

Antti Mäenpää

Uimahallin energiankäytön kartoitus

Allastiloista tapahtuva haihtuminen

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Antti Mäenpää Uimahallin energiankäytön kartoitus, allastiloista tapahtuva haihtuminen 40 sivua + 7 liitettä 21.6.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	tuotantopainoinen
Ohjaaja	lehtori Seppo Innanen
<p>Tässä insinööriyössä oli tavoitteena tutkia Koriolla sijaitsevan palvelutalon uimahallin energian käyttöä ja allasvedestä haihtumisen seurauksena tapahtuvaa energia häviötä. Työ oli osa isompaa tutkimusta palvelutalon energian käytöstä. Lauri Järvelä selvittää vielä julkaisemattomassa insinööriyössään 2012, "palvelutalon energiakatselmus" tarkemmin palvelutalon energiakatselmusta ja säästötoimenpiteitä.</p> <p>Uimahallissa mitattiin kevään 2012 aikana valitsevat olosuhteet, ilmankosteudet ja lämpötilat mittausajanjaksolla. Näiden mittaustietojen perusteella arvioitiin uimahallin kuluttama energia ja verrattiin sitä kulutustiedoista saatuihin tuloksiin. Mittaukset suoritettiin LVI-korttien 014-10290 ja 014-10190 mukaisesti ja haihtumisen laskennassa käytettiin hyödynsi CoolPack-ohjelmistoa ja LVI-06-10451-korttia.</p> <p>Uima-allasvedestä ja peittämättömistä tasausaltaista haihtuminen oli yhteensä 15 664,1 kg/vko. Uima-altaan peittämisen jälkeen haihdunta oli 250,9 kg/vko tulokseen vaikuttaa peitteen tiiveys suuressa määrin. Haihdunnan seurauksena altaasta laskettiin energiahäviön olevan 62,16 kW.</p> <p>Työssä käsiteltiin myös uimahallin sisälle tulevan ilmankuivaimen kuivauksella tuomaa hyötyä ja aurinkoenergialla saatavaa energian tuomaa säästöä. Ilmankuivaimen hankinta on kannattavaa, koska sillä saataisiin altaan haihtumislämpö talteen, sekä allastilan ilma-kuivattua. Ilmankuivain auttaisi hidastamaan korroosiota ja parantamaan laitteiden elinikää. Aurinkoenergiassa haasteeksi tuli suuri hankintahinta, mutta kuitenkin takaisinmaksajaksi saatiin 6,7 vuotta.</p>	
Avainsanat	uimahalli, haihtuminen, energiakartoitus,

Author(s) Title	Antti Mäenpää Energy consumption and pool evaporation in an indoor swimming pool
Number of Pages Date	40 pages + 7 appendices 21 May 2012
Degree	Bachelor of engineering
Degree Programme	Building Service Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor(s)	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The aim of this final year project was to map the energy efficiency of an indoor swimming pool. The thesis also studied the evaporation from the pool. The Bachelor's thesis was part of a larger project surveying the energy usage of a service block of flats. The energy survey and conservation measures were looked into in more detail in another thesis.</p> <p>The conditions in the swimming pool were thoroughly measured in the spring of 2012. The measurement data were used to evaluate the energy consumed by the swimming pool. Then the result was compared to the consumption data. The measured evaporation was 15664.1 kg/week. By covering the pool, evaporation was decreased to 250.9 kg/week.</p> <p>The Thesis also studied the benefits of a dehumidifier in the indoor swimming pool. It was established that the dehumidifier could be used because it saves latent heat by drying the air and also extends the lifetime of the other devices by reducing corrosion. Also, solar energy usage and its payback time were looked into. The solar energy payback period was 6.7 years, but the investment cost was enormous.</p>	
Keywords	swimming pool, energy efficiency, dehumidification

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Korian palvelutalon uimahalli	2
2.1	Kohdetiedot	2
2.2	Rakennuksen LVIS-järjestelmät	3
2.2.1	Lämmitysjärjestelmä	3
2.2.2	Ilmanvaihtojärjestelmä	4
2.2.3	Vesi- ja viemärijärjestelmät	5
3	Energian käyttö kohteessa	5
3.1	Kulutustietoja	5
3.2	Energian hinta	10
3.3	Kenttämittaukset	11
3.3.1	Lämpötila	11
3.3.2	Ilmavirrat	13
3.3.3	Vesivirrat	15
4	Uimahalli	16
4.1	Uimahallin sisäilma	16
4.1.1	Lämpötila ja kosteus	16
4.1.2	Ilmanvaihto	17
4.2	Uimahallin nykytilanne	17
4.2.1	Sisäilmasto	17
4.2.2	Ilmanvaihtokone	23
4.2.3	Lämmitys	26
4.2.4	Tilojen yleiskunto	27
5	Kannattavuuslaskelmat	29
5.1	Uima-altaan allasveden haihdunnan pienentäminen lämpötilan nostolla	29
5.2	Altaan peittäminen	31
5.3	Tasaus-altaan peittäminen	32
5.4	Haihtumisen energiankulutus	33
5.5	Kuivaimen asentaminen	34
5.6	Aurinkolämpö	36

5.7	Muut ratkaisut	37
6	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	

Liite 1. Maakaasun kytkentäkaavio

Liite 2. Ilmanvaihtokoneen toimintaselostus

Liite 3. Ilmanvaihtokoneen käyntiajat

Liite 4. Uima-allastilan mittauspisteet

Liite 5. Mollier-diagrammi

Liite 6. Ilmankuivain

Liite 7. Aurinkokeräin

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on kuvata uimahallin energiankulutusta ja siihen kohdistuvia energiansäästö toimenpiteitä. Toimenpiteet rajoitettiin uimahallin vedestä tapahtuvan haihdunnan energian pienentämiseen lämpötiloilla ja ilmankuivauksella. Työssä tutkittiin myös aurinkolämmön käyttöä uimahallin lämmittämisessä ja siitä aiheutuvaa kustannusta.

Työssä hyödynnettiin ”Hyvinvointia ja energiatehokkuutta asumiseen” (HEA)-projektin tuloksia määriteltäessä uimahallin olosuhteita. Työssä esiintyvä kohde on Koriolla sijaitseva palvelukeskus, jonka yhteydessä on uimahalli.

Kohteessa suoritettiin ilmvirtamittauksia, vesivirtamittauksia ja lämpötilamittauksia, sekä suoritettiin yleisiä katselmuksia talotekniikanjärjestelmien kunnosta ja toiminnasta. Kohteesta kerättiin kulutustietoja neljän vuoden ajalta. Näiden mittausten, katselmusten ja kulutustietojen avulla on tarkoitus määrittää kohteen energiankäytön nykytila.

Työssä tarkasteltiin ilmankuivaimen tuomaa hyötyä allaslaitetilan kuivamaasineen sekä altaiden peittämisestä koituvaa energian säästöä. Altaiden peittäminen ei rajoittuisi vain uima-altaisiin, myös uima-altaiden tasaus allas peitettäisiin. Aurinkoenergiaa laskelmoitiin myös hyödynnettäväksi altaiden lämmitykseen. Aurinkoenergian osuutta on arvioitu teoreettisesti sekä sen takaisin maksuaikaa on laskettu arvioiduilla tuloksilla.

2 Korian palvelutalon uimahalli

2.1 Kohdetiedot

Korian palvelukeskus tarjoaa turvallista asumista ja hoitopaikkaa ikäihmisille, sekä monipuolisia palveluita kaikenikäisille ihmisille. Palvelukeskuksessa on fysioterapiapalveluita, ryhmäliikunta mahdollisuuksia ja kuntosali. Palvelukeskuksen yhteydessä on myös täysikokoinen uimahalli saunoineen. (1)

Rakennuksessa on yhteensä 29 paikkaa ikäihmisille, joista 15 soveltuu muistihäiriöisille asukkaille. Lisäksi talossa on neljä lyhytaikaishoitopaikkaa mm. omaishoitajien vapaita varten. Palvelukeskuksesta löytyy myös ravintola/kahvila, joka tarjoaa asukkaille sekä muille asiakkaille päivittäiset ateriat, välipalat sekä virvokkeet. Tällä hetkellä palvelutalossa asuu 30 ikäihmistä ja henkilökuntaa on 45. (1)

Uimahallin puolelta on kerätty taulukkoon 1 rakennuksen lähtötietoja. Taulukosta löytyvät pinta-alat ja rakennuksen tilavuus. Huonekorkeutena ja kerroskorkeutena on käytetty korkeuden keskiarvoa uima-allastilan viistosta katosta johtuen.

Taulukko 1. Uimahallin tilavuuksia ja pinta-aloja

	Uimahalli, rakennus	Uima-allastila+huoltotila	Uimahallin puoli, muut tilat
Rakennuksen bruttoala (m ²)	1194	750	444
Rakennustilavuus (m ³)	7100	4880	2220
Ilmatilavuus, lämpimät tilat (m ³)	6235	4148	2087
Huonekorkeus		~6500	3000
Kerroskorkeus		~6500	3500

2.2 Rakennuksen LVIS-järjestelmät

2.2.1 Lämmitysjärjestelmä

Kiinteistö on liitetty KSS Energia Oy:n maakaasuverkkoon ja verkko on liitetty rakennuksen lämmitysjärjestelmään kahden maakaasukattilan kautta, jotka sijaitsevat lämmönjakohuoneessa. Kattiloissa on kaksi lämmönsiirrintä, joilla palvellaan rakennuksen käyttövesi-, lämmitys- ja ilmanvaihtoverkoston.

Lämmityskattila numero 1 palvelee uimahallin puolta ja uimahallin ilmanvaihtokonetta. Kattilasta on otettu linjat myös monitoimitilojen ilmanvaihtokoneen lämmityspatterille. Uimahallin puolta palvelee viisi patteripiiriä, Aula, ruokala, fysioterapia, uimahalli ja kemikaalivarasto. Näistä piireistä ruokala, fysioterapia, uimahalli ja kemikaalivarasto lämpenee lattialämmityksen avulla. Maakaasujärjestelmän kytkentäkaavio on liitteestä 1. Maakaasukattila on teholtaan 500 kW, ja tilauskaasuvirta on 40 nm³. Taulukossa 2 on lämmitysjärjestelmän laitetiedot. Laitetiedoissa on ilmoitettu maakaasujärjestelmän laitteiden valmistaja ja merkki. Taulukossa on myös ilmoitettu venttiilien virtaamat, pumppujen tehot ja painehäviöt.

Kohteen lämpöenergiankulutus mitataan lämmönjakohuoneessa sijaitsevalla maakaasumäärämittarilla. Mittaria ei ole yhdistetty rakennuksen automaatiojärjestelmään vaan se luetaan analogisesti lämmönjakohuoneesta. Kulutustiedot annetaan maakaasun kokonaiskulutuksena normikuutioina (nm³).

Taulukko 2. Laitetiedot

Lämmitysjärjestelmä	Lämmönjakotapa	Palvelee			
Maakaasupoltin	Vesikiertoinen patterilämmitys	Uimahallin puoli			
	Uimahallin lattialämmitys				
	Allasveden lämmitys				
Laitenimi	yksikkö	Tekniset arvot			
Kattila Högfors 21N-14	kpl	1			
Valmistaja		Högfors			
Malli		LKP-500			
Teho	kW	500			
Virtaus	dm ³ /s	2,8			
Lämpötila	C	+5/+55			
Painehäviö	kPa	10.0			
Kaasupoltin	kpl	1			
Valmistaja		Oilon			
Malli		GP-38.1H			
Paisunta- ja varolaitteet					
Verkoston tilavuus	dm ³	2500			
Paisuntasäiliön tilavuus/esipaine	dm ³ /kPa	140/100			
Varoventtiilin koko/avaut. paine	DN/kPa	25/250			
Säätöventtiilit (TV)		TV1.1	TV2.1	TV2.2	
Valmistaja		TA	TA	TA	
Virtaus	dm ³ /s	2,8	2,57	0,79	
Painehäviö	kPa	10	10	10	
Kiertovesipumput		P1.1	P2.1	P2.2	P1
Valmistaja	Grundfos				
Malli		UPE-	UPE-	UPE-	UPC-
			40-120	25-80	40-120
Virtaus	dm ³ /s	0,05	2,57	0,79	
Nostokorkeus	kPa	28	38	32	

2.2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kohteen uimahallin ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottona on käytetty lasiputkilämmönsiirintä. Ilmanvaihtokoneen toimintaselostus on liitteessä 2. Ilmanvaihtokone on suunniteltu palvelemaan uimahalleja, sillä sen toiminnot on toteutettu siten, että kosteuden ja lämpötilan hallinta on mahdollisimman yksinkertaista ja helppoa. Ilmavaihtokoneesta tarkempia tuloksia löytyy tämän työn luvussa 4.2 Uimahallin nykytilanne.

