

Jesse Kurkinen, Juha Seppänen

**URHEILUKESKUKSEN ENERGIAKATSELMUS JA
TALOTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN TOIMIVUUS**

URHEILUKESKUKSEN ENERGIAKATSELMUS JA TALOTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN TOIMIVUUS

Jesse Kurkinen, Juha Seppänen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Jesse Kurkinen, Juha Seppänen
Opinnäytetyön nimi: Urheilukeskuksen energiakatselmus ja taloteknisten järjestelmien toimivuus
Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 96 + 2 liitettä

Tässä opinnäytetyössä tehdään urheilukeskuksen energiakatselmus ja tarkastellaan taloteknisten laitteiden toimivuutta. Työn perusteella tilaaja pyrkii parantamaan rakennuksien energiataloutta. Työn tilaaja on Nallikari-Tennis Oy. Tavoitteena oli selvittää urheilukeskuksen lämmitys- ja sähköenergiankulutuksen jakautuminen, tarkastella taloteknisten järjestelmien kuntoa ja tutkia vaihtoehtoisien lämmitysmuotojen sopivuutta. Energiakulutuksen jakautumisella tarkastellaan pelialueiden kannattavuutta.

Urheilukeskus on jaettu kolmeen erilliseen rakennukseen, päärakennukseen, salibandyhalliin ja ylipainehalliin. Työssä tutkittiin rakennusten LVI-laitteiston toimintaa ja sähkölaitteita. Ilmanvaihtokoneiden toimintaa ja lämmitysenergian kulutusta mitattiin erillismittauksilla, jotta saatiin selville kulutuksen osuus kaukolämmön kokonaiskulutuksesta. Lämmön myyjällä asennutettiin kaksi kaukolämmön energiamittaria päämittarin alamittareiksi tukemaan energiakatselmusta. Mittareilla voidaan seurata helposti rakennuskohtaista energiankulutusta ja tunnistaa keskitehoa. Ilmanvaihtokoneiden mittauksien perusteella laskettiin ilmanvaihtokoneiden kuluttama energia ja laskettua energiaa verrattiin kaukolämmön kokonaiskulutukseen sekä alamittauksiin.

Erillismittauksien, kaukolämmön kokonaiskulutuksen ja alamittauksien perusteella ylipainehalli kuluttaa suurimman osan kaukolämpöenergiasta. Kaukolämmitysenergian suuri kulutus johtuu ylipainehallin rakenteesta, koska PVC-päällystetyn kankaan lämmöneristävyys on huono verrattuna käytettyihin ulkoseinämateriaaleihin. Salibandyhallin uudet ilmanvaihtokoneet ovat energiapihejä tiukentuneiden määräysten vuoksi ja energiankulutus on huomattavasti pienempi muihin ilmanvaihtokoneisiin verrattuna. Sähköenergian kulutusta voitaisiin pienentää korvaamalla vanhat valaisimet led-valaisimilla. Rakennuksien sisävalaistuksen ohjaamisella on huomattava merkitys sähköenergian kulutuksessa ja valaistuksen tarpeenmukaisella ohjaamisella voidaan saavuttaa säästöjä. Päärakennuksen LVI-laitteiden tekninen käyttöikä loppuu, ja lämmitysjärjestelmä pitäisi uusia tulevina vuosina.

Asiasanat: energiakatselmus, urheilukeskus, ylipainehalli, ilmalämmitys

ALKULAUSE

Haluamme kiittää työn tilaajan yhteyshenkilöä Juho-Pekka Antilaa ja Nallikari-Tennis Oy:tä, jotka mahdollistivat kiinnostavan ja mielenkiintoisen opinnäytetyön. Haluamme kiittää sisällön ohjaamisesta koulun henkilökunnasta Mikko Niskalaa ja Rauno Holopaista sekä Mutsal Oy:stä Timo Kauppista. Kieliasun tarkistamisesta ja kirjoittamisen ohjauksesta kiitos kuuluu Pirjo Partaselle.

Oulussa 6.4.2018

Jesse Kurkinen & Juha Seppänen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	8
2 SELVITYSTYÖN PERUSTEET	9
2.1 Lämmitysenergian kulutuksen normittaminen	9
2.2 Ilmalämmitys	9
2.3 Lämmitystehon laskenta	10
2.4 Sähkötehon laskenta	12
2.5 Mittaukset	13
2.5.1 Ilmavirta	13
2.5.2 Lämpötila	16
2.5.3 Vesivirta	18
2.5.4 Rakennuksen paine-eromittaus	19
2.5.5 Lämmönsiirtonesteen pakkasenkestävyys	19
3 YLIPAINEHALLI	21
3.1 Ilmanvaihto ja lämmitys	21
3.2 Sähköenergia	22
4 PÄÄRAKENNUS	24
4.1 Ilmanvaihto ja lämmitys	24
4.1.1 Sosiaalitilat	25
4.1.2 Tennishalli	25
4.1.3 Sulkapallohalli	26
4.2 Sähköenergia	27
4.2.1 Tennishalli	28
4.2.2 Sosiaalitilat	29
4.2.3 Sulkapallo ja squash	30
5 SALIBANDYHALLI	32
5.1 Ilmanvaihto ja lämmitys	32
5.1.1 Sosiaalitilojen ilmanvaihto	33
5.1.2 Salibandyhallin ilmanvaihto	33

5.2 Sähköenergia	34
5.2.1 Sosiaalitilat	34
5.2.2 Salibandyhalli	35
6 MITTAUSTULOKSET	37
6.1 Ylipainehalli	37
6.1.1 Lämpötilan kerrostuminen	37
6.1.2 Ilmanvaihtokoneen toiminta	38
6.1.3 Etyleeniglykolin mittaus	41
6.1.4 Lämmitysjärjestelmä	43
6.2 Päärakennus	52
6.2.1 Lämpötilan kerrostuminen	52
6.2.2 Ilmanvaihtokoneiden toiminta	53
6.2.2.1 Tennishalli	53
6.2.2.2 Sosiaalitilat	63
6.2.2.3 Sulkapallo ja squash	65
6.2.3 Etyleeniglykolin mittaus	66
6.2.4 Lämmitysjärjestelmät	68
6.3 Salibandyhalli	72
6.3.1 Lämpötilan kerrostuminen	72
6.3.2 Ilmanvaihtokoneiden toiminta	73
6.3.2.1 Salibandyhalli	73
6.3.2.2 Sosiaalitilat	76
6.3.3 Lämmitysjärjestelmät	76
7 TULOSEN TARKASTELU	78
8 PARANNUSEHDOTUKSET	84
8.1 Ilmanvaihtokoneiden automaation uusiminen	84
8.2 Lämmitysjärjestelmän uusiminen	84
8.3 Valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus	85
8.4 Muut parannusehdotukset	85
9 VAIHTOEHTOINEN LÄMMÖNTUOTANTOTAPA	87
10 VAIHTOEHTOINEN SÄHKÖNTUOTTOTAPA	89
11 YHTEENVETO	92
LÄHTEET	94

Liite 1 Rakennuksen paine-eromittaus

Liite 2 Salibandyhallin ilmanvaihtokoneen mittaukset

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä toteutetaan energiakatselmus urheilukeskukseen ja tarkastellaan taloteknisten järjestelmien toimivuutta sekä energiankulutusta rakennus- ja järjestelmäkohtaisesti. Energiankulutus urheilukeskuksessa jakautuu kolmen rakennuksen kesken, ja rakennuksien lämpöenergian lähteet ovat sähkö ja kaukolämpö. Rakennuksien lämmönjakotapana ovat valaistus, sähkölattialämmitys, vesikiertoinen lattia- ja radiaattorilämmitys sekä ilmalämmitys. Työn tilaaja on Nallikari-Tennis Oy, ja tilaajan yhdyshenkilö on yrityksen toimitusjohtaja Juhopekka Antila.

Työssä lämmitysenergian kulutuksen jakautuminen todennetaan erillismittauksien ja kaukolämmön alamittauksilla. Sähköenergian kulutusta ja jakautumista lasketaan laitteiden tehon ja teoreettisten käyttöaikojen perusteella. Mittauksilla ja laskelmilla pyritään selvittämään, kuinka energiankulutus jakautuu urheilukeskuksessa rakennuksien välillä. Urheilukeskuksen lämmitysenergian jakautumisen määrittämisessä oli suuri hyöty asennetuista alamittauksista.

Toisena osana työssä tarkastellaan taloteknisten laitteiden kuntoa ja energiatehokkuutta. Päärakennuksen LVIS-laitteet ovat suurelta osin alkuperäisiä, vuodelta 1990. Salibandyhalli on rakennettu vuonna 2009, joten siellä olevien laitteiden pitäisi olla ajan tasalla. Ylipainehallin lämmitysjärjestelmän kuntoa ja tehokkuutta tarkastellaan, koska ylipainehallin sisälämpötila putoaa rajusti kovilla pakkasilla.

Opinnäytetyön sisältö on kirjoittajien välillä jaettu kolmeen osaan. Yhdessä kirjoitettua ovat luvut, joissa käsitellään ylipainehallia, maalämmitystä ja päärakennuksen sosiaalituloja. Jesse Kurkinen kirjoitti luvut päärakennuksen sulkapallohallista, salibandyhallin sosiaalituloista ja automaatiosta. Juha Seppänen kirjoitti luvut päärakennuksen tennishallista, salibandyhallista ja aurinkopaneeleista. Kaikki työhön liittyvät mittaukset suoritettiin yhdessä. Työn materiaalien ja mitaustulosten jakaminen onnistui vaivattomasti Microsoftin Onedrive pilvipalvelun avulla. Molemmat pystyivät kirjoittamaan opinnäytetyötä yhtä aikaa pilvipalvelun myötä.

2 SELVITYSTYÖN PERUSTEET

2.1 Lämmitysenergian kulutuksen normittaminen

Lämmitysenergiankulutus normitetaan, jolloin eri tarkasteluajanjaksojen energiankulutukset saadaan vertailukelpoisiksi. Normituksessa käytetään lämmitystarvelukuja ja laskennassa lämmitysenergiasta erotetaan käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia, koska vain lämmitysenergian kulutus muuttuu sääolosuhteiden vuoksi. (1, s. 2.) Kun saman rakennuksen lämmitysenergian kulutusta verrataan eri ajankohtina, normitus lasketaan kaavoilla 1 ja 2 (1, s. 3). Lämmitystarveluvut eri vuosille saadaan ilmatieteenlaitokselta (2).

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\text{vpkunta}}}{S_{toteutunut\text{ vpkunta}}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämminvesi} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämminvesi} \quad \text{KAAVA 2}$$

Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$S_{N\text{vpkunta}}$ = normaalivuoden tai -kuukauden (1981-2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\text{ vpkunta}}$ = toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

$Q_{toteutunut}$ = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{lämminvesi}$ = käyttöveden kokonaislämmitysenergiankulutus

Q_{kok} = rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

2.2 Ilmalämmitys

Ilmalämmitys on lämmönjakotapa, jota käytetään yleisesti suurissa halleissa. Lämmitys on toteutettu ilmanvaihtokoneella, jolla sisäänpuhallusilma lämmitetään ja johdetaan kanaviston avulla tiloihin. Ilmanvaihtokoneen sisäänpuhallusilma koostuu yleensä poisto- ja ulkoilmasta, koska osa poistoilmasta kierrätetään takaisin tuloilmaksi suurten ilmavirtojen ja lämmityskustannuksien takia. Suurilla ilmavirroilla saadaan parannettua ilman sekoittumista ja lämmön jakautumista.

Suurissa halleissa käytetään ilmalämmitystä yleisesti, jos tilat ovat korkeita ja avoimia. Sisäänpuhallusilma tuodaan tiloihin sopivilla päätelaitteilla, joilla ilma

saadaan johdettua laajasti oleskeluvyöhykkeelle ja oleskeluvyöhyke lämpenee. Ilmaa poistetaan tilasta keskitetysti yhdellä tai useammalla poistoilmaventtiilillä. Keskitetyllä ilman poistamisella sisäänpuhallusilma sekoittuu huoneilmaan ja estetään ilman lämpötilojen kerrostuminen. Poistoilman keskittäminen tarkoittaa yksinkertaisuudessaan yhtä isoa poistoilma päätelaitetta.

2.3 Lämmitystehon laskenta

Urheilukeskuksen lämmitysmuotona ovat sähkö ja kaukolämpö. Urheilutilojen lämmönjako toteutetaan ilmalämmityksellä ja sosiaalitalat radiaattori- sekä lattialämmityksellä. Kaukolämmön kulutuksen jakautumista seurataan rakennuskohdaisesti asennetuilla lämpöenergiamittareilla. Alamittaukset on asennettu mittamaan ylipaine- ja salibandyhallin kaukolämpöenergian kulutusta. Päärakennuksella ei ollut omaa energiamittaria, joten sen kulutus on laskettu päämittarin ja muiden alamittauksen erotuksena. Järjestelmäkohtaisia mittauksia verrataan lämpöenergiamittareista saatuihin mittauksiin, jolloin saadaan varmistettua jokaisen järjestelmän energiankulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta. Ilmanvaihtokoneiden käyttämä lämmitysenergia lasketaan kaavalla 3 (3, s. 68). Laskennassa käytetään mittauksilla saatuja lämpötila-arvoja.

$$\dot{Q}_{iv} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{v,tulo} \times (T_{sp} - T_{lto})$$

KAAVA 3

\dot{Q}_{iv} = ilmanvaihdon lämmityspatterin teho, W

ρ_i = ilmantiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilmanominislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg*K)

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila, °C

T_{lto} = lämmöntalteenotonjälkeinen/sekotusilman lämpötila, °C

Ilmanvaihtokoneiden hetkellinen lämmitysenergian tarve voidaan laskea myös vesipuolelta, kun käytettävissä on mittausdataa veden lämpötiloista ja vesivirtaama. Lämmityspatterin teho lasketaan kaavalla 4 (4, s. 142). Samalla kaavalla voidaan laskea radiaattori- sekä vesikiertoisen lattialämmitysjärjestelmän hetkellinen teho.

$$\Phi = q_v \times c_p \times \rho \times \Delta T$$

KAAVA 4

Φ = järjestelmän teho, W

ρ = veden tiheys, kg/m³

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg*K)

q_v = vesivirtaama, l/s

ΔT = veden lämpötilan muutos järjestelmässä, °C

Rakennuksen lämpökäyttötymistä voidaan arvioida mittaustulosten perusteella lasketulla lämpökonduktanssilla. Keskimääräinen lämpökonduktanssi voidaan arvioida kaavalla 5, kun tiedetään kokonaislämpövirta, rakennuksen sisälämpötila ja ulkolämpötila (4, s. 102).

$$\Phi = G_T \times (T_s - T_u) \rightarrow G_T = \frac{\Phi}{(T_s - T_u)}$$

KAAVA 5

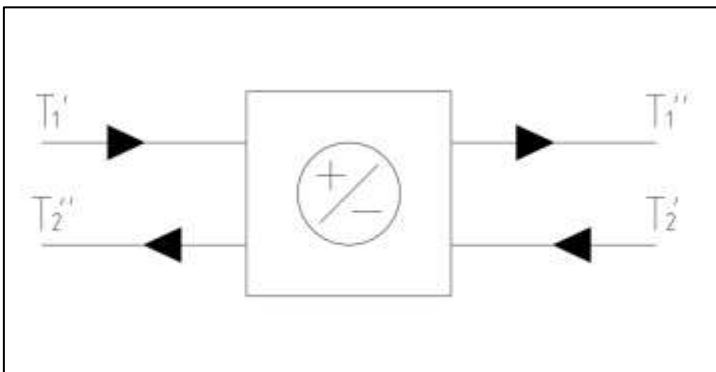
Φ = rakennuksen lämpöhäviö/ lämmitysteho, W

G_T = lämpökonduktanssi, W/K

T_s = sisälämpötila, °C

T_u = ulkolämpötila, °C

Lämmöntalteenottolaitteiden ja lämmönsiirtimien lämpötilahyötysuhde, rekuperaatioaste ϵ , on lämmitettävän ainevirran lämpötilan nousun suhde suurimpaan mahdolliseen lämpötilan nousuun. Rekuperaatioaste ϵ kuvaa lämmönsiirtimen tehokkuutta. Kuvassa 1 esitetään lämmönsiirtimen periaate. (4, s. 223 - 224.)



KUVA 1. Vastavirtalämmönsiirtimen periaatekuva

Lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde voidaan laskea kaavalla 6 kuvan 1 merkinnöillä (4, s. 223 - 224).

$$\epsilon = \frac{T_2'' - T_2'}{T_1' - T_1''}$$

KAAVA 6

T_1'	= lämmittävän aineen lämpötila ennen lämmönsiirintä, °C
T_1''	= lämmittävän aineen lämpötila lämmönsiirtimeen jälkeen, °C
T_2'	= lämmitettävän aineen lämpötila ennen lämmönsiirintä, °C
T_2''	= lämmitettävän aineen lämpötila lämmönsiirtimeen jälkeen, °C

Lämpökapasiteettivirta \dot{C} lasketaan kaavalla 7 ja se tarkoittaa tehoa, joka tarvitaan yhden lämpötila-asteen muutokseen tietyllä ilman tai veden tilavuusvirralla.

$$\dot{C} = q_v \times \rho \times C_p$$

KAAVA 7

\dot{C}	= lämpökapasiteettivirta, W/K
q_v	= tilavuusvirta, m ³ /s
ρ	= tiheys, kg/m ³
C_p	= aineen ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)

Lämmönsiirtimeen ensiö- ja toisiopuolella oleva lämpövirta $\dot{\Phi}$ on yhtä suuri (kaava 2). Kaava 8 saadaan yhdistämällä kaavan 7 lämpökapasiteettivirta kaavaan 4.

$$\dot{\Phi} = \dot{C}_1 \times (T_1' - T_1'') = \dot{C}_2 \times (T_2'' - T_2')$$

KAAVA 8

2.4 Sähkötehon laskenta

Urheilukeskuksen ilmanvaihtokoneiden puhaltimien moottorit ovat kolmivaiheoikosulkumoottoreita. Sähkötehon laskentaan tarvittavat lähtötiedot saadaan moottorin kyljessä olevasta arvokilvestä. Kilvestä löytyy mm. seuraavat tiedot: valmistaja, moottorin tyyppi, kotelointiluokka, kolmio- ja tähtikytkentöjen jännitteet ja virrat, akseliteho, pyörimisnopeus ja tehokerroin. Sähkötehotehontehon laskentaan tarvitaan myös tieto puhaltimen tehoasetuksesta. Puhaltimien käyntiasetukset ovat nolla, puoliteho ja täysteho, ja taajuusmuuttajaohjatuissa puhaltimissa teho vaihtelee ohjauksen mukaan. Pätöteho voidaan laskea kaavalla 9 (5, s. 14).

$$P_{\text{pätöteho}} = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi$$

KAAVA 9

$P_{\text{pätöteho}}$	= pättöteho, W
U	= jännite, V
I	= virta, A
$\cos \phi$	= tehokerroin

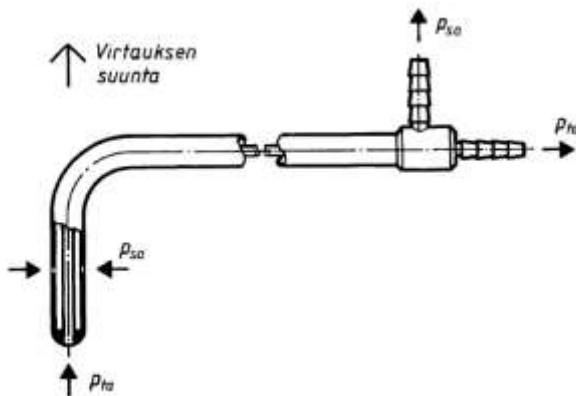
Lämmityspiirissä käytettyjen pumppujen sähkönottoteho saadaan selvitettyä valmistajien mitoitusohjelmilla, kun tiedetään pumpun tyyppi, tehoasento ja verkoston virtaaman suuruus.

2.5 Mittaukset

2.5.1 Ilmavirta

Ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmavirrat tarkistetaan konekohtaisesti pitot-putki, kuumalanka-anemometrillä tai paine-eromenetelmällä puhaltimen yli. Mittausmenetelmä valitaan tilannekohtaisesti, koska kaikki menetelmät eivät sovellu jokaiseen tilanteeseen.

Pitot-putki koostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta, jotka on taivutettu 90 asteen kulmaan (kuva 2). Pitot-putkella mitataan kanavasta ilman virtauksen dynaamista painetta yhdistämällä se paine-eromittariin molemmista liittimistään. (6, s. 38.)



KUVA 2. Pitot-putken rakenne ja toimintaperiaate (6, s. 38)

Dynaaminen paine saadaan paine-eromittarista ilman kokonaispaineen ja staattisen paineen erotuksena kaavalla 10 (6, s. 38).

$$p_d = p_{ta} - p_{sa}$$

KAAVA 10

p_d = dynaaminen paine, Pa

p_{ta} = kokonaispaine, Pa

p_{sa} = staattinen paine, Pa

Dynaamisen paineen avulla saadaan laskettua ilman virtausnopeus kanavassa kaavalla 11 (4, s. 135).

$$p_d = \frac{1}{2} \rho v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 p_d}{\rho}} \quad \text{KAAVA 11}$$

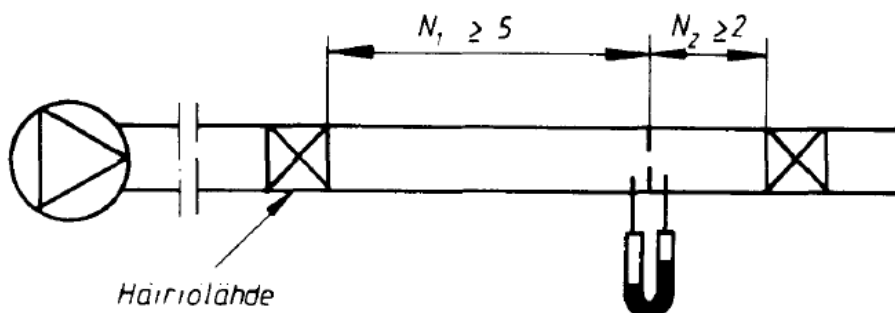
p_d = dynaaminen paine, Pa
 ρ = tiheys, kg/m³
 v = nopeus, m/s

Ilman virtausnopeuden ja kanavan poikkipinta-alan avulla saadaan laskettua ilman tilavuusvirta kaavalla 12 (4, s. 136).

$$q = A v = \frac{\pi D^2}{4} v \quad \text{KAAVA 12}$$

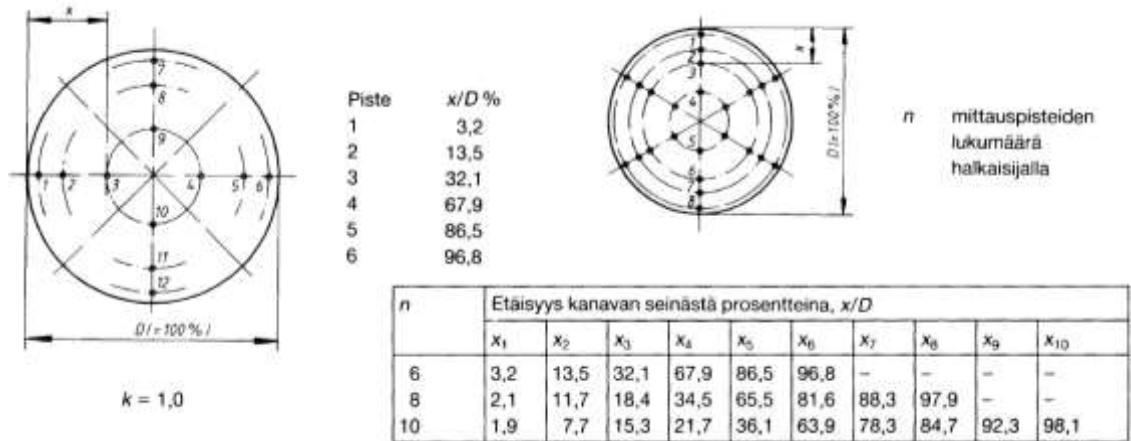
q = tilavuusvirta, m³/s
 A = pinta-ala, m²
 v = nopeus, m/s
 D = kanavan sisähalkaisija, m
 π = 3,14159

Mittausmenetelmän valintaan vaikuttavat suojaetäisyys, mittauksen haluttu tarkkuus ja kanavan koko. Suojaetäisyyksien tulee olla kuvassa 3 esitetyn mukaiset, kun ilmavirtoja mitataan ilmanvaihtokoneesta. Suojaetäisyyden N_1 tulee olla ennen mittauspistettä vähintään 5 x kanavan halkaisija. Suojaetäisyyden N_2 tulee olla vähintään 2 x kanavan halkaisija mittauspisteen jälkeen. Suojaetäisyyksien täyttymisellä taataan mittaustarkkuus. (7, s. 4.)



KUVA 3. Suojaetäisyydet kanavan ilmavirtamittauksessa (7, s. 4)

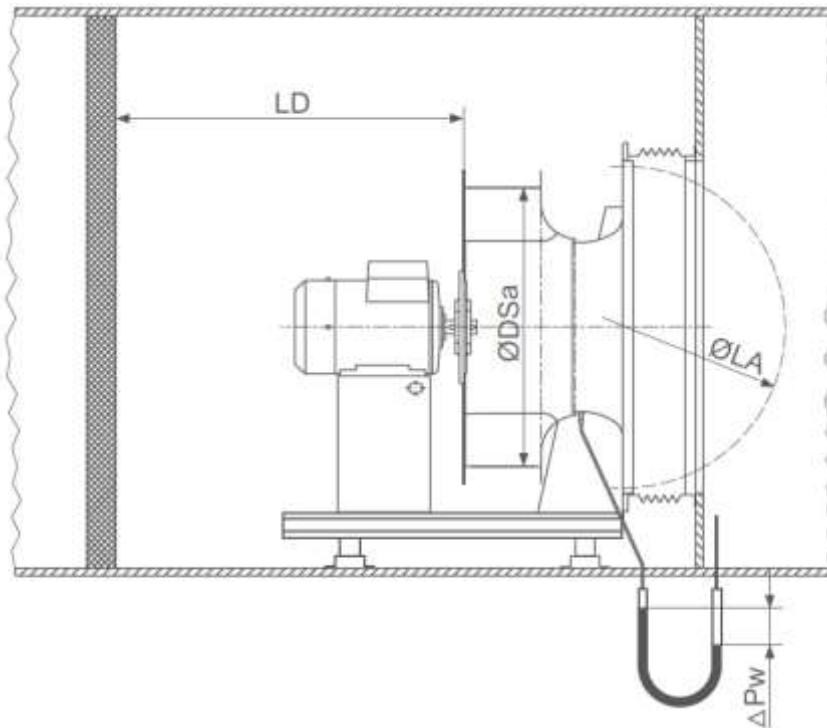
Yhdeksi mittausmenetelmäksi soveltuu kuvan 4 mukainen log-linear-menetelmä.



KUVA 4. Log-linear menetelmä (7, s. 5)

Kuumalanka-anemometriä käytetään hetkellisten ilman virtausnopeuksien mittaamiseen, ja sen toiminta perustuu anturin jäähtymiseen, kun anturia lämmitetään vakioteholla. Anturin jäähtymä on verrannollinen virtaaman suuruuteen. Mittauksessa mittauspää tulee olla virtaaman suuntaisesti, jolloin vältetään virheellisiltä mittaustuloksilta. (8.)

