaisiin oppiva järjestelmä, jonka käyttöönotto olisi nykyistä helpompaa ja toisaalta virheellisten hälytysten määrää voitaisiin vähentää. Kyseinen kytketty järjestelmä keräisi myös lisätietoa niin hiipivien vuotojen paikallistamista kuin verkon ajon optimointia ajatellen.

Tämän projektin tuloksia voidaan hyödyntää mahdollisissa jatkohankkeissa Kuava Oy:n, GWM-Systems Oy:n sekä yksittäisten kaukolämpötoimijoiden välillä.

## **Abstract: Preliminary research for the mathematical modeling of process data for district heating networks and feasibility study for the upgrade of the automatic leak warning and detection system**

Leaks in district heating networks happen usually suddenly and without any warning. Nowadays, there are no fast and accurate leak warning and detection systems available in the market. In addition, there are no system which would indicate and localize slowly developing leaks in the district heating networks. Due to these facts, Kuava Oy and GWM-Systems Oy launched a preliminary research projects which aimed to analyze collected district heating network process data during normal running conditions and during leaks. The other main topic of the project was to study how large project it would be to update GWM Systems' DH-Control leak detection system for modern computers. GWM DH-Control leak detection system was constructed during 1999-2000 and it is in use in Kuopion Energia.

The data analysis was made to data obtained from Vantaan Energia. The aims of the analysis were: 1) To see if there are some indicators about forthcoming leak in the data before sudden leaks, 2) To see if slow leaks can be detected from the data and 3) To see the different running conditions of the district heating network when same amount of heat power is distributed, in order to see if the optimization of heat distribution with current network is possible.

The another main topic of the project concerned work required to update DH-Control leak detection system for modern computers. This part of the project was carried out with close collaboration between Kuava and GWM-Systems. The main parts of the DH-Control software were investigated and source code was modernized to fit modern software development environment. The research was continued to see changes required for software to apply the modern information systems. Finally, the components available in market for data transfer were investigated to be a part of the DH-Control system.

The conclusions for the data analysis part was that the data obtained from Vantaan Energia was too sparse in time domain to detect the fast leaks. The data needed to detect fast leaks should be sampled at least with a few seconds interval. However, the detection of the slow leaks can be analyzed with sparser data if it is available over many years interval. Analysis also revealed that certain amount of district heat (energy) can be produced with many different running parameters. This makes it possible to optimize the running of the district heating network. The results concerning the update of DH-Control system were also promising. The main result of this part was a roadmap for the upgrading work concerning software update and data transfer. This project also revealed ideas in combining DH-Control and data analysis. With this kind of combination it is possible to make an adaptive algorithm which teaches DH-Control system. This would be a great help when system is built and used. In addition, DH-Control collects data with higher sampling frequency and this data could be also used in analysis in order to increase accuracy in detecting fast leaks from normal running conditions and to detect slow leaks in different parts of the network.

The results from this project are a good background for continuation projects between Kuava Oy, GWM-Systems and district heating companies.

## Sisältö

Johdanto.....	5
Materiaalit ja menetelmät.....	5
Kaukolämpöverkkojen mallinnus.....	5
GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmä.....	6
Vantaan energialta saatu data.....	6
Tulokset.....	7
Äkillisten vuotojen analyysi.....	7
Hitaasti etenevien vuotojen analyysi.....	10
Kaukolämmön jaon optimointi.....	11
GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmän status.....	12
Yhteenveto ja jatkokehitys.....	13

## 1. Johdanto

Kaukolämpöverkkojen vuodot tapahtuvat usein yllättäen ja ilman ennakkovaroitusta. Nopeaa ja luotettavaa kaukolämpöverkkojen vuotojen ennakointi- ja paikallistamisjärjestelmää ei tällä hetkellä ole kaupallisesti saatavilla. Lisäksi hitaasti etenevien vuotojen löytämiseen ja paikallistamiseen ei myöskään ole olemassa järjestelmää. Edellisistä seikoista johtuen Kuava Oy:ssä ja GWM-Systems Oy:ssä käynnistettiin hanke, jonka tarkoituksena oli analysoida kaukolämpöverkkojen prosessidataa matemaattisin menetelmin ja toisaalta tutkia kuinka suuren päivityksen GWM-DH vuodonilmaisjärjestelmä vaatisi soveltuakseen nykyisille tietokoneille ja miten sen käytettävyyttä voisi parantaa. GWM-DH vuodonilmaisjärjestelmä on kehitetty vuosina 1999-2000 ja se on käytössä Kuopion Energialla.

Prosessidatan matemaattinen analyysi tehtiin Vantaan Energialta saatuun dataan. Analyysin tavoitteet olivat: 1) tutkia löytyykö normaalista prosessidatasta muutoksia ennen äkillistä vuotoa, 2) analysoida prosessidataa siten että hitaasti eteneviä vuotoja saataisiin näkyviin ja 3) tutkia mahdollisuutta kaukolämpöverkkojen optimointiin, eli kuinka haluttu kaukolämpöteho voidaan parhaiten toimittaa asiakkaalle.

Toisena pääkohtana projektissa oli GWM-DH vuodonilmaisjärjestelmän päivityksen tarpeen selvittäminen. Tämä osio suoritettiin GWM-Systems:in ja Kuavan yhteistyönä. GWM-DH ohjelmiston lähdekoodin pääluokat katselmoitiin ja sen lähdekoodi modernisoitiin nykyiseen ohjelmistokehitysympäristöön sopivaksi. Myös ohjelmiston muutostarpeita hyödyntämään nykyaikaisten tietojärjestelmien mahdollisuuksia selvitettiin. Lisäksi selvitettiin nykyaikaisten kaupallisesti saatavien valmiskomponenttien soveltuvuutta tiedonkeruuseen ja tiedonsiirtoon osana GWM-DH -järjestelmää.

Projektin analyysiosioita varten saatiin normaalia kaukolämpöverkkojen prosessidataa Vantaan Energialta. Kyseisen datan avulla suoritetusta analyysistä voidaan lopputuloksena sanoa, että nopeiden vuotojen ilmaiseminen vaatisi tiheämmällä näytteistyksellä kerättyä dataa. Tarkalla pitkän aikavälin datan analyysillä on mahdollista paikallistaa hitaita vuotoja verkossa. Lisäksi analyysin tulokset näyttävät että verkon ajon optimointi on mahdollista: haluttu kaukolämpöteho voidaan tuottaa hyvin monella tavalla, ja eri tapojen välillä on varmasti kustannuseroja. GWM-DH -järjestelmän päivitystarpeen selvityksessä edistyttiin myös hyvin. Tuloksena saatiin suunnitelma järjestelmän parantamisesta sekä tiedonkeräyksen, käyttöönoton helpottamisen että varmatoimisuuden parantamisen osalta.

