

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Matias Teinilä

MAATILAN LÄMPÖVERKON MITOITTAMINEN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja ympäristötekniikka

2021 | 56 sivua, 1 liitesivu

Matias Teinilä

MAATILAN LÄMPÖVERKON MITOITTAMINEN

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa useiden vuosikymmenten aikana tehtyä lämpöverkkoa Korkeaoja-Nurmon maatilalla. Verkossa on ollut viime vuosina ongelmia, jotka johtuvat pääosin vuosien kuluessa kootusta verkosta, jota ei ole sen tarkemmin mitoitettu.

Mitoituksessa käytiin läpi verkoston koostumus ja kaikki siinä käytetyt komponentit. Näiden tietojen pohjalta pystyttiin laskemaan kiinteistöjen energiantarpeet, verkoston painehäviöt sekä eri pumpuilta ja lämmönlähteiltä vaadittu teho.

Selvitys itsessään on hyvin teoreettista, koska oikean elämän tilanteissa kaikkia muuttujia ja niiden yhteisvaikutuksia on lähes mahdotonta arvioida. Osa laskelmissa käytetyistä arvoista oli myös suuntaa antavia, koska todellista virtausta putkistossa ei pystytä mittaamaan ilman kalliita ammattilaislaitteita.

Tutkimusten pohjalta saatiin määriteltyä kriittisimmät olosuhteet lämpöverkon toiminnan kannalta, joiden pohjalta verkostoa alettiin käymään läpi. Verkoston tutkimuksella löydettiin sen kipupisteet, jotka olivat painehäviöiden suhteet ja pumppausteho. Näihin tekijöihin puuttamalla verkoston toimintaa voitaisiin tehostaa lähtötilanteesta.

ASIASANAT:

Lämmitysjärjestelmät, maatala, kartoitus, mitoittaminen, optimointi.

BACHELOR'S | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental engineering

2021 | 56 pages, 1 appendice

Matias Teinilä

DIMENSIONING A FARM'S HEATING SYSTEM

The aim of this thesis is to survey the heating system that has been compiled over several decades at the Korkeaoja-Nurmo farm. In recent years, there have been problems with the system which have been caused by the system that has been assembled over the years without proper planning.

In this dimensioning, the construction of the system and all the components used in it were reviewed. Based on this information it was possible to calculate the energy demands of the buildings, the pressure drops in the system, and the required output of the pumps and furnaces.

The calculations are very theoretical in their nature because it is almost impossible to estimate all the variables and their combined effects in practice. Some of the applied values are approximate due to the fact that the accurate flow in the piping cannot be measured without expensive professional devices.

Based on the calculations, the most critical conditions for the system were defined. The system was scrutinized and the most critical points, the relations of pressure drops and pumping capacity, were uncovered. By intervening with these factors, the system could be intensified from the starting point.

KEYWORDS:

Heating systems, farm, mapping, dimensioning, optimization.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 LÄMMÖNTUOTANTO	10
2.1 Hakekattilat	10
2.2 Öljykattilat	12
3 BROILERIKASVATTAMOT	13
3.1 Ilmanvaihto	13
3.1.1 Ilmanvaihdon ohjauskeskus	14
3.1.2 Korkeapainesumutus	15
3.2 Lämpökapasiteetti	15
3.3 Lintujen terveys	15
4 SIKALA	18
4.1 Ilmanvaihto	18
4.2 Lämmitysjärjestelmä	19
4.3 Eläinten hyvinvointi	19
5 ASUINRAKENNUKSET	22
6 LÄMPÖVERKKO	23
6.1 Putkisto	23
6.1.1 Yksiputkirakenne	25
6.1.2 Kaksiputkirakenne	25
6.2 Eristys ja suojaus	25
6.3 Uponor-putki	28
6.4 Venttiilit	29
7 LASKELMAT	30
7.1 Lämmöntarve	31
7.1.1 Broilerikasvattamot	31
7.1.2 Sikala	34
7.1.3 Omakotitalo	36

7.1.4 Saunarakennus	39
7.1.5 Kuivuri	40
7.1.6 Skenaariot	41
7.2 Painehäviö	41
7.2.1 Broilerikasvattamot	44
7.2.2 Sikala	48
7.2.3 Asuinrakennukset	49
7.2.4 Kuivuri	51
7.3 Pumppausteho	52
7.3.1 Broilerikasvattamot	52
7.3.2 Sikala	52
7.3.3 Kuivuri	53
8 YHTEENVETO	54
LÄHTEET	55

LIITTEET

Liite 1. Korkeaoja-Nurmon maatilan lämpöverkon PI-kaavio.

KUVAT

Kuva 1. Arinakattilan leikkaus (Kyrötekniikka 2018).	11
Kuva 2. Öljykattilan rakenne (Lämmöllä-lehti 2010, 9).	12
Kuva 3. Koneellinen poistoilmanvaihto ja tuloilmakatto (Heimonen I., Heikkinen J., Laamanen J., Alasuutari S., Kaila E. 2014, 25).	18
Kuva 4. yksi- ja kaksiputkirakenteiden poikkileikkaus (Energiateollisuus ry 2010).	24
Kuva 5. Uponor-putkien tyypit (Uponor 2019, 3).	28
Kuva 6. Vexven teräspalloventtiilin rakenne (<DN 200).	29
Kuva 7. Vedenkäyttötutkimuksen mukainen vedenkäytön jakauma (Kestävä vedenkäyttö – vedenkäyttöselvitys, Työtehoseura).	38
Kuva 8. Putkiyhteiden kertavastuksia (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007).	44

TAULUKOT

Taulukko 1. Vaadittu ilmanvaihto suhteessa lintujen painoon (HKScan Minimi-ilmastointi 2020).	14
Taulukko 2. Suhteellinen kosteus ja turvekuivikkeen lämpötila verrattuna lintujen ikään ja painoon (HKScan Lämpötila-kosteustaulukko 2020).	16
Taulukko 3. Liha- ja kasvatussikojen elintila (Evira 2008, 18).	21
Taulukko 4. Kaukolämpöputkien standardikoot (Energiateollisuus ry 2020, 4).	24
Taulukko 5. Kaukolämpöputkien suojakuorten materiaalivaatimukset (Energiateollisuus ry 2020, 12).	26
Taulukko 6. Kaukolämpöputkien suojakuorten fysikaaliset/kemialliset ominaisuudet (Energiateollisuus ry 2020, 12).	26
Taulukko 7. Polyuretaanin eristeominaisuudet (Energiateollisuus 2020, 13).	27
Taulukko 8. Broilerikasvattamon lämpöhäviöt.	33

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

A	Pinta-ala
ADG	Average daily gain, eläimen päivittäinen kasvu
bar	Baari, paineen yksikkö
°C	Celsius, lämpötilan yksikkö
CO	Hiilimonoksidi, myrkyllinen kaasu
CO ₂	Hiilidioksidi, suurina pitoisuuksina haitallinen kaasu
C _p	Ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa
dB	Desibeli, äänenvoimakkuuden yksikkö
D _n	Kaukolämpöputkien sisämitta
FI	Feed intake, ruoan kulutus
h	Tunti, ajan yksikkö, Korkeus
H ₂ S	Rikkivety, haitallinen kaasu
k	Putken pinnankarheus
kg	Kilogramma, massan yksikkö
kWh	Kilowattitunti, energian yksikkö
l	Pituus
m ²	Neliometri, pinta-alan yksikkö
m ³	Kuutiometri, tilavuuden yksikkö
m/s	Metriä sekunnissa, nopeuden yksikkö
m ³ /s	Kuutiometriä sekunnissa, tilavuusvirran yksikkö
m ³ /h/kg	Tilavuusvirta tunnissa suhteessa eläinten painoon
m ³ /h/m ²	Tilavuusvirta tunnissa neliometriä kohti
mg/m ³	Milligrammaa kuutiometriä kohti, pitoisuuden yksikkö
µm	Mikrometri, pituuden yksikkö
NH ₃	Ammoniakki, hyvin ärsyttävä emäksinen kaasu
Pa	Pascal, paineen yksikkö

PPM	Aineen pitoisuus miljoonasosina ilmaistuna
Q	Lämpövirta
Re	Reynoldsin luku
T	Lämpötila
v	Virtausnopeus
V	Tilavuusvirta
W	Watti, tehon yksikkö
W/m ²	Teho neliömetriä kohti
W/(m×K)	Lämmönjohtavuuden yksikkö
λ	Lambda, lämmönjohtavuuden tunnus, Kitkavastuskerroin
ν	Kinemaattinen viskositeetti
ρ	Aineen tiheys

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Korkeaoja-Nurmon tila, joka sijaitsee Kokemäellä Varsinais-Suomessa. Tilalla kasvatetaan lihasikoja, joita on noin 1200 sekä broilereita, joita on noin 39 000. Broilereiden ja sikojen lisäksi tilalla on noin 80 hehtaaria viljeltävää peltoa. Eläinten määrä vaatii suuret tilat ja ilmanvaihdot, jotka ovat suoraan verrannollisia lämpöhäviöiden määrään. Sikalan ja kanaloiden lisäksi tilan oma viljakuivaamo vaatii todella paljon lämpöenergiaa lyhyellä aikavälillä syksyisin.

Pohjana työlle on tilan rakennusten ja ratkaisujen energiatehokkuus sekä eläinten hyvinvointi. Nämä tekijät ovat suoraan verrannollisia tuottavuuteen ja tätä kautta taloudellisiin hyötyihin. Edellä mainittujen maatilaa käsittelevien tekijöiden lisäksi kipinästä toimi myös asuinmukavuus. Samassa lämpöverkossa on osana tilan omistajien omakotitalo ja saunarakennus, joissa on ollut ongelmia lämpimän veden riittävyyden kanssa, mikä osoittaa, että verkostossa on tarvetta jonkinlaisille muutoksille.

Työn tavoitteena on selkeyttää tarkasteltavan maatilalan lämpöverkon koostumusta ja toimintaa. Työ aloitettiin käymällä paikan päällä verkosto läpi ja taltioimalla se. Taltiointien pohjalta piirretty liitteenä oleva PI-kaavio selkeytti verkoston lämpö- ja painehäviöiden laskentaa. Laskelmien pohjalta saatiin selvitettyä verkoston kipupisteet, joihin puuttamalla toimintaa pystyttäisiin tehostamaan.

2 LÄMMÖNTUOTANTO

Lämmöntuotanto tapahtuu pääosin hakkeella, mutta myös lämpöverkossa olevia vanhoja öljykattiloita on mahdollista käyttää, jos tapahtuu jotain odottamatonta. Tällainen tilanne syntyisi esimerkiksi, jos Kyrötekniikka Oy:n valmistama 950 kW:n arinakattila ei jostain syystä pystyisikään tuottamaan lämpöä tilan tarpeisiin. Tästä syystä verkosto on rakennettu siten, että verkoston vesi kiertää jatkuvasti vanhojen kattiloiden läpi. Tämä lisää painehäviöitä verkostossa, mutta pitää vanhat öljykattilat paremmin toimintakunnossa ja vähentää niissä tapahtuvaa korroosiota, kun niissä on jatkuvasti kiertoa.

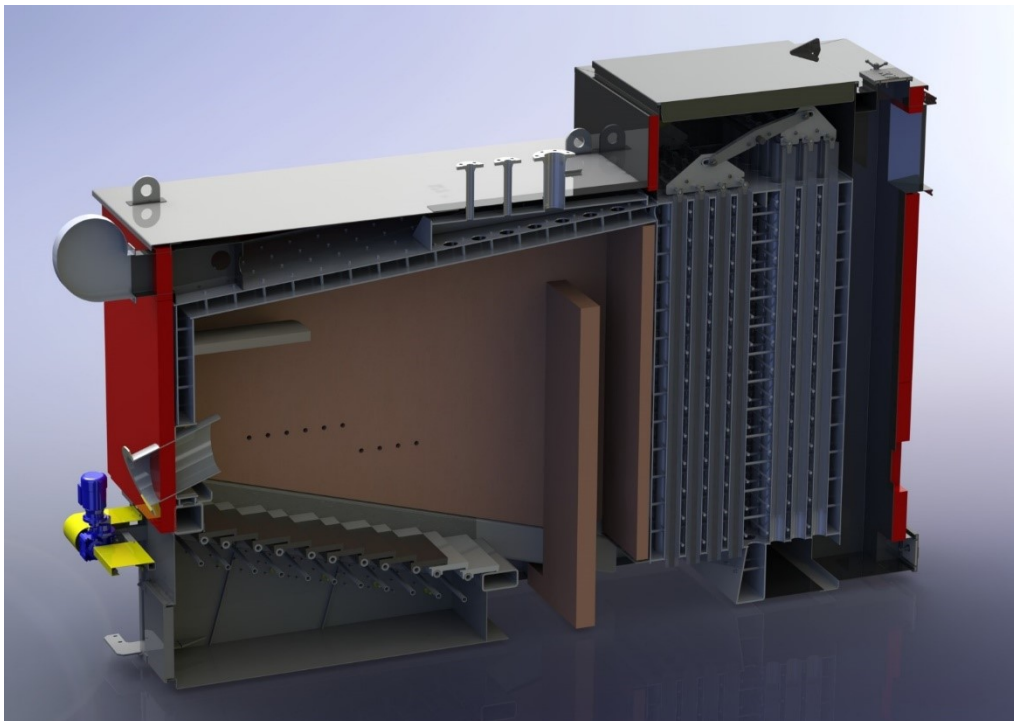
2.1 Hakekattilat

Vajaan vuoden toiminnassa ollut, keväällä 2020 käyttöön otettu, arinakattila on teholtaan 950 kW ja se lämmittää koko maatilän verkkoa. Arinakattilan toiminta perustuu siihen, että pesään syötetään polttoainetta kattilan etuosasta, josta se leviää arinalle. Arinalevyt liikkuvat lomittain ja työntävät polttoainetta eteenpäin palopinnalla, jolloin palaminen on mahdollisimman tehokasta. Arinakattilan etuna on, että polttoaine voi olla hieman kosteaa, koska polttoaine kuivuu arinan etuosassa ja palaa tehokkaasti arinan loppuosassa. Lomittain liikkuvan arinan levyjen toiminta on pesän tehokkuuden kannalta tärkeää, koska muuten polttoaine kasaantuu kattilan etuosaan ja palaminen on tehokasta ainoastaan polttoainekasan päällyskerroksissa. Palotilan reunoilla kiertää putkistossa vettä, joka ottaa vastaa lämpöenergiaa pesän kuumista savukaasuista.