Kohteen wc ja pesutilojen poisto on toteutettu poistoilmapuhaltimilla, samoin on myös toteutettu allaslaitetilan ja alapohjan poistot. Poistoilmapuhaltimia on uimahallin puolelta kaksi kappaletta ja yksi kanavapuhallin poistamassa ilmaa kemikaalivarastosta.

2.2.3 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Kohteessa lämminkäyttövesi lämmitetään uimahallin maakaasukattilan lämmönsiirtimellä. Samasta kattilasta lämmitetään myös uimahallin käyttämä vesi kahdessa lämmönsiirtimessä. Isolle uima-altaalle ja terapia-altaalle on omat lämmönsiirtimet, jotka sijaitsevat allaslaitetilassa. Lämmönsiirtimen tehot ovat isolle altaalle 100 kW ja pienelle altaalle 75 kW.

Viemärijärjestelmä on kytketty kunnalliseen viemäriverkostoon. Vesikalusteet ovat pääasiassa Gustavsbergin kalusteita, mutta kohteesta löytyi myös yksittäisiä sekoittajia muilta valmistajilta. Kalusteet on ilmeisesti vaihdettu hajoamisen yhteydessä. Wc-istuimet olivat vesisäiliön tilavuudeltaan kuuden litran suuruisia.

3 Energian käyttö kohteessa

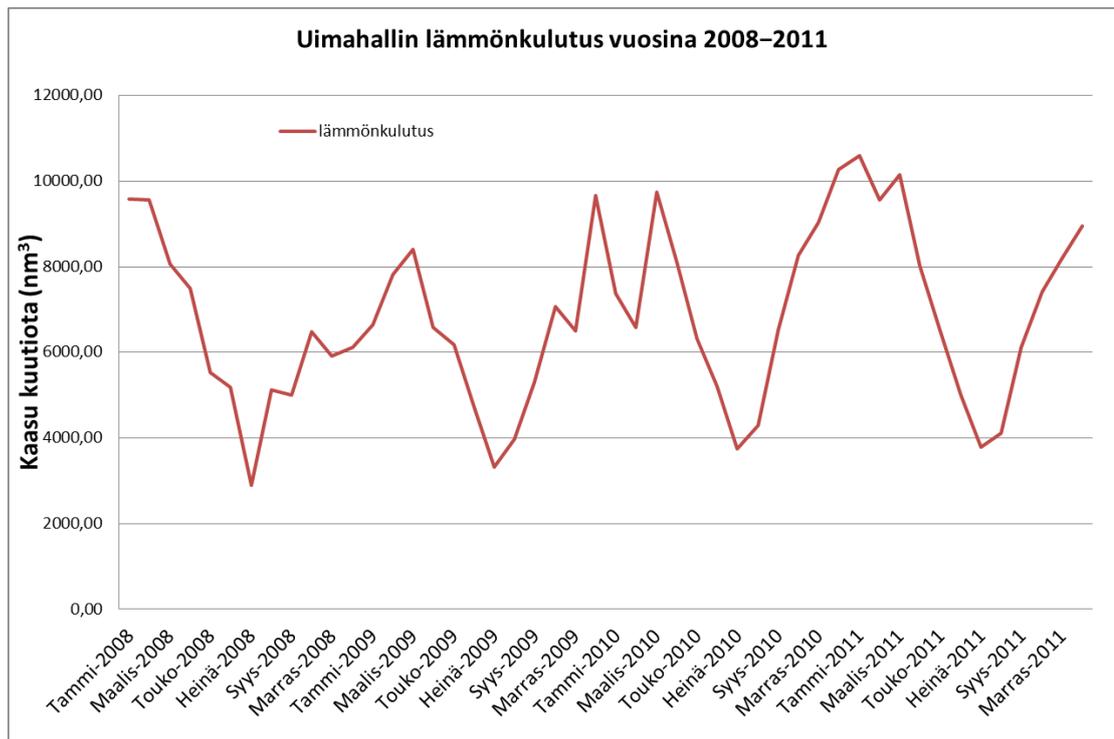
3.1 Kulutustietoja

Kulutustietoja on kerätty viimeisen neljän vuoden ajalta. Tiedot auttoivat mallintamaan rakennuksen nykyistä energiankulutusta. Kulutustietoja on kerätty vuosilta 2008, 2009, 2010 ja 2012.

Taulukosta 3 näkyy, kuinka uimahallin veden ja lämmön kulutukset ovat jakautuneet. Eniten energiaa on käytetty lämmitykseen vuonna 2011, jolloin lämmitys on kuluttanut 884 MWh vuodessa. Vuonna 2009 vedenkulutus on ollut suurimmillaan 6576 m³.

Taulukko 3. Veden ja lämmityksen kulutustietoja

	Vesi (m ³)	Lämpö(MWh)
2011	6015	883,8408
2010	5709	854,3661
2009	6576	776,02
2008	6255	769,06



Kuva 1. Uimahallin lämmönkulutus 2008–2011

Kuvassa 1 näkyy uimahallin kaasunkulutus normikuutioina, (nm^3). Kuvasta 1 huomaa, kuinka kaasunkulutus on pysynyt tasaisena neljän vuoden ajanjaksolla. Tammikuussa, helmikuussa ja maaliskuussa vuonna 2011 on kaasunkulutus ylittänyt 10 000 normikuution rajan.

Kohteen kulutustietoja voidaan verrata muiden paikkakuntien kulutustietoihin normeerauksen avulla. Normeeraus tapahtuu korjauskertoimilla, joilla verrataan tuloksia vertailupaikkakunnille tai valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään. Taulukossa 4 on normitetut kulutukset. Tässä työssä käytetään vertailupaikkakuntana Jyväskylää. (2)

Taulukko 4. Normitus Jyväskylään

Normitus Jyväskylään			
Uimahallin puoli	MWh		kWh/m ³
Qnorm 2008 =	974,6	Lämpöindeksi 2008	137,3
Qnorm 2009 =	855,9	Lämpöindeksi 2009	120,5
Qnorm 2010 =	846,7	Lämpöindeksi 2010	119,3
Qnorm 2011 =	1083	Lämpöindeksi 2011	152,6

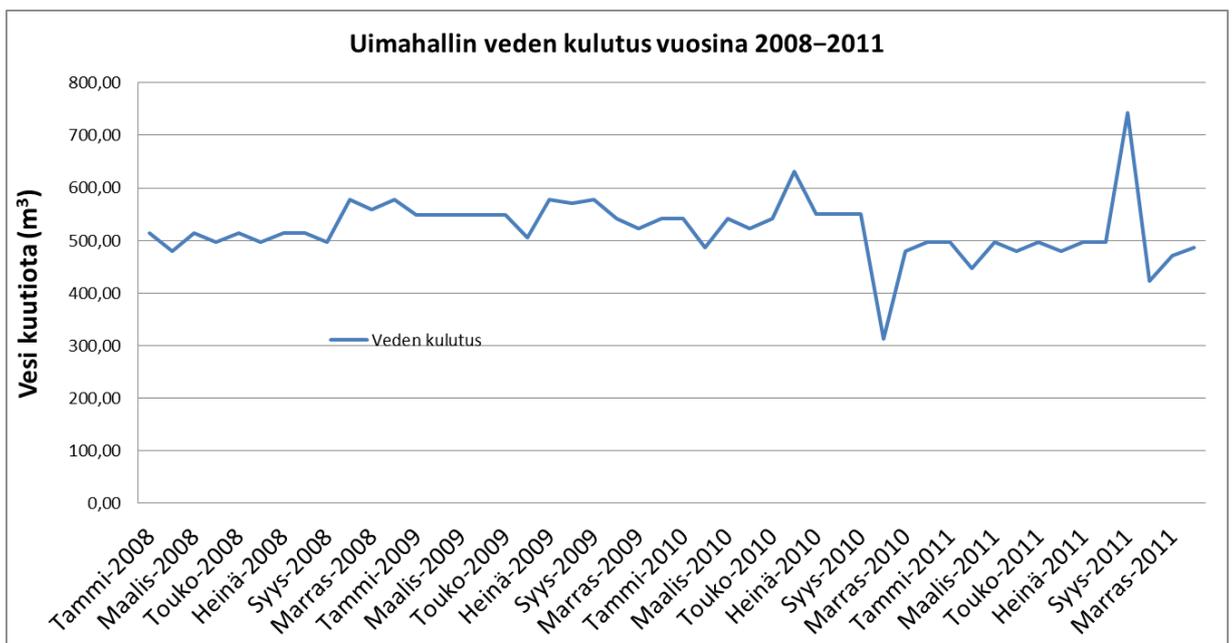
Verrataan lämmönkulutusta Motivan taulukon 5 mukaan ja normeerattuja lämmönkulu-
tustuloksia taulukosta 4. Tuloksista huomaa, että uimahallin lämmityksen ominaiskulu-
tus kWh/m³ on ollut neljän vuoden keskiarvona 132,4 kWh/m³. Tulos on hieman suu-
rempi kuin taulukossa 5 oleva mediaani.

Taulukko 5. Motivan ominaiskulutus (3)

Tyyppi	Kohteita	Tilavuus	Lämpö - ominaiskulutus (kWh/r-m ³)									
			Ennen energiakatselmusta									
TK 1994	kpl	1000 r-m ³	Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max	
352 Uimahallit	20	489	34,3	34,6	38,9	58,6	93,9	125,4	197,6	216,8	231,5	

Tuloksesta voidaan päätellä, että uimahalli kuluttaa hieman keskiarvoa enemmän läm-
pöenergiaa. Tämän tulos on kuitenkin suuntaa antava, sillä kaikki uimahallit ovat yksi-
löitä ja niiden järjestelmät ovat erilaisia, joten on mahdotonta verrata tarkasti uimahal-
leja keskenään.

Vedenkulutuksen jakautuminen neljän vuoden ajanjaksolle on havaittavissa kuvasta 2.
Syyskuussa 2010 ja syyskuussa 2011 tapahtuneet piikit on selitettävissä vesi-yhtiön
laskujentasauksessa tapahtuneella muutoksella. Muuten vedenkulutus on ollut samalla
tasolla 550–600 m³:n kuukausikulutuksella. Vedenkulutus on ollut muuten suuri, sillä
uimahalli kuluttaa paljon vettä.



Kuva 2. Vedenkulutus vuosina 2008–2011

Veden ominaiskulutus bruttoneliötä kohden ($\text{dm}^3/\text{r}\cdot\text{m}^2$) on tarkastettavissa taulukosta 6. Taulukossa on myös neljän edellisen vuoden veden kulutukset. Veden ominaiskulutuksen keskiarvo on neljän vuoden ajanjaksolta $864,5 \text{ dm}^3/\text{r}\cdot\text{m}^2$. Tulos on hieman suurempi, kuin taulukon 7 mediaani.