## 2. Materiaalit ja menetelmät

### 2.1. Kaukolämpöverkkojen mallinnus

Kaukolämpöverkkojen mallinnuksen osalta käytettiin Vantaan Energian yhdeltä pumppausasemalta kerättyä dataa. Mallinnuksessa sovellettiin seuraavia analyysimenetelmiä

1. Korrelaatioanalyysi – selvitettiin eri signaalien korrelaatiot toistensa kanssa
2. Klusterointi – datan jaottelu eri suureiden suhteen, esim. ulkolämpötila, kaukolämpöteho,

virtauma

3. Yksinkertaiset mallit – koska vesi on kokoon puristumatonta, yksinkertaisilla malleilla voidaan tuottaa haluttuja virtaumaan ja paineeseen liittyviä suureita. Esimerkkinä pumpun pyörimisnopeudesta tuotettu virtaumatieto
4. Datan vakiointi – vakioidaan dataa mahdollisimman paljon (esim. käytetään tiettyä kaukolämpötehoa, tiettyä virtaamaa, tiettyä painetta) ja näin ollen saadaan eri ajanhetkiltä mahdollisimman samankaltaisia datapisteitä jotka ovat keskenään vertailukelpoisia.

Edellä kuvattuja menetelmiä sovellettiin niin nopeiden kuin hitaiden vuotojen analyysiin. Koska käytössä oli vain tietyn verkon osan dataa ja esimerkiksi muista verkon osista mahdollisesti tuleva sivuvirta data puuttui, analyysiin ei otettu raskaampia menetelmiä. Valitut menetelmät mahdollistavat kuitenkin analyysin sillä tarkkuudella kuin tämän projektin työmäärällä ja käytössä olevalla datalla on mielekästä tehdä.

Nopeiden vuotojen osalta analyysissä käytettiin yksinkertaisilla malleilla tuotettuja suureita vs. mitattuja suureita. Hitaiden vuotojen osalta analyysissä käytettiin datan vakiointia, jotta voitiin varmistua että valitut datapisteet ovat keskenään vertailukelpoisia ja virhettä ajotilanteesta johtuen tulee mahdollisimman vähän. Verkon optimoinnin osalta käytettiin klusterointia, eli valittiin tietty kaukolämpöteho, ja tämän tehon tuottamiseen käytetyt pisteet muodostivat oman klusterin.

On huomattava että suuremmalla datamäärällä (dataa useilta verkon osilta) on mahdollista tehdä paljon kattavampia analyyskejä. Lisäksi jos data keräystaajuus on suurempi (sekunteja tai sekunnin osia), voidaan analyysissä soveltaa tarkempia menetelmiä ja täten analyysi tuottaisi paljon enemmän tietoa.

## **2.2. GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmä**

GWM-DH -vuodonilmaisinjärjestelmä on kehitetty GWM Systems Oy:n toimesta vuosina 1999-2000. Kyseinen järjestelmä on käytössä Kuopion Energialla. Koska GWM-DH -järjestelmää ei ole kehitetty yli kymmeneen vuoteen, tarvittiin selvitys järjestelmän jatkokehitykseen ja soveltuvuuteen liittyen. Kymmenen vuotta on ohjelmistokehityksessä pitkä aika, ja toisaalta esimerkiksi tiedonsiirto pumppausasemilta sekä markkinoilla olevat valmiit tiedonsiirtokomponentit ovat kehittyneet kyseisenä aikana valtavasti.

## **2.3. Vantaan energialta saatu data**

Vantaan Energialta saatu aineisto muodostui kolmentoista prosessisuureen historiatiedoista ajanjaksolta 1.1.2009 – 15.9.2011. Tällä aikavälillä on tapahtunut neljä merkittävää vuotoa. Näissä kokeissa käytettiin tuntikeskiarvoistettua dataa (13 x 23715 havaintopistettä tunnin välein). Aineisto sisälsi myös edeltävän tunnin maksimi ja minimiarvot kyseiselle suurelle. Kyseinen aineisto on verkon yhden pisteen – Pumppaamo P1 – tuottamaa dataa. Saadut prosessisuureet yksiköineen on esitetty taulukossa 1.

Prosessisuure	Yksikkö
P1 KL-VESIVIRTAUS	l/s
P1 KL-MENOPUOLI TULOPAIN	kPa
P1 KL-MENOPUOLI LÄHTÖPAIN	kPa
P1 KL-PALUUPUOLI TULOPAIN	kPa
P1 KL-PALUUPUOLI LÄHTÖPAIN	kPa
P1 KL-MENOLÄMPÖ	°C
P1 KL-PALUULÄMPÖ	°C
P1 KL-TEHO	MW
P1 PUMPPUJEN SÄÄTÖ ASETUSARVO	-
P1 PAINE-ERO LÄNSI	kPa
P1 MENOPUMPPU P1 PYÖRIMISNOPEUS	rpm
P1 VARAPUMPPU P2 PYÖRIMISNOPEUS	rpm
P1 PALUUPUMPPU P3 PYÖRIMISNOPEUS	rpm

Taulukko 1: Vantaan Energian prosessisuureet. Process quantities obtained from Vantaan Energia.

Kaukolämpöteho on laskettavissa veden virtauksen sekä menoveden ja paluueden lämpötilaeron tulona käyttäen veden keskilämpötilan mukaista ominaislämpöä ja paluueden lämpötilan mukaista tiheyttä. Vastaavasti kun kaukolämpöteho sekä lämpötilaero on tunnettu, voidaan johtaa virtaus. Veden virtaus on myös melkoisen tarkasti approksimoitavissa syöttöpumpun kierrosnopeudesta.

Ulkolämpötila on tärkeä prosessia säättävä suure. Analyysia tehostaisi, mikäli käytettävissä olisi kaukolämpötehon säätöön käytetty tunneittainen lämpötila verkoston (energian kulutuksen) alueelta. Lämpötilainformaatiolla pystyttäisiin tarttumaan useisiin nopeisiin satunnaisiin muutoksiin aineistossa.