Maatilalla polttoaineena käytettävä hake tuodaan kahdella kuljetinruuvilla, jotka parantavat järjestelmän turvallisuutta. Ongelmana palavaa kiinteää polttoainetta käyttävissä kattiloissa on paloturvallisuus, koska polttoaine viedään usein esimerkiksi ruuveilla tulipesään. Tulipesästä liekki voi levitä kuljetinruuvia pitkin pahimmassa tapauksessa hakevarastoon asti. Kaksiruuvisessa järjestelmässä syöttöruuvien välillä on pudotussuppilo, joka katkaisee polttoainevirran ja tällä tavoin katkaisee palon etenemisen kuljetuslinjassa. Polttoaineen kuljetusjärjestelmässä on tarkasteltavalla maatilalla antureita ja sammutusjärjestelmä palon leviämisen estämiseksi pitkälle kuljetinruuviin.

Palamiseen tarvittava ilma esilämmitetään lämpimän kiertoveden avulla, minkä jälkeen ilma puhalletaan tasaisesti kattilan yläosasta palotilaan sekä arinalevyjen läpi polttoaineen alapuolelle. Arinalevyjen läpi puhallettavalla ilmalla on tärkeä tehtävä palamisen

edistämisen lisäksi arinalevyjen viilentämisessä. Ongelmaksi liian vähäisestä viilentävästä ilmasta syntyy, että arinalevyjen elinkaari laskee nopeasti, jos niiden pinta alkaa sulaa. Kattilan rakenne ajaa palamisesta syntyvät savukaasut kattilan takaosaan, jossa olevat savukaasujarrut parantavat lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. Konvektion pystymäinen rakenne mahdollistaa automatisoidun nuohouksen ylös-alas liikuteltavalla mekaniikalla. Nuohouksella on tärkeä rooli kattilan hyvässä toiminnassa, koska poistettavissa savukaasuissa on suuri määrä hiukkasia, jotka takertuvat ja kasaantuvat konvektion pinnoille. Pinnoille kasaantuva tuhka heikentää voimakkaasti lämmönjohtumista lämpökattilassa kiertävään veteen, joka on suoraan verrannollinen kattilan hyötysuhteeseen. (Kyrötekniikka 2018.)



Kuva 1. Arinakattilan leikkaus (Kyrötekniikka 2018).

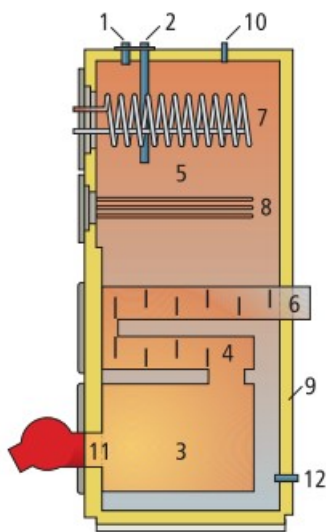
Nykyisen pääkattilan lisäksi verkossa on vanhempi Arimax BIO 300 SP -biokattila, jossa voidaan käyttää polttoaineena esimerkiksi puuhaketta, pellettiä, purua ja turvetta. Uusi hakekattila on rakennettu hakevaraston viereen, jonka ansiosta hakevarastoa ei juurikaan ole tarvinnut muokata. Uuden hakekattilan polttoaineruuvi on sijoitettu vanhaan hakekattilaan vievän ruuvien viereen siten, että molempia voidaan käyttää samaan aikaan, mikä lisää lämmöntuoton varmuutta. BIO 300 -lämpökattilassa on myös mahdollisuus

öljypolttimen asentamiselle, mutta tarkasteltavalla maatilalla sitä ei ole hankittu. (Thermia Arimax -biolämpöopas 2005, 16.)

2.2 Öljykattilat

Öljykattiloita on verkostossa kaksi kappaletta, jotka eivät ole jatkuvassa käytössä, mutta kuitenkin verkostossa varalla, jos päälämmönlähteeseen tulee ongelmia. Öljykattilat ovat teholtaan 70 ja 210 kilowattia. 70 kilowatin öljykattila sijaitsee sikalassa ja 210 kilowatin öljykattila 1. kanalassa. Öljykattilan rakenne on yksinkertainen, minkä ansiosta ne ovat hyviä varalla pidettäväksi maatilan kaltaisissa verkostoissa.

Öljyn suuri energiasisältö mahdollistaa sen, ettei tarvita suuria varastotiloja kattilan polttoainetta varten vaan pääkattilan mahdollisiin ongelmiin pystytään reagoimaan nopeasti pienillä resursseilla, jolloin eläimille ei koidu haittaa. Öljykattilan leikkaus kuvassa 2 näyttää, miten vähän kattilassa on osia, jotka voisivat vikaantua. Määrän lisäksi kaikki osat ovat hyvin yksinkertaisia, joten niillä on hyvä käyttövarmuus.



Yksipesäkattilan osat:

1. Lähtö kattilasta, 2. Paluu kattilaan,
3. Öljypolton tulipesä, 4. Savusola,
5. Vesitila, 6. Savuhormi, 7. Lämminvesikierukka, 8. Sähkövastus, 9. Eriste,
10. Kiehuntayhde, 11. Öljypolttimen paikka, 12. Paisuntayhde

Kuva 2. Öljykattilan rakenne (Lämmöllä-lehti 2010, 9).

3 BROILERIKASVATTAMOT

Broilerikasvattamoiden rakennuksissa on käytetty HKScanilta tulleita suosituksia, joissa on käyty läpi rakennusten ulkomitat ja vaadittavat laitteistot. Suositukset sisältävät vaadittujen tilojen koon, lämmöntarpeen sekä ilmanvaihdon suhteessa kasvatettavien lintujen määrään.

3.1 Ilmanvaihto

HKScanin ohjeistuksen mukaan ilmastoinnin tuoman raitisilman on jakaannuttava tasaisesti koko halliin ympäri vuoden, eivätkä poistoilmapuhaltimet saa ylittää 65 dB:n melutasoa. Eläinten elinolojen takia ilmastointilaitteisto ei saa olla vain yhden vikavirtasuojauksen takana, ja kasvatushallin päätyseinillä sijaitsevat jättipuhaltimet on saatava päälle myös manuaalisesti.

Ilmanvaihdon mitoitus riippuu paljon kasvattamon mitoista ja pinta-alasta, esimerkiksi mitä leveämpi halli on, sitä korkeampi täytyy alipaineen olla, mutta yleisesti HKScan suosittelee ilmanvaihdoksi 10 Pa:n alipaineella $150 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ tai lintujen painoon verrattuna $3,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{kg}$. Ilman nopeuden tulisi olla noin 4 m/s hallin raitisilman tuloluukulla. Taulukossa 1 näkyy ilmanvaihdon ja lintujen painon yhteys, jonka takia kasvattajan on tiedettävä tarkkaan lintumäärä kasvattamossa sekä lintujen painon kehittyminen. (HKScan Broilerin hoito-opas 2020.)

Taulukko 1. Vaadittu ilmanvaihto suhteessa lintujen painoon (HKScan Minimi-ilmastointi 2020).

Päivitetty 11.2.2018

Elopaino kg	Minimi-ilmanvaihto	
	Minimi m ³ /tunti	Maksimi m ³ /tunti
0,050	0,080	0,761
0,100	0,141	1,280
0,150	0,208	
0,200	0,258	2,153
0,250	0,305	
0,300	0,350	2,919
0,350	0,393	
0,400	0,435	3,621
0,450	0,475	
0,500	0,514	4,281
0,550	0,552	
0,600	0,589	4,908
0,650	0,625	
0,700	0,661	5,510
0,750	0,696	
0,800	0,731	6,090
0,850	0,765	
0,900	0,798	6,653
0,950	0,831	
1,000	0,864	7,200
1,100	0,928	
1,200	0,991	8,255
1,300	1,052	
1,400	1,112	9,267
1,500	1,171	
1,600	1,229	10,243
1,700	1,286	
1,800	1,343	11,189
1,900	1,398	
2,000	1,453	12,109
2,200	1,561	13,006
2,400	1,666	13,883
2,600	1,769	14,420
2,800	1,870	15,585
3,000	1,969	16,412

Alemmilla ulkolämpötiloilla maksimi-ilmanvaihdon tarve hieman alhaisempi.

Korkeammilla ulkolämpötiloilla maksimi-ilmanvaihdon tarve hieman korkeampi.

3.1.1 Ilmanvaihdon ohjauskeskus

Ilmanvaihdon ohjauskeskus ohjaa kasvatushallin poistopuhaltimia katossa ja seinillä sekä sulkuläppien aukeamista tarpeen mukaan. Ilmateiden ohjaamisen lisäksi ohjauskeskus säätelee kasvatushallin lämmitystä ja korkeapainesumutusjärjestelmää. Ilmanvaihdon ohjauskeskuksen pitää olla kytkettynä hälytysjärjestelmään, jotta se osaa reagoida esimerkiksi lämpötilapoikkeamiin. Lämpötilapoikkeamien lisäksi

ohjauskeskukseen syötetään tietoa alipainemittarista, jotta ilmanvaihtojärjestelmä osaa vastata ulkoilman muutoksiin. (HKScan Broilerikasvattamon rakentamisohje 2017.)

3.1.2 Korkeapainesumutus

Ilmanvaihdon ohjauskone tai erillinen ohjausyksikkö säätelee korkeapainesumutusta kuumalla säällä kesäisin, jos on tarvetta. Korkeapainesumutus tarkoittaa sitä, että raitisilmaluukuista tulevan korvausilman sekaan sumutetaan vähintään 50 baarin paineella vettä, mikä alentaa tehokkaasti ilman lämpötilaa kesähelteillä. Korkeapainesumutusjärjestelmän käyttö vaatii automaattista kosteuden mittausta kasvatushallissa, jotta lintujen elinolot pysyvät hyvinä ja ettei turvekuivike kastu. Sumutettavan veden pisarakoon suositellaan olevan noin 10 µm, jotta ilman viilennys on mahdollisimman tehokasta. (HKScan Broilerikasvattamon rakentamisohje 2017.)

3.2 Lämpökapasiteetti

Lämmityskapasiteetti HKScanin ohjeistuksen mukaan on oltava 100 W/m². Suurin haaste lämmitykselle on talvella kasvavat untuvikot, jotka vaativat paljon ilmanvaihtoa. Mitoitusarvona lämmityskapasiteetille käytetään 25 °C lämpötilaa. Kasvatushallin lämpötila ei saa laskea suuresta ilmanpoistosta huolimatta, joten lämmityskapasiteetin on oltava riittävän suuri. (HKScan Broilerin hoito-opas 2020.)

3.3 Lintujen terveys

Ilmanvaihto on eläinten hyvinvoinnin kannalta tärkeä tekijä, koska lintujen hyvä terveys ja kasvu vaativat raikasta ilmaa. Ilmanvaihdon on pidettävä huolta siitä, että kasvatusosaston ilman kosteus, virtausnopeus, lämpötila, pölyn määrä ja haitallisten kaasujen pitoisuudet eivät kohoa haitallisen korkeiksi.

Ilman kosteus ja kosteuden tasaisuus hallissa ovat myös tärkeitä turvepohjaisen kuivikkeen kannalta, jotta kuivike pysyy imukykyisenä. Turvekuivike imee ilmasta myrkyllistä ammoniakkia, joka muodostuu bakteerien hajottaessa orgaanisen materiaalin typpiyhdisteitä. Lämpötilan ja kosteuden suhdetta lintujen kasvuun on seurattava jatkuvasti, koska liian kuiva tai kostea ympäristö hallissa ovat molemmat haitaksi lintujen normaalille

kasvulle. Taulukossa 2 on määritelty lintujen ikää ja painoa suhteessa haluttuun suhteelliseen kosteuteen ja kuivikkeen lämpötilaan. (HKScan Broilerin hoito-opas 2020.)

Taulukko 2. Suhteellinen kosteus ja turvekuivikkeen lämpötila verrattuna lintujen ikään ja painoon (HKScan Lämpötila-kosteustaulukko 2020).