Taulukko 6. Veden kulutus ja ominaiskulutus

Veden kulutus		Ominaiskulutus
Vuosi	m^3	$\text{dm}^3/\text{r}\cdot\text{m}^2$
2011	6015	847
2010	5709	804
2009	6576	926
2008	6255	881

Veden ominaiskulutuksen vertauksesta Motivan taulukkoon (taulukko 7), voidaan päätellä, että uimahallin vedenkulutus on ollut kohtalaisen lähellä mediaanikulutusta. Eroon vaikuttavat samat yksilölliset syyt, kuten lämmön ominaiskulutuksiin. Kaikki uimahallit ovat yksilöllisiä rakennuksia, niin järjestelmiltään, kuin toiminnoiltaan.

Taulukko 7. Veden ominaiskulutukset (3)

Tyyppi	Kohteita	Tilavuus	Vesi - ominaiskulutus ($\text{dm}^3/\text{r}\cdot\text{m}^2$)								
			Ennen energiakatselmusta								
			Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max
TK 1994	kpl	1000 $\text{r}\cdot\text{m}^2$									
352 Uimahallit	20	489	122	212	362	559	769	1 194	2 138	2 328	2 338

Sähkökulutuksessa ei ole erillistä mittauspistettä uimahallin ja palvelutalon puolille, vaan mittaus on toteutettu yhdellä mittarilla koko talolle. Mittauspiste sijaitsee lämmönjakohuoneessa. Tuloksissa ei ole eritelty sähkökulutusta palvelukeskuksen ja uimahallin välillä. Taulukosta 8 näkyy rakennuksen koko sähkökulutus neljän edellisen vuoden ajalta.

Taulukko 8. Koko rakennuksen sähkökulutus

	Sähkö (kWh)
2011	493461
2010	503817
2009	497216
2008	487610

Sähkönkulutus on pysynyt samanlaisena neljän viime vuoden ajan. Korkein kulutus on ollut vuonna 2010, jolloin kulutus on ollut 503 817 kWh. Kuvasta 3 näkyy, miten sähkönkulutus on jakautunut koko rakennukselle vuosittain. Sähkönkulutus on seurannut samaa kulutusjakaumaa neljän edellisen vuoden ajan.



Kuva 3. Rakennuksen sähkönkulutus vuosina 2008–2011

Sähkön ominaiskulutusta on vaikea verrata suoraan uimahalleille tarkoitettuun ominaiskulutustaulukkoon (taulukko 10), sillä sähkönkulutus kattaa koko rakennuksen sähkönkulutuksen. Rakennuksen ominaissähkönkulutuksen keskiarvo neljän edellisenvuoden ajalta on 31,8 kWh/r-m³.

Taulukko 9. Sähkön ominaiskulutus

Sähkönkulutus Koko rakennus	kWh	Ominaiskulutus kWh/r-m ³
2011	493461	31,7
2010	503817	32,3
2009	497216	31,9
2008	487610	31,3

Sähkönkulutus sijoittuu taulukossa 10 hieman mediaanin alapuolelle. Tulosta ei voida suoraan verrata taulukon 9 antamiin arvoihin, sillä rakennuksen ominaissähkönkulutus kattaa sekä uimahallin että palvelutalon puolen. Taulukossa esiintyvät arvot ovat Motivan antamia ominaiskulutusarvoja pelkästään uimahalleille.

Taulukko 10. Ominais sähkö (3)

Tyyppi	Kohteita	Tilavuus	Sähkö - ominaiskulutus (kWh/r-m ³)								
			Ennen energiakatselmusta								
TK 1994	kpl	1000 r-m ³	Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max
352 Uimahallit	20	489	14,8	19,1	22,0	26,4	39,9	51,7	69,1	90,8	107,1

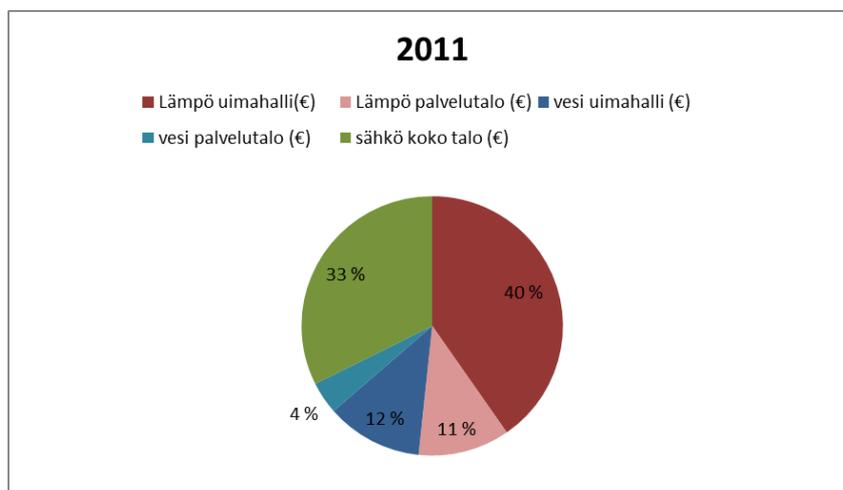
3.2 Energian hinta

Kulutusenergian hintatietoina on käytetty kohteen kulutustiedoista saatuja arvoja. Taulukosta 11 huomataan kulutusjakaumalaskentaan käytetyt energian hinnat. Näiden tietojen pohjalta on laskettu vuoden 2011 osalta kulutusjakaumadiagrammi (kuva 4), mistä huomaa suurimman kustannusten aiheuttajan, uimahallin lämmityksen. Taulukossa 11 on huomioitu sähkömyynti ja sähkönsiirron osuudet, sekä maakaasussa maakaasun siirtomaksut.

Taulukko 11. Energian hintoja

Tuote	Hinta (€) alv.0 %	Yksikkö
Sähkön (siirto ja kulutus)	0,09057	kWh
Maakasu (siirto+energia)	0,63	nm ³
Vesi+jätevesi	2,74	m ³

Uimahallin lämmitys kuluttaa 40 % kaikista kustannuksista. Seuraavaksi suurin osuus on koko talon sähkökulutuksessa, 33 % kaikista kustannuksista. Pienimpänä osuutena on palvelutalon vedenkulutus 4 %. (Kuva 4.)



Kuva 4. Energiankulutus kustannuksiin jaettuna

3.3 Kenttämittaukset

3.3.1 Lämpötila

Mittaukset suoritettiin lämmityskaudella kevään 2012 aikana, jolloin lämpötilamittauksiin oli tarvittavat lämpötilaerot. Mittauskalustona käytettiin Diligence-dataloggereita ja TSI IAQ-CALC -mittareita. Uimahallista mitattiin sisälämpötila kahdesta paikasta sekä ilman suhteellinen kosteus Diligence-dataloggereilla. Muista tiloista lämpötilat mitattiin Sentry STF 650-infrapunalämpömittarilla.

Kuvassa 5 on TSI:n dataloggeri, jolla voidaan mitata myös ilmanhiilidioksidi pitoisuutta. Uimahallista ei mitattu ilman hiilidioksidipitoisuutta, koska tämän tutkimuksen yhteydessä sitä ei katsottu tarpeelliseksi mittaukseksi.



Kuva 5. TSI IAQ-CALC -mittari

Kuvassa 6 on Diligence-dataloggeri, jolla mitattiin uimahallin lämpötila ja ilmankosteus 10.3.–17.3.2012. Mittaustuloksista on käyrästä kuvassa 10, jossa tarkastellaan vuorokauden aikana tapahtuvaa lämpötilojen ja ilmankosteuden muutoksia. Kuvan 6 dataloggerilla mitattiin myös lämpötilaa ja ilmankosteutta allastilasta.



Kuva 6. Dilligence-dataloggeri

Kuvassa 7 on infrapunalämpömittari. Mittarilla mitattiin huonelämpötiloja ja pintalämpötiloja uimahallin puolella sijaitsevista muista tiloista, kuten fysioterapiahuoneista.



Kuva 7. Infrapunalämpömittari

Taulukosta 12 näkyy lämpötilamittaukset uimahallin puolen suurimmissa tiloissa, sekä uimahallin allastilassa. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 antaa oleskelutiloille lämmityskaudella ilman lämpötilan ohjearvoksi 21 °C (4, s. 6). Tämä toteutuu mittaus- tulosten perusteella kaikissa muissa tiloissa, paitsi uimahallin allastilassa ja jumppasalissa. Allastilan lämpötilaa käsitellään tarkemmin tämän työn osiossa 4.1.1 Sisäilma ja kosteus.

Taulukko 12. Lämpötilamittaukset

Lämpötilamittaukset						
pvm.	8.3.2012					
klo.	13-15					
Sää olosuhteet:						
$T_u = -6$ °C						
KERROS	OSA	HUONE	HUONELÄMPÖTILA (°C)	ULKOSEINÄ (°C)	LATTIA (°C)	Henkilöitä huoneessa
1	1	Ruokala	21,5	21,5	21,2	2
1	1	Jumppasali	22,6	21,1	24,1	0
1	1	Uimahalli	25	23	25,5	10

3.3.2 Ilmavirrat

Ilmavirtamittauksia tehtiin myös kevään 2012 aikana. Ilmavirtamittauksien suorittamiseen annetaan ilmanlämpötilan ja tuulen nopeuden minimirajat. Ilmanlämpötila on poikkeuksellinen, jos paikkakunnan mitoitussulkolämpötila alittaa sille asetetun rajan tai tuulen nopeus rakennuksen ympärillä on yli 10 m/s (5).

Ilmavirrat mitattiin uimahallin puolella olevista tiloista. Uimahallin ilmavirrat mitattiin ilmanvaihtokoneelta. Muiden tilojen ilmavirrat mitattiin päätelaitteilta. Ilmavirtamittaus tulokset selviävät taulukosta 13. Ilmavirrat on laskettu k-arvon ja paine-eron avulla kaavalla 1. Ilmavirtauksissa käytettiin standardin SFS 5512 mukaisia mittausmenetelmiä (5).

$$q = k\sqrt{\Delta p_m} \quad (1)$$

q on ilmavirta l/s

k on k-arvo

Δp_m on paine-ero

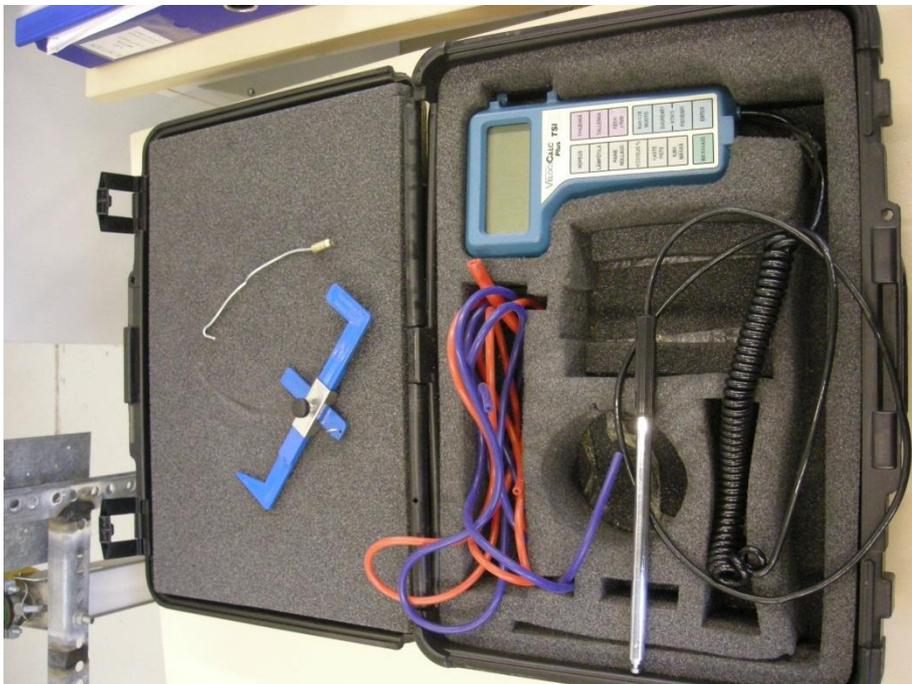
Taulukko 13. Huoneiden ilmavirrat

Kerros	Osa	Palveleva kone		Tulo l/s		Poisto l/s		Suhteessa suun. %	k-arvo	paine-ero Pa	Päätelaite venttiilimalli
		Huone		suunnitellut	Mitattu	suunnitellut	Mitattu				
POISTOT											
1	1	Hoituhuone	4TK/PK01			40	11,21	0,28	2,72	17	URH200
1	1	Fysioterapiahuone	4TK/PK01			50	17,07	0,34	4,93	12	URH200
1	1	ryhmäpukuhuone kaappi	4TK/PK01			16	6,24	0,39	1,8	12	PRA-100
1	1	pesuhuone suihkuh.	4TK/PK01			30	9,87	0,33	3,49	8	URH160
1	1	käytävän WC	4PF02			30	2,91	0,10	0,65	20	URH125
TULOT											
1	1	ruokala-pesuh käytävä	4TK/PK01	34	27,02			0,79	5,3	26	TKB
1	1	ruokala-pesuh käytävä	4TK/PK01	34	22,49			0,66	5,3	18	TKB
1	1	ruokala-pesuh käytävä	4TK/PK01	34	25,96			0,76	5,3	24	TKB
1	1	ryhmäpukuhuone	4TK/PK01	16	38,39			2,40	5,6	47	REL100
1	1	ryhmäpukuhuone	4TK/PK01	65	48,60			0,75	8,1	36	REL160
1	1	pesuhuone suihkuh.	4TK/PK01	45	35,31			0,78	8,1	19	REL160