## 3. Tulokset

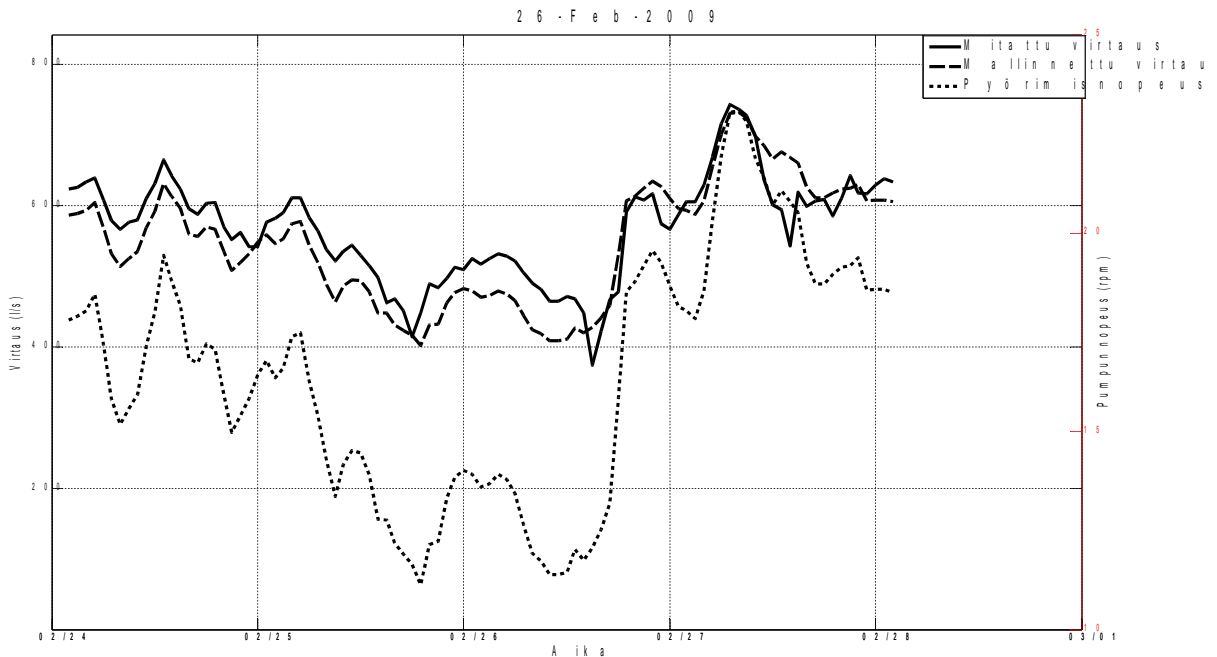
### 3.1. Äkillisten vuotojen analyysi

Vantaan Energialta saatu data sisälsi neljä eri vuototilannetta eri osissa verkkoja eri ajanhetkillä. Analyysissä käytettiin sekä korrelaatiomenetelmiä, signaalien erotuksia että malleilla tuotettuja apusuureita (joita myös mitataan).

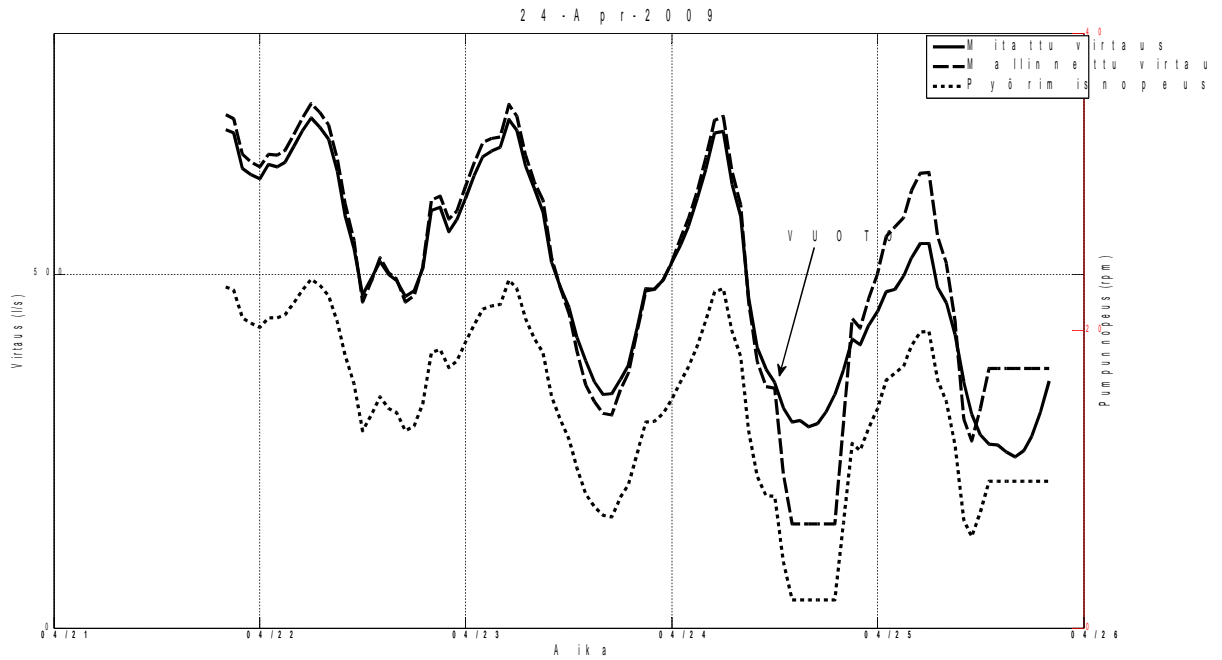
Käytetyllä datalla äkillisten vuotojen ennakointi on haastavaa. Johtuen aineiston havaintojen suhteellisen pitkästä aikavälisestä (1 h), niiden keskiarvoisesta luonteesta sekä verkoston

monimutkaisuudesta, havaitseminen ei esimerkiksi paine-eroja vertaamalla ole luotettavaa. Mielenkiintoisimmaksi vaihtoehdoksi nousi muodostaa (lineaarinen) malli syöttöpumpun kierrosluvun ja veden virtauksen välille. Verrattaessa tätä mallinnettua virtausta mitattuun virtaukseen, voidaan niiden havaita normaalitilanteessa seuraavan toisiaan, kun taas vuototilanteessa mallinnettu virtaus poikkeaa selvästi mitatusta. Kaukolämpöteholla ei ole suurta merkitystä tässä yhteydessä. Lineaarista monimutkaisempi malli kierrosluvun ja virtauksen välillä tai suureiden erotusten (differenssien) käyttäminen tuottavat mahdollisesti tarkemman mallin. Kyseisten menetelmien testaaminen edellyttää kuitenkin tiheämmin (sekunteja tai sekunnin osia) näytteistettyä dataa.