Suhteellisen kosteuden tulisi olla ensimmäiset 3 vrk 60 - 70 %. Pehkun lämpötila alussa 30 °C. Alle 50 %:n kosteus 1. viikolla vaikuttaa hengityselimiin. Yli 70 %:n kosteus 18 vrk:n jälkeen kostuttaa pehkun.								
Ikä/kosteus	40	45	50	55	60	65	70	Paino g
1	36,0	34,6	33,2	32,0	30,8	30,0	29,2	57
2	34,9	33,5	32,2	31,0	29,9	29,1	28,3	73
3	33,7	32,5	31,2	30,1	28,9	28,1	27,3	91
4	33,3	32,0	30,7	29,6	28,5	27,7	26,8	111
5	32,9	31,6	30,3	29,2	28,1	27,3	26,4	134
6	32,5	31,2	29,9	28,8	27,7	26,9	26,0	160
7	32,1	30,8	29,4	28,4	27,4	26,6	25,7	189
8	31,7	30,4	29,0	28,0	27,0	26,2	25,3	220
9	31,3	30,0	28,6	27,7	26,7	25,9	25,0	256
10	31,0	29,7	28,3	27,3	26,3	25,5	24,7	294
11	30,6	29,3	28,1	27,1	26,0	25,2	24,3	336
12	30,2	29,0	27,8	26,8	25,7	24,9	24,0	381
13	29,8	28,6	27,4	26,4	25,4	24,6	23,7	429
14	29,4	28,3	27,1	26,1	25,1	24,2	23,3	480
15	29,0	27,9	26,8	25,8	24,8	23,9	23,0	535
16	28,5	27,5	26,4	25,4	24,4	23,6	22,7	593
17	28,1	27,0	25,9	25,0	24,0	23,1	22,3	655
18	27,7	26,6	25,5	24,6	23,6	22,8	21,9	719
19	27,4	26,3	25,2	24,3	23,3	22,5	21,7	786
20	27,2	26,1	25,0	24,0	23,0	22,3	21,5	856
21	26,9	25,8	24,7	23,7	22,7	22,0	21,3	929
22	26,5	25,4	24,3	23,3	22,3	21,7	21,0	1004
23	26,1	25,0	23,9	23,0	22,0	21,3	20,6	1082
24	25,7	24,6	23,5	22,6	21,7	21,0	20,2	1162
25	25,4	24,4	23,3	22,3	21,3	20,6	19,9	1244
26	25,1	24,0	23,0	22,0	21,0	20,3	19,6	1328
27	24,8	23,8	22,7	21,7	20,7	20,0	19,3	1414

Selkeä merkki huonoista elinoloista on vesipöhön muodostuminen. Vesipöhö on tilanne, jossa linnun elimistö ei saa tarpeeksi happea, minkä seurauksena happipitoisuus kudoksissa laskee ja veren virtaus linnun keuhkoissa lisääntyy. Tästä seuraa, että sydämen oikea puoli laajenee ja seinämä heikkenee, jolloin vatsaontelon elimiin virtaa paljon verta ja vatsaonteloon vuotaa kudostenestettä. Vesipöhön seurauksena lintu jää jälkeen kasvussa ja kuolleisuus kohoaa.

Hyvällä ilmastoinnilla on suora vaikutus vesipöhön kehittymiseen. Hapenpuutetta aiheuttaa yleensä riittämätön ilmanvaihto, jolloin ilmassa on liikaa CO₂- ja CO-kaasuja. Muita

syitä ovat liian suuret pöly- ja ammoniakkipitoisuudet kasvatushallin ilmassa sekä hengitystietulehdukset linnuilla. Vesipöhön riskiä kasvattavat myös matalat lämpötilat sekä suuri vuorokautinen lämpötilojen vaihtelu, jota esiintyy enemmän talvella.

Raja-arvoja haitallisille yhdisteille ilmassa

- Hiilidioksidipitoisuus (CO₂) enintään 3000 ppm
- Ammoniakkipitoisuus (NH₃) enintään 20 ppm
- Hiilimonoksidipitoisuus (CO) enintään 100 ppm

(HKScan Broilerin hoito-opas 2020.)

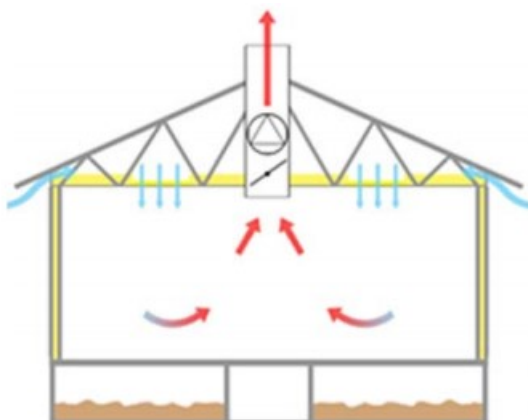
4 SIKALA

Broilerikasvattamoiden tavoin sikaloiden ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien kapasiteeteista on annettu ohjeistusarvot Maa- ja metsätalousministeriön toimesta. Maatilan sikala on lihasikala, joka tarkoittaa, että sinne saapuu noin 25 kilogramman painoisia porsaita, jotka kasvavat tilalla noin 110 kilogramman painoon. Tavoite lihasikaloilla on saavuttaa noin yhden kilogramman päiväkasvu, mikä vaatii hyviä olosuhteita kasvattamolta.

4.1 Ilmanvaihto

Eläinsuojelulakien mukaan maatilaeläinrakennusten sisäilman virtausnopeus ja kosteus sekä pölyn ja haitallisten kaasujen määrä eivät saa nousta liian korkeiksi. Ilmanvaihtojärjestelmissä on myös oltava eri antureita ja hälytysjärjestelmä toimintahäiriöiden varalta. Ilmanvaihto sikaloissa toteutetaan yleensä joko koneellisella tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmällä tai koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jota kutsutaan myös alipainejärjestelmäksi. Alipainejärjestelmän käyttö on yleisempää, koska sen investointikustannukset ovat pienemmät kuin tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmissä.

Tarkasteltavassa sikalassa ilmanvaihto on toteutettu alipainejärjestelmänä, jossa on kuvan 3 tapaan ilmanpoisto koneellisesti, ja korvausilma tulee rakennukseen tuloilmakaton kautta. Tuloilmakatto tunnetaan myös nimellä diffuusiokatto.



Kuva 3. Koneellinen poistoilmanvaihto ja tuloilmakatto (Heimonen I., Heikkinen J., Laamanen J., Alasuutari S., Kaila E. 2014, 25).

Korvausilma lämpenee virratessaan yläpohjarakenteen ja tuloilmakaton läpi, mutta on kuitenkin talvisin paljon sisäilmaa viileämpää. Tästä muodostuu ongelmaksi talvisin kondenssivesi, joka tippuu karsinoihin ja aiheuttaa sotkuisuutta. Kondenssiveden ollessa lähinnä siisteysongelma tärkeää on poistoilmanpuhaltimien toiminta, koska muuten sikalan sisäilmanpaine voi tasaantua ulkoilman tasolle. Alipaineen häviämisestä sikalassa seuraa, että lämmin sisäilma nousee ylöspäin ja virtaa tuloilmakaton rakenteisiin, mistä voi seurata kosteusvaurioita. Poistoilmapuhaltimien toimivuuden lisäksi on tärkeä huomioida rakennuksen alemmissa osissa mahdolliset ilmavuodot, jotka voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa saman tilanteen, vaikka puhaltimet toimisivat normaalisti.

Kosteuden aiheuttamiin ongelmiin on hyvä suhtautua vakavasti, koska suhteellinen kosteus sikaloissa liikkuu korkealla 60–80 % välillä. Ilmankosteuteen sikaloissa vaikuttavat ulkoilman lämpötila ja kosteus, ruokintamenetelmät, lattiaratkaisut, eläinten ikä sekä lämmityksen ja ilmanvaihdon määrä. (Puumala 2004.)

4.2 Lämmitysjärjestelmä

Sikalassa lämmitys tapahtuu kahdella tavalla, jotka ovat lattialämmitys ja patterilämmitys. Lattialämmityksen tehtävänä on eläinten mukavuus, ja pääosin lämmitystehon hoitavat sikalan yläosiin sijoitetut patterilämmittimet. Patterilämmittimien sijoittelun tavoitteena on ehkäistä liian kylmän ilman päätyminen sikojen tasolle. Lämmitystehon tarve sikaloissa on noin 60 W/m^2 , joka kattaa ilmanvaihdon ja rakenteiden läpi johtuvan lämmön.

4.3 Eläinten hyvinvointi

Sikojen hyvinvoinnin kannalta riittävä ilmanvaihto ja lämmitys ovat tärkeässä asemassa, jotta talvellakin voidaan pitää tarpeeksi suurta ilmanvaihtoa, joka poistaa haitallisia kaasuja sisäilmasta. Broilerikasvattamoiden tavoin sikalassa eläimet eivät saa olla jatkuvasti alttiina yli 65 dB:n melulle.

Alla on listattuna melun lisäksi sikojen terveyteen vaikuttavat tekijät ja niiden sallitut maksimipitoisuudet ilmassa:

- Ammoniakki, 10 ppm
- Hiilidioksidi, 3000 ppm
- Hiilimonoksidi, 10 ppm
- Rikkivety, 0,5 ppm
- Orgaaninen pöly, 10 mg/m³

Haitallisten kaasujen pitoisuudet on pidettävä säädettyjen arvojen alapuolella lukuun ottamatta satunnaisia piikkejä, jotka voivat johtua ulkoisista tekijöistä. Ilmanvaihdon haasteena on riittävän ilmanvaihdon pitäminen niin että ilmavirtaus ei ylitä ohjearvoa 0,2 m/s sikojen korkeudella. (Heimonen, Heikkinen, Laamanen, Alasuutari, Kaila 2014.)

Sioilla eri kaasut aiheuttavat erilaisia ongelmia, jotka kaikki ovat lopulta yhteydessä heikentyneeseen tuotantoon. Ammoniakki (NH₃) aiheuttaa sioissa lisääntyntä keuhkosairauksien määrää ja vähentää päivittäistä kasvua, josta käytetään lyhennettä ADG. Ammoniakin määrää sisäilmassa voidaan ilmastoinnin lisäksi vähentää tyhjentämällä lantakourut säännöllisesti. Hiilidioksidin (CO₂) liian korkea pitoisuus aiheuttaa sioilla ruoan kulutuksen (FI) vähentymistä ja siten päivittäinen kasvu laskee. Hiilimonoksidi (CO) aiheuttaa sioissa kasvanutta kuolleisuutta. Kaasuista rikkivety (H₂S) aiheuttaa eniten erilaisia ongelmia sioissa. Niitä ovat ärsytys silmissä, hermostuneisuus, ruokahaluttomuus, hengitysvaikeudet ja tajuttomuus. (Puumala 2004.)

Sisäilman laadun lisäksi tärkeää sikojen kasvattamisessa on, että eläimillä on riittävän suuret elintilat. Sikojen karsinoissa pidetään yleensä noin 12 sikaa, joilla pitää olla karsinassa makuu-, ruokinta- ja ulostusalueet. Lisäksi kaikkien sikojen on mahdollista seiso- maan ja lepäämään luonnollisessa asennossa samanaikaisesti. Lihasikalan karsinoissa sioille vähintään vaadittu esteetön lattiapinta-ala jokaista sikaa kohden on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Liha- ja kasvatussikojen elintila (Evira 2008, 18).

Sian paino (kg)	Lattiapinta-ala (m ² /eläin)
alle 10	0,15
10–20	0,20
20–30	0,30
30–50	0,40
50–85	0,55
85–110	0,65
yli 110	1,00

5 ASUINRAKENNUKSET

Asuinrakennuksia maatilan verkkoon liitettynä on kaksi, omakotitalo ja saunarakennus, joista omakotitalon pinta-ala on 400 m² ja saunarakennuksen 50 m². Lämpöhäviöitä taloissa aiheuttavat ilmanvaihdon lisäksi lämmin käyttövesi sekä rakenteiden läpi poistuva lämpö. Omakotitalo on rakennettu vuonna 2011 ja saunarakennus 2014, joten niiden rakenteiden energiatehokkuus on modernilla tasolla. Uusien rakennusten ansiosta lämpöenergian tarve koostuu pitkälti lämpimästä käyttövedestä ja ilmanvaihdosta. Asuinrakennusten kierto ottaa lämmön 1. broilerihallin lämmönjakohuoneesta olevasta vaihtimesta, jolloin tämä on lisättävä myöhemmin broilerihallien kiertoan. Linja asuinrakennuksille on Uponor-putkea.

Selkein ongelma maatilan lämpöverkossa on tullut esille omakotitalon ja saunarakennuksen lämmöntarpeessa. Lämpöverkon osista asuinrakennukset ovat kaikista kauimpana lämpökattilasta, minkä takia ongelmaksi on havaittu lämpimän veden riittämättömyys. Riittämättömyyden syinä ovat joko verkoston epätasapaino tai liian alhainen pumppausteho, jotka pyritään selvittämään kappaleen 7 laskelmilla.

6 LÄMPÖVERKKO

6.1 Putkisto

Lämpöverkon putkistona on käytetty standardin mukaista rautaputkea, jonka eristämateriaali vaihtelee sen mukaan, meneekö putki ilmassa vai maan alla. Maan alla kulkevien putkien vaatimukset on standardoitu, jotta putkistojen viat olisivat mahdollisimman kattavasti ja tehokkaasti estetty.

