Joonas Eerola

NESTEKIERTOISEN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN MODERNISOINNIN KANNATTAVUUS

Koja Netto

Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2018

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	**Aika** Joulukuu 2018	**Tekijä** Joonas Eerola
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän modernisoinnin kannattavuus		
Työn ohjaaja Jari Halme		**Sivumäärä** 41 + 6
Työelämäohjaaja Mikko Haapakoski		

Opinnäytetyössä selvitettiin viiden nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetun ilmanvaihtokoneen nykytilanne lämmöntalteenoton osalta. Työssä laskettiin nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman vuosihyötysuhde sekä poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia. Tuloksia verrattiin tilalle suunnitellun Koja Netto -järjestelmän vastaaviin arvoihin. Näin voitiin laskea ja osoittaa lämmöntalteenottojärjestelmän modernisoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika. Modernisointi oli kannattavaa neljässä kohteessa viidestä. Takaisinmaksuajat vaihtelivat 2,0 vuodesta 48,1 vuoteen.

Asiasanat
Nestekiertoinen lämmöntalteenotto, vuosihyötysuhde

Centria
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date December 2018	Author Joonas Eerola
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Profitability of modernizing the fluid circulated heat recovery system		
Instructor Jari Halme		**Pages** 41 + 6
Supervisor Mikko Haapakoski		

The aim of this thesis was to investigate the present situation of five air handling units with fluid circulated heat recovery system. In this thesis the annual efficiency of exhaust air and the regenerated energy of exhaust air from the present heat recovery system were calculated. The results were compared to the values of Koja Netto system. On the basis of the comparison the profitability of modernizing the fluid circulated heat recovery system and repayment period was calculated. The modernization was profitable in four targets from five. The repayment periods varied from 2,0 to 48,1 years.

Key words
Fluid circulated heat recovery, annual efficiency

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

BACnet	Automaatioväylä
IV	Ilmanvaihto
Koja Netto	Moderni lämmöntalteenottojärjestelmä
LON	Automaatioväylä
LTO	Lämmöntalteenotto
PK	Poistoilmakoje
TK	Tuloilmakoje
VAK	Valvonta-alakeskus

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1

2 PERINTEINEN NESTEKIERTOINEN LÄMMÖNTALTEENOTTO 2
2.1 Toimintaperiaate 2
2.2 Tulo- ja poistopatterit 3
2.3 Käyttökohteet 3
2.4 Lämmöntalteenottotehon säätäminen sekä huurtumisenestotoiminta 3
2.5 Nestekiertoisen lämmöntalteenoton epäkohtia 4

3 KOJA NETTO 5
3.1 Moderni säätötapa 5
3.2 Älykäs huurteenesto 6
3.3 Ilmakuplien tunnistusjärjestelmä 6
3.4 Talteenotetun energian mittaus 7

4 LASKENTAMENETELMÄT 8
4.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet 8
4.2 Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia 9
4.3 Lämmöntalteenotolla talteenotettu lämpöenergia 10
4.4 Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 11
4.5 Lämmöntarveluku 12
4.6 Puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu 13
4.7 Patterin painehäviön aiheuttama puhallintehon lisäys 14
4.8 Takaisinmaksuaika 14

5 KOHTEET 15
5.1 Kohde 1: TK13 15
5.1.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä 16
5.1.2 Modernisointi Koja Netolla 17
5.2 Kohde 2: TK01, PK1.1.2 ja PK1.2.2 17
5.2.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä 17
5.2.2 Modernisointi Koja Netolla 19
5.3 Kohde 3: TK03 20
5.3.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä 20
5.3.2 Modernisointi Koja Netolla nykyisillä LTO-pattereilla 22
5.3.3 Modernisointi Koja Netolla uusituilla LTO-pattereilla 22
5.4 Kohde 4: TK01 22
5.4.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä 23
5.4.2 Modernisointi Koja Netolla 25
5.5 Kohde 5: TK01 25
5.5.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä 26
5.5.2 Modernisointi Koja Netolla nykyisillä LTO-pattereilla 27
5.5.3 Modernisointi Koja Netolla uusituilla LTO-pattereilla 28

6 TULOKSET **29**
6.1 Kohteen 1 tulokset **29**
6.1.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä **29**
6.1.2 Koja Netto nykyisillä neulalämmönsiirtimillä **30**
6.1.3 Takaisinmaksuaika **30**
6.2 Kohteen 2 tulokset **30**
6.2.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä **30**
6.2.2 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla **31**
6.2.3 Takaisinmaksuaika **31**
6.3 Kohteen 3 tulokset **32**
6.3.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä **32**
6.3.2 Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla **32**
6.3.3 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla **33**
6.3.4 Takaisinmaksuaika **33**
6.4 Kohteen 4 tulokset **34**
6.4.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä **34**
6.4.2 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla **34**
6.4.3 Takaisinmaksuaika **35**
6.5 Kohteen 5 tulokset **35**
6.5.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä **36**
6.5.2 Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla **36**
6.5.3 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla **36**
6.5.4 Takaisinmaksuaika **37**

7 JOHTOPÄÄTÖKSET **38**

LÄHTEET **39**
LIITTEET

KUVIOT

KUVIO 1. Perinteisen nestekiertoisen lämmöntalteenoton periaatekuva 2
KUVIO 2. Koja Neton periaatekuva 5

KUVAT

KUVA 1. Kohteen 1 tuloilmakone TK13 15
KUVA 2. Kohteen 2 tuloilmakoneen TK01 LTO:n tulopatteri, venttiili sekä pumppu 18
KUVA 3. Kohteen 3 ilmanvaihtokoneen TK03 lämmöntalteenottojärjestelmä 21
KUVA 4. Kohteen 4 tuloilmakoneen TK01 LTO:n tulopatteri, venttiili sekä pumppu 23
KUVA 5. Kohteen 5 tuloilmakoneen TK01 LTO:n tulopatteri, venttiili sekä pumppu 26

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kohteen 1 laskentaan vaikuttavat puhaltimet 16
TAULUKKO 2. Kohteen 1 LTO-pumppu 16
TAULUKKO 3. Kohteen 2 laskentaan vaikuttavat puhaltimet 19
TAULUKKO 4. Kohteen 2 LTO-pumppu 19
TAULUKKO 5. Kohteen 3 laskentaan vaikuttavat puhaltimet 20
TAULUKKO 6. Kohteen 3 LTO-pumppu 21
TAULUKKO 7. Kohteen 4 laskentaan vaikuttavat puhaltimet 24
TAULUKKO 8. Kohteen 4 LTO-pumppu 25
TAULUKKO 9. Kohteen 4 LTO-patterit 25

TAULUKKO 10. Kohteen 5 laskentaan vaikuttavat puhaltimet 27
TAULUKKO 11. Kohteen 5 LTO-pumppu 27

LIITTEET

LIITE 1/1 Kohteen 1 laskentataulukko nykyisellä lämmöntalteenottojärjestelmällä
LIITE 1/2 Kohteen 1 laskentataulukko Koja Netto nykyisillä neulalämmönsiirtimillä
LIITE 2/1 Kohteen 2 laskentataulukko nykyisellä lämmöntalteenottojärjestelmällä
LIITE 2/2 Kohteen 2 laskentataulukko Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla
LIITE 3/1 Kohteen 3 laskentataulukko nykyisellä lämmöntalteenottojärjestelmällä
LIITE 3/2 Kohteen 3 laskentataulukko Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla
LIITE 3/3 Kohteen 3 laskentataulukko Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla
LIITE 4/1 Kohteen 4 laskentataulukko nykyisellä lämmöntalteenottojärjestelmällä
LIITE 4/2 Kohteen 4 laskentataulukko Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla
LIITE 5/1 Kohteen 5 laskentataulukko nykyisellä lämmöntalteenottojärjestelmällä
LIITE 5/2 Kohteen 5 laskentataulukko Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla
LIITE 5/3 Kohteen 5 laskentataulukko Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla
LIITE 6 Ulkolämpötilojen pysyvyystaulukko vyöhykkeillä I-II

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää viiden nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetun ilmanvaihtokoneen nykytilanne lämmöntalteenoton osalta. Opinnäytetyössä tarkasteltiin nykyisen lämmöntalteenoton toimivuutta, hyötysuhteita, talteenotettua energiaa ja energiatehokkuutta. Opinnäytetyössä suunniteltiin nykyisen lämmöntalteenoton tilalle modernimpi Koja Netto -lämmöntalteenottojärjestelmä. Opinnäytetyön tavoitteena oli laskea ja osoittaa modernisoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika.

Työssä käydään läpi perinteisen nestekiertoisen lämmöntalteenoton teoriaa sekä ongelmakohtia. Työssä käsitellään myös Koja Netto -lämmöntalteenottojärjestelmän teoriaa. Työssä käytetyt merkittävimmät lähteet ovat Esa Sandbergin toimittama Ilmastointitekniikka osa 1: Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät -teos sekä Tasauslaskentaopas 2018 -teos.

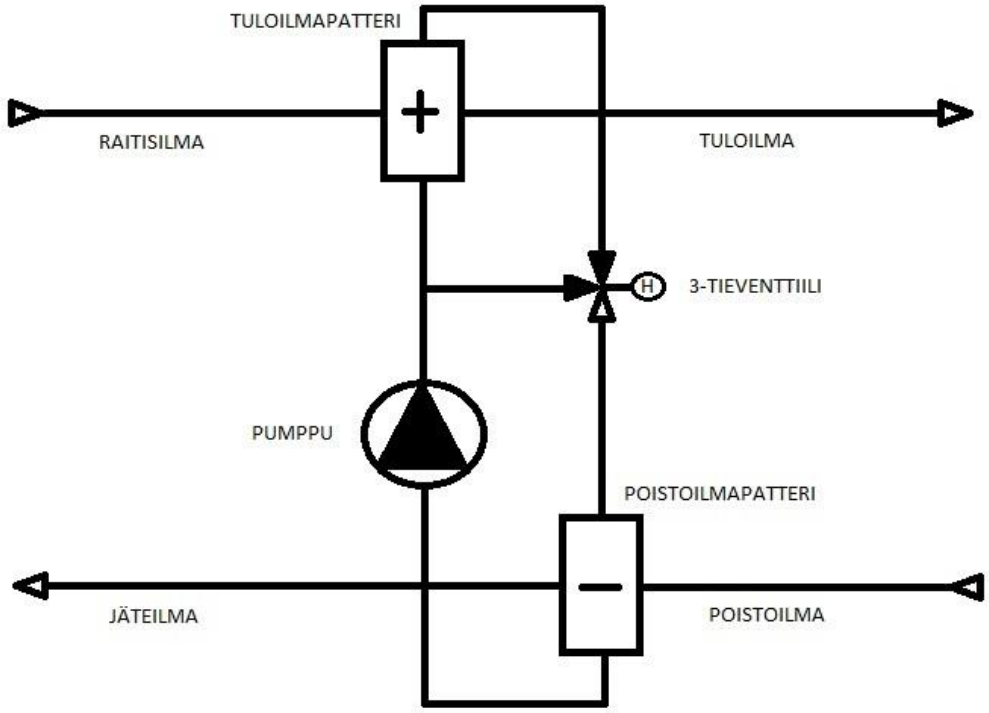
Opinnäytetyöhön ei kuulunut itse modernisointi, vaan ainoastaan siihen liittyvät laskelmat ja suunnitelmat.

2 PERINTEINEN NESTEKIERTOINEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton tarkoituksena on vähentää ilmanvaihdon lämmityskuluja. Käytettävän lämmöntalteenottojärjestelmän valintaan vaikuttavat siirrettävän ilman ominaisuudet kuten kosteus ja puhtaus sekä ilmanvaihtokanavien fyysiset sijainnit. Tässä luvussa käsitellään perinteistä nestekiertoista lämmöntalteenottoa.

2.1 Toimintaperiaate

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä lämpö siirtyy väliaineen avulla poistoilmasta tuloilmaan. Väliaineena käytettävä neste lämpenee, kun se kierrätetään pumpulla poistoilmakanavassa olevan patterin läpi. Poistoilmapatterin jälkeen lämmennyt neste kulkeutuu tuloilmakanavassa olevaan patteriin, lämmittäen samalla tuloilman. Väliaineena käytetään yleensä veden ja jäätymisenestoaineen seosta. Tyypillisen nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpötilasuhde on noin 50 %. (Mäkinen, Tammivaara, Paasio, Sandberg & Lönnström 2016, 184.)



KUVIO 1. Perinteisen nestekiertoisen lämmöntalteenoton periaatekuva

2.2 Tulo- ja poistopatterit

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton pattereissa tarvitaan paljon lämmönsiirtopinta-alaa, koska lämmönsiirron lämpötilaerot ovat pienet. Lämmöntalteenottopattereina käytetään jopa 10- tai 12-rivisiä pattereita, kun halutaan korkeaa vuosihyötysuhdetta. Pattereiden lamellien valmistusmateriaalina käytetään yleensä alumiinia ja putkien materiaalina kuparia, koska ne johtavat hyvin lämpöä. Lamellijakona käytetään normaalisti kahta millimetriä. Mikäli poistoilmassa on epäpuhtauksia, lamellijakoa harvennetaan neljään millimetriin, jolloin on helpompaa pestä patteri. (Mäkinen ym. 2016, 184.)

2.3 Käyttökohteet

Nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää käytetään silloin, kun halutaan pitää tulo- ja poistoilmavirrat toisistaan täysin erillään, esimerkiksi sairaaloissa ja laboratorioissa. Nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää käytetään myös silloin, kun tulo- ja poistoilmakanavat ovat kaukana toisistaan, esimerkiksi autopaikoitushalleissa. Nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä valitaan usein silloin, kun olemassa olevaan laitokseen lisätään lämmöntalteenotto, koska nestekiertoinen järjestelmä on helpohko lisätä. Se ei tarvitse paljoa lisätilaa eikä kanavointiin tarvitse tehdä muutoksia. (Mäkinen ym. 2016, 184.)

2.4 Lämmöntalteenottotehon säätäminen sekä huurtumisenestotoiminta

Lämmöntalteenottotehoa säädetään kahdessa tapauksessa: silloin, kun halutaan tuloilman viilenevän ja silloin, kun poistoilmapatterin huurtumisenestotoiminto aktivoituu. Perinteisesti lämmöntalteenottotehoa säädetään muuttamalla nestevirtaa 3-tieventtiilillä. Tällöin nestevirtaa kierrätetään ohi tuloilmapatterin, jolloin talteenotettava lämpömäärä pienenee ja tuloilman lämpötila laskee haluttuun lämpötilaan. Poistoilmapatterin huurtuminen taas estetään sillä, ettei poistoilmapatterille menevän nesteen lämpötilan annetta laskea alle esimerkiksi -5 °C:seen. Tällä pyritään estämään huurteen muodostuminen lamelleihin. (Mäkinen ym. 2016, 184-185.)

2.5 Nestekiertoisen lämmöntalteenoton epäkohtia

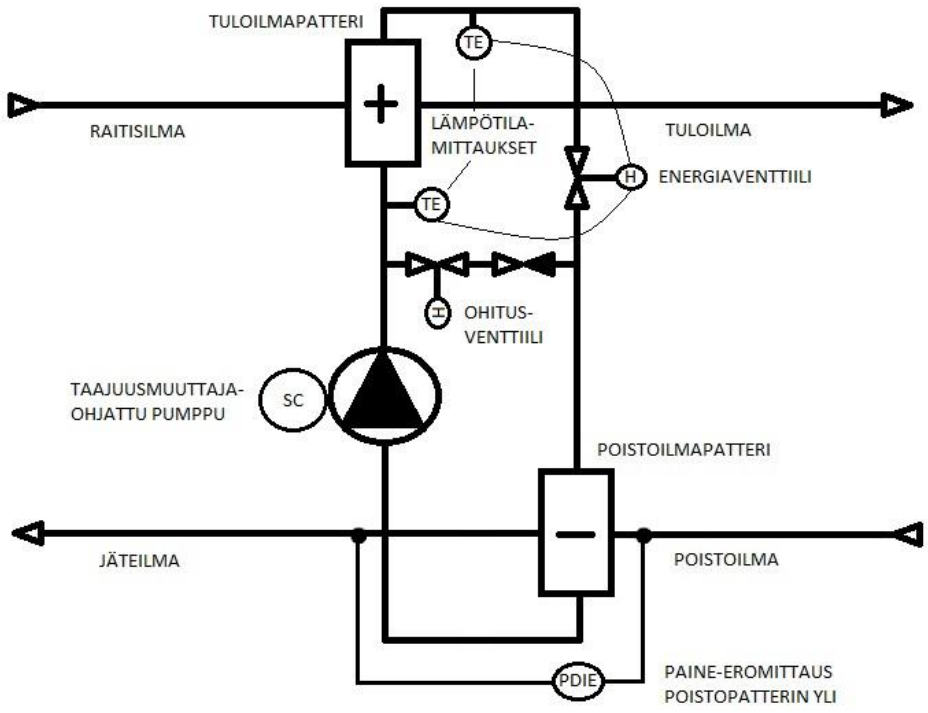
Nestekiertoisen lämmöntalteenoton huonoja puolia ovat pumppujen, putkien ja patterien hankintahinnat sekä asennustyöt, ja lisäksi pumppaaminen kuluttaa energiaa. Patterien huurtuminen ja jopa umpeen jäätyminen on otettava huomioon, sillä se huonontaa hyötysuhdetta. Lisäksi nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa on useita tekijöitä, jotka vaikuttavat liuoksen tehokkuuteen huonontavasti. Näitä ovat esimerkiksi putkistoon päässeet lika ja ilma, jotka huonontavat huomattavasti liuoksen ominaisuuksia. Liuoksen liian korkea glykolipitoisuus huonontaa lämmönluovutuskykyä ja vastaavasti liian matala glykolipitoisuus aiheuttaa ongelmia pakkaskestävyyden kanssa. Mitoitustekniset asiat, kuten patterien ja putkistojen koot sekä virtausnopeudet, voivat väärin valittuna huonontaa lämmöntalteenoton tehokkuutta. (Heinilä 2013, 5,10.)

3 KOJA NETTO

Koja Netolla tarkoitetaan nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän uutta sukupolvea. Koja Netossa on hyödynnetty uutta teknologiaa, mikä on parantanut perinteisessä nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa esiintyviä ongelmia. (Koja 2018, 1-2)

3.1 Moderni säätötapa

Energiatehokkuuden parantamiseksi Koja Netossa liuosvirtaama pidetään optimaalisena. Tämä onnistuu energiaventtiilin sekä kierrosohjatun pumpun avulla. Energiaventtiili mittaa jatkuvasti liuosvirtaamaa ja kertoo sen automaatiojärjestelmälle, joka taas ohjaa kierroslukuohjattua pumppua, joka pitää virtaamaan aina optimaalisena riippumatta liuoksen lämpötilasta. Lisäksi Koja Netossa käytetään aina hyötysuhteeltaan korkeaa pumppua. (Koja 2018, 2.) Perinteisen nestekiertoisen LTO:n kiertopumppuina käytetään lähes aina perinteistä ja yksinkertaista pumppua, jonka kierrosnopeutta ei säädetä millään tavalla. Ne pyörivät aina samaa vakiokierrosnopeutta, vaikka vähemmälläkin kierrosnopeudella saisi riittävän virtauksen putkistossa. Vakiokierrosnopeudella pyörivä LTO-pumppu vie energiaa siis enemmän kuin tarvitsisi.



KUVIO 2. Koja Neton periaatekuva

3.2 Älykäs huurteenesto

Koja Netossa käytetään poistoilmapuolella poistopatterin yli ilman paine-eromittausta. Mittauksesta saadaan selville poistopuolen patterin huurtuminen; kun poistopatteri alkaa huurtua, sen yli oleva paine-ero alkaa kasvaa. Huurretta ei pääsee syntymään, mikäli poistoilma on kuivaa, vaikka poistopatterille menevän liuoksen lämpötila olisikin alle +0 °C. Tarpeenmukaisella huurteenestolla saadaan aikaan huomattavat energiasäästöt. (Koja 2018, 2.) Perinteisen huurteenesto-toiminnon aloitus tapahtuu vain pelkän poistopatterille menevän nesteen lämpötilan tai vaihtoehtoisesti LTO:n jälkeisen poistoilman lämpötilan perusteella. Tällöin ei tiedetä, ovatko patterin lamellit oikeasti huurtumassa. Usein huurtumisenesto-toiminnon aloitus-asetusarvo onkin jätetty tarkoituksella liian korkeaksi, jotta poistopatterin jäätymisen todennäköisyys saadaan minimoitua. Kun huurtumisenesto aloitetaan näin korkeilla lämpötiloilla, LTO:n hyötysuhde huononee huomattavasti. Huurtumisenesto tapahtuu yleensä matalilla ulkolämpötiloilla, jolloin LTO:n antamaa lämpötehoa tarvitaan kaikista eniten.