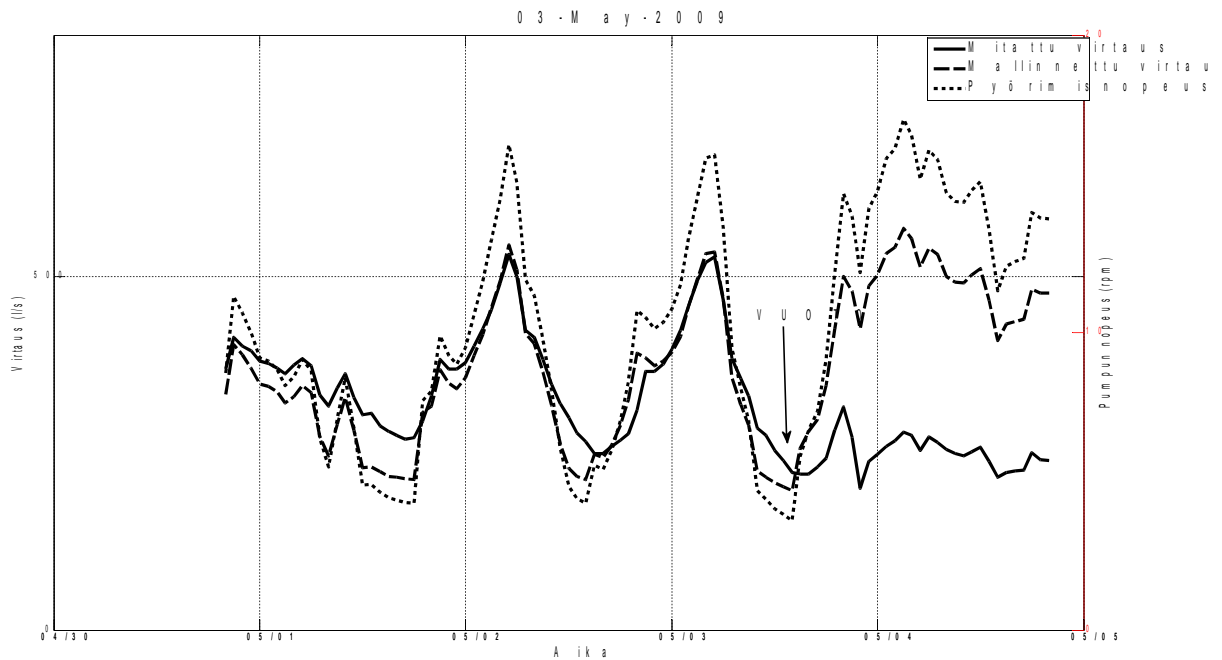
Äkillisten vuotojen analyysin tuloksista esitetään mallinnetun virtauman ja mitatun virtauman erotukseen perustuvat tulokset normaalissa verrokkutilanteessa ja eri vuototilanteissa. Kuvassa 1 on verrokkikuva normaalista ajontilanteesta jolloin ei ole vuotoa. Mallilla tuotettu virtauma noudattaa hyvin mitattua virtaamaa. Kuvissa 2-4 on esitetty mallilla tuotettu virtauma, pumpun kierrosnopeus ja mitattu virtauma eri vuototilanteissa. Lähellä pumppausasemaa tapahtuneessa vuodossa (Kuva 3) näkyy selvästi kuinka mitattu ja mallinnettu virtauma lähtevät erilleen vuototilanteessa ja näin ollen vuoto näkyy selvästi mallinnetun ja mitatun virtauma erotuksen kasvuna. Kun vuotokohta on etäämpänä pumppausasemasta, niin yhtä selvää erotuksen kasvua ei näy, katso kuvat 2 ja 4.



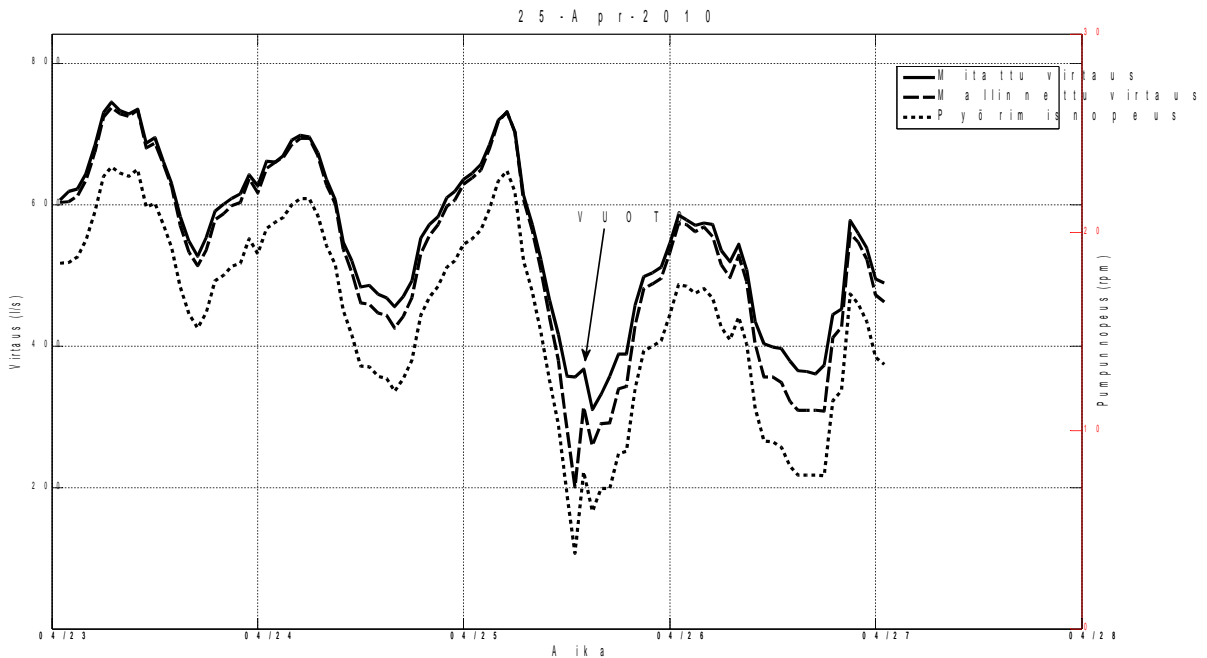
Kuva 1: Virtaumat ja pumpun pyörimisnopeus verrokki. Measured and modeled flow for normal running condition.