Maan alla kulkevien lämpövesijohtojen on kestävä normaalissa käytössä ja olosuhteissa vähintään 30 vuotta, kun putkistossa on jatkuva virtaama 120 °C kaukolämpövettä. Kun tekninen käyttöikä lasketaan 120 °C:lla saavutetaan yleensä noin 50 vuoden käyttöikä 115 °C jatkuvalla käyttölämpötilalla ja vielä pidempi käyttöikä alemmilla virtaaman lämpötiloilla.

Tarkasteltavan maatilán lämpöputket kulkevat rakennusten sisällä lämpökeskuksissa yksiputkirakenteella, joka on yleinen tapa lämpöverkoissa. Lämpökeskuksissa ja lämmönjakohuoneissa käytetään yksiputkirakennetta, koska se helpottaa venttiilien ja mittareiden käyttöä ja sijoittamista putkistoon. Putkistot pitää myös usein saada kulkemaan seinä pitkin, jolloin on helpompaa käsitellä putkiston meno- ja paluupuolia erillään.

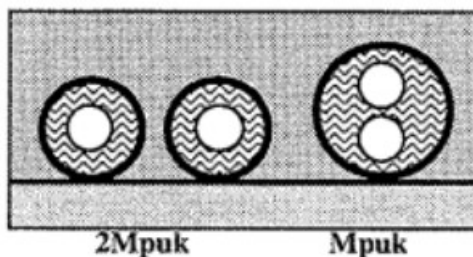
Siirryttäessä ulos maatilán rakennusten lämpökeskuksista yhdistyvät meno- ja paluuputket kaksiputkirakenteiseen kaukolämpöputkeen, joka on kaivettu noin 1 metrin syvyyteen. Tarkasteltavassa verkostossa on käytetty standardin mukaisia Taulukossa 4 näkyviä DN 15–100 putkikokoja. (Energiateollisuus ry 2020.)

Taulukko 4. Kaukolämpöputkien standardikoot (Energiateollisuus ry 2020, 4).

Nimellishalkaisija DN
15
20
25
32
40
50
65
80
100
125
150
200
250
300
400
500
600
700

Maan alla kulkevat kaukolämpöputket ovat joko yksiputkirakenteella tai kaksiputkirakenteella, riippuen käyttökohteesta. Kokemusten mukaan on todettu, että kaksiputkirakenteella on selkeästi vastaavaa yksiputkirakennetta pienemmät lämpöhäviöt, jonka lisäksi varsinkin pienemmillä putkikoilla investointikustannukset ovat kaksiputkirakenteella pienemmät. Kaksiputkirakenteellinen ratkaisu vaatii myös paljon kapeamman kaivannon putkelle, mikä helpottaa verkoston kaivamista maahan. Yksi- ja kaksiputkirakenteisen verkon rakentamisen ja käytön luotettavuuden välillä ei ole havaittu eroja.

Energiateollisuus ry suosittelee käytettäväksi kaksiputkirakennetta putkikoilla DN 15–80, tapauskohtaisesti yksi- tai kaksiputkirakennetta DN 100–250 ja yli DN 300 putkikoilla yksiputkirakennetta (Energiateollisuus ry 2020).



Kuva 4. yksi- ja kaksiputkirakenteiden poikkileikkaus (Energiateollisuus ry 2010).

Pienimmissäkin kaupungeissa kaukolämpöverkon linjoissa on venttiilejä ja paineenkorotuspumppaamoita. Näitä komponentteja ei kuitenkaan ole tarkastellun maatilankokos-
tossa rakennusten välillä. Paineenkorotuspumppaamoita rakennetaan isommissa ver-
kostoissa suurien välimatkojen ja korkeuserojen takia, jolloin painehäviöiden ylittämi-
seen tarvitaan lisää pumppaustehoa. Maatilan verkossa maan alla kulkevaa putkea on
pisimmillään muutama sata metriä, joten erillisiä paineenkorotuspumppaamoita ei tar-
vita.

6.1.1 Yksiputkirakenne

Yksiputkirakenne tarkoittaa kaukolämpöputkia, joissa meno- ja paluuvirtausputket ovat
erillään ja niillä on omat lämpöeristeet ja muovipinnoitteet. Yksiputkirakennetta käytetään
lämmönjakohuoneiden lisäksi Energiategollisuuden suositusten mukaan suurien kaupun-
kien kaukolämpöverkoissa, jossa päälinjojen meno- ja paluuputket ovat todella isoja. Yk-
siputkirakennetta käytetään kaupungeissa, koska tarvittavat lämpövirrat ovat niin suuria,
että kaksiputkirakenteen käyttäminen ei ole enää käytännöllistä.

6.1.2 Kaksiputkirakenne

Kaksiputkirakenteellisessa putkessa meno- ja paluuvirtausputki ovat yhteisen polyure-
taanieristeen ja polyeteenikuoren sisällä. Kaksiputkirakenteen etuja on aiemmin mainit-
tujen materiaalikustannusten ja pienemmän putkistokanavan kaivuun lisäksi se, että kak-
siputkirakennekomponentteja on puolet vähemmän verkkoa rakennettaessa, mikä yksin-
kertaistaa rakennusprosessia. Kaksiputkirakenteinen kaukolämpöputki asetetaan maa-
han aina kuvan 4 osoittamalla tavalla, jolloin kaukolämpöverkon viileämpi paluupuoli toi-
mii puskurina kuumemmalle menopuolelle, koska talvisin kylmä ilma johtuu maanpin-
nasta alaspäin.

6.2 Eristys ja suojaus

Kaukolämpöputkissa käytetään uloimmaisena kerroksena mustaksi värjättyä polyete-
nistä kuorta, joka suojaa pehmeää polyuretaanieristettä. Suojakuoren tehtävänä on suo-
jata eristettä, jotta se ei painu putkistoa ympäröivän maan painosta, jolloin eristysteho
kärsisi.

Kuoren kestävyys on tärkeä osa putkiston käyttöiän pidentämistä sekä häviöiden minimoimista pitkissä linjoissa, minkä vuoksi kuoren valmistusmateriaalien ja fysikaalisten ominaisuuksien on seurattava standardeja, jotka on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Standardien lisäksi suojakuorten pinnassa ei saa esiintyä uurteita tai muita pintavirheitä, jotka voisivat vaikuttaa suojakuoren kestävyteen.

Taulukko 5. Kaukolämpöputkien suojakuorten materiaalivaatimukset (Energiateollisuus ry 2020, 12).

Suojakuoren materiaalivaatimukset		
Ominaisuus	Vaatus	Testausmenetelmä
Luokitus	PE 80	SFS-EN ISO 9080
Nokimusta	2,5 ± 0,5 paino-%	ISO 6964
Nokimustan jakautuminen	¹⁾	ISO 18553
Sulaindeksi (MFR)	0,2 ≤ MFR ≤ 1,0 g/10 min. ²⁾	SFS-EN ISO 1133, cond. 5 kg, 190 °C
Hapetuskestävyys	vähintään 20 min. 210 °C:ssa	SFS-EN ISO 11357-6

- ¹⁾ Nokimustakasaumat ja -hiukkaset ≤ luokka 3 sekä jakautumisaste A1, A2 tai A3
²⁾ Toisiinsa hitsattavien suojaputkien sulaindeksit saavat poiketa toisistaan enintään 0,5 g/10 min., tai muuten valmistajan tulee osoittaa hitsattavuus ISO 11414 mukaisella koehitsauksella

Taulukko 6. Kaukolämpöputkien suojakuorten fysikaaliset/kemialliset ominaisuudet (Energiateollisuus ry 2020, 12).

Suojakuoren fysikaaliset/kemialliset ominaisuudet		
Ominaisuus	Vaatus	Testausmenetelmä
Murtovenymä	≥ 350 %	SFS-EN 253
Pituussuuntainen muodonpysyvyys	≤ 3 %	SFS-EN ISO 2505
Jännityssäröilyn kestävyys	¹⁾	SFS-EN 253
PE-osien hitsien taivutuskestävyys		SFS-EN 448
PE-osien hitsien tiiviys		SFS-EN 448

- ¹⁾ ≥ 300 h (koejännitys 4 MPa ja -lämpötila 80 °C). Tehdään vetokokeena lovetulle koesauvalle.

Eristemateriaalina kaukolämpöputkissa käytetään polyuretaania, jonka lämmönjohtavuus on todella alhainen ja käyttöikä kymmeniä vuosia. Ponneaineena polyuretaanin pursotukseen käytetään yleensä ympäristöystävällistä puhdasta pentaania tai pentaanin vakioisomeerien sekoitusta. Pentaanin lämmönjohtavuuskyky(λ) on 0,012–0,013 W/(m×K), joka on selvästi ilman lämmönjohtavuutta ($\lambda=0,024$ W/(m×K)) alhaisempi. Näin ollen pentaanin käyttö ponneaineena laskee polyuretaanin lämmönjohtavuuskykyä.

Kaukolämpöputken suojakuori estää kosteuden imeytymistä maasta eristeeseen. Kosteus edistää korroosiota sekä heikentää polyuretaanin eristyskykyä. Veden lämmönjohtavuuskyky on 25 °C lämpötilassa 0,58 W/(m×K), joka on uretaanilta standardissa SFS-EN 253 vaadittua $\leq 0,029$ W/(m×K) arvoa paljon korkeampi. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että polyuretaani, jonka ponneaineena on käytetty pentaania, ei ime juuriakaan kosteutta itseensä ja polyuretaanin lämmönjohtavuus kasvoi enintään noin 0,0018 W/(m×K). (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations 2006.)

Taulukko 7. Polyuretaanin eristeominaisuudet (Energiateollisuus 2020, 13).

Eristeominaisuudet		
Ominaisuus	Vaatus	Testausmenetelmä
Keskimääräinen solukoko säteen suunn.	max. 0,5 mm	SFS-EN 253
Sulkeumat ja kuplat	≤ 5 % poikkileikkausalasta, yksittäinen alle 2/3 nimelliseristyspaksuudesta	SFS-EN 253
Suljetut solut	osuus ≥ 88 %	SFS-ISO 4590, men. 1
Minimitiheys	≥ 55 kg/m ³	SFS-ISO 845
Puristuslujuus	$\geq 0,3$ MPa	SFS-ISO 844
Vedenimeytyminen	≤ 10 %	SFS-EN 253

Polyuretaani on modernien kaukolämpölinjojen yleisin eristemateriaali, mutta myös asbestia on käytetty vanhemmissa putkistoissa. Nykyään asbestin käyttö on kiellettyä sen terveyshaittojen takia. Asbestin terveyshaitat johtuvat sen pienistä kuiduista, jotka pölysevät ja varastoituvat keuhkoihin hengitettynä. Vanhoja johtorakenteita purettaessa on kiinnitettävä huomiota ympäristönsuojeluun ja erityisesti työsuojeluun, koska asbestin on todettu aiheuttavan syöpää.

Mineraalivilla on asbestin tavoin pölisevää, mutta se ei aiheuta asbestin tavalla terveydelle haittaa, muuta kuin ihoärsytystä. Mineraalivillaa käytetään eristeenä ilmassa kulkevilla putkissa esimerkiksi lämmönjakohuoneissa, koska sitä on helppo muovilla mutkittelevan putkiston ja eri komponenttien päälle. Mineraalivillaeristeet on lämmönjakohuoneissa päällystetty alumiinipellillä tai galvanoidulla pellillä, jotka kiristetään eristeen päälle pop-niiteillä. Mineraalivillaeristeen käyttö helpottaa komponenttien päivittämistä lämmönjakohuoneessa, koska usein esimerkiksi virtausmittarit vaativat päivittämistä monta kertaa verrattuna putkiston käyttöikänsä. (Energiateollisuus ry 2010, 11,13.)

6.3 Uponor-putki

Uponorin valmistamaa lämpöputkea on tilalla 1. kanalta talolle ja saunalle sekä vanhalta kattilalta sikalaan. Etuna Uponor-putkissa on niiden taipuisuus, jolloin putkistoon ei tarvitse tehdä mutkia, joista syntyy virtaukseen kertavastuksia. Joustavuuden lisäksi Uponor-putkien etu on muovinen sisäpinta, jossa ei tapahdu eroosiota, mikä mahdollistaa rajoittamattomat virtausnopeudet. Lisäksi Uponor-putket on mahdollista liittää järjestelmään ilman liitoksia korkeintaan 200 metrin matkalle, mikä lisää putkien käyttövarmuutta. (Uponor 2019, 7,18.)

Uponorin putkissa on eri vaihtoehtoja kuvan 5 mukaan, minkä lisäksi Thermo-malleista on kaksijohtoiset mallit. Maatilalla putkina on käytetty Uponor Ecoflex Thermo -putkia, jotka ovat optimaaliset pienemmissä verkoissa.



