

Ville Keränen

**PUOLANGAN KUNNAN ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSEEN
LIITTYMISEN VALMISTELU**

PUOLANGAN KUNNAN ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSEEN LIITTYMISEN VALMISTELU

Ville Keränen
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma, voimalaitostekniikka

Tekijä(t): Ville Keränen

Opinnäytetyön nimi: Puolangan kunnan energiatehokkuussopimukseen liittymisen valmistelu

Työn ohjaaja(t): Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi:

Sivumäärä: 67 + 8 liitettä

Syksy 2016

Puolangan kunta liittyy vuoden 2017 alusta energiatehokkuussopimuksen piiriin. Vuoteen 2025 mennessä suoritetaan toimenpiteitä, joilla saavutetaan sopimuksen mukainen vähintään 7,5 %:n parannus energiatehokkuuteen. Tämän vuoksi työn aikana kerättiin kunnan omistamien ja hallinnoimien rakennusten lämmön-, sähkön- ja vedenkulutustiedot. Tuotettujen palveluiden vastaava energiankäyttö, mukaan lukien polttoaineet, selvitettiin. Rakennukset sekä niiden bruttopinta-alat ja lämmitetyt tilavuudet luettelointiin.

Dataa kerättiin mahdollisimman laajasti useammalta vuodelta, jotta energiankäytön muutosta voidaan arvioida. Keräystapoina olivat pääasiassa sähköiset tietojärjestelmät kuten lämpökeskuksen automaatio, sähköyhtiön kulutusseuranta sekä kartta- ja reskontrasovellukset. Osa tiedoista oli paperiarkistoinnissa ja muistiinpanoissa. Alueen säätiedot kerättiin Open Data -palveluista. Saaduista tiedoista luotiin visualisointeja.

Rakennusten ominaiskulutukset laskettiin kerättyjen tietojen perusteella ja kunnan huomiota vaativat kohteet kartoitettiin, jotta järkeviä säästötoimenpiteitä voidaan alkaa kohdistamaan. Rakennuksia käytiin katselmoimassa lämmönjakelun merkeissä, eli lämmönjakohuoneiden kunto tarkastettiin. Kaukolämmityksen tuotannosta ja jakelusta suoritettiin arvio ja energiankäytön optimoimiseksi esitettiin parannustapoja polttotapahtumaan sekä pumppaukseen. Viemäriverkoston kuntoa ja ylimääräisiä kustannuksia mallinnettiin. Uusiutuvan energian tuotantomahdollisuuksia mikroturbiinilla pohdittiin kunnan suurimman energiankuluttajan yhteydessä.

Lämpökeskuksen hyötysuhteen arvioitiin heikenneen alkuperäisestä ja olevan renovaatiotarpeessa. Keskuksen käyttöön voidaan vaikuttaa säästötoimenpitein. Mikroturbiini osoittautui uusiutuvan energian suhteen kannattavaksi, muttei välttämättä liiketaloudellisesti Biokeskushankkeen kannalta.

Asiasanat: energiatekniikka, kaukolämmitys, energiantuotanto, kunnallistekniikka, viemäriverkot, turbiinit, energiakatselmus, lämpöhuolto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Energy Technology

Author(s): Ville Keränen

Title of thesis: Preparations Needed in Joining a Town into the Energy Efficiency Agreement

Supervisor(s): Jukka Ylikunnari

Term and year when the thesis was submitted: Pages: 67 + 8 appendices
Autumn 2016

The municipality of Puolanka, Finland is going to participate in an Energy Efficiency Agreement (EEA) starting in 2017. An improvement of 7.5 % is set for improvement of energy efficiency by 2025. The goal of the EEA is to enhance efficient and responsible use of resources and therefore reduce emissions such as carbon dioxide. The agreements are a voluntary tool provided by the government to fulfil the national obligations set by the European Union's Energy Efficiency Directive without coercive measures.

The objective of the thesis was to gather the necessary details required by the EEA's national governing body, Motiva. These include heat, electricity and water consumption of buildings. Furthermore, energy required by the services provided by Puolanka were also researched.

Only a reference year is required to be reported at this stage, but data spanning multiple years was gathered. Long-term data is needed to establish trends and make the most productive investment decisions. Data was obtained primarily from electronic sources and databases such as mapping applications and automation and billing systems. Historical weather data was mined from Open Data sources. Data was combined and visualized.

Buildings and municipal water system were reviewed and generation and distribution of district heating were analyzed. Several areas of improvement were noted during the process and they were documented into a briefing package. The suitability of obtaining a microturbine into the town's health care center was reviewed, as refined biogas might be available in a few years.

With knowledge of areas needing improvement among the trend and comparison data, then sane judgements can be made about the upcoming energy efficiency investments.

Keywords: energy technology, district heating, municipal engineering, sewer systems, turbines, energy audit, supply of heat

ALKULAUSE

Projekti syntyi toimeksiantaja Ismo Moilasan kiinnostuksesta energia-asioita kohtaan. Hän oli yhteydessä Kajaanin yliopistokeskuksen Timo Karjalaisen kanssa juuri ennen kuin ryhdyin tiedustelemaan lopputyön aihetta. Tämän sattuman kautta käynnistyi mielenkiintoinen projekti.

Heidän lisäksi kiitän Oulun ammattikorkeakoulun opettajia Jukka Ylikunnaria sekä Veli-Matti Mäkelää, ja vallan aktiivisin ottein kunnostautunutta Puolangan kunnan henkilöstöä yhteistyöstä.

Puolangalla 17.8.2016

Ville Keränen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSISTA	10
2.1 Sopimusten tarkoitus	11
2.2 Tuleva sopimuskausi	12
2.3 Energiatehokkuudesta	12
2.4 Epätarkkuuksista ja -varmuuksista	13
2.4.1 Sopimus	13
2.4.2 Laskenta ja seuranta	14
2.5 Yhteydet kuntaan liittyviin muihin ohjelmiin	15
2.5.1 SEAP	15
2.5.2 Biokeskushanke	16
3 KUNNAN ENERGIANKÄYTTÖ	19
3.1 Lämpö	19
3.2 Sähkö	20
3.3 Vesi	20
3.4 Polttoaineet	20
3.5 Kokonaiskulutus ja säästöpotentiaali	20
4 TIETOJEN ANALYSOINTI	22
4.1 Kaukolämpö	22
4.1.1 KPA-kattilan hyötysuhde	23
4.1.2 Öljyn käyttö	24
4.1.3 Kaukolämpöverkoston hyötysuhde	25
4.1.4 Öljysäiliön hukkalämpö	26
4.2 Terveyskeskus	31
4.3 Rakennukset	32
5 KEHITYSEHDOTUKSET	35
5.1 Kaukolämpötoiminta	35
5.1.1 Kiertovesipumpun mitoitus	35
5.1.2 Jäähdytymän parantaminen	39
5.1.3 Lämmön tuotanto	41
5.1.4 Lämmönjakohuoneet	48

5.2 Vesilaitostoiminta	49
5.2.1 Ylimääräisen virtaaman selvitys	49
5.2.2 Kustannukset	53
5.3 Mikroturbiinin hankinta	55
5.3.1 Toimintaperiaate	55
5.3.2 Kunnan energiapotentiaali	56
5.3.3 Energiantuotanto	57
5.3.4 Kannattavuus	59
6 YHTEENVETO	61

SANASTO

CHP	Combined Heat and Power. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto
Cleantech	Tavanomaiseen teknologiaan verrattuna ympäristöystävällisempi ratkaisu
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
ETS	Energiatehokkuussopimus
Kapillaarisuus	Huokoinen aine imee nestettä vapaan nestepinnan yläpuolelle
Kasvihuonekaasu	Vähintään kolmiytiminen molekyyli. Esimerkiksi hiilidioksidi CO ₂ ja metaani CH ₄
POK	Kevyt polttoöljy, joka vastaa lähes dieselöljyä ja moottoripolttoöljyä
POR	Raskas polttoöljy
Rakennusaste	Sähkön tuotannon suhde lämmön tuotantoon

1 JOHDANTO

Puolangan kunnassa on herännyt kiinnostusta energiatehokkuussopimukseen liittymiseen vuodesta 2017 alkavalle kaudelle. Tämän opinnäytetyön tavoite on lähtötietojen kerääminen sopimusta varten ja niiden analysointi.

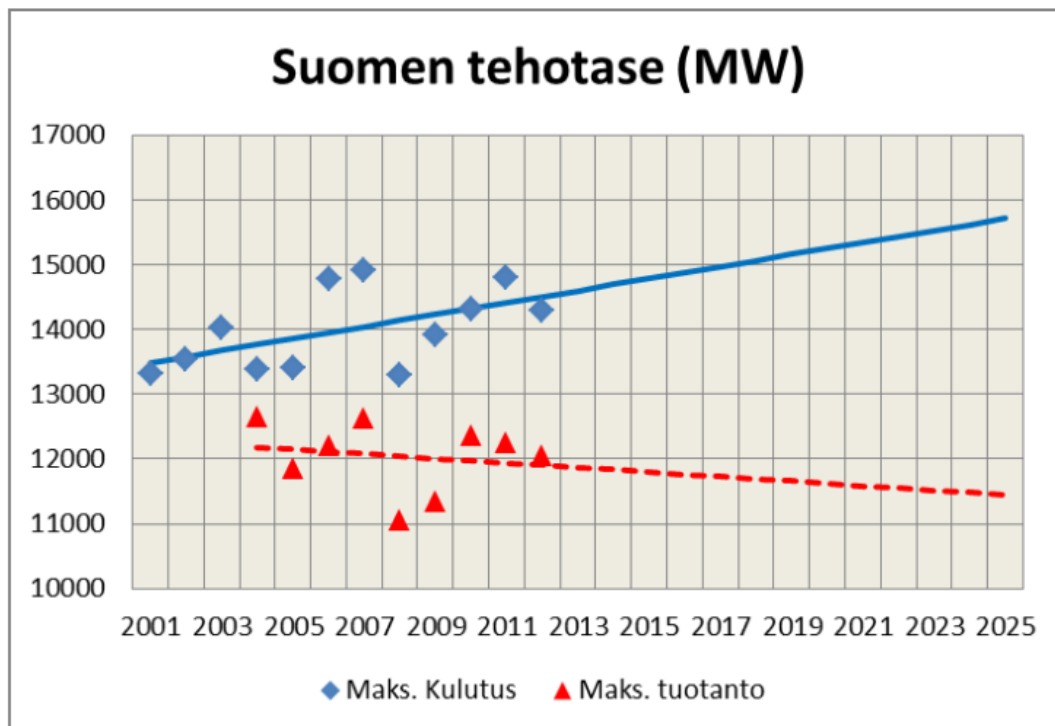
Kunnan suurimpia kuluttajia ovat lämpökeskus, vesilaitos, katuvalaistus, terveyskeskus ja asuinrakennukset. Niiden suhteellisten osuuksien selvittäminen ja energiatehokkuuden arviointi olivat ennakoita oiva lähtökohta työn rungoksi.

Aikaisemmin vastaavaa energiakatselmukseen verrattavaa auditointia ei ole tehty, joten lähtökohdat olivat haasteelliset. Työn kuluessa huomiota vaativat alueet selkenivät pikkuhiljaa sekä kirjoittajalle että toimeksiantajalle.

2 ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSISTA

Vuonna 2012 luotiin EU:n energiatehokkuusdirektiivi, ja se toimeenpantiin Suomessa 1.1.2015. Sen 7. artiklan mukaan vuoteen 2030 mennessä Euroopan unionin tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä 40 prosenttia vuoden 1990 tasoon verrattuna. Energiatehokkuuden on parannuttava 27 prosenttia, joka on myös uusiutuvan energian osuuden tavoite (1).

Vuodesta 1997 lähtien olemassa olleilla energiatehokkuussopimuksilla on useita tarkoituksia. Suomessa ne on kehitetty keinoksi saavuttaa Kioton sopimuksessa asetetut kasvihuonepäästörajat. Toissijaisena vaikutuksena ne parantavat energian huoltovarmuutta (kuva 1), edistävät fossiilisten polttoaineiden syrjäyttämistä sekä vauhdittavat niin sanottujen cleantech-ratkaisujen käyttöönottoa (2).



KUVA 1. Suomen tehotase (3, s. 74)

3. artiklan mukaan Suomen osalta kumulatiivisena kansallisena energiansäästö tavoitteena on 49 terawattituntia (TWh) kaudella 2014–2020. Vuonna 2015 loppuenergiankulutus oli 361 TWh (4; 5.) Energiatehokkuussopimuksilla arvioidaan katettavan tästä noin 30 TWh (6).

Sopimukset perustuvat vapaaehtoisuuteen, ja niiden vaikuttavuutta voidaan verrata normeihin. Sopimusten kautta voidaan välttää valtion asettamia pakotteita säästö tavoitteiden täyttämiseksi. Niillä on tärkeä osa kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa (2; 6.)

Eri toimialoille on kehitetty omat sopimuksensa. Näitä ovat esimerkiksi

- teollisuus
- palvelu-ala
- kiinteistö-ala
- matkailu- ja ravintola-ala
- kunta-ala
- energiapalvelut ja -tuotanto
- auto-ala. (2, muotoillen.)

2.1 Sopimusten tarkoitus

Sopimustoimintaa voi ajatella pitkäaikaisena sijoitusprosessina.

Vapaaehtoisena toimintana sen harjoittaminen on korvike veroille ja määräyksille, joita muuten jouduttaisiin asettamaan energiansäästö tavoitteisiin pyrittäessä.

Sopimus tähtää rakennusten ominaiskulutuksen vähentämiseen. Se tarkoittaa energiankäytön määrää jaettuna rakennusalalla tai -tilavuudella. Keinoja tehokkuuden parantamiseen ovat esimerkiksi energiaterhokkuuden asettaminen hankinnan kriteeriksi, kulutusseurannan kehittämien, rakennusmääräystä paremmin rakentaminen ja toimintatapojen muuttaminen.

2.2 Tuleva sopimuskausi

Vuoden 2017 alusta alkaa kolmas sopimuskausi, joka kattaa vuodet 2017 - 2025. Puolangan kunta liittyy kunta-alan sopimukseen, jonka osapuolia ovat

- työ- ja elinkeinoministeriö (TEM)
- Energiavirasto
- Kuntaliitto (kunnat, kaupungit ja kuntayhtymät) (2).

Motiva seuraa säästöjen toteutumista, kehittää sopimustoimintaa sekä raportointijärjestelmää ja tekee yhteenvetoja sopimusten tuloksista.

Investointituet hyväksytään normaalisti ELY:n kautta (2). Vuoteen 2015 saakka liittyneet kunnat on esitetty liitteessä 2.

Sopimukseen liityttäessä ilmoitetaan kokonaisenergiankäyttö megawattitunneissa. Tämä on lämmön, veden, sähkön ja polttoaineiden yhteenlaskettu summa. Välitavoitteena on eri toimenpiteillä vuoteen 2020 saavutettava yhteensä 4 prosentin säästö ja 7,5 prosentin koko sopimuskauden vähennys (2).

2.3 Energiatehokkuudesta

Energiatehokkuuden parantaminen on jatkuva prosessi. Sen kehitystä tuetaan energiatuilla, jotka edistävät uusiutuvan energian asemaa, tuovat säästöä tai tehostavat käyttöä tai pienentävät ympäristövaikutuksia (7).

Motivan mukaan se edellyttää muun muassa seuraavia:

- oman energiankäytön tuntemista ja seuranta
- tietoa omista energiansäästämahdollisuuksista
- teknistaloudellisesti kannattavien energiansäästötoimien määrittämistä ja toteuttamista
- energiatehokkuuden ottamista huomioon toimintatavoissa, investoinneissa ja hankinnoissa
- energian hankinnan eri mahdollisuuksien tuntemista sekä
- hyvää energianhankintastrategiaa ja sen toteuttamista (2).

Näin ollen toimenpiteet eivät ole pelkästään teknisiä, vaan toimintatavoilla, ympäristöllä ja käytöllä on mahdollista vaikuttaa positiivisesti tehokkuuteen.

On tärkeää huomioida, että sopimuksen tarkoitus on ominaiskulutuksen vähentäminen eli energiatehokkuuden nostaminen. Tämä tarkoittaa käytännössä suuremman työpanoksen saamista laitettuun energiamäärään nähden (EROEI, Energy returned on energy invested). Näin ollen primäärienergian käyttö vähenee.

2.4 Epätarkkuuksista ja -varmuuksista

2.4.1 Sopimus

Artikla 7 velvoittaa sopimusmaita toimiin energiansäästö tavoitteiden saavuttamisessa. Säästöjen arvioinnissa on kuitenkin huomattavaa epävarmuutta, eikä rangaistuksista ole yhtenäistä linjaa. Lisäksi mahdolliset rangaistukset ovat tällä hetkellä päättämättä, mikä saattaa vaikuttaa kunkin jäsenvaltion halukkuuteen ryhtyä toimenpiteisiin. (8.)

On otettava huomioon, että EU:n 2050-Energiatiekartassa (niin sanotun vähähiilisen talouden ohjelmassa) on oletettu, että vähäpäästöistä teknologia on kilpailukykyinen markkinaehtoisesti. Maailmanlaajuisen ilmastopimuksen ja ilmastomuutoksesta aiheutuvan keskilämpötilan nousun pysähtyminen 2 celciusasteeseen oletetaan toteutuvan (1). Suurten hiilinielujen kuten valtamerien ilmastomuutosta hidastavaa vaikutusta ei edes tunneta kunnolla nykyisin. Tavoitteena on ennen pitkää jopa 95 % kasvihuonepäästöjen vähentäminen vuoden 1990 tasosta (1). Taustalla on korkea tuontien energian osuus epävakailta alueilta, mihin kuuluu lähinnä öljy- ja kaasutuotteet (1).

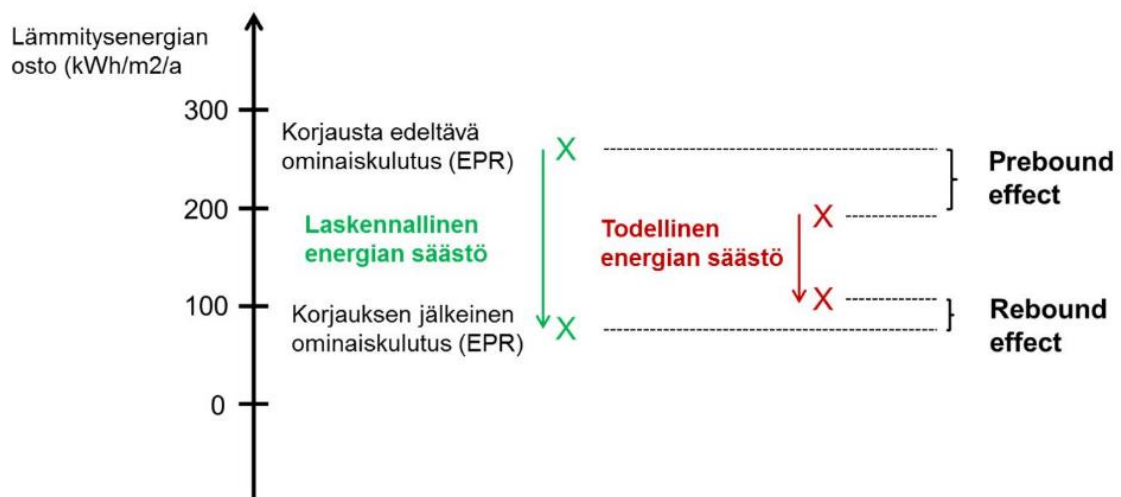
Muuttuvan maailmanmarkkina ja -poliittisen tilanteen vuoksi koko energiansäästöohjelmien ikä voi jäädä pahimmassa tapauksessa lyhytaikaiseksi. On joka tapauksessa välttämätöntä, että fossiiliperäisten hiilivetyjen tuonnista päästään eroon, sillä öljyn kultakausi on hiipumassa. Laajemmin ajateltuna tämän tyyppisen ekomodernismi täytyisi kattaa infrastruktuuri, teollisuus ja talous. Jos hyödynnetään energiatehokkuussopimusten mahdollistamat uusiutuvaan energian käytön

lisäämisen tukikeinot, väistämättä tapahtuvan myllerryksen vaikutusta voidaan lievittää.