3.3 Ilmakuplien tunnistusjärjestelmä

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä yksittäisistä ongelmista suurin on putkistossa oleva ilma. Täytettäessä järjestelmää sinne pääsee jonkin verran happea. Ajan myötä happi kuitenkin kuluu pois, eikä tästä syystä haittaa järjestelmän toimintaa. Täytössä putkistoon päässyt typpi jää kuitenkin kiertämään järjestelmään muodostaen samalla pieniä ilmakuplia. Ilmakuplat kiinnittyvät patterien sisäpinnalle, jolloin ne toimivat eristeenä huonontaen lämpötehon siirtymistä sekä pienentäen samalla LTO:n tehoa. Lisäksi ilman lämpökapasiteetti (1 kJ/kg K 20 °C:ssa) on lähes neljä kertaa huonompi kuin 30 % etyleeniglykoliseoksella (3,75 kJ/kg K). (Järvinen 2015, 25.) Koja Neton energiaventtiilin avulla päästään eroon tästä nestekiertoisen LTO:n suurimmasta ongelmasta eli ilmasta. Se tunnistaa järjestelmässä kiertävät ilmakuplat ja antaa niistä hälytyksen rakennusautomaatiojärjestelmään, jolloin tiedetään järjestelmällä olevan ilmaustarvetta. (Koja 2018, 2.) Perinteisessä järjestelmässä putkistossa olevaa ilmaa on vaikea havaita muuten kuin LTO:n huonon hyötysuhteen kautta. LTO-nestepiirin kunnollinen ilmaus on siis todella tärkeää järjestelmän toimivuuden kannalta, mutta sitä ei tehdä riittävän usein. Monesti LTO-nestepiiri ilmataan vain järjestelmän käyttöönotossa, eikä silloinkaan työtä tehdä kunnolla, jolloin ilmaa jää putkistoihin. Tähän ei myöskään ole olemassa toi-

mivia automaattisia ilmauslaitteita, vaan ilmaus on suoritettava käsin. Myös virtauksien säädössä on usein ongelmia. Esimerkiksi +25 °C:ssa säädetty järjestelmä ei välttämättä toimi suunnitellulla tavalla -25 °C:ssa, jolloin LTO-järjestelmän oikea ja tehokas toimivuus on erityisen tärkeää. Muutenkaan vajavaisilla anturoinneilla ei saada tietoa siitä, mitä LTO-nestepiirissä oikeasti tapahtuu.

3.4 Talteenotetun energian mittaus

Tavallisesti lämmöntalteenoton talteenottama energia lasketaan ilmapuolelta. Koja Netossa talteenotettu energia lasketaan nestepiiristä, jolloin mittaustarkkuudesta saadaan korkeampi kuin ilmapuolelta. Energiaventtiiliin on yhdistettynä kaksi lämpötila-anturia, jotka sijaitsevat tuloilmapatterille menevässä putkessa sekä sieltä palaavassa putkessa. Energiaventtiiliin laskee talteenotetun energian mittaamastaan virtauksesta sekä lämpötila-anturien lämpötilaerosta. Tämä talteenotettu energia pystytään lukemaan suoraan rakennusautomaatiojärjestelmästä, joten siihen ei tarvita erillistä mittausta. (Koja 2018, 2.)

4 LASKENTAMENETELMÄT

Opinnäytetyössä käytetyt laskentamenetelmät perustuvat pääosin Tasauslaskentaopas 2018 -teoksessa käytettyihin laskentamenetelmiin, joilla määritellään laskennallisesti ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

4.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan lämmöntalteenottojärjestelmän ominaisuutta ottaa lämpöä talteen poistoilmasta. Vastaavasti tuloilman lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan lämmöntalteenottojärjestelmän ominaisuutta ottaa lämpöä talteen tuloilmasta. Yleensä laskelmissa käytetään tuloilman lämpötilasuhdetta, jonka valmistaja on määrittänyt ja ilmoittanut standardin SFS-EN 308:1997 avulla. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmässä ei pystytä osoittamaan selviä tulo- ja poistoilmavirtapareja, suositellaan laskelmissa käytettäväksi poistoilman lämpötilahyötysuhdetta. Tämä tilanne on mahdollista silloin, kun käytetään nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää. (Tasauslaskentaopas 2018, 50.)

Tuloilman lämpötilahyötysuhde voidaan laskea kaavalla:

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \text{, missä} \qquad (1)$$

t_{tLTO} = tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C
t_u= ulkoilman lämpötila, °C
t_s= sisäilman (poistoilman) lämpötila, °C

Poistoilman lämpötilahyötysuhde taas voidaan laskea kaavalla:

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \text{, missä} \qquad (2)$$

t_s= sisä-/poistoilman lämpötila, °C
t_j = jäteilman (poistoilma LTO:n jälkeen) lämpötila, °C

t_u= ulkoilman lämpötila, °C

(Tasauslaskentaopas 2018, 50.)

4.2 Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia

Lämmityskaudella eli ulkoilman ollessa alle +12 ˚C, ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia Q_{IV} lasketaan niin, että tarkastellaan tilannetta siinä tapauksessa, että käytössä ei ole lämmöntalteenottoa. Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia Q_{IV} lasketaan kaavalla 3:

$$Q_{IV} = c_p \times \rho \times q_p \times \tau_d \times \tau_v \times \sum(t_s - t_u) \times \Delta\tau \text{ , missä} \quad (3)$$

Q_{IV} = ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia, kWh
c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ / kg K
ρ = ilman tiheys, kg / m^3
q_p = poistoilmavirta, joka kulkee läpi talteenoton, m^3 / s
τ_d = ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde
τ_v = ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde
t_s = sisäilman / poistoilman lämpötila, ˚C
t_u = ulkoilman lämpötila, ˚C
Δτ = aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero t_s-t_u esiintyy, h

Kaavassa 3 poistoilman ja ulkoilman välisen lämpötilojen erotuksen sekä aikajakson tulon summalauseketta vastaa poistoilman ja ulkoilman välinen lämmöntarveluku. Poistoilman ja ulkoilman välinen lämmöntarveluku lasketaan kaavalla 4:

$$S_S = \sum(t_s - t_u) \times \Delta\tau \text{, missä} \quad (4)$$

S_S = poistoilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

(Tasauslaskentaopas 2018, 27,52-53.)

4.3 Lämmöntalteenotolla talteenotettu lämpöenergia

Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia Q_{LTO} lasketaan kaavalla 5, kun tarkastellaan poistoilmapuolta.

$$Q_{LTO} = c_p \times \rho \times q_p \times \tau_d \times \tau_v \times \sum(t_s - t_j) \times \Delta\tau \text{ , missä} \quad (5)$$

Q_{LTO} = Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia, kWh
c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ / kg K
ρ = ilman tiheys, kg / m^3
q_p = poistoilmavirta, joka kulkee läpi talteenoton, m^3 / s
τ_d = ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde
τ_v = ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde
t_s = sisäilman / poistoilman lämpötila, ˚C
t_j = jäteilman / poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen, ˚C
$\Delta\tau$ = aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero t_s-t_j esiintyy, h

Kaavassa 5 poistoilman ja LTO:n jälkeisen poistoilman välisen lämpötilaeron sekä aikajakson tulon summalauseketta vastaa poistoilman ja LTO:n jälkeisen poistoilman välinen lämmöntarveluku. Poistoilman ja LTO:n jälkeisen poistoilman välinen lämmöntarveluku lasketaan kaavalla 6:

$$S_J = \sum(t_s - t_j) \times \Delta\tau \text{, missä} \quad (6)$$

S_J = poistoilman lämpötilan t_s ja LTO:n jälkeisen poistolämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

Talteenotettu lämpöenergia Q_{LTO} voidaan laskea myös tuloilmapuolelta kaavalla 7:

$$Q_{LTO} = c_p \times \rho \times q_t \times \tau_d \times \tau_v \times \sum(t_{tLTO} - t_u) \times \Delta\tau \text{ , missä} \quad (7)$$

Q_{LTO} = Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia, kWh

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ / kg K

ρ = ilman tiheys, kg / m^3

q_t = tuloilmavirta, joka kulkee läpi talteenoton, m^3 / s

τ_d = ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde

τ_v = ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde

t_{tLTO} = tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, ˚C

t_u = ulkoilman lämpötila, ˚C

$\Delta\tau$ = aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero $t_{tLTO} – t_u$ esiintyy, h

Kaavassa 7 LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkoilman välisen lämpötilaeron sekä aikajakson tulon summalauseketta vastaa LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkoilman välinen lämmöntarveluku. LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkoilman välinen lämmöntarveluku lasketaan kaavalla 8:

$$S_T = \sum(t_{tLTO} - t_u) \times \Delta\tau, \text{ missä} \quad (8)$$

S_T = on LTO:n jälkeisen lämpötilan t_{tLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

(Tasauslaskentaopas 2018, 27, 54–56.)

4.4 Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon poistoilmasta lämmöntalteenottojärjestelmällä saatava lämpö pystytään laskemaan myös ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen η_a avulla. Vuosihyötysuhde η_a tarkoittaa lämmöntalteenottojärjestelmällä vuodessa talteenotettavan energian suhdetta ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, silloin kun lämmöntalteenottojärjestelmää ei ole. Vuosihyötysuhteen η_a laskentaan käytetään valmistajan antamaa standardin SFS-EN 308 mukaan laskettua lämpötilahyötysuhdetta. Vuosihyötysuhteen η_a voi laskea myös käyttämällä tyyppihyväksyttyä tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Tällöin laskenta on suoritettava suunnitteluratkaisun mukaisella poistoilmavirralla ja tulo- ja poistoilman massavirtojen on oltava yhtä suuret. Näiden lisäksi vuosihyötysuhteen η_a määrittämisessä täytyy huomioida lämmöntalteenoton tehon rajoittaminen, jolloin tuloilman lämpötilaa pienennetään sekä

huurtumiseneston toiminta, jolloin poistoilman lämpötilaa LTO:n jälkeen nostetaan. Ohjeellisena huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen voidaan laskennassa käyttää arvoa 0 ˚C, kun kyseessä on kuiva toimistotila ja arvoa +5 ˚C, kun kyseessä on tavanomainen asuintila.

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan kaavalla:

$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{IV}}$, missä (9)

η_a = ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Kaava 9 voidaan esittää myös muodossa:

$\eta_a = \frac{R_T \times S_T}{S_S} = \frac{R_P \times S_J}{S_S}$, missä (10)

R_T = tuloilmavirran ja lämmöntalteenoton läpi kulkevan poistoilmavirran suhde
R_P = poistoilmavirran ja lämmöntalteenoton läpi kulkevien tuloilmavirtojen suhde

(Tasauslaskentaopas 2018, 35, 57-58.)

4.5 Lämmöntarveluku

Lämmöntarveluvun laskennassa käytetään apuna Ilmatieteenlaitoksen ulkolämpötilojen pysyvyysarvoja nykyisessä ilmastossa (TRY2012). On kuitenkin huomattava, että erityisesti talvikuukausina, jotka ovat tavanomaista kylmempiä, saattavat pysyvyysarvot poiketa paljonkin TRY2012-pysyvyysarvoista. TRY2012-testivuosiaineiston tulokset eivät kata myöskään aivan matalimpia lämpötiloja, toisin kuin 30 vuoden havaintoihin perustuvat pysyvyysarvot. (Ilmatieteenlaitos 2018.) Lämmöntarveluvut lasketaan lämpötila-alueittain kaavoilla 11-13 pysyvyysarvojen avulla:

$S_S = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) \times (t_s - t_{u,n})$ (11)

$S_T = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) \times (t_{tLTO,n} - t_{u,n})$ (12)

$S_J = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) \times (\tau_s - \tau_{j,n})$, missä (13)

S_S = poistoilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

S_T = on LTO:n jälkeisen lämpötilan t_{tLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

S_J = poistoilman lämpötilan t_s ja LTO:n jälkeisen poistolämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

τ_n = tarkasteltavan ajanhetken aika, d

τ_{n-1} = tarkasteltavaa ajanhetkeä edeltävän ajanhetken aika, d

(Tasauslaskentaopas 2018, 60.)

4.6 Puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu

Puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu $\Delta t_{puhallin}$ lasketaan kaavalla 14:

$$\Delta t_{puhallin} = \frac{P_{puh} \times p_s}{\rho \times c_p \times q_v}$$, missä (14)

$\Delta t_{puhallin}$ = puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu, ˚C

P_{puh} = puhaltimen sähköteho, kW

p_s = ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde. Puhaltimen sijaitessa ilmavirrassa p_s = 1,0 ja mikäli puhallin ei sijaitse ilmavirrassa p_s = 0,6

ρ = ilman tiheys, kg / m^3

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ / kg K

q_v = puhaltimen ilmavirta, m^3 / s

Jos laskennassa käytettävät lähtöarvot eivät ole saatavilla, voidaan puhaltimen aiheuttamalle lämpötilan nousulle käyttää oletuksena arvoa 0,5˚C.
(Heinonen & Vuolle 2016, 454.)

4.7 Patterin painehäviön aiheuttama puhallintehon lisäys

Patterin aiheuttama puhaltimen sähkötehon lisäys lasketaan kaavalla 15:

$$P = \frac{q_v \times \Delta_p}{\eta_{puh}} \text{ , missä} \quad (15)$$

P = sähkötehon lisäys, W

q_v = ilmavirta, m^3/s

Δ_p = patterin painehäviö, Pa

η_{puh} = puhaltimen hyötysuhde

(Nieminen 2010, 42-43.)

4.8 Takaisinmaksuaika

Suora takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 16:

$$TA = \frac{Kokonaisinvestointi}{Energiasäästö} \text{ , missä} \quad (16)$$

TA = Takaisinmaksuaika, a

Kokonaisinvestointi = investointien kokonaissumma, €

Energiasäästö = säästetty energia, €/a

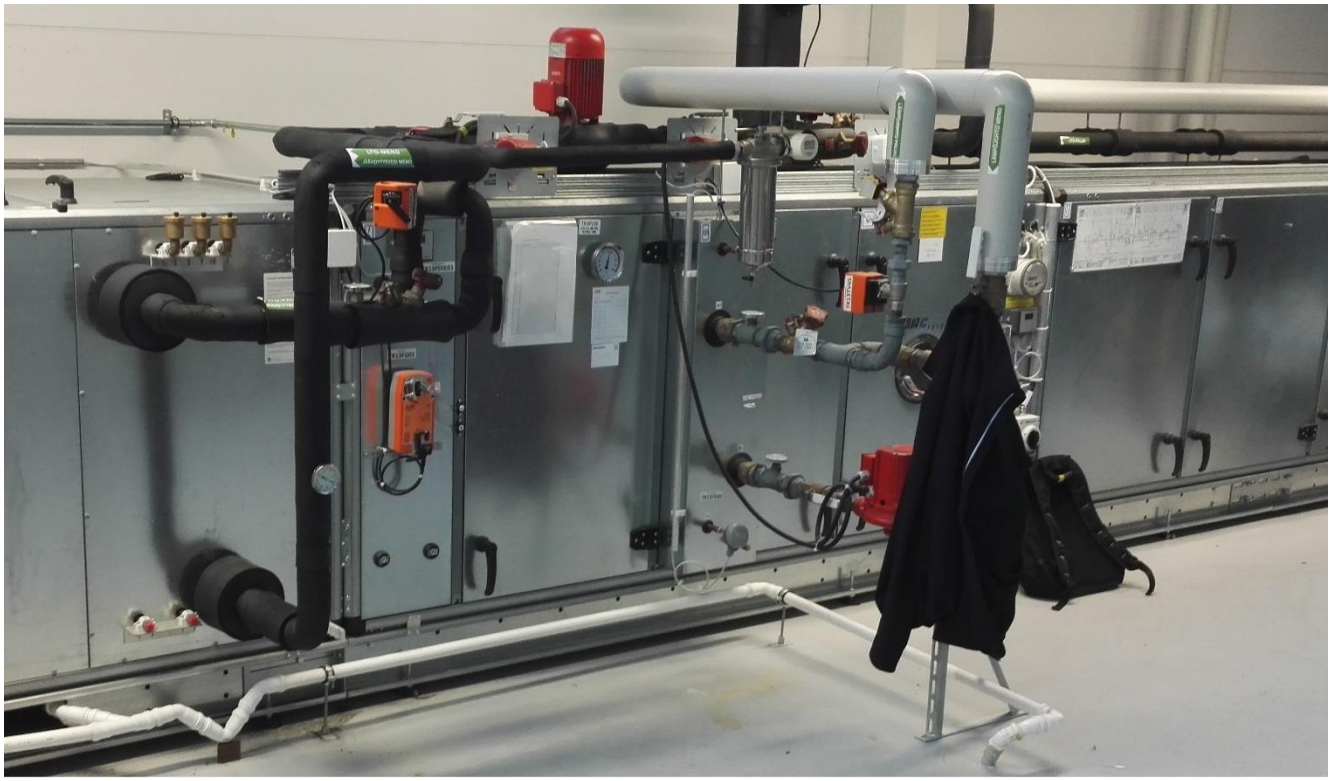
(Nieminen 2010, 45)

5 KOHTEET

Kohteiksi työhön valikoitu viisi kohdetta, joissa on lämmöntalteenottojärjestelmä nestekierrolla. Vanhimman työssä esiintyvän ilmanvaihtokoneen ja lämmöntalteenottojärjestelmän käyttöönottovuosi on 1991. Tuorein ilmanvaihtokone on otettu käyttöön vuonna 2016. Kohteet sijaitsevat Keski-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla. Työssä esiintyvät urakoitsijoiden hinnat ovat alv 0 % kustannusarvioita.

5.1 Kohde 1: TK13

Kohde 1 on kauppakeskus, joka sijaitsee Keski-Pohjanmaalla. Ilmanvaihtokone TK13 on otettu käyttöön vuonna 2013. TK13 TF01 toimii ravintolan ja keittiön tuloilmakoneena. TK13 PF01 on keittiön huuvien sekä ravintolan poistoilmakone. TK13 PF02 on likaisten tilojen eli WC-tilojen sekä siivouskeskuksen poistoilmakone. TK13 tuloilmakone on kuvassa 1.