Uimahallin ilmanvaihtokoneen ilmavirrat mitattiin suoraan koneelta lähtevistä ja tulevista kanavista. Mittaustulokset uimahallin koneen ilmavirroista löytyvät liitteestä 2. Tuloksista huomaa, että ilmavirrat ovat melko lähellä suunnitelman mukaisia ilmavirtoja. Erot johtuvat mittauksissa tapahtuneesta mittausvirheestä, joka on noin 10 % järjestelmäkohtaisista mittaustuloksista. (5)

Kuitenkin taulukosta 15 on havaittavissa huoneita, jossa ilmavirrat poikkeavat huomattavasti. Nämä yksittäiset muutokset ilmavirroissa saattavat johtua esimerkiksi siitä, että siistijä on koskenut venttiilissä olevaan lautaseen sitä puhdistaessa ja näin ollen siirtänyt avaumaa. Tuloksissa esiintyvä ero voi johtua myös mittausvirheestä, joka on päätelaitteita mitattaessa 10–15 % mittaustuloksista. (5)

Ilmavirtojen mittauskalustona käytettiin Velocicalc Plus 8360 -mittaria (kuva 8). Mittarilla mitattiin päätelaitteesta avausta ja paine-eroa hyödyntäen ilmavirta. Tämän jälkeen katsottiin päätelaitteen valmistajan antamasta taulukosta oikea k-arvo ja sijoitetaan saadut arvot kaavaan 1.



Kuva 8. Velocicalc plus 8360 -mittari

3.3.3 Vesivirrat

Vesivirrat mitattiin uimahallin puolen palveluhuoneista, saunatiloista ja keittiöstä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 annetaan kalusteiden normivirtaamille minimiraja, joka on 70 % normivirtaamasta. D1:ssä annetaan myös maksimi raja normivirtaamalle, joka on normivirtaamaa 50 % suurempi (6 s. 35). Kohteessa mitatuissa sekoittajissa oli kahdenlaisia normivirtaamia, 6 l/min ja 12 l/min. Taulukosta 14 huoma, kuinka normivirtaamat ja mitatut virtaamat jakautuvat rakennuksessa. Taulukossa 15 on virtaamien minimi- ja maksimivirtaamat. Taulukon sarakkeessa on myös laskettu virtaamien poikkeamat.

Taulukko 14. Vesivirtojen normivirtaamat ja mitatut virtaamat

Asunto nro	Sijainti Osa/krs./huone	Normi	Mitattu	Virtaaman	Mitattu	Virtaaman
		virtaama l/min	virtaama KV l/min	poikkeama %	virtaama LV l/min	poikkeama %
Lepohuone 110 allas	1	6	6	100	6	100
Lepohuone110 suihku	1	12	8	67	8	67
Lepohuone 111 allas	1	6		0		0
Fysioterapia 132	1	12	13	108	9	75
Fysioterapia 132 allas	1	6	5	83	5	83
Fysioterapia 133	1	12	10	83	8	67
Käytävä wc 1	1	6	7	117	6	100
Käytävä wc 2	1	6	7	117	7	117
Käytävä wc 3	1	6	8	133	7	117
Käytävä wc 4	1	6	7	117	7	117
Pukuhuone M wc allas	1	6	7	117	7	117
Suihku 1	1	12	14	117	14	117
Suihku 2	1	12	12	100	9	75
Suihku 3	1	12	10	83	10	83
Suihku 4	1	12	13	108	12	100
Keittiö allas (käsi)	1	6	5	83	5	83
Keittiön iso allas	1	12	15	125	15	125
keittiön allas (pesu)	1	12	15	125	14	117

Taulukko 15. Normivirtaamien ylä- ja alarajat.

alaraja	normivirtaama	yläraja
4,2 l/min	≤ 6 l/min	≤ 9 l/min
8,4 l/min	≤ 12 l/min	≤ 18 l/min

Oraksen mittakuppi (kuva 9) toimii mekaanisesti veden virtausnopeudella. Vesi laske-
taan kuppiin täydellä virtausnopeudella, mitä hanasta tulee. Tämän jälkeen tulos lue-
taan taulukosta, mihin vedenpinta pysähtyy mitta-asteikolla. Tämä mittaustoimenpide
tehdään lämpöiselle ja kylmälle vedelle erikseen. Näin saadaan lämpimän ja kylmän
veden maksimivirtaamat. Virtaamia verrataan taulukon 15 arvoihin.



Kuva 9. Oraksen mittakuppi

4 Uimahalli

4.1 Uimahallin sisäilma

Uimahallissa liikutaan yleensä melko kevyissä vaatteissa, koska uimahallin sisäilma on yleensä hyvin kostea ja lämmintä. Suurin osa uimareista liikkuu melkein vaateettomina, jolloin heidän ihollaan saattaa tuntua vedon tunnetta, jos sisäilma on liian kylmää. Allasvedestä haihtuu ilmaan myös epäpuhtauksia, jotka suurissa määrin saattavat aiheuttaa epämiellyttävää olotilaa. Uimahallien ilmanvaihto tuleekin mitoittaa ohjeita ja määräyksiä noudattaen, sillä ilman vaihtumisella on suuri vaikutus uimahallin viihtyvyyteen ja sisäilmaston hallintaan. (7, s. 6.)

4.1.1 Lämpötila ja kosteus

Ilman lämpötila allashuoneessa on yleensä 1,5–2,5 °C allasveden lämpötilaa korkeampi, jotta allasvedestä tapahtuva haihtuminen olisi mahdollisimman pientä. Suhteellista kosteutta pidetään myös korkeana, mikä auttaa haihtumisen vähenemiseen. Ohjearvoina uimahallin suhteelliselle kosteudelle voidaan pitää 45–55 %. Liiallinen haihtu-

minen lisää energiankulutusta, koska haihtuneen veden tilalle joudutaan lisäämään uutta lämmitettyä vettä. Viihtyvyyden kannalta ilman suhteellinen kosteus ei saa ylittää pitoisuutta 60 %, koska silloin uimareiden viihtyvyys huononee ja ilmasto muuttuu mikrobikasvustolle suotuiseksi. (8, s. 3.)

Allasvesien lämpötiloille on esitetty erilaisia ohjearvoja altaan tyypistä riippuen. Tässä kohteessa on kaksi eri allasta, pääallas ja terapia-allas. Pääaltaan veden lämpötilan ohjearvona voidaan pitää 26–28 °C, ja terapialtaan ohjearvona käytetään poreallas ja vesihieronta-altaan veden lämpötilaa normaaleissa uimahalleissa. Tämä lämpötila on väliltä 30–33 °C. (8, s. 3.)

4.1.2 Ilmanvaihto

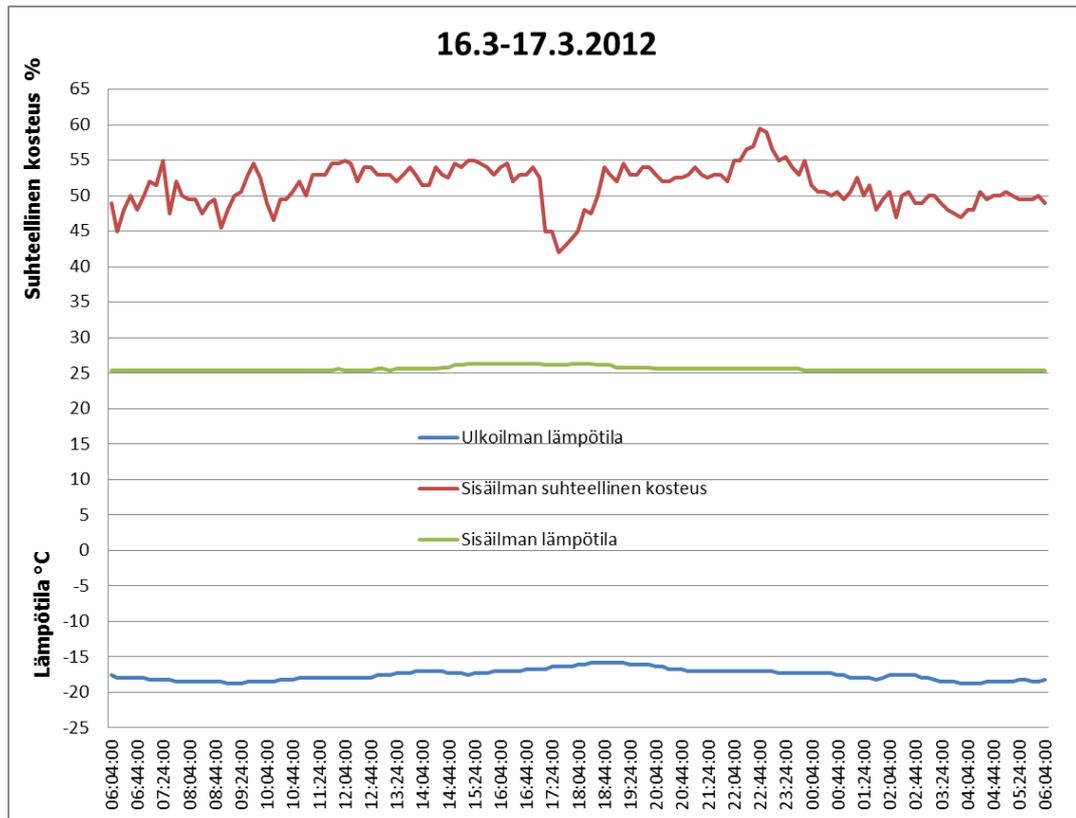
Uimahallien lämmitys toteutetaan pääsääntöisesti ilmanvaihdolla, johtuen suurista liikuteltavista ilmamääristä. Ilmanvaihdon mitoittavina tekijöinä uimahalleissa on allastilan suhteellinen kosteus, lämpötila ja enimmäisulkoilmavirta. Ilmavirtojen on myös oltava riittävän suuret poistamaan allashuoneesta epäpuhtauksia ja lämmittämään allashuone tavoitelämpötilaan. Ilmavirtojen on myös pyrittävä lämmittämään rakenteista aiheutuvat lämpöhäviöt. (8, s. 4.)