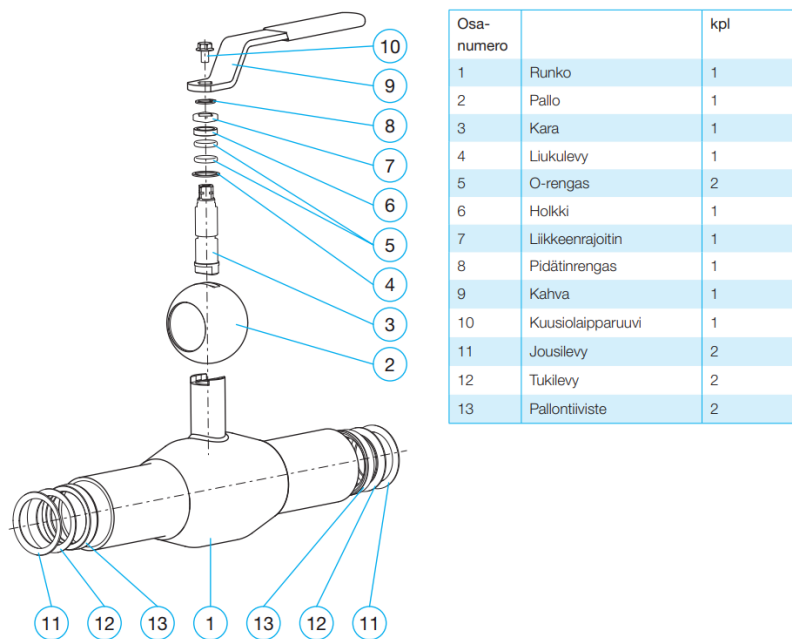
Kuva 5. Uponor-putkien tyypit (Uponor 2019, 3).

6.4 Venttiilit

Putkiston venttiilit on Vexven toimittamia hitsattavia täysiaukkoisia palloventtiileitä. Täysiaukko tarkoittaa, että venttiin kääntyvässä pallossa oleva reikä on yhtä suuri kuin putkisto ennen ja jälkeen venttiin.

Venttiileitä verkostoissa on putki- ja komponenttirikkojen varalta, koska tällöin pystytään rajaamaan veden katkeamisen laajuutta huoltotöiden ajaksi. Maatilalla venttiilejä on kuitenkin vain lämmönjakohuoneissa, jotta komponentteja pystytään vaihtamaan tai ongelmatilanteissa eri rakennusten kierto voidaan erottaa verkosta. Kierron katkaisu on tärkeää, koska muuten varakattiloiden lämmittämä rakennuskohtainen vesi lähtisi kiertämään rakennusten ulkopuolelle putkistoon, joka hukkaa lämpöä.

Maatilan verkostossa maan alla kulkeviin linjoihin ei ole aiheellista asentaa venttiileitä, koska esimerkiksi putkirikko ei kosketa muita kuin tilan rakennuksia, ja eläinhalleille on varalämmönlähteet. Jokainen linjaan asennettu venttiili vaatii kuitenkin hitsausta ja jokainen hitsisauma kasvattaa riskiä putkiston vuodolle.



Kuva 6. Vexven teräspalloventtiilin rakenne (<DN 200).

7 LASKELMAT

Maatilan kaukolämpöverkossa on ollut ongelmia verkoston loppupäässä, jossa sijaitsevat omakotitalo sekä saunarakennus. Ongelmia on ollut lämmön riittävyys, johon luultavasti on syynä liian alhainen kaukolämpöveden tilavuusvirta tai epätasapainoinen kierto. Epätasapainoinen kierto tarkoittaa, että putkiston eri reittien painehäviöt eivät ole keskenään yhtä suuria. Tässä tapauksessa verkosto tasapainottaa itsensä, jolloin jokaiseen kulutuspiisteeseen virtaa nestettä tasan niin paljon, että painehäviöt tulevat yhtä suuriksi kautta verkon.

Epätasapainoisessa verkossa virtaama ei ole halutunlainen, mikä ilmenee lämmönpuutteena verkon eri osissa. Tilanteen korjaamiseksi verkoston tasapainotus hoidetaan kertsäätöventtiileillä tai kuristamalla jotakin verkoston osaa. Verkon tasapainottamiseksi lasketaan lämpöverkon eri kohteiden lämmöntarpeet, joista saadaan määriteltyä vaadittu virtaama putkistossa. Vaaditun virtaaman avulla saadaan laskettua teoreettiset virtausvastukset putkiston eri osissa, joilla pystytään vertailemaan, miten vesi käyttäytyisi putkistossa.

Myös päälämpökattilan puolisen putkiston, joka vie lämpöenergian eri lämmönvaihtimille, voisi laskea. Kierron rakenteessa merkitystä on lähinnä sillä, miten vesi virtaa broilerikasvattamoiden ja sikalan kierron lämmönvaihtimille. Putkisto vaihtimille on kuitenkin lähes identtinen ja vaihtimille lähtevässä haarassa on säädettävä kolmitieventtiili. Näistä syistä kiertoa ei ole aiheellista laskea vaan laskuissa keskitytään lämpöä kuluttavien kohteiden kiertoon.

Ongelmana on laskujen teoreettisuus, koska varsinaista putkistossa olevaa virtausta ei pystytty mittaamaan, ja lämmönvaihtimien meno- ja paluuvien lämpötilat on arvioitu lämpökattilan lämpöantureiden ja lämmönvaihtimien valmistajan antamien tietojen perusteella. Laskuissa käytettyjen arvioitujen ja ohjeisarvojen tuoma virhemarginaali on myös otettava huomioon, jos laskujen tuloksista tehtyjä johtopäätöksiä lähdetään toteuttamaan käytännössä.

7.1 Lämmöntarve

Lämmöntarpeiden laskeminen eri rakennuksista on tärkeä osa toimivan lämpöverkon mitoittamista, koska lämmöntarpeella saadaan mitoitettua kaukolämpöverkon putkiston koko ja eri komponentit. Lämmöntarve koostuu yleensä rakennuksissa ilmanvaihdosta, rakenteiden läpi poistuvasta lämpöhäviöstä sekä lämpimästä käyttövedestä. Kotieläinrakennuksissa on omat vaihtimet käyttövedelle, koska hallit pitää pestä kuumalla painevedellä eläinten saapumiserien välissä. Käyttövettä ei kuitenkaan tarvita kuin tyhjien hallien kanssa, jolloin ilmanvaihdon häviöt ovat olemattomat. Tämän vuoksi käyttöveden lämmöntarvetta ei ole aiheellista huomioida maksimilämmöntarvetta laskiessa.

Rakennusten lämmöntarpeiden lisäksi on jokaiseen verkoston osaan lisättävä putkistojen lämpöhäviöt. Lämpökanavien tehohäviöt ovat varsin pienet. Nykyaikaisten hyvin eristettyjen kanavien kohdalla lämpöhäviöt ovat noin 20 W/metri. (Thermia 2005, 3). Verkossa on myös kaksi linjaa toteutettu Uponor-putkilla, joiden lämpöhäviö on noin 15 W/metri (Uponor 2019, 20).

Alla olevalla kaavalla saadaan lämmöntarpeesta johdettua vaadittu tilavuusvirta, kun tiedetään lämmöntarpeen lisäksi virtaavan aineen ominaisuudet ja lämpötilan muutos.

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

- Q = lämpövirta, W
- V = tilavuusvirta, m³/s
- ρ = virtaavan aineen tiheys, kg/m³
- C_p = ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa, kJ/(kg×K)
- ΔT = virtaavan aineen lämpötilan muutos

7.1.1 Broilerikasvattamot

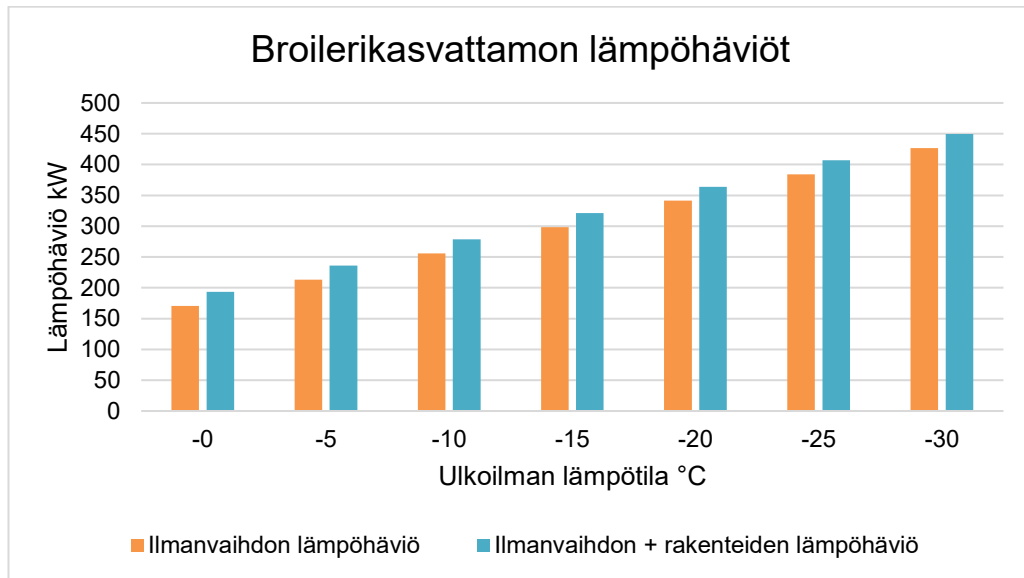
Broilerikasvattamoja tilalla on kolme kappaletta, joista yksi on vanhempi 738 m² halli ja kaksi muuta on myöhemmin rakennettuja 780 m² halleja. Broilerikasvattamoiden mitoittamisessa haluttu ilman lämpötila on 20 °C, joka mahdollistaa linnuille säädösten mukaiset elinolot. Jokaisessa kolmesta hallista on 13000 lintua, joten ilmanvaihdon häviöt ovat yhtä suuret jokaisessa kolmessa hallissa. Maa- ja metsätalousministeriön antamien

arvojen perusteella kasvatettavat broilerit luovuttavat 10 W/eläin lämpöenergiaa, joka vähentää vaadittua lämpövirtaa lämpöverkolta. Broilerien lämpöenergian luovutus on määritelty kasvun vaiheeseen, jossa vaadittu ilmanvaihto on suurimmillaan. (Maa- ja metsätalousministeriö, 3.)

Häviöitä hieman muuttava tekijä hallien välillä on niiden ero pinta-alassa. Broilerihallin ilmanvaihdon hienosäätö raportissa on käytetty lähteenä 50 eri broileritilan kasvatushalla ja saatu näiden pohjalta rakennusten lämpöhäviön keskiarvoksi 200000 kWh vuodessa. Tästä arvosta saadaan johdettua rakenteiden tilastolliseksi lämpöhäviöksi noin 22,83 kW per kasvatushalli. Rakenteiden lämpöhäviöön vaikuttaa rakennusten ulkomitat, käytetyt materiaalit ja rakennusvuosi, minkä takia arvo on vain suuntaa antava ja oletetaan virhemarginaaliksi noin 10 %. Rakenteiden lämpöhäviöt ovat kuitenkin ilmanvaihdon häviöihin verrattuna 5 % luokkaa, joten ei ole aiheellista laskea kaikkien rakennusten tarkkoja lämpöhäviöitä vaan käytetään tilastoarvoa. (Kivinen, Heikkinen, Heinonen, Laamanen 2013.)

Ilmanvaihdon kokonaispoistoteho hallissa 1 on hallipassin mukaan 115425 m³/h ja halli-issa 2 ja 3 poistoteho on 129485 m³/h. Näitä tehoja ei kuitenkaan tarvita kuin kesähe-
teillä. Ilmastoinnin lämpöhäviö on kannattava laskea eläinten vaatiman minimi-ilman-
vaihdon mukaan, joka broilerien tapauksessa on taulukon 1 mukaan kasvun loppuvai-
heessa 3 kilon elopainolla 1,969 m³/h/lintu. Lintuja kasvatushalleissa on jokaisessa
13 000, joka tarkoittaa kuormittavimmassa tilanteessa ilmanvaihdon määräksi vähintään
25597 m³/h.

Taulukko 8. Broilerikasvattamon lämpöhäviöt.



Yksittäisen hallin lämpöhäviöiden (taulukko 8) lisäksi esimerkkilaskussa käytetään ulkolämpötilana -26 °C , joka on Maa- ja metsätalousministeriön suosittelema mitoituslämpötila Satakunnassa. Broilerikasvattamon ilmastoinnin ulos puhaltaman ilman lämpöhäviö, kun ulkolämpötila on -26 °C :

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

$$Q = 7,11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \times \text{K})} \times (20 - (-26))$$

$$Q = 392,472 \text{ kW}$$

Broilareiden luovuttama lämpöenergia:

$$\frac{13000 \times 10 \text{ W}}{1000} = 130 \text{ kW}$$

Ilmastoinnin ja rakennuksen vuotohäviöiden sekä eläimien luovuttaman lämmön summa on saatujen arvojen perusteella:

$$392,472kW + 22,83kW + (-130kW) = 285,302kW$$

Kaikkien kolmen broilerikasvatushallin lämpöhäviöt ovat kolminkertaiset yhden lasketun arvon pohjalta eli:

$$3 \times 285,302kW = 855,906kW$$

Broilerikasvattamoiden kierrossa on kolmen hallin lisäksi erillisen lämmönvaihtimen takana tilan omakotitalo ja saunarakennus. Lämmöntarve on kyseisessä verkoston osassa siis kasvattamoiden, talon, saunarakennuksen ja putkiston lämpöhäviöiden summa. Talon ja saunarakennuksen kierto käsitellään myöhemmin.

Putkiston lämpöhäviöitä laskettaessa huomioidaan ainoastaan menopuolen putket, koska niiden häviöt vaikuttavat rakennuksiin saatavaan lämpövirtaan. Putkisto koostuu broilerikasvattamolle 1 asti kaksirakenneputkesta, jonka lämpöhäviöt ovat noin 20 W/m.