KUVA 1. Kohteen 1 tuloilmakone TK13

5.1.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

TK13 LTO:n tulopatteri on Retermia-neulalämmönsiirrin. Poistoilmakoneiden TK13 PF01 ja PF02 LTO:n poistopatterina on yhteinen Retermia-neulalämmönsiirrin. Tuloilman lämpötilaa mitataan LTO:n tulopatterin jälkeen. VAK4 -alakeskuksen prosessori on Siemens PXC200-E.D, johon energiaventtiili voidaan liittää BACnet-väylällä. Laskelmissa käytetyt ilmamäärät ja käyntiajat ovat taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Kohteen 1 laskentaan vaikuttavat puhaltimet

Puhallin	Mitattu ilmamäärä	Käyntiaika
TK13 TF01 1/2-nopeus	805 l/s	Ma: 5:30-7:00, 18:30-19:30, Ti-Pe: 6:00-7:00, 18:30-19:30, La: 7:00-8:00, 17:30-18:30, Su: 9:00-10:00, 18:30-19:30
TK13 TF01 1/1-nopeus	1595 l/s	Ma-Pe: 7:00-18:30, La: 8:00-17:30, Su: 10:00-18:30
TK13 PF01 1/2-nopeus	820 l/s	Sama kuin TF01 1/2-nopeudella
TK13 PF01 1/1-nopeus	1684 l/s	Sama kuin TF01 1/1-nopeudella
TK13 PF02 1/2-nopeus		
TK13 PF02 1/1-nopeus	310 l/s	Käy 1/1-nopeudella, kun TF01 käy

TAULUKKO 2. Kohteen 1 LTO-pumppu

Pumppu	Mitoitusnestevirta	Teho	Suunniteltu LTO-neste
TK13 PU50	0,72 l/s	1,1 kW	35 % etyleeniglykoli

5.1.2 Modernisointi Koja Netolla

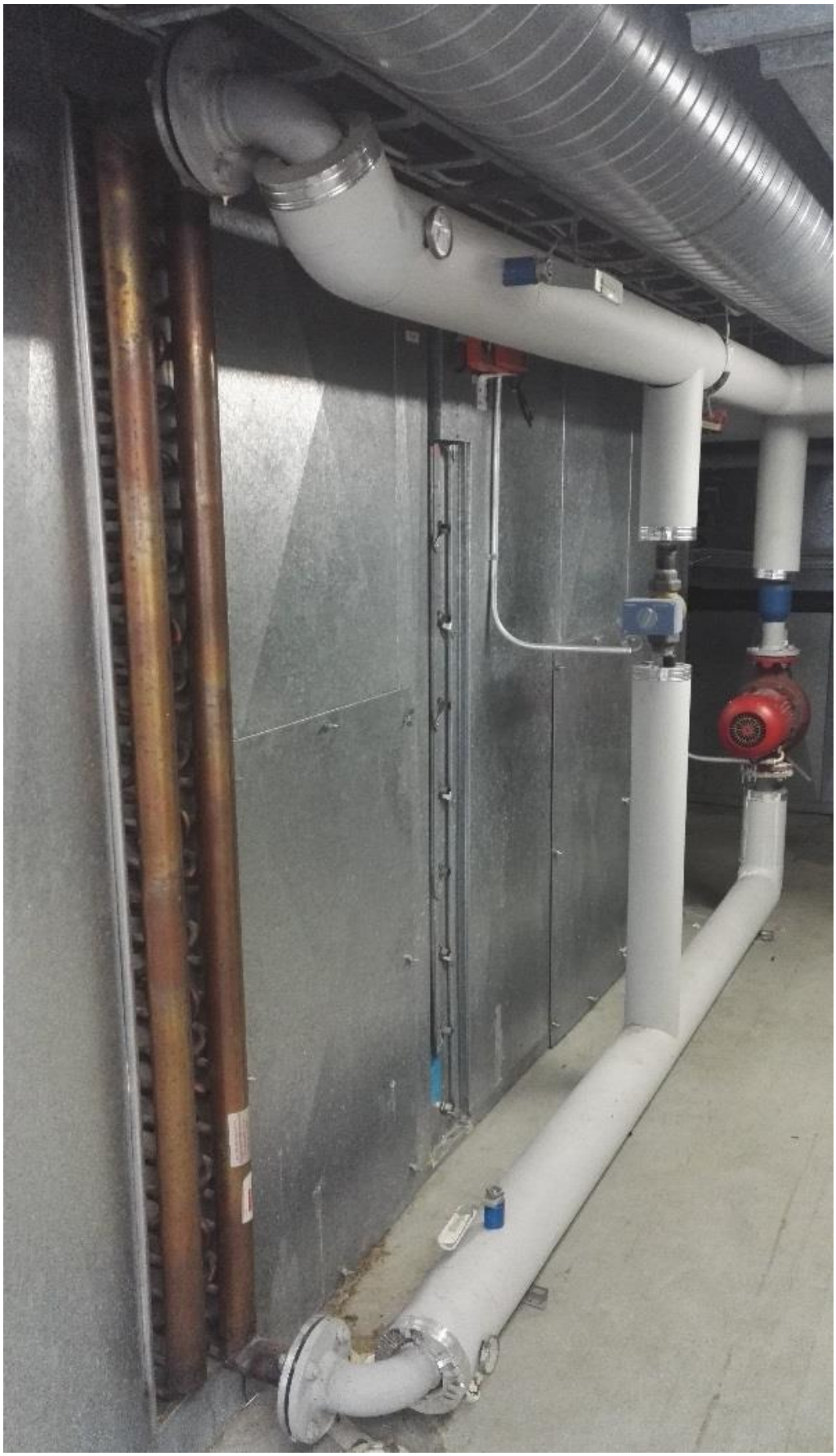
Kohde 1 modernisoidaan Koja Netolla käyttämällä nykyisiä Retermia-neulalämmönsiirtimiä sekä tulo- että poistopuolella. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV020R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP020R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR3-3 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0003-4-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi tasailmavirroin saadaan 52,0 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 6800 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa ja putkityöt 6000 euroa eli yhteensä hinta on 15300 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018)

5.2 Kohde 2: TK01, PK1.1.2 ja PK1.2.2

Kohde 2 on kauppakeskus, joka sijaitsee Keski-Pohjanmaalla. Ilmanvaihtokoneet TK01, PK1.1.2 ja PK1.2.2 ovat alkuperäiset vuodelta 1991. Kaikki on kuitenkin muutettu taajuusmuuttajaohjatuiksi. TK01 on kauppakeskuksen tuloilmakone, joka sijaitsee 3. kerroksen iv-konehuoneessa. PK1.1.2 ja PK1.2.2 poistavat ilman parkkihallista.

5.2.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Tuloilmakoneen TK01-tulopuhallin on vaihdettu vuonna 2012 ja sen hyötysuhde on 0,75. Poistopuhaltimien ilmamäärät perustuvat keväällä 2018 tehtyyn ilmamäärämittaukseen. Laskelmissa käytetyt puhaltimien ilmamäärät ja käyntiajat ovat taulukossa 3. Poistopuhaltimet sijaitsevat katolla, mutta LTO:n poistopatterit kellarikerroksen parkkihallissa. LTO:n tulopatteri on 6-rivinen lamellipatteri, kooltaan 192 cm x 270 cm x 23 cm (KUVA 2). Poistoilmakoneiden PK1.1.2 ja PK1.2.2 LTO:n poistopatterit ovat 6-rivisiä lamellipattereita, kooltaan 203 cm x 160 cm x 23 cm ja 123 cm x 160 cm x 23 cm. Tuloilmaa LTO:n jälkeen mitataan vasta 27 kW-tehoisen TK01-tulopuhaltimen jälkeen. VAK2 -alakeskuksen prosessori on LON-väylässä oleva Siemens PXC64-U, johon energiaventtiili voidaan liittää BACnet-väylällä olemassa olevan Siemensin reitittimen välityksellä.



KUVA 2. Kohteen 2 tuloilmakoneen TK01 LTO:n tulopatteri, venttiili sekä pumppu

TAULUKKO 3. Kohteen 2 laskentaan vaikuttavat puhaltimet

Puhallin	Mitattu ilmamäärä	Käyntiaika
TK01 1/2-nopeus		
TK01 1/1-nopeus	12259 l/s	Ma-Pe: 6:00-23, La: 7:40-22:50, Su: 8:00-22:35
PK1.1.2 1/2-nopeus	5200 l/s (arvioitu)	Sama kuin TK01 1/1-nopeudella
PK1.1.2 1/1-nopeus		
PK1.2.2 1/2-nopeus	5200 l/s (arvioitu)	Sama kuin TK01 1/1-nopeudella
PK1.2.2 1/1-nopeus		

TAULUKKO 4. Kohteen 2 LTO-pumppu

Pumppu	Mitoitusnestevirta	Teho	Suunniteltu LTO-neste
TK01 PU05	5,0 l/s	4,0 kW	G 30 %

5.2.2 Modernisointi Koja Netolla

Kohde 2 modernisoidaan Koja Netolla uusimalla samalla myös kaikki kolme LTO-patteria. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV050R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP050R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR20-4 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0012-4-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi tasailmavirroin saadaan 65,2 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 10700 euroa, LTO-patterien hinta on 24000 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa, putkityöt 6500 euroa ja patterien vaihtotyöt 3500 euroa eli yhteensä hinta on 47200 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018; Nykänen 2018)

5.3 Kohde 3: TK03

Kohde 3 on hotelli, joka sijaitsee Keski-Pohjanmaalla. TK03 on hotellihuoneiden tulo-poistoilmanvaihtokone, joka on uusittu vuonna 2008. Ilmanvaihtokone TK03 sijaitsee katolla iv-konehuoneessa.

5.3.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Tuloilmakoneen TK03 LTO:n tulopatteri on 6-rivinen alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 2,0 mm lamellijaolla ja 98 Pa painehäviöllä, ja se on kooltaan 111 cm x 130 cm x 42 cm. Tuloilmakoneen TK03 LTO:n poistopatteri on 8-rivinen alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 2,4 mm lamellijaolla ja 121 Pa painehäviöllä, ja se on kooltaan 111 cm x 130 cm x 62 cm. Ilmanvaihtokoneen TK03 lämmöntalteenottojärjestelmä on kuvassa 3. Hyötysuhde on TF01-puhaltimella 0,75 ja PF01-puhaltimella 0,75. Ilman lämpötilaa mitataan sekä LTO:n tulo- että poistopatterin jälkeen, poistoilman lämpötilamittaus LTO:n jälkeen on tosin vasta poistoilmapuhaltimen jälkeen. VAK3 -alakeskuksen prosessori on LON-väylässä oleva Siemens PXC64-U, johon energiaventtiili voidaan liittää BACnet-väylällä olemassa olevan Siemensin reitittimen välityksellä.

Ilmamäärämittauksessa 1/2-nopeudella tulo- ja poistopuhaltimien ilmamäärät olivat tasapainossa, mutta 1/1-nopeudella poistoilmamäärä jäi huomattavasti alhaisemmaksi kuin tuloilmamäärä. Tämä johtui luultavasti siitä, että kaikki poistoilmakanavan sektoripellit eivät olleet mittauksen aikana auki. Laskelmissa on käytetty tulo- ja poistoilmamäärän suhteena 1/2-nopeudella saatua suhdetta. Laskelmissa käytetyt puhaltimien ilmamäärät ja käyntiajat ovat taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Kohteen 3 laskentaan vaikuttavat puhaltimet

Puhallin	Mitattu ilmamäärä	Käyntiaika
TK03 TF01 1/2-nopeus	2230 l/s	Ma-Su: 00:00-06:00, 12:00-17:00
TK03 PF01 1/1-nopeus	3141 l/s	Ma-Su: 06:00-12:00, 17:00-24:00
TK03 PF01 1/2-nopeus	2270 l/s	Ma-Su: 00:00-06:00, 12:00-17:00
TK03 PF01 1/1-nopeus	2605 l/s	Ma-Su: 06:00-12:00, 17:00-24:00

TAULUKKO 6. Kohteen 3 LTO-pumppu

Pumppu	Mitoitusnestevirta	Teho	Suunniteltu LTO-neste
TK03 PU50	2,2 l/s	1,1 kW	Etyleeniglykoli 35 %

KUVA 3. Kohteen 3 ilmanvaihtokoneen TK03 lämmöntalteenottojärjestelmä

5.3.2 Modernisointi Koja Netolla nykyisillä LTO-pattereilla

Vaihtoehtona 1 kohde 3 modernisoidaan Koja Netolla käyttämällä nykyisiä LTO-pattereita sekä tulo- että poistopuolella. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV032R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP032R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR10-3 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0003-5-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi tasailmavirroin saadaan 49,7 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 8100 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa ja putkityöt 8500 euroa eli yhteensä hinta on 19100 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018)

5.3.3 Modernisointi Koja Netolla uusituilla LTO-pattereilla

Vaihtoehtona 2 kohde 3 modernisoidaan Koja Netolla uusimalla samalla myös molemmat LTO-patterit. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV032R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP032R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR10-3 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0003-5-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi tasailmavirroin saadaan 68,6 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 8100 euroa, LTO-patterien hinta on 12000 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa, putkityöt 8500 euroa ja patterien vaihtotyöt 1300 euroa eli yhteensä hinta on 32400 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018; Nykänen 2018)

5.4 Kohde 4: TK01

Kohde 4 on liikenneasema, joka sijaitsee Pohjanmaalla. Ilmanvaihtokoneet TK01 TF01, PF01 ja PF02 ovat vuodelta 2011. Tuloilmakone TK01 palvelee koko liikenneasemaa lukuun ottamatta taukohuonetta. Poistoilmakone PF01 on ravintolan, kabinetin, arkiston, myymälän, aulan, WC-tilojen sekä pullohuoneen poistoilmakone. PF02 on keittiön poistoilmakone.

5.4.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

TK01 TF01 LTO:n tulopatteri on alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 2,0 mm lamellijaolla ja 131 Pa painehäviöllä, ja se on kooltaan 157 cm x 190 cm x 50 cm. TK01 PF01 LTO:n poistopatteri on alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 2,0 mm lamellijaolla ja 145 Pa painehäviöllä, ja se on kooltaan 92 cm x 170 cm x 60 cm. TK01 PF02 LTO:n poistopatteri on alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 2,0 mm lamellijaolla ja 137 Pa painehäviöllä, ja se on kooltaan 137 cm x 140 cm x 55 cm. Ilmanvaihtokoneen TK01 lämmöntalteenottojärjestelmä on kuvassa 4.

KUVA 4. Kohteen 4 tuloilmakoneen TK01 LTO:n tulopatteri, venttiili sekä pumppu

Tuloilman lämpötilaa mitataan sekä ennen että jälkeen LTO:n tulopatterin. Poistoilman lämpötilamittaukset sijaitsevat myös kummankin poistopatterin molemmilla puolilla, jäteilma-anturit tosin vasta poistoilmapuhaltimien jälkeen. Lämpötilan nousu on TK01 TF01-puhaltimessa 1,0 °C, TK01 PF01-puhaltimessa 0,7 °C ja TK01 PF02-puhaltimessa 0,8 °C. Hyötysuhde on TF01-puhaltimella 0,759, PF01-puhaltimella 0,745 ja PF02-puhaltimella 0,763. Laskelmissa käytetyt puhaltimien ilmamäärät ja käyntiajat ovat taulukossa 7. VAK1 -alakeskuksen prosessori on Siemens PXC200E.D, joten energiaventtiilin voi liittää siihen BACnet-väylällä. VAK1 -alakeskuksen päällä on ATK-rasia, johon energiaventtiilin 20 m pitkän ethernet-kaapelin voi kytkeä tai vaihtoehtoisesti sen voi kytkeä iv-konehuoneen viereisen sähköpääkeskustilan ristikytkentäkaappiin, johon matkaa on noin 25 m.

TAULUKKO 7. Kohteen 4 laskentaan vaikuttavat puhaltimet

Puhallin	Mitattu ilmamäärä	Käyntiaika
TK01 TF01 osateho	2711 l/s (arvioitu)	Ma-Pe: 05:00-08:00, 19:00-24:00 La: 05:50-07:00, 22:00-24:00 Su: 05:00-08:00, 19:00-24:00
TK01 TF01 normaaliteho	5421 l/s	Ma-To: 08:00-19:00 La: 07:00-22:00 Su: 08:00-19:00
TK01 TF01 tehostus	5763 l/s	
TK01 PF01 osateho	1086 l/s (arvioitu)	Sama TF01 osatehon kanssa
TK01 PF01 normaaliteho	2172 l/s	Sama TF01 normaalitehon kanssa
TK01 PF01 tehostus	2370 l/s	
TK01 PF02 osateho	1626 l/s (arvioitu)	Sama TF01 osatehon kanssa
TK01 PF02 normaaliteho	3252 l/s	Sama TF01 normaalitehon kanssa
TK01 PF02 tehostus	3407 l/s	

TAULUKKO 8. Kohteen 4 LTO-pumppu

Pumppu	Mitoitusnestevirta	Teho	Suunniteltu LTO-neste
TK01 PU50	2,2 l/s	0,55 kW	Etyleeniglykoli 35 %

TAULUKKO 9. Kohteen 4 LTO-patterit

Patteri	Suunniteltu nestevirta	Suunniteltu LTO-neste
TK01 LP01	2,0 l/s	Etyleeniglykoli 30 %
TK01 LTO01 (PF02)	1,15 l/s	Etyleeniglykoli 30 %
TK01 LTO02 (PF01)	0,85 l/s	Etyleeniglykoli 30 %

5.4.2 Modernisointi Koja Netolla

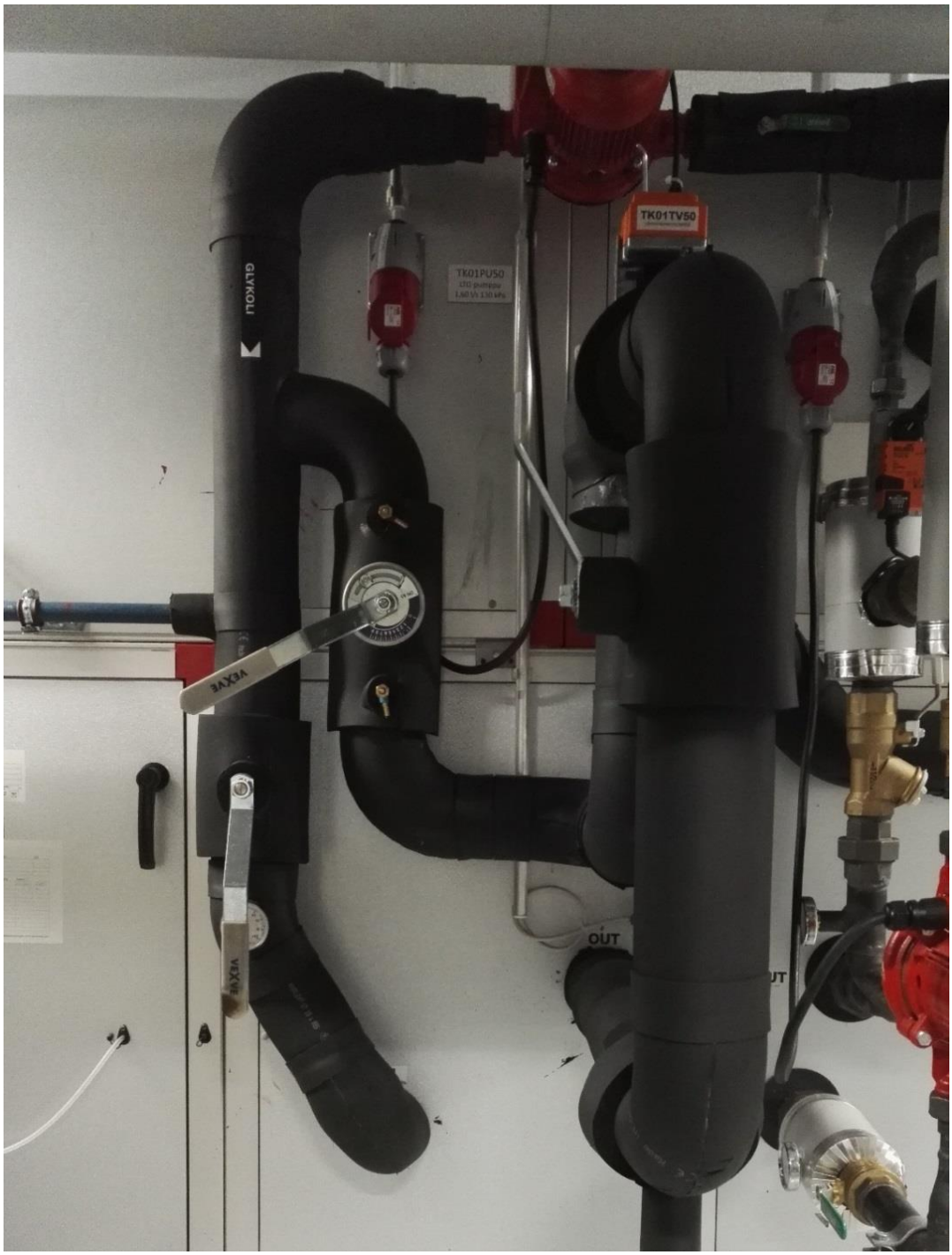
Kohde 4 modernisoidaan Koja Netolla uusimalla samalla kaikki kolme LTO-patteria. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV040R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP040R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR10-6 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0004-5-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi tasailmavirroin saadaan 68,4 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 9400 euroa, LTO-patterien hinta on 13000 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa, putkityöt 9000 euroa ja patterien vaihtotyöt 2000 euroa eli yhteensä hinta on 35900 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018; Nykänen 2018)

5.5 Kohde 5: TK01

Kohde 5 on kauppakeskus, joka sijaitsee Pohjanmaalla. Ilmanvaihtokone TK01 on otettu käyttöön vuonna 2016. TK01 sijaitsee 2.kerroksen iv-konehuoneessa. TK01 toimii tulo-poistoilmanvaihtokoneena vuokratiloille, joihin kuuluu myös pitseria.

5.5.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

TK01 LTO:n tulopatteri on 12-rivinen alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 2,0 mm lamellijaolla ja 233 Pa painehäviöllä, ja se kooltaan 103 cm x 210 cm x 57 cm. TK01 LTO:n poistopatteri on 12-rivinen alumiinilamellipatteri kupariputkilla, 3,0 mm lamellijaolla ja 195 Pa painehäviöllä, ja se on kooltaan 103 cm x 210 cm x 57 cm. Ilmanvaihtokoneen TK01 lämmöntalteenottojärjestelmä on kuvassa 5.