4.2 Uimahallin nykytilanne

4.2.1 Sisäilmasto

Uimahallista mitattiin sisälämpötilat kahdesta pisteestä ja ilmankosteus yhdestä pisteestä. Mittaukset suoritettiin 10.3.–17.3.2012. Mittauspaikkoina olivat liitteessä 4 merkatut pisteet. Mittauspiste 1 oli kolmen metrin korkeudessa lähellä poistoilmapäätelaitteita, mittauspiste 2 oli uimahallin nurkassa ulkoseinällä 1,5 m:n korkeudessa. Molemmat mittauspisteet sijaitsivat uima-allastilassa.

Kuvasta 10 näkyy sisäilman lämpötila, ulkoilman lämpötila ja ilmankosteus. Yhden päivän aikana on havaittavissa piikki ilmankosteudessa noin klo 17.30–18.45, jolloin ilman suhteellinen kosteus on laskenut noin 42 %. Tämä johtuu siitä, että ilmanvaihtokone on käynnistynyt käyttämään ulkoilmaa sisäilman kosteudenhallintaan.



Kuva 10. Mitatut lämpötilat mittausajanjaksolla

Mittauksista voidaan todeta, että ilmanlämpötila on liian alhainen verrattuna allasveden lämpötilaan. Ilman lämpötilan keskiarvo oli mittausajanjaksolla 25 °C. Allasveden lämpötila pidetään 28 °C. Lämpötilaerosta johtuen altaasta haihtuu liian paljon vettä. Kaavasta 2 voidaan laskea altaasta haihtuvan veden määrä (8, s. 4.)

$$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i) \quad (2)$$

q_{vm} on haihtuvan veden massavirta, kg/s

A on altaan pinta-ala, m^2

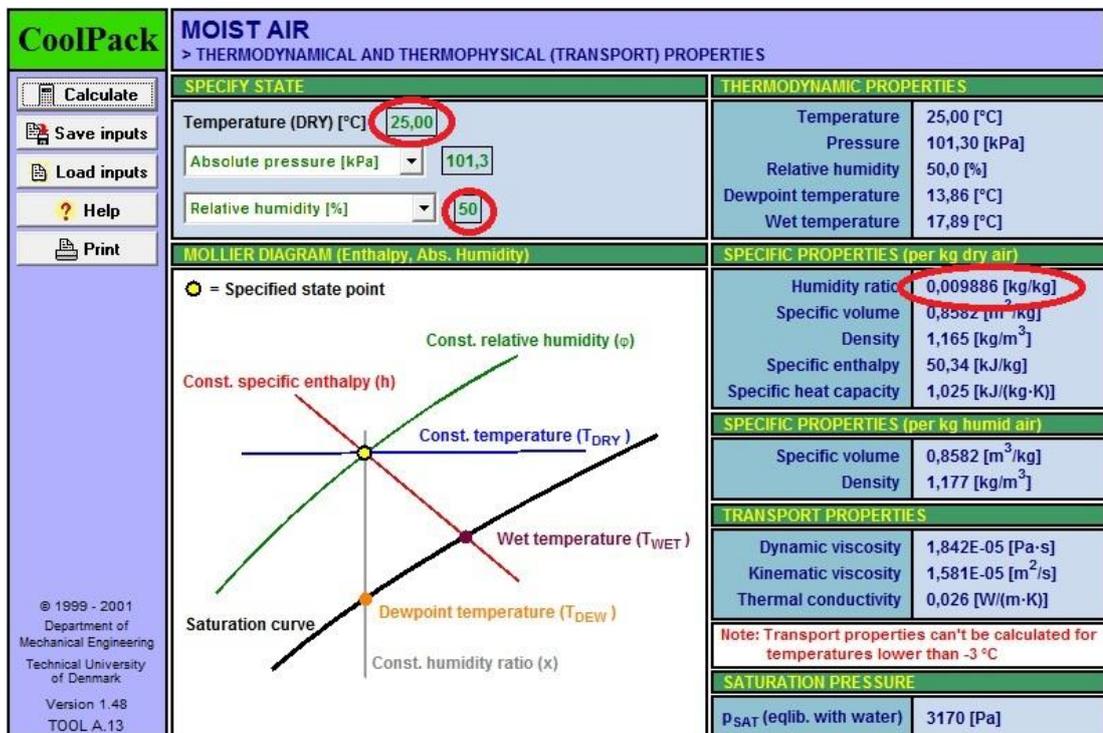
B_x on kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m^2s

X_v on kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg_{kuivaa} ilmaa

X_i on ilman vesisisältö kg/kg_{kuivaa} ilmaa

Laskennan nopeuttamisen kannalta käytetään CoolPack-ohjelmistoa. Ohjelma laskee ilmanlämpötilan, suhteellisen kosteuden, ja ilmanpaineen avulla ilman vesisisältöä $\text{kg/kg}_{\text{kuivaa ilmaa}}$. Saman tuloksen pystyy tarkistamaan Mollier-diagrammista, mutta tulokseen vaikuttaa taulukonlukutaito, sekä erilaisilla lämpötiloilla oleva ilmanpaine. Kuvan Mollier-diagrammista näkee liitteestä 5.

Tarkastellaan uimahallin nykyistä tilannetta. Uimahallin allastilan sisälämpötilan keskiarvo mittausajanjaksolla on $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, vedenlämpötila $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo mittausajanjaksolla on 50% . Lasketaan CoolPack-ohjelmistolla ilman vesisisältö (kuva 11) ja kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa (kuva 12).



Kuva 11. Ilman vesisisältö laskettuna CoolPack-ohjelmistolla.

CoolPack		MOIST AIR > THERMODYNAMICAL AND THERMOPHYSICAL (TRANSPORT) PROPERTIES	
Calculate Save inputs Load inputs Help Print	SPECIFY STATE		THERMODYNAMIC PROPERTIES
	Temperature (DRY) [°C]: 28,00 Absolute pressure [kPa]: 101,3 Relative humidity [%]: 100		Temperature: 28,00 [°C] Pressure: 101,30 [kPa] Relative humidity: 100,0 [%] Dewpoint temperature: 28,00 [°C] Wet temperature: 28,00 [°C]
	MOLLIER DIAGRAM (Enthalpy, Abs. Humidity)		SPECIFIC PROPERTIES (per kg dry air)
			Humidity ratio: 0,02413 [kg/kg] Specific volume: 0,8864 [m³/kg] Density: 1,128 [kg/m³] Specific enthalpy: 89,75 [kJ/kg] Specific heat capacity: 1,050 [kJ/(kg·K)]
	© 1999 - 2001 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark Version 1.48 TOOL A.13		SPECIFIC PROPERTIES (per kg humid air) Specific volume: 0,8864 [m³/kg] Density: 1,155 [kg/m³]
		TRANSPORT PROPERTIES	
		Dynamic viscosity: 1,852E-05 [Pa·s] Kinematic viscosity: 1,642E-05 [m²/s] Thermal conductivity: 0,026 [W/(m·K)]	
		Note: Transport properties can't be calculated for temperatures lower than -3 °C	
		SATURATION PRESSURE	
		p_{SAT} (eqlib. with water): 3782 [Pa]	

Kuva 12. Kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa CoolPack-ohjelmistolla laskettuna.

Sama laskenta suoritetaan terapia-altaalle. Terapia-altaan veden lämpötila on 31 °C ja kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa on rengastettuna kuvassa 13.

CoolPack		MOIST AIR > THERMODYNAMICAL AND THERMOPHYSICAL (TRANSPORT) PROPERTIES	
Calculate Save inputs Load inputs Help Print	SPECIFY STATE		THERMODYNAMIC PROPERTIES
	Temperature (DRY) [°C]: 31,00 Absolute pressure [kPa]: 101,3 Relative humidity [%]: 100		Temperature: 31,00 [°C] Pressure: 101,30 [kPa] Relative humidity: 100,0 [%] Dewpoint temperature: 31,00 [°C] Wet temperature: 31,00 [°C]
	MOLLIER DIAGRAM (Enthalpy, Abs. Humidity)		SPECIFIC PROPERTIES (per kg dry air)
			Humidity ratio: 0,02889 [kg/kg] Specific volume: 0,9018 [m³/kg] Density: 1,109 [kg/m³] Specific enthalpy: 105,09 [kJ/kg] Specific heat capacity: 1,059 [kJ/(kg·K)]
	© 1999 - 2001 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark Version 1.48 TOOL A.13		SPECIFIC PROPERTIES (per kg humid air) Specific volume: 0,9018 [m³/kg] Density: 1,141 [kg/m³]
		TRANSPORT PROPERTIES	
		Dynamic viscosity: 1,866E-05 [Pa·s] Kinematic viscosity: 1,682E-05 [m²/s] Thermal conductivity: 0,026 [W/(m·K)]	
		Note: Transport properties can't be calculated for temperatures lower than -3 °C	
		SATURATION PRESSURE	
		p_{SAT} (eqlib. with water): 4495 [Pa]	

Kuva 13. Kylläisen ilman vesisisältö terapia-allas veden lämpötilassa CoolPack-ohjelmistolla laskettuna.

Allastyyppi	B_x kg/m ² s
peitetty	0,00022
ei käyttäjiä	0,0022
yksityisallas	0,0066
syvyys yli 1,35 m ¹⁾	0,0087
syvyys alle 1,35 m ²⁾	0,0125
aaltoallas aaltokäytöllä	0,0156
vesiliukumäki ja vesiliukumäen alastuloallas	0,0156

Kuva 14. Kokemusperäinen haihtumiskerroin (8, s.4)

Laskennassa käytettiin apuna excel -taulukko laskentaohjelmaa. Sijoitetaan CoolPack-ohjelmistosta saadut arvot kaavaan 2. Kokemusperäinen haihtumiskerroin saadaan kuvasta 14. Alla olevista arvoista voidaan tarkastaa haihtuvan veden massavirtaa altaan olleessa käytössä ja altaan olleessa kiinni. (8, s. 4.)

Uima-allas käytössä:

q_{vm} on haihtuvan veden massavirta, kg/s

A on 290 m²

B_x on 0,0087 kg/m²s

X_v on 0,0241 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

X_i on 0,09988 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

Uima-allas ei käytössä:

q_{vm} on haihtuvan veden massavirta, kg/s

A on 290 m²

B_x on 0,0022 kg/m²s

X_v on 0,0241 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

X_i on 0,09988 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

Terapia-allas:

q_{vm} on haihtuvan veden massavirta, kg/s

A on 16 m²

B_x on 0,0125 kg/m²s

X_v on 0,02889 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

X_i on 0,009988 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

Terapia-allas:

q_{vm} on haihtuvan veden massavirta, kg/s

A on 16 m²

B_x on 0,0022 kg/m²s

X_v on 0,02889 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

X_i on 0,009988 kg/kg_{kuivaa ilmaa}

Vedenhaihdunta altaasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,035605	kg/s	128,2
$q_{vm} =$ haihtuvan veden massavirta, kg/s			
$A =$ altaan pinta-ala, m ²	290		
$B_x =$ kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,0087		
$X_v =$ kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,0241		
$X_i =$ Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,009988		
Vedenhaihdunta terapiatalasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,00378	kg/s	13,6
$q_{vm} =$ haihtuvan veden massavirta, kg/s			
$A =$ altaan pinta-ala, m ²	16		
$B_x =$ kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,0125		
$X_v =$ kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,02889		
$X_i =$ Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,009988		
YHT.	141,8	kg/h	

Kuva 15. Veden haihtuminen allastilasta

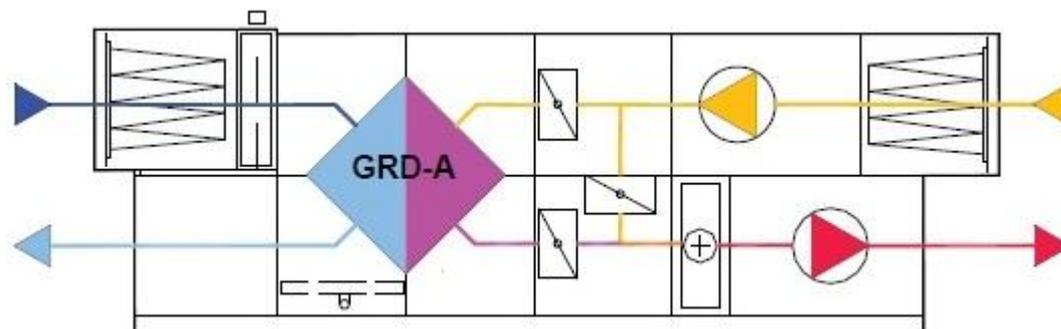
Allastilan haihtumiseksi saatiin käyttöaikana 141,8 kg/h, mikä on melko suuri tulos (kuva 15). Tuloksen suuruus johtuu suuresta lämpötila erosta allasveden ja ilman välillä. Aukioloaikojen mukaan uimahalli on käytössä 74 tuntia viikossa ja 94 tuntia suljettuna. Kuvassa 16 on veden haihtuminen uimahallin ollessa suljettuna. Siten haihtumiseksi muodostuu aukioloaikojen mukaan viikossa terapia- ja uima-altaista yhteensä 13 764 kg/vko. Eroa pienentämällä saadaan haihtuvuutta pienemmäksi. Tämän työn luvussa 5 on laskettu kaksi esimerkkiä haihtuvan vedenmäärän pienentämiseen.