Menopuolen putkia tarkasteltavassa kierrossa on 158 metriä normaalia kaukolämpöputkea, jonka mitoista ja ohjeistetuista häviöistä saadaan putkiston lämpöhäviöksi:

$$158m \times 20 \frac{W}{m} = 3160W = 3,16kW$$

Broilerikasvattamoiden tarve yhteensä:

$$855,906kW + 3,16kW = 859,066kW$$

7.1.2 Sikala

Tarkasteltavalla tilalla on yksi 1700 m² sikala, jonka suurin lämmöntarve on broilerikasvattamoiden tapaan kasvun loppuvaiheessa, joka sikojen tapauksessa tarkoittaa 22 m³/h ilmanvaihtoa. Sikoja tilan sikalassa on 1200, josta saadaan ilmanvaihdon minimivaatimukseksi 26400 m³/h. Ohjeellinen optimi lämpötila lihasikalassa on välillä 15...22 °C, jolta väliltä maatalon isäntä suositteli tarkasteltavaksi lämpötilaksi 18 °C. Maa- ja metsätalousministeriön ohjeistuksen mukaan Satakunnassa, jossa Kokemäki sijaitsee

käytetään sikaloiden ulkoilman mitoituslämpötilana -24 °C . (Maa- ja metsätalousministeriö, 4.) Mitoituslämpötilana käytetään kuitenkin -26 °C , koska se on broilerikasvattamoiden mitoituslämpötila eikä ole realistista laskea hetkellistä kulutusta eri mitoituslämpötiloilla.

Rakenteiden läpi poistuvan lämmön arvona käytetään noin 50 W/m^2 , joka on saatu HKScanilla rakentamisen suunnittelijana toimineelta henkilöltä. Rakenteiden lämpöhäviöksi tällä arvolla saadaan tarkasteltavassa sikalassa 85 kW .

Lämpöenergiaa vähentävänä tekijänä toimii maa- ja metsätalousministeriön antamat arvot kierroskasvatus lihasikojen luovuttamasta lämpöenergiasta kasvun loppuvaiheessa, jolloin ilmastoinnin lämpöhäviö on suurimmillaan. Tällöin lihasikojen luovuttama lämpöenergia on 200 W/eläin (Maa- ja metsätalousministeriö, 3).

Lämpökeskuksessa tehtyjen mittausten pohjalta saatiin sikalan kierron menoveden lämpötilaksi 78 °C , josta saadaan veden tiheydeksi 973 kg/m^3 ja ominaislämpökapasiteetiksi $4,2\text{ kJ/kgK}$. Lämpötilan muutos lämmönvaihtimella oli 12 astetta.

Ilmanvaihdon lämpöhäviö:

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

$$Q = 7,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \times \text{K})} \times (18 - (-26))$$

$$Q = 387,024\text{ kW}$$

Rakennuksen vuotojen lämpöhäviö:

$$Q = 1700\text{m}^2 \times 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 85000\text{W} = 85\text{ kW}$$

Putkiston lämpöhäviöt:

Sikalalle lähtevä kierto on DN 50 putkea ja liittyy vanhalta Arimax BIO 300 SP -biokattilalta lähtevään kiertoon. Kattilaan menevä putkisto on normaalia kaksiputkirakenteista kaukolämpöputkea, jota putkistossa on menopuolella noin 33 metriä. Tämän lisäksi BIO 300 -kattilalta sikalalle menee Uponor-putkea, jota on noin 40 metriä.

$$33m \times 20 \frac{W}{m} + 40m \times 15 \frac{W}{m} = 1260W = 1,26kW$$

Sikojen luovuttama lämpöenergia:

$$\frac{1200 \times 200W}{1000} = 240kW$$

Lämmöntarve yhteensä:

$$387,024kW + 85kW + 1,26kW + (-240kW) = 233,284kW$$

7.1.3 Omakotitalo

Asuinrakennusten lämmöntarve on verkostossa oleviin maatilarakennuksiin verrattuna hyvin pieni, joten asuinrakennusten tarkkojen lämpöhäviöiden laskeminen ei ole oleellista. Rakenteiden lämpöhäviöiden pohjana käytetään 20 W/m^3 (Thermia 2005, 3). Omakotitalon mittoina on 400 m^2 pinta-ala ja talon alakerran huonekorkeus on 2,9 metriä ja yläkerran 2,8 metriä, jolloin voidaan käyttää huonekorkeutena 2,85 metriä. Talon mittojen mukaan häviöksi saadaan:

$$Q = A \times h \times 20 \frac{W}{m^3}$$

$$Q = 400m^2 \times 2,85m \times 20 \frac{W}{m^3}$$

$$Q = 22,8kW$$

Asuinrakennusten sisäilman lämpötilan asetusarvo on rakentamismääräyksen mukaan $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkolämpötilan mitoitus I säävyöhykkeellä $-26 \text{ }^\circ\text{C}$ (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 18 ja 29). Ilmanvaihto rakennuksissa mitoitetaan $\frac{1}{2}$ vaihtoa tunnissa, eli teoriassa rakennuksen koko ilmamäärä vaihtuisi kahdessa tunnissa. Omakotitalon tapauksessa ilmanvaihdoksi saadaan:

$$V = \frac{400m^2 \times 2,6m}{2} = 520 \frac{m^3}{h}$$

$$V = \frac{520 \frac{m^3}{h}}{3600} = 0,144 \frac{m^3}{s}$$

Ilmanvaihdon tilavuusvirran avulla saadaan laskettua ilmanvaihdon lämpövirta:

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

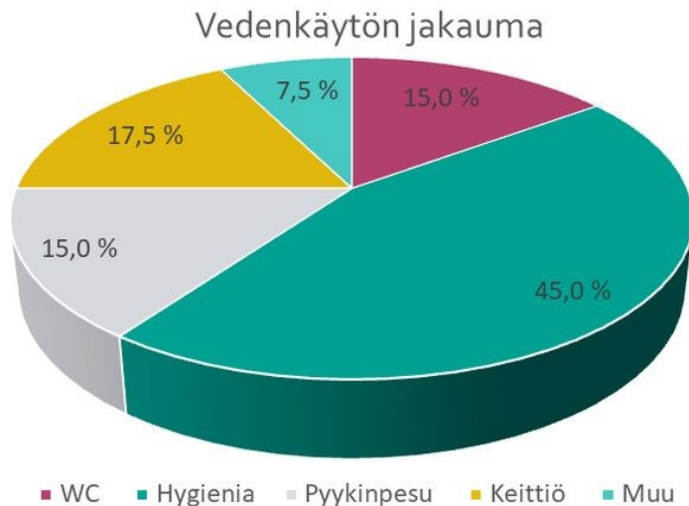
$$Q = 0,144 \frac{m^3}{s} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1 \frac{kJ}{(kg \times K)} \times (21 - (-26))$$

$$Q = 8,144 kW$$

Lämpimän käyttöveden lämmöntarve:

Lämpimän käyttöveden tarkkaa energiantarvetta on haastava laskea, koska se voi vaihdella paljon esimerkiksi asukkaiden suihkutottumuksien perusteella. Luonnollisesti 15 minuutin suihku kuluttaa kolme kertaa enemmän energiaa, kuin 5 minuutin suihku. Liitettynä Motivan vuonna 2020 tekemään vedenkäytöntutkimukseen, jossa peseytyminen vastaa 45 % kotitalouksien veden kulutuksesta, saadaan että 10 lisäminuuttia joka kerta suihkussa kaksinkertaistaa käyttöveden vuotuisen energiantarpeen. (Motiva ja Työtehoseura 2020.)

Lämpimän käyttöveden kulutus jakautuu kuvan 7 osoittamalla tavalla, joka on Motivan ja työtehoseuran vuosina 2019–2020 tekemän Kestävän veden käyttö -projektista.



Kuva 7. Vedenkäyttötutkimuksen mukainen vedenkäytön jakauma (Kestävä vedenkäyttö – vedenkäyttöselvitys, Työtehoseura).

Käyttöveden kulutusta voidaan määrittää Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan rakennusten pinta-alaan suhteutettuna. Pinta-alaan suhteutettuna kulutus kuitenkin vääristyy, koska kulutus perustuu enemmänkin asukasmäärään. Tällöin tarkasteltavan 400 m² talon kulutus on paljon suurempi kuin erikseen laskettaessa viiden ihmisen kulutus. Keskimääräinen vedenkulutus oli tutkimuksen mukaan noin 120 l/henkilö/vrk, josta 35 % on lämmintä vettä.

Lämpimän ja kylmän veden mitoitustiloina käytetään 55 °C ja 5 °C (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 21). Tällöin kulutukseksi saadaan:

$$Q = 0,35 \times 1,389 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} \times 999,93 \frac{kg}{m^3} \times 4,21 \frac{kJ}{(kg \times K)} \times (55 - 5) = 0,102kW$$

$$5 \times 0,102kW = 0,512kW$$

Lasketuista arvoista lämmöntarpeeksi omakotitalolle saadaan:

$$Q = 22,8kW + 8,144kW + 0,512kW = 31,456kW$$

7.1.4 Saunarakennus

Saunarakennus on omakotitalon kanssa samassa kierrossa, joten sen lämpöhäviöt tarkastellaan talon kanssa yhdessä. Pohjana häviöihin käytetään samoja ilmanvaihdon ja rakenteista poistuvan lämmön arvoja, kuin omakotitalossa. Saunarakennuksen mitat ovat 50 m^2 ja huonekorkeudeksi parven takia arvioidaan 3 metriä. Saunarakennuksen käyttöveden kulutusta ei huomioida, koska se on hyvin epäsäännöllistä.

Mitoista saadaan omakotitalon tavoin rakenteiden häviöiksi:

$$Q = 50 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} \times 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$$

$$Q = 3 \text{ kW}$$

Ilmanvaihdon häviöt:

$$V = \frac{50 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}}{2} = 75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = \frac{75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600} = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \times \text{K})} \times (21 - (-26))$$

$$Q = 1,13 \text{ kW}$$

Lasketuista arvoista lämmöntarpeeksi saunarakennukselle saadaan:

$$Q = 3 \text{ kW} + 1,13 \text{ kW} = 4,13 \text{ kW}$$

Putkiston lämpöhäviöt rakennuksille käsittää broilerikasvattamo 1 lämmönjakohuoneessa sijaitsevasta vaihtimesta lähtevän kierron, joka on Uponor-putkea, jonka lämpöhäviö tarkasteltavassa kierrossa on noin 15 W/m . Uponor-putkea kierrossa on menopuolella noin 125 metriä, josta saadaan laskettua lämpöhäviöksi:

$$125m \times 15 \frac{W}{m} = 1875W = 1,875kW$$

Linjan lämpöhäviöt yhteensä:

$$Q = 31,456kW + 4,13kW + 1,875kW = 37,461kW$$

7.1.5 Kuivuri

Maatilan verkossa on myös kuivuri, jota käytetään syksyisin viljasadon kuivattamiseen. Kuivurin lämmöntarve on suuri maatilan rakennustenkin standardeilla, mutta kuivurin vesi-ilma lämmönvaihdin on käytössä vain pari viikkoa vuodessa syksyisin, jolloin muiden rakennusten lämmöntarve ei ole vielä kovin suuri. Kuivurin lämmönvaihtimen läpikulkeva ilmavirta on maksimissaan 12,44 m³/s ja kaukolämpöverkkoon muodostuva painehäviö vaihtimesta on 12 kPa.

Lämpöhäviöitä kuivurissa aiheuttaa pitkälti ulospuhallettava kostea ilma ja kuivurin kuoren läpi johtuvat lämpöhäviöt. Kuivurin lämmöntarve voidaan kuitenkin mitoittaa suoraan lämmönvaihtimen maksimitehon mukaan, koska viljan nopea kuivatus on muulle maatilan toiminnalle kannattavaa.

Lämmöntarpeen laskeminen kuivurille suoritetaan lämmönvaihtimen teknisten tietojen pohjalta, koska putkistojen lämpötilamittaukset tehtiin talvella, jolloin kuivurille ei ollut lämpimän veden kiertoa.

Teknisistä tiedoista saadaan vaihtimen tehoksi 953,9 kW, kaukolämpöveden menolämpötilaksi 90 °C ja paluulämpötilaksi 57 °C. Vaihtimen tietojen lisäksi kuivurille menevä putkisto on rautaputkea, jonka halkaisija on DN 100 ja lämpöhäviö 20 W/m.

Lämmöntarve verkossa:

$$953,9kW + 165m \times 20 \frac{W}{m} = 957,2kW$$

7.1.6 Skenaariot

Suurimmalle lämmöntarpeelle on kaksi vaihtoehtoista tilannetta, jotka ovat eri aikaan vuodesta. Ensimmäinen skenaario on talvella pahimmilla pakkasilla, jolloin sikala ja broilerikasvattamoiden lämmitys vaatii suuren määrän lämpöenergiaa. Lämmöntarve -26 °C mitoitustilalla koostuu broilerikasvattamoiden, sikalan ja asuinrakennusten yhteiskulutuksesta:

$$859,066\text{kW} + 233,284\text{kW} + 37,461\text{kW} = 1129,811\text{kW}$$

Toinen vaihtoehto on syksyllä, kun viljakuivuri käy täydellä teholla, mikä vie myös paljon energiaa. Tehoa voidaan kuitenkin säädellä niin, että muille rakennuksille saadaan tarpeeksi lämpöä kuivurin toimiessa. Kuivurin lämmöntarve täysteholla on $957,2\text{ kW}$. Tämä tarkoittaa, että suurin kulutus on talven pakkasilla, kun kuivuri ei ole ollenkaan toiminnassa.