KUVA 5. Kohteen 5 tuloilmakoneen TK01 LTO:n tulopatteri, venttiili sekä pumppu

Lämpötilaa mitataan raitisilmasta sekä LTO:n tulopatterin jälkeen tuloilmasta. Molemmilla puhaltimilla on ilmamäärämittaukset. VAK1 -alakeskuksen prosessori on LON-väylässä oleva Siemens PXC128-U, johon energiaventtiili voidaan liittää BACnet-väylällä olemassa olevan Siemensin reitittimen välityksellä. VAK1 -alakeskuksen ATK-rasialle on energiaventtiililtä noin 15 m, joten kaapelointi onnistuu valmiilla ethernet-kaapelilla. Laskelmissa käytetyt puhaltimien ilmamäärät ja käyntiajat ovat taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Kohteen 5 laskentaan vaikuttavat puhaltimet

Puhallin	Mitattu ilmamäärä	Käyntiaika
TK01 1/2-nopeus		
TK01 1/1-nopeus	4398 l/s	Ma-Su: 6:30-22:00
TK01 PF01 1/2-nopeus		
TK01 PF01 1/1-nopeus	4439 l/s	Ma-Su: 6:30-22:00

TAULUKKO 11. Kohteen 5 LTO-pumppu

Pumppu	Mitoitusnestevirta	Teho	Suunniteltu LTO-neste
TK01 PU50	1,60 l/s	0,65 kW	40 % etyleeniglykoli

5.5.2 Modernisointi Koja Netolla nykyisillä LTO-pattereilla

Vaihtoehtona 1 kohde 5 modernisoidaan Koja Netolla käyttämällä nykyisiä LTO-pattereita sekä tulo- että poistopuolella. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV032R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP032R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR5-10 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0003-5-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saadaan 63,0 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 8100 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa ja putkityöt 7000 euroa eli yhteensä hinta on 17600 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018)

5.5.3 Modernisointi Koja Netolla uusituilla LTO-pattereilla

Vaihtoehtona 2 kohde 5 modernisoidaan Koja Netolla uusimalla samalla myös molemmat LTO-patterit. Energiaventtiilinä kohteessa käytetään Belimo EV032R+BAC -energiaventtiiliä ja ohitusventtiilinä Belimo EP032R+MP -venttiiliä. LTO-pumppuna käytetään Grundfos CR5-10 -pumppua ja sille Vacon 0100-3L-0003-5-HVAC+IP54 -taajuusmuuttajaa. Tällä kokoonpanolla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi tasailmavirroin saadaan 69,5 %. Koja Netto -paketin hinta valmiiksi kasattuna on 8100 euroa, LTO-patterien hinta on 12000 euroa, rakennusautomaatiotyöt ovat 2000 euroa, sähkötyöt 500 euroa, putkityöt 7000 euroa ja patterien vaihtotyöt 2200 euroa eli yhteensä hinta on 31800 euroa. (Riskumäki 2018; Haapakoski 2018; Klemola 2018; Nykänen 2018)

6 TULOKSET

Kaukolämpöenergian hintana käytettiin laskelmissa 46,68 €/MWh alv 0 % (Herrfors 2018a). Sähköenergian hintana käytettiin laskelmissa 5,12 snt/kWh alv 0 % (Energiavirasto 2018). Sähkön siirtomaksuna käytettiin laskelmissa 1,83 snt/kWh alv 0 % ja sähköverona 2,25 snt/kWh alv 0 % (Herrfors 2018b).

6.1 Kohteen 1 tulokset

Tässä luvussa käsitellään kohteen 1 nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia sekä Koja Netolla modernisoidun lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia, kun modernisoinnissa käytetään nykyisiä neulalämmönsiirtimiä.

6.1.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Marraskuun 26. päivä 2018 suoritetussa mittauksessa tuloilman lämpötilalle LTO:n jälkeen saatiin arvoksi 12,9 ˚C ja poistoilmalle 25,5 ˚C ulkolämpötilan ollessa -0,9 ˚C. Laskennassa käytettiin 1/1-nopeudella saatuja lämpötilan arvoja, jolloin ilmamäärät olivat TF01-tulopuhaltimella 1595 l/s, PF01-poistopuhaltimella 1684 l/s ja PF02-poistopuhaltimella 310 l/s.

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 79,99 %:n ilmavirtasuhteella 52,3 %. Nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteeksi saatiin ulkolämpötilan pysyvyys huomioituna 41,8 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 64,8 MWh, mikä tarkoittaa 3025 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennallisesti -21 ˚C ulkolämpötilalla poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen on 3,4 ˚C, joten huurtumisenestoa ei tarvinnut huomioida laskuissa. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 1).

6.1.2 Koja Netto nykyisillä neulalämmönsiirtimillä

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 79,99 %:n ilmavirtasuhteella 57,8 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle nykyisillä neulalämmönsiirtimillä saatiin poistoilman vuosihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys huomioituna 46,2 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 71,6 MWh, mikä tarkoittaa 3343 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennallisesti -21 ˚C ulkolämpötilalla poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen on 1,6 ˚C, joten huurtumisenestoa ei tarvinnut huomioida laskuissa. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 1).

6.1.3 Takaisinmaksuaika

Kohteen 1 investointien kokonaissummaksi saatiin 15300 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 318 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 48,1 vuotta.

6.2 Kohteen 2 tulokset

Tässä luvussa käsitellään kohteen 2 nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia sekä Koja Netolla modernisoidun lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia, kun modernisoinnissa käytetään uusittuja LTO-pattereita.

6.2.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Marraskuun 26. päivä 2018 suoritetussa mittauksessa tuloilman lämpötilalle LTO:n ja TF01-tulopuhaltimen jälkeen saatiin arvoksi 6,2 ˚C, poistoilmalle ennen PK1.1.2 LTO:n poistopatteria 19,4 ˚C ja poistoilmalle ennen PK1.2.2 LTO:n poistopatteria 19,2 ˚C ulkolämpötilan ollessa 1,4 ˚C. Vähennettynä tuloilman lämpötilasta LTO:n ja tulopuhaltimen jälkeen 27 kW-tehoisen tulopuhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu, tuloilman lämpötilalle LTO:n jälkeen saatiin arvoksi

4,4 ˚C. Laskennassa käytettiin 1/1-nopeudella saatuja lämpötilan arvoja, jolloin ilmamäärät olivat TF01-tulopuhaltimella 12 259 l/s, PK1.1.2-poistopuhaltimella 5200 l/s ja PK1.2.2-poistopuhaltimella 5200 l/s.

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 117,9 %:n ilmavirtasuhteella 16,8 %. Nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteeksi saatiin ulkolämpötilan pysyvyys huomioituna 19,8 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 196,6 MWh, mikä tarkoittaa 9175 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennallisesti -21 ˚C ulkolämpötilalla poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen on 11,1 ˚C, joten huurtumisenestoa ei tarvinnut huomioida laskuissa. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 2).

6.2.2 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 117,9 %:n ilmavirtasuhteella 59,9 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle uusituilla LTO-pattereilla saatiin poistoilman vuosihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys sekä huurtumisenesto huomioituna 70,3 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 699,5 MWh, mikä tarkoittaa 32652 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennassa käytettiin huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen arvoa -5,0 ˚C. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 2).

Laskennoissa ei otettu huomioon pattereiden painehäviöitä. Nykyiset patterit ovat vanhat, vuodelta 1991 eikä niiden puhdistuksesta ja huollosta ole tietoa. Nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän huonosta hyötysuhteesta voidaan päätellä, että patterit ovat likaiset. Tästä syystä uusittavien LTO-patterien painehäviöt voivat olla pienemmät kuin nykyisissä LTO-pattereissa.

6.2.3 Takaisinmaksuaika

Kohteen 2 investointien kokonaissummaksi saatiin 47200 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 23477 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 2,0 vuotta.

6.3 Kohteen 3 tulokset

Tässä luvussa käsitellään kohteen 3 nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia sekä Koja Netolla modernisoidun lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia kahdessa tapauksessa. Vaihtoehdossa 1 modernisoinnissa käytetään nykyisiä LTO-pattereita ja vaihtoehdossa 2 uusittuja LTO-pattereita.

6.3.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Marraskuun 20. päivä 2018 suoritetussa mittauksessa tuloilman lämpötilalle LTO:n jälkeen saatiin arvoksi 12,9 ˚C, poistoilmalle 21,5 ˚C ja poistoilmalle LTO:n sekä poistopuhaltimen jälkeen 15,5 ˚C ulkolämpötilan ollessa 3,5 ˚C. Vähennettynä poistoilman lämpötilasta LTO:n sekä poistopuhaltimen jälkeen 3 kW-tehoisen poistopuhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu, poistoilman lämpötilaksi LTO:n jälkeen saatiin 14,4 ˚C. Laskennassa käytettiin 1/2-nopeudella saatuja lämpötilan arvoja, jolloin mitatut ilmamäärät pitivät paikkaansa. Laskennat suoritettiin poistoilmapuolelta, koska tuloilmapuolen lämpötilamittaukset eivät olleet yhtä luotettavia kuin poistoilmapuolen. Tuloilman lämpötilaa LTO:n jälkeen mittaava anturi oli tyypiltään 20 cm pitkä sauva-anturi, joka sijaitsi lähellä sekä LTO:n tulopatteria että lämmityspatteria. Lisäksi ulkolämpötilaa mitattiin ulkoseinästä eikä raitisilmakammiosta.

Poistoilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 98,2 %:n ilmavirtasuhteella 39,4 % ja siitä laskemalla tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi 40,2 %. Nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteeksi saatiin ulkolämpötilan pysyvyys sekä huurtumisenesto huomioituna 39,4 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 174,9 MWh, mikä tarkoittaa 8162 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennassa käytettiin huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen arvoa 5 ˚C. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 3).

6.3.2 Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla

Vaihtoehdossa 1 tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 98,2 %:n ilmavirtasuhteella 50,1 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle nykyisillä LTO-pattereilla saatiin

poistoilman vuosihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys huomioituna 49,3 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 218,4 MWh, mikä tarkoittaa 10195 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennallisesti -21 ˚C ulkolämpötilalla poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen on 0,6 ˚C, joten huurtumisenestoa ei tarvinnut huomioida laskuissa. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 3).

6.3.3 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla

Vaihtoehdossa 2 tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 98,2 %:n ilmavirtasuhteella 69,2 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle uusituilla LTO-pattereilla saatiin poistoilman vuosihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys sekä huurtumisenesto huomioituna 67,9 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 301,2 MWh, mikä tarkoittaa 14059 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennassa käytettiin huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen arvoa -5 ˚C. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 3).

TF01 LTO:n tulopatterin vaihto uuteen nostaa patterin painehäviötä 98 Pascalista 241 Pascaliin, mikä lisää 4549 kWh ja 418 euroa vuosittaista sähkönkulutusta TF01-tulopuhaltimessa. PF01-poistopuhaltimella painehäviö nousee 121 Pascalista 262 Pascaliin, mikä lisää 4565 kWh ja 420 euroa vuosittaista sähkönkulutusta. Yhteenlaskettuna LTO-pattereiden uusiminen lisää vuodessa sähkönkulutusta 9114 kWh ja 838 euroa.

6.3.4 Takaisinmaksuaika

Vaihtoehdossa 1 kohteen 3 investointien kokonaissummaksi saatiin 19100 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 2032 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 9,4 vuotta.

Vaihtoehdossa 2 kohteen 3 investointien kokonaissummaksi saatiin 32400 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 5059 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 6,4 vuotta.

6.4 Kohteen 4 tulokset

Tässä luvussa käsitellään kohteen 4 nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia sekä Koja Netolla modernisoidun lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia, kun modernisoinnissa käytetään uusittuja LTO-pattereita.

6.4.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Marraskuun 26. päivä 2018 suoritetussa mittauksessa tuloilman lämpötilalle LTO:n jälkeen saatiin arvoksi 11,2 ˚C, poistoilmalle ennen PF01 LTO:n poistopatteria 20,3 ˚C ja jälkeen poistopatterin sekä PF01-poistopuhaltimen 8,6 ˚C. Vastaavasti poistoilman lämpötilalle ennen PF02 LTO:n poistopatteria saatiin arvoksi 24,0 ˚C ja jälkeen poistopatterin sekä PF02-poistopuhaltimen 13,1 ˚C ulkolämpötilan ollessa 1,0 ˚C. Valmistaja ilmoittaa PF01-poistopuhaltimelle lämpötilan nousuksi 0,7 ˚C ja PF02 poistopuhaltimelle 0,8 ˚C, joten poistoilman lämpötilaksi saatiin PF01 LTO:n poistopatterin jälkeen 7,9 ˚C ja PF02 LTO:n poistopatterin jälkeen 12,3 ˚C. Laskennassa käytettiin normaaliteholla saatuja lämpötilan arvoja, jolloin ilmamäärät olivat TF01-tulopuhaltimella 5421 l/s, PF01-poistopuhaltimella 2172 l/s ja PF02-poistopuhaltimella 3252 l/s. Poistoilman lämpötilaksi saatiin ilmavirroilla painotettuina 22,5 ˚C.

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 99,9 %:n ilmavirtasuhteella 47,4 %. Nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteeksi saatiin ulkolämpötilan pysyvyys huomioituna 47,4 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 258,1 MWh, mikä tarkoittaa 12046 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennallisesti -21 ˚C ulkolämpötilalla poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen on 1,1 ˚C, joten huurtumisenestoa ei tarvinnut huomioida laskuissa. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 4).

6.4.2 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 99,4 %:n ilmavirtasuhteella 68,4 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle uusituilla LTO-pattereilla saatiin poistoilman vuo-

sihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys sekä huurtumisenesto huomioituna 68,3 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 371,7 MWh, mikä tarkoittaa 17352 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennassa käytettiin huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen arvoa -5 ˚C. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 4).

TF01 LTO:n tulopatterin vaihto uuteen nostaa patterin painehäviötä 131 Pascalista 138 Pascaliin, mikä aiheuttaa 218 kWh:n ja 20 euron vuosittaisen sähkönkulutuksen kasvun TF01-tulopuhaltimessa. PF01-poistopuhaltimella painehäviö laskee 145 Pascalista 105 Pascaliin, mikä vähentää 505 kWh ja 47 euroa vuosittaista sähkönkulutusta. PF02-poistopuhaltimella painehäviö nousee 137 Pascalista 185 Pascaliin, mikä aiheuttaa 908 kWh:n ja 84 euron vuosittaisen sähkönkulutuksen kasvun. Yhteenlaskettuna LTO-pattereiden uusiminen lisää vuodessa sähkönkulutusta 621 kWh ja 57 euroa.

6.4.3 Takaisinmaksuaika

Kohteen 4 investointien kokonaissummaksi saatiin 35900 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 5248 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 6,8 vuotta.

6.5 Kohteen 5 tulokset

Tässä luvussa käsitellään kohteen 5 nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia sekä Koja Netolla modernisoidun lämmöntalteenottojärjestelmän tuloksia kahdessa tapauksessa. Vaihtoehdossa 1 modernisoinnissa käytetään nykyisiä LTO-pattereita ja vaihtoehdossa 2 uusittuja LTO-pattereita.

6.5.1 Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Marraskuun 26. päivä 2018 suoritetussa mittauksessa tuloilman lämpötilalle LTO:n jälkeen saatiin arvoksi 9,8 ˚C ja poistoilmalle 23,3 ˚C ulkolämpötilan ollessa 1,2 ˚C. Laskennassa käytettiin 1/1-nopeudella saatuja lämpötilan arvoja, jolloin ilmamäärät olivat TF01-tulopuhaltimella 4398 l/s ja PF01-poistopuhaltimella 4439 l/s.

Tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 99,1 %:n ilmavirtasuhteella 38,9 %. Nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteeksi saatiin ulkolämpötilan pysyvyys huomioituna 38,6 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 172,4 MWh, mikä tarkoittaa 8047 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennallisesti -21 ˚C ulkolämpötilalla poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen on 4,8 ˚C, joten huurtumisenestoa ei tarvinnut huomioida laskuissa. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 5).

6.5.2 Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla

Vaihtoehdossa 1 tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 99,1 %:n ilmavirtasuhteella 63,3 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle nykyisillä LTO-pattereilla saatiin poistoilman vuosihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys sekä huurtumisenesto huomioituna 62,7 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin 280,4 MWh, mikä tarkoittaa 13088 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennassa käytettiin huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen arvoa -5,0 ˚C. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 5).

6.5.3 Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla

Vaihtoehdossa 2 tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi saatiin 99,1 %:n ilmavirtasuhteella 69,8 %. Koja Netolla modernisoidulle lämmöntalteenottojärjestelmälle uusituilla LTO-pattereilla saatiin poistoilman vuosihyötysuhteeksi ulkolämpötilan pysyvyys sekä huurtumisenesto huomioituna 69,1 %. Poistoilmasta lämmityskaudella talteenotetuksi energiamääräksi vuodessa saatiin

308,8 MWh, mikä tarkoittaa 14417 euron säästöä ilmanvaihdon lämmityskuluista vuoden aikana. Laskennassa käytettiin huurtumiseneston rajoituslämpötilana poistoilmalle LTO:n jälkeen arvoa -5,0 ˚C. Laskentataulukko on liitteessä (LIITE 5).

TF01 LTO:n tulopatterin vaihto uuteen laskee patterin painehäviötä 233 Pascalista 221 Pascaliin, mikä vähentää 250 kWh ja 23 euroa vuosittaista sähkönkulutusta TF01-tulopuhaltimessa. PF01-poistopuhaltimella painehäviö nousee 195 Pascalista 241 Pascaliin, mikä lisää 982 kWh ja 90 euroa vuosittaista sähkönkulutusta. Yhteenlaskettuna LTO-pattereiden uusiminen lisää vuodessa sähkönkulutusta 731 kWh ja 67 euroa.

6.5.4 Takaisinmaksuaika

Vaihtoehdossa 1 kohteen 5 investointien kokonaissummaksi saatiin 17600 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 5041 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 3,5 vuotta.

Vaihtoehdossa 2 kohteen 5 investointien kokonaissummaksi saatiin 31800 euroa ja vuodessa säästetyn energian kokonaismääräksi 6303 euroa. Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi saatiin laskettua 5,0 vuotta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää viidestä eri kohteesta ilmanvaihtokoneen toimivuus nestekiertoisen lämmöntalteenoton osalta. Tutkittavia asioita olivat tuloilman lämpötilahyötysuhde, poistoilman vuosihyötysuhde sekä poistoilmasta talteenotetun energian määrä. Tavoitteena oli suunnitella nykyisen lämmöntalteenottojärjestelmän tilalle modernimpi Koja Netto -lämmöntalteenottojärjestelmä sekä laskea lämmöntalteenottojärjestelmän modernisoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika.

Kohteen 1 osalta modernisointi ei ole kannattavaa, sillä takaisinmaksuajaksi tuli 48,1 vuotta nykyisillä neulalämmönsiirtimillä. Pitkä takaisinmaksuaika johtuu IV-koneen pienistä ilmamääristä, tarpeen mukaisista käyntiajoista sekä nykyisellään kohtuullisen hyvin toimivasta talteenotosta. Opinnäytetyön lopussa tulleesta kiireestä johtuen ei ehditty suunnittelemaan nykyisten neulalämmönsiirrinten tilalle energiatehokkaampia malleja, joilla takaisinmaksuaikaa olisi saatu lyhennettyä.

Kohteen 2 nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä ei ota käytännössä mitään talteen. Tämän takia kohteen 2 lämmöntalteenottojärjestelmän modernisointi on kannattavaa, sillä takaisinmaksuaika on vain 2,0 vuotta. Tämän ajan jälkeen säästö on yli 23000 euroa vuodessa.

Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä toimii kohtuullisesti kohteessa 3. Vaihtoehdossa 1 säilytetään modernisoinnissa vanhat LTO-patterit, jolloin takaisinmaksuaika on 9,4 vuotta. Vaihtoehdossa 2 uusitaan molemmat LTO-patterit, mikä on kannattavampi ratkaisu. Tällöin takaisinmaksu aika lyhenee 6,4 vuoteen, minkä jälkeen vuosittainen säästö on yli 5000 euroa.

Kohteen 4 modernisointiin kuuluu kaikkien kolmen LTO-patterien uusiminen. Tämä nostaa modernisoinnin hintaa, mutta 6,8 vuoden takaisinmaksuajan jälkeen vuosittainen säästö on yli 5000 euroa. Lämmöntalteenottojärjestelmän modernisointi on tässä tapauksessa mielestäni kannattavaa.

Viimeisen kohteen ilmanvaihtokone on vain pari vuotta vanha, mutta lämmöntalteenotto ei toimi kovin hyvin. Vaihtoehdossa 1 säilytetään nykyiset LTO-patterit modernisoinnin takaisin-

maksuajan ollessa 3,5 vuotta. Vaihtoehdossa 2 uusitaan molemmat LTO-patterit, jolloin takaisinmaksuaika on 5,0 vuotta, minkä jälkeen vuosittainen säästö on 6300 euroa. Molemmat vaihtoehdot ovat kannattavia, mutta järkevämpää on uusia molemmat LTO-patterit, jolloin vuosittainen säästö on suurempi takaisinmaksuajan jälkeen.