Kuva 2: Virtaumat ja pumpun pyörimisnopeus vuototilanteessa. Measured and modeled flow for leak situation



Kuva 3: Virtaumat ja pumpun pyörimisnopeus vuototilanteessa (vuoto lähellä pumppaamaa). Measured and modeled flow in leak situation (leak near the pumping station).



Kuva 4: Virtaumat ja pumpun pyörimisnopeus vuototilanteessa. Measured and modeled flow in the leak situation.

### 3.2. Hitaasti etenevien vuotojen analyysi

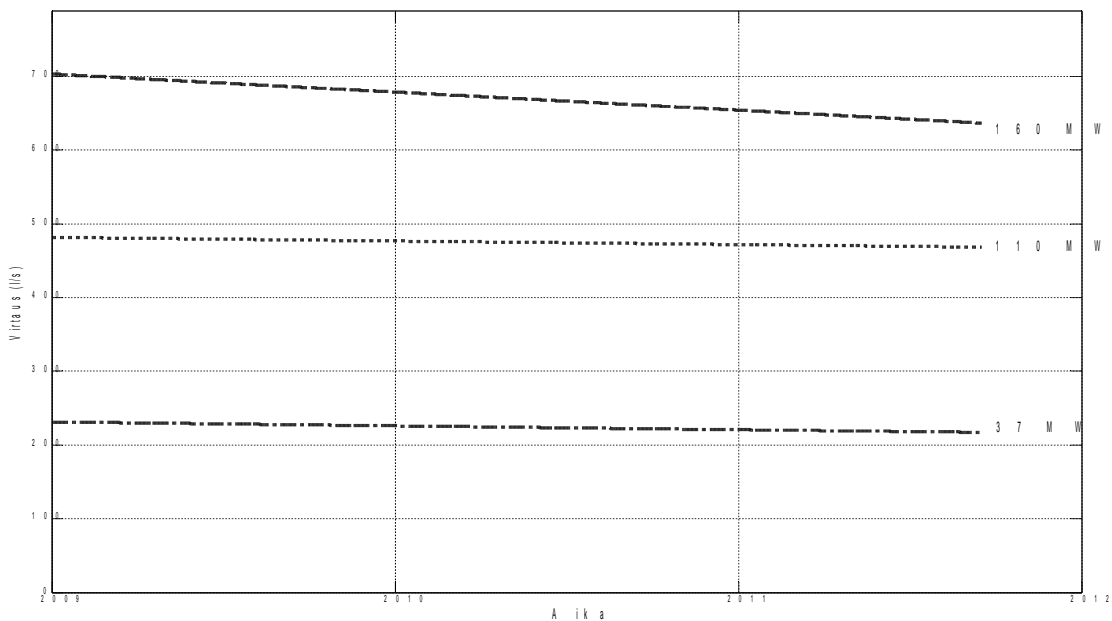
Hitaasti etenevien vuotojen analyysissä sovellettiin datan klusterointia vakioimalla suureet alkaen kaukolämpötehosta. Vakioinnin ideana on tuottaa mahdollisimman vertailukelpoisia datapisteitä siten että eri ajanhetkillä (eri vuosina) kerätyt datapisteet ovat keskenään vertailukelpoisia.

Aineiston prosessisuureet sisältävät merkittävästi jaksollista vaihtelua. Nopein jaksollinen vaihtelu tapahtuu vuorokausitasolla (kulutuksen muutokset vuorokauden eri vaiheissa seuraavat toisiaan) ja tämä vaihtelu on usein voimakasta, esimerkiksi veden virtauksessa minimin ja maksimin välillä virtaus kaksinkertaistuu. Hitaampia vaihteluita tapahtuu siirryttäessä vuodenajasta toiseen, ulkolämpötilan vaikutus siis skaalaa vuorokautisen vaihtelun rajoja. Hitaita muutoksia analysoitaessa on tilanteen kehitystä verrattava kiinnittämällä suureita. Hitaasti etenevien vuotojen analyysia on lähdetty tarkastelemaan valitsemalla kolme kaukolämpötehoa, jotka ovat niin tyypillisiä että saadaan riittävä datajoukko mallin sovittamiselle. Kaukolämpötehon jakaumalla on kaksi huippua 37 MW (kesä) ja 160 MW (talvi), kolmanneksi on otettu jakauman mediaanipiste 110 MW.

Edellä mainittuja kolmea kaukolämpötehoa käyttäen on muodostettu lineaariset mallit virtauksen muutokselle 1.1.2009 ja 15.9.2011 välillä. Voimakkaan vuorokautisen vaihtelun vaikutuksen minimoimiseksi, mallit ovat muodostettu vielä erikseen jakamalla vuorokauden ajat neljään erilliseen osioon.

Kuvassa 5 on esitetty lineaarisella mallilla tuotetut virtaumat eri vuosina eri kaukolämpötehoilla.

Kyseisestä kuvasta käy ilmi, että malli johtaa tulokseen että virtaus on vähentynyt – yli kaikkien tehojen sekä vuorokausiosioiden – siirryttäessä vuoden 2009 alusta aineiston loppuun. Mahdollinen yksinkertainen selitys asialle on vuosien 2009 ja 2010 aikana sattuneiden vuotojen korjauksen tuloksena veden hävikki verkossa on pienentynyt. Toinen mahdollisuus on se, että asiakaspään laitteistoja on uusittu energiatehokkaimmiksi ja täten virtaama vähenee päivitetyn tekniikan kautta. Jotta virtaaman vähenemisen syy saataisiin tarkkaan selville tulisi dataa analysoida useammalta verkon osalta. Lisäksi, jos keskiarvoisesti virtaaman tulee vähentyä päivitettyjen asiakaslaitteiden ansiosta, mutta virtaama säilyy samana tai kasvaa, mentelmä mahdollistaa hiipivien vuotojen paikallistamisen tiettyyn verkon osaan.