2.4.2 Laskenta ja seuranta

Kuvassa 2 on esitetty niin sanottu Jevonsin paradoksi, jossa parantuneeseen tehokkuutta tarjoava teknologinen kehitys lisää kulutusta sen sijaan, että vähentäisi sitä. Täten tehokkuustoimilla ei välttämättä ole merkitystä, mikäli samalla ei pyritä kumulatiivisen energiankäytön vähentämiseen. (9, s. 90.)

Säästöjen laskennassa on piilotettuja kuluja. Näitä ovat esimerkiksi LED-valojen valmistukseen vaadittu prosessointimäärä tai polttoaineen kulutuksen laskusta aiheutuva lisääntynyt käyttö. Tarkastelukehyksestä riippuen efektilä voi olla kymmenien prosenttien elinkaarivaikutus (9).



KUVA 2. Arvioituun energiankulutukseen (EPR, Energy Performance Rating) pohjautuva laskennallinen energiansäästö verrattuna todelliseen säästöön (10)

Ennen toimenpiteisiin ryhtymistä on kulurakenne käyttöpaikoittain ja muutokset selvitettävä mittauksin ja jatkuvalla seurannalla. Tämä on edellytys kulutuksen muutoksen syyn selvittämiseksi ja identifioinnille. Arvauksiin perustuvalla toimenpiteellä voi olla yhtä lailla haitallinen kuin hyödyllinen vaikutus. Reaaliaikaisen seurannan mahdollistava tietojärjestelmä on äärimmäisen

käyttökelpoinen. Vaihtoehtona, muttei välttämättä korvaavana, työkaluna on datan visualisoinnin kehittäminen.

Investoinnin järkevyyden arvioinnissa käytetään usein takaisinmaksuaikaa (TMA). Tämä ei kuitenkaan ota huomioon TMA:n jälkeistä aikaa, jolloin nopeasti tuottavat toimenpiteet ovat helpommin perusteltavissa. Niin sanotun sisäisen korkokannan menetelmässä valitaan korkokanta, jolla hankinnan tuottojen nykyarvo on investoinnin suuruinen. Valitsemalla haluttu tuotto prosentti ja vertaamalla sitä sisäiseen korkokantaan, voidaan investointi arvioida kannattavaksi prosentin ollessa vähintään sama.

2.5 Yhteydet kuntaan liittyviin muihin ohjelmiin

2.5.1 SEAP

Kainuun kestävän energiankäytön toimintasuunnitelma (Sustainable Energy Action Plan) ulottuu vuoteen 2020 saakka. Sen tavoite on 25 %:n leikkaus 623 tuhannen tonnin vuoden 2009 hiilidioksidiekvivalenttitasosta. Tämä vastaa määränä 156 kt CO₂-ekv. (11.) Raportissa ei arvioitu kuntien tavoiteosuutta, mutta Kainuun vuoden 2009 asukasluvulla jaettuina Puolangan osuus on tästä kaavalla 1

$$\frac{3\,917}{82\,634} * 156\,kt = 7,4\,kt \quad \text{KAAVA 1}$$

Esimerkiksi CO₂-neutraaleilla puupolttoaineilla tämä vastaa energiamääränä kaavalla 2

$$E_{\text{säästettävä}} = \frac{\frac{7,4\,kt}{0,1096\frac{kt}{TJ}} * \frac{1\,TJ}{277,778\,MWh}}{11\,a} = 79,4\,MWh/a \quad \text{KAAVA 2}$$

missä

kt/TJ = ominaispäästökerroin (12, s. 333)

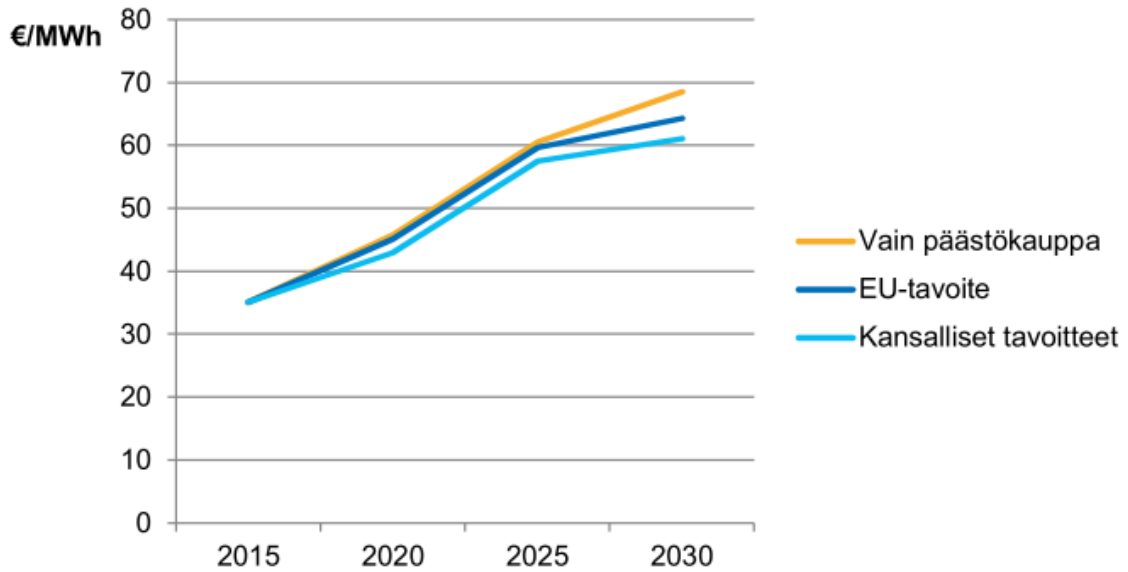
Suurimmaksi päästövähennyspotentialikohteeksi tarkentui raportissa uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen (11). Suunnitelmassa on paljon energiatehokkuussopimukseen liittyviin toimiin kaltaistettavia toimenpiteitä. Sopimuksen on solminut Kainuussa työn kirjoitushetkellä Kajaanin kaupunki.

2.5.2 Biokeskushanke

Kunnan lämpölaitoksen yhteyteen on suunnitteilla biokaasulaitos. Hanke on lähtenyt liikkeelle paikallisesta aloitteesta, ja sen kaavaillaan tuottavan biokaasua kuivamädätysmenetelmällä. Jäljelle jäänyttä kuiva-ainetta voidaan käyttää lannoitteena, jolloin vältetään varsinkin fosforin, typen ja kaliumin ostamiselta ja kuljettamiselta. Biokaasun nesteyttäminen liikennepolttoaineeksi on ennakoitu taloudellisesti kannattavimmaksi vaihtoehdoksi. Riippuen hankeselvityksen tuloksista käyttökohde voi olla myös paikallinen energiantuotantolaitos. (15.)

Kirjoitushetkellä vertaillaan erityyppisiä voimalaitoksia, joista kaasu- ja höyrykoneet (tai -turbiinit) ovat todennäköisimpiä. Laitoksen rakennusasteeseen vaikuttaa se, millainen loppukäyttäjien kulutusprofiili on. Olemassa olevan kaukolämpöverkon huipputehontarve on tällä hetkellä noin 5 MW. Biokattilalla tästä tuotetaan hyvänä päivänä hieman yli nimellistehon 2,5 MW. Kunnan politiikkana ja energiatehokkuussopimuksenkin tavoitteena on öljynkulutuksen vähentäminen, joten rakennusaste painottunee lämmöntuotannon suuntaan.

Kuvan 3 mukaisesti verkkosähkön hinnan odotetaan nousevan sähkömarkkinaintegraation myötä kohti Euroopan keskihintoja. Lämpimien ja sateisien keliä odotetaan lisäksi jatkuvan sekä fossiilisten polttoaineiden käytön lisääntyvän. Skenaariossa päästöoikeuden hintaan vaikuttaa fossiilisten polttoaineiden käytön osuuden kasvaminen, bioenergian käytön tason säilyessä ennallaan. Se ei ole kuitenkaan todennäköistä. (16, s. 39.)



KUVA 3. Sähkön hintakehitysarvio Suomessa eri politiikkaskenaarioissa (16)

Puolangan kunnassa on puun käytön tehostamismahdollisuuksia sekä energia-että jalostamismielessä. Alueesta on kiinnostunut Pohjois-Suomen halkotoiminnan kehittämistä kaavailevia yrittäjiä. He suunnittelevat kuivaavansa keskimäärin kaksi rekka-autollista halkotavaraa päivässä. Tämä vaatii raakapuun sahausta ja koneellisen kuivattamisen hetkellisesti 17,5 %:n kosteusprosenttiin, jolloin puun syyt umpeutuvat. Tämä estää mikrobitoimintaa tehokkaasti. Se, että prosessi vaatii huomattavan määrän sähkö- ja lämpöenergiaa, näkyy pohjakuormana uudessa voimalassa. Lämpöenergiantarve on noin 125 kWh irtokuutiometriä kohden (15.)

Voimalaitoksen rakennusasteeseen vaikuttaa lisäksi nykyisen kuumavesikattilan kunto. Kattilassa on ollut sen elinaikana hankaluuksia polton suhteen varsinkin osatehoilla ja korroosio-ongelmia kuvan 4 malliin (17).



KUVA 4. Putkivaurio konvektio-osan alussa (17)

Aluekehityksen kannalta uusi, paikallinen voimalalaitos on potentiaalinen ratkaisu. Ylijäämä sähköä voidaan myydä kaava-alueella ilman siirtomaksuja. Kaasua voidaan siirtää putkella esimerkiksi kunnan suurimpaan yksittäiseen lämmönnieluun, terveyskeskukseen, jossa on myös pien-CHP-tuotannon mahdollisuuksia.

Edellä olevissa kappaleissa mainitut asiat vaikuttavat suoraan energiatehokkuussopimuksen puitteissa lämpökeskukseen tehtäviin investointeihin. Uuden voimalan toteutuessa nykyinen biokattila on järkevin jättää vara-, ja/tai huippukuormalaitokseksi. Tällä tavalla puunjalostuksesta muodostuvia sivuvirtoja kuten sahanpurua voidaan käyttää hyödyksi biokattilassa kunnan muiden, tulevaisuudessa biolämmitteisiksi muutettavien, rakennusten ohessa.

3 KUNNAN ENERGIANKÄYTTÖ

Energiatehokkuussopimukseen liittyessä kartoitetaan ja raportoidaan eritellysti kunnan koko toiminnan vaatimat megawattitunnit, rakennuspinta-alat ja -tilavuudet. Kun sopimukseen liityttiin, raportoitiin vuoden 2014 tiedot, koska lämpölaitoksen ennalta suunnitteleman renovaatio vääristää muuten primäärienergian kulutusta. Yhteenveto suurimmista kuluttajista on taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Kunnan keskeisimmät kuluttajat

lämpö (MWh/a)	sähkö (kWh/a)	vesi (m³/a)
Terveyskeskus, 1162 (2015)	Terveyskeskus, 711 306 (2015)	Terveyskeskus, 3355 (2015)
Hakatalot, 580	Yläaste/lukio, 276 518	Hakatalot, 1743
Paljakkatalo, 541	Lämpölaitos, 254 892	Yläaste/lukio, 1772
Yläaste/lukio, 472	Vedenpuhdistamo, 223 567	Leiriportti, 1720
Ala-aste, 413	Honkavaaran hiihtokeskus, 181 553	Kesti, 1614

3.1 Lämpö

Kunnan kiinteistöistä valtaosa on kaukolämmössä, ja laskutustiedoista löytyivät lämmönkulutukset useammalle eri vuodelle. Jäljelle jääneiden sähkölämmitteisten kiinteistöjen lämmitysenergian kulutus laskettiin VTT:n tutkimuksen perusteella eri-ikäisten rakennusten hyötylämmitysenergian suhteena talous- ja kiinteistösähkөөn (18). Lämpöä kului yhteensä 8 345 MWh, johon on huomioitu vanha terveyskeskus.

3.2 Sähkö

Kunnan sähkömyyjän nettipalvelusta pystyi selvittämään käyttöpaikkanumeron perusteella kulutuksen miltä tahansa ajanjaksolta. Yksityishenkilöiden kulutukset eivät ole saatavana. Kiinteistösähköä ei ole mitattu erikseen suurimmassa osassa rakennuksia. Edellä mainitut seikat hankaloittavat sähkölämmitteisten rakennusten selvittämistä. Summaksi saatiin 2 810 371 kWh. Lisäämällä kunnallistekniikasta katuvalot ja pumppaamot lopputulos on 3 237 164 kWh.

3.3 Vesi

Veden kulutukseksi laskettiin laskutustietojen perusteella 24 920 m³. Syrjäkylien kouluissa eli Suolijärvellä ja Väyrylässä on omat, mittaroimattomat vedenottamonsa. Kyseisten rakennusten kuutioina käytettiin Motivan taulukkoarvoa.

3.4 Polttoaineet

Taulukon 2 ajoneuvokannan kulutus koostui kuorma-autosta, kolmesta pakettiautosta, traktorista, ruohonleikkureista ja latukoneesta. Latukone vaatii kaudessa noin 7 000 dm³ kevyeen polttoöljyyn rinnastettavaa moottoripolttoöljyä.

TAULUKKO 2. Polttonesteiden kulutus (ei lämmöntuotossa)

Polttoaine	Moottoribensiini	Dieselöljy	Moottoripolttoöljy	Yhteensä
dm ³	1 592	6 035	7 153	14 780
MWh	13,9	60,3	71,9	146

3.5 Kokonaiskulutus ja säästöpotentiaali

Taulukossa 3 on eritelty säästökohteet arvioiden lämmön ja sähkön säästön jakautuvan tasan. Kokonaissäästönä käytetään arvona sopimuksen mukaista 7,5 %:ia vuoteen 2025 mennessä.

TAULUKKO 3. Säästöt. Prosentit ovat toteutettujen toimenpiteiden keskimääräisiä osuuksia Motivalle ilmoitetuista energiavähennyksistä (19)

	Osuus lämmöstä	Hinta (€ / MWh)	Osuus säästöstä
Biopolttoaineet	3:4	23	30 % (lämpö+pa)
Poltonesteet	1:4	62,5 (POR 60 / POK 65)	
Sähkö		70	70 %
Säästöalue	Lämpö + pa (€) (% säästöistä)	Sähkö (€) (% säästöistä)	Summa (€)
LTO	440 (7 %)	238 (2 %)	678
lämmitys	1 633 (26 %)	238 (2 %)	1 871
valaistus	126 (2 %)	4 640 (39 %)	4 765
ilmanvaihto	2 199 (35 %)	1 666 (14 %)	3 864
käyttövesi	63 (1 %)	119 (1 %)	182
eristykset jne.	63 (1 %)		63
peruskorjaukset	314 (5 %)	238 (2 %)	552
toimistolaitteet		2 974 (25 %)	2 974
muut (kattila, seuranta...)	1 445 (23 %)	1 784 (15 %)	3 229
vuosisäästö 7,5 %	6 282	11 897	18 178
kumulatiivinen säästö 1 % /vuosi lisää 2025 saakka	37 690	71 379	109 070

4 TIETOJEN ANALYSOINTI

4.1 Kaukolämpö

Honkavaaran lämpökeskuksen polttoaineteho on $2,5 \text{ MW} + 3,5 \text{ MW} = 6,0 \text{ MW}$. Vuonna 2008 arvioitu huipputehon tarve $4,6 \text{ MW}$ on todennäköisesti kasvanut lähemmäksi 5 MW :a terveyskeskuksen ja sittemmin liittyneiden yksityisasiakkaiden vuoksi. Honkavaaran hiihtokeskus liitetään kaukolämpöön lähitulevaisuudessa.

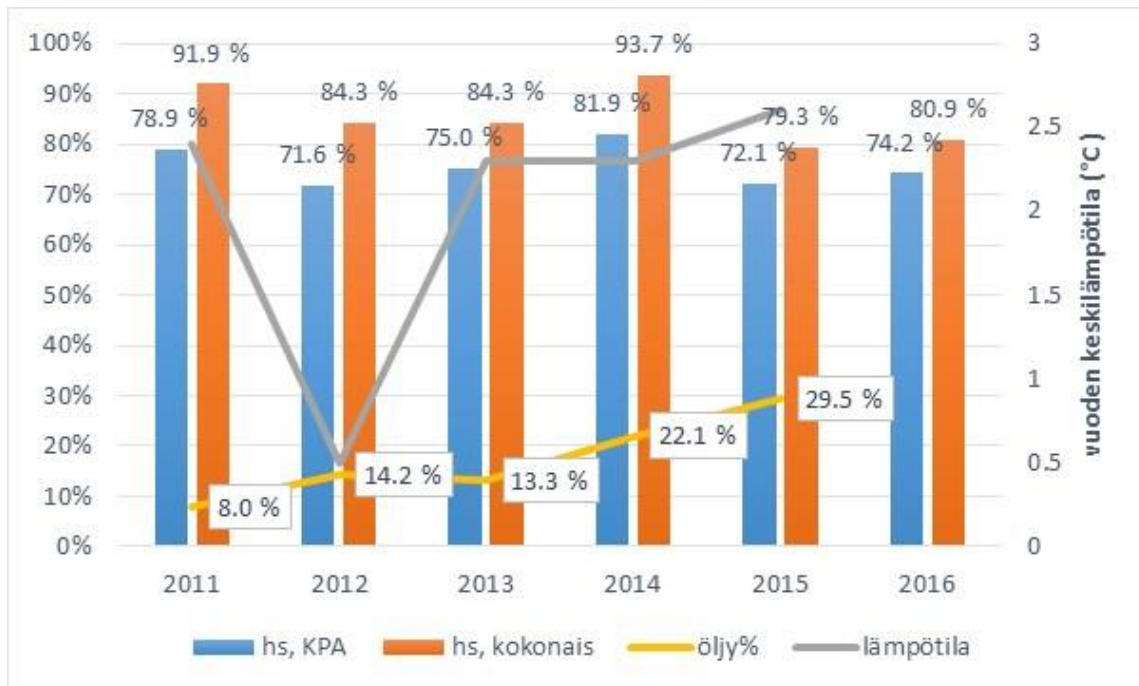
Kunnan verkon pituus on noin 17 kilometriä ja se on rakennettu pääosin 1970–80-luvuilla. Putkijärjestelmä on 2Mpuk eli kiinnivaahdotetut meno- ja paluuputket erillisissä suojakuorissa. Käytössä olevat lämmöntuottolaitokset kesällä 2016 ovat taulukossa 4. Liitteeseen 4 on merkitty numeroa vastaava sijainti.