Ilmanvaihtokoneessa olevista paine-eron mittausyhteistä voidaan mitata ilmavirta, kun tiedetään valmistajan määrittämä k -arvo puhaltimelle. Mittauspaine on staattinen paine-ero puhaltimen imukartion etupuolen ja imukartion kapeimman kohdan väliltä (kuva 5).



KUVA 5. Ilmavirran mittaaminen puhaltimesta paine-eromenetelmällä (9, s. 1)

Ilmavirta saadaan laskettua kaavalla 13. (9, s. 1.)

$$q = k \times \sqrt{\Delta p}$$

KAAVA 13

q = tilavuusvirta, m³/h
 k = puhaltimen valmistajan ilmoittama k -arvo
 Δp = staattinen paine-ero, Pa

2.5.2 Lämpötila

Lämmitysjärjestelmien lämpöteho siirtyy lämmitettävään tilaan pääasiassa ilman ja nesteen välityksellä. Tehoa säädetään ulkolämpötilan mukaan järjestelmissä lämmityspatterin läpi virtaavan aineen lämpötilaa muuttamalla. Tehon laskentaa varten mitataan virtaavan aineen lämpötilat meno- ja paluupuolelta. Lämpötilan mittauksessa käytetään tiedonkeruulaitetta, jolla lämpötilat saadaan tallennettua sopivin väliajoin ja järjestelmän tehon vaihtelusta saadaan lisää tietoa.

Tiedonkeruussa käytetään Grant 1250 -sarjan tiedonkeruulaitetta ja K-tyyppin termopariantureita (kuva 6). Tiedonkeruun tulokset saadaan purettua tietokoneella valmistajan ohjelmalla ja mittaustulokset muunnettua Excel-tiedostoon.



KUVA 6. Grant 1250 -sarjan tiedonkeruulaite

Lämpötila-antureiden kalibrointi suoritettiin Hart Scientific 9107 -kalibrointilaitteella ennen mittausten aloittamista (kuva 7). Kalibraattorin avulla tarkastellaan lämpötila-antureiden arvoja useassa eri tarkastelulämpötilassa ja saadaan selville lämpötila-antureiden arvojen erot tietyillä lämpötila-alueilla. Valituilla antureilla lämpötilapoikkeama oli $\pm 0,3$ °C:tta, kun kalibrointi suoritettiin 25 °C:sta ja 100 °C:sta. Valitut lämpötila-anturit valittiin mittauksiin, koska $\pm 0,3$ °C on riittävä mittaustarkkuus ilmanvaihtokoneen mittauksiin.



KUVA 7. Hart Scientific 9107 -kalibrointilaite

Ulkolämpötilan arvona käytetään Ilmatieteen laitoksen Oulun Vihreäsaaren sata-man säähavaintoaseman arvoja. Ilmatieteen laitoksen internetsivustolta voi la-data hetkellisiä ilman lämpötilan havaintosuureita 10 minuutin tallennusvälillä. Il-man lämpötila-arvot mitataan havaintoasemalla 2 metrin korkeudelta. Ladatut il-man lämpötila-arvot ilmoitetaan UTC-aikana ja ne muutetaan Suomen talviaikaan lisäämällä UTC-aikaan 2 tuntia ja kesäaikaan 3 tuntia. (10; 11.)

Pelihallien sisälämpötilan kerrostumista mitataan lämpötila-antureilla, jolloin voi-daan tarkastella ilmanjaon tehokkuutta sekä sisäänpuhallusilman sekoittumista huonetilaan. Mittaus toteutetaan pitkällä teleskooppivarrella, johon kiinnitetään NTC-lämpötila-antureita ja kaksi kappaletta Kimo KT210 -dataloggereita. Lämpö-tila-anturit kiinnitetään tasaisilla väleillä hiilikuituvarteeseen, jolloin saadaan hyvä kuva ilmanjaon tehokkuudesta ja sekoittuvuudesta.

Ylipainehallin ilmanvaihtokoneen ilmanlämpötilat mitataan dataloggereilla. Data-loggereiden mittaustuloksilla voidaan analysoida ilmanvaihtokoneen toimintaa sekä lämmityspatterin tehon riittävyttä. Mittaus toteutetaan Lascar Electronics EL-USB-2 -dataloggereilla niiden sopivan koon ja IP-luokituksen vuoksi, koska ilmanvaihtokone sijaitsee rakennuksen ulkopuolella sääoloille alttiina.

2.5.3 Vesivirta

Järjestelmien vesivirtaamat tarkistetaan mittaamalla paine-eroa linjasäätöventtii-leistä TA-CMI-paine-eromittarilla, jotta voidaan varmistaa suunniteltujen vesivir-taamien paikkaansa pitävyys. TA-CMI-paine-eromittarilla mitataan linjasäätö-venttiiliin aiheuttama paine-ero, ja mittari näyttää virtaaman, kun asetuksista on valittuna venttiiliin tyyppi, koko ja esisäätöarvo.

Mittarista löytyy virtaaman laskemiseen tarvittavat tiedot T & A:n venttiileille ja osalle Oraksen venttiileistä. Kuvassa 8 on mitattuna vesivirtaama Oraksen 410032-linjasäätöventtiilistä, jossa esisäätöarvona 9,0. (12, s. 17 - 23.) Vesivir-taamien huojuntaa tarkastellaan TA-SCOPE-paine-eromittarilla, jossa on tiedon-keräysominaisuus mittaustuloksien tallentamiselle. Vesivirtaamien tiedonkeräyk-

sellä saadaan selville, jos lämmitysverkostossa tapahtuu huojuntaa eli lämmityspattereiden vesivirtaama muuttuu. Lämmityspatterin vesivirtaaman huojunta vaikuttaa lämmitystehon suuruuteen, säätöventtiilien kestoikään ja säätötulokseen.



KUVA 8. Vesivirtaaman mittaustulos Oras 410032 -linjasäätöventtiilistä

2.5.4 Rakennuksen paine-eromittaus

Rakennuksen paine-erot vaipan yli vaikuttavat huomattavasti rakenteiden elinkaareen ja sisäilmaston terveellisyyteen. Paine-erot rakennuksessa johtuvat yleensä ulkoilma- ja ulospuhallusilmavirtojen epätasapainosta. (13, s. 26.)

Painesuhteet rakennuksen vaipan yli ja rakennuksen tilojen välillä mitataan paine-eromittarilla. Paine-eromittari varustetaan paine-eromittaukseen soveltuvalla letkulla ja kapillaariputkella, jonka voi laittaa oven väliin. Kapillaariputkena voidaan käyttää esimerkiksi 0,9 mm x 2,20 mm kupariputkea, joka on tarpeeksi pieni ulkohalkaisijaltaan ja mahtuu oven tai ikkunan puitteen ja karmin väliin.

2.5.5 Lämmönsiirtonesteen pakkasenkestävyys

Ylipainehallin ja päärakennuksen sosiaalitilojen ilmanvaihtokoneissa lämmönsiirtonesteinä käytetään etyleeniglykolia. Lämmönsiirtonesteellä tulee olla riittävä pakkasenkestävyys, jotta se ei jäädy jäähän kovimmilla pakkasilla tai häiriön sattuessa. Etyleeniglykolin pitoisuudella on merkitystä nesteen ominaislämpökapasiteettiin, viskositeettiin ja tiheyteen. Seoksen glykolipitoisuus ei saa olla liian pieni eikä liian suuri.

Refraktometrillä mitataan nesteen pakkasenkestävyys. Refraktometri näyttää nesteen pakkasenkestävyyden lämpötila-alueella $-50 - 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja lämpötilan perusteella voidaan selvittää nesteen ominaisuudet. Tärkeimpiä nesteen ominaisuuksia ovat lämpökapasiteetti ja tiheys. (Kuva 9.)



KUVA 9. Refraktometri

Mittari on kalibroitava ennen mittauksia. Mittarin vesilinja tulee säätää kääntämällä mittarissa olevaa ruuvia, jolloin tislattulla vedellä saadaan asetettua lämpötila-asteikon nollakohta mittariin oikein. (Kuva 10.) Mittarin vesilinjan säätämisellä kalibroidaan mittari näyttämään oikeata lämpötilaa nesteen pitoisuuden mukaan.



KUVA 10. Vesilinjan säätäminen

3 YLIPAINEHALLI

Ylipainehalli on kahdesta PVC-kankaasta toteutettu kuplan muotoinen halli, jonka rakenteita tuetaan ilmanvaihdon tuottamalla paineella. Paineen säätö on toteutettu käsikäyttöisellä potentiometrillä, jolla ohjataan poistoilmapellin asentoa. Poistoilmapellin sulkeminen aiheuttaa suuremman paine-eron ja hallin sisällä paine kasvaa. Paineita saadaan muutettua hallin sisällä noin 120–300 Pa sääolosuhteiden mukaan. Ylipainehallin koko on 34 m x 54 m x 12 m ja pinta-ala 1836 m². (Kuva 11.)



KUVA 11. Ylipainehalli

Ylipainehalli palvelee ympäri vuoden tenniksen ja golfin pelaajia. Kesäisin halli on vähemmällä käytöllä, koska pelaajat siirtyvät ulkoilmakentille. Halli on jaettu kahteen osaan, josta golf-tilat ovat hallin takaosassa ja tenniskentät etuosassa. Hallin sisällä on kaksi tenniskenttää, golfrata ja golfsimulaattori.

3.1 Ilmanvaihto ja lämmitys

Ylipainehallin lämmitys ja ilmanvaihto on toteutettu ilmanvaihtokoneella, jossa sisäänpuhallusilma koostuu poisto- ja raitisilmasta. Ylipainehallin ilmanvaihdossa lämmitysmuotona on kaukolämpö. Kaukolämmöstä saatava lämpöenergia johdetaan etyleeniglykolin välityksellä ylipainehallin sisäänpuhallusilmaan lämmitys-

patterin avulla. Kaukolämpöverkosta lämpöenergia johdetaan ilmanvaihtokoneelle lämmönvaihtimen avulla, ja väliaineena on etyleeniglykoli. Väliaineeksi on valittu etyleeniglykoli pakkasenkestävyyden takia, koska väliaine voi jäätyä kaukolämmön jakeluhäiriön vuoksi ja aiheuttaa mittavan vahingon. Järjestelmässä kiertävän etyleeniglykolin ja veden seoksen pakkaskestävyys on mittausten perusteella -30 °C ja glykolipitoisuus on 45 til-%. Varasäiliössä olevan nesteen pakkaskestävyys on noin -52 °C . Ohjelmasta ei saanut glykolipitoisuutta näin vahvalle nesteelle. Etyleeniglykolin ja veden seoksen ominaisuudet on otettu Cool-Pack ohjelmasta. (14.)

Ilmanvaihtokoneessa on dieselkäyttöinen varapuhallin, jolla varmistetaan ylipainehallin pystyssä pysyminen sähkökatkon tai vaikeiden sääolojen aikana. Varapuhaltimen sisäänpuhallusilma on lämmittämätöntä ulkoilmaa. Puhallinta ohjataan paine-eroanturilla, joka mittaa paine-eroa vaipan yli. Paine-eron laskiessa alle tavoitearvon varapuhallin kytkeytyy päälle.

3.2 Sähköenergia

Ylipainehallin sähköenergiankulutus koostuu hallin valaistuksesta ja lämmityksen jaosta. Valaistus on toteutettu 1 kW:n tehoisilla monimetallilampuilla, joita on 15 kappaletta ja yhdellä 60 W:n tehoisella ulkovalaisimella. Valaistusta ohjataan hallin aukioloaikojen mukaan. Kentän yläosassa katto on valkea, ja luonnonvalo valaisee sisätiloja hyvin vuoden valoisimpina aikoina. Neljän kuukauden aikana valaistusta ei pidetä päällä.

Lämmönjaossa sähkölaitteita ovat ilmanvaihdon puhallin, kiertovesipumppu ja lämmön säätölaitteisto. Ilmanvaihdon puhaltimen moottorin kilpiarvot ja pätöteho löytyvät taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Ylipainehallin puhaltimen kilpiarvot ja pätöteho

Puhallin	Jännite U [V]	Virta I [A]	Tehokerroin $\cos \varphi$	Nopeus [rpm]	Akseliteho P [kW]	Pätöteho P [kW]
Tulo	380	22,5	0,84	1460	11	12,44

Puhallin käy jatkuvasti ylipainehallin pystyssä pysymisen vuoksi. Moottorin päto-
teho saadaan laskettua kaavalla 9 (5, s. 14).

$$P_{\text{pätöteho}} = \sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 22,5 \text{ A} \times 0,84 = 12\,440 \text{ W} = 12,44 \text{ kW}$$

Kiertovesipumpun ottama sähköteho saadaan keskimääräisen virtaaman avulla valmistajan tuotteiden valintaohjelmalla. Sähkötehoksi saadaan 0,248 kW pum-
pun valmistajan valintaohjelmalla (15). Lämmityksen 2-tiemoottoriventtiin, sää-
töyksikön ja ilmanvaihtokoneen peltimoottorin sähkönkulutus on marginaalisen
pieni verrattuna ylipainehallin kokonaiskulutukseen, ja niitä ei huomioida las-
kuissa. Kaukolämmön kesäsulku ja lämmityspiirin kiertopumppu ovat kiinni tou-
kokuun alusta syyskuun puoliväliin asti.

Ylipainehallin sähköteho on 12,704 kW, kun halli on suljettu asiakkailta ja valoja
ei ole kytketty päälle. Hallin sähköteho on käyttöaikana 27,763 kW, kun valot ja
lämmitys on kytketty päälle. Ylipainehallin sähköenergian kulutus vuoden ajalta
löytyy taulukosta 2.

*TAULUKKO 2. Ylipainehallin sähköenergian laskennallinen kulutus vuoden ai-
kana*

Laite	Käyttöaika [h/vrk]	Käyttöaika [vrk/vuosi]	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	13	240	15060	46987	4436	29,9
Puhallin	24	365	12440	108971	10287	69,2
Pumppu	24	227	264	1438	136	0,9
Yhteensä	-	-	27763	157396	14858	100,0

4 PÄÄRAKENNUS

Päärakennus on valmistunut vuonna 1990. Rakennuksessa sijaitsee kahvila ja ravintola, urheiluvälineiden myymälä, keittiö, saunakabinetti, toimistotiloja, pukuhuoneita, saunat ja suihkutilat, neljä tenniskenttää, kiipeilytila, kahdeksan sulkapallokenttää ja viisi squash-kenttää. Rakennuksessa on kolme ilmanvaihtokoneetta ja kaksi teknistä laitetilaa, joista ensimmäinen palvelee päärakennusta sekä ylipainehallia ja toinen laajennusrakennusta eli salibandyhallia. Ulkoseinät on rakennettu 80 mm:n vahvaisilla polyuretaanielementeillä, ja katon rakenne on alhaalta ylöspäin seuraava: aaltopelti, muovi, kovavillaeriste ja huopa. (Kuva 12.)



KUVA 12. Päärakennus

Rakennuksen pinta-ala on 133 m x 38 m, josta

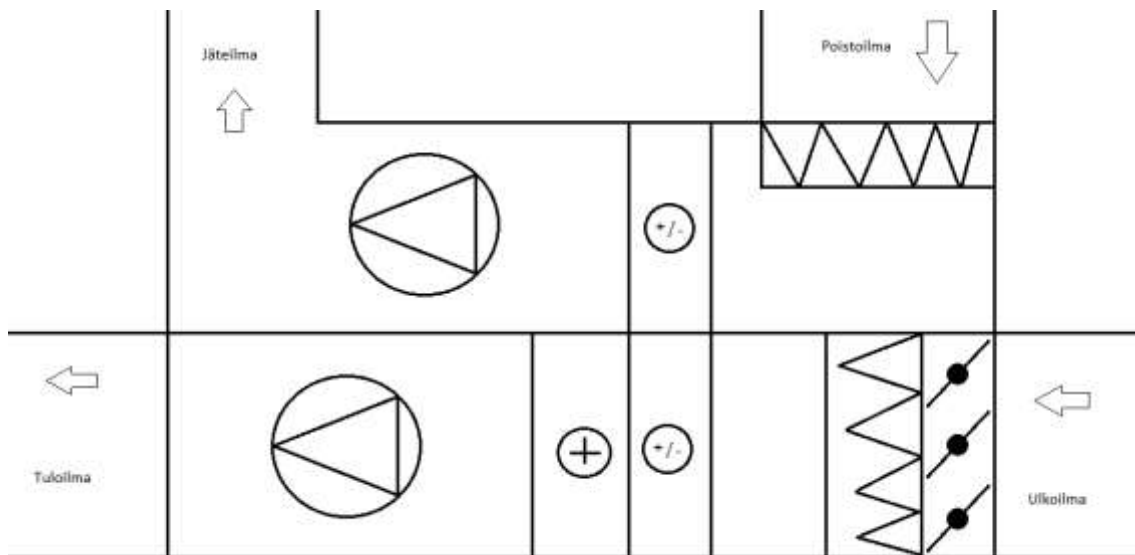
- sosiaalityötilojen pinta-ala on 10 m x 38 m.
- tennishallin pinta-ala on 93 m x 38 m.
- sulkapallohallin pinta-ala on 30 m x 38 m.

4.1 Ilmanvaihto ja lämmitys

Rakennuksen sisätilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergia saadaan kaukolämmöstä. Rakennus on jaettu ilmanjaon palvelualueittain kolmeen osaan: sosiaalityötilat, tennishalli ja sulkapallohalli, joka sisältää squash-kenttät.

4.1.1 Sosiaalitulat

Sosiaali- ja toimistotilojen ilmanvaihto on toteutettu ilmanvaihtokoneella, jossa on glykolilämmöntalteenotto, sekä keittiötiloissa olevalla kahdella huippumurilla. Ilma jaetaan toimitiloihin ja alueille sekoittavalla periaatteella päätelaitteiden avulla. Sisäänpuhallusilma sekoittuu huoneenilmaan ja laimentaa syntyneiden epäpuhtauksien pitoisuuksia. Huippumurit palvelevat keittiön kohdepoistoja ja poistavat epäpuhtaudet, joita syntyy ruoanlaitossa. Sosiaalitulojen ilmanvaihtokoneen suunnitellut ilmavirrat ovat sisäänpuhallusilmalle 2,7/1,35 m³/s ja poistoilmalle 2,0/1,0 m³/s. Ilmanvaihtokoneen käyntitehot ovat 0, ½ tai 1. Koneetta käytetään puolella teholla jatkuvasti. Kuvassa 13 on esitetty havainnollistamiskuva sosiaalitulojen ilmavaihtokoneesta.



KUVA 13. Sosiaalitulojen ilmanvaihtokone

Lämmitys on toteutettu radiaattoreilla ja sähkölattialämmityksellä. Sähkölattialämmitystä on naisten puku- ja pesuhuoneessa sekä saunakabinetin pesuhuoneessa ja saunassa. Radiaattoreilla lämmitetään muut sosiaalitulat.

4.1.2 Tennishalli

Tennishalli sijaitsee sosiaalitulojen ja sulkapallohallin välissä. Tennishallin ilmanvaihtokone palvelee neljää tenniskenttää, neljää sulkapallokenttää ja niiden yhdyskäytäviä ensimmäisessä sekä toisessa kerroksessa.

Tenniskenttien ja sulkapallokenttien 1–4 lämmitys ja ilmanvaihto on toteutettu kiertoilmakojeella, jossa ei ole erillistä lämmöntalteenottoa. Sisäänpuhallusilma lämmitetään halutun suuruiseksi vesikiertoisella lämmityspatterilla. Ilma tuodaan ilmanvaihtokanavaa pitkin halliin kenttien toiseen päähän ja jaetaan sisälle kenttien reunoilta yhdeksästä kohdasta hieman alaviistoon suunnatuilla suuttimilla (kuva 14). Ilma poistetaan hallista yhdestä hallin päädyssä olevasta poistoilmasäleiköstä. Ilmanvaihtokoneen suunnitellut ilmavirrat ovat tuloilmalle ja poistoilmalle 4,1 m³/s koneen ollessa täydellä teholla ja 2,05 m³/s, kun kone on puolella teholla. Koneita käytetään puolella teholla ja kone on käynnissä jatkuvasti. Keskus sisältää seuraavat alkuperäiset T & A:n laitteet: TS, TA221R ja TA325FC.

Tennishalliin on asennettu kuusi kiertoilmapuhallinta, jotka kierrättävät ilmaa pelialustan ja betonilattian välissä. Ilmankierrätyksellä ilmastoidaan betonilattian ja pelialustan välinen ilmatila.

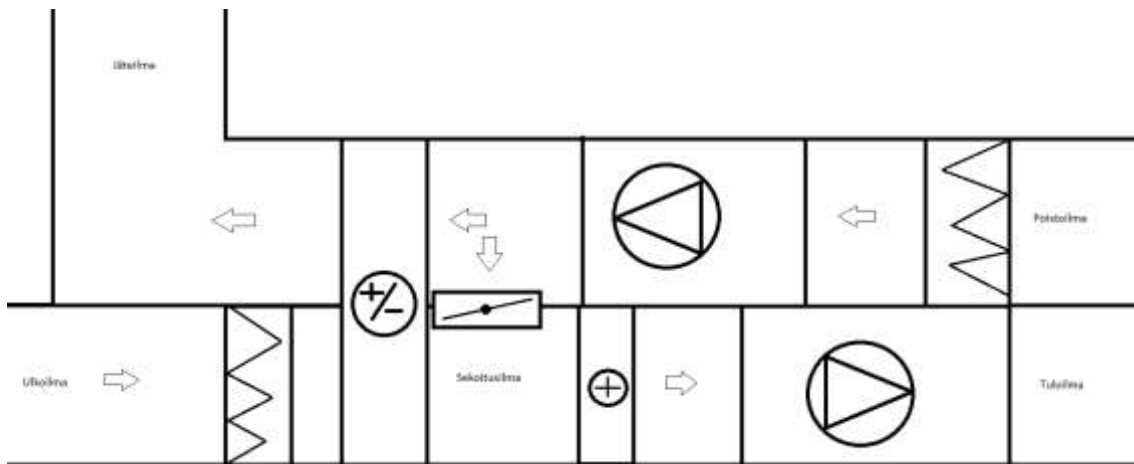


KUVA 14. Tennis- ja sulkapallokenttien ilmanjako

4.1.3 Sulkapallohalli

Sulkapallohalli sijoittuu päärakennuksen päätyyn, ja aluetta palvelee oma ilmanvaihtokone. Hallin pelialueisiin kuuluu neljä sulkapallokenttää, kiipeilytila ja viisi squash-kenttää. Halli on erotettu erilliseksi palo-osastoksi tennishallista päärakennuksen sisällä.

Sulkapallohallin lämmitys ja ilmanvaihto on toteutettu ilmalämmityksellä. Ilmalämmityksessä huonetilaan jaettava sisäänpuhallusilma koostuu kierrätys- ja raitisilman sekoituksesta. Sisäänpuhallusilma lämmitetään ilmanvaihtokoneessa halutunlaiseksi lämmöntalteenotolla ja vesikiertoisella lämmityspatterilla. Huonetilaan puhallettavan sisäänpuhallusilman täytyy olla lämpimämpää kuin huonetilan lämpötila. Sisäänpuhallusilman lämpötilaa ohjataan poistoilman ja huonetilan keskiarvolämpötilan mukaan. Ilmanvaihtokoneen tehoasentoja on kolme, 0, ½ ja 1. Koneikkoa käytetään puoliteholla yhtäjaksoisesti, koska koneikon ilmamäärä riittää ylläpitämään halutun huonelämpötilan. Ilmanvaihtokoneen suunnitellut tulo- ja poistoilmavirrat ovat saman suuruiset ja teho asetuksella muutettavissa 4,1 m³/s tai 2,05 m³/s välillä. Kuvassa 15 on esitetty havainnollistamiskuva sulkapallohallin ilmanvaihtokoneesta.



KUVA 15. Sulkapallohallin ilmanvaihtokone

Sulkapallokentille on asennettu kaksi kiertoilmapuhallinta, jotka kierrättävät ilmaa pelialustan ja betonilattian välissä. Ilmankierrätyksellä ilmastoidaan betonilattian ja pelialustan välinen ilmatila.

4.2 Sähköenergia

Päärakennuksen sähköenergian kulutus on jaettu yhteisten tilojen, sosiaalityötilojen, tennis- ja sulkapallohallin kesken. Yhteisiin tiloihin kuuluvien lämmönjakohuoneen lämmityspiirin pumpun, lämpimän käyttöveden kiertopumpun ja ulkovalaistuksen kulutustiedot löytyvät taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Ulkovaistuksen, lämmityksen pääpumpun ja lämpimän käyttöveden kiertopumpun laskennallinen sähköenergian kulutus

Laite	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	7500	11438	1080	64,9
Pumppu	706	6185	584	35,1
Yhteensä	8206	17623	1664	100,0

4.2.1 Tennishalli

Tennishallin sähköenergian kulutus koostuu valaistuksesta sekä ilmanvaihdon puhaltimista, pumpusta ja säätölaitteista. Valaistuksessa on käytetty loisteputki- ja led-valaisimia ja niitä ohjataan käyntioloaikojen mukaan. Lämmitysjärjestelmän kiertopumpun tyyppi on Wilo S40/80r, jonka tehoasetus on 4. Virtaamalla 1,05 dm³/s internetistä löytyvällä Wilo-Select 4 -mitoitusohjelmalla sähkönottotehoksi saadaan 169 W (16). Puhaltimet toimivat puolella teholla, ja niiden kilpiarvot ja pätöteho on esitetty taulukossa 4. Lämmönsäätölaitteiston sähköenergian kulu- tusta ei ole erikseen arvioitu.

TAULUKKO 4. Tennishallin puhaltimien kilpiarvot ja pätöteho

Puhallin	Jännite U [V]	Virta I [A]	Tehokerroin cos φ	Nopeus [rpm]	Akseliteho P [kW]	Pätöteho P [kW]
Tulo	380	3,2	0,66	725	0,85	1,39
Poisto	380	2	0,66	725	0,5	0,87

Tennishallin sähköenergian kulutus on jaettu kolmeen osaan, ja tiedot löytyvät taulukosta 5.

TAULUKKO 5. Tennishallin sähköenergian kulutus

Laite	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	17028	79470	7502	75,8
Puhallin	2733	23940	2260	22,8
Pumppu	169	1480	140	1,4
Yhteensä	19930	104890	9902	100,0

4.2.2 Sosiaalitulat

Sosiaalitulojen sähköenergian kulutus koostuu sisä- ja ulkotilojen valaistuksesta, lattialämmityksestä, ilmanvaihdosta, toimistojen sähkölaitteista, saunojen kiuksista, keittiön laitteista ja kylmäkoneista. Sisätilojen valaistusta ohjataan käyntioloaikojen mukaan. Ulkotilojen valaistusta ohjataan hämärä- ja aikakytkimellä. Sähkölattialämmitys on saunakabinetissa ja naisten pukuhuoneen kosteissa tiloissa päällä jatkuvasti.