7.2 Painehäviö

Pohjana painehäviöiden laskemiselle on Bernoullin yhtälöön perustuva kaava, joka esittää kokonaispaineen laskun virtaussuuntaan edettäessä.

$$\Delta p = \Delta p_s + \Delta p_d + \Delta p_h$$

- Δp = putkijohdon painehäviö, Pa
- Δp_s = staattisen paineen muutos, Pa
- Δp_d = dynaamisen paineen muutos, Pa
- Δp_h = hydrostaattisen paineen muutos, Pa

Putkivirtauksen virtausvastukseksi eli dynaamiseksi painehäviöksi kutsutaan staattisen (Δp_s) ja dynaamisen (Δp_d) paineiden muutosten summaa. Staattista painehäviötä eli korkeuserosta johtuvaa painehäviötä ei tarkasteltavassa putkistossa ole, koska korkeuserot ovat pieniä ja suljetun kiertopiirin korkeudenmuutokset kumoavat toisensa. Tästä syystä ainoastaan dynaamisen paineen muutokset aiheuttavat putkessa häviöitä kertavastusten lisäksi.

$$\Delta p = \Delta p_d + \Delta p_s \rightarrow \Delta p = \Delta p_d$$

Dynaamista painetta käytetään avuksi kitkavastuksia laskettaessa. Periaatteessa kitkavastuskerroin (λ) riippuu samalla putkisto-osuudella Reynoldsin luvusta Re , mutta käytännön putkistoissa λ muuttuu vain hyvin vähän tilavuusvirran muuttuessa. Tästä syystä oletetaan kitkavastuskerroin vakioksi, joka yksinkertaistaa kitkan aiheuttamien painehäviöiden laskemista. (Laiho 1991, 50.) Reynoldsin luku ilmaisee, onko putkistossa oleva virtaus turbulenttinen vai laminaarinen, jotka lasketaan eri tavalla. Raja-arvo laminaariselle virtaukselle on yleensä noin $Re < 2000$, jonka jälkeen virtaus on laminaarisen ja turbulenttisen sekoitusta. Virtauksen voidaan sanoa olevan täysin turbulenttinen, kun $Re > 4000$.

Pääkaava kitkan painehäviölle on:

$$\Delta p_{\lambda} = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times p_d = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

- Δp_{λ} = suoran putkijohdon kitkavastusten aiheuttama painehäviö, Pa
- λ = johdon kitkavastuskerroin
- l = johdon pituus, m
- d = johdon sisähalkaisija, m
- p_d = dynaaminen paine johdossa, Pa
- ρ = virtaavan aineen tiheys, kg/m^3
- v = virtaavan aineen keskimääräinen virtausnopeus, m/s

Virtauksen ollessa laminaarinen johdon kitkavastuskertoimen laskemiseen käytetään kaavaa:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

$$Re = \frac{v \times d}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- ν = kinemaattinen viskositeetti
- η = dynaaminen viskositeetti
- Re = Reynoldsin luku

Virtauksen ollessa turbulenttinen kitkavastuskertoimen selvittämiseen käytetään alla olevaa kaavaa. Ongelmana turbulenttisissa virtauksissa on se, ettei millään kaavalla saada selvitettyä suoraan kitkavastuserrointa, vaan se selvitetään kokeilun ja erehdyksen kautta:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{\lambda}} + \frac{\frac{k}{d}}{3,71} \right)$$

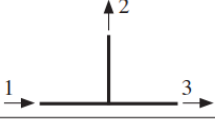
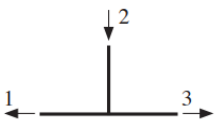
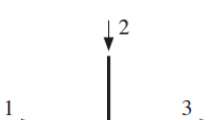
Nykyteknologian tuomien erilaisten laskureiden avulla kitkavastuserroin saadaan suoraan, kun tiedetään tarkasteltavan putken halkaisija ja pinnankarheus sekä virtauksen Re . Pinnankarheutena käytetään lämpöputkissa Esa-Matti Laihon artikkelin mukaan arvoa 0,3. Kitkavastuksen lisäksi putkistoissa häviöitä aiheuttavat kertavastukset, jotka ovat putkistossa olevien komponenttien ja putkiston rakenteen luomia virtaukselle kerta-luonteisia vastuksia. (Laiho 1991.) Kertavastukset verkostossa on nähtävissä liitteenä olevasta PI-kaaviosta ja ne lasketaan alla olevan kaavan mukaan:

$$\Delta p_{\zeta} = \Sigma p_{\zeta} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

- Δp_{ζ} = putkisto-osuuden kertavastusten aiheuttama painehäviö
- Σp_{ζ} = putkisto-osalla olevien kertavastuskertoimien summa

Kertavastuksia luovat putkistossa olevat mutkat ja haarat kuvan 8 mukaan.

Putkiyhteiden kertavastuskertoimia.

Putkiyhde	r/d tai virtaussuunta	Kertavastuskerroin	Huomautus
Käyrä	$r/d \leq 3$ $r/d > 3$	0,5 0,0	r on kaarevuussäde d on sisähalkaisija
Kulma	-	1,0	Kertavastuskerroin liittyy haarakohdan jälkeiseen virtausnopeuteen
Haara 	Suunta 1-2 1-3	2,0 0,0	
	Suunta 2-1 2-3	3,0 3,0	
	Suunta 2-3 1-3	1,0 0,0	

Kuva 8. Putkiyhteiden kertavastuksia (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007).

Erilaisia tarkasteltavasta verkostosta löytyviä kertavastuskertoimia (Laiho 1991, 51 ja 53):

- Supistus pienemmäksi putkeksi = 0,5
- Supistus suuremmaksi putkeksi = 1,0
- Lämpökattila = 2,5
- Lämminvesivaraaja = 1,5

7.2.1 Broilerikasvattamot

Broilerikasvattamoiden ja asuinrakennusten kierrosta ei valitettavasti ollut saatavilla mitaustietoja täyden kuorman tilanteesta, koska kuluneen vuoden aikana ei ole ollut riittäviä pakkasia. Mittaustulosten puutteen takia kierron toimintaa on tarkasteltava teoreettisesta kulmasta. Kierrossa olevan lämmönvaihtimen toimittajalta UNEX:lta saadun sovelluksen avulla saatiin tarkasteltua kiertoon lähtevän lämpömäärän ja lämpötilamuutoksen (ΔT) suhdetta. Sovelluksesta saatiin ΔT -arvoksi 42,25, kun lämpökuorma on broilerikasvattamoiden ja asuinrakennusten vaatima 896,527 kW.

Lämmöntarpeiden pohjalta vaadituksi virtaamaksi saadaan:

$$V = \frac{896,527 \text{ kW}}{965,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times 42,25} = 5,2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = \frac{5,2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{5,03 \times 10^{-3} \text{m}^2} = 1,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Veden dynaaminen viskositeetti 90°C lämpötilassa: $3,15 \times 10^{-4}$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{3,15 \times 10^{-4}}{965,3} = 3,263 \times 10^{-7}$$

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} = \frac{1,04 \times 0,08}{3,263 \times 10^{-7}} = 254980$$

$$\lambda = 0,21$$

Kyseinen 1,04 m/s virtausnopeus on kuitenkin vain putkiston alkuosuudella ennen kuin virtaus jakautuu kasvattamoille 2 ja 3 sekä 1 ja asuinrakennuksille. Virtauksia jakautumisen jälkeen ei tiedetä, mutta ne saadaan laskettua verrannolla, kun tiedetään että virtaus jakautuu niin, että virtausvastukset ovat yhtä suuret molemmissa haaroissa. Virtausvastukset saadaan kertavastuksien, kitkavastuksien sekä eri komponenttien vastuksien summasta.

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,04 = v_1 + v_2 \\ \left(16 \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times v_1^2 \right) + \left(0,21 \times \frac{24}{0,08} \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times v_1^2 \right) + 300 = \left(21,5 \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times v_2^2 \right) \\ \quad + \left(0,21 \times \frac{124}{0,08} \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times v_2^2 \right) + 26400 \end{array} \right.$$

Verrannosta saadaan vastaukseksi:

Broilerikasvattamoille 2 ja 3 menevä virtaama $v_1 = 0,888$ m/s.

Broilerikasvattamolle 1 ja asuinrakennuksille menevä virtaama $v_2 = 0,153$ m/s.

Saatujen virtaamien paikkansapitävyys voidaan tarkistaa laskemalla molempien haarojen painehäviöt virtaamalla. Tulokseksi saatiin molemmille haaroille 30,311 kPa painehäviö.

Virtausnopeuksien pohjalta saadaan laskettua, kuinka paljon lämpövirtaa nykyisellä asetelmalla linjan haaroihin saadaan.

$$Q = 0,888 \times 5,03 \times 10^{-3} \times 965,3 \times 4,2 \times 42,25 = 765,102 \text{ kW}$$

$$Q = 0,153 \times 5,03 \times 10^{-3} \times 965,3 \times 4,2 \times 42,25 = 131,825 \text{ kW}$$

Kappaleissa 7.1.1 ja 7.1.4 esitettyjen lämmöntarpeiden mukaan broilerikasvattamoiden 2 ja 3 mitoituslämmöntarve on:

$$Q = 2 \times 285,302 + 0,480 = 571,084 \text{ kW}$$

Kyseisen linjan lämmöntarve on siis 194,018 kW pienempi kuin tämänhetkinen virtauksen jakauma.

Kasvattamolle 1 ja asuinrakennuksille menevän haaran mitoitusarve taas on:

$$Q = 285,302 + 2,480 + 37,461 = 325,243 \text{ kW}$$

Tämän linjan mitoitusarve on siis 193,418 kW vajaa, joten toisen haaran virtaamaa täytyisi kuristaa, jotta saataisiin minimoitua puuttuva lämpövirta.

Lämpövirtaa halutaan muuttaa niin, että 194 kW lämpövirtaa otetaan kasvattamoilta 2 ja 3 ja lisätään se toiseen haaraan. Uusista tavoitelämpövirroista saadaan halutut virtaamat, jotka saadaan lämpövirran kaavasta:

$$v_1 = \frac{Q}{A \times \rho \times C_p \times \Delta T} = \frac{765,102 \text{ kW} - 194 \text{ kW}}{5,03 \times 10^{-3} \times 965,3 \times 4,2 \times 42,25} = 0,663 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A \times \rho \times C_p \times \Delta T} = \frac{131,825 \text{ kW} + 194 \text{ kW}}{5,03 \times 10^{-3} \times 965,3 \times 4,2 \times 42,25} = 0,378 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Halutuista uusista virtausnopeuksista taas saadaan yhtälöllä ratkaistua vaadittu painehäviön korotus v_1 :n linjassa.

$$\begin{aligned} & \left(16 \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 0,663^2\right) + \left(0,21 \times \frac{24}{0,08} \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 0,663^2\right) + 300 + x \\ &= \left(21,5 \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 0,378^2\right) + \left(0,21 \times \frac{124}{0,08} \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 0,378^2\right) \\ &+ 10720 \end{aligned}$$

$$x = 17,590 \text{ kPa}$$

Lasketuilla arvoilla molempien haarojen painehäviö on 34,650 kPa.

Kitkapainehäviö linjan alkuosassa, jossa virtaama 1,04 m/s:

$$\begin{aligned} \Delta p_\lambda &= \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \\ \Delta p_\lambda &= 0,21 \times \frac{204}{0,08} \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 1,04^2 = 279,549 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Kertavastushäviöt linjan alkuosassa:

- Supistus isommaksi: 1 kpl, 1×1
- Supistus pienemmäksi: 1 kpl, 1×0,5
- Mutkia: 6 kpl, 6×0,5
- Suodatin: 10 kPa
- Venttiilejä: 2 kpl DN80; 0,26 kPa
- Lämmönvaihdin: 30 kPa

Kertavastuksien summaksi saadaan:

$$\begin{aligned} \Delta p_\zeta &= \Sigma p_\zeta \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \\ \Delta p_\zeta &= (1 + 0,5 + 3) \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 1,04^2 + 10000 + 260 + 30000 = 42,609 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Näistä saadaan linjan alkuosan painehäviöksi

$$279,549kPa + 42,609kPa = 322,158kPa$$

7.2.2 Sikala

Sikalan lämpöhäviöistä johdetaan vaadittu virtaus putkistossa:

$$V = \frac{Q}{\rho \times C_p \times \Delta T}$$

$$V = \frac{233,284kW}{965,3 \frac{kg}{m^3} \times 4,2 \frac{kJ}{kgK} \times 30} = 1,918 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{V}{A} = \frac{4,76 \times 10^{-3}}{7,85 \times 10^{-3}} = 0,244m/s$$

Veden dynaaminen viskositeetti 90 °C lämpötilassa: $3,15 \times 10^{-4}$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{3,15 \times 10^{-4}}{965,3} = 3,263 \times 10^{-7}$$

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} = \frac{0,244 \times 0,05}{3,263 \times 10^{-7}} = 37389$$

$$\lambda = 0,21$$

Kitkاپainehäviö putkistossa, kun virtaama 0,244 m/s ja turbulenttinen virtaus:

$$\Delta p_\lambda = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times p_d = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

$$\Delta p_\lambda = 0,21 \times \frac{33 \times 2}{0,05} \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 0,244^2 = 7,965kpa$$

Uponorin kitkavastus on 0,018 kPa/m, kun virtaama 0,244 m/s

$$40m \times 0,018 \frac{kPa}{m} = 0,72kPa$$

Kertavastushäviöt:

- Lämmönvaihdin: 5 kPa
- Öljykattila: 50 kPa
- Venttiilit: 9 kpl DN50 ja 5 kpl DN32 = 33,08 kPa
- Suodatin: 1 kpl – 1,5 kPa
- Supistus pienemmäksi: 2 kpl, 2×0,5
- Supistus isommaksi: 3 kpl, 3×1
- T-haara: 2+3+2
- Mutkat: 10 kpl, 10×0,5

$$\Delta p_{\zeta} = \Sigma p_{\zeta} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

$$\begin{aligned} \Delta p_{\zeta} &= (1 + 3 + 7 + 10) \times \frac{1}{2} \times 965,3 \times 0,244^2 + 5000 + 50000 + 33080 + 1500 \\ &= 90,183kpa \end{aligned}$$

7.2.3 Asuinrakennukset

Asuinrakennusten kierron lämmönvaihtimen lämpötilaerona käytetään paikan päällä tehtyjen mittauksen tuloksia. Laskuissa käytetään itse tehtyjä mittauksia, koska kyseisessä kierrossa on ongelmia muulloinkin kuin kovilla pakkasilla.