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan päätellä, että mitä suuremmat ilmamäärät ja mitä pidemmät käyntiajat ovat, sitä kannattavampaa lämmöntalteenoton modernisointi on. Pienillä ilmamäärillä ja käyntiajoilla modernisointi ei ole kannattavaa. Suurilla ilmamäärillä vuosittaiset säästöt voivat olla jopa kymmeniä tuhansia euroja, kun lämmöntalteenottojärjestelmä modernisoidaan.

Opinnäytetyö osoittaa sen, että nestekiertoisissa lämmöntalteenotoissa on monia toiminnallisia ongelmia. Suurin yksittäinen tehokkuuden heikentäjä on verkostossa oleva ilma, jota ei välttämättä huomaa, ellei ole tarpeeksi perehtynyt lämmöntalteenoton toimintaan. Koja Neton energiaventtiilissä oleva ilmakuplien tunnistusjärjestelmä ja sen antama hälytys varmistavat yhdessä virtaushälytyksen kanssa sen, että ilman päästyä järjestelmään huoltomies tulee tietoiseksi lämmöntalteenottojärjestelmän toimimattomuudesta.

Opinnäytetyön lopputulokseen olen tyytyväinen, koska työ täyttää sille annetut tavoitteet. Harmittamaan jäi ainoastaan kohteen 1 osalta uusien neulalämmönsiirrinten mitoituksen puuttuminen. Uusilla neulalämmönsiirtimillä olisi luultavasti saatu takaisinmaksuaika kannattavaksi. Toivon opinnäytetyön herättävän nestekiertoisen lämmöntalteenoton parissa työskentelevien ihmisten kiinnostuksen järjestelmän modernisoinnin tuomista säästöistä ja nykyaikaisen automaation antamasta lisäinformaatiosta.

LÄHTEET

Energiavirasto. 2018. Hintatilastot. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.sahkon-hinta.fi/summariesandgraphs. Viitattu 1.12.2018.

Haapakoski, M. 2018. Toimitusjohtajan haastattelu 4.12.2018. RAU-Service Oy. Alavieska.

Heinilä, H. 2013. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hankinta- ja käyttökustannusten optimointi. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma.

Heinonen, J & Vuolle, M. 2016. Ilmastoinnin energiantarpeen laskenta sekä olosuhde- ja energiasimulointi. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. 2. painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Herrfors. 2018a. Kaukolämpöhinnasto, Pietarsaaren alueella. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.herrfors.fi/kaukolampo/hinnasto-pietarsaaren-alueella. Viitattu 25.11.2018.

Herrfors. 2018b. Sähkönsiirtohinnasto, Pietarsaaren alueella, 1.1.2018. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.herrfors.fi/sahkonjakelu/sahkonsiirron-hinnat-2/sahkonsiirtohinnasto-pietarsaaren-alueella-1-1-2018. Viitattu 30.11.2018.

Ilmatieteenlaitos. 2018. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky. Viitattu 1.11.2018.

Järvinen, S. 2015. Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän olosuhdeselvityksessä huomioitavat asiat Case TAMK. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutus LVI-talotekniikka.

Klemola, M. 2018. Toimitusjohtaja, LVI-Klemola Oy. Sähköpostiviestit. 7.12.2018.

Koja. 2018. Koja Netto - Esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/Koja_Netto_esite_FI_Low_res.pdf. Viitattu 10.9.2018.

Mäkinen, P., Tammivaara, H., Paasio, I., Sandberg, E. & Lönnström, J. 2016. Ilmastointikoneet ja –konehuoneet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. 2. painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Nykänen, M. 2018. Toimitusjohtaja, Peltisepänliike Nykänen Oy. Sähköpostiviestit 7.12.2018.

Nieminen, S. 2010. Konepajahallin energiatehokkuuden parantaminen. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Energiatehokkuuden koulutusohjelma.

Riskumäki, M. 2018. Myyntipäällikkö, Koja Oy. Sähköpostiviestit 15.11-11.12.2018.

Tasauslaskentaopas 2018. 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: www.ym.fi/download/noname/%7B8DA891B6-94AC-4367-9E45-D59ECED00CCF%7D/133703. Viitattu 15.9.2018.

Kohde 1	Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	0	21	3,438566	0,954545	0,7999	0,522727	0,418129	147,62626	353,0636	
-20	0,0008	7,008	19,272	0	21	3,856695	1,431818	0,7999	0,522727	0,418129	396,306211	947,8076	
-19	0,003	26,28	22,776	0	21	4,274824	1,909091	0,7999	0,522727	0,418129	456,938425	1092,816	
-18	0,0056	49,056	21,024	0	21	4,692954	2,386364	0,7999	0,522727	0,418129	411,244582	983,5343	
-17	0,008	70,08	29,784	0	21	5,111083	2,863636	0,7999	0,522727	0,418129	567,65812	1357,614	
-16	0,0114	99,864	55,188	0	21	5,529213	3,340909	0,7999	0,522727	0,418129	1024,15718	2449,379	
-15	0,0177	155,052	83,22	0	21	5,947342	3,818182	0,7999	0,522727	0,418129	1502,62444	3593,683	
-14	0,0272	238,272	63,072	0	21	6,365471	4,295455	0,7999	0,522727	0,418129	1107,19695	2647,977	
-13	0,0344	301,344	71,832	0	21	6,783601	4,772727	0,7999	0,522727	0,418129	1224,94647	2929,587	
-12	0,0426	373,176	51,684	0	21	7,20173	5,25	0,7999	0,522727	0,418129	855,441455	2045,877	
-11	0,0485	424,86	49,056	0	21	7,61986	5,727273	0,7999	0,522727	0,418129	787,340055	1883,006	
-10	0,0541	473,916	49,056	0	21	8,037989	6,204545	0,7999	0,522727	0,418129	762,735678	1824,162	
-9	0,0597	522,972	76,212	0	21	8,456118	6,681818	0,7999	0,522727	0,418129	1146,7397	2742,547	
-8	0,0684	599,184	124,392	0	21	8,874248	7,159091	0,7999	0,522727	0,418129	1809,30042	4327,13	
-7	0,0826	723,576	146,292	0	21	9,292377	7,636364	0,7999	0,522727	0,418129	2054,46546	4913,468	
-6	0,0993	869,868	169,068	0	21	9,710507	8,113636	0,7999	0,522727	0,418129	2289,52513	5475,638	
-5	0,1186	1038,936	174,324	0	21	10,12864	8,590909	0,7999	0,522727	0,418129	2273,26866	5436,759	
-4	0,1385	1213,26	192,72	0	21	10,54677	9,068182	0,7999	0,522727	0,418129	2416,50128	5779,315	
-3	0,1605	1405,98	213,744	0	21	10,96489	9,545455	0,7999	0,522727	0,418129	2572,91482	6153,394	
-2	0,1849	1619,724	236,52	0	21	11,38302	10,02273	0,7999	0,522727	0,418129	2728,44963	6525,372	
-1	0,2119	1856,244	301,344	0	21	11,80115	10,5	0,7999	0,522727	0,418129	3325,10577	7952,337	
0	0,2463	2157,588	518,592	0	21	12,21928	10,97727	0,7999	0,522727	0,418129	5462,17163	13063,35	
1	0,3055	2676,18	494,064	0	21	12,63741	11,45455	0,7999	0,522727	0,418129	4956,02445	11852,85	
2	0,3619	3170,244	459,9	0	21	13,05554	11,93182	0,7999	0,522727	0,418129	4382,6546	10481,58	
3	0,4144	3630,144	353,904	0	21	13,47367	12,40909	0,7999	0,522727	0,418129	3195,05406	7641,305	
4	0,4548	3984,048	280,32	0	21	13,8918	12,88636	0,7999	0,522727	0,418129	2390,13945	5716,268	
5	0,4868	4264,368	301,344	0	21	14,30993	13,36364	0,7999	0,522727	0,418129	2418,25874	5783,518	
6	0,5212	4565,712	278,568	0	21	14,72806	13,84091	0,7999	0,522727	0,418129	2095,76566	5012,242	
7	0,553	4844,28	299,592	0	21	15,14619	14,31818	0,7999	0,522727	0,418129	2103,67421	5031,156	
8	0,5872	5143,872	280,32	0	21	15,56432	14,79545	0,7999	0,522727	0,418129	1827,7537	4371,263	
9	0,6192	5424,192	284,7	0	21	15,98245	15,27273	0,7999	0,522727	0,418129	1713,51909	4098,059	
10	0,6517	5708,892	289,956	0	21	16,40058	15,75	0,7999	0,522727	0,418129	1599,72385	3825,906	
11	0,6848	5998,848	293,46	0	21	16,81871	16,22727	0,7999	0,522727	0,418129	1471,86896	3520,128	
12	0,7183	6292,308	292,584	0	21	17,23684	16,70455	0,7999	0,522727	0,418129	1320,72779	3158,658	
13	0,7517	6584,892	322,368	0	21			0,7999					
14	0,7885	6907,26	296,964	0	21			0,7999					
15	0,8224	7204,224	290,832	0	21			0,7999					
16	0,8556	7495,056	309,228	0	21			0,7999					
17	0,8909	7804,284	209,364	0	21			0,7999					
18	0,9148	8013,648	180,456	0	21			0,7999					
19	0,9354	8194,104	160,308	0	21			0,7999					
20	0,9537	8354,412	141,912	0	21			0,7999					
21	0,9699	8496,324	98,112	0	21			0,7999					
22	0,9811	8594,436	48,18	0	21			0,7999					
23	0,9866	8642,616	41,172	0	21			0,7999					
24	0,9913	8683,788	28,908	0	21			0,7999					
25	0,9946	8712,696	33,288	0	21			0,7999					
26	0,9984	8745,984	6,132	0	21			0,7999					
27	0,9991	8752,116	2,628	0	21			0,7999					
28	0,9994	8754,744	5,256	0	21			0,7999					
29	1	8760	0	0	21			0,7999					
			8760								64797,8229	154970,7	kWh
											64,7978229	154,9707	MWh
											ηap		
											0,41812939		
											3024,76237	euroa	

Kohde 1	Koja Netto nykyisillä neulalämmönsiirtimillä												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	-5	21	1,588019	3,268019	0,7999	0,57781	0,46219	163,1825	353,0636	
-20	0,0008	7,008	19,272	-5	21	2,050209	3,690209	0,7999	0,57781	0,46219	438,0672	947,8076	
-19	0,003	26,28	22,776	-5	21	2,512399	4,112399	0,7999	0,57781	0,46219	505,0886	1092,816	
-18	0,0056	49,056	21,024	-5	21	2,974589	4,534589	0,7999	0,57781	0,46219	454,5797	983,5343	
-17	0,008	70,08	29,784	-5	21	3,436779	4,956779	0,7999	0,57781	0,46219	627,4754	1357,614	
-16	0,0114	99,864	55,188	-5	21	3,898969	5,378969	0,7999	0,57781	0,46219	1132,078	2449,379	
-15	0,0177	155,052	83,22	-5	21	4,361159	5,801159	0,7999	0,57781	0,46219	1660,964	3593,683	
-14	0,0272	238,272	63,072	-5	21	4,823349	6,223349	0,7999	0,57781	0,46219	1223,868	2647,977	
-13	0,0344	301,344	71,832	-5	21	5,285539	6,645539	0,7999	0,57781	0,46219	1354,026	2929,587	
-12	0,0426	373,176	51,684	-5	21	5,747729	7,067729	0,7999	0,57781	0,46219	945,5841	2045,877	
-11	0,0485	424,86	49,056	-5	21	6,209919	7,489919	0,7999	0,57781	0,46219	870,3065	1883,006	
-10	0,0541	473,916	49,056	-5	21	6,672109	7,912109	0,7999	0,57781	0,46219	843,1094	1824,162	
-9	0,0597	522,972	76,212	-5	21	7,134299	8,334299	0,7999	0,57781	0,46219	1267,578	2742,547	
-8	0,0684	599,184	124,392	-5	21	7,596489	8,756489	0,7999	0,57781	0,46219	1999,957	4327,13	
-7	0,0826	723,576	146,292	-5	21	8,058679	9,178679	0,7999	0,57781	0,46219	2270,956	4913,468	
-6	0,0993	869,868	169,068	-5	21	8,520869	9,600869	0,7999	0,57781	0,46219	2530,785	5475,638	
-5	0,1186	1038,936	174,324	-5	21	8,983059	10,02306	0,7999	0,57781	0,46219	2512,816	5436,759	
-4	0,1385	1213,26	192,72	-5	21	9,445249	10,44525	0,7999	0,57781	0,46219	2671,142	5779,315	
-3	0,1605	1405,98	213,744	-5	21	9,907439	10,86744	0,7999	0,57781	0,46219	2844,037	6153,394	
-2	0,1849	1619,724	236,52	-5	21	10,36963	11,28963	0,7999	0,57781	0,46219	3015,962	6525,372	
-1	0,2119	1856,244	301,344	-5	21	10,83182	11,71182	0,7999	0,57781	0,46219	3675,491	7952,337	
0	0,2463	2157,588	518,592	-5	21	11,29401	12,13401	0,7999	0,57781	0,46219	6037,751	13063,35	
1	0,3055	2676,18	494,064	-5	21	11,7562	12,5562	0,7999	0,57781	0,46219	5478,269	11852,85	
2	0,3619	3170,244	459,9	-5	21	12,21839	12,97839	0,7999	0,57781	0,46219	4844,479	10481,58	
3	0,4144	3630,144	353,904	-5	21	12,68058	13,40058	0,7999	0,57781	0,46219	3531,735	7641,305	
4	0,4548	3984,048	280,32	-5	21	13,14277	13,82277	0,7999	0,57781	0,46219	2642,002	5716,268	
5	0,4868	4264,368	301,344	-5	21	13,60496	14,24496	0,7999	0,57781	0,46219	2673,084	5783,518	
6	0,5212	4565,712	278,568	-5	21	14,06715	14,66715	0,7999	0,57781	0,46219	2316,608	5012,242	
7	0,553	4844,28	299,592	-5	21	14,52934	15,08934	0,7999	0,57781	0,46219	2325,35	5031,156	
8	0,5872	5143,872	280,32	-5	21	14,99153	15,51153	0,7999	0,57781	0,46219	2020,354	4371,263	
9	0,6192	5424,192	284,7	-5	21	15,45372	15,93372	0,7999	0,57781	0,46219	1894,082	4098,059	
10	0,6517	5708,892	289,956	-5	21	15,91591	16,35591	0,7999	0,57781	0,46219	1768,296	3825,906	
11	0,6848	5998,848	293,46	-5	21	16,3781	16,7781	0,7999	0,57781	0,46219	1626,968	3520,128	
12	0,7183	6292,308	292,584	-5	21	16,84029	17,20029	0,7999	0,57781	0,46219	1459,9	3158,658	
13	0,7517	6584,892	322,368	-5	21			0,7999					
14	0,7885	6907,26	296,964	-5	21			0,7999					
15	0,8224	7204,224	290,832	-5	21			0,7999					
16	0,8556	7495,056	309,228	-5	21			0,7999					
17	0,8909	7804,284	209,364	-5	21			0,7999					
18	0,9148	8013,648	180,456	-5	21			0,7999					
19	0,9354	8194,104	160,308	-5	21			0,7999					
20	0,9537	8354,412	141,912	-5	21			0,7999					
21	0,9699	8496,324	98,112	-5	21			0,7999					
22	0,9811	8594,436	48,18	-5	21			0,7999					
23	0,9866	8642,616	41,172	-5	21			0,7999					
24	0,9913	8683,788	28,908	-5	21			0,7999					
25	0,9946	8712,696	33,288	-5	21			0,7999					
26	0,9984	8745,984	6,132	-5	21			0,7999					
27	0,9991	8752,116	2,628	-5	21			0,7999					
28	0,9994	8754,744	5,256	-5	21			0,7999					
29	1	8760	0	-5	21			0,7999					
			8760								71625,93	154970,7	kWh
											71,62593	154,9707	MWh
											ηap		
											0,46219		
											3343,499	euroa	

Kohde 2	Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä											
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	0	19	11,09777	-14,2961	1,17875	0,167598	0,197556	474,8976	2403,865	
-20	0,0008	7,008	19,272	0	19	11,29532	-13,4637	1,17875	0,167598	0,197556	1273,319	6445,363	
-19	0,003	26,28	22,776	0	19	11,49288	-12,6313	1,17875	0,167598	0,197556	1466,246	7421,933	
-18	0,0056	49,056	21,024	0	19	11,69043	-11,7989	1,17875	0,167598	0,197556	1317,841	6670,725	
-17	0,008	70,08	29,784	0	19	11,88799	-10,9665	1,17875	0,167598	0,197556	1816,483	9194,783	
-16	0,0114	99,864	55,188	0	19	12,08554	-10,1341	1,17875	0,167598	0,197556	3272,341	16564,13	
-15	0,0177	155,052	83,22	0	19	12,2831	-9,30168	1,17875	0,167598	0,197556	4793,498	24264,01	
-14	0,0272	238,272	63,072	0	19	12,48066	-8,46927	1,17875	0,167598	0,197556	3526,115	17848,7	
-13	0,0344	301,344	71,832	0	19	12,67821	-7,63687	1,17875	0,167598	0,197556	3894,16	19711,69	
-12	0,0426	373,176	51,684	0	19	12,87577	-6,80447	1,17875	0,167598	0,197556	2714,337	13739,59	
-11	0,0485	424,86	49,056	0	19	13,07332	-5,97207	1,17875	0,167598	0,197556	2493,213	12620,29	
-10	0,0541	473,916	49,056	0	19	13,27088	-5,13966	1,17875	0,167598	0,197556	2410,105	12199,61	
-9	0,0597	522,972	76,212	0	19	13,46844	-4,30726	1,17875	0,167598	0,197556	3615,158	18299,42	
-8	0,0684	599,184	124,392	0	19	13,66599	-3,47486	1,17875	0,167598	0,197556	5689,867	28801,31	
-7	0,0826	723,576	146,292	0	19	13,86355	-2,64246	1,17875	0,167598	0,197556	6443,767	32617,44	
-6	0,0993	869,868	169,068	0	19	14,0611	-1,81006	1,17875	0,167598	0,197556	7160,566	36245,78	
-5	0,1186	1038,936	174,324	0	19	14,25866	-0,97765	1,17875	0,167598	0,197556	7087,847	35877,68	
-4	0,1385	1213,26	192,72	0	19	14,45622	-0,14525	1,17875	0,167598	0,197556	7509,319	38011,11	
-3	0,1605	1405,98	213,744	0	19	14,65377	0,687151	1,17875	0,167598	0,197556	7966,408	40324,83	
-2	0,1849	1619,724	236,52	0	19	14,85133	1,519553	1,17875	0,167598	0,197556	8414,592	42593,48	
-1	0,2119	1856,244	301,344	0	19	15,04888	2,351955	1,17875	0,167598	0,197556	10210,3	51683,1	
0	0,2463	2157,588	518,592	0	19	15,24644	3,184358	1,17875	0,167598	0,197556	16692,65	84495,85	
1	0,3055	2676,18	494,064	0	19	15,44399	4,01676	1,17875	0,167598	0,197556	15066,13	76262,62	
2	0,3619	3170,244	459,9	0	19	15,64155	4,849162	1,17875	0,167598	0,197556	13245,19	67045,3	
3	0,4144	3630,144	353,904	0	19	15,83911	5,681564	1,17875	0,167598	0,197556	9592,932	48558,07	
4	0,4548	3984,048	280,32	0	19	16,03666	6,513966	1,17875	0,167598	0,197556	7123,464	36057,97	
5	0,4868	4264,368	301,344	0	19	16,23422	7,346369	1,17875	0,167598	0,197556	7147,209	36178,17	
6	0,5212	4565,712	278,568	0	19	16,43177	8,178771	1,17875	0,167598	0,197556	6135,084	31054,93	
7	0,553	4844,28	299,592	0	19	16,62933	9,011173	1,17875	0,167598	0,197556	6090,562	30829,57	
8	0,5872	5143,872	280,32	0	19	16,82689	9,843575	1,17875	0,167598	0,197556	5223,874	26442,51	
9	0,6192	5424,192	284,7	0	19	17,02444	10,67598	1,17875	0,167598	0,197556	4823,179	24414,25	
10	0,6517	5708,892	289,956	0	19	17,222	11,50838	1,17875	0,167598	0,197556	4421	22378,48	
11	0,6848	5998,848	293,46	0	19	17,41955	12,34078	1,17875	0,167598	0,197556	3977,268	20132,37	
12	0,7183	6292,308	292,584	0	19	17,61711	13,17318	1,17875	0,167598	0,197556	3469,721	17563,24	
13	0,7517	6584,892	322,368	0	19			1,17875					
14	0,7885	6907,26	296,964	0	19			1,17875					
15	0,8224	7204,224	290,832	0	19			1,17875					
16	0,8556	7495,056	309,228	0	19			1,17875					
17	0,8909	7804,284	209,364	0	19			1,17875					
18	0,9148	8013,648	180,456	0	19			1,17875					
19	0,9354	8194,104	160,308	0	19			1,17875					
20	0,9537	8354,412	141,912	0	19			1,17875					
21	0,9699	8496,324	98,112	0	19			1,17875					
22	0,9811	8594,436	48,18	0	19			1,17875					
23	0,9866	8642,616	41,172	0	19			1,17875					
24	0,9913	8683,788	28,908	0	19			1,17875					
25	0,9946	8712,696	33,288	0	19			1,17875					
26	0,9984	8745,984	6,132	0	19			1,17875					
27	0,9991	8752,116	2,628	0	19			1,17875					
28	0,9994	8754,744	5,256	0	19			1,17875					
29	1	8760	0	0	19			1,17875					
			8760								196558,6	994952,2	kWh
											196,5586	994,9522	MWh
											nap		
											0,197556		
											9175,357	euroa	