Lämmönjaossa sähkölaitteita ovat glykoli-ilmanvaihtokoneen puhaltimet, kaksi kiertoilmapuhallinta, lämmöntalteenoton ja lämmityspatterin kiertovesipumput ja lämmön säätölaitteisto. Puhaltimet ja huippuimurit on asetettu toimimaan puolella teholla. Glykoli-ilmanvaihtokoneen puhaltimien moottoreiden kilpiarvot on esitetty taulukossa 6. Huippuimureiden tiedot on otettu koneiden teknisestä dokumentista, koska kilpiarvotietoja ei ollut saatavilla. Kiertovesipumppujen sähkönkulutus on arvioitu pumpun valmistajan Wilo-Select 4 -mitoitushjelmalla (16). Lämmön säätölaitteiston sähköenergian kulutusta ei ole erikseen arvioitu.

TAULUKKO 6. Glykoli-ilmanvaihtokoneen puhaltimien kilpiarvot ja pätöteho

Puhallin	Jännite U [V]	Virta I [A]	Tehokerroin $\cos \varphi$	Nopeus [rpm]	Akseliteho P [kW]	Pätöteho P [kW]
Tulo	380	2	0,66	725	0,5	0,87
Poisto	380	1,7	0,68	725	0,4	0,76

Sähköenergian kulutustarkastelu on jaettu kuuteen osaan taulukon 7 mukaan. Kiukaiden teho on arvioitu siten, että ensimmäisen tunnin aikana kiuas on koko ajan päällä ja seuraavien tuntien aikana kiuas on puolet ajasta kiinni. Sähkölattialämmityksen tietoja ei ollut käytettävissä, joten teho on arvioitu pinta-alan mukaan ja tehona on käytetty 100 W/m^2 . Taulukossa 7, muut laitteet sisältävät mm. kylmälaitteiden, oleskelutilojen, toimistojen ja kahvilan sähkölaitteiden sähköenergian kulutuksen.

TAULUKKO 7. Sosiaalitulojen laskennallinen sähköenergian kulutus

Laite	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	6634	22351	2110	14,7
Puhallin	1875	16422	1550	10,8
Pumppu	1660	14542	1373	9,6
Kiuas	42600	46885	4426	30,9
Muu	18756	22750	2148	15,0
Lämmitys	3310	28996	2737	19,1
Yhteensä	74835	151945	14344	100,0

4.2.3 Sulkapallo ja squash

Sulkapallohallin sähköenergian kulutus koostuu ilmanvaihtokoneiden puhaltimista ja pumpuista sekä pelialueiden valaistuksesta ja kiertoilmapuhaltimista. Sähköenergian kulutuksesta suurin osa menee valaistukseen, koska valaistuksessa käytetään loisteputkivalaisimia. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkönkulutus laskettiin kilpiarvoja käyttäen ja tiedot on esitetty taulukossa 8 ja 9. Taulukossa 8 on laskettu ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistopuhaltimen pätöteho kaavalla 9 käyttäen puhaltimien kilpiarvoja.

TAULUKKO 8. Sulkapallohallin ilmanvaihtokoneen puhaltimien kilpiarvot ja pätöteho

Puhallin	Jännite U [V]	Virta I [A]	Tehokerroin $\cos \varphi$	Nopeus [rpm]	Akseliteho P [kW]	Pätöteho P [kW]
Tulo	380	3,2	0,66	725	0,85	1,39
Poisto	380	3,2	0,66	725	0,85	1,39

Taulukosta 9 nähdään, kuinka sähköenergiankulutus jakautuu sulkapallohallissa. Valaistuksen teho laskettiin loisteputkien teholla, määrällä ja arvioimalla päivittäistä ja vuosittaista käyttöaikaa. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin pumpun sähköteho saatiin Wilo-Select 4 -mitoitusohjelmalla, kun tiedettiin pumpun teho asento ja virtaama (16). Ilmanvaihtokoneen säätöjärjestelmän, peltimoottorien ja lämmöntalteenoton moottorin sähkönkulutusta ei ole huomioitu laskelmissa, koska niiden merkitys jää pieneksi. Ilmanvaihtokoneen puhaltimet ja lämmityspatterin pumppu ovat päällä yhtäjaksoisesti. Pelialueiden valaistusta ohjataan käytön sekä urheilukeskuksen aukioloaikojen mukaan manuaalisesti.

TAULUKKO 9. Sulkapallo ja squashallien laskennallinen sähköenergian kulutus

Laite	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	15312	71461	6746	72,8
Puhallin	2870	25143	2373	25,6
Pumppu	171	1501	142	1,5
Yhteensä	18354	98105	9261	100,0

5 SALIBANDYHALLI

Salibandyhalli on valmistunut vuonna 2009. Ulkoseinät ja katto on rakennettu polyuretaanielementeillä. Rakennuksessa sijaitsee sosiaalitilat, väestönsuoja, ilmanvaihtokonehuone, kaksi salibandykenttää sekä sisätila, jossa voi pelata esimerkiksi pingistä. (Kuva 16.)



KUVA 16. Salibandyhalli

Rakennuksen koko on 52,825 m x 47,850 m x 8,9 m.

- salibandykenttien osuus alueesta on 43 m x 47 m.
- sosiaalityötilojen ja väestönsuoja osuus alueesta on 9 m x 47 m.

5.1 Ilmanvaihto ja lämmitys

Ilmanvaihto on toteutettu kahdella ilmanvaihtokoneella, joista toinen palvelee sosiaalityötiloja ja toinen salibandyhallia. Sosiaalityötilojen ilmanvaihtokoneessa on ristivirtalevyllämmönsiirrin ja salibandyhallin ilmanvaihtokoneessa on pyörivä lämmöntalteenotto.

Sosiaalityötiloja lämmitetään vesikiertoisella lattialämmityksellä, kiertoilmakojeella ja vesiradiaattoreilla. Lattialämmitys on asennettu naisten ja miesten pukuhuoneisiin sekä vessoihin, ja kaksi kappaletta radiaattoreita on ilmanvaihtokonehuoneessa ja väestönsuojassa. Sosiaalityötilojen lattialämmityksen toimintaa tarkasteltaessa huomattiin, että putkistossa ei virrannut vettä vaikka pumppu oli päällä. Lattialämmityspiirissä oli tukoksia ja pumppu oli mennyt jumiin verkostossa olevien roskien takia. Työssä ei lasketa lattialämmityspiirin tehoa eikä kuluttamaa

energiaa. Kiertoilmakojeen ja sosiaalitulojen radiaattoreiden tehoa tarkastellaan ilmanvaihtokoneiden mittauksien ja energiamittareiden lukemien perusteella.

5.1.1 Sosiaalitulojen ilmanvaihto

Sosiaalitulojen ilmanvaihtokone palvelee vessoja, pukuhuoneita, siivouskomeroa, väestönsuojaa ja tennishuonetta. Ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenottona ristivirtakenno ja jälkilämmityspatteri on vesikiertoinen. Huurteenestotoimintona on ohituspelti, jonka asennot ovat ON ja OFF. Huurteenestotoiminnon aktivoituessa säädin säättää tuloilmapuhaltimen tehon minimille, jolloin poistoilma sulattaa lämmöntalteenottokennon.

Ilmanvaihtokonetta ohjataan kokonaisuudessaan Ouman EH-105 -säätimellä. Käyttöaikaohjaukseksi on säädetty, että koneikko käy aina paitsi kello 01.00–08.00. Ilmavirtaa on rajoitettu ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötilan ollessa

–5 °C tai alle puhaltimet toimivat minimiteholla. Minimitehot ovat tuloilmapuhaltimelle 49 % ja poistoilmapuhaltimelle 51 % maksimitehosta. Ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhallin toimii 85 %:n ja tuloilmapuhallin 79 %:n teholla maksimitehosta, kun ulkolämpötila on +15 °C tai suurempi. Koneikon puhaltimien teho skaalautuu minimi- ja maksimitehojen välille lineaarisesti ulkolämpötilan vaihdelta –5 °C:sta +15 °C:seen.

5.1.2 Salibandyhallin ilmanvaihto

Salibandyhallin ilmanvaihtokone palvelee kahta salibandykenttää. Ilmanvaihtokoneessa on pyörivä lämmöntalteenotto, ja jälkilämmityspatteri on vesikiertoinen. Huurtumisenesto alkaa toimia, kun ulkolämpötila on –8 °C.

Ilmanvaihtokoneen säätöarvot ja ohjaus on toteutettu Ouman EH-105 säätimellä. Ilmanvaihtokoneen käyttöaika on arkisin kello 9–23.30 ja viikonloppuisin kello 8–23.30. Puhaltimia ohjataan ulkolämpötilan mukaan, että puhaltimet menevät maksimiteholle, kun ulkolämpötila on +18 °C tai suurempi ja minimiteholle ulkolämpötilan ollessa –5 °C tai pienempi. Minimiteho tulo- ja poistoilmapuhaltimille on 50 % maksimista ja maksimiteho on 100 %. Kiertoilmapeltiä ohjataan hiilidioksidimittauksen perusteella kaikilla tehoasunnoilla. Minimiraja-arvo poistoilman

hiilidioksidin määrälle on 500 ppm ja maksimiraja-arvo on 700 ppm. Kun hiilidioksidipitoisuus kasvaa niin kone ohjaa kiertoilmapeltiä pienemmälle ja suurentaa ulkoilman määrää sisäänpuhallusilmassa, jolloin hiilidioksidipitoisuus hallissa pienenee.

5.2 Sähköenergia

5.2.1 Sosiaalitilat

Salibandyhallin sosiaalitilojen sähköenergian kulutus koostuu valaistuksesta, ilmanvaihtokoneen puhaltimista ja pumpusta ja saunatilojen kiukaista. Taulukossa 10 esitetään laskettu ilmanvaihtokoneen puhaltimien ottama pätöteho. Laskennassa käytettiin puhaltimen kilpiarvotietoja ja valmistajan tietoja. Kaavalla 9 laskettiin puhaltimen ottama pätöteho, kun katsottiin puhaltimen teknisistä tiedoista ottama virta käytetyillä ilmavirroilla. Puhaltimien pätötehoksi saatiin 0,87 kW.

TAULUKKO 10. Sosiaalitilojen puhaltimien laskennan tiedot ja pätöteho

Puhallin	Jännite U [V]	Virta I [A]	Tehokerroin $\cos \varphi$	Nopeus [rpm]	Akseliteho P [kW]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Pätöteho P [kW]
Tulo	230	2,723	0,8	1420	0,5	660	0,87
Poisto	230	2,745	0,8	1420	0,4	682	0,87

Taulukossa 11 esitetään sosiaalitilojen sähköenergian kokonaiskulutus vuoden ajalta ja jakautuma osa alueittain. Sosiaalitilojen valaistusta ohjataan tilojen aukioloaikojen mukaan ja valaistuksessa käytetään suurimmakseen osaksi loisteputkivalaisimia. Suurimman osan sähkön kulutuksesta vie kiukaat, joista naisten saunassa on heti valmis –kiuas ja miesten saunan kiuas on aikakytkimellä ohjattava. Miesten saunan kiuasta ohjataan aikakytkimellä ja käyttöaika on 8 tuntia päivässä. Naisten saunatilojen kiuasta ohjataan paikallisesti käytön mukaan, ja arvioitu käyttö on 4 tuntia päivässä.

TAULUKKO 11. Salibandyhallin sosiaalitilojen laskennallinen sähköenergian kulutus

Laite	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	4417	20098	1897	33,1
Puhallin	1743	10813	1021	17,8
Pumppu	150	1317	124	2,2
Kiuas	28150	28436	2684	46,9
Yhteensä	34460	60663	5727	100,0

5.2.2 Salibandyhalli

Salibandyhallin sähköenergiankulutus koostuu kahden salibandykentän valaistuksesta, ilmanvaihtokoneen puhaltimien ja kiertopumpun sähköenergian kulutuksesta. Valaisimia on yhdellä pelikentällä 80 kappaletta. Jokaisessa valaisimessa on kolme 49 W:n tehoista loisteputkea. Valaistusta ohjataan hallin aukioloaikojen mukaan. Taulukossa 12 on esitetty ilmanvaihtokoneen puhaltimien moottoreiden kilpiarvot ja pätöteho. Lämmitysjärjestelmän kiertopumpun tyyppi on Wilo TOP S40/4, jonka tehoasetus on 3. Virtaamalla 0,321 dm³/s internetistä löytyvällä Wilo-Select 4 -mitoitushjelmalla sähkönottotehoksi saadaan 143 W (16).

TAULUKKO 12. Salibandyhallin puhaltimien kilpiarvot ja pätöteho

Puhallin	Jännite U [V]	Virta I [A]	Tehokerroin cos φ	Nopeus [rpm]	Akseliteho P [kW]	Keskiteho [%]	Pätöteho P [kW]
Tulo	400	11,3	0,82	1450	5,5	0,68	4,37
Poisto	400	11,3	0,82	1450	5,5	0,68	4,37

Taulukossa 13 on esitetty salibandyhallin sähköenergian kulutus. Valaistuksen osuus on noin 67 % sähköenergian kulutuksesta, ja taajuusmuuttajaohjattujen puhaltimien kulutukseksi on arvioitu noin 32 % kokonaiskulutuksesta.

TAULUKKO 13. Salibandyhallin sähköenergian kulutus

Laite	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Valaistus	23520	97102	9166	67,3
Puhallin	8653	45916	4334	31,8
Pumppu	143	1252	118	0,9
Yhteensä	32316	144270	13619	100,0

6 MITTAUSTULOKSET

Mittaustuloksissa esitetään mittauksien ja laskelmien tulokset, joita opinnäyte-työssä tehtiin. Tuloksien perusteella pystyttiin määrittämään lämmitysenergian kulutus ilmanvaihtokone kohtaisesti ja palvelualueittain

6.1 Ylipainehalli

6.1.1 Lämpötilan kerrostuminen

Lämpötilakerrostuman mittauksista voidaan havaita, että ilmanjako toimii sekoit- tavasti ja sisäänpuhallusilma jakautuu tasaisesti ylipainehallin sisällä. Mittauksilla ei havaittu selkeästi kylmiä ja lämpimiä kohtia. Ilman lämpötiloissa on muutaman asteen vaihtelu eri korkeuksilla, ja se on sallittu, koska tasaisesti kerrostunut ilman lämpötila vaatisi tehokkaamman ilmanvaihtopuhaltimen. Tehokkaampi ilmanvaihtopuhallin sekoittaisi hallin sisällä olevan ilman paremmin, mutta se voisi aiheuttaa vedon tunnetta käyttäjille ja vaatisi lämmitysjärjestelmän päivittä- misen lisääntyneen tehontarpeen takia. Lämpötilan kerrostumisen mittauksilok- set on esitetty taulukoissa 14 - 17 mittauspaikkakohtaisesti. Ylipainehallin ilman kerrostuneisuuden lämpötilamittaukset tehtiin 31.1.2018 kello 15–16 ja ulkoläm- pötila oli –8 °C.

TAULUKKO 14. Golfkentän ilman kerrostuman lämpötilamittaus keskeltä ja reu- nalta

No	Mittaus- korkeus [m]	Ilman lämpötila [°C]		
		Käytävän suuaukosta 5m vasemmalle	Keskellä käytävän suuaukkoa	Käytävän suuaukosta 5m oikealle
5	11	15,6	15,5	15,0
4	8,5	15,1	14,8	15,0
3	6	14,9	14,4	14,6
2	3,5	13,3	14,0	14,1
1	1	12,3	12,6	13,0
Lämpötilaero ΔT [°C]		3,3	2,9	2,0

TAULUKKO 15. Golfkentän ilman kerrostuman mittaus reunoilta ja päädyistä

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [°C]		
		Käytävän suuaukosta 10m vasemmalle	Käytävän kohdalla 9m päätyyn suuaukosta	Käytävän suuaukosta 10m oikealle
5	9,1	16,4	15,8	15,2
4	7	15,6	15,1	14,0
3	5,5	15,4	15,1	14,3
2	3,5	14,8	14,4	14,0
1	1	12,7	12,5	12,1
Lämpötilaero ΔT [°C]		3,7	3,3	3,1

TAULUKKO 16. Tenniskentän ilman kerrostumien mittaus käytävän kohdalta

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [°C]		
		Käytävä takimmaisesta puoliskon keskellä	Käytävä verkon kohdalla	Käytävä etummaisesta puoliskon keskellä
5	9,1	16,9	16,4	16,7
4	7	15,9	15,8	15,6
3	5,5	16,0	15,5	15,3
2	3,5	15,3	15,2	14,6
1	1	13,2	13,6	13,7
Lämpötilaero ΔT [°C]		3,7	2,8	2,9

TAULUKKO 17. Tenniskentän ilman kerrostumien mittaus tenniskentältä

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [°C]	
		Oikea kenttä etummaisesta puoliskon keskeltä	Vasen kenttä etummaisesta puoliskon keskeltä
5	7,1	15,3	15,3
4	5,8	14,5	14,8
3	4,8	14,1	14,6
2	3,5	13,6	14,3
1	1,0	12,6	12,6
Lämpötilaero ΔT [°C]		2,7	2,7

6.1.2 Ilmanvaihdon toiminta

Ylipainehallin ilmavirtojen suuruudet mitattiin kuumalanka-anemometrillä hallin seinässä olevien poistoilma- ja tuloilmakanavien suuaukosta metallisen kanavaosan reunan kohdalta. Poistoilma-aukko on suojattu verkolla, ja sen takana on säleikkö, jolla säädetään hallin ylipaineisuutta. Tuloilma-aukon edessä on tuloilmakammio, johon liittyy kaksi kanavaa ja joiden edessä on suojasäleiköt. Läm-

mitetty ilma puhalletaan sisään pääpuhaltimen avulla vasemmanpuoleisesta kanavasta. Oikeanpuoleinen kanava liittyy varapuhaltimeen. Kanava on käytössä, kun tarvitaan painetta lisää halliin tai pääpuhallin ei ole päällä. (Kuva 17.)



KUVA 17. Ylipainehallin poistoilma-aukko vasemmalla ja tuloilma-aukko oikealla

Poisto- ja tuloilma-aukko sijaitsevat vierekkäin hallin vasemmalla sivustalla. Tuloilma-aukon edessä on ilmanohjain, jolla ohjataan sisäänpuhallusilma hallin yläosaa kohti (kuva 18).



KUVA 18. Ylipainehallin tulo- ja poistoilma-aukko

Poistoilmavirtauksen nopeus, lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin pysty- ja vaakasuunnassa 11 kohdasta. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 18. Mittaukset tehtiin 7.2.2018 kello 9–10. Mittaushetkellä ulkoilman lämpötila oli –12 °C ja suhteellinen kosteus 80 %.

TAULUKKO 18. Ylipainehallin poistoilmavirtauksen nopeus

Pystysuunta					Vaakasuunta				
Nr.	Kohta [mm]	v [m/s]	T [°C]	%RH	Nr.	Kohta [mm]	v [m/s]	T [°C]	%RH
1	35	9,1	9,3	19	1	35	8,7	8	20,3
2	125	10,3	9,5	18,5	2	125	7,7	7,6	20,4
3	215	10,3	9,4	18,5	3	215	8,6	7,5	21,6
4	295	10,1	9,2	18,9	4	295	7,5	8,1	20,1
5	385	9,8	8,5	19,6	5	385	8	8,9	19,6
6	475	9,3	8,3	19,9	6	475	7	9	19,3
7	565	9,6	7,9	20,5	7	565	8,8	8,5	20,2
8	655	9,4	7,5	21	8	655	7,5	9	19,4
9	745	9,9	6,6	22	9	745	8,3	8,8	20,1
10	835	9,6	6,7	22,3	10	835	9,2	8,6	20,3
11	925	4,5	7	22,1	11	925	7,2	9,2	19,7
KA		9,26	8,17	20,21	KA		8,05	8,47	20,09

Yhdistety keskiarvo

v [m/s]	8,65
T [°C]	8,32
%RH	20,15

Kanavan halkaisija 0,97 m

Poistoilmavirran suuruus lasketaan kaavalla 12 (4, s. 136).

$$q_v = \frac{\pi \times (0,97 \text{ m})^2}{4} \times 8,65 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tuloilmavirtauksen nopeus, lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin pysty- ja vaakasuunnassa 11 kohdasta. Tuloilmakammion ja tuloilma-aukon välissä ei ole ilmavirralla riittävän pitkää tasaantumisosaa. Tuloilma-aukon suulla oli havaittavissa voimakasta ilman turbulentsuutta, joka aiheuttaa mittaamiseen epätarkkuutta. Tämä aiheuttaa mittaustuloksiin virhettä. Ilmavirran nopeus vaihteli suuresti jokaisen mittauspisteen kohdalla, ja saatu lopputulos onkin vain suuntaa antava. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 19. Mittaukset tehtiin 7.2.2018 kello 8–9. Mittaushetkelle ulkoilman lämpötila oli –12 °C ja suhteellinen kosteus 80 %.

TAULUKKO 19. Ylipainehallin tuloilmavirran nopeus

Pystysuunta					Vaakasuunta				
Nr.	Kohta [mm]	v [m/s]	T [°C]	%RH	Nr.	Kohta [mm]	v [m/s]	T [°C]	%RH
1	40	10,3	35,3	2,7	1	20	5,6	32,3	3,4
2	150	6	35,9	2,5	2	130	3,6	31,7	3,6
3	260	7,9	36,7	2,3	3	240	2,5	31,3	3,7
4	370	7,6	36,1	2,4	4	350	2,6	31	3,8
5	480	7,3	36,4	2,3	5	460	2,8	31	3,8
6	590	6,4	36,3	2,3	6	570	3,9	31,1	3,8
7	700	6	36,1	2,3	7	680	4,8	31	3,8
8	810	5,1	35,9	2,4	8	790	8,1	31,3	3,8
9	920	10,1	36,3	2,3	9	900	8,4	31,4	3,7
10	1030	13,1	36,4	2,3	10	1010	9,1	31,5	3,7
11	1140	13,8	36,6	2,3	11	1120	9,2	31,6	3,6
KA		8,51	36,18	2,37	KA		5,51	31,38	3,70

Yhdistetyt keskiarvo

v [m/s]	7,01
T [°C]	33,78
%RH	3,04

Kanavan halkaisija 1,16 m

Tuloilmavirran suuruus lasketaan kaavalla 12 (4, s. 136).

$$q_v = \frac{\pi \times (1,16 \text{ m})^2}{4} \times 7,01 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

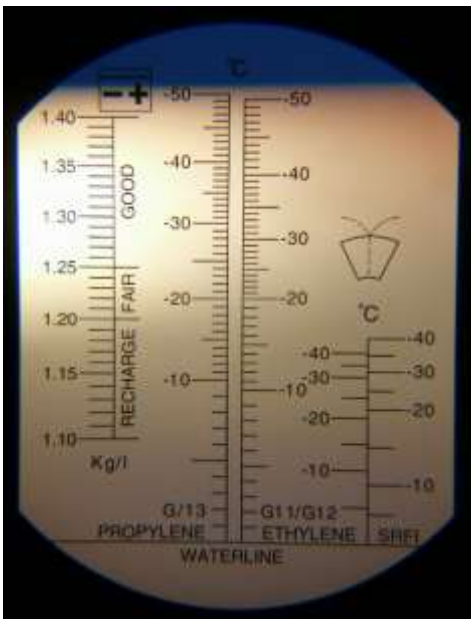
6.1.3 Etyleeniglykolin mittaust

Ylipainehallin lämmityspiirissä kiertävän etyleeniglykolin ja veden seoksen pakkasenkestävyydeksi mitattiin –30 °C, kun nestettä otettiin järjestelmästä mittausta varten. Seoksen glykolipitoisuus oli silloin 45 til-%. Myöhemmin samana päivänä dokumentointia varten otetussa näytteessä pakkasenkestävyys oli laskenut –29 °C:seen, ja seoksen glykolipitoisuus oli 44 til-% (14; kuva 19).



KUVA 19. Ylipainehallin etyleeniglykolin pakkaskestävyys

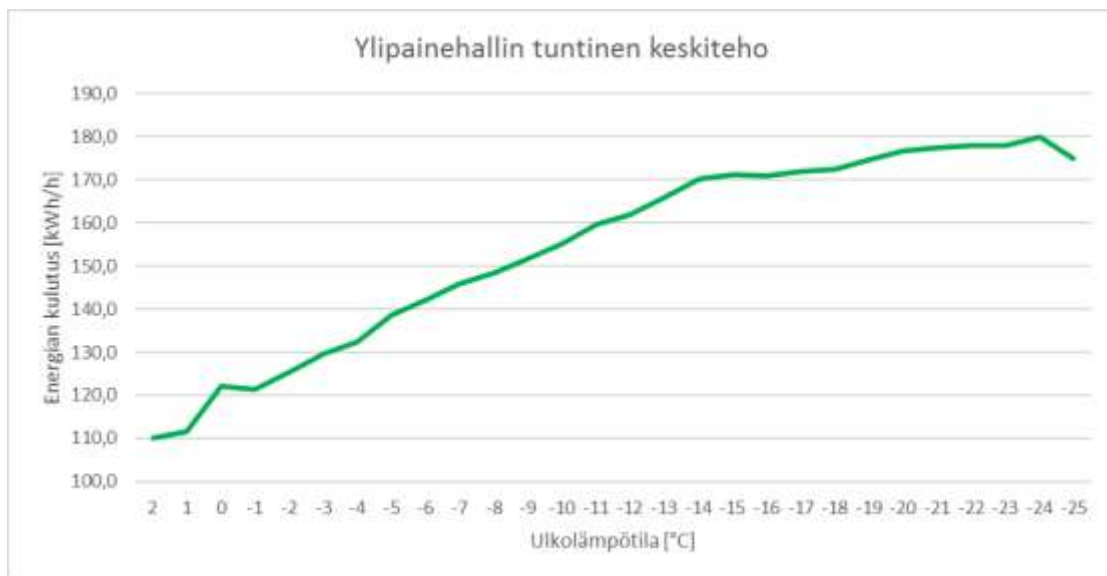
Lämmönjakohuoneessa olevassa säiliössä olevan etyleeniglykolin pakkasenkestävyys on noin -52 °C (kuva 20).



KUVA 20. Ylipainehallin etyleeniglykolisäiliön nesteen pakkasenkestävyys

6.1.4 Lämmitysjärjestelmä

Ylipainehallin ilmanvaihto- ja ilmanlämmityskoneen lämmityspatterin tehoa mitattiin jälkiasennetulla Kamstrup Multical 602 -lämpöenergiamittarilla kaukolämpöverkon puolelta. Mittauksella tarkasteltiin ylipainehallin hetkellistä tehoa sekä jatkuvaa energiankulutusta. Yhdistämällä energiamittauksella saadut kulutustiedot ja Ilmatieteenlaitokselta ladatut ulkolämpötilatiedot saatiin ylipainehallin energiankulutus ulkolämpötilan mukaan (kuva 21). Energiamittaus tiedot kerättiin välillä 8.1–1.3.2018. Kuvasta 21 on havaittavissa lämmitysteho hiipuminen, kun ulkona on pakkasta noin -15 °C tai enemmän.



KUVA 21. Energiamittauksen perusteella saatu ylipainehallin tuntinen keskiteho ulkolämpötilan mukaan järjestettynä

Lämpöenergiamittarin antamaa tulosta verrattiin erillismittauksien tehoihin ja ylipainehallin lämpöenergian kulutusta tarkasteltiin suhteessa kaukolämmön kokonaisenergian kulutukseen. Tehojen vertailussa huomattiin, että ylipainehalli kuluttaa noin 60 % kaukolämmön kokonaiskulutuksesta. Suuri kulutus johtuu ylipainehallin rakenteiden suurista lämpöhäviöistä. Ylipainehallin PVC-päälystettyjen kankaiden lämmöneristävyys ei ole kovin hyvä.