Asuinrakennusten kierron lämpöhäviöistä johdetaan vaadittu virtaama:

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

$$V = \frac{Q}{\rho \times C_p \times \Delta T}$$

$$V = \frac{38,747kW}{974,81 \frac{kg}{m^3} \times 4,2 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times 15} = 6,3 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{V}{A} = \frac{6,3 \times 10^{-4}}{3,22 \times 10^{-3}} = 0,196 \text{ m/s}$$

Linjan kitkapainehäviöksi saadaan Uponorin suunnitteluohjeesta 0,196 m/s virtaamalla 0,9 kPa/m.

$$250m \times 0,45 \frac{kPa}{m} = 112,5kPa$$

Kertavastushäviöiden selvittäminen asuinrakennusten kierrossa osoittautui haastavaksi, koska lämminvesivaraajien painehäviöitä ei saatu valmistajalta, joten varaajien painehäviökertoimena käytettiin 1,5; joka saadaan E. Laihon kirjasta. Lisäksi lämmönvaihtimen valmistajalta OEG saatiin suuntaa antava painehäviö 20 kPa.

Kertavastushäviöt:

- Lämmönvaihdin: 20 kPa
- Omakotitalon ja saunarakennuksen lämminvesivaraajat: 2×1,5
- Venttiilit: 8 kpl DN25 ja 2 kpl DN32: 1 kPa
- Mutkat: 22 kpl, 22×0,5
- Supistus pienemmäksi: 2 kpl, 2×0,5
- Supistus isommaksi: 2 kpl, 2×1
- T-haara: 2+1

$$\Delta p_{\zeta} = \Sigma p_{\zeta} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

$$\begin{aligned} \Delta p_{\zeta} &= (2 \times 1,5 + 22 \times 0,5 + 1 + 2 + 3) \times \frac{1}{2} \times 974,81 \times 0,196^2 + 20000 + 1000 \\ &= 21,374kPa \end{aligned}$$

Painehäviöt yhteensä:

$$112,5kPa + 21,374kPa = 133,874kPa$$

7.2.4 Kuivuri

Muista verkon linjoista eroten nesteenä käytetään etyleeniglykolia. Etyleeniglykolin 30 % tiheys 80 °C on 1017 kg/m³ ja ominaislämpökapasiteetti 3,936 kJ/kgK. Näillä tiedoilla ja teknisistä tiedoista saatavalla 0,8 m/s mitoitusvirtaamalla lasketaan kierron painehäviöt.

Etyleeniglykolin 30 % dynaaminen viskositeetti 80 °C: 0,6

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,6}{1017} = 5,9 \times 10^{-4}$$

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} = \frac{1,44 \times 0,08}{5,9 \times 10^{-4}} = 108,475$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{195,25} = 0,59$$

Kitkapainehäviö 0,8 m/s virtaamalla:

$$\Delta p_{\lambda} = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times p_d = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

$$\Delta p_{\lambda} = 0,33 \times \frac{165 \times 2}{0,1} \times \frac{1}{2} \times 1.017 \times 0,8^2 = 633,632kPa$$

Kertavastushäviö:

- Kuivurin lämmönvaihdin: 12 kPa
- Kierron lämmönvaihdin: 6 kPa
- Venttiilit: 4 kpl DN80: 0,4 kPa
- Mutkat: 4 kpl, 4×0,5

$$\Delta p_{\zeta} = \Sigma p_{\zeta} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

$$2 \times \frac{1}{2} \times 1,017 \times 0,8^2 + 12000 + 6000 + 400 = 18,4kPa$$

Painehäviöiden summa:

$$633,632kPa + 18,4kPa = 652,032kPa$$

7.3 Pumppausteho

Tärkeä osuus verkoston tasapainottamisessa on laskea eri osien painehäviöt ja verrata häviöitä pumppaustehoon. Pumppausteho saadaan muunnettua pumpuissa ilmoitetusta paineenkorotuksesta metreinä. Tarkasteltavassa verkossa kuivurin ja sikalan kierto ovat yksiselitteisiä, koska niissä on yksinkertainen kierto, kun taas broilerikasvattamoille lähtevä kierto on monimutkaisempi.

Pumppujen paineenkorotusteho kilopascaleina saadaan johdettua veden hydrostaattisesta paineesta. Pumpuissa ilmoitettu metrinen paineenkorotus pitää kertoa arvolla 9,8, jolloin saadaan paineenkorotus kilopascaleina.

7.3.1 Broilerikasvattamot

Broilerikasvattamoiden kierrosta vastaa verkoston pääpumppu, joka on sijoitettu päälämpökeskuksella juuri ennen kierron lämmönvaihainta. Pumpun ilmoitettu hydrostaattinen paineenkorotus on 99,96 kPa. Yhteensä pumppaustehoa verkossa vaaditaan 391,458 kPa, johon osallistuu myös rakennusten kierroista vastaavat pumput. Rakennusten kaikkien pumppujen vaikutusta virtauksiin on kuitenkin hyvin vaikea laskea, joten niitä ei oteta huomioon tässä työssä.

7.3.2 Sikala

Sikalan kierrolle mitoitettu maksimivirtaama kappaleen 7.2.2 mukaan on $1,918 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, josta saadaan vaadituksi virtaamaksi 6,905 m^3/h .

Sikalan kierrossa painehäviöitä on kappaleen 7.2.2 mukaan 90,183 kPa, joka täytyisi ylittää linjassa olevilla kolmella pumpulla. Sikalan kierrossa olevat pumput ja niiden paineenkorotusarvot:

- Pumppu 1 Kolmeks L-32A/2: 10,5m
- Pumppu 2 Evoplus small: 2,5m
- Pumppu 3 Grundfos: 10,2m

$$(10,5 + 2,5 + 10,2) \times 9,8 = 227,45 \text{ kPa}$$

Laskettujen arvojen pohjalta pumppujen paineenkorotus 227,45 kPa riittää hyvin mitoitustilanteen 90,183 kPa painehäviöiden kumoamiseen.

7.3.3 Kuivuri

Kuivurille lähtevän kierron painehäviö on 652,032 kPa ja kierto hoidetaan täysin yhdellä pumpulla. Kierron pumpun hydrostaattinen paineenkorotus on 14,5 m.

$$14,5 \times 9,8 = 142,1 \text{ kPa}$$

Teoriassa pumppausteho vaikuttaisi olevan liian alhainen, mutta käytännössä tehossa ei ole ollut puutetta.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää Korkeaoja-Nurmon maatilan lämpöverkoston rakennetta ja lämmön puutetta tietyissä osissa verkkoa. Isoimpana ongelmakohtana oli asuinrakennuksille saatavan lämmön puute, johon ei tiedetty suoraa syytä. Laskelmien pohjalta saatiin eriteltyä ajankohdat, jolloin lämmöntarve on suurimmillaan, mistä päästiin kiinni verkoston virtauksiin ja häviöihin. Lämmönpuutteen syiksi saatiin verkoston virtaaman jakautuminen epätoivotulla tavalla paineen hakeutuessa tasapainotilaan.

Tämä tilanne korjattaisiin lisäämällä virtausvastusta 2. ja 3. broilerikasvattamoille lähtevään linjaan kappaleen 7.2.1 laskujen mukaan. Lisäksi PI-kaaviota piirrettäessä selvisi, että asuinrakennusten lämmönvaihtimelle menevässä haarassa ei ole ollenkaan pumpusta, kun taas samassa linjassa oleva 1. broilerikasvattamon kierron alussa on pumppu. Todennäköisesti tämä broilerikasvattamon kierrosta vastaava pumppu ryöstää lämpövirtaa asuinrakennusten lämmönvaihtimen haaralta, jolloin sille ei ole tarpeeksi lämpövirtaa. Tähän ratkaisuksi olisi joko pumpun lisääminen vaihtimen haaraan tai kolmitieventtiilillä virtauksen säätäminen.

Ongelmatekijänä voisi myös olla, että broilerikasvattamoiden kierrosta vastaa suoraan vain yksi pumppu, joten paineenkorotuspumppujen lisäämistä kiertoon voisi harkita. Yksi mahdollisuus voisi olla myös lämmöntalteenottolaitteiston lisääminen broilerikasvattamoiden ilmanvaihdon yhteyteen. Niillä saataisiin vähennettyä tehokkaasti lämmöntarvetta, joka taas on suoraan verrannollinen lämpöverkoston virtauksen tarpeeseen. Lämmöntalteenotto laitteiston suhteen pitäisi kuitenkin konsultoida asiantuntijaa, koska ainakin pienellä tiedonhauulla ja Kivinen ym. (2013) artikkelin pohjalta LTO-laitteistot maatalokäytössä ovat varsin työläitä ylläpitää. Järjestelmät myös syövät paljon sähköä, jonka ostaminen on suhteessa kallista verrattuna oman lämpöenergian tuottoon.

LÄHTEET

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö, rakennusten energiatehokkuus, 2011. [viitattu 2.12.2020]

Energiateollisuus ry, Kiinnivaahdotetut kaukolämpöjohdot suositus L1/2020. https://energia.fi/files/593/20200831_SuositusL1_Kiinnivaahdotetut_kaukolampojohdot_2020.pdf

Energiateollisuus ry, Ympäristö- ja jäteasiat kaukolämpöverkon rakentamisessa ja kunnossapidossa 8.12.2010. [viitattu 28.11.2020] <http://docplayer.fi/2630428-Energiateollisuus-ry.html>

Evira, Tavoitteena terve ja hyvinvoiva sika 2008. <http://www.virtuaali.info/opetusmaatilat/27/file/Tavoitteena%20terve%20ja%20hyvinvoiva%20sika.pdf>

Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations, Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam (PUR/PIR) 2006. [viitattu 28.11.2020] https://www.academia.edu/29610637/Thermal_insulation_materials_made_of_rigid_polyurethane_foam_PUR_PIR_Properties_Manufacture

Heimonen I., Heikkinen J., Laamanen J., Alasuutari S., Kaila E. Sikaloiden ilmanvaihdon toimivuus, toimintamalli ilmanvaihdon toimivuuden varmistamiseen. VTT 2014. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T183.pdf>

HKScan, Rakentamisvaatimukset uusille rakennuksille, broilerikasvattamon rakentamisohje 2017.

HKScan, Ilmanvaihto ja lämmitys, broilerin hoito-opas 2020.

Kivinen T., Heikkinen J., Heinonen I., Laamanen J. Broilerihallin ilmanvaihdon hienosäätö, MTT Raportti 112, 2013. [viitattu 1.12.2020] [MTT Raportti 112: 2013 74 s.](http://www.mtt.fi/raportit/112)

Kyrötekniikka, Kyrö Lämpökeskus 2018. [viitattu 29.11.2020] <http://www.kyrotekniikka.fi/kyrolampokeskus>

LSO Foods, Sikamestari Markku Puumala 2004.

Lämmöllä-lehti, Öljylämmittäjän palveluopas 2010. <https://www.omataloyhtio.fi/pdf/%D6PK/Palveluopas2010.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2, vuosi ei ilmoitettu. <https://mmm.fi/documents/1410837/1853806/L10-rmoC22-01.pdf/8f0e7d9d-8c62-4c72-a1ef-fa9dd78bf4d0/L10-rmoC22-01.pdf>

Motiva ja Työtehoseura, Kestävä veden käyttö -projekti 2020. [viitattu 10.12.2020] https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus

Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet, Esa-Matti Laiho Mikkelin teknillinen oppilaitos 1991.

Thermia, Arimax biolämpöopas 2005. http://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/IMG_1723472.pdf

Tyco Thermal controls, Raychem, Mukavien, lämpimien lattioiden käsikirja 2002.
https://www.taloon.com/media/attachments/raychem_lattialammitys_esite.pdf

Uponor Eristetyt lämmitys- ja käyttövesiputkistot 2019. [viitattu 7.12.2020]

Vexve, Teräspalloventtiilit asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet 2020.
https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/gAYAIA/nSyvQV68gZscUio2JHVNxg/Vexve-Steel_ball_valves-manual-FI-2017.pdf

Liitteet

Korkeaaja-Nurmon maatilan lämpöverkon PI-kaavio.