TAULUKKO 4. Lämmöntuottolaitokset kesällä 2016

Laitos	Polttoainetehto [MW]	Käyttöönottovuosi	Sijainti
kiinteään polttoaineen kattila (KPA-kattila), liukuva viistoarinatyyppinen	2,5	1999	1 Lämpökeskus (Honkavaara)
tulitorvi-tuliputki öljykattila, POR	3,5	2001	1 Lämpökeskus
tulitorvi-tuliputki öljykattilat, POR	2,8 +1,5	2015 (rakennettu 1999)	2 Pölläniemi
tulitorvi-tuliputki öljykattilat, POR + POK	1,1+0,4	1986	3 Teollisuusalue

4.1.1 KPA-kattilan hyötysuhde

Kuvassa 5 on biopolttoaineilla tuotetun energian hyötysuhteet kalenterivuositain. Hyötysuhteella tarkoitetaan tässä yhteydessä polttoaineen kuiva-aineksen lämpöenergian suhdetta kattilassa tuotettuun lämpöenergiaan.



KUVA 5. Biokattilan hyötysuhde

Kiinteän polttoaineen kattilan hyötysuhde on heikko verrattuna kattilan hankkimishetken hyötysuhdetakuun 88–87 prosentin tavoitearvoon (puolella ja täydellä teholla). Tämä viittaa heikkoon lämmönsiirtoon savukaasuista kaukolämpöveeten.

Polttoaineen sisältämästä kosteudesta sekä palamisreaktiossa syntyvästä vedestä saadaan periaatteessa ilmaista lisäenergiaa, verrattuna suoraan hormiin johdattaessa, otettaessa savukaasupesurin palauttama latenttilämpö huomioon. Puolangalla pesuri on maksanut takaisin seitsemän vuoden aikana jo usean kerran (17). Sen osuus on kokonais- ja KPA-hyötysuhteiden erotus. Tämä ei ole verrattavissa suoraan kattilan hyötysuhteeseen, sillä kattilan

kohdalla vesihöyryn ajatellaan menevän hukkaan, jolloin on kyseessä niin sanottu alempi lämpöarvo. Kattilan kokonaishyötysuhteeseen pesurilla on sen sijaan suuri vaikutus.

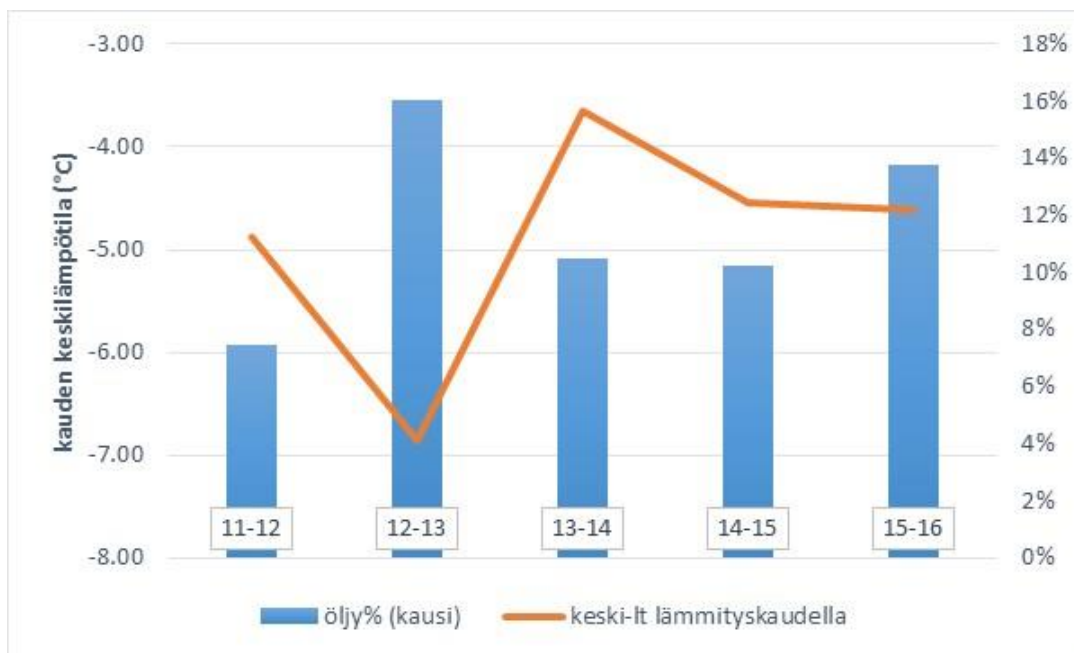
Alun perin biokattila on mitoitettu 90 prosentin vuosienergian tuottoon, 12 700 MWh:iin. Tämän otannan aikana kyseistä arvoa päästiin lähimmäksi vuonna 2011 (89,5 % mitoitusenergiasta). Toisin sanoen kattilan nykyteho on alimitoitettu saavutetulla hyötysuhteella. Teollisuusalueen öljynkäyttöä ei ole mitattu ennen vuotta 2011, minkä takia otanta asettui kyseiselle, lyhyehkölle ajanjaksolle. Vuoden 2016 tiedot ulottuvat toukokuulle.

Viime vuosina öljyyn on jouduttu turvautumaan jopa kaksi kertaa suunniteltua enemmän. Liitteestä 8 näkyy, miten kattilaa on jouduttu pitämään alhaalla pitkiä jaksoja keskellä kesää vuosina 2012 - 2014, mikä selittää osaltaan öljynkulutusta. Kevättalvella 2015 biokattila oli sähkövian vuoksi sammutettuna toista kuukautta, joten öljyn suhteellinen osuus ei ole vertailukelpoinen. Öljykattilan energiamittareiden antureiden sijainti voi aiheuttaa ylimääräistä mittausepävarmuutta. Öljyenergiaa on mitattu kuluvan ajoittain, vaikka poltin on ollut sammutettuna (17).

Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että biokattila ei kykene tuottamaan nykyisin alkuperäisten määrityksiensä mukaista energiamäärää. Heikot lämmönsiirto-ominaisuudet ja käyttöaste laskevat bioenergian osuutta tuotannosta.

4.1.2 Öljyn käyttö

Raskaan polttoöljyn kulutusta on järkevin seurata lämmityskausittain, eli milloin kattilaa ei ole sammutettu kesän huoltotoimenpiteiden ajaksi. Lämmityskausi ulottuu lokakuulta seuraavan vuoden maaliskuulle, eli kauden pituus on puoli vuotta. Kevään 2015 vika ei näy tässä tilastossa (kuva 6).



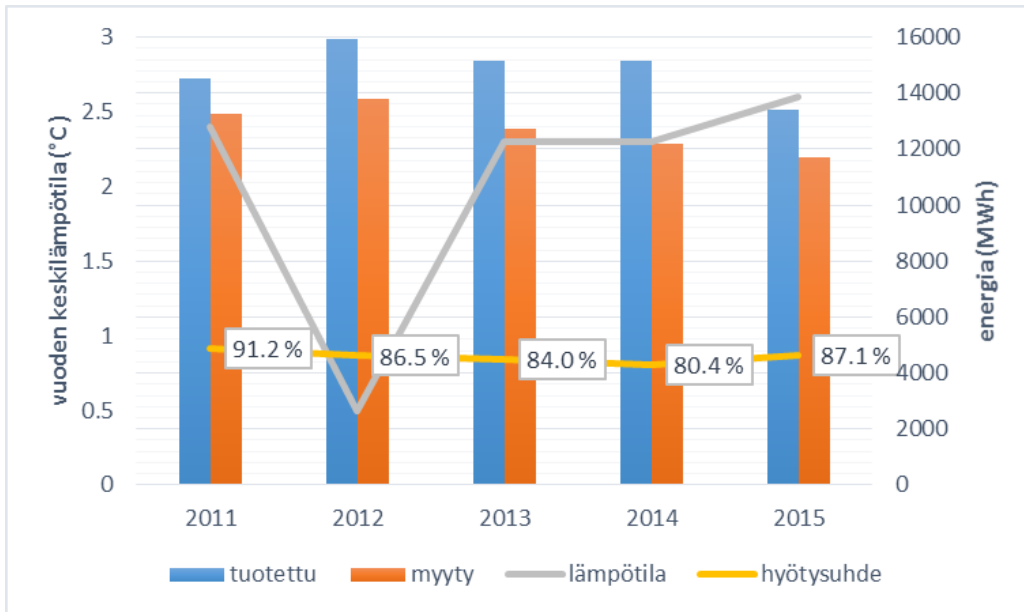
KUVA 6. Öljynkulutus talvella

Keskimääräinen öljynkäyttö on ollut viime vuosina 11,6 %. Kaudella 2012 - 2013 lämpötilalla on ollut merkittävä vaikutus. Siitä huolimatta, kun kauden lämpötila on kivunnut seuraavina vuosina 2011 - 2012 tasolle, kulutus on säilynyt kohonneella tasolla. Kaudella 2015 - 2016 öljyn osuus nousi odotusten vastaisesti. Savukaasupesurin tuoma biokattilan hyötysuhteen parannus oli lähes sama kuin kattilan hyötysuhde (kuva 5). Toisin sanoen kulutuspiikin syy on todennäköisesti muualla.

4.1.3 Kaukolämpöverkoston hyötysuhde

Kuvan 7 verkoston hyötysuhde laskettiin vertaamalla lämpölaitosten energiamittareiden summaa asiakkailta veloitettuun lämpömäärään. Vuonna 2012 hyötysuhteessa on arvattava notkahdus kuumemman menolämpötilan vuoksi. Vuoden 2014 hyötysuhde on heikko edellisvuoteen verrattuna, minkä syynä voi olla heikentynyt jäähtymä. Seuraavana vuonna on saavutettu mainio hyötysuhde, vaikka keskilämpötila ei noussut puolta astetta enempää. Kunnan kiinteistöissä suoritetut jäähtymää parantavat puhdistustyöt on todennäköisesti suurin parannuksen syistä. Alkuvuodesta 2009 havaittiin lämmönsiirrinvuoto,

jonka vuoksi tuntematon määrä öljyä on päässyt verkkoon. Tätä ei kuitenkaan havaittu vesinäyttein (17.)



KUVA 7. Verkoston hyötysuhde

Saatuun hyötysuhteen arvoon vaikuttavat muun muassa mittauksien epätarkkuudet, käytön tehokkuus, vuodot ja lämpöhäviöt. Alkuvuodesta 2013 toimintansa lopettaneen Sinisalon tehdasrakennuksen tiloja pidetään lähes normaalissa huoneenlämmössä, mutta laskutuksessa sitä ei näy. Tästä aiheutuu noin prosentin liian alhainen hyötysuhde tuleville vuosille.

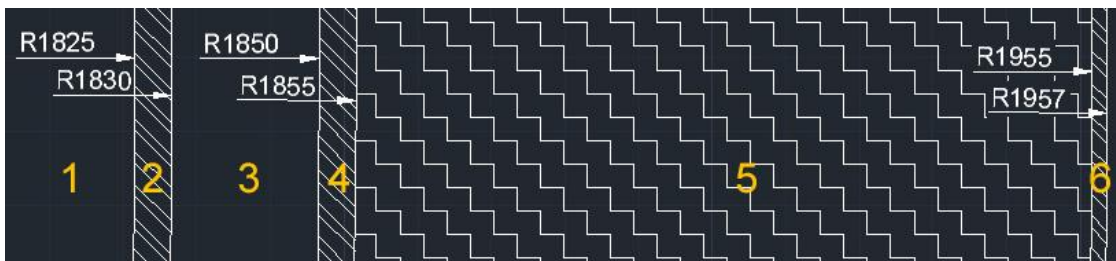
4.1.4 Öljysäiliön hukkalämpö

Honkavaaran lämpökeskuksen pihalla on sisätilavuudeltaan 50-kuutioinen ympyrälieriön muotoinen öljysäiliö, jossa säilytetään 3,5 MW:n kattilassa käytettävää raskasta polttoöljyä (POR). Vuonna 2018 voimaanastuva niin sanottu PIPO-asetus kieltää POR:n polttamisen kyseisessä laitoksessa (52).

Koska POR:n kinemaattinen viskositeetti on kylmänä liian korkea sulavan virtaamisen saamiseksi öljypolttimelle, sitä lämmitetään kaukolämmöllä. Kevyellä polttoöljyllä se on pieni. (12, s. 269.) Tämän vuoksi on tarpeellista selvittää säiliön lämmöntarve tulevia laitosinvestointeja ajatellen.

Kuvassa 8 on poikkileikkaus säiliöstä. Varsinaisen öljysäiliön päälle on jälkikäteen rakennettu kaksoisvaippa ilman kattoa. Seinämien vahvuudet ovat SFS 2737 standardin mukaisia, eli 5 millimetriä (21). Ulkokuoren vahvuudeksi arvioitiin 2 millimetriä. Numeroidut osat ovat

1. öljysäiliö, $V = 50 \text{ m}^3$, $T = 55 \text{ °C}$ (328,15 K)
2. öljysäiliön seinämä (sisävaippa), $T = 54 \text{ °C}$ (arvio)
3. ilmatila (vuotosäiliö), $V = 51,6 \text{ m}^3$, $T = 50 \text{ °C}$ (arvio)
4. vuotosäiliön seinämä (ulkovaippa), $T = 45 \text{ °C}$ (arvio)
5. polyuretaanieriste
6. suojapellitys, $T = T$, (kuukauden keskiarvo 2011–2015) + 5 °C (arvio).



KUVA 8. Öljysäiliön poikkileikkaus

Alla esitetään laskennassa käytetyt kaavat. Numeroarvot ovat liitteessä 3.

Konduktio

Johtumisella eli konduktiolla tarkoitetaan kappaleessa lämpötilaeroista johtuvaa lämmönjohtumista (22, s. 143).

Lämmönvastuksena on ympyrälieriölle kaava 3 (22, s. 114).

$$R_{vaippa} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi k_{sisävaippa}} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi k_{ilma}} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi k_{ulkovaippa}} + \frac{\ln \frac{r_5}{r_4}}{2\pi k_{eriste}} + \frac{\ln \frac{r_6}{r_5}}{2\pi k_{peltti}}$$

KAAVA 3

missä

k , sisä-/ulkovaippa/peltti = teräksen lämmönjohtavuus (22, s. 984)

k_{ilma} = vuotosäiliön ilman lämpötilaa vastaava lämmönjohtavuus (22, s. 995)

k_{eriste} = ruiskutetun polyuretaanieristeen lämmönjohtavuus, arvio

Teho on kaavan 4 mukaan (22, s. 116).

$$\Phi_{ulkovaiippa} = \frac{(T_{öljy} - T_{ulko})}{R_{vaiippa}} * A_{vaiippa} \quad \text{KAAVA 4}$$

Katon ja pohjan lämmönjohtavuus on seuraava (kaava 5).

$$R_{katto/pohja} = \frac{S_{sisävaippa}}{A * k_{sisävaippa}} + \frac{S_{eriste}}{A * k_{eriste}} + \frac{S_{pelti}}{A * k_{pelti}} \quad \text{KAAVA 5}$$

missä

s = vahvuus (mm)

Kaavan 6 kokonaisteho katolle ja pohjalle on käytännössä kaksi kertaa katon arvo, koska betoniperustan lämmönjohtavuus on heikompi kuin ilman (22, s. 993).

$$\Phi_{katto/pohja} = 2 * \frac{(T_{öljy} - T_{ulko})}{R_{\frac{katto}{pohja}}} * A_{katto} \quad \text{KAAVA 6}$$

Konvektio

Konvektio on liikkuvan fluidin mukanaan kuljettamaa energiaa. Säiliön voidaan ajatella olevan lisäeristyksellä varustettu kahvipullo, jossa öljystä siirtyy lämpöä konvektiivisesti sisävaippaan. Ilmatilassa tapahtuu konvektiivista lämmönsiirtoa ensin sisävaipasta ilmatilaan ja seuraavaksi ilmatilasta ulkovaippaan.

Molemmat ajatellaan tässä tapauksessa yhtä suuriksi eristysten vuoksi.

Lopuksi lämpöä siirtyy ympäröivään ulkoilmaan pellin pinnasta kaavalla 7.

$$\Phi_{konv,öljy \rightarrow sisävaippa} = \frac{(T_{öljy} - T_{sisävaippa})}{R_{öljytila}} * A \quad ; R_{öljytila} = \frac{1}{2\pi r_1 h_s} \quad \text{KAAVA 7}$$

missä

h, s = öljyn ja sisävaipan välinen konvektiivinen lämmönsiirtokerroin, arvio 100 W/m²K

Sisävaipasta ulkovaippaan siirtyy vastaavasti kaavalla 8.

$$\Phi_{konv, sisävaippa \rightarrow ulkovaippa} = \frac{(T_{sisävaippa} - T_{ilmatila})}{R_{ilmatila}} * A ; R_{ilmatila} = \frac{1}{2\pi r_3 h_{ilma@50^\circ C}} \quad \text{KAAVA 8}$$

Ulko-osalle lasketaan aluksi Grasshoffin luku eli nostevoimien suhde viskoosisiin vapaassa konvektiossa (22, s. 599). Pakotetun konvektion, eli käytännössä navakan tuulen, mittaustietoa ei ole, joten se jätetään huomiotta.

Ulkolämpötilana käytetään vuosien 2011 - 2015 keskiarvoa 275,15 K ja ilman viskositeettina tätä vastaavaa interpoloitua arvoa (22, s. 995) (kaava 9).

$$Gr = \frac{\beta * g * L^3 (T_{peltti} - T_{ulko})}{\nu^2} ; \beta = \frac{1}{T_{ka, vuosi}} \quad \text{KAAVA 9}$$

missä

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$L = \text{säiliön korkeus} = 4,9 \text{ m}$$

Seuraavaksi voidaan selvittää Rayleighin luku eli konvektiivisen ja viskoosisten voimien suhde. Kaavassa 10 olevalla Prandtin luvulla tarkoitetaan liikemäärän diffuusion suhteutusta johtumiseen (22, s. 605).

$$Ra = Gr * Pr \quad \text{KAAVA 10}$$

Nusseltin luku, eli konvektiivisen lämpövirran suhde johtumisvirtaan lasketaan kaavoilla 11 (22, s. 605) ja 12 (22, s. 610) erikseen vaipalle ja katolle.

$$Nu_{vaippa} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad \text{KAAVA 11}$$

$$Nu_{katto} = 0,15 * Ra^{\frac{1}{3}} \quad \text{KAAVA 12}$$

Pellin pinnan konvektiiviset lämmönsiirtokertoimet saadaan kaavasta 13, jossa k = ilman lämmönjohtavuus on vuosien keskilämpötilojen mukainen taulukkoarvo (22, s. 995).

$$Nu_{vaippa} = \frac{h \cdot L}{k} \rightarrow h = \frac{Nu_{vaippa} \cdot k}{L} \quad \text{KAAVA 13}$$

Katolle korkeutena L käytetään kaavassa 14 karakteristista pituutta, pinta-alan suhdetta vaipan alaan.

$$Nu_{katto} = \frac{h \cdot L}{k} \rightarrow h = \frac{Nu_{katto} \cdot k}{L} \quad \text{KAAVA 14}$$

Lämpöteho saadaan kaavalla 15 vaipan ja katon osatehojen summana.

$$\begin{aligned} \Phi_{konvektio, kokonais} &= h_{vaippa} \cdot A_{vaippa} \cdot (T_{pelti} - T_{ulko}) + h_{katto} \cdot A_{katto} \\ &\cdot (T_{pelti} - T_{ulko}) \end{aligned} \quad \text{KAAVA 15}$$

Säteily

Säteilyssä lämpö siirtyy elektromagneettisina aaltoina ympäröivään ilmaan. Koska säiliössä on ilmatila, säteilee kuumempi sisävaippa lisäksi ulkovaippaan teholla kaavalla 16 (22, s. 885)

$$\begin{aligned} \Phi_{sät, sisävaippa} &= \frac{\sigma \cdot A_{sisävaippa} \cdot (T_{sisävaippa}^4 - T_{ulkovaippa}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{sisävaippa}} + \frac{1 - \varepsilon_{ulkovaippa}}{\varepsilon_{ulkovaippa}} \cdot \left(\frac{r_{sisävaippa}}{r_{ulkovaippa}}\right)} \end{aligned} \quad \text{KAAVA 16}$$

missä

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmannin vakio} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$$

ε = maalaamattoman ruostumattoman teräksen emissiivisyys

Kokonaissäteilyteho on kaavan 17 kahden edellisen kaavan summa, josta sisävaipan teho on vakio.

$$\Phi_{sät, kokonais} = \Phi_{sät, sisävaippa} + \Phi_{sät, ulkopinta} \quad \text{KAAVA 17}$$

Energia

Vuosienergia saadaan kuukausien energioiden summana kaavalla 18.

$$E_{vuosi} = \sum(Q_{konduktio} + Q_{konvektio} + Q_{säteily}) * t = 86,2 \frac{MWh}{a} \quad \text{KAAVA 18}$$

4.2 Terveyskeskus

Kesällä 2014 käyttöön otettu uusi terveyskeskus on merkittävin kaukolämmönnielu. Koska muita liittymiä ei ole ollut tämän jälkeen, on hyvä tarkastella sen kulutusta korvattuun, vanhaan terveyskeskukseen taulukossa 5.