Lämmönvaihtimen ja ilmanvaihtokoneen patterin väliainenesteenä on 45 til-% etyleeniglykolia ja pakkasen kestävyys on -30 °C . Pienentämällä etyleeniglykolin pitoisuutta liuoksessa voitaisiin saada liuokselle parempi lämmönsiirtokyky. Jos

liuosta laimennetaan 30 til-%:n, liuksella olisi 5 % parempi kyky siirtää tehoa ja 2 % pienemmät painehäviöt samoissa lämpötiloissa. Painehäviön lasku pienentää pumpun nostokorkeutta ja kasvattaa virtaamaa järjestelmässä. Verkoston painehäviön pienemisen ja virtaaman suurenemisen vuoksi saadaan arviolta muutaman prosentin kasvu lämmitystehoon.

Lämmönjakohuoneessa olevan ylipainehallin lämmönsiirtimen mitoitus tiedot on esitetty taulukossa 20.

TAULUKKO 20. Ylipainehallin lämmönsiirtimen alkuperäiset mitoitus tiedot

Teho [kW]	550	
	Ensiö	Toisio
Virtaus [dm ³ /s]	5,5	7,9
Lämpötilat [°C]	110/85	90/72
Painehäviö [kPa]	18	19
Suunnittelupaine [bar]	16	16

Taulukko 21 on laadittu mittausten perusteella ja siinä on esitetty ylipainehallin ensiö- ja toisiopiirin virtaamat ja hetkellinen teho. Kaukolämmön energiamittaus tuloksien perusteella kaukolämmön keskimääräinen virtaus on mittausjaksolla ollut 1,5 dm³/s ja maksimissaan se on ollut 2,7 dm³/s. Ylipainehallin lämmityspiirin vesivirta on 0,93 dm³/s. Ensiöpuolen meno- ja paluulämpötilat ovat hyvin lähellä taulukossa 15 esitettyjä arvoja. Eniten mitoitusarvoista poikkesivat virtaamat ja toisiopuolen paluunesteen lämpötila. Lämmityspiirin pumpun UPS 32-120 F maksimivirtaama on noin 4,2 dm³/s ja Oraksen 411035-pumpunsäätöventtiilille noin 2 dm³/s (15; 17, s. 5). Toisiopuolen järjestelmä vaatisi uudelleen mitoituksen ja komponenttien uusimisen, jotta alkuperäisen mitoitus tehoon 550 kW olisi mahdollista päästä.

TAULUKKO 21. Ylipainehallin lämmityspiirin virtaamat ja lämpötilat ulkolämpötilassa n. -15 °C ja sisälämpötilassa n. 10 °C

Teho [kW]	170	
	Ensiö	Toisio
Virtaus [dm ³ /s]	1,65	0,93
Lämpötilat [°C]	105/80	93/45

Ylipainehallin lämmityspatterin ja lämmönsiirtimen mitoitustehoa voidaan arvioida laskennallisesti lämpökonduktanssin avulla. Lämpökonduktanssin keskiarvo $G = 7220 \text{ W/}^\circ\text{C}$ laskettiin energiamittarista saadun kaukolämmön keskimääräisen tehon, ulkolämpötilan ja ylipainehallin poistoilman lämpötilan avulla mittaustuloksista 14.2–21.2.2018 kello 24.00–07.00 ajalta. Mittausajankohtana halli oli tyhjiin ja valaistus ei ollut päällä. Ulkolämpötila vaihteli mittauksen aikana $0 \dots -23$ °C. (Kuva 22.)



KUVA 22. Ylipainehallin lämpökonduktanssi ulkolämpötilan mukaan

Kuvassa 23 on esitetty mittausjakson 14.2–21.2.2018 kello 24.00–07.00 tuloksista laskettu lämpökonduktanssi ja ylipainehallin sisäilman lämpötila.



KUVA 23. Ylipainehallin lämpökonduktanssi ja sisälämpötila

Lämmönsiirtimen teho mitoitustilanteessa ($T_{\text{ulko}} = -32 \text{ °C}$ ja $T_{\text{sisä}} = 15 \text{ °C}$) on 339,3 kW ja se laskettiin konduktanssin avulla kaavalla 5. Teho on sama ilma ja vesi-puolella kaavan 8 mukaisesti.

$$\dot{Q} = 7220 \frac{\text{W}}{\text{°C}} \times (15 - -32) \text{ °C} = 339\,340 \text{ W} = 339,3 \text{ kW}$$

Ylipainehallin tuloilmavirraksi saadaan laskettua kaukolämmön energiamittausten ja mitattujen lämpötilojen perusteella $6,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Arvo poikkeaa ilmavirran arvosta $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, joka on laskettu kanavan suulta kuumalanka-anemometrillä mitatun ilmavirran nopeuden perusteella. Käytetään tässä arvoa $6,13 \text{ m}^3/\text{s}$, joka vastaa kaukolämmön energiamittausten mukaista tehoa.

Teholla $339\,340 \text{ W}$ saadaan ilmavirran lämpötilaeroksi $39,8 \text{ °C}$ kaavalla 3.

$$\Delta T = \frac{339\,340 \text{ W}}{6,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}} = 46,1 \text{ °C}$$

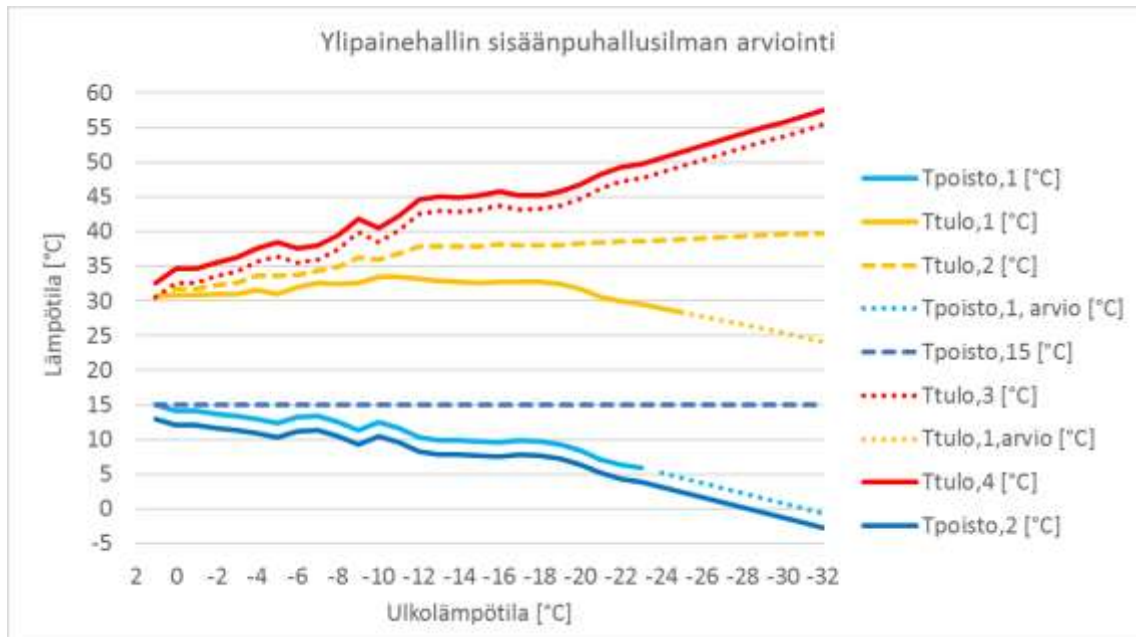
Mitoitusulkolämpötilassa -32 °C tulee sisäilman lämpötilan olla $+15 \text{ °C}$. Poistoilman lämpötila ja ennen lämmityspatteria olevan ilman lämpötila on myös sama.

Saadulla lämpötilaerolla 46,1 °C tulisi ilman lämpötilan olla lämmityspatterin jälkeä 15 + 46,1 = 61,1 °C. Ilman lämpötila lämmityspatterin jälkeen on sama kuin sisäänpuhalluslämpötila.

Ylipainehallin tarvittavan sisäänpuhalluslämpötilan suuruutta mitoitusulkolämpötilassa –32 °C arvioitiin myös mitattujen poistoilman ja tuloilman lämpötilojen mukaan. Poistoilman ja tuloilman lämpötilat järjesteltiin ensin ulkolämpötilan mukaan. Sitten mitattujen poistoilman $T_{\text{poisto},1}$ ja tuloilman $T_{\text{tulo},1}$ lämpötilakäyrien kulkua muutettiin siten, että poistoilman $T_{\text{poisto},15}$ lämpötilaksi saatiin haluttu +15 °C. Näin saatu tuloilman lämpötila $T_{\text{tulo},2}$ ei vielä riitä, koska lämpötilaero alkuperäisen tulo- ja poistoilman lämpötilan kanssa on yhtä suuri. Saatua tuloilman lämpötilakäyrää $T_{\text{tulo},2}$ nostetaan vielä ylöspäin käyrien $T_{\text{poisto},15}$ ja $T_{\text{poisto},1}$ erotuksen verran. Ylipainehallin valaistuksen teho on 15 kW, kun kaikki valaisimet ovat päällä. Poistoilman $T_{\text{poisto},1}$ ja tuloilman $T_{\text{tulo},3}$ arvoja korjataan valaistuksen tehon, 15 kW verran. Tarvittavan lämpötilan muutoksen suuruus voidaan laskea kaavalla 3.

$$\Delta T = \frac{15\,000\text{ W}}{6,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}} = 2,04\text{ °C}$$

Saadaan korjattu tuloilman $T_{\text{tulo},4}$ ja poistoilman $T_{\text{poisto},2}$ lämpötilan arvio. Alkuperäisten tulo- ja poistoilman lämpötilojen käyriä on jatkettu ulkolämpötilaan –32 °C asti. Saaduista käyristä voidaan arvioida tuloilman $T_{\text{tulo},4} = +57,5\text{ °C}$ ja poistoilman lämpötila $T_{\text{poisto},2} = -2,7\text{ °C}$ ulkoilman lämpötilan ollessa –32 °C. Poistoilman lämpötila $T_{\text{poisto},15} = +15\text{ °C}$, kun ulkoilman lämpötila on –32 °C. (Kuva 24.)



KUVA 24. Ylipainehallin sisäänpuhallusilman lämpötilan arviointi teholaskentaa varten

Ylipainehallin lämmitystehon suuruus 312,6 kW käyrävertailusta saaduilla tuloilman ja poistoilman lämpötiloilla voidaan laskea kaavalla 3. Saatu teho 312,6 kW on jonkin verran pienempi kuin lämpökonduktanssin avulla saatu teho 339,3 kW. Lämmityspatterin mitoitustehoksi on hyvä valita suurempi saatu teho 339,3 kW, koska tällöin saadaan lisävarmuutta tehon riittävydestä.

$$\dot{Q} = 6,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (57,5 - 15)^\circ\text{C} = 312\,630 \text{ W} = 312,6 \text{ kW}$$

Lämmityspatterin ominaisuutta voidaan tarkastella määrittämällä lämpötilahyötysuhde ilmapuolelle. Lämpötilahyötysuhde 0,283 saadaan laskettua kaavalla 6 käyttäen mitattuja ilman ja nesteen lämpötiloja. Arvot on otettu mittaustuloksista 20.2.2018 klo 01.57

$$\eta_{ILMA} = \frac{T_{ILMA\ LP\ JÄLKEEN} - T_{ILMA\ ENNEN\ LP}}{T_{MENO, GLYKOLI} - T_{ILMA\ ENNEN\ LP}} = \frac{29,5 - 5,5}{90,3 - 5,5} = 0,283$$

Lämmönsiirtonesteen maksimilämpötila mitoitustilanteessa on säätimessä rajoitettu +105 °C:seen. Ylipainehallin sisäilman mitoituslämpötila on +15 °C. Saadun lämmönsiirtimeen hyötysuhteen avulla voidaan arvioida nykyisen lämmityspatterin

maksimilämpötilaa silloin, kun sisäilman lämpötila on +15 °C. Ilman lämpötila 40,47 °C lämmityspatterin jälkeen lasketaan kaavalla 6.

$$T_{ILMA LP JÄLKEEN} = \eta_{ILMA} \times (T_{MENO, GLYKOLI} - T_{ILMA ENNEN LP}) + T_{ILMA ENNEN LP}$$

$$= 0,283 \times (105 - 15) \text{ °C} + 15 \text{ °C} = 40,47 \text{ °C}$$

Lämmityspatterin ilmapuolen maksimitehoksi saadaan laskettua 187,4 kW kaavalla 3.

$$\dot{Q} = 6,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (40,47 - 15) \text{ °C} = 187\,357 \text{ W} = 187,4 \text{ kW}$$

Nykyisellä lämmityspatterilla ei saada lämmitettyä tuloilmaa haluttuun lämpötilaan 40,47 °C. Lämmitysteho 187,4 kW ei riitä pitämään ylipainehallin sisäilmaa +15 °C:een lämpötilassa. Lämpökonduktanssin avulla voidaan arvioida sisäilman lämpötilaa mitoitusulkolämpötilassa kaavalla 5.

$$T_s = \frac{\dot{Q}}{G} + T_u = \frac{187\,400 \text{ W}}{7\,220 \frac{\text{W}}{\text{°C}}} + (-32 \text{ °C}) = -6 \text{ °C}$$

Mitoitustilanteen ilmavirta 11,1 m³/s teholla 339,3 kW saadaan laskettua kaavalla 3. Nykyinen puhallin on yksinopeuspuhallin, jonka maksimi ilmavirta laskelmien mukaan on 6,13 m³/s. Ilmavirran nostamista varten tulisi puhallin uusia.

$$q_v = \frac{339\,340 \text{ W}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (40,47 - 15) \text{ °C}} = 11,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Lämmityspatterin glykolipuolen meno- ja paluueden lämpötilaero 99,18 °C mitoitustilanteessa saadaan laskettua kaavalla 4 käyttäen veden sijaan glykolin arvoja. Mitoitustilanteessa menoveden lämpötila on säätimessä rajoitettu lämpötilaan 105 °C. Paluueden lämpötila on 105 °C – 99,18 °C = 5,82 °C virtaamalla 0,93 dm³/s.

$$\Delta T = \frac{339\,340 \text{ W}}{0,93 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1048,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3509 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}} = 99,18 \text{ °C}$$

Erään lämmityspatterivalmistajan mukaan ensiöpuolella paluueden lämpötila ei voi olla toisiopuolen menolämpötilaa pienempi. Tässä tapauksessa toisiopuolen ilman lämpötila mitoitusilanteessa on 15 °C. Toisiopuolella glykolin paluueden lämpötila tulee olla suurempi kuin 15 °C. Lämmityspatterin valmistajan antaman tiedon perusteella patterin lämmönsiirtopinta-ala pienenee, kun lämpötilaero kasvaa toisiopuolen paluulämpötilan ja ensiöpuolen menolämpötilan välillä. Tällöin patterin paksuus pienenee, painehäviö patterin yli pienenee ja samalla usein myös patterin hinta laskee.

Valitaan glykolipuolen paluueden lämpötilaksi 30 °C. Tarvittava virtaama saadaan laskettua kaavalla 4 käyttämällä 45 til-% glykolin tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvoja lämpötilassa $(105 + 30) \text{ °C} / 2 = 67,5 \text{ °C}$.

$$q_v = \frac{339\,340 \text{ W}}{1040,685 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3554 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (105 - 30) \text{ °C}} = 0,001223 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,223 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Kun virtaama kasvaa, myös järjestelmän painehäviö kasvaa. Kaavalla 14 voidaan laskea uusi verkoston painehäviö, kun yhden verkoston pisteen painehäviö ja virtaama tiedetään (4, s. 237).

$$\Delta p = k \times q_v^2$$

KAAVA 14

Δp = painehäviö, kPa

k = vakio, -

q_v = tilavuusvirta, dm^3/s

Ylipainehallin glykolipiirin pumpun nostokorkeus Δp on 92,94 kPa virtaamalla q_v 0,93 dm^3/s . Vakio k saadaan laskettua kaavalla 14.

$$k = \frac{\Delta p}{q_{v1}^2} = \frac{92,94 \text{ kPa}}{\left(0,93 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}\right)^2}$$

Uuden virtaaman ja vakion k avulla saadaan laskettua uusi painehäviö 160,73 kPa virtaamalla 1,223 dm^3/s .

$$\Delta p = k \times q_{v2}^2 = \frac{92,94 \text{ kPa}}{\left(0,93 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}\right)^2} \times \left(1,223 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}\right)^2 = 160,73 \text{ kPa}$$

Vanhan pumpun nostokorkeus ei riitä ja tarvitaan uusi pumppu, jotta saadaan glykolipiirille haluttu virtaama 1,223 dm³/s, nostokorkeus 160,73 kPa ja teho 339,3 kW meno- ja paluueden lämpötiloilla T_{meno} = 105 °C ja T_{paluu} = 30 °C.

Jos vanhan kaukolämmönsiirtimen tilalle hankitaan tehokkaampi siirrin, siirtimen olisi hyvä pysyä lähes samankokoisena, jotta se sopisi sille varattuun tilaan. Kaukolämmön ensiöpuolen maksimilämpötila on 115 °C. Paluueden lämpötilan tulee olla suurempi kuin toisiopuolen paluueden lämpötila 30 °C. Julkaisun K1 mukaan ensiöpuolella paluueden lämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin ylipainehallin paluueden lämpötila. Ensiöpuolen paluueden lämpötila voi julkaisun K1 mukaan olla enintään 33 °C. Ensiöpuolen virtaama saadaan laskettua kaavalla 4. Virtaama on 1,19 dm³/s, kun teho on 339,3 kW, menovesi 115 °C ja paluuvesi 33 °C. (18, s.8.)

$$q_v = \frac{339\,340 \text{ W}}{975,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4192 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (115 - 33)^\circ\text{C}} = 0,00101 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,01 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Lämmitysjärjestelmän lämmityspatterin, lämmönsiirtimen ja pumpun uusiminen maksaa noin 12 000 € (alv 0%). Lisäksi tulee huomioida laitteiden asentamiseen ja rakenteiden muuttamiseen liittyvät kustannukset ja tarvittaessa glykolipuolen linjasäätöventtiilin ja kaukolämpöpuolen 2-tiemoottoriventtiilin mahdollinen uusiminen. Vanhojen lämmityspatterin ja lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinnat ovat todennäköisesti likaantuneet, jolloin painehäviö on suurempi kuin uusissa tuotteissa. Uudella ja oikein mitoitetuilla lämmityspatterilla ja lämmönsiirtimellä painehäviö on pienempi, ja voi olla, että painehäviöiden osalta vanha pumppukin käy uusittuun järjestelmään. Lämmitysjärjestelmää uusittaessa tulee vanhan järjestelmän toiminta ja kunto tarkastaa ja uusi järjestelmä mitoittaa siten, että lämmönsiirrin, lämmityspatteri, pumppu, linjasäätöventtiili ja kaukolämmön 2-tieventtiili toimivat hyvin yhteen.

6.2 Päärakennus

6.2.1 Lämpötilan kerrostuminen

Lämpötilan kerrostumien mittaamisella saadaan selville, miten hyvin lämmitetty sisäänpuhallusilma sekoittuu hallissa olevaan ilmaan. Tennishallissa tuloilmalaitteet on suunnattu hieman alaviistoon ja haluttiin selvittää ilmanjaon toimivuus.

Lämpötilamittauksen perusteella voidaan todeta, että tuloilman sekoittuu hyvin pelialueilla. Ilmanjako toimii hyvin, koska lämpö ei kerrostu rakennuksen korkeisiin kohtiin ja lämpöenergiaa ei hukata turhaan katon lämmittämiseen. Pelialueilla oli havaittu lämpötilan laskeminen, kun pelikenttien monimetallivalaisimet korvattiin led-valaisimilla. Ongelma ratkaistiin nostamalla ilmanvaihtokoneen huone-lämpötilaa kahdella asteella. Taulukoissa 22 ja 23 on esitetty ilman lämpötilan kerrostuminen tennishallin pelialueilla. Mittaukset tehtiin 31.1.2018 kello 8-10 ja ulkolämpötila oli $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

TAULUKKO 22. Tenniskentän 4 ilman kerrostumien lämpötilamittaus

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	
		Kenttä 4 Päätelaitteen kohta	Kenttä 4 Keskeltä kenttää
5	10,4	16,5	16,8
4	8,4	16,6	16,7
3	6,4	15,9	16,0
2	4,4	15,8	15,8
1	2,4	16,0	15,9
Lämpötilaero ΔT [$^{\circ}\text{C}$]		0,9	1,1

TAULUKKO 23. Sulkapallokenttien 1 ja 3 ilman kerrostumien lämpötilamittaus

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	
		Kenttä 1 Keskellä	Kenttä 3 Keskellä
5	10,4	17,0	17,1
4	8,4	16,9	17,1
3	6,4	16,5	16,6
2	4,4	16,4	16,5
1	2,4	16,4	16,6
Lämpötilaero ΔT [$^{\circ}\text{C}$]		0,6	0,6

Sulkapallohallissa olevien squash- ja sulkapallokenttien ilmanlämpötilat ovat kokonaisuudessaan muutaman asteen korkeammat kuin tennishallin puolella, koska hallin sisälämpötila on asetettu korkeammaksi. Tennishallin pelialueilla tulisi olla +15 °C, kun sulkapallohallissa on +19 °C. Syy lämpötilaerolle on lajien intensiivisyydessä, koska tennispelaajat tuottavat enemmän lämpöä kuin sulkapalloilijat pelatessaan. Taulukoissa 24 ja 25 on sulkapallohallin lämpötilakerrostumien mittausten tulokset. Mittauksen tehtiin 31.1.2018 kello 10–12 ja ulkolämpötila oli –7 °C.

TAULUKKO 24. Squash-kenttien 4 ja 5 ilman kerrostumien lämpötilamittaus

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [°C]	
		Kenttä 5 Keskellä	Kenttä 4 Keskellä (valot pois)
5	5,3	19,0	19,1
4	4,3	18,9	18,9
3	3,3	18,9	18,9
2	2	19,0	19,3
1	0,4	18,9	18,8
Lämpötilaero ΔT [°C]		0,1	0,5

TAULUKKO 25. Sulkapallokenttien 7 ja 8 ilman kerrostumien mittaus

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [°C]	
		Kenttä 7 Keskellä	Kenttä 8 Keskellä
5	8	19,0	18,9
4	6,4	18,3	18,6
3	4,4	18,7	18,9
2	2,4	18,5	18,5
1	0,4	18,6	18,6
Lämpötilaero ΔT [°C]		0,7	0,4

6.2.2 Ilmanvaihtokoneiden toiminta

6.2.2.1 Tennishalli

Tennishallin ilmanvaihtokone on kierrätysilmakone, jossa ei ole lämmöntalteenottoa. Sisäänpuhallusilma koostuu ulko- ja poistoilmasta. Ulko-, ulospuhallus- ja kiertoilmapeltejä ohjataan yhdellä moottorilla, ulkoilmapelletin minimisäätö oli sää-

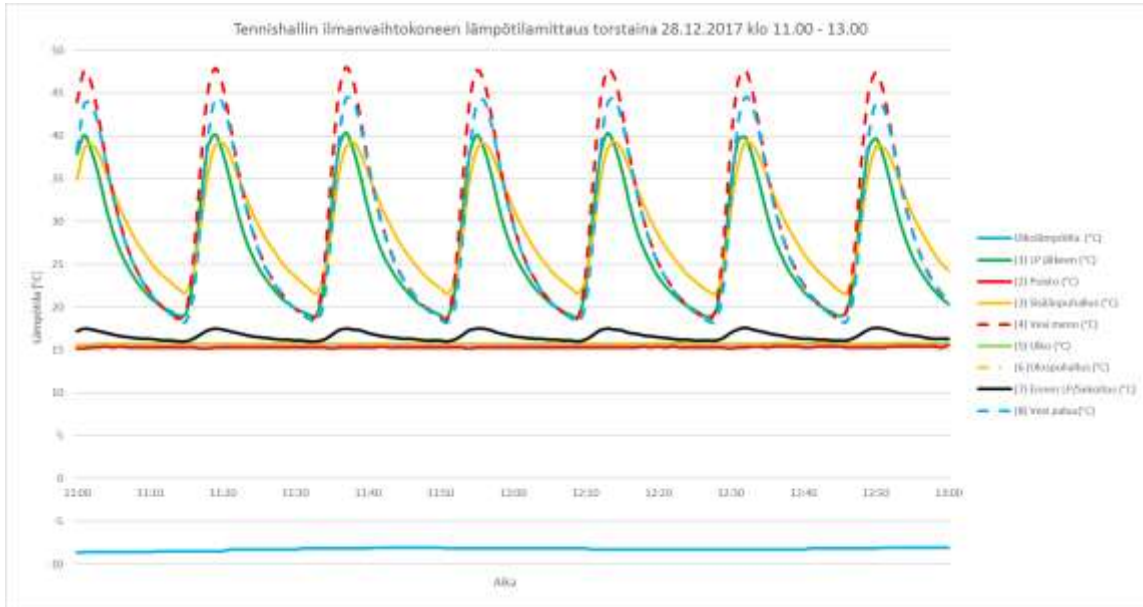
timessä asetettu 25 %:iin. Ilmanvaihtokonetta käytetään puolella teholla yhtäjaksoisesti, jolloin tulo- ja poistoilmavirrat ovat suunnitellut 2,05 m³/s. Ilmanvaihtokoneen maksimi tulo- ja poistoilmavirta on 4,1 m³/s.

Tennishallin ilmanvaihtokoneen tuloilmalaitteet ovat noin 5 m:n korkeudella ja poistoilmasäleikkö noin 8 m:n korkeudella hallin lattiasta. Työturvallisuussyistä ilmavirtoja ei mitattu korkealla olevista päätelaitteista. Ilmanvaihtokoneessa ei ollut ilmavirtojen mittaukseen tarkoitettuja mittausyhteitä. Tuloilmavirtaa mitattiin kuumalanka-anemometrillä konehuoneessa olevasta halkaisijaltaan 0,8 m kokoisesta tuloilmakanavavasta 0,8 m:n korkeudella olevasta tuloilmakammioista. Mittauksen suojaetäisyydet eivät toteutuneet. Kuvan 3 mukaan häiriölähteen jälkeen suojaetäisyyden tulisi olla vähintään 5 x 0,8 m = 4,0 m. Tuloilmavirta mittausten keskiarvo oli 1,1 m³/s ja maksimi 1,53 m³/s. Laskelmissa käytettiin suunnitteluilma-
virtoja 2,05 m³/s.

Ilmanvaihtokoneen toimintaa selvitettiin mittaamalla dataloggerilla lämmityspatterin meno- ja paluuveden lämpötila, vesivirta ja ilman lämpötilat koneen toimintaprosessin eri vaiheista. Kerätyillä tiedoilla laskettiin ilmanvaihtokoneen kuluttama lämmitysenergian suuruus ja sen osuus muuhun kulutukseen nähden. Laskelmien perusteella tennishallin ilmanvaihto ja ilmalämmityskojeen osuus päärakennuksen kaukolämpöenergiasta on 15,0 % ja kokonaiskulutuksesta 5 %.