Vedenhaihdunta altaasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	<input type="text" value="0,009003"/>	kg/s	<input type="text" value="32,4"/>
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s	<input type="text"/>		
A = altaan pinta-ala, m ²	<input type="text" value="290"/>		
B_x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	<input type="text" value="0,0022"/>		
X_v = kylläisen ilman vesisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa} ilmaa	<input type="text" value="0,0241"/>		
X_i = Ilman vesisältö kg/kg _{kuivaa} ilmaa	<input type="text" value="0,009988"/>		
Vedenhaihdunta terapiaaltaasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	<input type="text" value="0,000665"/>	kg/s	<input type="text" value="2,40"/>
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s	<input type="text"/>		
A = altaan pinta-ala, m ²	<input type="text" value="16"/>		
B_x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	<input type="text" value="0,0022"/>		
X_v = kylläisen ilman vesisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa} ilmaa	<input type="text" value="0,02889"/>		
X_i = Ilman vesisältö kg/kg _{kuivaa} ilmaa	<input type="text" value="0,009988"/>		
	Yht.		34,8 kg/h

Kuva 16. Veden haihtuminen allasesta uimahallin ollessa kiinni

4.2.2 Ilmanvaihtokone

Uimahallin ilmanvaihtokone on Mastervent Oy:n valmistama lasiputkilämmönsiirtimellä varustettu malli. Ilmanvaihtokone on varta vasten valmistettu palvelemaan uimahalleja. Kuvassa 17 on uimahallin ilmastointikoneen ilmavirtojen virtausperiaate. Keltainen viiva on poistoilma, punainen on tuloilma, tumman sininen on raiteilma ja vaalean sininen on jäteilma.



Kuva 17. Uimahallin ilmanvaihtokoneen ilmavirrat

Koneen toiminta perustuu uima-allastilan ilman suhteelliseen kosteuteen ja lämpötilaan. Sekoituspeltejä säätämällä ilman suhteellinen kosteus pidetään asetusarvossaan. Koneella pyritään käyttämään mahdollisimman vähän ulkoilmaa, mutta kuitenkin aina Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 (RakMK D2) vaatiman vähimmäisulkoilmavirtan toteutumisen mukaan. RakMK D2 antaa vähimmäisulkoilmavirraksi $2 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ uima-allastiloille käytön aikana.

Koneen toiminta uimahallin aukioloaikana tapahtuu seuraavanlaisesti. Huoneanturin TE 1.3 mittauksen mukaan ohjataan sisäänpuhallusanturin TE 1.2 asetusarvoa, joka ohjaa talteenoton LOG 1.1 yksikköä ja venttiilimoottoria TG 1.1 sarjassa siten, että haluttu uimahallin sisäilman lämpötila saavutetaan. Anturissa TE 1.2 on myös määritelty ylä- ja alarajat sisäänpuhallusilmalle. Kosteusanturin ME 1.1 mittauksen mukaan ohjataan kiertoilmasuhdetta peltimoottoreilla FG 1.1, FG 1.2 ja FG 1.4 siten, että uimahallin haluttu suhteellinen kosteus saavutetaan. Peltimoottoreille asennetaan haluttu pienin mahdollinen asento, millä saavutetaan D2:n vaatima raitisilmamäärä.

Koneen toimiessa uimahallin ollessa kiinni kone käy kiertoilmalla ja 1/2-teholla. Jos uimahallissa suhteellinen kosteus nousee asetusarvon yläpuolelle, peltimoottoreita ohjataan siten, että kiertoilmaan sekoitetaan sopivassa suhteessa ulkoilmaan. Jos kosteus nousee vielä eroalueen verran yli asetusarvon, kone käynnistyy 1/1-teholle. Kun kosteus laskee alle asetusarvon, siirtyy kone takaisin 1/2-teholle ja kosteussäätö siirtyy takaisin ensimmäiseen asetusarvoon ohjaamaan kierto- ja raitisilmasuhdetta.

Uima-allastilan pinta-ala on 503 m^2 , jolloin D2:n antaman vähimmäisulkoilmavirran mukaan saadaan ilmavirraksi $1\,006 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ilmanvaihtokoneelle suunniteltu ilmavirta on $2\,700 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja mitattu toteutunut ilmavirta on $2\,340 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ilmavirta on reilusti ylimitoitettu ohjearvoon verrattuna, mutta kone täyttää ilmavirran jo puolikkaalla teholla, joka on $1\,350 \text{ dm}^3/\text{s}$. (Liite 2.) Koneen toiminnan selostus on liitteessä 3.

Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteeksi 52 % tulee kaavalla 3 koneen pyöriessä täysillä ja ilmavirtojen mitatuilla suhteilla liitteestä 2. Koneen käydessä puolikkaalla ilmavirtojen vuosihyötysuhteeksi tulee 69 %.

$$n_a = 0,6 * n_t$$

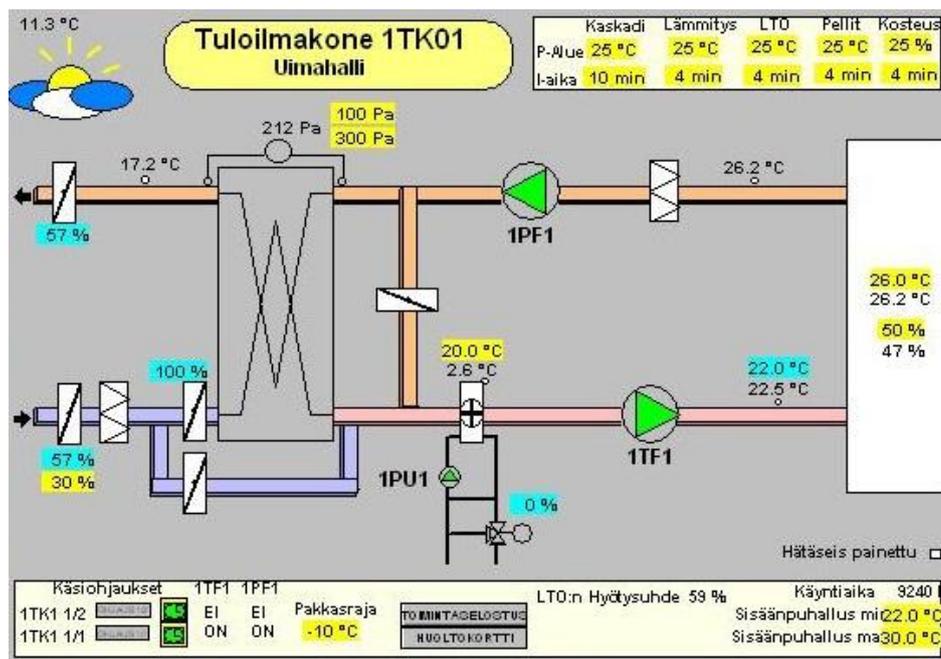
(3)

n_a on vuosihyötysuhde

n_t on ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde

Kuvasta 18 huomaa tuloilmakoneen allashuoneen lämpötilan asetusarvon olevan liian alhainen. Lämpötila on asetettu 26 °C, kun puolestaan LVI-0610451-kortin mukaan suositus olisi muutaman asteen allasvettä lämpimämpää. Allasveden ollessa 28 °C tulisi allashuoneen lämpötilan olla noin 30 °C. (8, s. 3)

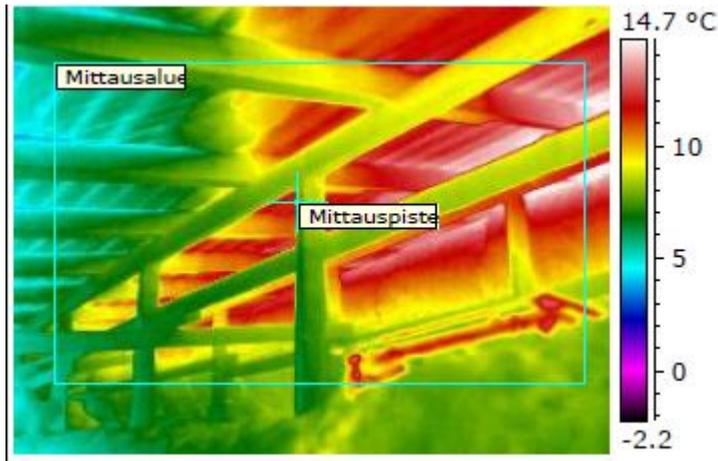
Kuvasta 18 näkyy myös, kuinka kone käyttää vähän ulkoilmaa. Lämmityspatterin lämpötila on vain 2,6 °C asetusarvon ollessa 20 °C. Tulo- ja poistoilmapelit ovat puoliksi auki, mikä viittaa koneen sekoittavan puoliksi raitista ilmaa ja puoliksi kiertoilmaa allashuoneen ilmankuivaamiseen ja tilan lämmitykseen.



Kuva 18. Tuloilmakoneen toimintamalli

Ilmanvaihtokoneelta lähtevä kanavisto on eristetty huonosti. Kuvasta 19 näkyy lämpökameralla otettu kuva kanavistosta. Kuvasta huomaa, kuinka kanavisto on kirkkaampi muuhun ympäristöön verrattuna. Tämä tarkoittaa sitä, että kanavistossa kulkeva ilma lämmittää liikaa kanavistoa, joka puolestaan lämmittää kattoa kanaviston yläpuolella. Tummanpunaisen alueen lämpötila on 14,7 °C, eli huomattavan korkea.