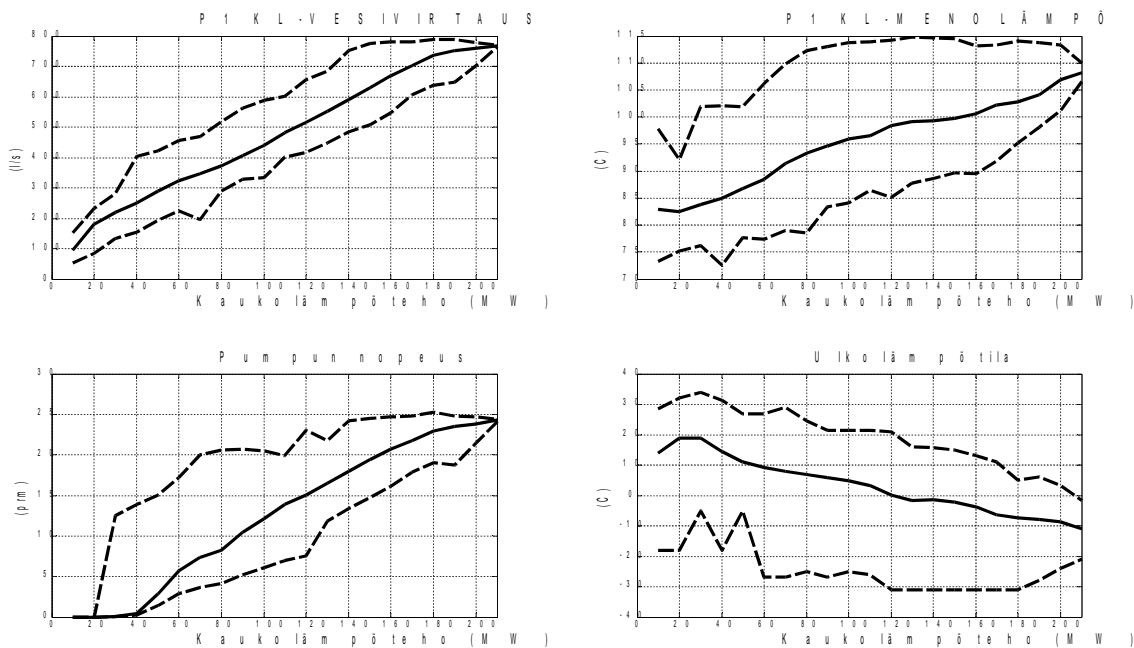
Kuva 5: Analyysin tulokset – hitaat vuodot. Results from the analysis of the slow leaks.

### 3.3. Kaukolämmön jaon optimointi

Koska saatu data oli kerätty suhteellisen harvalla näytteenottovälillä ja nopeiden vuotojen analyysi kyseisellä datalla on haastavaa, otettiin ylimääräisenä aiheena projektiin kaukolämmön jaon optimointimahdollisuuksien selvittäminen. Optimoinnin mahdollisuuksien selvittämisessä tärkeintä on aluksi analysoida kerätty data ja täten selvittää kuinka monella eri tavalla haluttu kaukolämpöteho voidaan asiakkaille tuottaa? Koska jokaisella tuotanto pisteellä on omat kustannuksensa, voidaan myöhemmin kustannustiedon kanssa optimoida kaukolämpöverkkojen ajoa. Lisäksi on huomattava, että usein lämmön tuotannon lisäksi voimaloissa tuotetaan sähköä, ja optimointi tulisi suorittaa siten että kokonaistulos olisi paras mahdollinen.

Koska projektissa oli käytössä vain kaukolämpöverkkojen dataa, niin tässä osiossa keskityttiin vain kaukolämmön jaon optimointimahdollisuuksien selvittämiseen. Menetelmänä analyysissä oli datan

klusterointi, eli tietylle tuotetulle kaukolämpöteholle kerättiin kaikki datapisteet. Klusteroinnin tulos eri kaukolämpötehoille on esitetty kuvassa 6. Kyseisessä kuvassa on esitetty valitut prosessisuureet (vesivirtaus, menolämpö, menopumpun nopeus ja ulkolämpötila) ja niiden minimi- ja maksimiarvot kaukolämpötehon funktiona. Kuvasta 6 käy selvästi ilmi, että sama kaukolämpöteho voidaan tuottaa useilla veden virtaus versus meno-paluuveden lämpötilaerojen yhdistelmällä, joista siis veden virtaus ja menoveden lämpö ovat säädettäviä suureita. Veden lämpö vaikuttaa suoraan sen ominaislämpöön ja siten kykyyn kuljettaa energiaa. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että haluttu kaukolämpöteho voidaan tuottaa hyvin erilaisilla tavoilla. Koska jokaisella tuotantopisteellä on oma hintansa, on optimointi mielekästä parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Optimoinnissa voidaan tarvittaessa myös huomioida verkon kuormitus, eli painottaa niitä pisteitä jotka rasittavat verkkoa mahdollisimman vähän.



Kuva 6: Analyysin tulokset – ajon optimointi. Results of the analysis concerning potential of the heat share optimization.

### 3.4. GWM-DH vuodonilmaisjärjestelmän status

GWM-DH vuodonilmaisjärjestelmän status ja päivitystarve selvitettiin yhteistyössä GWM-Systemsin ja Kuavan kesken. Ensivaiheessa kartoitettiin järjestelmän toiminta pääpiirteissään ja keskusteltiin järjestelmän käyttökokemuksista Kuopion Energialla. Koska kymmenen vuotta on pitkä aika varsinkin ohjelmistotekniikassa, tehtiin selvitys lähtien perusasioista:

- voidaanko ohjelmistoa ajaa nykyisissä käyttöjärjestelmissä
- voidaanko ohjelmiston kehitystä jatkaa nykyisillä kehitysympäristöillä

- onko mittausasemien ja pääjärjestelmän välinen tiedonkeräys sopiva nykykäyttöön
- soveltuuko käyttöliittymä järjestelmän operatiiviseen käyttöön vuodon ilmaisussa
- voidaanko järjestelmän käyttöönottoa helpottaa

Ohjelmiston pääkäyttöliittymää voidaan ajaa nykyisissä Windows-ympäristöissä, mutta tiedonkeräyskomponenttia ei käytetyn ajan puitteissa ehditty testata. Lisäksi pääkäyttöliittymän lähdekoodi modernisoitiin siten, että ohjelmisto voitiin kääntää modernilla ohjelmistokehitysympäristöllä, joten nykyistä ohjelmistoa on mahdollista päivittää lähdekooditasolla.