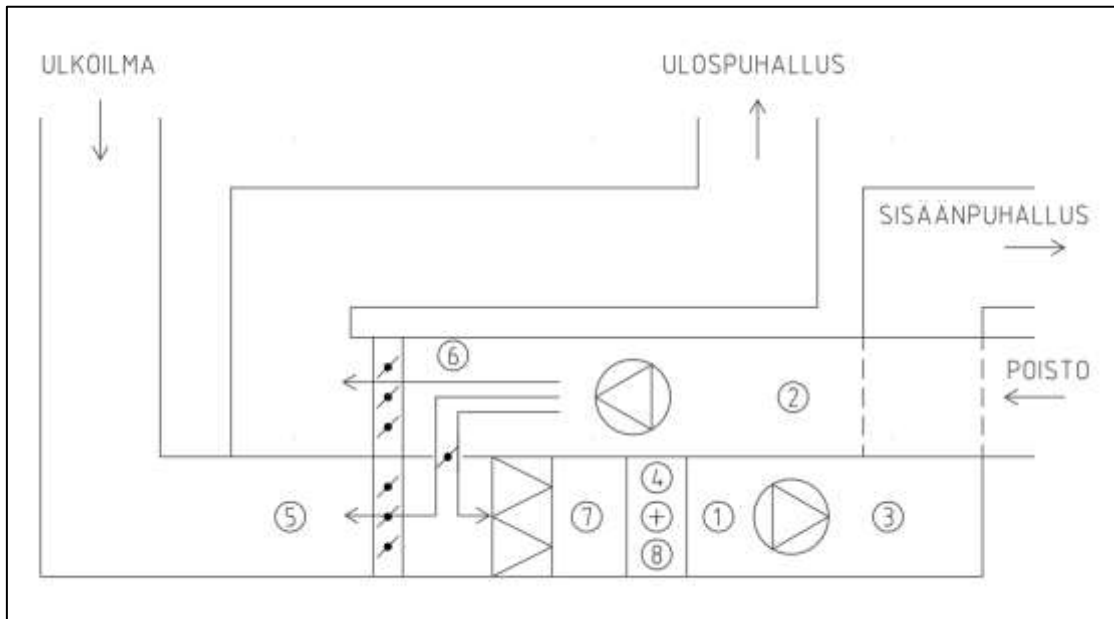
Mittaustuloksista ja koneen lämmitysjärjestelmän 2-tiesäätöventtiilien toiminnasta havaittiin, että järjestelmä ei toimi kunnolla. Lämmityspatterin veden ja sisäänpuhallusilman lämpötila liikkuu säätörajan minimi ja maksimialueen välillä noin 15–35 minuutin aikajaksoissa jatkuvasti. Kuvassa 24 näkyy mittausjakso yhden tunnin ajalta. Säätöjärjestelmän huojuminen näkyy sisäänpuhallusilman lämpötilan vaihteluna ja voi tuntua epämukavana tennishallissa olevalle henkilölle. Sisäänpuhallusilman lämpötila vaihteli 19–43 °C:een välillä mittausjakson aikana. Mittaushetkellä lämmitysteho ei riittänyt pitämään hallia +15 °C:n lämpötilassa, kun ulkolämpötila oli noin –15 °C. Kuvassa 25 esitetyistä tuloksista on havaittavissa myös, että raitisilman lämpötila on lähes yhtä suuri poistoilman- ja ulospuhallusilman lämpötilan kanssa. Mittaustuloksen perusteella näyttää siltä, että

poistoilmapuhallin puskee ilmaa kierrätys- ja ulkoilmapellin läpi ulkoilmakanaavaan ja ulospuhallusilman korvausilma otetaan tennishalliin korvaus- ja vuotoilmana.



KUVA 25. Tennishallin ilmanvaihtokoneen lämpötilamittaus kahden tunnin ajalta (28.12.2017 klo 11.00–13.00)

Kuvassa 26 näkyy tennishallin ilmanvaihtokoneen lämpötilamittausten mittauspisteet ja koneen periaatepiirustus. Kuvassa 26 on esitetty nuolilla ilmavirran kulkuunnot. Yksi nuolista esittää tilannetta, jossa poistoilmavirta menee vasten ulkoilmavirtaa ja estää raittiin ilman otton ilmanvaihtokoneen kautta.



KUVA 26. Tennishallin ilmanvaihtokoneen mittauspisteet ja periaatepiirustus

Hallin tuloilmakanavia ei ole eristetty. Kanavien eristämällä saadaan sisäänpuhalluslämpötila pysymään korkeamana, lämpöhäviöitä saadaan pienennettyä ja lämmitysteho saadaan paremmin tuotua halliin sisälle päätelaitteiden kautta halliin puhaltamalla. Kanavien eristämisestä saatavaa hyötyä voidaan tarkastella laskennallisesti kaavoilla 7, 15 ja 16 (4, s. 213 - 214).

Eristetyn kanavan lämmönläpäisykerroin saadaan laskettua kaavalla 15. Putken sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin α_s on paljon suurempi kuin α_u ja kanavan lämmönjohtavuus λ_T on paljon suurempi kuin eristeen lämmönjohtavuus λ_E . Termien α_s ja λ_T vaikutus jää laskennassa pieneksi ja ne voidaan jättää laskennassa huomioimatta. (4, s. 213.)

$$U' = \frac{1}{\frac{1}{\pi \times d_s \times \alpha_s} + \frac{1}{\pi \times d_E \times \alpha_u} + \frac{\ln \frac{d_u}{d_s}}{2\pi \times \lambda_T} + \frac{\ln \frac{d_E}{d_u}}{2\pi \times \lambda_E}}$$

KAAVA 15

U'	= lämmönläpäisykerroin, W/mK
d_s	= kanavan sisähalkaisija, m
d_u	= kanavan ulkohalkaisija, m
d_E	= eristetyn kanavan ulkohalkaisija, m
α_s	= lämmönsiirtymiskerroin kanavan ulkopinnalla, Wm ² /K
α_u	= lämmönsiirtymiskerroin kanavan sisäpinnalla, Wm ² /K
λ_T	= kanavan lämmönjohtuvuus, W/mK
λ_E	= eristeen lämmönjohtuvuus, W/mK

Ilman jäähtyminen saadaan laskettua kaavalla 16 ja kaavassa oleva lämpökapasiteettivirta \dot{C} saadaan laskettua kaavalla 7.

$$T_v - T_u = (T_v - T_u)_0 \times e^{\frac{-U' L}{\dot{C}}}$$

KAAVA 16

T_v	= virtaavan aineen lämpötila, °C
T_u	= ympäristön lämpötila, °C
T_{v0}	= virtaavan aineen lämpötila alussa, °C
T_{u0}	= ympäristön lämpötila alussa, °C
U'	= lämmönläpäisykerroin, W/mK
L	= kanavan pituus, m
\dot{C}	= lämpökapasiteettivirta, W/K

Kanavan lämpöhäviölaskelma on jaettu viiteen lohkoon. Ilmanvaihtokonehuoneesta ensimmäiseen ilman puhallussuuttimeen on noin 31 m ja siitä seuraavaan noin 18,5 m jne. Kanavan ulkohalkaisija on 0,8 m. Alussa tuloilmavirta on suunnitelmien mukainen 2,05 m³/s, ja se pienenee kanavaa eteenpäin mentäessä. Ilman keskimääräinen lämpötila ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin jälkeen on noin 30 °C ja hallin tavoitesisälämpötila on 15 °C. Ilman tiheys $\rho = 1,2045 \text{ kg/m}^3$ ja ilman ominaislämpökapasiteetti $c_p = 1006 \text{ J/kgK}$ lämpötilassa 20 °C (4, s. 430). Lämmönsiirtymiskertoimen α_u arvona kanavan ulkopinnalla käytettiin arvoa 10 W/m²K (4, s. 213). Solukumieristeen lämmönjohtavuutena on käytetty arvoa 0,041 W/mK (19, s. 10). Ilman jäähtymisestä kanavassa aiheutunut lämpöhäviöteho lasketaan kaavalla 4 käyttäen ilman arvoja. Lämpöhäviöihin kulunut energia

vuoden aikana saadaan kertomalla lämpöhäviöteho vuoden tuntimäärällä 8 760 h. Lämpöhäviöiden kustannukset saadaan kertomalla lämpöhäviöt lämmitysenergian hinnalla.

Taulukossa 26 on esitetty kanavan lämpöhäviöt ja kustannukset, kun kanavassa ei ole eristystä.

TAULUKKO 26. Kanavan lämpöhäviöt ja kustannukset ilman eristystä

Tu [°C]	Tv [°C]	L [m]	qv [m3/s]	ρ [kg/m3]	Cp [J/kgK]	αu [W/m2K]	U' [W/mK]	Tf [°C]	ΔT [°C]	∅ [kW]	Q [kWh/a]	Hinta [€/a]
15	30	31	2,05	1,2045	1006	10,0	25,133	25,96	4,04	10,0	87875	4965
15	25,96	18,5	1,59	1,2045	1006	10,0	25,133	23,62	2,34	4,5	39681	2242
15	23,62	18,5	1,14	1,2045	1006	10,0	25,133	21,15	2,46	3,4	29797	1683
15	21,15	18,5	0,68	1,2045	1006	10,0	25,133	18,51	2,64	2,2	19174	1083
15	18,51	18,5	0,23	1,2045	1006	10,0	25,133	15,65	2,86	0,8	6910	390
Yhteensä										20,9	183437	10363

Taulukossa 27 on esitetty kanavan lämpöhäviöt ja kustannukset, kun kanavassa on käytetty 10 mm vahvaa solukumieristettä.

TAULUKKO 27. Kanavan lämpöhäviöt ja kustannukset 10 mm:n solukumieristeellä

Tu [°C]	Tv [°C]	L [m]	qv [m3/s]	ρ [kg/m3]	Cp [J/kgK]	αu [W/m2K]	U' [W/mK]	Tf [°C]	ΔT [°C]	∅ [kW]	Q [kWh/a]	Hinta [€/a]
15	30	31	2,05	1,2045	1006	10,0	7,426	28,67	1,33	3,3	28888	1632
15	28,67	18,5	1,59	1,2045	1006	10,0	7,426	27,73	0,94	1,8	15882	897
15	27,73	18,5	1,14	1,2045	1006	10,0	7,426	26,53	1,21	1,7	14586	824
15	26,53	18,5	0,68	1,2045	1006	10,0	7,426	24,77	1,76	1,5	12782	722
15	24,77	18,5	0,23	1,2045	1006	10,0	7,426	20,94	3,83	1,1	9257	523
Yhteensä										9,3	81395	4599

Taulukossa 28 on esitetty kanavan lämpöhäviöt ja kustannukset, kun kanavassa on käytetty 19 mm vahvaa solukumieristettä.

TAULUKKO 28. Kanavan lämpöhäviöt ja kustannukset 19 mm:n solukumieristeellä

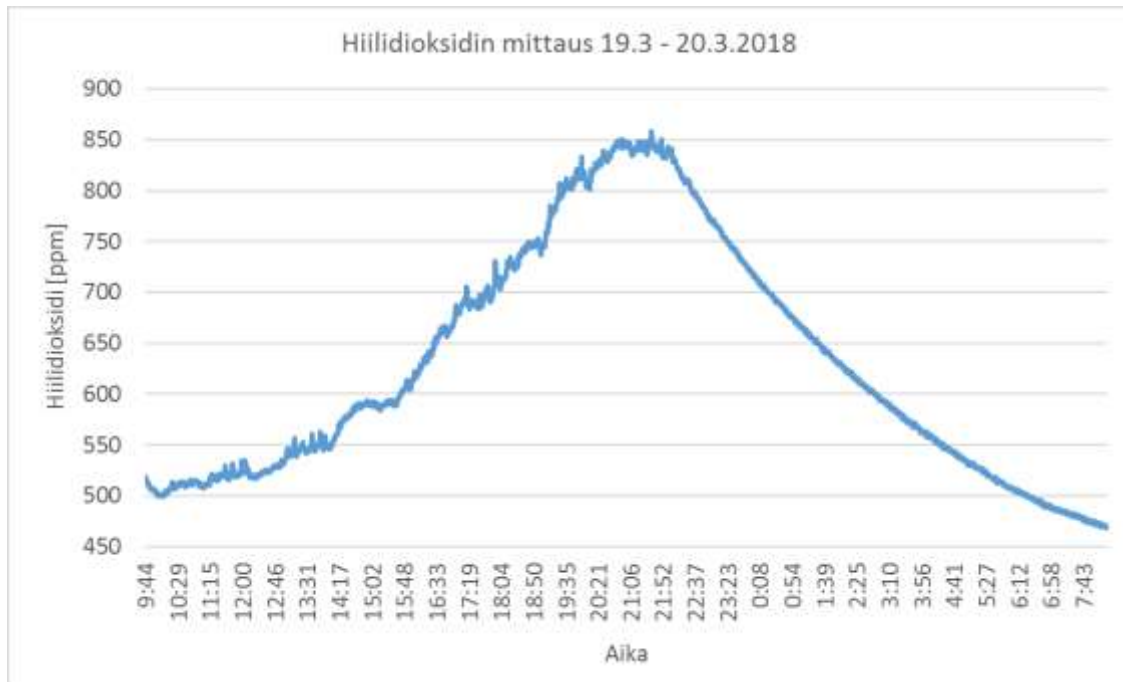
Tu [°C]	Tv [°C]	L [m]	qv [m3/s]	ρ [kg/m3]	Cp [J/kgK]	αu [W/m2K]	U' [W/mK]	Tf [°C]	ΔT [°C]	∅ [kW]	Q [kWh/a]	Hinta [€/a]
15	30	31	2,05	1,2045	1006	10,0	4,585	29,17	0,83	2,1	18150	1025
15	29,17	18,5	1,59	1,2045	1006	10,0	4,585	28,56	0,61	1,2	10297	582
15	28,56	18,5	1,14	1,2045	1006	10,0	4,585	27,75	0,81	1,1	9769	552
15	27,75	18,5	0,68	1,2045	1006	10,0	4,585	26,51	1,24	1,0	9003	509
15	26,51	18,5	0,23	1,2045	1006	10,0	4,585	23,46	3,04	0,8	7361	416
Yhteensä										6,2	54582	3084

Taulukossa 29 on esitetty tennishallin tuloilmakanavan lämpöhäviöistä johtuvat energiahäviöt, rahalliset menetykset ja rajakustannustarkastelu. Laskelmien perusteella saadaan 5 764 euron säästö, kun ilmastointikanava eristetään 10 mm paksulla solukumieristeellä, ja 7 279 euron säästö, kun käytetään 19 mm paksua solukumieristettä. Vertailukohteena on käytetty eristämättömän kanavan häviöitä. Kanavien eristämällä saadaan sisäänpuhallusilma pysymään lämpimämpänä ja tämän myötä ilmalämmitystä tehostettua.

TAULUKKO 29. Kanavan lämpöhäviöiden energia- ja kustannusvertailu ja rajakustannustarkastelu

Kanavan lämpöhäviöiden energiahäviöt ja kustannukset				Rajakustannustarkastelu		
Kanavan eristäminen	Energia [kWh]	Energian hinta [EUR/vuosi]	Säästö [EUR/vuosi]	n= 1 v	n= 2 v	n= 3 v
Ei eristystä	183437	10363	-	-	-	-
Eristys 10 mm	81395	4599	5764	5764	11528	17292
Eristys 19 mm	54582	3084	7279	7279	14558	21837

Ilmanvaihtokoneen poistoilmakanavaan asennettiin vuorokauden ajaksi hiilidioksidimittaus (kuva 27). Mittauksella tutkittiin tennishallin hiilidioksidipitoisuuden kasvua normaalin hallin kuormituksen aikana ja sitä, kuinka hyvin ilmanvaihto saa pitoisuudet laskemaan yön aikana.



KUVA 27. Tennishallin hiilidioksidipitoisuuden mittaus

Hallin ilmanvaihtumista voidaan arvioida kaavalla 17 (20, s. 59).

$$\frac{C_u - C}{C_u - C_0} = e^{-t/\tau}$$

KAAVA 17

- C_u = ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, ppm
- C = hiilidioksidipitoisuus tarkastelun lopussa, ppm
- C_0 = hiilidioksidipitoisuus tarkastelun alussa, ppm
- t = tarkastelujakson kesto, h
- τ = ilmanvaihdon aikavakio, h

Ilmanvaihdon aikavakio lasketaan kaavalla 18 (20, s. 59).

$$\tau = \frac{1}{n} = \frac{V}{q}$$

KAAVA 18

- τ = ilmanvaihdon aikavakio, h
- n = ilmanvaihtokerroin, 1/h
- V = ilmanvaihtoon osallistuva huonetilavuus, m³
- q = ilmanvaihdon kokonaisilmavirta, m³/h

Kaavojen 17 ja 18 perusteella saadaan johdettua kaava 19 ilmanvaihtokertoimen laskemiselle.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{C_u - C_0}{C_u - C}\right)}{t}$$

KAAVA 19

Hiilidioksidimittaustulosten perusteella alkutilanteen (klo 22.04) hiilidioksidipitoisuus $C_0 = 839$ ppm ja lopputilanteen (klo 08.04) hiilidioksidipitoisuus $C = 471$ ppm. Ulkona olevan hiilidioksidipitoisuuden C_u arvoksi oletettiin 400 ppm. Aikajakson pituus t on 10 h. Kaavalla 20 saadaan laskettua ilmanvaihtokertoimeksi n edellä annetuilla lähtötiedoilla 0,182 1/h.

Kaavalla 18 saadaan laskettua ilmanvaihdon kokonaisilmavirta, jolla hiilidioksidipitoisuus saadaan tippumaan lähtöarvosta 10 tunnin aikana lopputilanteeseen, kun tiedetään ilmanvaihtoon osallistuva huonetilavuus $V = 32\,888\text{ m}^3$.

$$q = n \times V = 0,182 \frac{1}{h} \times 32\,888\text{ m}^3 = 5985,6 \frac{\text{m}^3}{h} = 1,663 \frac{\text{m}^3}{s}$$

Liitteessä 1 esitettyjen paine-eromittaustulosten mukaan tennishalli on noin 12 Pa:n alipaineinen ulkoilman paineeseen verrattuna. Hiilidioksidimittausten perusteella saatiin ilmavirraksi 5985,6 m³/h ja ilmanvaihtokertoimeksi 0,182 1/h. Oletetaan, että saatu ilmavirta 5985,6 m³/h on vuotoilmavirtaa V_{12} ja 0,182 1/h on rakennuksen ilmavuotoluku n_{12} 12 Pa:n paine-erolla. Arvioidaan rakennuksen ilmavuotolukua 50 Pa:n paine-erolla kaavojen 20 ja 21 avulla.

Ilmavirtaus tietyllä paine-erolla voidaan laskea kaavalla 20 (21, s. 55).

$$V_{\Delta p,r} = C_L \times (\Delta p_r)^n$$

KAAVA 20

$V_{\Delta p,r}$	= ilmavirtaus tietyllä paine-erolla, m ³ /h
C_L	= ilmavuotokerroin, m ³ /(h x Pa ⁿ)
Δp_r	= tietty paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolella, Pa
n	= virtauksesta johtuva eksponentti, joka vaihtelee yleensä 0,5 ja 1,0 välissä

Ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla voidaan laskea kaavalla 21 (21, s. 29).

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V}$$

n_{50} = rakennuksen ilmapuotoluku 50 Pa paine-erolla, 1/h

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla, m³/h

V = rakennuksen/ mitattavan osan sisätilavuus, m³

Lasketaan ensin ilmapuotokerroin C_L kaavalla 20, kun paine-ero sisä- ja ulkotilan välillä on 12 Pa. Virtauksesta johtuvan eksponentin n arvona käytetään kaavassa 20 esitettyjen arvojen keskiarvoa 0,75.

$$C_L = \frac{V_{\Delta p,r}}{(\Delta p_r)^n} = \frac{5985,6 \frac{m^3}{h}}{(12 Pa)^{0,75}} = 928,37 \frac{m^3}{h \times Pa^{0,75}}$$

Lasketaan sitten ilmavirtaus $V_{50,r}$ 50 Pa:n paine-erolla lasketun C_L :n avulla.

$$V_{50,r} = 928,37 \times 50^{0,75} = 17456,18 \frac{m^3}{h}$$

Lopuksi lasketaan rakennuksen ilmapuotoluku n_{50} 50 Pa:n paine-erolla, kun tennishallin tilavuus V on 32 888 m³.

$$n_{50} = \frac{17456,18 \frac{m^3}{h}}{32\,888 m^3} = 0,53 \frac{1}{h}$$

Ilmanvaihtokoneen ulkoilmakanavan ilman lämpötila oli mittausten perusteella poistoilman lämpötilaa vastaava. Voidaankin olettaa, että ilmaa ei tule ilmanvaihtokoneeseen ulkoilmakanavan kautta. Hiilidioksidimittausten perusteella laskennallinen ulkoilmavirta on 1,663 m³/s. Tämä ilma otetaan halliin vuoto- ja korvausilmana, joka tulee lämmittää ulkoilmasta sisälämpötilaan. Sisäilman mitoituslämpötila on hallissa 15 °C. Ilmavirran, sisälämpötilan ja kuukausien keskimäärien ulkolämpötilojen avulla voidaan laskea kaavalla 3 lämmitystehon suuruus, joka tarvitaan ulkoilman lämmittämiseksi sisälämpötilaan 15 °C. Lämmitykseen tarvittavan energian kustannuksia voidaan arvioida kertomalla energian määrä kaukolämmön hinnalla. Säästöä saadaan, jos ilmanvaihtokoneeseen asennetaan pyörivä lämmöntalteenotto. Laskelmassa säästöä on arvioitu lämmöntalteenoton 60 %:n vuosiyhötysuhteella. Laskelmat on esitetty taulukossa 30.

TAULUKKO 30. Vuoto- ja korvausilman lämmittämisen energiantarve

Kuukausi	T _{U, KESKIM} [°C]	Päiviä/kk [d]	Tunti/kk [h]	Lämmitysteho [kW]	Lämmitysenergia [kWh/kk]	Kustannukset [EUR/kk]	Säästö (η _{LTO} =60 %) [EUR/kk]	Lopulliset kustannukset LTO:n kanssa [EUR/kk]
Tammikuu	-8	31	744	45,9	34149	1929	1158	772
Helmikuu	-7,1	28	672	44,1	29637	1674	1005	670
Maaliskuu	-3,53	31	744	37,0	27512	1554	933	622
Huhtikuu	2,42	30	720	25,1	18075	1021	613	408
Toukokuu	8,84	31	744	12,3	9146	517	310	207
Kesäkuu	13,39	30	720	3,2	2313	131	78	52
Heinäkuu	15,76	31	744	0,0	0	0	0	0
Elokuu	13,76	31	744	2,5	1841	104	62	42
Syyskuu	9,18	30	720	11,6	8362	472	283	189
Lokakuu	4,07	31	744	21,8	16228	917	550	367
Marraskuu	-1,76	30	720	33,4	24081	1360	816	544
Joulukuu	-5,92	31	744	41,7	31060	1755	1053	702
Vuosi	3,43	365	8760	23,2	202406	11435	6861	4574

Uusien asetusten mukaan uuden rakennuksen ulkoilmavirta on oltava vähintään 0,35 (dm³/s)/m² (22, s.4). Tennishallin pinta-ala on 93 m x 38 m = 3534 m². Tarvittava ulkoilmavirta on 0,35 (dm³/s)/m² x 3534 m² = 1236,9 dm³/s. Lasketaan taulukon 30 laskentamenetelmällä ilmanvaihtokoneen lämmitystehon suuruus ja lämmittämisen energiantarve uusien asetusten mukaan tilanteessa, jossa ulkoilmavirta on päivällä 1236,9 dm³/s ja yöllä pellit ohjataan pelkälle kiertoilmalle. Käyttöaika päivällä on 14,5 h. Laskelmat on esitetty taulukossa 31.

TAULUKKO 31. Ulkoilman lämmittämisen energiantarve

Kuukausi	T _{U, KESKIM} [°C]	Päiviä/kk [d]	Tunnit/d [h]	Tunti/kk [h]	Lämmitysteho [kW]	Lämmitysenergia [kWh/kk]	Kustannukset [EUR/kk]	Säästö (η _{LTO} =60 %) [EUR/kk]	Lopulliset kustannukset LTO:n kanssa [EUR/kk]
Tammikuu	-8	31	14,5	449,5	34,1	15345	867	520	347
Helmikuu	-7,1	28	14,5	406	32,8	13318	752	451	301
Maaliskuu	-3,53	31	14,5	449,5	27,5	12363	698	419	279
Huhtikuu	2,42	30	14,5	435	18,7	8122	459	275	184
Toukokuu	8,84	31	14,5	449,5	9,1	4110	232	139	93
Kesäkuu	13,39	30	14,5	435	2,4	1040	59	35	23
Heinäkuu	15,76	31	14,5	449,5	0,0	0	0	0	0
Elokuu	13,76	31	14,5	449,5	1,8	827	47	28	19
Syyskuu	9,18	30	14,5	435	8,6	3758	212	127	85
Lokakuu	4,07	31	14,5	449,5	16,2	7292	412	247	165
Marraskuu	-1,76	30	14,5	435	24,9	10821	611	367	245
Joulukuu	-5,92	31	14,5	449,5	31,1	13957	789	473	315
Vuosi	3,43	365	14,5	5292,5	17,2	90954	5139	3083	2055

6.2.2.2 Sosiaalitulat

Sosiaalitulojen ilmanvaihtokone palvelee pesuhuoneita, keittiötä, pukuhuoneita, kahviota, toimistoja ja vessoja. Ilmanvaihtokoneessa on glykolilämmöntalteenotto ja jälkilämmityspatterin teho otetaan kaukolämmöstä. Ilmanvaihtokoneen suunnitellut ilmavirrat puoliteholla ovat tuloilmalle 1,35 m³/s ja poistoilmalle 1,1 m³/s. Laskelmissa käytettiin suunniteltuja ilmavirtoja, koska ilmavirtojen mitaamisen epätarkkuus kasvoi liian suureksi suojaetäisyyksien puuttumisen takia.

Energiakulutuksen määrittämistä varten ilmanvaihtokoneesta mitattiin useamman päivän ajan ilmanlämpötiloja ja nestevirtaamia. Dataloggauksien perusteella määritettiin ilmanvaihtokoneelle teho ja kulutuksen osuus kaukolämmön kokonaiskulutuksesta. Laskelmien perusteella ilmanvaihtokone kuluttaa päärakennuksen kaukolämmön kulutuksesta 26 % ja kokonaiskulutuksesta 9 %. Ilmanvaihtokone kuluttaa jatkuvasti merkittävästi energiaa rakennuksen muihin koneisiin verrattuna, koska koneessa ei ole ilman kierrätystoimintoa. Ilmanvaihtokone lämmittää otettua ulkoilmaa lämmöntalteenotolla sekä lämmityspatterilla.

Ilmanvaihtokoneen glykolilämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhdetta tutkittiin ja laskettiin tulo- sekä poistoilman lämpötilahyötysuhteet kaavoilla 22–24 (23, s. 50–51). Kaavalla 22 lasketaan tuloilman lämpötilasuhde.

$$\eta_t = \frac{(t_{tLO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad \text{KAAVA 22}$$

η_t = Tuloilman lämpötilahyötysuhde

t_{tLO} = Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen

t_u = Ulkoilman lämpötila

t_s = Poistoilman lämpötila

Kaavalla 23 lasketaan poisto- ja tuloilmavirtojen suhde, jotta voidaan laskea poistoilman lämpötilasuhde. Ilmavirtojen suhde pitää laskea silloin, kun ilmavirrat eivät ole yhtä suuret lämmöntalteenoton läpi.