Valitaan vertailuajankohdaksi vanhalle terveyskeskukselle lämmityskaudet 2011 - 2012 (keskilämpötila –4,9 astetta) ja 2013 - 2014 (keskilämpötila –3,7 astetta).

Uudelle terveyskeskukselle valitaan vastaavasti 2014 - 2015 (keskilämpötila –4,6 astetta) ja 2015 - 2016 (keskilämpötila –4,6 astetta)

Lämmityskaudella tarkoitetaan tässä yhteydessä ajanjaksoa marras-huhtikuu (laskutuskäytännöstä johtuva valinta), ja kausi 2012 - 2013 sivuutetaan, koska keskilämpötila oli –6,9 astetta.

TAULUKKO 5. Terveyskeskuksien lämmönkulutukset

Kausi	Vanha	Uusi
2011-2012	815,6	
2013-2014	1051,5	
2014-2015		849,5
2015-2016		1162,7

Vertailtaessa kahden viime lämmityskauden 691 MWh:n kulutuseroa ja kuvan 6 lämmityskauden öljynkulutusta uuden terveyskeskuksen vaatima lämpöenergia on todennäköisin syy kasvaneeseen kulutukseen. Muita merkittäviä muutoksia asiakaskunnassa ei ole ollut. Biokattilan hyötysuhdekin säilyi samana (kuva 5).

Lämmityskaudella 2014-2015 (loka-maaliskuu) öljyllä tuotettiin 1045 MWh ja kaudella 2015-2016 1568 MWh. Todennäköisesti uusi terveyskeskus vaatii siis lisäksi noin 523 MWh:n edestä öljyä, mikä on kaavan 19 mukaisesti

$$\text{öljyä}_{\text{uusi TK}} = \frac{523 \text{ MWh} * 3600 \frac{\text{MJ}}{\text{MWh}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3}}{41,42 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,980 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} \approx 47 \text{ m}^3 / \text{kausi}$$

KAAVA 19

missä

MJ/kg = POR:n tehollinen lämpöarvo (12, s. 269)

kg/dm^3 = POR:n tiheys (12, s. 269)

Oletuksena on, että lämpötilat ja biokattilan kunto säilyvät nykyisen kaltaisina. Sähkölämmitteisen Honkavaaran hiihtokeskuksen kaukolämpöön liittyminen nostaa kulutusta laskennallisesti ~120 MWh (18, s. 36). Sen vaatima öljymäärä voidaan arvioida suoraan suhteellisesti.

4.3 Rakennukset

Kunnan omistamia kiinteistöjä voidaan vertailla keskenään tai muiden paikkakuntien rakennuksiin. Koska Motiva tarjoaa tietoa valtakunnallisesti erityyppisistä rakennuksista (23), on järkeenkäyvää vertailla arvoja niihin (24).

Lämmityksen energiankulutus on energiamielessä tärkein vertailukriteeri, mutta lämpötilaeroista johtuvien erojen kompensoimiseksi lämmitysenergiat on normeerattava kaavalla 20 (25).

$$Q_{\text{norm}} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} * Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$$

KAAVA 20

missä

Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

S, N *vpkunta* = normaalivuoden (1981-2010)

lämmitystarveluku paikkakunnalla

S , *toteutunut vpkunta* = toteutunut lämmitystarveluku vuositasolla paikkakunnalla

Q , *toteutunut* = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

Q , *kok* = rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

Q , *lämmin käyttövesi / lkv* = käyttöveden lämmittämisen vaatima energia

Tilojen lämmityksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta saadaan kaavalla 21 (25). Vedenkulutuksena käytetään pinta-alaan perustuvaa arvoa rakennuksille, joiden vuosittaisia vedenkulutuslukumia ei saatu käyttöön. Pidemmän ajan keskiarvovertailu on mahdollisimman tarkkaa todellisilla arvoilla, eivätkä esimerkiksi muuttuneet asukasmäärät vaikuta lämmönkäytön suhteisiin.

$$Q_{\text{toteutunut}} = Q_{\text{kok}} - Q_{\text{lkv}} \quad ; \quad Q_{\text{lkv}} = 58 * V_{\text{lkv}} \quad \text{KAAVA 21}$$

missä

58 = veden lämmittämiseen kuluva energiamäärä (kWh/m³)

V , *lkv* = mitattu vedenkulutus. Muissa tapauksissa rakennuksen pinta-alaan ja tyyppiin mukaan määräytyvä oletusarvo (m³/br-m²).

Kuvassa 9 on rakennuksien ominaiskulutuksen (kWh/r-m³) prosenttiosuus Motivan valtakunnalliseen keskiarvoon verrattuna. Prosenttiarvoa ei kuitenkaan voida pitää ohjenuoraa kummempana, koska rakennukset ovat yksilöitä teknisesti ja käyttöprofiileiltaan. Valtaosa sijaitsee lisäksi etelämpänä. Tilavuudet, iät ja seurannan kattavuus vaikuttavat omilta osiltaan (23). Kunnanvirasto ja viereinen paloasema ovat saman kaukolämpömittarin takana, ja tämän arvon puolikasta on käytetty laskennassa, koska taulukon mukaiset ominaiskulutukset ovat lähes samat. Uuden terveyskeskuksen vedenkulutuksena käytettiin mitattua arvoa ja vuoden 2015 lämmönkulutusta. Muiden taulukossa listattujen rakennuksien ominaiskulutuksien vuosien 2011 - 2015 keskiarvo on vertailukohta Motivan valtakunnalliseen keskiarvoon (23).

Kiinteistö	Vertailuarvo	%
Hakarivi*	58,6	93 %
Hakatalot*	58,6	180 %
Heikkilä*	58,6	99 %
Kesti*	58,6	101 %
Ketola*	58,6	125 %
Kirjasto	33,1	67 %
Kirkonkylä, ala-aste	45,2	127 %
Kirkonkylä, liikuntahalli	37,6	145 %
Kirkonkylä, paja	49,0	127 %
Kirkonkylä, ylä-aste/lukio	45,2	110 %
Koivuranta	58,5	78 %
Koulurivi*	58,6	135 %
Kunnanvirasto	46,3	100 %
Leiriportti*	58,6	127 %
Leiriranta*	58,6	131 %
Lääkäririvi	58,6	108 %
Monitoimitalo	49,2	117 %
Päiväkoti	58,5	197 %
Sinirivi*	58,6	130 %
Terveyskeskus*	53,5	133 %
Työpaja (ex vanhainkoti)	49,2	107 %
Veteraanitalot*	58,6	102 %
Vihlakka (työkeskus)	75,0	172 %

kWh/r-m³

KUVA 9. Kunnan omistamien ja/tai hallinnoiminen kaukolämmitteisten rakennusten ominaiskulutukset. Todellisilla vedenkulutusarvoilla lasketut rakennukset on merkitty tähdellä.

5 KEHITYSEHDOTUKSET

Seuraavissa luvuissa pohditaan lämpö- ja vesilaitostoiminnan kehittämistä. Terveyskeskukseen harkitaan mikroturbiinin hankkimista.

5.1 Kaukolämpötoiminta

Lämpölaitoksen tehtävänä paine-eron takaaminen ja asiakkaiden vaatiman lämpöteho vaatimuksen saavuttaminen (12, s. 199). Näiden perusasioiden toimivuutta mietitään seuraavissa luvuissa.

5.1.1 Kiertovesipumpun mitoitus

Lämpöjohtopumppuina on kaksi rinnankytkettyä Tekmo NER 125 - keskipakopumppua, joita ajetaan taajuusmuuttajien ohjaamalla ABB:n 18,5 kW:n tehoisilla M2AA 160 L2 -sähkömoottoreilla.

Taajuusmuuttajan tarkoitus kiertovesipumpun yhteydessä on riittävän nostokorkeuden (paine-eron) säätäminen. Virtaamaan vaikuttaa suoraan asiakkaiden laitteiden tehontarve. Verkoston painehäviöllä tarkoitetaan verkoston eri osista aiheutuvaa nostokorkeutta eli kitkavoimista johtuvaa painehäviötä. Putki- ja paikallisvastukset, eli virtausputkien materiaalista, mutkista, yhteistä ja lämmönsiirrinlaitteiden komponenttien aikaansaamista kitkahäviöistä koostuu pääosin lämmöksi muuttuva kitkavastus (15).

Talvipakkasten aikaan on ollut tilanteita, joissa verkoston hännillä sijaitseviin asuinrakennuksiin ei riitä lämpöä (17). Liitteessä 3 kyseinen alue on merkitty numerolla 8. Samaan kuvaan on myös merkitty numeron 8 yläpuolelle runkoventtiili, jolla on yritetty pitää keskustan ohittavaa siirtojohtoa erillään pakkasilla. Syitä voivat olla esimerkiksi riittämätön virtaama (heikko paine-ero), tai matala menoveden lämpötila. Laitoksen ylläpitäjien huomioima taajuusmuuttajien huomattava lämpiäminen tietyissä ajotilanteissa talvella voi viitata niin sanottuun ylikierroksella ajamiseen, jossa pumppuille syötetään yli 50 Hz:n taajuutta (26, s.12). Edellä mainittujen seikkojen takia on syytä arvioida

vuonna 1999 mitoitettujen pumppujen soveltuvuutta nykypäivänä ja verkoston lämpöhäviöitä.

Laitoksen automaatiojärjestelmän logitiedostosta tarkkailtiin meno- ja paluupuolien paineita ja virtaamaa yöltä 24.6.2016, jolloin ulkolämpötila oli 12,8 astetta. Paine-eroksi mitattiin laitoksella 6,43–5,25 bar = 1,18 bar virtaaman ollessa 26,52 m³/h sekä pumpun pyörimisnopeuden 1520 kierrosta minuutissa (r/min). Kiertovesipumput ovat Teollisuusalueen lämpökeskuksen mukaan vakioaine-ero-ohjattuja (Liite 3, numero 3).

Laitoksen työasema ei tallenna logeja kuin neljän viikon ajalta, joten vertailun vuoksi lukemia tarkkailtiin työn edetessä useamman kerran. K-arvo säilyi suurin piirtein samana mittauskertojen välillä, joten sen arvioitiin käyttökelpoiseksi.

Arvioitaessa verkoston nostokorkeutta voidaan käyttää kaavaa 22 ja nostokorkeutta 12,1 metriä (1,18 bar).

$$\Delta H = k * Q_v^2 \quad \text{KAAVA 22}$$

missä

ΔH = nostokorkeus (metriä)

k = verkoston oma vastuskerroin (vakio). Siihen sisältyy kitka- ja kertavastukset.

Q_v = tilavuusvirta (m³/s)

Selvitetään kerroin k edellisestä kaavalla 23

$$k = \frac{\Delta H}{Q_v^2} = \frac{12,1 \text{ m}}{\left(\frac{26,52 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)^2} = 2222968 \quad \text{KAAVA 23}$$

Tämän jälkeen saadaan kaavalla 22 halutulla virtaamalla sitä vastaava nostokorkeus. Talvivirtaama on lämpölaitoksenhoitajan mukaan talvipakkasilla noin 65 m³/h (17). Taulukossa 6 on verkoston ominaiskäyrän piirtämisessä käytettäviä arvoja.

TAULUKKO 6. Kaukolämpöverkoston käyttäytyminen

Qv (m³/h)	10	20	30	40	50	60	65
Qv (dm³/min)	167	333	500	667	833	1000	1083
ΔH (m)	2	7	16	28	43	62	73

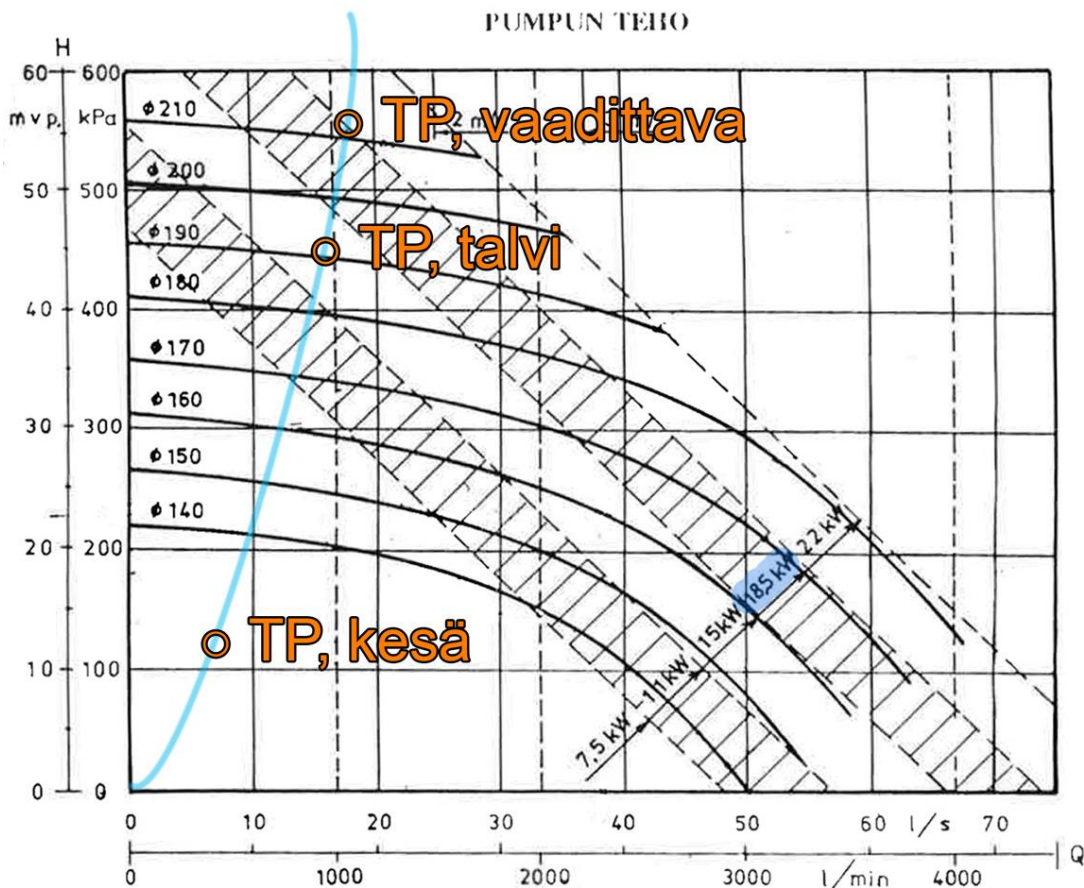
Siirtämällä arvot pumpun valmistajan toimittajan käyrään toimintapiste selviää. Kaukolämpöverkon ollessa suljettu ei staattista (vastapaineesta johtuvaa) nostokorkeutta ole, vaan se muodostuu pelkästä dynaamisesta kitkavastuksesta. Toisin sanoen nostokorkeus alkaa arvosta 0 metriä.

Pumpun suurin pyörimisnopeus on 2 920 r/min, ja sitä vastaava nostokorkeuden selvityksessä toimii kaavan 24 affiniteettilaki, jolla saadaan talviajan vaadittava nostokorkeus. Taajuusmuuttajakäytössä laki on riittävän tarkka (12, s. 172).

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \rightarrow H_1 = \frac{H_2}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \frac{12,1 \text{ m}}{\left(\frac{2920 \text{ r/min}}{1520 \text{ r/min}}\right)^2} = 44,8 \text{ m} \quad \text{KAAVA 24}$$

Verkoston ominaiskäyrä on kuvaaja, joka kertoo kullakin virtaamalla pumpulta vaadittavan nostokorkeuden tai päinvastoin tietyllä nostokorkeudella aikaansaadun virtaaman. Kun tämä käyrä asetetaan pumpun valmistajan tuottaman nostokorkeus/virtaamakaavion yhteyteen, voidaan arvioida pumpun toimintapistettä (TP). Toimintapisteellä tarkoitetaan todellista tilannetta lämpölaitoksella.

Kuvan 10 mukaan laskennallinen talven toimintapiste vaatii enemmän nostokorkeutta kuin nykyisellä Ø180mm juoksupyörällä voidaan tuottaa. 18,5 kW moottorin teho jää alimitoitetuksi nykyiselläkin juoksupyörällä. Kovimmillakin pakkasilla Honkavaaran lämpölaitoksen 6 MW:n nimellisteholla täytyisi pystyä kattamaan periaatteessa koko verkoston tehontarve, mutta verkoston rakenteen vuoksi Teollisuusalueen lämpökontti on nykyisellään tarpeellinen.



KUVA 10. Kaukolämpöpumpun toimintapiste

Talvivirtaama $\sim 1100 \text{ dm}^3/\text{h}$ saadaan tuotettua rinnankytkennällä, jolloin suurin virtaama on teoreettisesti kummankin pumpun maksivirtaaman summa. Käytännössä verkoston vastukset rajoittavat virtaamaa rinnanajossakin (26, s. 6), mutta nykyään ollaan yhdelläkin pumpulla hyvin lähellä tarvittavaa virtaamaa.

Verkoston käyrä muodostettiin lämpimänä aikana, jolloin kiinteistöjen lämmitysverkostoihin menee säätöventtiilien ohjaamana vähän virtaamaa, tai ne saattavat jopa olla virtaamattomina kesäsulkuventtiilien takana. Niistä koostuvaa painehäviötä ei siksi ole mukana verkoston ominaiskäyrässä. Näin ollen talvitoimintapiste vaatii todennäköisesti enemmän nostokorkeutta, kuin mitä laskennallisesti saatiin.

Liitteen 4 numeron 3 Teollisuusalueen lämpökeskusta ajetaan rinnan Honkavaaran kanssa tyypillisesti joului- ja helmikuun välisenä jaksona. Tämä aiheuttaa niin sanotun kuolleen alueen ilmiön, jota on kuvattu varalämpökeskuksen suunnasta tulevalla punaisella virtaamasuuntanuolella ja Honkavaaran vastaavan oranssilla nuolella. Rinnankäytössä menovettä pumpataan ”vastavirtaan” laitoksien välillä, jolloin virtaama pysähtyy. Lämpöhäviöitä kertyy turhaan kuumen veden seisoessa putkessa. Numeron 8 tienoilla on usein heikko lämmönsiirto (17). Muuttamalla Teollisuusalueen lämpökeskuksen toisen kiertovesipumpun välipumppaamoksi on mahdollista välttää turhaa pumppausta, mikäli verkon perälle asennetaan paine-eromittaus. Samalla Honkavaaralta vaadittava nostokorkeus laskee.