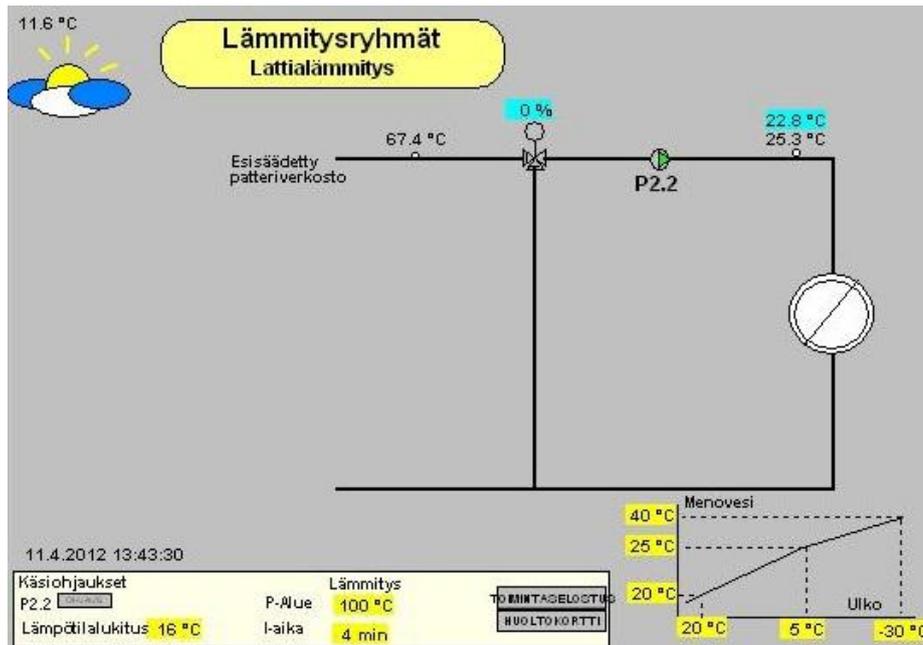
Kun kanavassa kulkeva ilma on lämpöisempää kuin kanavan ulkopuolella oleva ilma, kanavan sisäpinnan lämpötila ei saa laskea alemmaksi kuin kanavassa kulkevan ilman kastepisteenlämpötila. Jos kanavassa kulkevan ilman lämpötila on kylmempi kuin kanavan ympärillä olevan kostean ilman, eristeen ulkopinnan lämpötila ei saa laskea ympäristön kastepisteenlämpötilaan. (8, s. 19.)



Kuva 19. Lämpökameralla otettu kuva uimahalliin menevistä ilmanvaihtokanavista

4.2.3 Lämmitys

Kohteen uimahallin lämmitys hoidetaan pääsääntöisesti ilmanvaihtokoneella. Uima-allastilassa on myös vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityksen lämpötilan asetusarvoksi on asetettu 22,8 °C. Kohteessa on myös tuloilmakammioilla varustettu ikkunapuhallus. Puhalluksen on oltava niin tehokas, että kosteutta ei pääse muodostumaan rakennuksen ulkoseiniin. Lattialämmityksen asetusarvoja on muutettu, sillä kuvan 20 mukaan ulkoilman lämpötilan ollessa 5 °C:ssa menoveden lämpötilan asetusarvo on 25 °C. Kuvasta 20 kuitenkin huomaa, että asetus arvoksi on laitettu 22,8 °C ulkolämpötilan ollessa 11,6 °C.



Kuva 20 Lattialämmityksen toimintamalli

Kohteessa on toteuttu lämmitystä myös ikkunapuhalluksella. Ikkunapuhalluksessa on tärkeää, että ilmavirta tuo riittävästi lämpöä kylmille pinnoille, kuten ikkunoille ja seinille. Tuloilmapuhallus on toteutettu alhaalta ylöspäin puhallettavalla ilmavirralla. Näin pyritään estämään kosteuden muodostuminen kylmille pinnoille. (8, s. 13.)

4.2.4 Tilojen yleiskunto

Uimahallin allastilojen laitehuoneen ilmanvaihtoa olisi syytä parantaa, sillä siellä vallitsevat kosteusolosuhteet ovat liian vaativat. Kuvasta 21 huomaa, kuinka kannakkeet ovat ruostuneet 14 vuodessa lähes olemattomiin. Rakentaessa olisi pitänyt käyttää haponkestävästä teräksestä valmistettuja kannakkeita ja pultteja kosteissa tiloissa, sillä ne kestävät kosteudesta aiheutuvaa korroosiota paljon paremmin kuin hiiliteräksestä valmistetut.

Kosteutta lisää allaslaitetilassa vuotavat liitokset ja peittämätön tasausallas. Kuvasta 22 huomaa lattialla seisovan veden, mikä johtuu vuotavista liitoksista. Tasausallas olisi hyvä peittää energiankulutuksen kannalta, sillä altaasta haihtuva vesi lisää energiankulutusta. Tämän työn osiossa 5.2 tarkastellaan tarkemmin tasausaltaan vedenhaihtumista.



Kuva 21. Ruostunut kannake.



Kuva 22. Allaslaitetilassa vuotovettä lattialla.

5 Kannattavuuslaskelmat

5.1 Uima-altaan allasveden haihdunnan pienentäminen lämpötilan nostolla

Uima-altaan peittäminen on yksi keino säästää energiankulutuksessa. Uima-altaan peittämisellä estettäisiin vedestä tapahtuva haihtuminen uima-allastilan sisäilmaan. Veden haihduntaa pienentäisivät myös oikeat sisäilmanlämpötilat. Allastilan sisäilmanlämpötila tulisikin nostaa noin 30 °C:seen, veden lämpötilan ollessa 28 °C.

Tarkastellaan tilannetta, jossa uima-altaan allashuoneen sisälämpötila nostetaan 30 °C:seen ja allasvesi pidetään 28 °C:ssa. Terapialtaanvesi säilytetään 31 °C:ssa. Lasetaan haihtuva vesi kaavalla 2 ja samalla periaatteella kuin osiossa 4.2.1 Sisäilmasto. (Kuva 23.)

Vedenhaihdunta altaasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,027198	kg/s	97,9
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s			
A = altaan pinta-ala, m ²	290		
B _x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,0087		
X _v = kyläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,0241		
X _i = Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,01332		
Vedenhaihdunta terapialataasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,003114	kg/s	11,2
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s			
A = altaan pinta-ala, m ²	16		
B _x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,0125		
X _v = kyläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,02889		
X _i = Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,01332		
YHT.	109,1	kg/h	

Kuva 23. Veden haihtuminen lämpötilan noston yhteydessä

CoolPack **MOIST AIR**
> THERMODYNAMICAL AND THERMOPHYSICAL (TRANSPORT) PROPERTIES

SPECIFY STATE	THERMODYNAMIC PROPERTIES
Temperature (DRY) [°C] <input type="text" value="30,00"/>	Temperature 30,00 [°C]
Absolute pressure [kPa] <input type="text" value="101,3"/>	Pressure 101,30 [kPa]
Relative humidity [%] <input type="text" value="50"/>	Relative humidity 50,0 [%]
	Dewpoint temperature 18,45 [°C]
	Wet temperature 22,01 [°C]
MOLLIER DIAGRAM (Enthalpy, Abs. Humidity)	SPECIFIC PROPERTIES (per kg dry air)
<p>● = Specified state point</p> <p>Const. relative humidity (ϕ)</p> <p>Const. specific enthalpy (h)</p> <p>Const. temperature (T_{DRY})</p> <p>Wet temperature (T_{WET})</p> <p>Saturation curve</p> <p>Dewpoint temperature (T_{DEW})</p> <p>Const. humidity ratio (x)</p>	Humidity ratio <input type="text" value="0,01332 [kg/kg]"/> Specific volume 0,8774 [m ³ /kg] Density 1,14 [kg/m ³] Specific enthalpy 64,23 [kJ/kg] Specific heat capacity 1,031 [kJ/(kg·K)]
	SPECIFIC PROPERTIES (per kg humid air)
	Specific volume 0,8774 [m ³ /kg] Density 1,155 [kg/m ³]
	TRANSPORT PROPERTIES
	Dynamic viscosity 1,864E-05 [Pa·s] Kinematic viscosity 1,636E-05 [m ² /s] Thermal conductivity 0,026 [W/(m·K)]
	Note: Transport properties can't be calculated for temperatures lower than -3 °C
	SATURATION PRESSURE
	p_{SAT} (eqlib. with water) 4246 [Pa]

© 1999 - 2001
Department of
Mechanical Engineering
Technical University
of Denmark
Version 1.48
TOOL A.13

Kuva 24. Ilman vesisisältö 30 °C:ssa CoolPack-ohjelmistolla laskettuna

Kuvassa 23 on esitetty laskenta uima-allastilasta haihtuvan vedenmäärästä ja kuvassa 24 on laskettu ilman vesisisältö 30 °C:ssa. Allastilasta haihtuu vettä neljän asteen lämpötilan noston seurauksena 109,1 kg/h, kun altaat ovat käytössä (kuva 23). Altaat ovat käytössä 74 h viikossa, joten haihtumiseksi saadaan 8073,4 kg/vko ja haihtumiseksi lepoaikaan saadaan 26,7 kg/h (kuva 25). Uimahalli on suljettuna 94 tuntia viikossa, joten altaiden kokonashaihtumiseksi muodostuu viikossa yhteensä 10 583,2 kg/vko. Ero on huomattava, sillä ennen lämpötilan nostoa altaista haihtui vettä viikossa 13 764 kg/vko. Haihtumisen erotus on siis 3 180,8 kg/vko.

Vedenhaihdunta altaasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,00068776	kg/s	2,47595
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s			
A = altaan pinta-ala, m ²	290		
B _x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,00022		
X _v = kylmän ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,0241		
X _i = Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,01332		
Vedenhaihdunta terapiatalaasta			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,000054806	kg/s	0,197303
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s			
A = altaan pinta-ala, m ²	16		
B _x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,00022		
X _v = kylmän ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,02889		
X _i = Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,01332		
YHT.		2,67	kg/h

Kuva 26. Allasvedestä haihtuva veden massavirta altaan ollessa peitetty.

Kuvasta 26 huomaa, miten altaiden peittäminen vaikuttaa haihtuvan veden massavirtaan. Haihtuminen on todella vähäistä, vain 2,67 kg/h. Altaat ovat käyttämättöminä viikossa 94 h, joten haihtuminen on viikossa 250,9 kg/vko. Tähän haihtumiseen vaikuttaa kuitenkin altaan peitteen tiiveys, aivan tiivistä peitettä on melkein mahdoton rakentaa, joten peitteestä huolimatta altaasta haihtuu aina jonkin verran vettä.

5.3 Tasaus-altaan peittäminen

Laiteloissa sijaitsevia avoimia tasausaltaita tulee välttää ja rajata ne mahdollisimman pieniksi. Laiteloissa ilmanvaihdon tarpeeksi on arvioitavissa 40 dm³/s /tasausallas-m²:ä kohden (3, s. 7). Kohteen tasausallas on sijoitettu allaslaitetilaan omaan osatonsa, mutta sitä ei ole eristetty kunnolla muista huoltotilasta. Siten tasausaltaasta haihtuva kosteus kulkeutuu koko allaslaitetilaan. Tasausaltaan pinta-ala on 26,5 m², joten ilmanvaihdon tarpeeksi saadaan laskettua 1 060 dm³/s. Poistoilmapuhallin on mitoitettu maksimipyörimisnopeudella 250 dm³/s. Ilmavirta on riittämätön poistamaan kosteutta allaslaitetilasta, jollei altaita peitetä kunnolla.

Lasketaan tasausaltaista haihtuva veden määrä kaavalla 2. Veden lämpötila 28 °C, allaslaitetilan ilman suhteellinen kosteus 50 % ja teknisen tilan lämpötila 26 °C. Käytetään kokemusperäisenä haihtumiskertoimenä altaan kuva 14 mukaan 0,0087 kg/m²s, koska tasausaltaat ovat yli 1,35 m syviä. Kuvassa 27 on laskettu tasausaltaista haihtuva veden määrä.

Vedenhaihdunta tasausaltaista			
$q_{vm} = A \cdot B_x \cdot (X_v \cdot X_i)$	0,0031424	kg/s	11,31
			kg/h
q_{vm} = haihtuvan veden massavirta, kg/s			
A = altaan pinta-ala, m ²	26,5		
B _x = kokemusperäinen haihtumiskerroin, kg/m ² s	0,0087		
X _v = kylmän ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa, kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,02413		
X _i = Ilman vesisisältö kg/kg _{kuivaa ilmaa}	0,0105		

Kuva 27. Tasausaltaista haihtuva veden määrä.