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad \text{KAAVA 23}$$

R_{LTO} = Lämmöntalteenoton läpikulkevien ilmavirtojen suhde

q_{tLTO} = Tuloilmavirta LTO:n läpi

q_{pLTO} = Poistoilmavirta LTO:n läpi

Kaavalla 24 lasketaan poistoilman lämpötilahyötysuhde, kun ilmavirrat eivät ole yhtä suuret.

$$\eta_p = \eta_t \times R_{LTO} \quad \text{KAAVA 24}$$

η_t = Tuloilman lämpötilahyötysuhde

η_p = Poistoilman lämpötilahyötysuhde

Mittausjakson aikana saaduista tuloksista laskettiin tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet. Mittausjakson aikana ulkolämpötila vaihteli $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Lämpötilahyötysuhteet laskettiin kaavoilla 22–24 mittaustuloksia käyttäen ja keskimääräiseksi hyötysuhteeksi saatiin tuloilmalle 42 % sekä poistoilmalle 57 %. Saadut tulokset noudattavat ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaan mukaisia tyypillisiä arvoja, kun nestekiertoisen lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhde on tyypillisesti 40–60 %. (23, s. 28.)

Ilmanvaihtokoneen kanaviston riittämättömien suojaetäisyyksien vuoksi ilmamääriä ei voitu mitata luotettavasti. Ilmamäärien suuruutta ja suunnitelmien paikkaansa pitävyyttä tarkasteltiin ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin tehon avulla. Lämmityspatterin tehon ja ilmanlämpötilojen avulla saadaan laskettua suuntaa antava ilmamäärä kaavalla 3. Ilmanvaihtokoneen tuloilmavirraksi saatiin laskelmien perusteella $1,28\text{ m}^3/\text{s}$, joka on lähes sama kuin suunniteltu $1,35\text{ m}^3/\text{s}$. Ilman ja patterin nesteen lämpötilamittauksen ajaksi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto sammutettiin, jottei sillä ollut vaikutusta mittaukseen.

6.2.2.3 Sulkapallo ja squash

Ilmanvaihtokone on ilmaa kierrättävä koneikko, jonka sisäänpuhallusilma koostuu ulko- ja poistoilmasta. Ennen mittauksia tutustuttiin ilmanvaihtokoneen toimintaan ja huomattiin, että koneikon pyörivä lämmöntalteenotto ei toiminut. Ilmanvaihtokonetta käytetään puolella teholla yhtäjaksoisesti, jolloin tulo- ja poistoilmavirrat ovat suunnitellut $2,05\text{ m}^3/\text{s}$.

Ilmanvaihtokoneen ilman ja lämmityspatterin lämpötilatietoja kerättiin dataloggerilla. Kerätyillä lämpötilatiedoilla ja laskemilla voitiin määrittää ilmanvaihtokoneen kuluttama lämmitysenergian osuus kokonaiskulutuksesta sekä rakennuskohtaisesti. Laskelmien perusteella ilmanvaihtokone käyttää päärakennuksen kaukolämmönkulutuksesta 36 % ja kokonaiskulutuksesta 11,5 %. Koneikon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhdetta ei laskettu toimimattomuuden takia. Lämmöntalteenoton korjaaminen vaikuttaa koneikon lämmitysenergian kulutukseen laskevasti. Taulukossa 32 esitetään lämmöntalteenoton hyöty lämmitysenergian kulutuksen vähentymisestä.

TAULUKKO 32. Lämmöntalteenoton säästölaskelma

Kuukausi	$T_{U,KESKIM}$ [°C]	Päiviä/kk [d]	Tunteja/kk [h]	Lto:n lämmitysteho [kW]	Lämmitysenergia [kWh/kk]	Säästö ($\eta_{LTO}=60$) [€/kk]
Tammikuu	-8	31	744	6,5	4808	272
Helmikuu	-7,1	28	672	6,3	4201	237
Maaliskuu	-3,53	31	744	5,4	4032	228
Huhtikuu	2,42	30	720	4,0	2902	164
Toukokuu	8,84	31	744	2,5	1885	106
Kesäkuu	13,39	30	720	1,5	1060	60
Heinäkuu	15,76	31	744	0,0	0	0
Elokuu	13,76	31	744	1,4	1031	58
Syyskuu	9,18	30	720	2,5	1767	100
Lokakuu	4,07	31	744	3,6	2713	153
Marraskuu	-1,76	30	720	5,0	3604	204
Joulukuu	-5,92	31	744	6,0	4447	251
Koko vuosi	3,43	365	8760	3,8	33248	1878

Ilmanvaihtokoneen kanaviston riittämättömien suojaetäisyyksien vuoksi tuloilmavirran suuruutta tarkastellaan laskennallisesti. Ilmamäärä voidaan selvittää lämmityspatterin tehon ja ilmanlämpötilojen avulla. Tuloilmavirran suuruutta tarkastellaan lämmityspatterin tehon avulla kaavalla 3. Suunniteltu ilmavirta on koneikolle 2,05 m³/s, mutta laskelmien perusteella koneikon tuloilmavirta on 1,15 m³/s. Laskettu ilmavirta poikkeaa suunnitteluarvosta 0,9 m³/s.

6.2.3 Etyleeniglykolin mittaus

Päärakennuksen sosiaalitilojen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottojärjestelmässä kiertävän etyleeniglykolin pakkasenkestävyys oli -30,2 °C, kun näyte otettiin järjestelmästä. Seoksen glykolipitoisuus oli tällöin 45 til-%. Myöhemmin samana päivänä dokumentointia varten tehdyssä uusintamittauksessa arvo oli laskenut -29 °C:seen. Muuttuneen seoksen glykolipitoisuus oli 44 til-% (14; kuva 28).



KUVA 28. Sosiaalitalan ilmanvaihtokoneen TK203 etyleeniglykolin pakkasenkestävyys

Täyttösäiliössä olevan nesteen pakkasenkestävyys meni mittarin näyttöalueen ulkopuolelle (kuva 29).



KUVA 29. Sosiaalitalan ilmanvaihtokoneen TK203 täyttösäiliön etyleeniglykolin pakkasenkestävyys

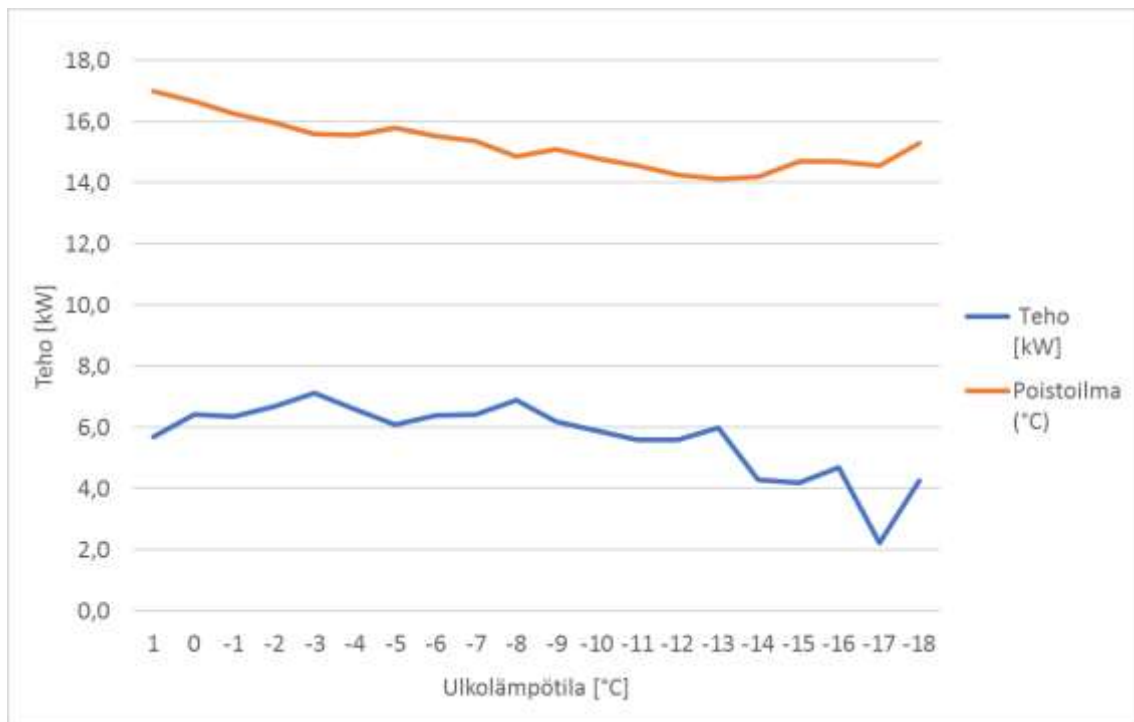
6.2.4 Lämmitysjärjestelmät

Päärakennuksen ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden, radiaattoreiden, kiertoilmakojeen ja lämpimän veden energian kulutustiedot saadaan vähentämällä Nallisportin pääenergiamittarin lukemasta ylipainehallin ja laajennusrakennuksen energiamittareiden lukemat. Mittauksella tarkastellaan rakennuksen hetkellistä tehoa sekä jatkuvaa energiankulutusta. Yhdistämällä energiamittauksesta saadut kulutustiedot ja Ilmatieteenlaitokselta ladatut ulkolämpötilatiedot saadaan päärakennuksen energiankulutus ulkolämpötilan mukaan (kuva 30). Tiedot on kerätty 8.1–1.3.2018.



KUVA 30. Päärakennuksen kaukolämmön tuntiset keskitehot ulkolämpötilan mukaan

Kuvassa 31 on esitetty tennishallin ilmanvaihtokoneen laskennallinen teho. Laskenta on suoritettu vesipuolelta.

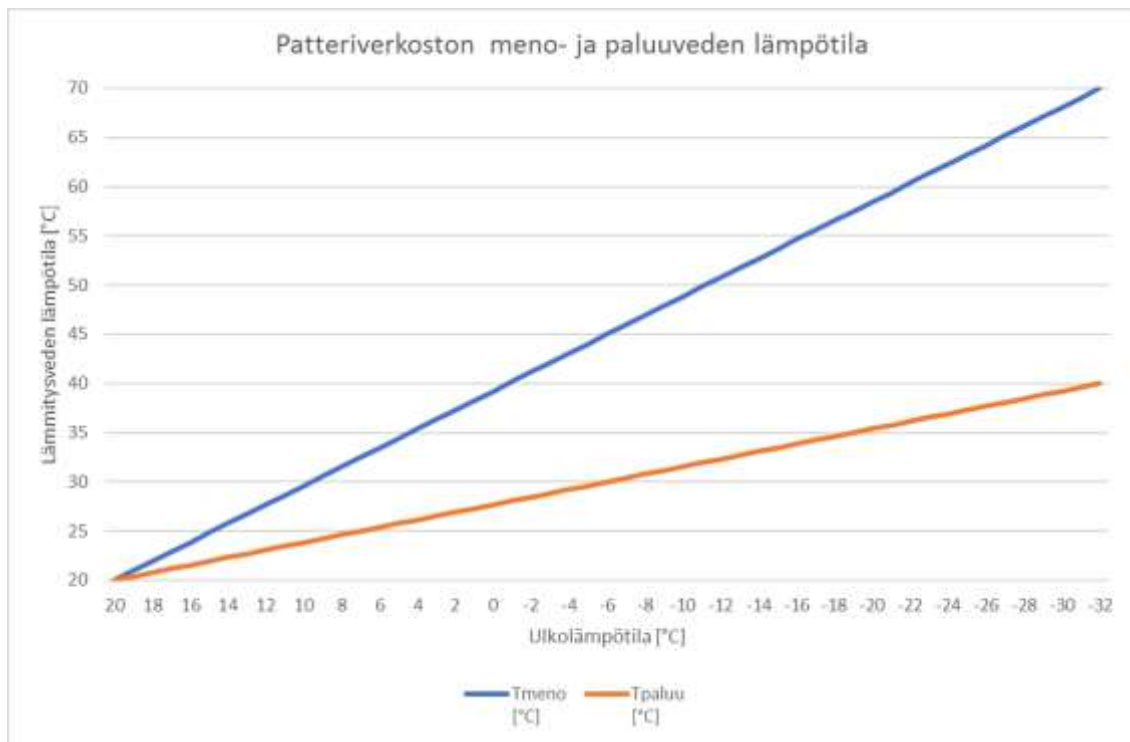


KUVA 31. Tennishallin laskennallinen teho ja poistoilman lämpötila ulkolämpötilan mukaan järjestettynä

Sosiaalitulojen lämmityspattereiden mitoitusteho voidaan laskea kaavalla 4 vanhasta mittauspöytäkirjasta löytyneen patteriverkoston mitoitusvirtaaman $185 \text{ dm}^3/\text{h}$, menoveden lämpötilan 70 °C ja paluueden lämpötilan 40 °C avulla. Laskennassa on veden tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvot otettu meno- ja paluueden keskilämpötilan 55 °C kohdalta (24; 25).

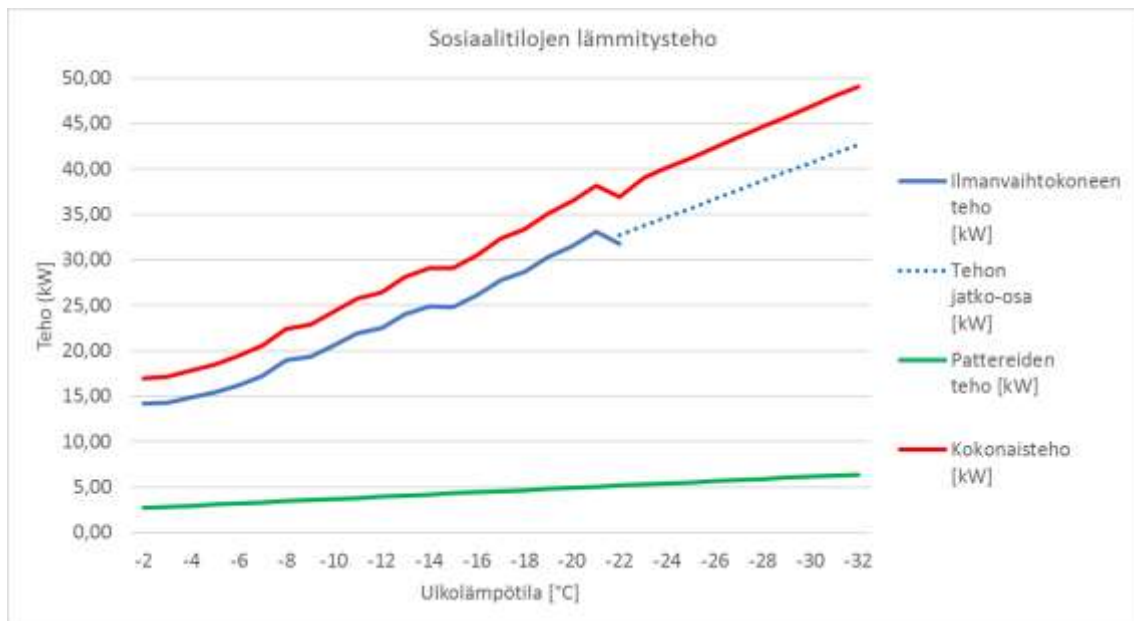
$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \frac{185}{3600 \times 1000} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 985,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4183 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (70 - 40) \text{ °C} = 6\,356 \text{ W} \\ &= 6,36 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pattereiden teho voidaan laskea eri ulkolämpötiloilla edellisen esimerkin tavoin ottamalla meno- ja paluueden lämpötilat kuvan 32 käyrästä.



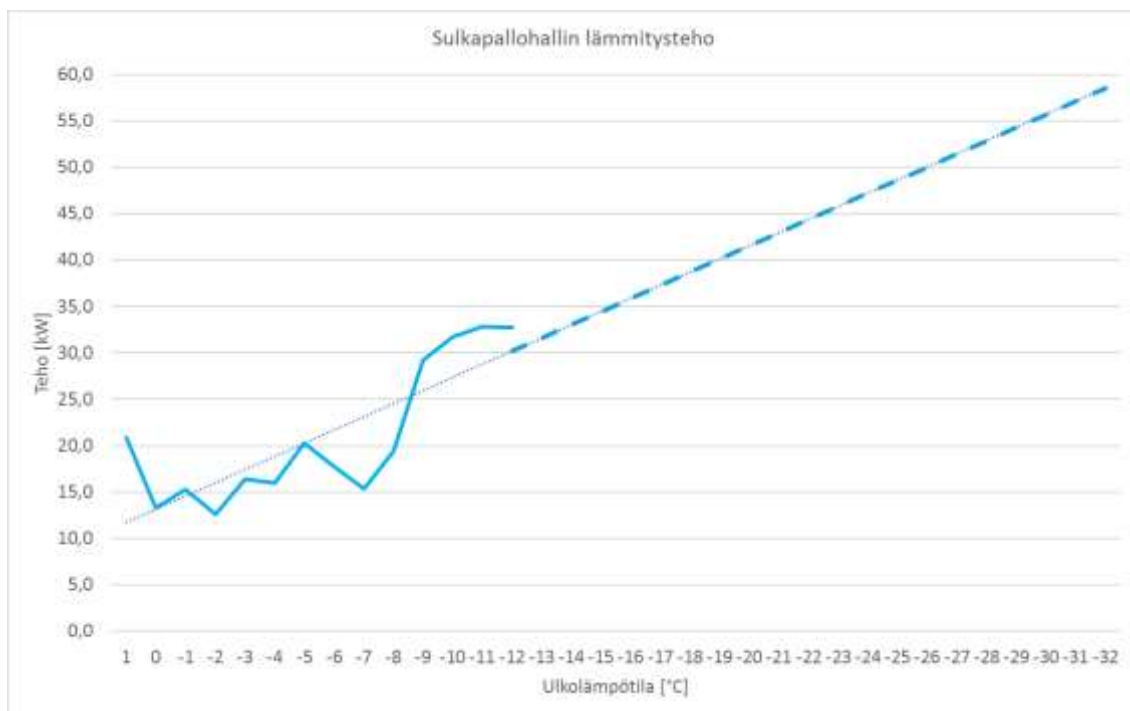
KUVA 32. Patteriverkoston teoreettinen meno- ja paluueden lämpötilan riippuvuus ulkolämpötilasta (4, s. 186)

Kuvassa 33 on esitetty sosiaalitulojen ilmanvaihtokoneen ja radiaattoreiden laskennallinen lämmitystehon suuruus. Laskennan lähtötiedot saatiin lämpötilojen ja vesivirtojen mittaustuloksista.



KUVA 33. Sosiaalitalan ilmanvaihtokoneen ja radiaattoreiden lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan

Kuvassa 34 on esitetty sulkapallohallin ja squashkenttien ilmanvaihtokoneen ja laskennallinen lämmitystehon suuruus. Laskennan lähtötiedot saatiin lämpötilojen ja vesivirtojen mittaustuloksista.



KUVA 34. Sulkapallohallin ilmanvaihtokoneen lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan

6.3 Salibandyhalli

6.3.1 Lämpötilan kerrostuminen

Salibandykentän ilmarkerrostumista mitattiin lämpötilamittauksilla, jotta saatiin tietää sisäänpuhallusilman sekoittumisesta huoneilmaan. Ilmalämmitteisessä rakennuksessa sisäänpuhallusilman sekoittuminen huoneilmaan on merkitsevä asia lämmittämisessä. Ilman täytyy puhaltaa oleskeluvyöhykkeelle, jotta hallitila lämpenee tasaisesti. Mittauksien perusteella sisäänpuhallusilma tulee oleskeluvyöhykkeelle, koska lämpötila on korkeampi alhaalla kuin ylhäällä. Ilma johdetaan oleskeluvyöhykkeelle suutinhajoittimilla, joilla on pitkä heittopituus. Ominaisuuksien myötä ilma saadaan jaettua tasaisesti pelikentille. Taulukosta 33 nähdään salibandykentän ilman kerrostumisen mittaustulokset.

TAULUKKO 33. Salibandykentän 1 ilman kerrostumien mittaus 31.01.2018, kun ulkolämpötila oli $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$

No	Mittauskorkeus [m]	Ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	
		Tuloilmalaitteen kohdalla	Keskellä
5	8	16,1	16,3
4	6,4	16,1	16,1
3	4,4	16,3	16,3
2	2,4	16,4	16,3
1	0,4	17,0	16,7
Lämpötilaero ΔT [$^{\circ}\text{C}$]		0,9	0,6

6.3.2 Ilmanvaihtokoneiden toiminta

6.3.2.1 Salibandyhalli

Salibandyhallin ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen ja toiminnan selvittämistä varten kerättiin mittaustietoa ilman ja veden lämpötiloista dataloggerilla ja TA-SCOPE-vesivirtamittarilla. Mitattujen tietojen perusteella laskettiin lämmityspatterin teho ja energiankulutus. Saatuja tuloksia verrattiin kaukolämpöenergiamittarista saatuun kulutustietoon. Laskelmien perusteella ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen osuus on 25 % salibandyhallirakennuksen kulutuksesta ja 2 % urheilukeskuksen kokonaiskulutuksesta.

Salibandyhallin ilmanvaihtokoneessa on mittausyhteet tulo- ja poistoilmavirran mittaukselle. Säädin rajoittaa ilmavirrat minimiteholle, kun ulkolämpötila on $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai alle. Kun ulkolämpötila oli $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, säätimen teho säätöasento oli tuloilmapuhaltimelle 61 % ja poistoilmapuhaltimelle 50 %. Paine-eromittarista saatujen mitaustulosten keskiarvo oli tuloilmapuhaltimelle 614,4 Pa ja poistoilmapuhaltimelle 409,333 Pa. Ilmavirrat lasketaan kaavalla 13 käyttäen ilmanvaihtokoneelle annettua k-kerrointa 381 ja mitattuja paine-ero arvoja.

$$q_{v,tulo} = 381 \times \sqrt{614,4 \text{ Pa}} = 9443,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2,623 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

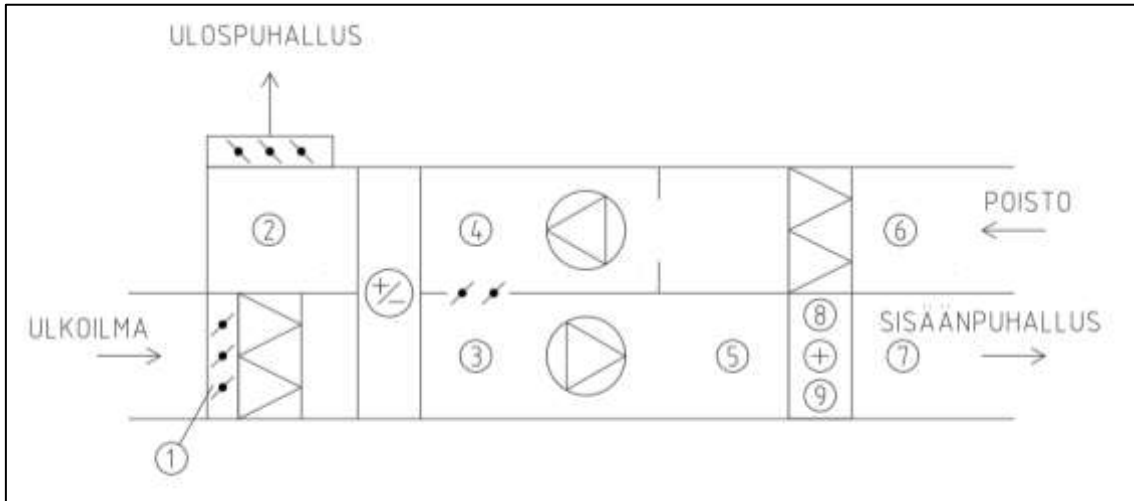
$$q_{v,poisto} = 381 \times \sqrt{400,933 \text{ Pa}} = 7628,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2,119 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tulo- ja poistoilmavirtojen ero on $2,623 \text{ m}^3/\text{s} - 2,119 \text{ m}^3/\text{s} = 0,504 \text{ m}^3/\text{s}$. Tuloilmavirta on selkeästi suurempi kuin poistoilmavirta. Tämä ero on nähtävissä myös salibandyhallissa suoritettussa paine-eromittauksessa, jonka tulokset löytyvät liitteestä 1. Salibandyhalli oli mittaushetkellä 2,4 Pa ylipaineinen ulkoilmaan nähden ja 14,8 Pa ylipaineinen sulkapallohalliin nähden. Rakennuksen ilmavirrat säädetään nykyisten määräysten mukaisesti tasapainoon siten, että rakenteisiin ei aiheudu ylipaineen johdosta rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteuskuormaa eivätkä epäpuhtaudet siirry alipaineen johdosta sisäilmaan (22, s.8).

Lämpötilamittausten perusteella laskettiin lämpötilahyötysuhde regeneratiiviselle eli pyöriväkennoiselle lämmöntalteenottolaitteelle. Tuloilman lämpötilahyötysuhde laskettiin kaavalla 22. Laskennan keskiarvo mittausjaksolla oli 68 % ja maksimi 88,4 %. Ilmavirtojen suhde $R_{LTO} = 1,238$ lasketaan kaavalla 23. Poistoilman lämpötilahyötysuhde laskettiin kaavalla 24, laskennan keskiarvo oli 84 % ja maksimi 109 %. Regeneratiivisen lämmöntalteenottolaitteen tuloilman lämpötilahyötysuhde on tyypillisesti 60–80 %. Lakennallinen tuloilman keskimääräinen lämpötilahyötysuhde oli tyypillisen regeneratiivisen lämmöntalteenottolaitteen arvojen puolivälissä. Mittausjaksolla ulkoilman lämpötila vaihteli välillä 0...–11 °C.

Salibandyhallista mitattiin salibandyturnauksen aikana hiilidioksidia pelikentän reunalta ja hallin poistoilmasäleikön edestä. Hiilidioksidipitoisuudeksi mitattiin 1080 ppm, jolloin ilmanvaihtokoneen säätimen mukaan hiilidioksidipitoisuus oli 395 ppm. Myöhempanä ajankohtana hiilidioksidianturi otettiin irti kanavasta ja puhdistettiin. Hiilidioksidianturin tyyppitietojen mukaan mittausviestin jännitealue on 0–10 V, kun hiilidioksidin mittausalue on 0–2000 ppm. Hiilidioksidimittauksen perusteella salibandyhallin poistoilmasäleiköstä mitattiin hiilidioksidipitoisuudeksi 1000 ppm ja yleismittarilla mittaviestin jännite oli noin 5 V. Mittausten perusteella anturi näyttäisi oikein. Selvitettäväksi jää Ouman EH-105 säätimen asetuksien tarkistaminen ja korjaaminen.

Kuvassa 35 esitetään salibandyhallin ilmanvaihtokoneen lämpötilamittausten mittapistet ja koneen periaatepiirros.