5.1.2 Jäähdytymän parantaminen

Verkoston jäähdytymällä tarkoitetaan menevän ja lähtevän veden välistä lämpötilaeroa, jonka on hyvä olla mahdollisimman suuri. Mikäli asiakkaiden laitteissa on heikko jäähdytys, tilavuusvirta kasvaa kaavan 25 lämmönsiirtimen tehon yhtälön mukaisesti

$$\dot{Q}_v = \frac{\Phi}{\rho * C_p * \Delta T} \quad \text{KAAVA 25}$$

missä

\dot{Q}_v = tilavuusvirta, virtaama (m³/s)

Φ = teho (kW)

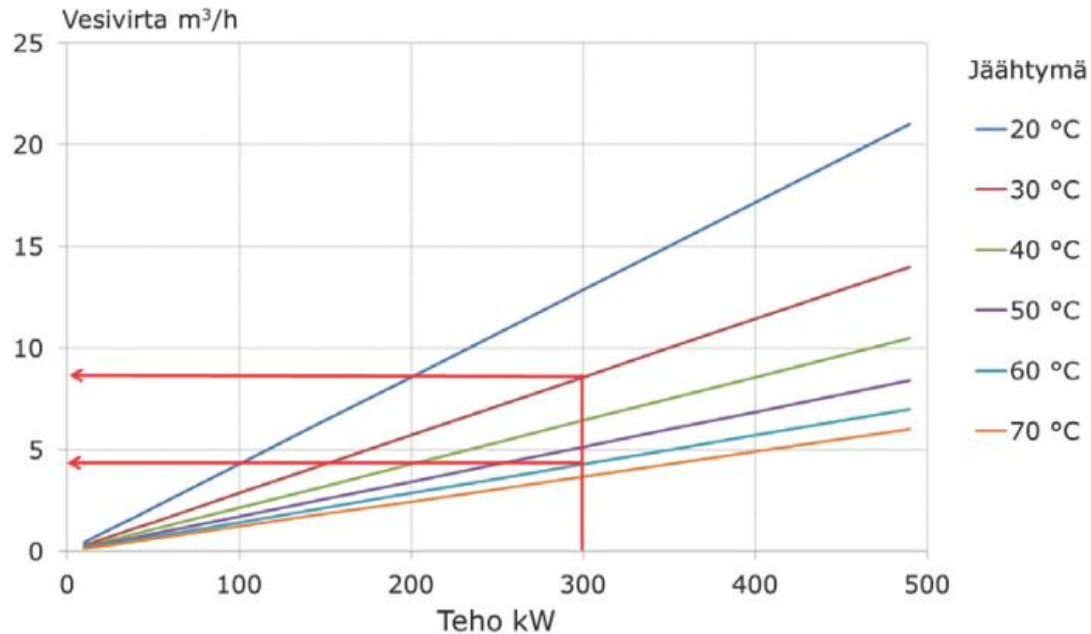
ρ = tiheys (kg/m³)

C_p = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg*°C)

ΔT = lämpötilaero (°C / K)

Esimerkiksi kuvan 11 mukaan jäähdytymän parantuessa 30 °C laskee virtaama 50 %. Liian suurta virtaamaa ylläpitävä kiertovesipumppu voi vaikuttaa osaltaan heikkoon jäähdytymään, missä tapauksessa vesi ei ehdi viilenemään asiakaslaitteissa tarpeeksi. Tämä kasvattaa osaltaan myös lämpöhäviöitä.

Edellisen kappaleen perusteella on mahdollista, että Honkavaaran pyrkiessä säädettyyn paine-eroon teollisuusalueella, vesi holvaa lahden pohjoispuolella lämmönsiirtimien läpi. Virtaaman kasvaessa painehäviökin nousee.



KUVA 11. Jäähtymän vaikutus (27, s. 22)

Lämpölaitoksella on biokattilan yhteydessä märkäpatja-savukaasupesuri, joka toimii tiivistämällä polttoaineessa ja palamisilmassa olevaa vesihöyryä. Latenttilämpö viedään lämmönsiirtimen kautta kaukolämmön paluuveteen, jolloin muuten hukkaan menevä energia saadaan talteen. Pesuri on mitoitettu enintään 50 °C:n paluuvedelle, joten nykyisellä keskimäärin 58 °C:n paluulämpötilalla ei toimita parhaan hyötysuhteen alueella. Mitä alhaisempi paluulämpötila on, sitä vähemmän korvaavaa polttoainetta tarvitaan biokattilassa veden lämmittämiseen säädettyyn menolämpötilaan. Esimerkiksi 8 °C parantuneella jäähtymällä polttoaineesta saadaan lähes 11 % enemmän energiaa (28).

Kenttätutkimuksen perusteella kunnan kiinteistöjen lämmönsiirrinten keski-ikä on 24 vuotta, joten niissä on hyvin todennäköisesti vuotoja ja muita hyötysuhteeseen vaikuttavia vikoja. Kiinteistöissä ei suoriteta säännöllisesti

lianerotimien tyhjentämistä, mikä nopeuttaa lämmönsiirrinten likautumista. Itse siirtimiäkään ei tarkisteta lian varalta, vaan niihin on kertynyt todennäköisesti lämmönsiirto-ominaisuuksia heikentävää likakerrosta, mikä lisää myös painehäviötä.

5.1.3 Lämmön tuotanto

Kiinteän polttoaineen kattilaa ajetaan talviaikaan seospoltolla, hakkeella ja sahanpurulla, noin 2:1 suhteella. Hakkeen osuudesta kokopuuhakkeen osuus on yli 90 % lopun ollessa metsäpuuhaketta. Vähäisemmän tehontarpeen vallitessa purun suhteellinen osuus nousee, jolloin suuremman kosteusprosentin vuoksi palamisen nopeutta ja täten lämmön siirtymistä on helpompi hallita. (17.)

Kuvassa 12 on nähtävissä tuhkan suurehkoa partikkelikokoa. Osa tästä on tuhka-arinan läpi tullutta palamatonta ainesta, mutta kattilan lyhimmillään kahden kuukauden välinen nuohousväli viittaa polttotapahtuman epätäydellisyyteen, joskin arinakattiloissa on tyyppillisesti suhteellisen suuret palamattomien häviöt (29, s. 153).



KUVA 12. Tuhka-astian sisältöä

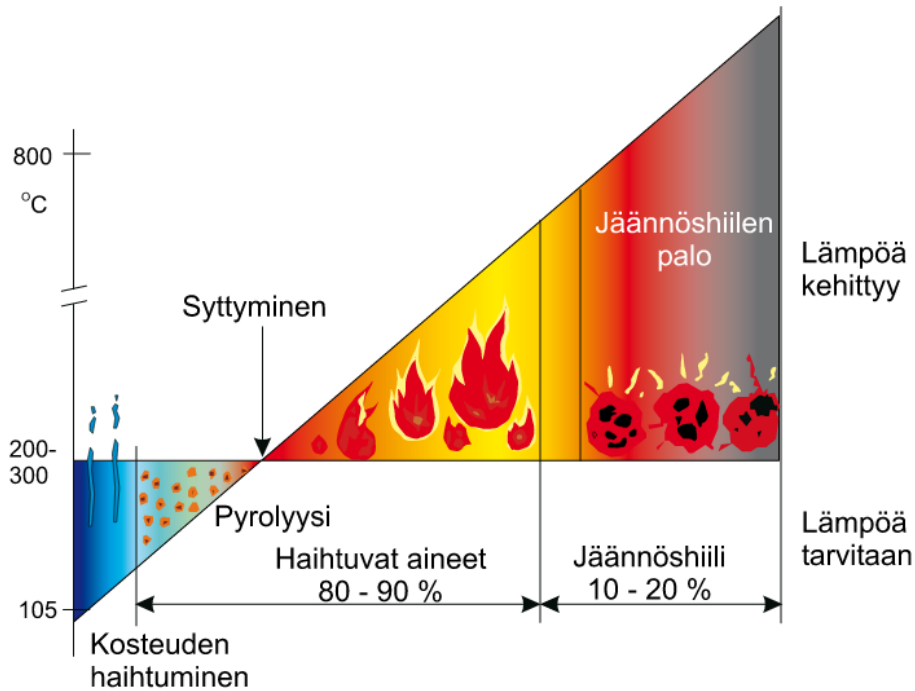
Arinan tarkastusluukuista seurattiin työn aikana etupesän tilannetta ja kiinteitä, hehkuvia partikkeleita liikkui jatkuvalla syötöllä kipinöiden kohti konvektio-osia. Savukaasupesurin ollessa pois käytöstä myös multisyklonissa saakka on huomattu ajoittain silmämääräisestikin partikkeleita (17). Savukaasujen takaisinkierrätys on rakennettu suoraan sykloniin. Pahimmassa tapauksessa aliteri'än tukkeutuminen estää partikkeleiden poistumisen laitteesta ja aiheuttaa koko kattilan alasajon.

Polttoaine on syöttösiilossa tyypillisesti kerroksittain (kuva 13), josta sitä liikutetaan alhaalta käsin tankopurkaimin liukuhinakuljettimelle, ja edelleen mekaaniselle viistoarinalle. Riippuen ulkolämpötilasta polttoaine voi paakkuuntua kosteuden jäätyessä, mikä osaltaan heikentää sekoittumista.



KUVA 13. Polttoainesiilo

Polttoprosessi voidaan jakaa karkeasti neljään eri osaan (kuva 14). Optimaalisesti toimivassa kattilassa on käynnissä yhtä aikaa kaikkia eri vaiheita. Prosessi on endoterminen noin 270 °C:seen saakka, eli reaktiot vaativat enemmän energiaa kuin tuottavat.



KUVA 14. Puun palaminen (30, s. 42)

Tapahtumat on esitetty eritelty tarkemmin alla.

- Aluksi kosteus alkaa haihtua, kunhan lämpötila on noussut korkeammaksi kuin 100 °C.
- Pyrolyysivaihe tapahtuu hapen läsnä ollessa alueella 270 - 500 °C. Suuret molekyylit hajoavat toisiksi yhdisteiksi, eli hapeksi, typpi- ja rikkiyhdisteiksi sekä vedyksi.
- Syttyminen tapahtuu välillä 225–270 °C näkyen liekehtimisena haihtuvien aineiden palaessa. Pyrolyysikaasujen konsentraatio ja lämpötila vaikuttavat tarkkaan hetkeen, johon puolestaan vaikuttaa kosteuden siirtymisnopeus partikkelissa. Sekundääri-ilman tarve on suurimmillaan.
- Kiinteä jäännöshiili eli koksi palaa lopuksi liekittä primääri-ilman avulla. Korkean hiilipitoisuuden vuoksi 25–50 % lämpöenergiasta on sitoutunut siihen. (31.)

Arinan alta puhalletaan primääri-ilmaa neljästä eri kohdasta (liite 5).

Polttoainekerros käy läpi kolme eri vyöhykettä:

1. kuivaus- ja lämmitys
2. kaasuuntuminen ja kaasujen syttyminen
3. kiinteän polttoaineen palaminen. (31, s. 152.)

Saapuvan polttoaineen kosteuspitoisuus on 50–55 %. Sen vaatima energia on murto-osa varsinaiseen lämmitykseen verrattuna (31, s. 152).

Lämmityskaudella arinalle päätyvän veden haihduttaminen vie suhteellisesti enemmän aikaa. (taulukko 7). Erikoisen märkien polttoaineiden kuten sahanpurun on siten viivyttävä normaalia pidempi aika arinaraudoilla.

Primääri-ilma voi puhaltaa polttoainekerrokseen paikallisia reikiä, mikäli kerroksen laatu on epätasainen. Reiän kohdalla lämpötila laskee ja häkäkaasun hapettuminen hiilidioksidiksi voi estyä. Turbulenssielimillä on mahdollista ulottaa primääri-ilman laajenemista suuremmalle alalle ja pienentää paikallisia virtaaman nopeuseroja. Mitä suurempia tehoa kattilalta vaaditaan, sitä suurempi ilmavirtaus vaaditaan ilmakertoimen pitämiseksi arvossa ~1,3. Tämä lisää palamattoman kiintoaineen osaa häviöissä, kuten tekee myös helposti pölyävän polttoaineen kuten sahanpurun käyttö. Koska typpimolekyylit ei osallistu palamisen kemialliseen reaktioon, mutta sitoo lämpöä, turhan yli-ilman puhaltaminen lisää lämpöhäviöitä.

TAULUKKO 7. Palamisen hyvyteen vaikuttavia seikkoja (31)

Tekijä	Ominaisuudet	Ilmiöt
viipymäaika	tulipesän koko, muotoitu, sekä veto	Jos viipymäaika on liian pieni, puun pyrolyysikaasut eivät ehdi reagoida hapen kanssa ennen joutumista savupiippuun, ja palaminen on epätäydellistä

lämpötila	polttolaitteen lämmönvaraavuus ja ilmansyötön säätely	Jos lämpötila ei ole riittävän korkea, palamisreaktiot eivät voi tapahtua. Liiallinen palamisilman syöttö voi jäähdyttää tulipesää
palamisilman määrä	palamisilman syöttö	Palamisilmaa ei ole riittävästi reaktioihin, jolloin palaminen on epätäydellistä. Jos ilmaa on liikaa, lämmönsiirron hyötysuhde heikkenee
sekoittuminen	tulipesän muotoilu ja palamisilman syöttö	Jos palamisilma ei sekoitu pyrolyysikaasujen kanssa, ilma- ja pyrolyysikaasuvirtaukset kanavoituvat, ja reaktioita ei pääse tapahtumaan

Liitteessä 5 näkyy primääri-ilmakanavat ulkoa ja arinan alta. Kanavissa olevilla venttiileillä voidaan ohjata virtaamaa kuristamalla. Kuristussäädön haittapuoli on painehäviö, mutta puhtaampi palotapahtuma on tärkeämpi kokonaistehokkuuden kannalta. Tuhkassa näkyvään kiintoainepitoisuuteen on mahdollista vähentää ohjaamalla lämmittävää ilmaa enemmän arinan yläpäähän, jolloin jäännöshiilen palamiseen jää enemmän aikaa. Tulipesän materiaalin ja savukaasujen säteily ovat tehokkaimmat lämmitystavat arinakattiloissa (29).

Toinen vaihtoehto on säätää polttoainesyötön automatiikan ohjaamaa primääri-ilman puhaltimen ohjaukkyrää alaspäin, jolloin ilmakerroin laskee. Tämä laskee lisäksi lämmönsiirtohäviöitä. On huomattava, että vähentynyt yli-ilman viilentävä vaikutus nostaa tulipesän ja savukaasujen lämpötilaa, mutta parantunut palamisen hyötysuhde ja turhan useasta ylös- ja alasajosta johtuvien kulujen välttäminen kuitannevat suuremmat lämpöhäviövirrat. Sekundääri-ilmapuhaltimen pyörimisnopeuden ohjaamaa savukaasun jäännöshapen osuutta, ja savukaasujen lämpötilaa seuraamalla on mahdollista valita sopivat asetukset eri polttoaineille ja keskimääräiselle tehontarpeelle. Kuvassa 15 näkyvän konvektioputkien ensimmäisen vedon nuohoustarpeen ja siitä johtuvan lämmönsiirtokertoimen heikkenemisen vuoksi polttotapahtuman kontrollointi on varteenotettava kehityskohde.



KUVA 15. Pääkonvektio-osan ensimmäisen vedon yläpää (17)

Kohonneen savukaasujen lämpötilan vuoksi kuumakorroosioriski tosin nousee, koska kemiallinen reaktionopeus kiihtyy. Tällöin puun viheraineen kloori ja alkalimetalleista lähinnä kalium muodostavat kloridisuoloja ympäröivien metallipintojen materiaaleista. Kaukolämmön paluuveden ja savukaasun lämpötilaero voi aiheuttaa kloridien tiivistymisen, mikä voi käynnistää pistekorroosion. Ne myös estävät tehokkaammin konvektioputkien pinnalle muodostuvan oksidikerroksen muodostumisen (32.)

Savukaasuhäviö kasvaa 1,5 % jokaista 20 °C:n ylitystä 150 °C:n nähden. Nämä arvot ovat 50 % polttoaineen kosteudelle ja ilmakertoimelle 1,3. (33, s. 51) Mitä

korkeampi lämpötila on, sitä heikommin kaukolämmön paluuvesi ehtii lauhduttaa savukaasut kastepisteen alapuolelle. Konvektio-osan puhtaudella on siten suora vaikutus savukaasun lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen.

5.1.4 Lämmönjakohuoneet

Kunnan kiinteistöjen lämmönjakohuoneiden pinnat ovat valtaosin hyvin eristettyjä, mutta kuvan 16 tyyppisiä tapauksia huomattiin.



KUVA 16. Malliesimerkki kesken jääneestä eristystyöstä

Keskimääräiseksi putkikooksi arvoitiin DN40, lämpötilaksi 70 °C ja eristämättömäksi pituudeksi 30 metriä. Pituuteen on arvioitu kuuluvan yksityisasiakkaiden puutoksia, joihin voidaan vaikuttaa energiatehokkuussopimuksen merkeissä. Huoneiden lämpötila valittiin konservatiivisesti 25 asteeksi.

Selvitetään aluksi säteilyn lämmönsiirtokerroin kaavalla 26 (29, s.10).

$$\alpha_s = \sigma * \varepsilon * (T_{putki} + T_{huone}) * (T_{putki}^2 + T_{huone}^2) \quad \text{KAAVA 26}$$

missä

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmannin vakio} = 5,67 * 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$$

$$\varepsilon = \text{teräksen emissiivisyys} = 0,7$$

Konvektion siirtokerroin valitaan taulukosta (22, s. 8). Lämpöhäviöt selvitetään kaavalla 29 (27, s. 110).

$$q_{\text{lämpöhäviö}} = (\alpha_k + \alpha_s) * A * (T_{putki} - T_{huone}) = (5 + 5,26) \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * (2\pi * 0,02413\text{m} * 30\text{m}) * (343,15 - 298,15)\text{K} = 2,1 \text{ kW}$$

KAAVA 27

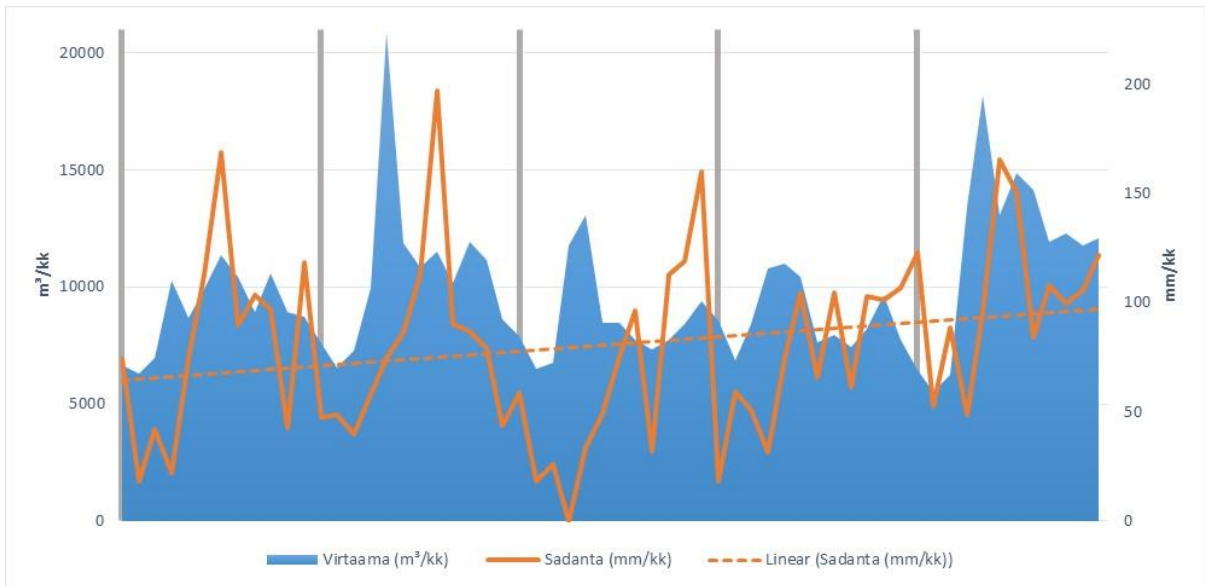
Tämä vastaa vuosienergiaa 18,4 MWh.