Kohde 3	Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	-5	19	-5	-0,63945	1,17875	0,509014	0,6	1442,319	2403,865	
-20	0,0008	7,008	19,272	-5	19	-5	0,360551	1,17875	0,522065	0,615385	3966,377	6445,363	
-19	0,003	26,28	22,776	-5	19	-5	1,360551	1,17875	0,535804	0,631579	4687,537	7421,933	
-18	0,0056	49,056	21,024	-5	19	-5	2,360551	1,17875	0,550285	0,648649	4326,957	6670,725	
-17	0,008	70,08	29,784	-5	19	-5	3,360551	1,17875	0,565571	0,666667	6129,856	9194,783	
-16	0,0114	99,864	55,188	-5	19	-5	4,360551	1,17875	0,58173	0,685714	11358,26	16564,13	
-15	0,0177	155,052	83,22	-5	19	-5	5,360551	1,17875	0,59884	0,705882	17127,54	24264,01	
-14	0,0272	238,272	63,072	-5	19	-4,28123	5,750775	1,17875	0,598508	0,705492	12592,11	17848,7	
-13	0,0344	301,344	71,832	-5	19	-3,57573	6,152266	1,17875	0,598508	0,705492	13906,44	19711,69	
-12	0,0426	373,176	51,684	-5	19	-2,87024	6,553758	1,17875	0,598508	0,705492	9693,167	13739,59	
-11	0,0485	424,86	49,056	-5	19	-2,16475	6,95525	1,17875	0,598508	0,705492	8903,51	12620,29	
-10	0,0541	473,916	49,056	-5	19	-1,45926	7,356741	1,17875	0,598508	0,705492	8606,727	12199,61	
-9	0,0597	522,972	76,212	-5	19	-0,75377	7,758233	1,17875	0,598508	0,705492	12910,09	18299,42	
-8	0,0684	599,184	124,392	-5	19	-0,04828	8,159725	1,17875	0,598508	0,705492	20319,08	28801,31	
-7	0,0826	723,576	146,292	-5	19	0,657216	8,561216	1,17875	0,598508	0,705492	23011,33	32617,44	
-6	0,0993	869,868	169,068	-5	19	1,362708	8,962708	1,17875	0,598508	0,705492	25571,09	36245,78	
-5	0,1186	1038,936	174,324	-5	19	2,0682	9,3642	1,17875	0,598508	0,705492	25311,41	35877,68	
-4	0,1385	1213,26	192,72	-5	19	2,773691	9,765691	1,17875	0,598508	0,705492	26816,52	38011,11	
-3	0,1605	1405,98	213,744	-5	19	3,479183	10,16718	1,17875	0,598508	0,705492	28448,84	40324,83	
-2	0,1849	1619,724	236,52	-5	19	4,184675	10,56867	1,17875	0,598508	0,705492	30049,35	42593,48	
-1	0,2119	1856,244	301,344	-5	19	4,890166	10,97017	1,17875	0,598508	0,705492	36461,99	51683,1	
0	0,2463	2157,588	518,592	-5	19	5,595658	11,37166	1,17875	0,598508	0,705492	59611,12	84495,85	
1	0,3055	2676,18	494,064	-5	19	6,30115	11,77315	1,17875	0,598508	0,705492	53802,64	76262,62	
2	0,3619	3170,244	459,9	-5	19	7,006641	12,17464	1,17875	0,598508	0,705492	47299,9	67045,3	
3	0,4144	3630,144	353,904	-5	19	7,712133	12,57613	1,17875	0,598508	0,705492	34257,32	48558,07	
4	0,4548	3984,048	280,32	-5	19	8,417625	12,97762	1,17875	0,598508	0,705492	25438,6	36057,97	
5	0,4868	4264,368	301,344	-5	19	9,123116	13,37912	1,17875	0,598508	0,705492	25523,4	36178,17	
6	0,5212	4565,712	278,568	-5	19	9,828608	13,78061	1,17875	0,598508	0,705492	21908,99	31054,93	
7	0,553	4844,28	299,592	-5	19	10,5341	14,1821	1,17875	0,598508	0,705492	21750	30829,57	
8	0,5872	5143,872	280,32	-5	19	11,23959	14,58359	1,17875	0,598508	0,705492	18654,97	26442,51	
9	0,6192	5424,192	284,7	-5	19	11,94508	14,98508	1,17875	0,598508	0,705492	17224,05	24414,25	
10	0,6517	5708,892	289,956	-5	19	12,65057	15,38657	1,17875	0,598508	0,705492	15787,83	22378,48	
11	0,6848	5998,848	293,46	-5	19	13,35607	15,78807	1,17875	0,598508	0,705492	14203,22	20132,37	
12	0,7183	6292,308	292,584	-5	19	14,06156	16,18956	1,17875	0,598508	0,705492	12390,72	17563,24	
13	0,7517	6584,892	322,368	-5	19			1,17875					
14	0,7885	6907,26	296,964	-5	19			1,17875					
15	0,8224	7204,224	290,832	-5	19			1,17875					
16	0,8556	7495,056	309,228	-5	19			1,17875					
17	0,8909	7804,284	209,364	-5	19			1,17875					
18	0,9148	8013,648	180,456	-5	19			1,17875					
19	0,9354	8194,104	160,308	-5	19			1,17875					
20	0,9537	8354,412	141,912	-5	19			1,17875					
21	0,9699	8496,324	98,112	-5	19			1,17875					
22	0,9811	8594,436	48,18	-5	19			1,17875					
23	0,9866	8642,616	41,172	-5	19			1,17875					
24	0,9913	8683,788	28,908	-5	19			1,17875					
25	0,9946	8712,696	33,288	-5	19			1,17875					
26	0,9984	8745,984	6,132	-5	19			1,17875					
27	0,9991	8752,116	2,628	-5	19			1,17875					
28	0,9994	8754,744	5,256	-5	19			1,17875					
29	1	8760	0	-5	19			1,17875					
			8760								699493,3	994952,2	kWh
											699,4933	994,9522	MWh
											ηap		
											0,703042		
											32652,35	euroa	

Kohde 3	Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	5	21,5	5	-4,20404	0,982379	0,395199	0,388235	386,9636	996,7243	
-20	0,0008	7,008	19,272	5	21,5	5,1324	-3,33881	0,982379	0,401474	0,3944	1055,611	2676,498	
-19	0,003	26,28	22,776	5	21,5	5,5268	-2,74029	0,982379	0,401474	0,3944	1217,479	3086,914	
-18	0,0056	49,056	21,024	5	21,5	5,9212	-2,14176	0,982379	0,401474	0,3944	1096,078	2779,102	
-17	0,008	70,08	29,784	5	21,5	6,3156	-1,54323	0,982379	0,401474	0,3944	1513,466	3837,389	
-16	0,0114	99,864	55,188	5	21,5	6,71	-0,94471	0,982379	0,401474	0,3944	2731,523	6925,768	
-15	0,0177	155,052	83,22	5	21,5	7,1044	-0,34618	0,982379	0,401474	0,3944	4009,124	10165,12	
-14	0,0272	238,272	63,072	5	21,5	7,4988	0,252343	0,982379	0,401474	0,3944	2955,248	7493,022	
-13	0,0344	301,344	71,832	5	21,5	7,8932	0,850868	0,982379	0,401474	0,3944	3270,89	8293,333	
-12	0,0426	373,176	51,684	5	21,5	8,2876	1,449394	0,982379	0,401474	0,3944	2285,23	5794,193	
-11	0,0485	424,86	49,056	5	21,5	8,682	2,047919	0,982379	0,401474	0,3944	2104,284	5335,407	
-10	0,0541	473,916	49,056	5	21,5	9,0764	2,646445	0,982379	0,401474	0,3944	2039,537	5171,24	
-9	0,0597	522,972	76,212	5	21,5	9,4708	3,24497	0,982379	0,401474	0,3944	3067,977	7778,847	
-8	0,0684	599,184	124,392	5	21,5	9,8652	3,843496	0,982379	0,401474	0,3944	4843,323	12280,23	
-7	0,0826	723,576	146,292	5	21,5	10,2596	4,442022	0,982379	0,401474	0,3944	5502,935	13952,67	
-6	0,0993	869,868	169,068	5	21,5	10,654	5,040547	0,982379	0,401474	0,3944	6136,533	15559,16	
-5	0,1186	1038,936	174,324	5	21,5	11,0484	5,639073	0,982379	0,401474	0,3944	6097,222	15459,49	
-4	0,1385	1213,26	192,72	5	21,5	11,4428	6,237598	0,982379	0,401474	0,3944	6486,283	16445,95	
-3	0,1605	1405,98	213,744	5	21,5	11,8372	6,836124	0,982379	0,401474	0,3944	6911,765	17524,76	
-2	0,1849	1619,724	236,52	5	21,5	12,2316	7,434649	0,982379	0,401474	0,3944	7336,09	18600,63	
-1	0,2119	1856,244	301,344	5	21,5	12,626	8,033175	0,982379	0,401474	0,3944	8948,99	22690,14	
0	0,2463	2157,588	518,592	5	21,5	13,0204	8,6317	0,982379	0,401474	0,3944	14716,12	37312,67	
1	0,3055	2676,18	494,064	5	21,5	13,4148	9,230226	0,982379	0,401474	0,3944	13367,99	33894,49	
2	0,3619	3170,244	459,9	5	21,5	13,8092	9,828752	0,982379	0,401474	0,3944	11836,6	30011,66	
3	0,4144	3630,144	353,904	5	21,5	14,2036	10,42728	0,982379	0,401474	0,3944	8641,44	21910,35	
4	0,4548	3984,048	280,32	5	21,5	14,598	11,0258	0,982379	0,401474	0,3944	6474,721	16416,64	
5	0,4868	4264,368	301,344	5	21,5	14,9924	11,62433	0,982379	0,401474	0,3944	6562,592	16639,43	
6	0,5212	4565,712	278,568	5	21,5	15,3868	12,22285	0,982379	0,401474	0,3944	5698,911	14449,57	
7	0,553	4844,28	299,592	5	21,5	15,7812	12,82138	0,982379	0,401474	0,3944	5733,597	14537,52	
8	0,5872	5143,872	280,32	5	21,5	16,1756	13,4199	0,982379	0,401474	0,3944	4994,785	12664,26	
9	0,6192	5424,192	284,7	5	21,5	16,57	14,01843	0,982379	0,401474	0,3944	4697,063	11909,39	
10	0,6517	5708,892	289,956	5	21,5	16,9644	14,61696	0,982379	0,401474	0,3944	4401,076	11158,92	
11	0,6848	5998,848	293,46	5	21,5	17,3588	15,21548	0,982379	0,401474	0,3944	4066,934	10311,7	
12	0,7183	6292,308	292,584	5	21,5	17,7532	15,81401	0,982379	0,401474	0,3944	3668,623	9301,783	
13	0,7517	6584,892	322,368	5	21,5			0,982379					
14	0,7885	6907,26	296,964	5	21,5			0,982379					
15	0,8224	7204,224	290,832	5	21,5			0,982379					
16	0,8556	7495,056	309,228	5	21,5			0,982379					
17	0,8909	7804,284	209,364	5	21,5			0,982379					
18	0,9148	8013,648	180,456	5	21,5			0,982379					
19	0,9354	8194,104	160,308	5	21,5			0,982379					
20	0,9537	8354,412	141,912	5	21,5			0,982379					
21	0,9699	8496,324	98,112	5	21,5			0,982379					
22	0,9811	8594,436	48,18	5	21,5			0,982379					
23	0,9866	8642,616	41,172	5	21,5			0,982379					
24	0,9913	8683,788	28,908	5	21,5			0,982379					
25	0,9946	8712,696	33,288	5	21,5			0,982379					
26	0,9984	8745,984	6,132	5	21,5			0,982379					
27	0,9991	8752,116	2,628	5	21,5			0,982379					
28	0,9994	8754,744	5,256	5	21,5			0,982379					
29	1	8760	0	5	21,5			0,982379					
			8760								174857	443365	kWh
											174,857	443,365	MWh
											ηap		
											0,394386		
											8162,325	euroa	

Kohde 3	Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	0	21,5	0,565256	0,310256	0,982379	0,501418	0,492582	490,9687	996,7243	
-20	0,0008	7,008	19,272	0	21,5	1,057838	0,808838	0,982379	0,501418	0,492582	1318,395	2676,498	
-19	0,003	26,28	22,776	0	21,5	1,55042	1,30742	0,982379	0,501418	0,492582	1520,559	3086,914	
-18	0,0056	49,056	21,024	0	21,5	2,043002	1,806002	0,982379	0,501418	0,492582	1368,936	2779,102	
-17	0,008	70,08	29,784	0	21,5	2,535584	2,304584	0,982379	0,501418	0,492582	1890,229	3837,389	
-16	0,0114	99,864	55,188	0	21,5	3,028167	2,803167	0,982379	0,501418	0,492582	3411,51	6925,768	
-15	0,0177	155,052	83,22	0	21,5	3,520749	3,301749	0,982379	0,501418	0,492582	5007,159	10165,12	
-14	0,0272	238,272	63,072	0	21,5	4,013331	3,800331	0,982379	0,501418	0,492582	3690,929	7493,022	
-13	0,0344	301,344	71,832	0	21,5	4,505913	4,298913	0,982379	0,501418	0,492582	4085,148	8293,333	
-12	0,0426	373,176	51,684	0	21,5	4,998496	4,797496	0,982379	0,501418	0,492582	2854,116	5794,193	
-11	0,0485	424,86	49,056	0	21,5	5,491078	5,296078	0,982379	0,501418	0,492582	2628,126	5335,407	
-10	0,0541	473,916	49,056	0	21,5	5,98366	5,79466	0,982379	0,501418	0,492582	2547,261	5171,24	
-9	0,0597	522,972	76,212	0	21,5	6,476242	6,293242	0,982379	0,501418	0,492582	3831,722	7778,847	
-8	0,0684	599,184	124,392	0	21,5	6,968824	6,791824	0,982379	0,501418	0,492582	6049,023	12280,23	
-7	0,0826	723,576	146,292	0	21,5	7,461407	7,290407	0,982379	0,501418	0,492582	6872,84	13952,67	
-6	0,0993	869,868	169,068	0	21,5	7,953989	7,788989	0,982379	0,501418	0,492582	7664,166	15559,16	
-5	0,1186	1038,936	174,324	0	21,5	8,446571	8,287571	0,982379	0,501418	0,492582	7615,069	15459,49	
-4	0,1385	1213,26	192,72	0	21,5	8,939153	8,786153	0,982379	0,501418	0,492582	8100,983	16445,95	
-3	0,1605	1405,98	213,744	0	21,5	9,431736	9,284736	0,982379	0,501418	0,492582	8632,385	17524,76	
-2	0,1849	1619,724	236,52	0	21,5	9,924318	9,783318	0,982379	0,501418	0,492582	9162,342	18600,63	
-1	0,2119	1856,244	301,344	0	21,5	10,4169	10,2819	0,982379	0,501418	0,492582	11176,76	22690,14	
0	0,2463	2157,588	518,592	0	21,5	10,90948	10,78048	0,982379	0,501418	0,492582	18379,56	37312,67	
1	0,3055	2676,18	494,064	0	21,5	11,40206	11,27906	0,982379	0,501418	0,492582	16695,82	33894,49	
2	0,3619	3170,244	459,9	0	21,5	11,89465	11,77765	0,982379	0,501418	0,492582	14783,21	30011,66	
3	0,4144	3630,144	353,904	0	21,5	12,38723	12,27623	0,982379	0,501418	0,492582	10792,65	21910,35	
4	0,4548	3984,048	280,32	0	21,5	12,87981	12,77481	0,982379	0,501418	0,492582	8086,543	16416,64	
5	0,4868	4264,368	301,344	0	21,5	13,37239	13,27339	0,982379	0,501418	0,492582	8196,289	16639,43	
6	0,5212	4565,712	278,568	0	21,5	13,86498	13,77198	0,982379	0,501418	0,492582	7117,602	14449,57	
7	0,553	4844,28	299,592	0	21,5	14,35756	14,27056	0,982379	0,501418	0,492582	7160,923	14537,52	
8	0,5872	5143,872	280,32	0	21,5	14,85014	14,76914	0,982379	0,501418	0,492582	6238,19	12664,26	
9	0,6192	5424,192	284,7	0	21,5	15,34272	15,26772	0,982379	0,501418	0,492582	5866,354	11909,39	
10	0,6517	5708,892	289,956	0	21,5	15,8353	15,7663	0,982379	0,501418	0,492582	5496,683	11158,92	
11	0,6848	5998,848	293,46	0	21,5	16,32789	16,26489	0,982379	0,501418	0,492582	5079,36	10311,7	
12	0,7183	6292,308	292,584	0	21,5	16,82047	16,76347	0,982379	0,501418	0,492582	4581,893	9301,783	
13	0,7517	6584,892	322,368	0	21,5			0,982379					
14	0,7885	6907,26	296,964	0	21,5			0,982379					
15	0,8224	7204,224	290,832	0	21,5			0,982379					
16	0,8556	7495,056	309,228	0	21,5			0,982379					
17	0,8909	7804,284	209,364	0	21,5			0,982379					
18	0,9148	8013,648	180,456	0	21,5			0,982379					
19	0,9354	8194,104	160,308	0	21,5			0,982379					
20	0,9537	8354,412	141,912	0	21,5			0,982379					
21	0,9699	8496,324	98,112	0	21,5			0,982379					
22	0,9811	8594,436	48,18	0	21,5			0,982379					
23	0,9866	8642,616	41,172	0	21,5			0,982379					
24	0,9913	8683,788	28,908	0	21,5			0,982379					
25	0,9946	8712,696	33,288	0	21,5			0,982379					
26	0,9984	8745,984	6,132	0	21,5			0,982379					
27	0,9991	8752,116	2,628	0	21,5			0,982379					
28	0,9994	8754,744	5,256	0	21,5			0,982379					
29	1	8760	0	0	21,5			0,982379					
			8760								218393,7	443365	kWh
											218,3937	443,365	MWh
											ηap		
											0,492582		
											10194,62	euroa	