KUVA 35. Salibandyhallin ilmanvaihtokoneen mittauspisteet ja periaatekuva koneesta

Liitteessä 2 on esitetty mittaustuloksia yhden päivän ajalta. Mittaustulosten perusteella tehtiin muutamia havaintoja koneen toiminnasta. Tuloksista on nähtävissä selkeästi koneen toiminta-aika. Ilmanvaihtokone kytkeytyy päälle kello 09.00 ja sammuu kello 23.00. Mittauspisteen 1 ja ilmatieteenlaitoksen sivuilta kerätyn ulkolämpötilan arvoa vertaamalla näkee, milloin ulkoilmapelti on kiinni. Mittauspisteen 1 lämpötilan arvo poikkeaa ulkolämpötilan arvosta ulkoilmapellin sulkemisen jälkeen. Lämmityspatterin meno- ja paluueden lämpötilat ovat yhtä suuret yöllä (mittauspisteet 8 ja 9), kun kone ei ole käynnissä klo 09.00–23.00 ja myös päivällä klo 16.50–18.10, tuona aikana lämmityspatterin teho on nolla vesipuolelta katsottuna. Lämmityspatterin veden lämpötila on yöllä klo 05.18 3,2 °C lämpimämpi kuin patterille menevän ilman lämpötila, tämän ansiosta ilma lämpeenee patterissa 1,4 °C:tta. Lämmityspatterin teho tarkasteluhetkellä ilmapuolelle lasketaan kaavalla 3.

$$\dot{Q} = 2,623 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (17,3 - 15,9)^\circ\text{C} = 4\,407 \text{ W} = 4,4 \text{ kW}$$

Kello 16.50–18.10 mittauspisteiden 5, 7, 8 ja 9 arvo on sama, ja lämmityspatterin teho on nolla vesi ja ilmapuolelta. Klo 09.30–17.30 tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen on ollut noin 5 °C ja ilman lämpötila ennen lämmityspatteria

noin 14 °C. Voidaan päätellä, että kiertoilmapelti on ollut auki ja lämmittänyt ilmaa noin 9 °C.

6.3.2.2 Sosiaalitilat

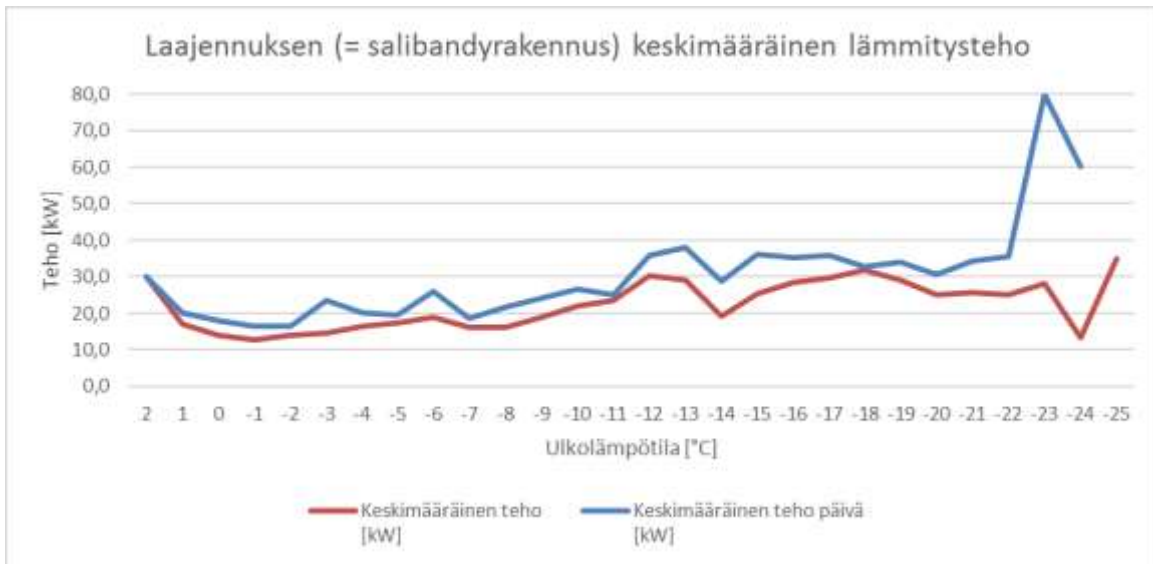
Sosiaalitilojen ilmanvaihtokoneen kuluttaman lämmitysenergian määrää laskettiin dataloggauksien sekä tarkasteltiin kaukolämmön lämpöenergiamittareiden avulla. Dataloggauksella saatiin selville ilmanvaihtokoneen ilman ja lämmityspatterin veden lämpötilat. Mitattujen lämpötilojen perusteella ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin teho laskettiin ja saatua arvoa verrattiin lämpöenergiamittauksiin. Laskelmien perusteella ilmanvaihtokoneen kuluttama teho on 26 % salibandyhallin kulutuksesta ja kokonaiskulutuksesta 2 %. Lämmityspatterin prosentuaalinen osuus salibandyhallin tehosta vaihteli mittausjakson aikana, koska käyttäjämäärät vaikuttavat poistoilman lämpötilaan ja ilmanvaihtokone ei käy yöaikaan. Säädin tehostaa koneikon ilmavirtoja, kun poistoilman lämpötila nousee yli asetusarvon.

Lämpötilamittausten perusteella laskettiin lämpötilahyötysuhteet ilmanvaihtokoneen ristivirtalämmöntalteenotolle. Tuloilmalle lämpötilahyötysuhteeksi laskettiin mittausjakson aikana 45 % ja poistoilmalle 50 % mittausjakson aikana ilmanvaihtokoneen käydessä. Ristivirtalämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde on tyypillisesti 50–70 % (23, s. 28). Laskennallinen tuloilman lämpötilahyötysuhde oli 5 % pienempi keskimäärin mittausjaksolla kuin tyypillisesti. Mittausjaksolla ulkolämpötila vaihteli –3 °C:sta –22 °C:seen.

6.3.3 Lämmitysjärjestelmät

Salibandyrakennuksen ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden energiankulutustiedot, hetkellinen ja keskimääräinen teho saadaan energiamittarin mittaustietojen perusteella. Mittauksella tarkastellaan rakennuksen hetkellistä tehoa sekä jatkuvaa energiankulutusta. Yhdistämällä energiamittauksesta, tiedot kerätty välillä 8.1–1.3.2018, saadut kulutustiedot ja Ilmatieteenlaitokselta ladatut ulkolämpötilatiedot saadaan päärakennuksen keskimääräinen lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan (kuva 36). Kuvassa 36 on esitetty rakennuksen keskimääräinen

lämmitysteho koko mittausajalta (punainen viiva) ja ajalta kello 9–23 (sininen viiva), jolloin molemmat ilmanvaihtokoneet ovat toiminnassa.



KUVA 36. Laajennusrakennuksen kaukolämmön keskimääräinen lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan

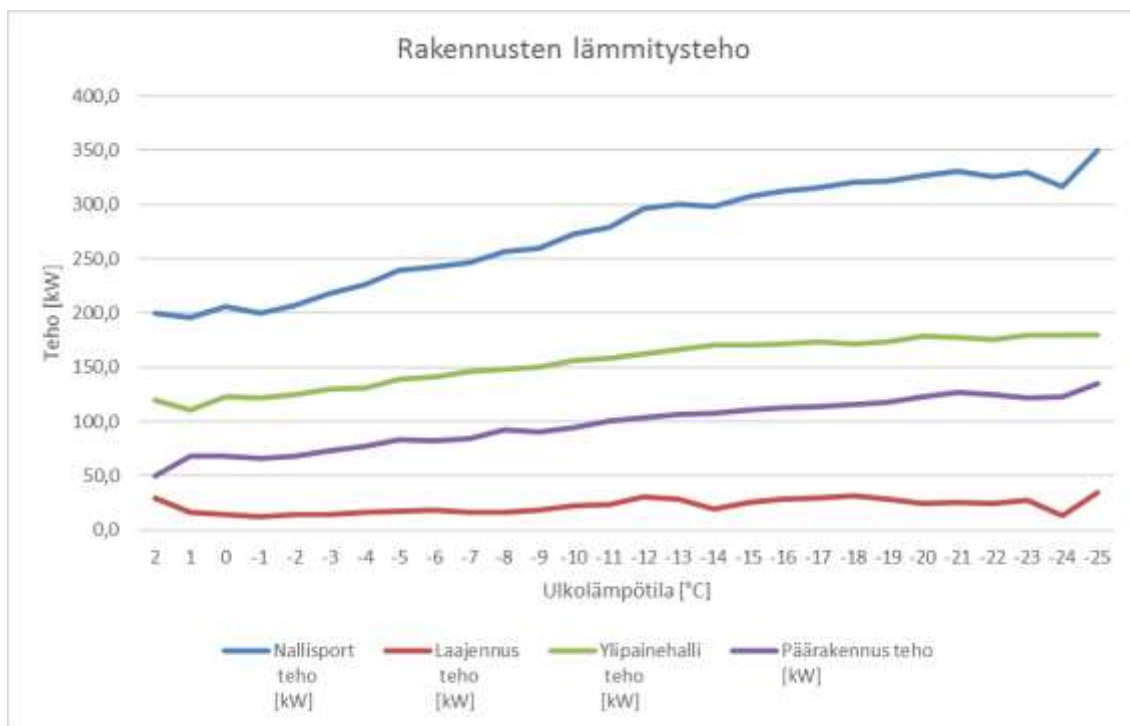
Salibandyhallin tuulikaapin kiertoilmakoje ja kaksi radiaattoria lämmittämät rakennusta yhtäjaksoisesti. Laitteiden lämmitysteho saatiin vähentämällä ilmanvaihtokoneiden hetkellinen teho energiamittauksen hetkellisestä tehosta. Laitteiden lämmitysenergian kulutus näkyy energiamittauksessa myös yöaikana jatkuvana, koska ilmanvaihtokoneet eivät käy yöaikana. Tuulikaapin kiertoilmakoje ja radiaattorit kuluttavat salibandyhallin kaukolämmönkulutuksesta 45 % ja kokonaiskulutuksesta 3 %.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää urheilukeskuksen lämmitys- ja sähköenergian kulutus ja, taloteknisten järjestelmien kuntoa sekä tutkia vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen sopivuutta kaukolämmön rinnalle. Energiankulutuksen jakautumisella tilaaja voi tarkastella pelialueiden kannattavuutta ja energiatehokkuutta. Talotekniset järjestelmät ovat suurelta osin vuodelta 1990 ja alkavat olla teknisen käyttöikänsä päässä.

Lämmitysenergian kulutuksen mittaamisessa kaukolämmön rakennuskohtaisista mittareista oli todella suuri hyöty. Lämmönjakohuoneisiin asennettiin kaksi lisämittaria, joilla saatiin salibandy- ja kuplahallin kulutus. Nykyisillä lämpöenergia-mittareilla saadaan suoraan päärakennuksen, salibandy- ja kuplahallin lämmitysenergian kulutus rakennuskohtaisesti. Mielestämme isoihin rakennuksiin pitäisi asentaa useampi kaukolämmön mittaus, jotta rakennuksen omistaja tai käyttäjä voisi helposti seurata rakennuskohtaista energiankulutusta.

Ilmanvaihtokoneiden kuluttamaa energiaa mitattiin erillismittauksin. Mittaustuloksien perusteella laskettiin ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin kuluttama lämmitysenergia ja laskettua arvoa verrattiin energiamittauksien mitattuun arvoon. Näin saatiin selvitettyä kaikkien ilmanvaihtokoneiden kuluttaman lämmitysenergian rakennuskohtainen osuus ja yksittäisten ilmanvaihtokoneitten osuus kokonaiskulutuksesta. Päärakennuksen ja salibandyhallin radiaattoreiden, lämpimän käyttöveden ja kiertoilmakojeiden lämmitysenergian kulutusta ei voitu mitata. Lämmitysenergian kulutus saatiin vähentämällä energiamittauksen tehoista ilmanvaihtokoneiden laskettu teho. Kuvassa 37 on esitetty rakennusten lämmitysteho ulkolämpötilaan nähden. Kuvaajan tulokset perustuvat lämpöenergiamittareiden mittauksiin.



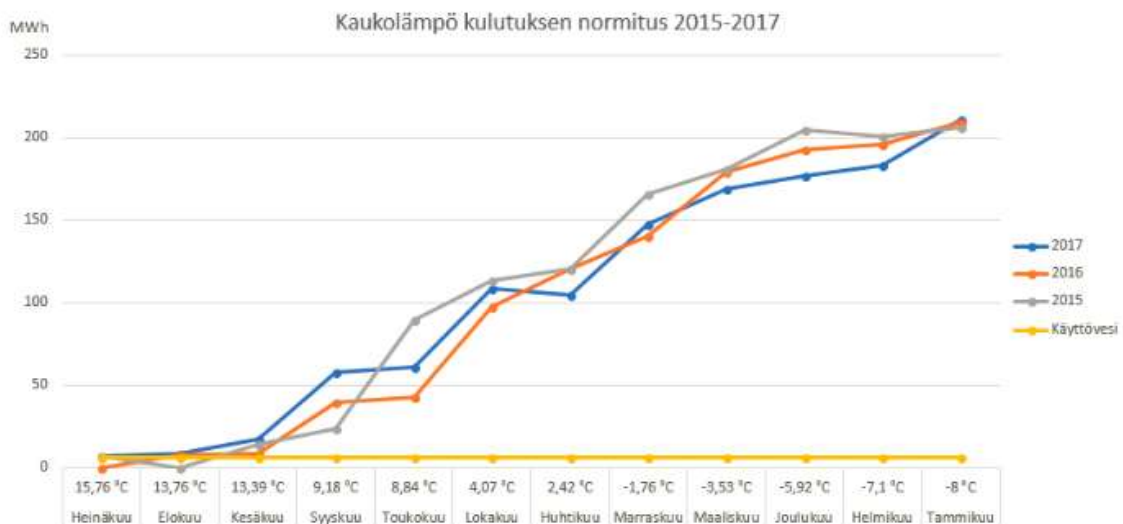
KUVA 37. Kaikkien rakennusten kaukolämmön keskimääräinen lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan

Erillismittauksien ja lämpöenergiamittareiden perusteella pystyttiin määrittämään lämmitysenergiankulutus rakennuskohtaisesti sekä osuus kokonaiskulutuksesta. Taulukossa 34 on esitetty lämmitysenergian jakautuminen. Jakautuminen on laskettu talvikaudella tehtyjen mittauksien perusteella. Kulutus on jaettu ilmanvaihtokoneiden palvelualueiden mukaan, ja päärakennuksen muut-osa sisältää käyttöveden, radiaattoreiden ja kiertoilmakojeen lämmitysenergian. Salibandyhallin muut-osa sisältää kiertoilmakojeen ja kaksi radiaattoria.

TAULUKKO 34. Lämmitysenergian jakautuminen

	Osuus rakennuksen kulutuksesta	Osuus kokonaiskulutuksesta
Päärakennus		33 %
sosiaalitilat	26 %	9 %
tennishalli	15 %	5 %
muut	23 %	8 %
sulkapallo	36 %	12 %
Salibandyhalli		7 %
salibandy	29 %	2 %
sosiaalitilat	26 %	2 %
muut	45 %	3 %
Kuplahalli	100 %	60 %

Kaukolämmön kulutus normitettiin vuosille 2015–2017 kuukausitasolla, jotta voidaan verrata lämmitysenergian kulutusta eri vuosina. Tulosten perusteella nähdään, että kulutus on suurin piirtein ollut samaa suuruus luokkaa. Normituksessa tulee virhettä käyttöveden osalta, koska tarkkaa tietoa käyttöveden jakautumisesta eri kuukausille ei ollut käytettävissä. Käyttöveden kulutukseen vaikuttaa suoraan asiakkaiden peseytyminen. Kuvassa 38 esitetään kaukolämmön kulutuksen normitus vuosina 2015–2017.



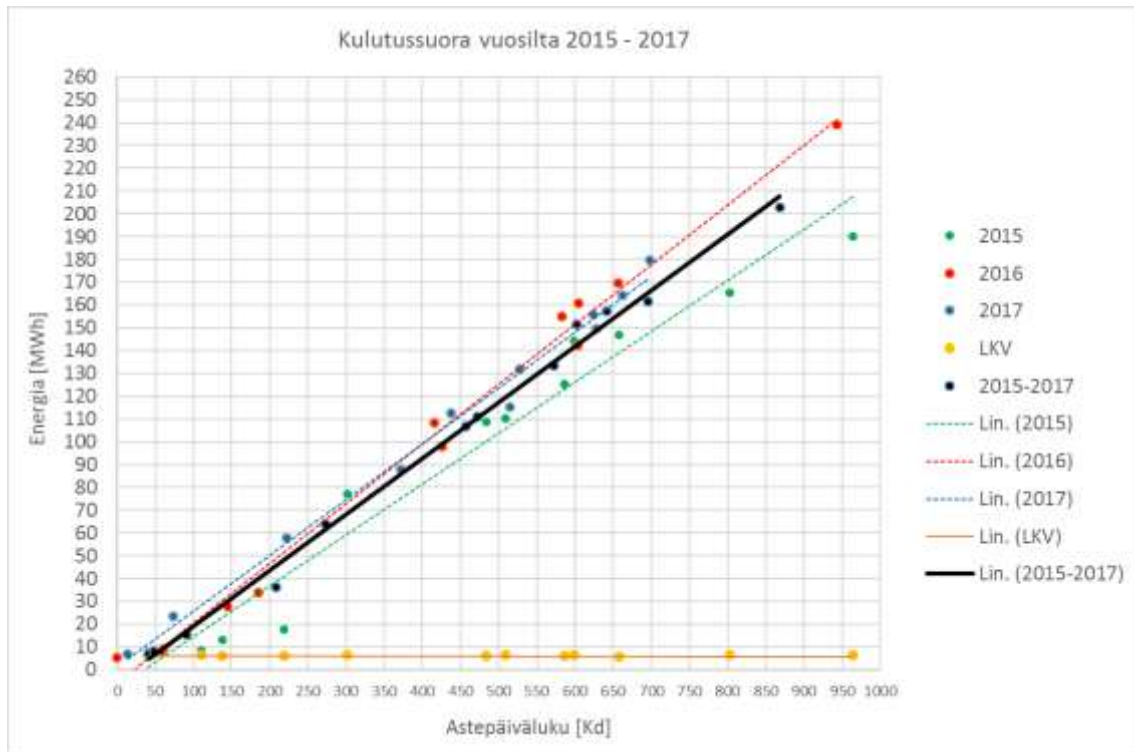
KUVA 38. Kaukolämmityksen normitettu kulutus vuosina 2015–2017.

Taulukossa 35 on esitetty rakennuksien kaukolämpöenergian ja sähköenergian kulutus vuosilta 2005–2017 sekä kaukolämmön normeerattu kulutus vuosilta 2008–2017. Nykyinen ylipainehalli on rakennettu vuoden 2008 loppupuolella ja salibandyhalli vuonna 2009. Rakennuksien lämmitys- ja sähköenergian kulutus näkyy vuosittaisessa kulutuksissa vuodesta 2009 alkaen. Kaukolämpöyhtiön energianmittaus on aloitettu vuoden 2013 alusta. Aikaisempien vuosien kulutus-tiedot ovat asiakkaan ilmoittamia. Vuoden 2011 ja 2012 välinen ero kaukolämpö-kulutuksessa johtuu siitä, että vuoden 2011 loppuvuoden kulutustiedot on ilmoit-tettu vuoden 2012 alusta.

TAULUKKO 35. Kaukolämmön ja sähkön kulutus vuosilta 2005–2017 sekä kaukolämmön normeerattu kulutus vuosilta 2008–2017

Vuosi	Kaukolämpö [MWh]	Normeerattu kulutus [MWh]	Sähkö [MWh]
2005	722,0	-	428,8
2006	819,0	-	444,9
2007	799,7	-	476,0
2008	845,2	923,4	522,6
2009	1243,6	1271,0	583,8
2010	1317,7	1196,2	740,4
2011	920,1	1016,9	730,6
2012	1587,9	1543,7	737,9
2013	1142,5	1259,6	710,8
2014	1150,5	1280,1	697,3
2015	1114,5	1351,2	687,1
2016	1157,0	1243,6	615,4
2017	1193,3	1248,1	642,4

Kuvassa 39 on esitetty kaukolämpöenergian kulutussuora vuosilta 2015–2017. Kulutussuoran pystyakselilla on kaukolämmön energian kuukausittaiset kulutus-tiedot ja vaaka-akselilla on kaukolämmön kuukausittaista kulutusta vastaava läm-mitystarveluku.



KUVA 39. Kaukolämmön energian kulutussuora vuosilta 2015–2017

Muutaman viime vuoden sähkönkulutus on ollut pienempi kuin aiempina vuosina. Kulutusta on saatu pienennettyä, kun vanhoja loisteputki- ja monimetallivalaisimia on korvattu led-valaisimilla. Valaistuksen käyttöä on pyritty ohjaamaan tarpeenmukaisesti. Valaistuksen ohjauksesta vastaa aina työvuorossaan oleva kasvatyöntekijä. Teoreettisten laskemien perusteella valaistukseen kuluu vuosittain noin puolet sähköenergiasta. Säästöjä saadaan valaistuksen uusimisella ja tarkemmalla tarpeenmukaisella ohjauksella.

Taulukossa 36 on esitetty urheilukeskuksen rakennuksien ja niiden eri osioiden sähköenergian kulutus teoreettisten laskelmien ja arvioitujen käyttöaikojen perusteella. Laskennallinen sähkön kulutus on suurempi kuin toteutunut kulutus, joka viittaa valaistuksen tarpeenmukaiseen ohjaukseen. Suurin osa sähkön kulu- tuksesta aiheutuu valaistuksesta.

TAULUKKO 36. Rakennusten välinen sähköenergian kulutusvertailu

Rakennus	Tila	Teho [W]	Kulutus [kWh/vuosi]	Kulutus [EUR/vuosi]	Osuus [%]
Ylipainehalli	Yhteensä	27763	157396	14858	21,4
Päärakennus	Yhteiset tilat	8206	17623	1664	2,4
Päärakennus	Sosiaalitilat	74835	151945	14344	20,7
Päärakennus	Tennishalli	19930	104890	9902	14,3
Päärakennus	Sulkaallohalli	18354	98105	9261	13,3
Päärakennus	Yhteensä	121325	372564	35170	50,7
Laajennus	Sosiaalitilat	34460	60663	5727	8,3
Laajennus	Salibandyhalli	32316	144270	13619	19,6
Laajennus	Yhteensä	66776	204933	19346	27,9
Yhteensä		215864	734893	69374	100

Ilman lämpötilakerrostumista selvitettiin mittauksilla, jolloin saatiin varmistettua ilmanjaon tehokkuus. Hallien ilmanjako toimii, koska mittauksien perusteella ilman lämpötila ei kerrostu huomattavasti rakennuksien korkeissa tiloissa. Tennishallin ilman lämpötilan putoaminen kovemmilla pakkasilla johtuu ilmanvaihtokoneen säätimen säädöistä, koska ilman lämpötilan huojuvat paljon. Tennishallin ilmanvaihtokoneen säätimen säätöparametrejä pitäisi korjata ja tarkastella lämpötilamittauksella ilmanvaihtokoneen toimintaa uudelleen. Salibandy- ja sulkaallohallien ilman kerrostumisessa ei ollut mitään ongelmaa.

Tennishallin ilmanvaihtokanavistolle laskettiin lämpöhäviöt ja tutkittiin vaikutusta ilman jäähtymiseen. Teoreettisesti ilma jäähtyy huomattavasti kanavistossa ja aiheuttaa suuren lämpöhäviön vuoden aikana. Ilman jäähtymisen todentamiseksi pitäisi vielä tehdä erillismittauksia. Eristämisellä saavutetaan säästöjä lämmityskustannuksissa, kun voitaisiin laskea sisäänpuhallusilman lämpötilaa. Samalla sisäänpuhallusilma ei jäähdy kanavistossa, jolloin lämmitysenergia saadaan johdettua tehokkaammin pelialueille.

8 PARANNUSEHDOTUKSET

8.1 Ilmanvaihtokoneiden automaation uusiminen

Ilmanvaihtokoneiden käytön seuranta halutaan helpottaa. Asian ratkaisemiseksi tarkastellaan päärakennuksen ja salibandyhallin ilmanvaihtokoneiden liittämistä keskitettyyn rakennusautomaatioon. Keskitetyn rakennusautomaation avulla voisi internetselaimella seurata ilmanvaihtokoneiden toimintaa ja saada vikailmoitukset reaaliajassa. Päärakennuksen ja salibandyhallin rakennusautomaatiot ovat alkuperäisiä. Tällä hetkellä ilmanvaihtokoneiden vikailmoitukset voi huomata vain paikanpäältä. Automaatiolla pystytään ajastamaan ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoja ja pienentämään ilmavirtoja yöajaksi. Yöaikaisella tehon pudotuksella pystytään säästämään lämmitysenergian tarvetta.

Päärakennukset kolmen ilmanvaihtokoneen automaation uusiminen sisältäisi ilmanvaihtokoneen säätimet, uudet anturit, pelti- ja venttiilimoottorit. Nykyiset anturit ja toimilaitemoottorit ovat päärakennuksen ilmanvaihtokoneissa alkuperäiset vuodelta 1990. Päärakennuksen laitteiden tekninen käyttöikä alkaa olemaan täynnä. Salibandyhallin ilmanvaihtokoneet on hankittu 2009 vuonna, kun rakennus rakennettiin. Salibandyhallin ilmanvaihtokoneiden liittäminen rakennusautomaatioon voidaan toteuttaa lisämoduulin lisäämisellä säätimiin.

Automaatiojärjestelmä suunniteltiin Oumanin tuotteilla, koska salibandyhallin ilmanvaihtokoneissa on jo ennestään Oumanin tuotteilla toteutettu automaatio. Automaation uusiminen päärakennuksen ilmanvaihtokoneissa sisältäisi uudet lämpötila-anturit ilmalle ja vedelle, ilman virtausanturit, peltimoottorit, lämmityspatterin venttiilimoottorit, suodattimien paine-eroanturit, säätimen ja tarvittavat lisämoduulit säätimiin, joilla mahdollistetaan selainpohjainen käyttöliittymä ja reaaliaikainen seuranta. Oumanin tuotteilla automaation toteuttaminen maksaisi arviolta 10 000 € ilman arvonlisäveroa, kun laitteiden osuus 7000 € ja työn 3000 €.

8.2 Lämmitysjärjestelmän uusiminen

Päärakennuksen lämmitysjärjestelmä on vuodelta 1990. Taloteknisten laitteiden käyttöikä alkaa olla täynnä, kun laitteiden tekninen käyttöikä on 20–30 vuotta.

Lämmitysjärjestelmä ei toimi tällä hetkellä optimaalisesti, koska ilmanvaihtokoneiden pattereiden vesivirta huojuu ja venttiilit säätävät koko ajan vaikka ei olisi tarvetta. Lämmitysjärjestelmän uusiminen käsittäisi ilmanvaihtokoneiden kiertopumput, pääpumpun, lämmönvaihtimet, 2-tieventtiilit, yksisuuntaventtiilit, lämmönvaihtimet, lämmityksen ohjauksikon ja verkoston huuhtelun. Uusimisella saataisiin parannettua järjestelmän hyötysuhdetta ja käyttöikä. Lämmönsiirtimet tukkeutuvat vanhemmiten ja menevät tehoaan. Toimenpide on myös välttämätön, koska nykyiset lämmönvaihtimet ja pumput saattavat rikkoontua ikänsä takia lähivuosina.