5.2 Vesilaitostoiminta

Vuotovedet ovat jätevesiviemäriin joutunutta turhaa vesimassaa, jotka johdetaan ideaalitalanteessa sadevesi- eli huleviiemäriin tai ojiin. Ne vaativat ylimääräistä työtä paineviemärin ja vedenpuhdistamon pumpuilta. Veden käsittelyssä käytettäviä kemikaaleja kuten ferroalumiiniinisulfaattia vaaditaan enemmän suuremman tilavuuden käsittelyssä (17).

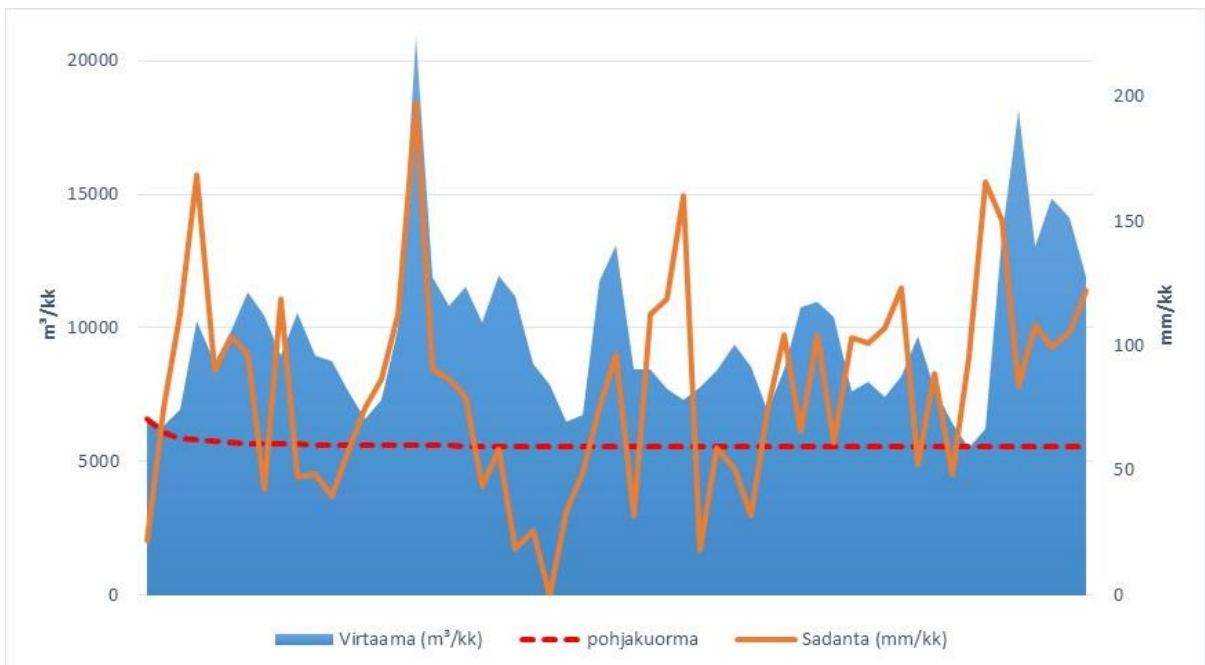
5.2.1 Ylimääräisen virtaaman selvitys

Kuvassa 17 on esitetty vuosien 2011–2015 kuukausitasolla puhdistamon läpi kulkeneen tilavuusvirran ja 25 kilometriä kaakossa sijaitsevan Paljakan hiihtokeskuksen sadannat. Kalenterivuosi alkaa kuvassa vahvennetun pystyviivan kohdalta. Sadannan trendiviiva on nouseva, ja vuosittainen keskisadanta on ollut edellä mainitulla ajanjaksolla 80,54 mm vuodessa.



KUVA 17. Virtaamat jätevedenpuhdistamolla ja sadanta

Siirtämällä mitattua virtaama-arvoa kolme kuukautta eteenpäin (kuva 18) sadannan käyrän aallonhuiput ja -pohjat asettuvat varsin hyvin kohdilleen virtaaman kanssa.



KUVA 18. Siirretty virtaama ja pohjakuorma

Täydellistä yhtenevyyttä ei voi saavuttaa, sillä luonnollisesti lumisateet alkavat vaikuttamaan vasta keväällä. Sulan maan aikaan sadannan viipymäaikaan vaikuttaa maaperän saturaatio, eli miten kyllästynyt maa on vedestä. Talviajan epävarmuutta lisäävänä tekijänä on lumitöitä suorittavan urakoitsijan valitsema paikka lumikasoille. Teollisuusalueen yritystoiminta on vähentynyt viime vuosina, jolloin lumimassat piholla ovat lisääntyneet. Edeltävän talven lumisateet näkyvät lisäksi ensimmäisen mittausvuoden keväällä.

On mahdollista, että ylämaastosta valuvat vedet saavuttavat vuotoalueen tai -alueet gravitaation vaikutuksesta ja eri huokoisten maalajien vaikutuksesta vasta monen kuukauden kuluttua. Pappilanlahtea ympäröivällä rinteillä on huomattavan paljon soisevaa maastoa, joille voi kerääntyä paljon vettä. Liitteessä 6 on esitetty nuolin mahdollisia virtausreittejä mäkien päältä. Sinisellä rajattu alue on usein veden vallassa. Pahimpia kohtia on merkitty oranssilla. Työn aikana löydettiin useita tarkemman tutkimisen arvoisia alueita. Tämä alue on valittu esimerkinomaisesti.

Alueen maaperä on pääosin hiekkaa, ja kapillaarisuus on toinen, muttei välttämättä korvaava, selitys viipymälle. Kapillaariveden nousuajaksi yhden metrin matkalla karkeassa hiekassa on määritetty 88–103 vuorokautta (34, s. 88). Viemärit kaivetaan tyypillisesti noin 1,5–2 metrin syvyyteen. Näin ollen pohjavesipinnan voi ajatella olevan vuotoalueella noin kolmen metrin syvyydellä maanpinnasta.

Liitteen 6 betoniviemäri on kuuden metrin korkeudella järven pinnasta. Betoniviemärit ovat tyypillisiä vuotokohteita, sillä betoni koostuu suurelta osin vedestä. Varsinkin vaakatasoon kasvavat lehtipuiden juuret tunkeutuvat kovan paineen seurauksena usein betoniputken sisälle. Alueella on pääasiassa koivuja.

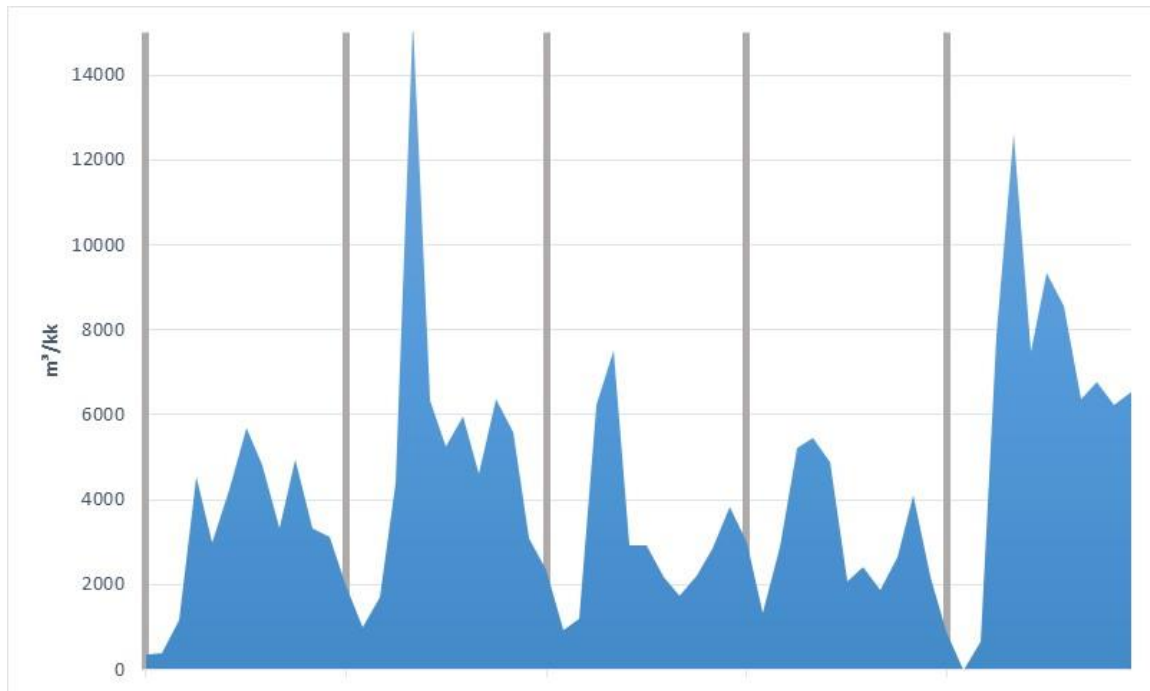
Pappilanlahden viereinen alue on märkää, joten routiminen voi liikuttaa kaivon kansia helposti. Lisäksi vettä pääsee viemäriin kansien kautta, jotka ovat kevättulvien aikaan usein veden peitossa (17). Paineviemärin pumppaamoiden sähkönkulutuksilla ei havaittu olevan korrelaatiota sadannan kanssa, joten niistä ei voi tarkentaa sijaintia.

Taulukossa 8 on kuvattu kunnan asukasluku. Se on laskusuhdanteessa kuten kuvan 18 minimivirtaamat 6 307, 6 570, 6 496 ja 5 530 m³/kk. On mahdotonta sanoa, ovatko vahvuudesta poistuneiden asukkaiden osoitteet keskustan viemäriverkon vaikutusalueella. Sen sijaan loma-asuntoja on kunnassa lähes yhtä paljon kuin vakituisia asuntoja, mutta nämä eivät sijaitse keskustassa. Edellä mainittujen seikkojen perusteella voidaan piirtää punaisella katkoviivalla kuvaan 18 toivottu, minimaalisen virtaaman, kuvaaja.

TAULUKKO 8. Kunnan väkiluvun kehitys ja muutos

Vuosi	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Väestö	3 063	2 997	2 931	2 878	2 824	2 776
Muutos, % (vuodesta 2010, %)		-2,2	-2,2 (- 4,3)	-1,8 (- 6,0)	-1,9 (- 7,8)	-1,7 (- 9,4)

Sovittamalla kuvaaja kuvaan 17 ja vähentämällä katkoviivan alle jäänyt ala virtaamasta nähdään kuvasta 19 turhan huleveden määrä. Kalenterivuodet alkavat pystysuorien palkkien kohdalta.



KUVA 19. Huleveden mallinnettu virtaama

Laskemalla jokaisen kuukauden virtaamat yhteen ja jakamalla 12 kuukaudella saadaan vuosittaisiksi huleveden virtaamaksi taulukkoon 9.

5.2.2 Kustannukset

Vedenpuhdistamolla viemäristä saapunutta vettä täytyy pumpata useamman kerran käsittelyn eri vaiheissa (liite 7). Käytetään tavanomaisena nostokorkeutena 1 metriä. Kaavoilla 28 ja 29 saadaan maksettava ostoenergian hinta.

$$P_{todellinen} = \frac{\dot{Q}_v * \Delta p}{\eta_{pumppu} * \eta_{moottori}} \quad \text{KAAVA 28}$$

missä

P , todellinen = teho (kW)

Q_v = tilavuusvirta, virtaama (m³/s)

Δp = paine-ero (kPa) = ρ (1000 kg/m³) * g (9,81 m/s²) * H (m) * 0,001 (kW/W)

η , pumppu / η , moottori = pumpun ja moottorin hyötysuhteet

$$\text{kustannukset} = E_{\text{osto}} * \text{sähkön hinta} \quad ; \quad E_{\text{osto}} = P_{\text{todellinen}} * t \quad \text{KAAVA 29}$$

missä

t = vuoden tunnit (8760)

sähkön hinta = ostosähkön hinta (€ / kWh)

Kokonaiskustannukset pelkästään vedenpuhdistamolla koostuvat pumppauksesta sekä ferro- ja alumiiniferrisulfaatin annostelusta (taulukko 9). Mikrobieen ilmastuksessa vaadittavien kompressoreiden tehoa ohjataan tuloveden virtaaman mukaan, joten niiden käyntiajat nousevat.

TAULUKKO 9. Huleveden laskennallinen virtaama jv-viemäriin ja kustannukset. Sulfaattien hintoina on käytetty 111 € / tonni ja 287 € / tonni. Annosteltava massa kuutiota kohden on saatu puhdistamon vuosiraporteista. Sähkön hinta on 12 senttiä / kWh.

Vuosi	2011	2012	2013	2014	2015
Virtaama (m³/a)	38 974	61 651	36 880	38 096	73 395
Pumppausenergian kulutus (kWh)	131 116	207 406	124 072	128 162	246 915
Kemikaalit (tonnia/a)	16,6	26,3	15,8	16,3	31,4
Kustannukset (€/a)	18 258	28 881	17 277	17 846	34 383

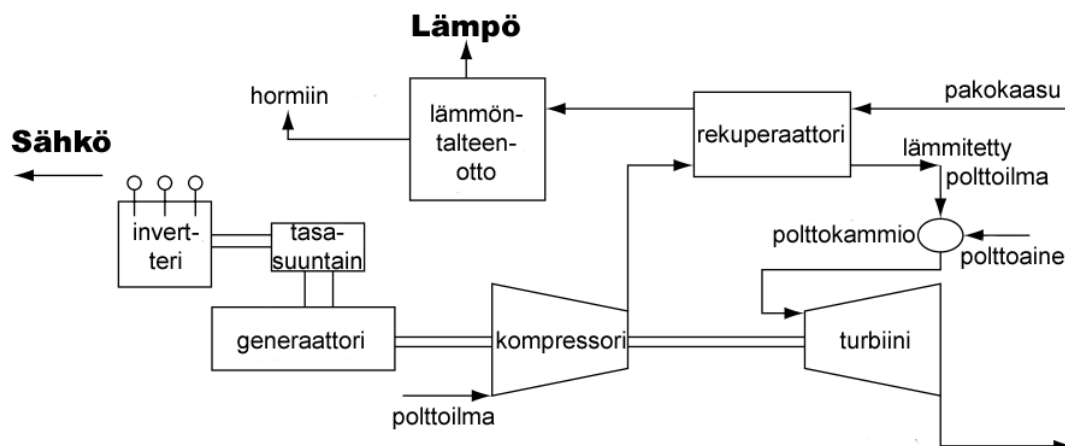
5.3 Mikroturbiinin hankinta

Kunnan kiinteistöistä terveyskeskus oli vuonna 2015 ylivoimaisesti suurin sähkönkuluttaja noin 711 400 kWh:n vuosilukemilla. Lämmönkulutus oli 1 162 MWh. Yhdistämällä lämmöntuotanto sähköntuotantoon hyötysuhde nousee noin 30 prosentista jopa 80 prosentin yli (35; 36). Kyse on pien-CHP-tuotannosta. Biokeskushankkeen toteutuessa muodostuu synergiamahdollisuutena biokaasun käyttö omassa energiantuotannossa.

5.3.1 Toimintaperiaate

Nykyiset mikroturbiinit (turbogeneraattorit) ovat tyypillisesti yksiakselisia aksiaaliturbiineja. Kompressorissa ja turbiinissa on tavallisesti yksi vaihe. Alla on esitetty kuvassa 20. Toimintaperiaatteen osatekijät ovat lyhyesti:

- Kompressori paineistaa polttoilman.
- Rekuperaattori esilämmittää polttoilman savukaasuilla. Polttoainetta vaaditaan vähemmän ja sähköntuotannon hyötysuhde nousee.
- Polttokammiossa sytytetään polttoaineen ja -ilman sekoitus.
- Turbiini muuttaa savukaasun laajenemisen ja sen kineettisen energian pyörimisliikkeeksi.
- Lämmöntalteenotossa lämpö siirretään veteen savukaasuista.
- Generaattori tuottaa sähkövirtaa ja suorittaa ylösajon.
- Tasasuuntain moduloi virran eli muuttaa haluttuun muotoon.
- Invertteri tuottaa 50 Hz vaihtovirtaa. (36.)



KUVA 20. Mikroturbiinin toimintaperiaate (36, s. 11, muokattu)

Generaattorin roottori, kompressori ja turbiini ovat samalla akselilla ja useimmiten ainoat liikkuvat osat, mikä ilmalaakereiden kera tekee kokoonpanosta suhteellisen luotettavan, mikä on tärkeää varsinkin varavoimaan turvautuessa.

5.3.2 Kunnan energiapotentiaali

Anaerobisessa prosessissa (esimerkiksi kuivamädätys) voidaan käyttää lantaa ilman hygienisointia, mikä yksinkertaistaa prosessia, mikäli se täyttää 208/2006/EY-laatuvaatimukset. Prosessissa saadaan talteen kasvien tarvitsemää ammoniumtyyppiä ja muita lannoitteita, kuiva-ainepitoisuus pienenee, orgaanisia haitta-aineita hajoaa ja rikkakasveja häviää (37).

Nautaeläimet tuottavat lantaa keskimäärin 24 m³. Tästä muodostuu anaerobisessa reaktorissa noin 480 m³ biokaasua (37).

Vedenpuhdistusprosessin kiintoaineesta saatavaa kaasupotentiaalia eikä energiakasveja ole huomioitu tässä laskelmassa.

Biokaasun metaanipitoisuus on tavallisesti 60 %, eli 288 m³ eläintä kohden vuodessa (37). Kaasun jalostuksessa voi syntyä metaanihävikkiä. Kunnan alueella on noin 4000 eläintä (38). Lämpöenergiamäärä on vuodessa kaavan 30 mukaisesti

$$Q_{vuosi} = \text{eläinten lkm} * \frac{V_{\text{metaani}}}{a} * h_{\text{metaani}} * \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} = 11520 \frac{\text{MWh}}{a} \quad \text{KAAVA 30}$$

missä

$V, \text{ metaani}$ = yhden eläimen tuottama metaanitulavuus

$h, \text{ metaani}$ = lämpöarvo = 10 kWh/m³ (37, s. 70)

5.3.3 Energiantuotanto

Capstone C65 -mikroturbiini (kuva 21) valittiin tutkimuksen kohteeksi kotimaisen maahantuojan ja huollon vuoksi. Mallistossa tehokkaampi vaihtoehto muodostuu haasteelliseksi, koska yli 800 000 kWh vuosituotannollaan se joutuu nimellistehollaan sähköveron alaisuuteen (39, s. 11). Lisäksi kaasuturbiinin hyötysuhde laskee osateholla ajamisen johdosta, jota jouduttaisiin tekemään pelkän terveyskeskuksen ollessa käyttöpaikkana. Laite tuottaa kolmivaihevirtaa, ja se kytketään rinnan sähköverkkoon.