Kohde 3	Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QlV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	-5	21,5	-5	5,975336	0,982379	0,634714	0,623529	621,4869	996,7243	
-20	0,0008	7,008	19,272	-5	21,5	-5	6,975336	0,982379	0,650008	0,638554	1709,089	2676,498	
-19	0,003	26,28	22,776	-5	21,5	-5	7,975336	0,982379	0,666058	0,654321	2019,833	3086,914	
-18	0,0056	49,056	21,024	-5	21,5	-5	8,975336	0,982379	0,68292	0,670886	1864,461	2779,102	
-17	0,008	70,08	29,784	-5	21,5	-4,67624	9,645764	0,982379	0,692098	0,679902	2609,049	3837,389	
-16	0,0114	99,864	55,188	-5	21,5	-3,99633	9,953667	0,982379	0,692098	0,679902	4708,845	6925,768	
-15	0,0177	155,052	83,22	-5	21,5	-3,31643	10,26157	0,982379	0,692098	0,679902	6911,289	10165,12	
-14	0,0272	238,272	63,072	-5	21,5	-2,63653	10,56947	0,982379	0,692098	0,679902	5094,522	7493,022	
-13	0,0344	301,344	71,832	-5	21,5	-1,95663	10,87737	0,982379	0,692098	0,679902	5638,655	8293,333	
-12	0,0426	373,176	51,684	-5	21,5	-1,27672	11,18528	0,982379	0,692098	0,679902	3939,485	5794,193	
-11	0,0485	424,86	49,056	-5	21,5	-0,59682	11,49318	0,982379	0,692098	0,679902	3627,555	5335,407	
-10	0,0541	473,916	49,056	-5	21,5	0,08308	11,80108	0,982379	0,692098	0,679902	3515,938	5171,24	
-9	0,0597	522,972	76,212	-5	21,5	0,762982	12,10898	0,982379	0,692098	0,679902	5288,855	7778,847	
-8	0,0684	599,184	124,392	-5	21,5	1,442884	12,41688	0,982379	0,692098	0,679902	8349,356	12280,23	
-7	0,0826	723,576	146,292	-5	21,5	2,122787	12,72479	0,982379	0,692098	0,679902	9486,455	13952,67	
-6	0,0993	869,868	169,068	-5	21,5	2,802689	13,03269	0,982379	0,692098	0,679902	10578,71	15559,16	
-5	0,1186	1038,936	174,324	-5	21,5	3,482591	13,34059	0,982379	0,692098	0,679902	10510,94	15459,49	
-4	0,1385	1213,26	192,72	-5	21,5	4,162493	13,64849	0,982379	0,692098	0,679902	11181,64	16445,95	
-3	0,1605	1405,98	213,744	-5	21,5	4,842396	13,9564	0,982379	0,692098	0,679902	11915,12	17524,76	
-2	0,1849	1619,724	236,52	-5	21,5	5,522298	14,2643	0,982379	0,692098	0,679902	12646,61	18600,63	
-1	0,2119	1856,244	301,344	-5	21,5	6,2022	14,5722	0,982379	0,692098	0,679902	15427,07	22690,14	
0	0,2463	2157,588	518,592	-5	21,5	6,882102	14,8801	0,982379	0,692098	0,679902	25368,97	37312,67	
1	0,3055	2676,18	494,064	-5	21,5	7,562004	15,188	0,982379	0,692098	0,679902	23044,94	33894,49	
2	0,3619	3170,244	459,9	-5	21,5	8,241907	15,49591	0,982379	0,692098	0,679902	20405	30011,66	
3	0,4144	3630,144	353,904	-5	21,5	8,921809	15,80381	0,982379	0,692098	0,679902	14896,89	21910,35	
4	0,4548	3984,048	280,32	-5	21,5	9,601711	16,11171	0,982379	0,692098	0,679902	11161,71	16416,64	
5	0,4868	4264,368	301,344	-5	21,5	10,28161	16,41961	0,982379	0,692098	0,679902	11313,19	16639,43	
6	0,5212	4565,712	278,568	-5	21,5	10,96152	16,72752	0,982379	0,692098	0,679902	9824,296	14449,57	
7	0,553	4844,28	299,592	-5	21,5	11,64142	17,03542	0,982379	0,692098	0,679902	9884,09	14537,52	
8	0,5872	5143,872	280,32	-5	21,5	12,32132	17,34332	0,982379	0,692098	0,679902	8610,46	12664,26	
9	0,6192	5424,192	284,7	-5	21,5	13,00122	17,65122	0,982379	0,692098	0,679902	8097,221	11909,39	
10	0,6517	5708,892	289,956	-5	21,5	13,68112	17,95912	0,982379	0,692098	0,679902	7586,971	11158,92	
11	0,6848	5998,848	293,46	-5	21,5	14,36103	18,26703	0,982379	0,692098	0,679902	7010,947	10311,7	
12	0,7183	6292,308	292,584	-5	21,5	15,04093	18,57493	0,982379	0,692098	0,679902	6324,303	9301,783	
13	0,7517	6584,892	322,368	-5	21,5			0,982379					
14	0,7885	6907,26	296,964	-5	21,5			0,982379					
15	0,8224	7204,224	290,832	-5	21,5			0,982379					
16	0,8556	7495,056	309,228	-5	21,5			0,982379					
17	0,8909	7804,284	209,364	-5	21,5			0,982379					
18	0,9148	8013,648	180,456	-5	21,5			0,982379					
19	0,9354	8194,104	160,308	-5	21,5			0,982379					
20	0,9537	8354,412	141,912	-5	21,5			0,982379					
21	0,9699	8496,324	98,112	-5	21,5			0,982379					
22	0,9811	8594,436	48,18	-5	21,5			0,982379					
23	0,9866	8642,616	41,172	-5	21,5			0,982379					
24	0,9913	8683,788	28,908	-5	21,5			0,982379					
25	0,9946	8712,696	33,288	-5	21,5			0,982379					
26	0,9984	8745,984	6,132	-5	21,5			0,982379					
27	0,9991	8752,116	2,628	-5	21,5			0,982379					
28	0,9994	8754,744	5,256	-5	21,5			0,982379					
29	1	8760	0	-5	21,5			0,982379					
			8760								301173,9	443365	kWh
											301,1739	443,365	MWh
											ηap		
											0,679291		
											14058,8	euroa	

Kohde 4	Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	0	21	1,085439	-1,07442	0,999447	0,474419	0,474156	587,9132	1239,915	
-20	0,0008	7,008	19,272	0	21	1,559596	-0,54884	0,999447	0,474419	0,474156	1578,267	3328,58	
-19	0,003	26,28	22,776	0	21	2,033752	-0,02326	0,999447	0,474419	0,474156	1819,731	3837,831	
-18	0,0056	49,056	21,024	0	21	2,507908	0,502326	0,999447	0,474419	0,474156	1637,758	3454,048	
-17	0,008	70,08	29,784	0	21	2,982064	1,027907	0,999447	0,474419	0,474156	2260,666	4767,767	
-16	0,0114	99,864	55,188	0	21	3,45622	1,553488	0,999447	0,474419	0,474156	4078,648	8601,907	
-15	0,0177	155,052	83,22	0	21	3,930377	2,07907	0,999447	0,474419	0,474156	5984,116	12620,56	
-14	0,0272	238,272	63,072	0	21	4,404533	2,604651	0,999447	0,474419	0,474156	4409,349	9299,359	
-13	0,0344	301,344	71,832	0	21	4,878689	3,130233	0,999447	0,474419	0,474156	4878,279	10288,34	
-12	0,0426	373,176	51,684	0	21	5,352845	3,655814	0,999447	0,474419	0,474156	3406,747	7184,862	
-11	0,0485	424,86	49,056	0	21	5,827001	4,181395	0,999447	0,474419	0,474156	3135,537	6612,877	
-10	0,0541	473,916	49,056	0	21	6,301158	4,706977	0,999447	0,474419	0,474156	3037,551	6406,225	
-9	0,0597	522,972	76,212	0	21	6,775314	5,232558	0,999447	0,474419	0,474156	4566,825	9631,479	
-8	0,0684	599,184	124,392	0	21	7,24947	5,75814	0,999447	0,474419	0,474156	7205,436	15196,33	
-7	0,0826	723,576	146,292	0	21	7,723626	6,283721	0,999447	0,474419	0,474156	8181,792	17255,48	
-6	0,0993	869,868	169,068	0	21	8,197782	6,809302	0,999447	0,474419	0,474156	9117,903	19229,75	
-5	0,1186	1038,936	174,324	0	21	8,671939	7,334884	0,999447	0,474419	0,474156	9053,163	19093,21	
-4	0,1385	1213,26	192,72	0	21	9,146095	7,860465	0,999447	0,474419	0,474156	9623,579	20296,22	
-3	0,1605	1405,98	213,744	0	21	9,620251	8,386047	0,999447	0,474419	0,474156	10246,49	21609,94	
-2	0,1849	1619,724	236,52	0	21	10,09441	8,911628	0,999447	0,474419	0,474156	10865,9	22916,28	
-1	0,2119	1856,244	301,344	0	21	10,56856	9,437209	0,999447	0,474419	0,474156	13242,04	27927,6	
0	0,2463	2157,588	518,592	0	21	11,04272	9,962791	0,999447	0,474419	0,474156	21752,79	45876,84	
1	0,3055	2676,18	494,064	0	21	11,51688	10,48837	0,999447	0,474419	0,474156	19737,08	41625,7	
2	0,3619	3170,244	459,9	0	21	11,99103	11,01395	0,999447	0,474419	0,474156	17453,67	36809,96	
3	0,4144	3630,144	353,904	0	21	12,46519	11,53953	0,999447	0,474419	0,474156	12724,12	26835,29	
4	0,4548	3984,048	280,32	0	21	12,93934	12,06512	0,999447	0,474419	0,474156	9518,594	20074,81	
5	0,4868	4264,368	301,344	0	21	13,4135	12,5907	0,999447	0,474419	0,474156	9630,578	20310,98	
6	0,5212	4565,712	278,568	0	21	13,88766	13,11628	0,999447	0,474419	0,474156	8346,267	17602,36	
7	0,553	4844,28	299,592	0	21	14,36181	13,64186	0,999447	0,474419	0,474156	8377,763	17668,78	
8	0,5872	5143,872	280,32	0	21	14,83597	14,16744	0,999447	0,474419	0,474156	7278,925	15351,32	
9	0,6192	5424,192	284,7	0	21	15,31013	14,69302	0,999447	0,474419	0,474156	6823,992	14391,86	
10	0,6517	5708,892	289,956	0	21	15,78428	15,2186	0,999447	0,474419	0,474156	6370,809	13436,1	
11	0,6848	5998,848	293,46	0	21	16,25844	15,74419	0,999447	0,474419	0,474156	5861,634	12362,24	
12	0,7183	6292,308	292,584	0	21	16,73259	16,26977	0,999447	0,474419	0,474156	5259,723	11092,81	
13	0,7517	6584,892	322,368	0	21			0,999447					
14	0,7885	6907,26	296,964	0	21			0,999447					
15	0,8224	7204,224	290,832	0	21			0,999447					
16	0,8556	7495,056	309,228	0	21			0,999447					
17	0,8909	7804,284	209,364	0	21			0,999447					
18	0,9148	8013,648	180,456	0	21			0,999447					
19	0,9354	8194,104	160,308	0	21			0,999447					
20	0,9537	8354,412	141,912	0	21			0,999447					
21	0,9699	8496,324	98,112	0	21			0,999447					
22	0,9811	8594,436	48,18	0	21			0,999447					
23	0,9866	8642,616	41,172	0	21			0,999447					
24	0,9913	8683,788	28,908	0	21			0,999447					
25	0,9946	8712,696	33,288	0	21			0,999447					
26	0,9984	8745,984	6,132	0	21			0,999447					
27	0,9991	8752,116	2,628	0	21			0,999447					
28	0,9994	8754,744	5,256	0	21			0,999447					
29	1	8760	0	0	21			0,999447					
			8760								258053,6	544237,6	kWh
											258,0536	544,2376	MWh
											ηap		
											0,474156		
											12045,94	euroa	

Kohde 4	Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	-5	21	-5	5,014388	0,999447	0,61939	0,619048	767,5661	1239,915	
-20	0,0008	7,008	19,272	-5	21	-5	6,014388	0,999447	0,634497	0,634146	2110,807	3328,58	
-19	0,003	26,28	22,776	-5	21	-5	7,014388	0,999447	0,65036	0,65	2494,59	3837,831	
-18	0,0056	49,056	21,024	-5	21	-5	8,014388	0,999447	0,667036	0,666667	2302,698	3454,048	
-17	0,008	70,08	29,784	-5	21	-4,98481	8,99919	0,999447	0,684189	0,683811	3260,25	4767,767	
-16	0,0114	99,864	55,188	-5	21	-4,301	9,315001	0,999447	0,684189	0,683811	5882,077	8601,907	
-15	0,0177	155,052	83,22	-5	21	-3,61719	9,630812	0,999447	0,684189	0,683811	8630,074	12620,56	
-14	0,0272	238,272	63,072	-5	21	-2,93338	9,946622	0,999447	0,684189	0,683811	6359,002	9299,359	
-13	0,0344	301,344	71,832	-5	21	-2,24957	10,26243	0,999447	0,684189	0,683811	7035,277	10288,34	
-12	0,0426	373,176	51,684	-5	21	-1,56576	10,57824	0,999447	0,684189	0,683811	4913,086	7184,862	
-11	0,0485	424,86	49,056	-5	21	-0,88195	10,89405	0,999447	0,684189	0,683811	4521,957	6612,877	
-10	0,0541	473,916	49,056	-5	21	-0,19813	11,20987	0,999447	0,684189	0,683811	4380,646	6406,225	
-9	0,0597	522,972	76,212	-5	21	0,485676	11,52568	0,999447	0,684189	0,683811	6586,109	9631,479	
-8	0,0684	599,184	124,392	-5	21	1,169487	11,84149	0,999447	0,684189	0,683811	10391,42	15196,33	
-7	0,0826	723,576	146,292	-5	21	1,853298	12,1573	0,999447	0,684189	0,683811	11799,48	17255,48	
-6	0,0993	869,868	169,068	-5	21	2,537109	12,47311	0,999447	0,684189	0,683811	13149,51	19229,75	
-5	0,1186	1038,936	174,324	-5	21	3,22092	12,78892	0,999447	0,684189	0,683811	13056,14	19093,21	
-4	0,1385	1213,26	192,72	-5	21	3,90473	13,10473	0,999447	0,684189	0,683811	13878,77	20296,22	
-3	0,1605	1405,98	213,744	-5	21	4,588541	13,42054	0,999447	0,684189	0,683811	14777,11	21609,94	
-2	0,1849	1619,724	236,52	-5	21	5,272352	13,73635	0,999447	0,684189	0,683811	15670,4	22916,28	
-1	0,2119	1856,244	301,344	-5	21	5,956163	14,05216	0,999447	0,684189	0,683811	19097,19	27927,6	
0	0,2463	2157,588	518,592	-5	21	6,639973	14,36797	0,999447	0,684189	0,683811	31371,08	45876,84	
1	0,3055	2676,18	494,064	-5	21	7,323784	14,68378	0,999447	0,684189	0,683811	28464,1	41625,7	
2	0,3619	3170,244	459,9	-5	21	8,007595	14,9996	0,999447	0,684189	0,683811	25171,05	36809,96	
3	0,4144	3630,144	353,904	-5	21	8,691406	15,31541	0,999447	0,684189	0,683811	18350,26	26835,29	
4	0,4548	3984,048	280,32	-5	21	9,375217	15,63122	0,999447	0,684189	0,683811	13727,37	20074,81	
5	0,4868	4264,368	301,344	-5	21	10,05903	15,94703	0,999447	0,684189	0,683811	13888,87	20310,98	
6	0,5212	4565,712	278,568	-5	21	10,74284	16,26284	0,999447	0,684189	0,683811	12036,68	17602,36	
7	0,553	4844,28	299,592	-5	21	11,42665	16,57865	0,999447	0,684189	0,683811	12082,1	17668,78	
8	0,5872	5143,872	280,32	-5	21	12,11046	16,89446	0,999447	0,684189	0,683811	10497,4	15351,32	
9	0,6192	5424,192	284,7	-5	21	12,79427	17,21027	0,999447	0,684189	0,683811	9841,313	14391,86	
10	0,6517	5708,892	289,956	-5	21	13,47808	17,52608	0,999447	0,684189	0,683811	9187,748	13436,1	
11	0,6848	5998,848	293,46	-5	21	14,16189	17,84189	0,999447	0,684189	0,683811	8453,435	12362,24	
12	0,7183	6292,308	292,584	-5	21	14,8457	18,1577	0,999447	0,684189	0,683811	7585,381	11092,81	
13	0,7517	6584,892	322,368	-5	21			0,999447					
14	0,7885	6907,26	296,964	-5	21			0,999447					
15	0,8224	7204,224	290,832	-5	21			0,999447					
16	0,8556	7495,056	309,228	-5	21			0,999447					
17	0,8909	7804,284	209,364	-5	21			0,999447					
18	0,9148	8013,648	180,456	-5	21			0,999447					
19	0,9354	8194,104	160,308	-5	21			0,999447					
20	0,9537	8354,412	141,912	-5	21			0,999447					
21	0,9699	8496,324	98,112	-5	21			0,999447					
22	0,9811	8594,436	48,18	-5	21			0,999447					
23	0,9866	8642,616	41,172	-5	21			0,999447					
24	0,9913	8683,788	28,908	-5	21			0,999447					
25	0,9946	8712,696	33,288	-5	21			0,999447					
26	0,9984	8745,984	6,132	-5	21			0,999447					
27	0,9991	8752,116	2,628	-5	21			0,999447					
28	0,9994	8754,744	5,256	-5	21			0,999447					
29	1	8760	0	-5	21			0,999447					
			8760								371721	544237,6	kWh
											371,721	544,2376	MWh
											ηap		
											0,683012		
											17351,93	euroa	

Kohde 5	Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C	˚C			kWh	kWh	
-21	0		7,008	0	21	4,807066	-4,65611	0,990764	0,38914	0,385546	392,7394	1018,658	
-20	0,0008	7,008	19,272	0	21	5,192612	-4,04525	0,990764	0,38914	0,385546	1054,318	2734,61	
-19	0,003	26,28	22,776	0	21	5,578158	-3,43439	0,990764	0,38914	0,385546	1215,622	3152,988	
-18	0,0056	49,056	21,024	0	21	5,963704	-2,82353	0,990764	0,38914	0,385546	1094,06	2837,689	
-17	0,008	70,08	29,784	0	21	6,34925	-2,21267	0,990764	0,38914	0,385546	1510,176	3916,981	
-16	0,0114	99,864	55,188	0	21	6,734796	-1,60181	0,990764	0,38914	0,385546	2724,63	7066,937	
-15	0,0177	155,052	83,22	0	21	7,120342	-0,99095	0,990764	0,38914	0,385546	3997,526	10368,48	
-14	0,0272	238,272	63,072	0	21	7,505888	-0,38009	0,990764	0,38914	0,385546	2945,545	7639,932	
-13	0,0344	301,344	71,832	0	21	7,891434	0,230769	0,990764	0,38914	0,385546	3258,802	8452,432	
-12	0,0426	373,176	51,684	0	21	8,27698	0,841629	0,990764	0,38914	0,385546	2275,785	5902,757	
-11	0,0485	424,86	49,056	0	21	8,662526	1,452489	0,990764	0,38914	0,385546	2094,61	5432,84	
-10	0,0541	473,916	49,056	0	21	9,048072	2,063348	0,990764	0,38914	0,385546	2029,154	5263,064	
-9	0,0597	522,972	76,212	0	21	9,433619	2,674208	0,990764	0,38914	0,385546	3050,744	7912,786	
-8	0,0684	599,184	124,392	0	21	9,819165	3,285068	0,990764	0,38914	0,385546	4813,395	12484,62	
-7	0,0826	723,576	146,292	0	21	10,20471	3,895928	0,990764	0,38914	0,385546	5465,623	14176,32	
-6	0,0993	869,868	169,068	0	21	10,59026	4,506787	0,990764	0,38914	0,385546	6090,967	15798,29	
-5	0,1186	1038,936	174,324	0	21	10,9758	5,117647	0,990764	0,38914	0,385546	6047,719	15686,11	
-4	0,1385	1213,26	192,72	0	21	11,36135	5,728507	0,990764	0,38914	0,385546	6428,77	16674,45	
-3	0,1605	1405,98	213,744	0	21	11,74689	6,339367	0,990764	0,38914	0,385546	6844,887	17753,75	
-2	0,1849	1619,724	236,52	0	21	12,13244	6,950226	0,990764	0,38914	0,385546	7258,666	18826,97	
-1	0,2119	1856,244	301,344	0	21	12,51799	7,561086	0,990764	0,38914	0,385546	8845,987	22944,05	
0	0,2463	2157,588	518,592	0	21	12,90353	8,171946	0,990764	0,38914	0,385546	14531,36	37690,33	
1	0,3055	2676,18	494,064	0	21	13,28908	8,782805	0,990764	0,38914	0,385546	13184,82	34197,79	
2	0,3619	3170,244	459,9	0	21	13,67463	9,393665	0,990764	0,38914	0,385546	11659,45	30241,4	
3	0,4144	3630,144	353,904	0	21	14,06017	10,00452	0,990764	0,38914	0,385546	8500,003	22046,66	
4	0,4548	3984,048	280,32	0	21	14,44572	10,61538	0,990764	0,38914	0,385546	6358,638	16492,55	
5	0,4868	4264,368	301,344	0	21	14,83126	11,22624	0,990764	0,38914	0,385546	6433,445	16686,58	
6	0,5212	4565,712	278,568	0	21	15,21681	11,8371	0,990764	0,38914	0,385546	5575,497	14461,3	
7	0,553	4844,28	299,592	0	21	15,60236	12,44796	0,990764	0,38914	0,385546	5596,536	14515,87	
8	0,5872	5143,872	280,32	0	21	15,9879	13,05882	0,990764	0,38914	0,385546	4862,488	12611,95	
9	0,6192	5424,192	284,7	0	21	16,37345	13,66968	0,990764	0,38914	0,385546	4558,582	11823,7	
10	0,6517	5708,892	289,956	0	21	16,75899	14,28054	0,990764	0,38914	0,385546	4255,846	11038,49	
11	0,6848	5998,848	293,46	0	21	17,14454	14,8914	0,990764	0,38914	0,385546	3915,705	10156,26	
12	0,7183	6292,308	292,584	0	21	17,53009	15,50226	0,990764	0,38914	0,385546	3513,615	9113,347	
13	0,7517	6584,892	322,368	0	21			0,990764					
14	0,7885	6907,26	296,964	0	21			0,990764					
15	0,8224	7204,224	290,832	0	21			0,990764					
16	0,8556	7495,056	309,228	0	21			0,990764					
17	0,8909	7804,284	209,364	0	21			0,990764					
18	0,9148	8013,648	180,456	0	21			0,990764					
19	0,9354	8194,104	160,308	0	21			0,990764					
20	0,9537	8354,412	141,912	0	21			0,990764					
21	0,9699	8496,324	98,112	0	21			0,990764					
22	0,9811	8594,436	48,18	0	21			0,990764					
23	0,9866	8642,616	41,172	0	21			0,990764					
24	0,9913	8683,788	28,908	0	21			0,990764					
25	0,9946	8712,696	33,288	0	21			0,990764					
26	0,9984	8745,984	6,132	0	21			0,990764					
27	0,9991	8752,116	2,628	0	21			0,990764					
28	0,9994	8754,744	5,256	0	21			0,990764					
29	1	8760	0	0	21			0,990764					
			8760								172385,7	447120,9	kWh
											172,3857	447,1209	MWh
											ηap		
											0,385546		
											8046,965	euroa	