Tiedonkeräykseen järjestelmä käyttää dataloggerin ja radiomodeemin yhdistelmää, jolla tieto voidaan siirtää mittausasemilta langattomasti. Kuopion Energian kaukolämpöjohtajan mukaan kymmenen viime vuoden aikana kaukolämpöverkkojen yhteyteen on rakennettu useissa paikoissa kuituverkko tiedonsiirtoon, joten radiomodeemin käytölle ei ole välttämättä enää perusteita. Lisäksi kaukolämpöverkkoa simuloidaan tietokoneohjelmilla, joista putkiston rakenne olisi CAD-piirrustusta helpompaa ja varmempaa tuoda vuodonilmaisujärjestelmään.

Järjestelmää ei ole tällä hetkellä otettu operatiiviseen käyttöön johtuen pääosin käyttöliittymästä ja ohjelmiston vaatimasta asetusten säätämisestä tarkan vuodonilmaisun varmistamiseksi. Käyttöliittymä olisi saatava operaattoreiden näytölle, mahdollisesti osaksi kaukolämmön ohjaus- ja monitorointijärjestelmää. Lisäksi vuodon hälytys olisi tehtävä varmatoimiseksi siten, että hälytystieto saadaan erilaisissa verkon ajotilanteissa ilman hälytysalgoritmiin liittyvien parametrien muokkaamista.

Nykyistä järjestelmää voidaan siis ohjelmiston algoritmien osalta hyödyntää ja käyttää referenssinä modernisoitaessa järjestelmää. Mittausasemien osalta tarvitaan tarkempi kartoitus kaukolämpötoimijoiden alueverkon tilanteesta.

## 4. Yhteenveto ja jatkokehitys

Projektin tavoitteena oli 1) Selvittää matemaattisen mallinnuksen ja data-analyysin soveltamismahdollisuudet kaukolämpöverkkojen nopeiden ja hitaiden vuotojen ennakoinnissa sekä selvittää mahdollisuutta kaukolämpöverkkojen ajon optimointiin ja 2) Selvittää GWM-DH vuodonilmaisinjärjestelmän päivityksen tarve ja nykyaikaisten kaupallisten komponenttien hyödyntäminen osana järjestelmää

Data-analyysi ja mallinnusosiota varten saatiin Vantaan Energialta dataa. Dataa oli kerätty yhdeltä pumppausasemalta 1.1.2009 – 15.9.2011 välisenä aikana. Data oli kerätty yhden tunnin näytteenottovälillä (datapiste tunnin keskiarvo eri suureille). Analyysin tuloksena äkillisten vuotojen osalta oli, että pumppausaseman lähellä tapahtunut vuoto saatiin selvästi näkyviin laskennallisen ja mitatun suureen (virtauma) erotuksena. Pumppausasemalta kauempana olevia vuotoja ei saatu niin selvästi näkyviin. Lisäksi käytetty data on ehdottomasti liian harvalla näytteenottovälillä kerättyä nopeiden vuotojen paikallistamiseksi. Hitaiden vuotojen paljastamiseen käytetty data sopii paremmin. Hitaiden vuotojen indikointiin sovellettiin datan vakiointia tietyillä kaukolämpötehoilla. Tuloksista ilmenee, että kyseisellä verkon osalla lasketussa virtamassa on laskeva trendi. Tämä voi kertoa verkon korjauksesta (äkillinen vuoto on aiemmin ollut hiipivä vuoto). Toisaalta on huomioitava se, että

asiakaspään laitteita uusitaan jatkuvasti paremmiksi, joten laskeva trendi voi myös johtua parantuneista asiakaslaitteista. Kyseinen analyysi kannattaa tehdä kuitenkin kaikille verkon osille ja seurata trendien kehitystä, koska kasvata tai vakiona pysyvä virtauma trendi voi indikoida hidasta vuotoa. Kaukolämpöverkkojen optimointiin liittyen analysoitiin eri suureiden vaihteluvälit eri kaukolämpötehoilla. Tuloksista ilmenee että suureiden vaihteluväli on aika suuri, ja optimointi on mahdollista. Optimointia ajatellen tulisi huomioida myös mahdollinen yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, eli suorittaa kokonaisoptimointia. Optimoinnissa voitaisiin lisäksi huomioida eri ajotilanteiden kuormitus verkolle, eli yhdistää niin energian tuotanto, jako ja kaukolämpöverkon kestoikä.

Jatkokehityskohteita projektin jälkeen on useita. Mallinnusta ja data-analyysiä ajatellen tarvittaisiin nopeammalla näytteenottotaajuudella kerättyä dataa koko verkon alueelta. Tällöin olisi mahdollista muodostaa verkosta tarkempi malli ja kerätä, klusteroida ja analysoida data automaattisesti. Kyseisellä datalla ja analyysillä olisi mahdollista varoittaa odottamattomista tapahtumista (nopeat ja hiipivät vuodot, paineiskut) sekä optimoida kaukolämpöverkon ajoa.

DH-Controlin osalta jatkokehitys jakaantuu kahteen osaan: 1) käyttöliittymän ja algoritmien ohjelmistopäivitys sekä 2) tiedonkeruun ja mittarisynkronoinnin modernisointi. Käyttöliittymä olisi syytä jakaa kahteen osaan eri käyttötarkoituksia varten. Suunnitellussa päivityksessä (kuva 7) käyttöliittymä on selainpohjainen ja eriytetty edellä mainittuja eri käyttötarpeita varten. Selainpohjaisissa liittymissä voidaan kätevästi esittää suhteellisen muuttumattomana pysyvää karttapohja- ja kaukolämpöverkkotietoa sekä visualisoida algoritmin löytämä vuotokohta. Myös järjestelmän tarvitseman putkistotiedon päivitys voidaan hoitaa selainpohjaisesti.