KUVA 21. Capstone C65 ja HRM-lämmöntalteenottomoduuli. Laite on noin kaksi metriä korkea ja tonnin painoinen (35).

On huomattavaa, että kaasuturbiini toimii myös puhdistamattomalla biokaasulla, joskin tässä yhteydessä sen on ajateltu toimivan liikennepolttoainelaatuisella biokaasulla. Rikkivedystä ja tpeestä puhdistetulla kaasulla haponkestävästä teräksestä valmistettua tehottomampaa lämmönsiirrintä ei tarvita, vaan sinkitystä kuparista valmistettu riittää. C65 vaatii polttoainetehonaan 888 MJ/h toimiessaan nimellistehollaan (35, s. 6). Tämän vuoksi muutetaan biokaasun energiamäärä tuntikohtaiseksi kaavalla 31.

$$Q_{tunti} = \frac{Q_{vuosi} \cdot \frac{3600 \text{ MJ}}{1 \text{ MWh}}}{8760 \frac{h}{a}} = 4734 \frac{\text{MJ}}{h} \quad \text{KAAVA 31}$$

Lämpöenergiaa savukaasuista saadaan talteen parhaillaan 1 093 MWh kaasuvesi -tyyppisellä lämmönsiirtimellä (tuotemerkki Heat Recovery Module). Suurin energiamäärä saadaan siirrettyä matalalämpötilaiseen veteen, eli käytännössä käyttövedeen, jonka sekundääripuolen mitoitusarvot ovat 10 - 58 °C, 1,81 dm³/s. Kyseistä lämpö määrää ei voi kulua pelkän käyttöveden lämmitykseen. Taulukossa 10 on eritelty osuuksia tarkemmin.

TAULUKKO 10. Mikroturbiini terveyskeskuksen yhteydessä. Käyttöasteeksi on arvioitu 99 % vähäisten liikkuvien osien vuoksi. Lämmön vertailukohde on POR 60 €/MWh.

Capstone C65 + HRM	Teho	Energia vuodessa	Energiaosuus	Säästö vuodessa
-------------------------------	-------------	-----------------------------	---------------------	----------------------------

Sähkö	65 kW (max 1 kV)	563 706 kWh	79,2 %	67 645 € (12 sent / kWh)
Lämpö	126 kW (30- 41 °C, 2,5 dm ³ /s)	1093 MWh (lämmin käyttövesi)	94,1 %	65 563 €
	100 kW (85 -94 °C, 2,5 dm ³ /s)	867 MWh (lämmitys)	74,7 %	52 034 €

5.3.4 Kannattavuus

Kannattavuutta arvioitaessa on ensin selvitettävä suuruusluokka, jonka biokaasu tuottaa vuositasolla liikennepolttoaineena. Kaasusta on hiilidioksidi- ja rikkivetypitoisuuksia pudotettava, sekä kaasu on nesteytettävä paineistamalla logistiikan mahdollistamiseksi. Nämä ja muut tuotantokustannukset on arvioitu 30 %:in suuruisiksi nykyisten maa- ja biokaasujen kuluttajahintojen perusteella, lukuun ottamatta katemarginaalia. Biokaasu ei kuulu energiaveron piiriin toisin kuin maakaasu (39). Lasketaan kaavalla 32 teoreettinen voitto.

$$tuotto_{kaasu} = \frac{\text{eläinten lkm} \cdot \frac{V_{\text{metaani}}}{\text{vuosi}}}{\frac{\rho_{CH_4, neste}}{\rho_{CH_4, kaasu}}} * \frac{1000 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} * 0,928 \frac{\text{€}}{\text{dm}^3} * k = 1\,247\,332 \text{ €} \quad \text{KAAVA 32}$$

missä

ρ = metaanin neste- ja kaasufaasien tiheyksien suhde = 600:1

k = kustannuksista aiheutuva kerroin = 0,7

Maksimiteholla turbiini käyttää kaavan 33 mukaisesti

$$\frac{888 \text{ MJ/h}}{4734 \text{ MJ/h}} * 100 \% \approx 19 \%$$

KAAVA 33

teoreettisesta kaasumäärästä, eli liikennepolttoaineen arvona 234 480 €/a. Tässä valossa kaasun käyttö CHP-käytössä ei täten ole rahallisesti järkevää. Riippuen liikennepolttoaineen menekistä, mikroturbiini säilyy jatkuvana kaasunieluna, jolloin reaktori voi toimia ilman turhaa soihutpolttoa.

Kaasua varten täytyy rakentaa noin 1,4 km siirtoputki, eikä tämän kustannuksia ole huomioitu. Turbiini vaatii 5,5 baarin kaasunpaineen. Putken päähän on järkevää asentaa kompressori, jolloin saavutetaan pienempi putkikoko sekä painehäviöt.

Mikroturbiinin hintaluokka on noin 130 000 € sinkityllä kuparilämmönsiirtimellä ja huolto kustantaa noin 3 000 € vuodessa. Huoltokustannuksiin kuuluvat muun muassa ilmansuodattimen vaihto ja sytyttimien kärkien puhdistus. Suurempien huoltotoimenpiteiden kuten kompressorin vaihdon välillä on tyypillisesti 40 - 60 000 tuntia eli yhdeksisen vuotta (40.)

Valtakunnallisesti jossakin toisessa tuotantopaikassa kehitetystä energiasta syntyy mahdollisesti hiilidioksidin suhteen epäneutraaleja päästöjä, mikäli korvaava energia joudutaan tuottamaan tavallisesti fossiilisilla käyvissä huippuvoimalaitoksissa. Lisäksi siirtolinjoista kertyy häviöitä.

Vakavissa yhteiskunnan poikkeusoloissa valtakunnan sähköverkkoon ei voi luottaa, joten omalla energiantuotantomahdollisuudella voidaan mahdollistaa kriittisiä sosiaali- ja terveyshuoltopalveluja. Tämän arvoa ei voi laskea rahassa.

Energiatehokkuussopimuksessa mainitun uusiutuvan energian käytön lisäämisen mielessä pien-CHP on toivottava vaihtoehto.

6 YHTEENVETO

Kunnan liittyessä energiatehokkuussopimukseen oli tarpeen kartoittaa koko energiankäyttö mahdollisimman tarkasti. Aineistoa oli monessa kansiossa, tietokannassa ja takaraivossa, mutta pikkuhiljaa datasta muodostui valmis paketti. Tiedot visualisoitiin, jotta korrelaatiot selviäisivät. Niitä tarkennettiin teorian tiedoilla. Näillä keinoin päättäjillä on mahdollisimman hyvät lähtökohdat järkipäätöksiin toimenpiteisiin. Tässä mielessä tietoperusta tuli kerättyä, mutta vielä useamman vuoden tiedot olisi hyvä ollut saada käsiin.

Selkeimmät ongelmakohdat arvioitiin lähinnä lämmöntuotannon ja -jakelun näkökulmasta, koska valinta osui siihen tutkinto-ohjelman pohjalta luonnollisesti ja tilaaja oli erityisen kiinnostunut asiasta. Nykyinen lämpölaitos on tulosten perusteella revision tarpeessa. Rakennuskannasta paljastui useita lämpösyöppöjä, joskin niiden syiden tarkempi selvittäminen vaatii enemmän resursseja kuin työhön on varattu. Verkostoissa on säätämiseen varaa, mutta niiden säätötoimenpiteet sisällytetään toimintasuunnitelmaan, joka tehdään jälkikäteen tarkkoine mittauksineen. Energiakatselmuksen ensiaskelia on joka tapauksessa otettu. Työn tuloksia voidaan käyttää lähtökohtana optimointiin.

Puolangan kaltaisilla pienillä kunnilla on väkiluvun supistuessa järkevää kitkeä turha energiankäyttö pois. Jokainen toimenpide on tärkeä, sillä pienelläkin toimella on merkittävä vaikutus ajan kuluessa. Energiatehokkuussopimus ja sen tuomat mahdollisuudet ovat oivia työkaluja huomioon kohdistamiseen juokseviin kuluihin. Tämä motivoi parannuksiin ryhtymiseen – proaktiivisuus on aina parempi reagoinnin sijasta.

LÄHTEET

1. 2030 Climate and Energy Policy Framework. 2016. European Commission. Saatavissa: <http://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>. Hakupäivä 5.5.2016.
2. Energiatehokkuussopimukset. 2016. Motiva. Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/liittyjalle/>. Hakupäivä 3.5.2016.
3. Vuorinen, Asko 2013. Energiankäyttäjän käsikirja 2013. Espoo: Ekoenergy Oy.
4. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU. 2012. Euroopan unioni. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>. Hakupäivä 5.5.2016.
5. Energian hankinta ja kulutus. 2016. Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2015/04/ehk_2015_04_2016-03-23_fi.pdf. Hakupäivä 30.5.2016.
6. Toivanen, Juha 2016. Energiatehokkuussopimukset. Energiavirasto. Saatavissa: http://energiatehokkaasti.fi/sites/peltopaiva/files/juha_toivanen_energiavirasto_energiatehokkuus.pdf. Hakupäivä: 6.6.2016.
7. Lindroos, Tomi 2015. EU:n 2030 ilmasto- ja energiapaketin vaikutusarvioiden yhteenveto ja vertailu. Saatavissa: http://valtioneuvosto.fi/documents/10616/1456483/VNK_13-2015_EUn_2030-paketin_vaikutusarvioiden_vertailu.pdf/d217c25f-8022-4c87-a905-092a9bcf9a84. Hakupäivä 5.6.2016.
8. Labanca, Nicola - Bertoldi, Paolo 2016. Energy Savings Calculation Methods under Article 7 of the Energy Efficiency Directive. Saatavissa:

- <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99698/report%20on%20eed%20art%207%20-%20publishable.pdf>. Hakupäivä 5.6.2016.
9. Fawkes, Steven 2013. Energy Efficiency. New York: Gower
 10. Koreneff, Görän 2014. Energiätehokkuuden kehittyminen Suomessa. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T180.pdf>. Hakupäivä 5.6.2016.
 11. Liljeström, Emma - Monni, Suvi - Kukko, Juha 2014. Kainuun kestävän energiankäytön toimintasuunnitelma vuoteen 2020. Saatavissa: <http://www oulu.fi/kajaaninyliopistokeskus/node/34032> Hakupäivä: 7.6.2016.
 12. Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiäteollisuus. Helsinki: Energiäteollisuus ry
 13. TEM. EU 2030 energia- ja ilmastopaketin vaikutusarviot. Saatavissa: https://www.tem.fi/files/39569/EU_2030_valiraportti_VTTjaVATT_1-4-14_3_.pdf. Hakupäivä 5.6.2016.
 14. Renewable energy progress report. 2015. European Commission. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:4f8722ce-1347-11e5-8817-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF. Hakupäivä: 11.6.2016.
 15. Jäntti, Sauli. Projektipäällikkö, Puolangan Biokeskushanke. Haastattelu 15.6.2016.
 16. EU:n 2030 ilmasto- ja energiapolitiikan linjausten toteutusvaihtoehdot ja Suomen omien energia- ja ilmastotavoitteiden toteutuminen. 2016. Pöyry Management Consulting Oy. Saatavissa: http://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/28_EU+2030.pdf. Hakupäivä: 7.6.2016.

17. Huhta, Keijo - Karvonen, Pasi - Tervonen Hannu – Oikarinen, Reijo – Kohonen, Timo. Puolangan kunta. Keskustelut touko - heinäkuu 2016.
18. Heljo, Juhani – Nippala, Eero – Nuuttila, Harri 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO2-ekv päästöt Suomessa. Saatavissa: http://www.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKOREM_Loppuraportti_051214.pdf. Hakupäivä 17.7.2016.
19. Larmio, Risto 2015. Kuntien energiantehokkuussopimukset. Saatavissa: <http://www.oulu.fi/sites/default/files/content/files/Motiva.pdf>. Hakupäivä 5.5.2016.
20. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>. Hakupäivä 14.7.2016.
21. Kinnunen, Antti 2016. Saarijärven Säiliövalmiste Oy. Re: Puolangan öljysäiliön #1456 kuvat. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ville Keränen. 7.7.2016.
22. Bergman, Theodore 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition. Jefferson City: Wiley
23. Palvelusektorin ominaiskulutuksia. 2016. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia. Hakupäivä 17.7.2016.
24. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2016. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Hakupäivä 17.7.2016.
25. Kulutuksen normitus. 2016. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteisten_energianhallinta/kulutuksen_normitus. Hakupäivä 17.7.2016.

26. Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt. 2011. Energiateollisuus.
Saataavissa: http://energia.fi/sites/default/files/suositusl10_2011.pdf.
Hakupäivä: 2.7.2016.
27. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Suositus K15/2014.
2015. Rakennustieto. Saataavissa:
http://energia.fi/sites/default/files/teho_ja_vesivirta_suositusk15_2014.pdf
. Hakupäivä: 4.7.2016.
28. Paso, Tuomas 2014. Savukaasujen puhdistus kotimaisen polttoaineen
kattilalaitoksessa. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan
yksikkö. Saataavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/70577>.
Hakupäivä: 3.7.2016.
29. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki
2000. Höyrykattilatekniikka 5., uudistettu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
30. Alakangas, Eija – Erkkilä, Ari – Oravainen, Heikki 2008. Tehokas ja
ympäristöä säästävä tulisijälämmitys. Polttopuun tuotanto ja käyttö. VTT
julkaisut. Jyväskylä: VTT. Saataavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf>. Hakupäivä
9.7.2016.
31. Pietilä, Kai 2005. Puun panospolton identifiointi ja säätö tulisijassa.
Diplomi-työ. Oulu: Oulun yliopisto.
32. Lee, Shang-Hsiu 2006. High-Temperature Corrosion in Waste-to-Energy
Boilers. Journal of Thermal Spray Technology. Saataavissa:
https://www.researchgate.net/publication/237507525_Combating_Corrosion_in_WTE_Facilities_-_Theory_and_Experience. Hakupäivä
10.7.2016.
33. Seppälä, Risto 1987. Lämpökeskuksenkäyttäjän käsikirja. Helsinki:
Energialoudellinen yhdistys

34. Leivo, Virpi – Rantala, Jukka 2001. Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ttt-2011112914922>. Hakupäivä 18.7.2016.
35. Product Specification Model C65. 2013. Capstone. Saatavissa: http://gemenergycapstone.com/wp-content/uploads/460044D_C65_PS.pdf. Hakupäivä 18.7.2016.
36. Soares, Claire 2007. Microturbines, Applications for Distributed Energy Systems. Oxford: Elsevier
37. Luoma, Hanna – Peltonen, Sari – Helin, Jukka – Teräväinen, Hanne 2006. Maatilayrityksen bioenergian tuotanto. Keuruu: Otava
38. Peltola, Harri 2016. Ympäristötarkastaja, Puolangan kunta. Puhelinhaastattelu 14.7.2016.
39. Valmisteverotuksen ohje 21, Energiaverotus. 2016. Tulli. Saatavissa: http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf. Hakupäivä 19.7.2016.
40. Valovirta, Lauri 2016. Sarlin Oy Ab. Puhelinhaastattelu 21.7.2016.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Energiatehokkuussopimuskunnat vuonna 2015

Liite 3 Öljysäiliön hukkalämmön laskennan numeroarvot

Liite 4 Kaukolämpöverkoston osia

Liite 5 KPA-kattilan havainnekuva ja primääri-ilmakanavat

Liite 6 Hulevesien kartoitus

Liite 7 Jätevedenpuhdistamon prosessikaavio

Liite 8 Öljynkulutus ja keskilämpötilat

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹ Ville Keränen / t3kevi00@students.oamk.fi / Felix Vielma / t3vife00@students.oamk.fi / 045 853 1616	Tilaja ² Puolangan kunta
	Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Ismo Moilanen / Ismo.Moilanen@puolanka.fi / 044 595 0502	
Työn nimi ⁴ Puolangan kunnan Energiatichokkuussopimukseen liittymisen valmistelu		
Työn kuvaus ⁵ Kunta liittyy vuonna 2017 voimaan tulevaan sopimukseen. Tähän liittyen tarvitaan ennakkovalmisteluja, joka on pääasissa kunnan energiankäytön kartoitus. Tämän pohjalta luodaan suunnitelma, jonka pohjalta hankintoja/muutoksia aloitetaan suorittamaan käytännössä.		
Työn tavoitteet ⁶ VK: Datan keräys kenttäympäristössä. Ostolämmön/sähkön/veden/polttoaineiden kulutuksen selvitys. Alustavat kehitysehdotukset. FV: Investointilaskelmat. Jatkotoimenpidesuunnitelma.		
Tavoiteaikataulu ⁷ Aloitus: huhtikuu 2016 Valmistuminen: heinäkuu 2016		
Päiväys ja allekirjoitukset ⁸		
29/3/2016 Tekijän allekirjoitus		29/3/2016 Tilaajan allekirjoitus <i>ISMO MOILANEN</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisajataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuisio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö 		

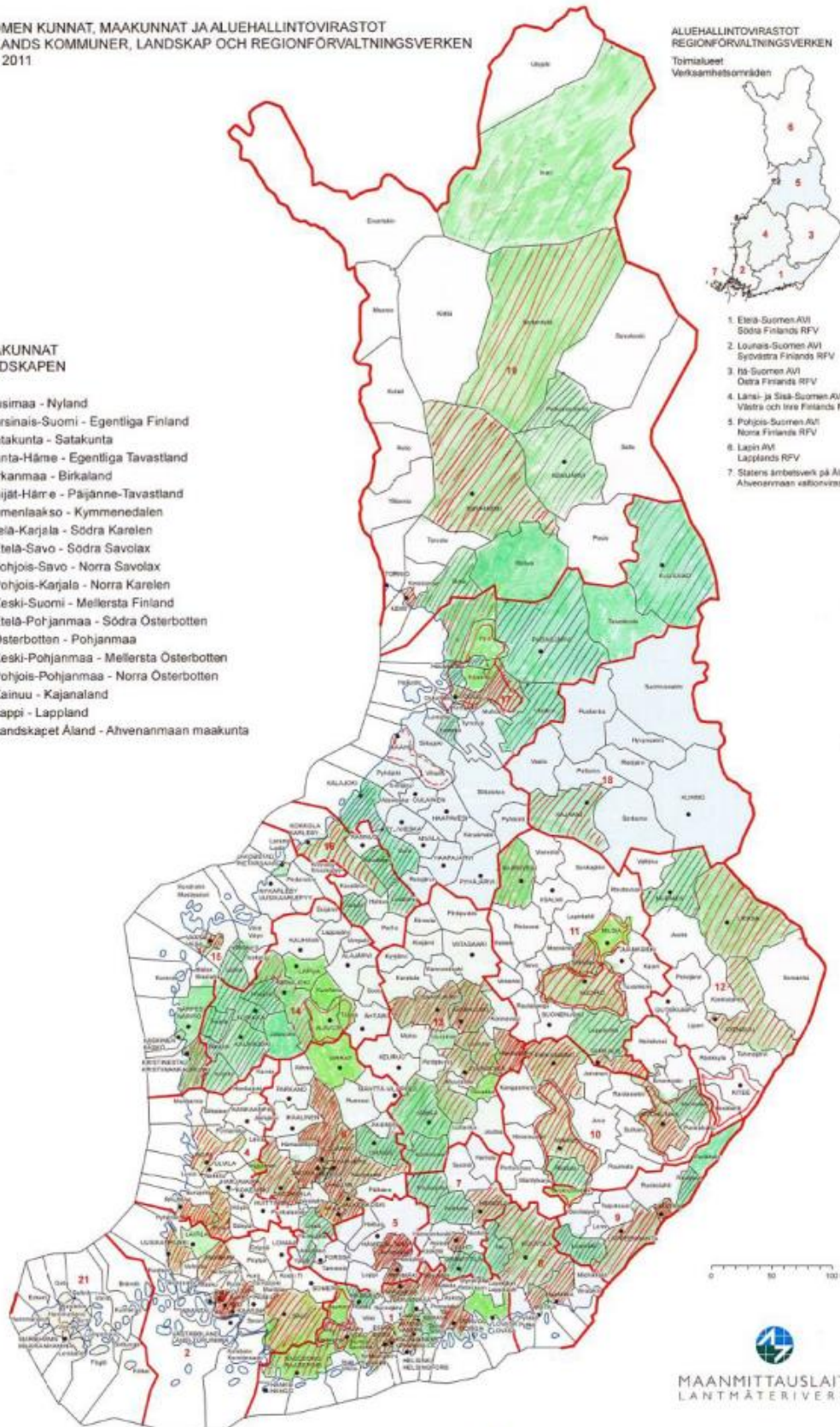
SUOMEN KUNNAT, MAAKUNNAT JA ALUEHALLINTOVIKASTOT
FINLANDS KOMMUNER, LANDSKAP OCH REGIONFÖRVALTNINGSVERKEN
1. 1. 2011