8.3 Valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus

Pelialueiden valaistusta ohjataan keskitetysti päärakennuksen kassalta. Yleensä kassatyöntekijä laittaa kaikki valot päälle aamulla, kun hän saapuu töihin. Valaistus on päällä kaikissa rakennuksissa urheilukeskuksen aukioloaikojen mukaan. Valaistuksen tarpeenmukaisella ohjauksella säästettäisiin sähköä, kun valaistuksen ei tarvitsisi olla päällä tyhjillä pelikentillä. Ohjaus voisi olla liiketunnistimilla toteutettu. Pelikenttien valaistuksen ohjaus liiketunnistimilla vähentäisi sähkön kulutusta ja pidentäisi valaisimien käyttöikä. Valaistukseen käytetään laskelmien perusteella noin puolet vuosittaisesta sähköenergiasta. Esimerkiksi vuoden 2017 sähkön kulutustietojen perusteella valaistuksen vuosittainen sähkön kulutus olisi 321 MWh. Jos valaistuksen ohjauksella pystyttäisiin käyttämään valaistusta 30 % vähemmän, säästettäisiin vuosittain arviolta 9 000 €.

8.4 Muut parannusehdotukset

Rakennuksien ja ilmanvaihtokoneiden tutkimisen yhteydessä tehtiin havaintoja puutteista. Energiansäästötoimenpiteet on esitetty taulukossa 37 tärkeysjärjestyksessä. Toimenpiteet vaihtelevat pienistä investoinneista suuriin, mutta kaikki ovat suositeltuja pitemmällä aikavälillä.

TAULUKKO 37. Energiansäästötoimenpiteet

Nro	Energiansäästö
1	Päärakennuksen IV-konehuoneen raitisilmakanavan eristäminen
2	Rakennuksen tiivistäminen, kierojen ovien korjaus, jne
3	Tennishallin tuloilmakanavien eristäminen
4	Ylipainehallin rakenteiden liitoksien tarkistaminen ja tiiveyden parantaminen
5	Ylipainehalliin valaistuksen ohjaus hämähäkytkimellä/katkaisimella tarpeen mukaan
6	Hallien valaistuksen ohjaus tarpeen mukaan periaatteella

Kunnossapitotoimenpiteet on esitetty taulukossa 38 tärkeysjärjestyksessä. Toimenpiteet vaihtelevat pienistä korjauksista suuriin investointeihin, mutta kaikki ovat suositeltuja pitemmällä aikavälillä.

TAULUKKO 38. Kunnossapitotoimenpiteet

Nro	Kunnossapito
1	Salibandyhallin IV-koneen CO2-säätöparametrien korjaus EH-105 säätimeen
2	Kiinteistöautomaation uusiminen
3	Salibandyhallin lattialämmityksen pumpun korjaus/uusiminen
4	Lumen pudotuksen välttäminen Salibandyhallin IV-konehuoneen taakse
5	Lämmitysjärjestelmien huuhtelu
6	Salibandyhallin IV-koneen ilmavirtojen tasapainotus
7	Salibandyhallin kanavien nuohous
8	Salibandyhallin lattialämmityksen termostaatti paluuputkeen, suojatermostaatti
9	Sulkapallohallin IV-konehuone olisi hyvä eristää kiipeilytilasta magnesiumin takia
10	Sulkapallohallin IV-konehuoneeseen valaisin
11	Sulkapallohallin paine-erojen/ilmavirtojen säätäminen kohdalleen
12	Tennishallin IV-koneen paine-erojen/ilmavirtojen säätäminen
13	Tennishallin IV-koneen säätimen korjaaminen
14	Tennishallin IV-koneen peltien säätäminen
15	Ylipainehallin lämmitysjärjestelmän uusiminen

9 VAIHTOEHTOINEN LÄMMÖNTUOTANTOTAPA

Työssä tutkittiin vaihtoehtoista lämmöntuotantotapaa kaukolämmön rinnalle. Vaihtoehtoiseksi lämmöntuotantotavaksi valittiin maalämpö ja laskettiin sen kustannuksia sekä säästöpotentiaaleja. Säästöjä tulisi kaukolämmön kulutuksen ja perusmaksun alenemisesta.

Tutkiminen aloitettiin keräämällä edellisten vuosien kaukolämmön kulutustiedot, kun maalämmöllä voitaisiin korvata kolmasosa vuoden lämpöenergiasta. Vuoden keskimääräinen lämmitysenergia laskettiin 2013–2017 vuosien kulutuksen perusteella. Vuoden keskimääräisen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 1152 MWh. Lämpöpumpuilla pystytään tuottamaan maksimissaan 60–65 celsiusasteista vettä, joten ylipainehallin lämmitykseen järjestelmä ei sovellu. Ylipainehallin arvioitu lämmitysenergiankulutus on laskelmien mukaan 50–60 % kokonaiskulutuksesta lämmityskauden aikana. Lämpöpumpun tarkastelussa ylipainehallin vuosittaisena lämmitysenergiana käytetään 576 MWh, joka on puolet rakennuksien kokonaislämmitysenergiasta. Lämpöpumpun vuosittaiseksi tuotoksi saadaan 192 MWh. Taulukossa 39 esitetään rajakustannustarkastelu maalämpöpumpun investoinnin kannattavuudesta. Maalämpöpumpun kannattavuuteen vaikuttaa huomattavasti valmistajan ilmoittama COP-arvo, joka kertoo lämpöpumpun lämmöntuotannon tehokkuudesta käytettyyn sähkötehoon nähden.

TAULUKKO 39. Maalämmön investoinnin tarkastelu

Keskimäärin kaukolämmön energiankulutus on ollut vuosina 2013-2017: 1152 MWh
 Ylipainehallin osuus kaukolämmön energiankulutuksesta: 576 MWh
 Maalämmöllä tuotettavan energian osuus lämmityksessä: 1/3
 Maalämmön energian tarve Q_{KL} [MWh] Energiakustannus [€]
 192 10909

Vuositainen hyötysuhde [COP]	$Q_{SÄHKÖ}$ [kWh]	Sähkön hinta [€]	Säästö / v [€]	Rajakustannustarkastelu		
				n=5 v	n=10 v	n=15 v
2	95964	9604	1304	6 521 €	13 041 €	19 562 €
2,5	76771	7684	3225	16 125 €	32 250 €	48 375 €
3	63976	6403	4506	22 528 €	45 056 €	67 584 €
3,5	54836	5488	5420	27 102 €	54 203 €	81 305 €
4	47982	4802	6106	30 532 €	61 064 €	91 596 €

Eräältä maalämmön myyjältä kysyttiin tarjousta kohteeseen. Myyjän ehdotus sisälsi kaksi maalämpöpumppua, joiden yhteisteho olisi 132 kW. Kyseisellä yhteisteholla pumput pystyisivät tuottamaan puolet rakennuksien keskimääräisestä

vuosittaisesta lämmitysenergiasta. Maalämpöpumppujen lisäksi tulisi yksi 4 m³ tai kaksi pienempää puskurivaraajaa, joissa kiertäisi lämmitysjärjestelmän vesi. Maalämpöpumppujen mitoitettu yhteisteho on valittu vuosittaisen 384 MWh mukaan, jossa ylipainehallin lämmitys on mukana.

Mitoituksessa tulisi ottaa tarkasti huomioon maalämmön kustannukset ja käyntiajat. Väärällä mitoituksella maalämmöllä ei saada säästöjä kaukolämpöön nähden, koska pätkäkäynnillä maalämpöpumpun kompressori ei kestä kymmentä vuotta ja vaihdosta aiheutuu kustannuksia. Tarjouksen mukaan lämpökaivojen yhteispituudeksi tulisi 2300 m. Kun rakennetaan useampi lämpökaivo, tulisi maaperälle tehdä TRT-mittaus eli terminen vastetesti. Mittauksella selvitetään maaperän lämmönjohtavuus, maaperän keskilämpötila sekä vastus, jolloin kaivojen pituus ja määrä voidaan optimoida kallion laadun mukaan (26).

10 VAIHTOEHTOINEN SÄHKÖNTUOTTOTAPA

Työssä tutkittiin aurinkosähköjärjestelmän sähköntuottoa verkosta otettavan sähkön rinnalle. Laskelmassa käytettävä sähkön tuoton teho on laskettu sähkön toimittajalta saaduista tuntisista sähköenergian kulutuksen tiedoista vuodelta 2017. Saatu teho P_{max} on 95 kW on keskiarvo väliltä toukokuu–heinäkuu klo 09.00–21.00. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto on tarkoitettu käytettäväksi suoraan rakennuksessa, sähköä ei syötetä takaisin verkkoon ja varaavia akkujärjestelmiä ei käytetä. Laskelmat tehtiin aurinko-opas 2012:n esimerkin mukaisesti (27, s. 20 - 23, 32, 33).

Laskelman lähtötiedot:

- Rakennus sijaitsee Oulussa, vaakatasolle osuva aurinkosäteilyn kokonaisenergia on vuodessa $E_{sol,hor} = 890 \text{ kWh/m}^2, a$ (27, s. 15).
- Aurinkosähkökennomoduulit (= paneelit) asennetaan kaarevaan kattopintaan, joka on suunnattu lounaaseen. Ilmansuunnan mukainen kerroin $F_1 = 1$.
- Paneelien asennuskulma on $30^\circ \dots 70^\circ$. Kallistuksen mukainen kerroin $F_2 = 1,2$.
- Paneeli asennetaan katolle irti kattorakenteesta ja kennot ovat tuuletettuja. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö} = 0,75$.
- Aurinkosähkökennon huipputehokerroina käytetään aurinko-oppaan esimerkin mukaista huipputehokerrointa $K_{max} = 0,15$.

Paneelien tehollinen pinta-ala ilman kehyksiä $633,33 \text{ m}^2$ lasketaan kaavalla 25 (27, s. 21). Tarvittava paneelien määrä saadaan, kun tiedetään kennojen tehollinen pinta-ala. Paneelien kennojen pinta-ala ei ollut laskentaa tehtäessä tiedossa.

$$P_{max} = K_{max} \times A$$

KAAVA 25

P_{max} = aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, kW

K_{max} = aurinkosähkökennon tyypistä johtuva huipputehokerroin, kW/m²

A = aurinkosähkökennon pinta-ala ilman kehyksiä, m²

Ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin $F_{asento} = 1,2$ lasketaan kaavalla 26 (27, s. 21).

$$F_{asento} = F_1 \times F_2 \quad \text{KAAVA 26}$$

F_{asento} = aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin

F_1 = ilmansuunnan mukainen korjauskerroin

F_2 = kallistuskulman mukainen korjauskerroin

Aurinkosähkökennostoon kohdistuva auringonsäteilyn energia $E_{sol} = 1067,76$ kWh/m²a lasketaan kaavalla 27 (27, s. 20).

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \times F_{asento} \quad \text{KAAVA 27}$$

E_{sol} = vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu kennoihin, kWh/m²,a

$E_{sol,hor}$ = rakennuksen sijaintipaikasta riippuva, vaakatasolle osuva auringon kokonaisenergian määrä vuodessa, kWh/m²,a

F_{asento} = aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin

Aurinkosähkökennojen avulla saatava sähköenergia $E_{s,pv,out} = 76078$ kWh/a lasketaan kaavalla 28 (27, s. 20).

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \times P_{max} \times F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad \text{KAAVA 28}$$

$E_{s,pv,out}$ = aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa, kWh/a

$F_{käyttö}$ = käyttötilanteen toimivuuskerroin

I_{ref} = referenssisäteilytilanne, 1 kW/m²

Aurinkosähkökennoista saatava sähköenergian kuukausittainen tuotto saadaan jakamalla vaakatasolle tuleva kokonaissäteilyenergia koko vuoden energiasummalla ja kertomalla se kennojen vuodessa tuottamalla sähköenergian määrällä $E_{s,pv,out}$ (Taulukko 40). Taulukon 40 ulkoilman keskilämpötilan ja auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle tarkat arvot säävyöhykkeellä 3 on otettu Suomen rakennusmääräyskokoelman osasta D3 (28, s. 31).

TAULUKKO 40. Aurinkosähkökennoista saatava kuukausittainen tuotto

Kuukausi	$T_{U,KESKIM}$ °C	$G_{sät,vaakapinta}$ kWh/m ² /kk	Säteilysummasta	$E_{s,pv,out}$ kWh/kk	kwh/vrk	kwh/h
Tammikuu	-8	5,4	0,00607	461,7	14,9	0,6
Helmikuu	-7,1	20,1	0,02259	1718,5	61,4	2,6
Maaliskuu	-3,53	51,9	0,05833	4437,4	143,1	6,0
Huhtikuu	2,42	102,9	0,11564	8797,9	293,3	12,2
Toukokuu	8,84	171,4	0,19263	14654,7	472,7	19,7
Kesäkuu	13,39	159,1	0,17880	13603,0	453,4	18,9
Heinäkuu	15,76	158,2	0,17779	13526,1	436,3	18,2
Elokuu	13,76	113,9	0,12801	9738,4	314,1	13,1
Syyskuu	9,18	71,1	0,07991	6079,0	202,6	8,4
Lokakuu	4,07	25,3	0,02843	2163,1	69,8	2,9
Marraskuu	-1,76	7,3	0,00820	624,1	20,8	0,9
Joulukuu	-5,92	3,2	0,00360	273,6	8,8	0,4
Vuosi	3,43	889,8	1	76077,9	208,43	8,68

Taulukossa 41 on esitetty aurinkosähköjärjestelmän rajakustannustarkastelu. Sen mukaan esimerkiksi järjestelmän takaisinmaksuaika 10 vuoden tarkastelujaksolla on 71 817,5 €. Ennen investointeja aurinkosähkökennojen tuotto on hyvä tarkastaa aurinkopaneelitoimittajien omien laskelmien avulla. Huipputehokertoimen K_{max} suuruus on paneelikohtainen ja se vaikuttaa lopulliseen tarvittavaan paneelien pinta-alaan ja vuodessa saatavaan aurinkosähkötuottoon $E_{s,pv,out}$.

TAULUKKO 41. Investoinnin rajakustannustarkastelu

$E_{s,pv,out}$ [kwh]	Sähkön hinta [EUR]	Säästö [EUR/vuosi]	Rajakustannustarkastelu [EUR]		
			n = 5 v	n = 10 v	n = 15 v
76077,9	7181,7	7181,7	35908,7	71817,5	107726,2

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä urheilukeskuksen energiakatselmus, jolla selvitetään sähkö- ja kaukolämpöenergian kulutuksen jakautuminen rakennuskohtaisesti. Energiakatselmus ohessa tarkasteltiin taloteknisten laitteiden toimivuutta, koska osa laitteistoista on huomattavan vanhoja. Maalämmön investoinnin rajakustannuksia laskettiin tilanteessa, jossa maalämmöllä korvattaisiin osa ostetusta kaukolämpöenergiasta. Sähkönenergian kulutusta arvioitiin ja tarkasteltiin, onko aurinkopaneeleilla kannattava tuottaa sähköä kattamaan rakennuksien peruskulutus.

Lämmitysenergian kulutuksen jakautumisen määrittämisessä Oulun energian asentamista alamittauksista oli paljon apua. Alamittauksilla saatiin suoraan kaukolämpöenergian jakautuma rakennuskohtaisesti. Alamittauksien toteutuneesta energiankulutuksesta erotettiin ilmanvaihtokonekohtaisesti energiankulutus ja saatiin hyvä kuva energian jakautumisesta rakennuksien ilmanvaihtokoneiden kesken. Tuloksista voidaan huomata, että uusien ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuus on parempi kuin 20 vuotta vanhempien. Lämmitysenergiaa voitaisiin säästää uusimalla vanhat ilmanvaihtokoneet sekä lämmitysjärjestelmät.

Sähköenergian kulutusta arvioitiin sähkölaitteiden kilpitietojen ja käyttöaikojen mukaan, jolloin saatiin energiankulutus jaettua rakennuksien palvelualueiden kesken. Urheilukeskuksessa suurin osa sähköenergiasta kuluu valaistukseen. Suuria kuluttajia ovat monimetalli- ja loisteputkivalaisimet. Tilojen loisteputkivalaisimia on korvattu vuosien saatossa led-valaisimilla ja niillä saadaan selvää säästöä. Led-valaisin kuluttaa enintään puolet loisteputkivalaisimeen nähden ja tarjoaa saman valotehon. Valaistuksen tarpeenmukaisella ohjauksella voitaisiin saada lisäsäästöjä. Pelialueiden tarpeenmukainen valaistuksen ohjaus voidaan toteuttaa liiketunnistimilla, jolloin valot eivät ole turhaan päällä pelialueilla.

Jos osa lämmitysenergiasta tuotettaisiin maalämmöllä, tulisi päärakennuksen lämmönjakohuone suurentaa, koska tilaan pitäisi mahtua yksi tai kaksi lämpöpumppua ja iso lämminvesivaraaja. Lämpökaivojen yhteispituus 2300 m on aika

suuri ja lämpökaivojen mahduttaminen tontille on haastavaa. Maalämmön investointia tilaajan täytyy harkita ja kysyä toimittajilta tarkempia tarjouksia.

Kun rakennuksissa on useampi ilmanvaihtokone ja -huone, pitäisi olla keskitetty automaatio. Jos rakennuksessa on keskitetty rakennusautomaatio, ei rakennuksen käyttäjän tai omistajan tarvitse murehtia koneiden toiminnasta, vaan he saavat reaaliajassa koneiden hälytykset. Urheilukeskuksen nykyinen automaatiojärjestelmä antaa hälytyksiä vikatiloista, mutta hälytykset täytyy kuitata säätimestä paikanpäältä. Rakennusautomaation uusimisella hälytykset voitaisiin nähdä suoraan tietokoneelta reaaliajassa. Automaation uusimisen hyviä puolia ovat pitkä elinkaari, ilmanvaihtokoneiden tehon säätö tarpeen mukaan ja reaaliaikaista tietoa ilmanvaihtokoneiden toiminnasta. Automaation kellotoiminnoilla voidaan ajastaa ilmanvaihtokone käymään pienemmällä teholla yöaikaan, jolloin säästetään energiaa.

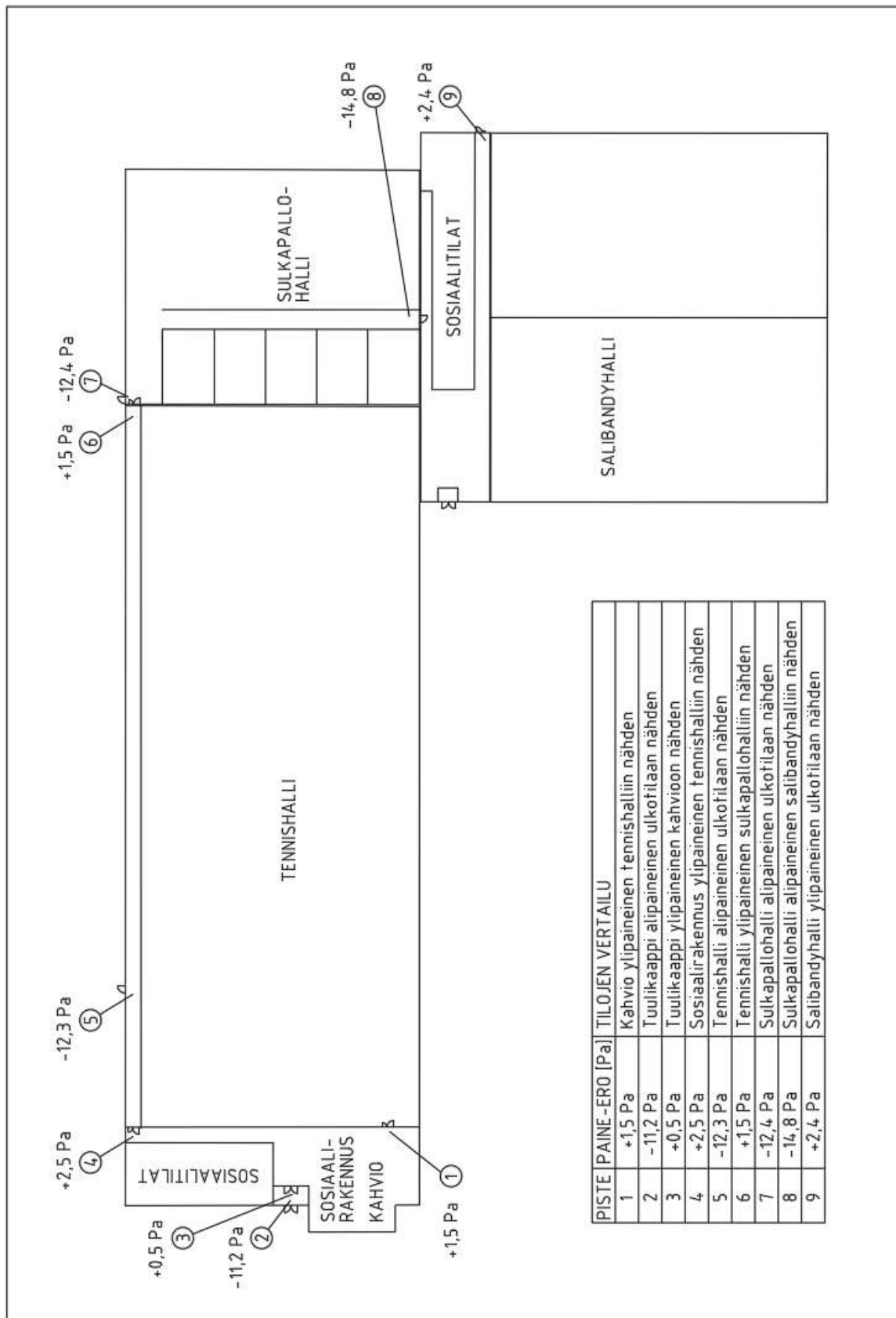
Lopuksi työssä tutkittiin aurinkopaneelien investointia. Aurinkopaneeleilla sähkön tuotanto on kannattava, jos kaikki tuotettu sähköenergia saadaan hyödyksi. Itselle tuotetusta sähköenergiasta ei tarvitse maksaa siirtomaksua tai veroa. Aurinkopaneelien investointiin voi hakea tukea työ- ja elinkeinoministeriöstä, jolloin hankinnan kustannuksia saadaan laskettua. Aurinkopaneelien mitoitusteho 95 kW on sähkön toukokuun–heinäkuun kulutustiedoista saatu päivittäisen tuntisen energiakulutuksen keskiarvo. Mitoituksen mukaan paneelien tehollinen pinta-alan pitäisi olla 633 m².

LÄHTEET

1. Kulutuksen normitus, Laskentakaavat ja –ohjeet, 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen_normitus_Laskentakaavat_ja_ohjeet_Motiva_Oy_12-2016.pdf. Hakupäivä 6.4.2018.
2. Ilmatieteen laitos. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Hakupäivä 6.4.2018.
3. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta, ohjeet, 2018. 2018. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>. Hakupäivä 7.4.2018.
4. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-yhdistysten liitto. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
5. Tekninen opas nro 7 – Sähkökäytön mitoitus. 2001. ABB Automation Group Ltd. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf. Hakupäivä 13.3.2018.
6. SFS 5147. 1986. Ilmatekniikka. Puhaltimet. Suoritusarvojen virtaustekniset mittaukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
7. SFS 5512. 1989. Ilmastointi. Ilmavirtojen painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
8. Shekhter, Yu.L. 2011. Hot-wire and hot-film anemometers. Institute of High Temperatures USSR Academy of Sciences. Saatavissa: <http://www.thermopediSa.com/content/853/>. Hakupäivä 16.2.2018.
9. High-performance centrifugal fans. Measuring device for determining air volume. 2011. Saatavissa: https://pv-k.ru/files/pdf-catalog/ziehl-abegg/RH_C+RH_Cpro.pdf. Hakupäivä 16.2.2018.
10. Havaintojen lataus. 2018. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>. Hakupäivä 27.1.2018.
11. Neuvoja havaintosuureiden tulkintaan. 2018. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/neuvoja-havaintosuureisiin>. Hakupäivä 27.1.2018.

12. TA-CMI user manual. 2005. Saatavissa: <http://www2.imi-hydro-nic.com/ProductFiles/Products/documents/Archive/Measuring%20Instruments/307%20161-02%20TA-CMI%20GB.pdf>. Hakupäivä 28.1.2018.
13. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. 2017. Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista. Selvitys muiden kuin asuinrakennuksen tilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista ja selvitys asuinrakennuksen asuintilojen ja yhteistilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista. 2017. Helsinki: FINVAC ry. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>. Hakupäivä 16.2.2018.
14. CoolPack. A Collection of Simulation Tools for Refrigeration. Versio 1.50. Saatavissa: <http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx>. Hakupäivä 23.3.2018.
15. Grundfos UPS 32-120 F. Tuotteiden valintaohjelma. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail/product-detail.html?productnumber=96401839&qcid=322751612>. Hakupäivä 27.2.2018.
16. Wilo-Select 4. Pumpun valintaohjelma. Versio 4.3.9-2018.01.05. Saatavissa: <https://wilo-select.com/StartMain.aspx>. Hakupäivä 14.3.2018.
17. Oras 4100 -linjasäätöventtiilit. Käyttöohje 4100/4110/4120 Säätökäyrät (Finnish). Saatavissa: <https://www.oras.com/fi/tuotteet/oras/product/4100/>. Hakupäivä 15.3.2018.
18. Julkaisu K1/2013. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf. Hakupäivä 6.4.2018.
19. C4.2003. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Suomen rakentamismääräyskoelma. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931/C4s.pdf>. Hakupäivä 31.3.2018.
20. Seppänen, Olli 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver palvelut Oy.
21. Sauli Paloniitty, 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy

22. 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 2017. Suomen säädöskokoelma. Oikeusministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BAAD7DB92-F571-4766-A3F1-BFF63383191B%7D/133875> . Hakupäivä 7.4.2018.
23. Tasauslaskentaopas 2018, Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2017. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maan-kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Energiatehokkuus. Hakupäivä 13.3.2018.
24. Density of liquid water from 0 °C to 100 °C. Saatavissa: http://www.vaxasoftware.com/doc_eduen/qui/denh2o.pdf. Hakupäivä 15.3.2018.
25. Heat capacity of water at different temperatures. Saatavissa: http://www.vaxasoftware.com/doc_eduen/qui/caloresph2o.pdf. Hakupäivä 15.3.2018.
26. Rototec. Saatavissa: <https://www.geodrill.fi/trt-mittaus/>. Hakupäivä 29.3.2018.
27. Aurinko-opas 2012, Aurinkolämmön ja -sähkön energiatuoton laskennan opas. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750>. Hakupäivä 27.3.2018.
28. D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.



PISTE	PAINE-ERO [Pa]	TILOJEN VERTAILU
1	+1,5 Pa	Kahvio ylipaineinen tennishalliin nähden
2	-11,2 Pa	Tuulikaappi alipaineinen ulkotilaan nähden
3	+0,5 Pa	Tuulikaappi ylipaineinen kahvioon nähden
4	+2,5 Pa	Sosiaalirakennus ylipaineinen tennishalliin nähden
5	-12,3 Pa	Tennishalli alipaineinen ulkotilaan nähden
6	+1,5 Pa	Tennishalli ylipaineinen sulkapallohalliin nähden
7	-12,4 Pa	Sulkapallohalli alipaineinen ulkotilaan nähden
8	-14,8 Pa	Sulkapallohalli alipaineinen salibandyhalliin nähden
9	+2,4 Pa	Salibandyhalli ylipaineinen ulkotilaan nähden