Kohde 5	Koja Netto nykyisillä LTO-pattereilla												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	-5	21	-5	5,242383	0,990764	0,624819	0,619048	630,5975	1018,658	
-20	0,0008	7,008	19,272	-5	21	-4,71016	5,94984	0,990764	0,632923	0,627077	1714,811	2734,61	
-19	0,003	26,28	22,776	-5	21	-4,08308	6,316918	0,990764	0,632923	0,627077	1977,166	3152,988	
-18	0,0056	49,056	21,024	-5	21	-3,45601	6,683995	0,990764	0,632923	0,627077	1779,45	2837,689	
-17	0,008	70,08	29,784	-5	21	-2,82893	7,051072	0,990764	0,632923	0,627077	2456,249	3916,981	
-16	0,0114	99,864	55,188	-5	21	-2,20185	7,418149	0,990764	0,632923	0,627077	4431,514	7066,937	
-15	0,0177	155,052	83,22	-5	21	-1,57477	7,785226	0,990764	0,632923	0,627077	6501,835	10368,48	
-14	0,0272	238,272	63,072	-5	21	-0,9477	8,152303	0,990764	0,632923	0,627077	4790,826	7639,932	
-13	0,0344	301,344	71,832	-5	21	-0,32062	8,51938	0,990764	0,632923	0,627077	5300,326	8452,432	
-12	0,0426	373,176	51,684	-5	21	0,306457	8,886457	0,990764	0,632923	0,627077	3701,483	5902,757	
-11	0,0485	424,86	49,056	-5	21	0,933534	9,253534	0,990764	0,632923	0,627077	3406,81	5432,84	
-10	0,0541	473,916	49,056	-5	21	1,560611	9,620611	0,990764	0,632923	0,627077	3300,347	5263,064	
-9	0,0597	522,972	76,212	-5	21	2,187688	9,987688	0,990764	0,632923	0,627077	4961,927	7912,786	
-8	0,0684	599,184	124,392	-5	21	2,814765	10,35477	0,990764	0,632923	0,627077	7828,818	12484,62	
-7	0,0826	723,576	146,292	-5	21	3,441842	10,72184	0,990764	0,632923	0,627077	8889,644	14176,32	
-6	0,0993	869,868	169,068	-5	21	4,068919	11,08892	0,990764	0,632923	0,627077	9906,744	15798,29	
-5	0,1186	1038,936	174,324	-5	21	4,695996	11,456	0,990764	0,632923	0,627077	9836,402	15686,11	
-4	0,1385	1213,26	192,72	-5	21	5,323073	11,82307	0,990764	0,632923	0,627077	10456,17	16674,45	
-3	0,1605	1405,98	213,744	-5	21	5,950151	12,19015	0,990764	0,632923	0,627077	11132,97	17753,75	
-2	0,1849	1619,724	236,52	-5	21	6,577228	12,55723	0,990764	0,632923	0,627077	11805,96	18826,97	
-1	0,2119	1856,244	301,344	-5	21	7,204305	12,9243	0,990764	0,632923	0,627077	14387,69	22944,05	
0	0,2463	2157,588	518,592	-5	21	7,831382	13,29138	0,990764	0,632923	0,627077	23634,74	37690,33	
1	0,3055	2676,18	494,064	-5	21	8,458459	13,65846	0,990764	0,632923	0,627077	21444,65	34197,79	
2	0,3619	3170,244	459,9	-5	21	9,085536	14,02554	0,990764	0,632923	0,627077	18963,69	30241,4	
3	0,4144	3630,144	353,904	-5	21	9,712613	14,39261	0,990764	0,632923	0,627077	13824,95	22046,66	
4	0,4548	3984,048	280,32	-5	21	10,33969	14,75969	0,990764	0,632923	0,627077	10342,1	16492,55	
5	0,4868	4264,368	301,344	-5	21	10,96677	15,12677	0,990764	0,632923	0,627077	10463,77	16686,58	
6	0,5212	4565,712	278,568	-5	21	11,59384	15,49384	0,990764	0,632923	0,627077	9068,349	14461,3	
7	0,553	4844,28	299,592	-5	21	12,22092	15,86092	0,990764	0,632923	0,627077	9102,569	14515,87	
8	0,5872	5143,872	280,32	-5	21	12,848	16,228	0,990764	0,632923	0,627077	7908,665	12611,95	
9	0,6192	5424,192	284,7	-5	21	13,47508	16,59508	0,990764	0,632923	0,627077	7414,373	11823,7	
10	0,6517	5708,892	289,956	-5	21	14,10215	16,96215	0,990764	0,632923	0,627077	6921,983	11038,49	
11	0,6848	5998,848	293,46	-5	21	14,72923	17,32923	0,990764	0,632923	0,627077	6368,757	10156,26	
12	0,7183	6292,308	292,584	-5	21	15,35631	17,69631	0,990764	0,632923	0,627077	5714,771	9113,347	
13	0,7517	6584,892	322,368	-5	21			0,990764					
14	0,7885	6907,26	296,964	-5	21			0,990764					
15	0,8224	7204,224	290,832	-5	21			0,990764					
16	0,8556	7495,056	309,228	-5	21			0,990764					
17	0,8909	7804,284	209,364	-5	21			0,990764					
18	0,9148	8013,648	180,456	-5	21			0,990764					
19	0,9354	8194,104	160,308	-5	21			0,990764					
20	0,9537	8354,412	141,912	-5	21			0,990764					
21	0,9699	8496,324	98,112	-5	21			0,990764					
22	0,9811	8594,436	48,18	-5	21			0,990764					
23	0,9866	8642,616	41,172	-5	21			0,990764					
24	0,9913	8683,788	28,908	-5	21			0,990764					
25	0,9946	8712,696	33,288	-5	21			0,990764					
26	0,9984	8745,984	6,132	-5	21			0,990764					
27	0,9991	8752,116	2,628	-5	21			0,990764					
28	0,9994	8754,744	5,256	-5	21			0,990764					
29	1	8760	0	-5	21			0,990764					
			8760								280371,1	447120,9	kWh
											280,3711	447,1209	MWh
											ηap		
											0,627059		
											13087,72	euroa	

Kohde 5	Koja Netto uusituilla LTO-pattereilla												
Ulkolämpötila	vuodesta kylmempi	vuodesta kylmempi	aika vuodesta	tjätemin	tpoisto	tjäte	ttlto	Rlto	ηt	ηp	Qlto	QIV	
˚C	%	h	h	˚C	˚C	˚C	˚C				kWh	kWh	
-21	0		7,008	-5	21	-5	5,242383	0,990764	0,624819	0,619048	630,5975	1018,658	
-20	0,0008	7,008	19,272	-5	21	-5	6,242383	0,990764	0,640058	0,634146	1734,143	2734,61	
-19	0,003	26,28	22,776	-5	21	-5	7,242383	0,990764	0,65606	0,65	2049,442	3152,988	
-18	0,0056	49,056	21,024	-5	21	-5	8,242383	0,990764	0,672882	0,666667	1891,793	2837,689	
-17	0,008	70,08	29,784	-5	21	-5	9,242383	0,990764	0,690589	0,684211	2680,04	3916,981	
-16	0,0114	99,864	55,188	-5	21	-4,59569	9,834307	0,990764	0,698225	0,691775	4888,734	7066,937	
-15	0,0177	155,052	83,22	-5	21	-3,90392	10,13608	0,990764	0,698225	0,691775	7172,659	10368,48	
-14	0,0272	238,272	63,072	-5	21	-3,21214	10,43786	0,990764	0,698225	0,691775	5285,117	7639,932	
-13	0,0344	301,344	71,832	-5	21	-2,52037	10,73963	0,990764	0,698225	0,691775	5847,186	8452,432	
-12	0,0426	373,176	51,684	-5	21	-1,82859	11,04141	0,990764	0,698225	0,691775	4083,382	5902,757	
-11	0,0485	424,86	49,056	-5	21	-1,13682	11,34318	0,990764	0,698225	0,691775	3758,306	5432,84	
-10	0,0541	473,916	49,056	-5	21	-0,44504	11,64496	0,990764	0,698225	0,691775	3640,859	5263,064	
-9	0,0597	522,972	76,212	-5	21	0,246735	11,94674	0,990764	0,698225	0,691775	5473,872	7912,786	
-8	0,0684	599,184	124,392	-5	21	0,938511	12,24851	0,990764	0,698225	0,691775	8636,553	12484,62	
-7	0,0826	723,576	146,292	-5	21	1,630286	12,55029	0,990764	0,698225	0,691775	9806,829	14176,32	
-6	0,0993	869,868	169,068	-5	21	2,322062	12,85206	0,990764	0,698225	0,691775	10928,87	15798,29	
-5	0,1186	1038,936	174,324	-5	21	3,013837	13,15384	0,990764	0,698225	0,691775	10851,27	15686,11	
-4	0,1385	1213,26	192,72	-5	21	3,705613	13,45561	0,990764	0,698225	0,691775	11534,98	16674,45	
-3	0,1605	1405,98	213,744	-5	21	4,397388	13,75739	0,990764	0,698225	0,691775	12281,61	17753,75	
-2	0,1849	1619,724	236,52	-5	21	5,089164	14,05916	0,990764	0,698225	0,691775	13024,04	18826,97	
-1	0,2119	1856,244	301,344	-5	21	5,780939	14,36094	0,990764	0,698225	0,691775	15872,13	22944,05	
0	0,2463	2157,588	518,592	-5	21	6,472715	14,66271	0,990764	0,698225	0,691775	26073,25	37690,33	
1	0,3055	2676,18	494,064	-5	21	7,16449	14,96449	0,990764	0,698225	0,691775	23657,19	34197,79	
2	0,3619	3170,244	459,9	-5	21	7,856266	15,26627	0,990764	0,698225	0,691775	20920,26	30241,4	
3	0,4144	3630,144	353,904	-5	21	8,548041	15,56804	0,990764	0,698225	0,691775	15251,34	22046,66	
4	0,4548	3984,048	280,32	-5	21	9,239817	15,86982	0,990764	0,698225	0,691775	11409,14	16492,55	
5	0,4868	4264,368	301,344	-5	21	9,931592	16,17159	0,990764	0,698225	0,691775	11543,37	16686,58	
6	0,5212	4565,712	278,568	-5	21	10,62337	16,47337	0,990764	0,698225	0,691775	10003,97	14461,3	
7	0,553	4844,28	299,592	-5	21	11,31514	16,77514	0,990764	0,698225	0,691775	10041,72	14515,87	
8	0,5872	5143,872	280,32	-5	21	12,00692	17,07692	0,990764	0,698225	0,691775	8724,638	12611,95	
9	0,6192	5424,192	284,7	-5	21	12,69869	17,37869	0,990764	0,698225	0,691775	8179,348	11823,7	
10	0,6517	5708,892	289,956	-5	21	13,39047	17,68047	0,990764	0,698225	0,691775	7636,156	11038,49	
11	0,6848	5998,848	293,46	-5	21	14,08225	17,98225	0,990764	0,698225	0,691775	7025,851	10156,26	
12	0,7183	6292,308	292,584	-5	21	14,77402	18,28402	0,990764	0,698225	0,691775	6304,39	9113,347	
13	0,7517	6584,892	322,368	-5	21			0,990764					
14	0,7885	6907,26	296,964	-5	21			0,990764					
15	0,8224	7204,224	290,832	-5	21			0,990764					
16	0,8556	7495,056	309,228	-5	21			0,990764					
17	0,8909	7804,284	209,364	-5	21			0,990764					
18	0,9148	8013,648	180,456	-5	21			0,990764					
19	0,9354	8194,104	160,308	-5	21			0,990764					
20	0,9537	8354,412	141,912	-5	21			0,990764					
21	0,9699	8496,324	98,112	-5	21			0,990764					
22	0,9811	8594,436	48,18	-5	21			0,990764					
23	0,9866	8642,616	41,172	-5	21			0,990764					
24	0,9913	8683,788	28,908	-5	21			0,990764					
25	0,9946	8712,696	33,288	-5	21			0,990764					
26	0,9984	8745,984	6,132	-5	21			0,990764					
27	0,9991	8752,116	2,628	-5	21			0,990764					
28	0,9994	8754,744	5,256	-5	21			0,990764					
29	1	8760	0	-5	21			0,990764					
			8760								308843	447120,9	kWh
											308,843	447,1209	MWh
											ηap		
											0,690737		
											14416,79	euroa	

Ulkoilman lämpötilojen esiintymistiheys nykyilmastossa (TRY2012) pysyvyysarvoina vyöhykkeillä I-II (Vantaa)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	vuosi	talvi	kesä	
	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760	6552	2208	
-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-21
-20	0.0027	0.0074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0008	0.0011	0	-20
-19	0.0067	0.0238	0.0067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.004	0	-19
-18	0.0202	0.0417	0.0081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0056	0.0075	0	-18
-17	0.0309	0.0536	0.0094	0	0	0	0	0	0	0	0.0056	0	0.008	0.0107	0	-17
-16	0.0444	0.0729	0.0148	0	0	0	0	0	0	0	0.0097	0	0.0114	0.0153	0	-16
-15	0.0766	0.1086	0.0202	0	0	0	0	0	0	0	0.0139	0	0.0177	0.0237	0	-15
-14	0.0927	0.1682	0.0323	0	0	0	0	0	0	0	0.0361	0.0081	0.0272	0.0363	0	-14
-13	0.1089	0.2024	0.0376	0	0	0	0	0	0	0	0.0528	0.0242	0.0344	0.0459	0	-13
-12	0.1358	0.2292	0.0511	0	0	0	0	0	0	0	0.0722	0.0376	0.0426	0.0569	0	-12
-11	0.1492	0.2426	0.0591	0	0	0	0	0	0	0	0.0931	0.0538	0.0485	0.0649	0	-11
-10	0.1613	0.2649	0.0712	0	0	0	0	0	0	0	0.1042	0.0645	0.0541	0.0723	0	-10
-9	0.1868	0.2768	0.0806	0	0	0	0	0	0	0	0.1097	0.0793	0.0597	0.0798	0	-9
-8	0.2151	0.2932	0.1089	0	0	0	0	0	0	0	0.1264	0.0941	0.0684	0.0914	0	-8
-7	0.2567	0.3244	0.1599	0	0	0	0	0	0	0	0.1431	0.125	0.0826	0.1105	0	-7
-6	0.2796	0.369	0.2191	0	0	0	0	0	0	0	0.1681	0.1747	0.0993	0.1328	0	-6
-5	0.3199	0.4048	0.2728	0	0	0	0	0	0	0	0.1875	0.2567	0.1186	0.1586	0	-5
-4	0.3737	0.4405	0.3118	0	0	0	0	0	0	0	0.2111	0.3427	0.1385	0.1851	0	-4
-3	0.4261	0.4792	0.3723	0.0083	0	0	0	0	0	0	0.2319	0.4261	0.1605	0.2146	0	-3
-2	0.4718	0.5313	0.4422	0.0347	0	0	0	0	0	0.0013	0.2708	0.4866	0.1849	0.2473	0	-2
-1	0.5874	0.558	0.5	0.0694	0	0	0	0	0	0.0108	0.3028	0.5323	0.2119	0.2833	0	-1
0	0.6492	0.6265	0.6089	0.1097	0	0	0	0	0	0.0228	0.3528	0.6062	0.2463	0.3294	0	0
1	0.8266	0.7128	0.8011	0.1778	0.0081	0	0	0	0.0028	0.0484	0.4278	0.6801	0.3055	0.4084	0	1
2	0.9664	0.7798	0.914	0.3153	0.0188	0	0	0	0.0083	0.1022	0.4903	0.7675	0.3619	0.4838	0	2
3	1	0.8795	0.9637	0.4472	0.0309	0	0	0	0.0222	0.1976	0.5486	0.9073	0.4144	0.554	0	3
4	1	0.939	0.9812	0.5708	0.0457	0.0028	0	0	0.0514	0.3091	0.6167	0.9691	0.4548	0.6078	0.0009	4
5	1	0.9583	0.9879	0.6597	0.0685	0.0097	0	0	0.0903	0.3898	0.7069	1	0.4868	0.6497	0.0032	5
6	1	0.9866	0.9973	0.7278	0.1129	0.0167	0	0	0.1236	0.504	0.8181	1	0.5212	0.6951	0.0054	6
7	1	0.9926	1	0.7681	0.1895	0.0292	0	0.004	0.1833	0.6062	0.8944	1	0.553	0.7357	0.0109	7
8	1	0.9985	1	0.8111	0.2876	0.05	0.0027	0.017	0.2694	0.6882	0.9528	1	0.5872	0.7773	0.0231	8
9	1	1	1	0.8375	0.371	0.0861	0.0067	0.039	0.3597	0.7608	1	1	0.6192	0.8132	0.0435	9
10	1	1	1	0.8583	0.4785	0.1403	0.0215	0.067	0.4472	0.836	1	1	0.6517	0.8458	0.0756	10
11	1	1	1	0.8833	0.5632	0.2028	0.0336	0.121	0.5583	0.8831	1	1	0.6848	0.8758	0.1182	11
12	1	1	1	0.9111	0.6532	0.2764	0.0739	0.183	0.6361	0.9113	1	1	0.7183	0.9008	0.1766	12
13	1	1	1	0.9292	0.7191	0.3889	0.1156	0.23	0.7014	0.961	1	1	0.7517	0.9231	0.2432	13
14	1	1	1	0.9431	0.7782	0.4833	0.1828	0.31	0.7861	1	1	1	0.7885	0.9451	0.3238	14
15	1	1	1	0.9556	0.828	0.5819	0.2473	0.425	0.8514	1	1	1	0.8224	0.9592	0.4162	15
16	1	1	1	0.9625	0.8602	0.6681	0.3522	0.531	0.9111	1	1	1	0.8556	0.9702	0.5154	16
17	1	1	1	0.9778	0.9046	0.7528	0.4987	0.616	0.9556	1	1	1	0.8909	0.9818	0.6209	17
18	1	1	1	0.9889	0.9274	0.8097	0.6008	0.688	0.975	1	1	1	0.9148	0.9878	0.6984	18
19	1	1	1	1	0.9422	0.8611	0.6761	0.763	0.9917	1	1	1	0.9354	0.9925	0.7659	19
20	1	1	1	1	0.9583	0.9194	0.7608	0.813	1	1	1	1	0.9537	0.9953	0.8302	20
21	1	1	1	1	0.9704	0.9625	0.8441	0.867	1	1	1	1	0.9699	0.9966	0.8904	21
22	1	1	1	1	0.9879	0.9806	0.9059	0.902	1	1	1	1	0.9811	0.9986	0.9289	22
23	1	1	1	1	0.9933	0.9917	0.9328	0.925	1	1	1	1	0.9866	0.9992	0.9493	23
24	1	1	1	1	1	1	0.953	0.945	1	1	1	1	0.9913	1	0.9656	24
25	1	1	1	1	1	1	0.9772	0.96	1	1	1	1	0.9946	1	0.9787	25
26	1	1	1	1	1	1	0.9973	0.984	1	1	1	1	0.9984	1	0.9937	26
27	1	1	1	1	1	1	1	0.989	1	1	1	1	0.9991	1	0.9964	27
28	1	1	1	1	1	1	1	0.993	1	1	1	1	0.9994	1	0.9977	28
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29