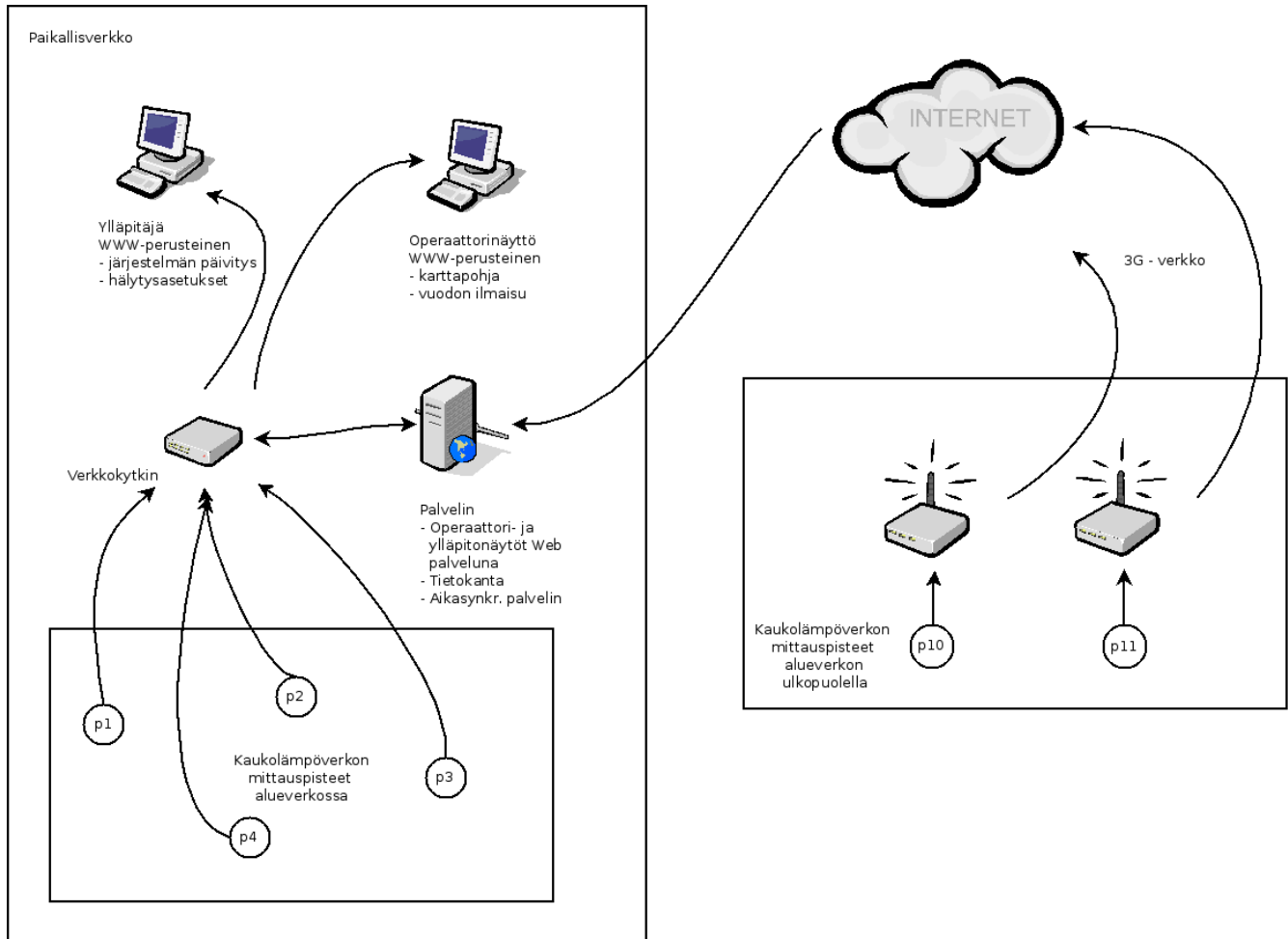
Kaukolämpötoimijoilla on usein käytössään myöskin DXF-karttaa tarkempi kuvaus putkistosta, joten tieto voidaan tuoda tarkemmin ja luotettavammin vuodonilmaisujärjestelmään. Esimerkiksi Kuopion Energia käyttää Logican ohjelmistoa verkoston simulointiin laajennusten suunnittelussa. Tämän ohjelman tallentamasta ASCII-muodosta putkistotieto voidaan lukea vuodonilmaisujärjestelmän käyttöön ilman tällä hetkellä käytössä olevaa ja mahdollisesti vikaantuvaa verkon jälkikäsitelyä.

Tiedonkeräyksen kohdalla markkinoilta on nykyään saatavilla alueverkon kautta kaukokäytettäviä ja ohjelmoitavia data loggereita ja sulautettuja tietokoneita, jotka mahdollistavat ohjelmistoteknisesti valmiiden protokollien (http, ftp) käytön tiedonsiirtoon ja ajan synkronointiin eri mittapisteiden kesken esimerkiksi NTP:llä (Network Time Protocol). Mittausasemien modernisoinnissa täytyy edelleen kartoittaa tarkemmin kaukolämpötoimijoiden omien tietoverkkojen mahdollisuudet sekä ethernet ja 3G verkkoja tukevat ohjelmoitavat dataloggerit ja kenttä-PC:t (esim Moxa, Libelium, DataTaker). Samassa yhteydessä selvitetään mahdollisuus lukea olemassa olevia SCADA-järjestelmän painemittareita riittävällä aikaresoluutiolla vuodonilmaisujärjestelmää varten.

Yksi jatkokehitysaihe on myös mallinnuksen ja GWM-DH -vuodonilmaisujärjestelmän yhdistäminen. Koska GWM-DH kerää jatkuvasti tietoa korkeammalla näytteenottotaajuudella, voitaisiin tätä dataa käyttää analyysissä ja toisaalta GWM-DH -järjestelmän opetuksessa. Tällöin muodostettaisiin oppiva järjestelmä, jonka käyttöönotto olisi nykyistä helpompaa ja toisaalta virheellisten hälytysten määrää voitaisiin vähentää. Kyseinen kytketty järjestelmä keräisi myös lisätietoa niin hiipivien vuotojen paikallistamista kuin verkon ajon optimointia ajatellen.

Tämän projektin tuloksia voidaan hyödyntää mahdollisissa jatkohankkeissa Kuava Oy:n, GWM-

Systems Oy:n sekä yksittäisten kaukolämpötoimijoiden välillä.



Kuva 7: DH Control järjestelmäpäivityksen suunnitellut komponentit. Planned components of the upgraded DH-Control system.