ALUEHALLINTOVIKASTOT
REGIONFÖRVALTNINGSVERKEN
Toimialueet
Verksamhetsområden

MAAKUNNAT
LANDSKAPEN

1. Uusimaa - Nyland
2. Varsinais-Suomi - Egentliga Finland
4. Satakunta - Satakunta
5. Kanta-Häme - Egentliga Tavastland
6. Pirkanmaa - Birkaland
7. Päijät-Häme - Päijänne-Tavastland
8. Kymenlaakso - Kymmenedalen
9. Etelä-Karjala - Södra Karelen
10. Etelä-Savo - Södra Savolax
11. Pohjois-Savo - Norra Savolax
12. Pohjois-Karjala - Norra Karelen
13. Keski-Suomi - Mellersta Finland
14. Etelä-Pohjanmaa - Södra Österbotten
15. Österbotten - Pohjanmaa
16. Keski-Pohjanmaa - Mellersta Österbotten
17. Pohjois-Pohjanmaa - Norra Österbotten
18. Kainuu - Kajanaland
19. Lappi - Lappland
21. Landskapet Åland - Ahvenanmaan maakunta

1. Etelä-Suomen AVI
Södra Finlands RFV
2. Lounais-Suomen AVI
Syvästrä Finlands RFV
3. Itä-Suomen AVI
Östra Finlands RFV
4. Länsi- ja Sisä-Suomen AVI
Västra och Inre Finlands RFV
5. Pohjois-Suomen AVI
Norra Finlands RFV
6. Lappi AVI
Lapplands RFV
7. Stårens arbetsverk på Åland
Ahvenanmaan västernsamt



T, öljy	55	C	328.15	K
T, ulko	2	C	275.15	K
T, pinta	7	C	280.15	K
T, sisävaippa	54	C		
Lämmönjohtavuudet				
Eriste	0.0045	W/mk		
Teräs, ulko	60.5	W/mk		
Teräs, sisä	60.5	W/mk		
Ilma @ ka				
Pr	0.7135			
λ	0.024	W/mk		
v	0.000013666	m ² /s E*-6		
Ilma @ 50	0.028	W/mk		
Konvektio				
Gr _L	105562671850			
Ra _L	75318966365			
Nu _L	480	-> tark		
Nu _L , katto	633			
α _{konv,vaippa}	3	W/m ² K		
α _{konv,pääty}	10	W/m ² K		
α _{konv,ilma}	5	W/m ² K		
α _{öljy}	100	W/m ² K		
Säteily				
e	0.60			
teräs	0.7	s-s, ox		
s-b	0.00000005670			
α _{säteily}	2.92	W/m ² K		
q _{sät,sisä}	3297.827021	W		
Lämmönvastukset				
R _{vaippa}	1.857	K/W		
R _{pääty}	2.067	K/W		
kokonaislämpövirta (häviöt)				
Energia	86.2	MWh		

Säiliö				
sisä	4.8	m		
korkeus	3.7	m		
leveys	50.2	m ³		
V				
ulko				
vaippa	60.3	m ²		
pääty	12.0	m ²		
	72.3	m ²		
K.pituus	0.8	m		
kaksoisosa	51.6	m ³		
öljytila				
r1	1.8	m ²		
vaippa	59.0	m ²		
päädyt	20.9	m ²		
	79.9	m ²		

vahvuudet				
s ₁ , sisävaippa	0.005	m		
s ₂ , ulkovaippa	0.005	m		
s ₃ , sisäilma	0.02	m		
s ₄ , villa	0.1	m		
s ₅ , peitti	0.002	m		
r1	1.825	m		
r2	1.830	m		
r3	1.850	m		
r4	1.855	m		
r5	1.955	m		
r6	1.957	m		

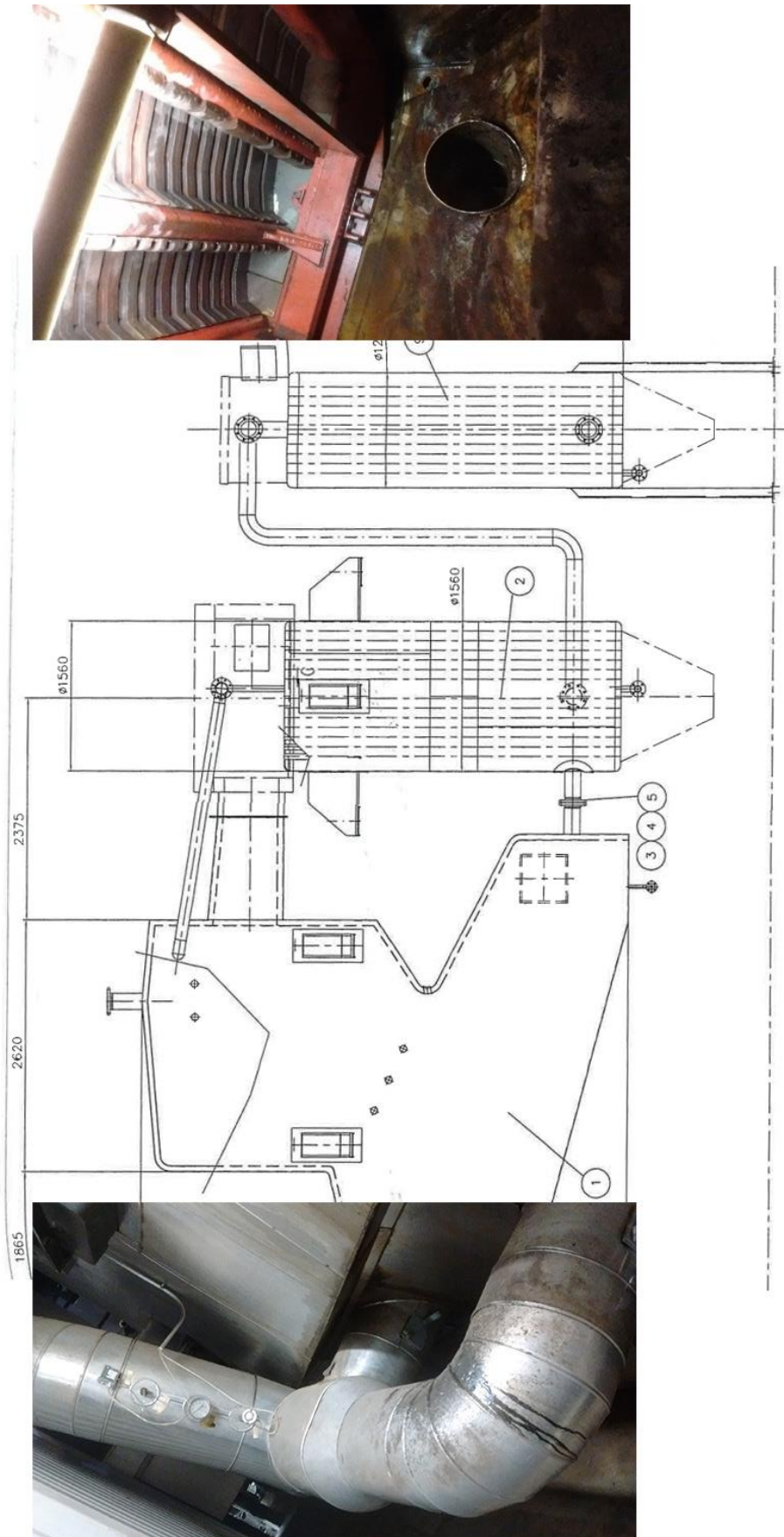


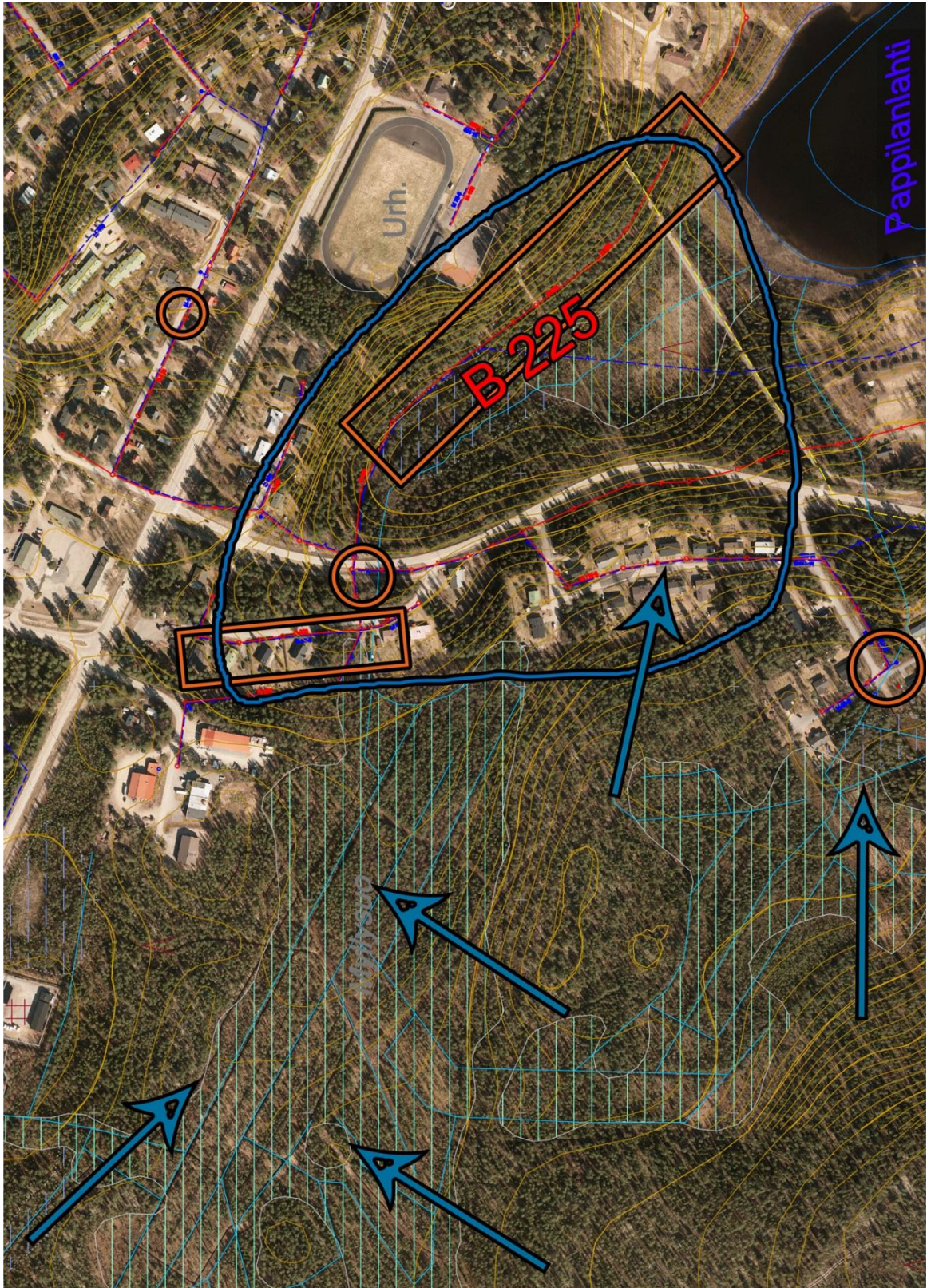
kk	h	t, ka	t, pinta	t, ka K	t, pinta K	h, r	k: w/m²*k		h: w/m²*k		hr: w/m²*k	
							Q, kond	E, kond	Q, konv	E, konv	Q, sät	E, sät
1	720	-10	-5	263.15	268.15	2.55	2140	1540796	3767	2712554	4220	3038378
2	672	-8.84	-3.84	264.31	269.31	2.59	2102	1412412	3767	2531717	4232	2843972
3	744	-5.16	-0.16	267.99	272.99	2.69	1981	1473602	3767	2802973	4271	3177842
4	720	0.3	5.3	273.45	278.45	2.86	1801	1296639	3767	2712554	4331	3118635
5	744	6.8	11.8	279.95	284.95	3.07	1587	1180645	3767	2802973	4406	3278218
6	720	11.74	16.74	284.89	289.89	3.23	1424	1025459	3767	2712554	4465	3215076
7	744	14.84	19.84	287.99	292.99	3.34	1322	983707	3767	2802973	4504	3350658
8	744	12.8	17.8	285.95	290.95	3.27	1389	1033677	3767	2802973	4478	3331892
9	720	8.36	13.36	281.51	286.51	3.12	1536	1105580	3767	2712554	4425	3185765
10	744	1.22	6.22	274.37	279.37	2.89	1771	1317325	3767	2802973	4342	3230306
11	720	-2.08	2.92	271.07	276.07	2.79	1879	1353056	3767	2712554	4305	3099546
12	744	-5.96	-0.96	267.19	272.19	2.67	2007	1493157	3767	2802973	4263	3171435
				2.92	1745	15216	32912	4354	38042			

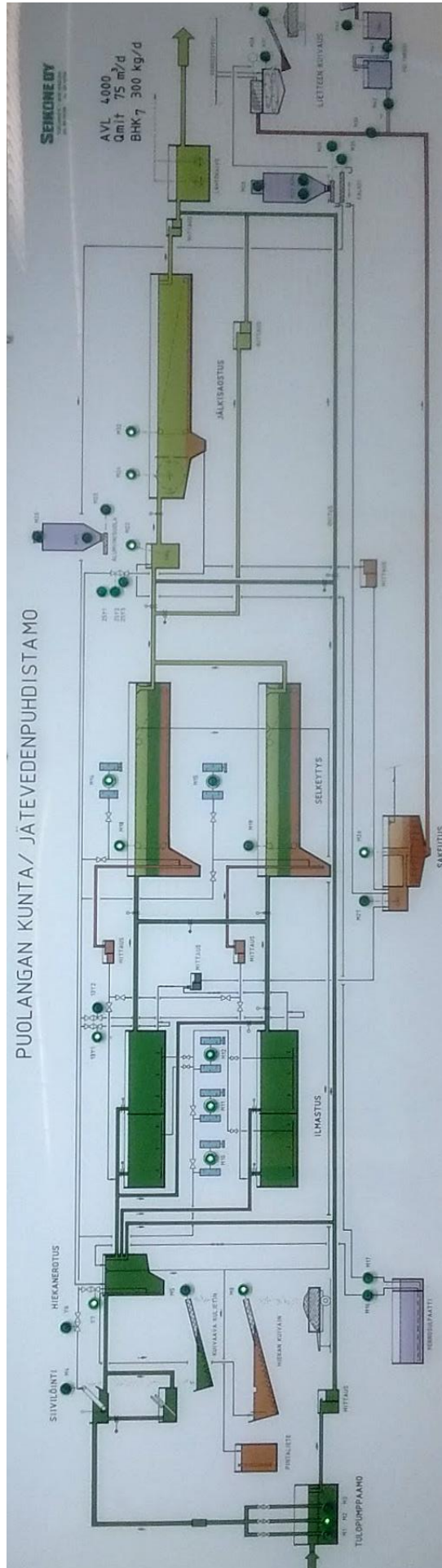
D/L >= 0.760416667

3









öljy %	Tamm	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	KA	läm	läm2
2011	10.1 %	22.5 %	16.8 %	1.0 %	9.3 %	6.1 %	18.8 %	7.2 %	1.0 %	0.7 %	0.7 %	1.5 %	8.0 %	8.7 %	7.5 %
2012	13.1 %	21.4 %	7.5 %	5.1 %	6.6 %	3.2 %	0.0 %	59.2 %	6.5 %	7.9 %	13.0 %	27.1 %	14.2 %	15.0 %	16.0 %
2013	17.8 %	12.5 %	18.0 %	8.4 %	6.9 %	62.8 %	0.2 %	-0.1 %	5.4 %	7.0 %	10.0 %	10.4 %	13.3 %	12.6 %	10.5 %
2014	22.8 %	4.4 %	8.4 %	1.4 %	4.6 %	0.0 %	30.2 %	100.0 %	67.9 %	6.6 %	7.4 %	10.9 %	22.1 %	10.1 %	10.2 %
2015	15.5 %	13.5 %	7.5 %	89.5 %	100.0 %	43.1 %	8.9 %	5.9 %	38.5 %	5.8 %	7.0 %	18.3 %	29.5 %	11.3 %	13.8 %
2016	34.9 %	11.1 %	5.7 %	3.8 %	3.2 %										
KA	15.9 %	14.9 %	11.6 %	21.1 %	25.5 %	23.0 %	11.6 %	34.4 %	23.8 %	5.6 %	7.6 %	13.6 %			tam-jou lok-maal

°C	Tamm	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	KA	läm	läm2
2011	-10.4	-15.3	-5.4	2.3	6.7	13.9	16.6	12.2	8.4	2.9	-1.2	-2.3	2.4	-5.3	-4.9
2012	-10.7	-13.5	-4.5	-1.3	6.1	10.6	14.5	11.6	7.3	1.1	-2.4	-13.1	0.5	-7.2	-6.9
2013	-8.8	-6.6	-11.3	-0.3	8.9	14.7	14.1	13.3	8.8	1.5	-2.4	-4.1	2.3	-5.3	-3.7
2014	-10.9	-3.6	-2.4	0.0	6.4	10.0	17.0	13.7	8.0	-1.3	-3.6	-5.8	2.3	-4.6	-4.6
2015	-9.2	-5.2	-2.2	0.8	5.9	9.5	12.0	13.2	9.3	1.9	-0.8	-4.5	2.6	-3.3	-4.6
2016	-15.5	-5.4	-3.4	1.6	10.4										
KA	-10.0	-8.8	-5.2	0.5	7.4	11.7	14.8	12.8	8.4	1.2	-2.1	-6.0			tam-jou lok-maal