Tasausaltaasta haihtuu vettä 11,31 kg/h. (kuva 27). Tämä voitaisiin estää peittämällä tasausaltaat kunnolla ja keskittämällä poistoilmakanavat tasausallastilaan. Tasausaltaisiin ei vaikuta uimahallin aukioloajat. Muutenkin olisi hyvä tarkkailla allaslaitetilan ilmankosteutta, sillä korrosio allaslaitetilassa on suuri.

5.4 Haihtumisen energiankulutus

Haihtumisen energiankulutus voidaan laskea veden haihtumisnopeudesta enimmäiskuormituksen aikana ja haihtumisenergiasta (n. 580 kcal/kg = 2,4 MJ/kg). (9, s. 5).

Lasketaan haihtumisen energiankulutus kuvan 7 ja kuvan 8 antamalle tulokselle veden massavirralle 13 764 kg/vko. Tasaus-altaista veden haihtuminen on tasaista 24 tuntia vuorokaudessa, joten viikossa vettä haihtuu tasaus-altaista 1 900,1 kg/h (kuva 19). Näin saadaan kokonaishaihtuminen uimahallintiloista 15 664,1 kg/vko. Lasketaan kokonaishaihtumisesta vedenhaihdunta tuntia kohden, joka on 93,24 kg/h.

$$93,24 \text{ kg/h} \cdot 2,4 \text{ MJ/kg} = 223,776 \text{ MJ/h}$$

$$223,776 \text{ MJ/h} \cdot 0,277778 \text{ kWh} = 62,16 \text{ kWh}$$

Altaista haihtuu energiaa tunnissa 62,16 kW nykyisillä lämpötiloilla. Vuodessa altaasta haihtuisi $8\,760\text{h} \times 62,16\text{ kWh} = 544\,521\text{ kWh}$.

5.5 Kuivaimen asentaminen

Uimahallin sisäilmaa voisi kuivata ilmankuivaimilla. Näillä kuivaimilla saadut hyödyt olisivat käytössä aikana, jolloin uimahalli ei olisi käytössä. Näin voitaisiin käyttää enemmänkiertoilmaa uimahallin lämmittämiseen.

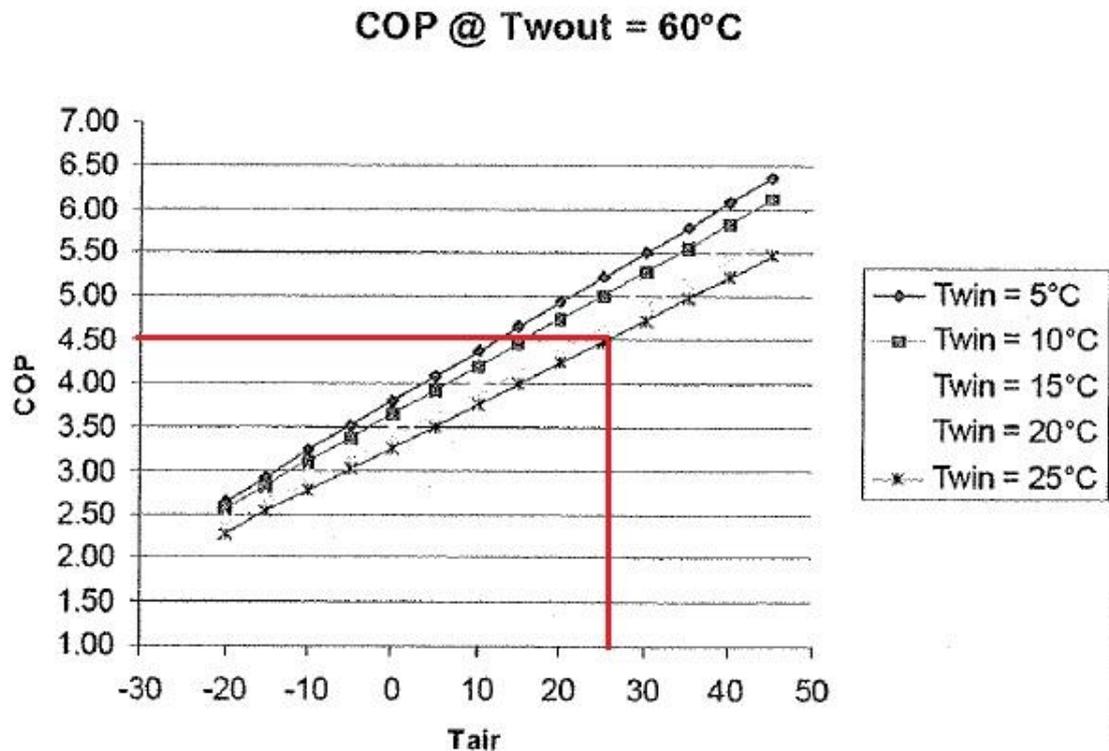
Kuivain toimii kylmäprosessin tavoin. Kuivaimen ohjataan uima-hallin sisäilmaa. Kuivaimessa oleva jäähdytyspatteri on kylmempi kuin siihen tuodun ilman kastepiste. Jäähdytyspatterissa kosteasta ilmasta vesi tiivistyy patterin pinnalle ja siitä viemäriin. Kun ilman vesisisältö on poistettu jäähdytyspatterilla, tarvitsee prosessi vielä lauhduttimen, jossa höyrystimessä talteenotettu energia voidaan päästää poistoilmaan, joka ohjataan takaisin allastilaan. Näin saadaan lauhdelämpö ohjattua allastilan lämmitykseen.

Tarkastellaan ilmankuivainta, jonka kuivausteho ilmanlämpötilassa 25 °C ja ilman suhteellisessa kosteudessa 50 % on 6,2 l/h. Tämä muutettuna kiloiksi tunnissa on 6,2 kg/h. Tällaisella kuivaimella voidaan kuivata ilmaa siis 6,2 kg/h. Muunnetaan kg/h yksikköön kWh seuraavanlaisesti:

$$6,2\text{ kg/h} * 2,7\text{ MJ/kg} = 16,74\text{MJ/h}$$

$$16,74\text{ MJ/h} * 0,27778\text{ kWh} = 4,65\text{ kWh}$$

Ilmankuivaimen COP (Coefficient Of Performance) luku saadaan arvioitua kuvasta 28. Sisään otettavan ilman lämpötilan ollessa 25 °C saadaan COP arvoksi arviolta 4,5. COP luku ilmoittaa, kuinka monta kilowattituntia saadaan teoreettisesti hyödynnettyä kuivaimen käyttäessä yhden sähkökilowattitunnin.



Kuva 28. Kuivaimen COP-luku

Kuivain ottaa sähköverkosta 5,2 kW ja tästä ottotehosta se tuottaa lämpöä 23,4 kW COP-luvun ollessa 4,5 (kuva 21). Oletetaan, että laite on kokoajan päällä vuoden jokaisena päivänä. Nimellisteho on 5,2 kW, joten laite kuluttaisi vuodessa 45 552 kWh. Tästä kuluttamasta tehosta kuivain hyödyntäisi vuodessa 204 984 kWh lämmitykseen. Hyödynnetään tämä lämmitysenergia uimahallin lämmitykseen. Lasketaan, kuinka paljon energiaa tarvitaan ilmanvaihtokoneen lämmityspatterilla kuluttaa, jotta saadaan uimahallin sisälämpötila nostettua 30 °C:seen. (Kaava 4.) Uimahallin sisäilmanlämpötila on 25 °C, ja ilmanvaihtokoneen tuloilmavirta on 2,34 m³/s.

$$Q = q_v * c_{pi} * T * \rho_i \quad (4)$$

Q on ilman lämmittämiseen tarvittava energia kW

q_v on tuloilmavirta m³/s

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti 1 kJ/kg

T on lämpötila ero kelvineinä (K)

ρ_i on ilmantiheys 1,2 kg/m³

$$Q = 2,34 \frac{m^3}{s} * 1 \frac{kJ}{kg} * 5 K * 1,2 \frac{kg}{m^3} = 14,04 kW$$

Ilman lämmittämiseen kuluu siis 14 kW enemmän energiaa, jotta se voidaan ilmanvaihtokoneella lämmittää 30 °C:seen. Ilmankuivain lämmittäisi ilmaa 23,4 kW COP-luvun ollessa 4,5 ja ottotehon ollessa 5,2 kW.

Ilmankuivaimella voitaisiin tuottaa uimahalliin kuivaamisen yhteydessä tarvittava lämpömäärä nostamaan uimahallin sisäilmanlämpötila 30 °C:seen. Näin ollen ilmanvaihtokoneen tuloilmanlämpötilaa ei tarvitsisi nostaa, vaan jäljelle jäävä lämpötilan nosto tehtäisiin ilmankuivaimella. Koska kuivain poistaa ilmasta samalla kosteutta, voitaisiin ilmanvaihdossa käyttää enemmän kiertoilmaa allastilan lämmittämiseen uimahallin ollessa suljettuna, koska kuivan kiertoilman mukana ei siirry kosteutta takaisin allastilaan.

5.6 Aurinkolämpö

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu muutamasta keskeisestä osasta, aurinkokeräin, varaaja, pumppuyksikkö, yhdysputkisto, lämmönvaihdin, ja säätöyksikkö. Aurinkokeräimessä muutetaan auringon säteily lämmöksi virtaavan ja lämpiävän nesteen avulla. Lämminnyt neste kulkeutuu varaajaan, jossa nesteessä oleva lämpö siirretään lämmönvaihtimen kautta veteen. Jäähdytynyt auringon lämmönkerännyt neste kierrätetään takaisin aurinkokeräimille pumpun avulla. Säätöyksikkö tarkkailee aurinkokeräimen ja varaajan veden lämpötiloja ja käynnistää pumpun, kun kerääjän lämpötila on suurempi kuin varaajan lämpötila. (10, s. 12.)

Etelä-suomessa yhdelle neliömetrille osuva auringonsäteily on vuosittain 1000 kWh/m². Kun tämä energia saadaan kerättyä talteen aurinkokeräimillä, joiden hyötysuhde on 50 %, saadaan auringonsäteilyenergiasta talteen 500 kWh/m² vuodessa. Teoreettisesti uimahallin katolta, jonka pinta-ala on 875 m², saataisiin vuodessa talteen 437 500 kWh. Tämä lämpöenergia voitaisiin hyödyntää käyttöveden, allasvesien, tai lattialämmityksen lämmittämiseen. (11)

Aurinkokeräimellä, minkä keräyspinta-ala on $4,46 \text{ m}^2$ saadaan talteen teoreettisesti 730 kwh vuodessa. Uimahallin kattopinta-ala on 875 m^2 ja aurinkokeräimille tarvittava asennuspinta-ala on puolet koko katon pinta-alasta $437,5 \text{ m}^2$, jolloin katolle voidaan asentaa 98 kpl aurinkokeräimiä. Näillä keräimillä saataisiin talteen 319 375 kWh vuodessa. (Liite 7.)

Käytetään energian hintana maakaasun hintaa $0,63 \text{ €/nm}^3$ taulukosta 14. Maakaasunkulutus muunnetaan kilowattitunneiksi seuraavalla kertoimella 10 kwh/nm^3 , joten kulu-
tukseksi saadaan $0,063 \text{ €/kWh}$. (12)

Aurinkokeräimillä saataisiin talteen $319\,375 \text{ kWh} \cdot 0,063 \text{ €/kWh}$. Tästä saadaan säästöä siis $20\,121 \text{ €}$. Lämmitysjärjestelmän investointikustannukset ovat $135\,000 \text{ €}$. Takaisinmaksuajaksi saadaan $6,7$ vuotta kaavalla 5.

(5)

$$n = \frac{H}{t}$$

n on takaisinmaksuaika vuosina

t on investoinnista saatavat vuosittaiset säästöt

H on hankintahinta

Laskettaessa takaisinmaksuaikaa lyhyellä menetelmällä, se ottaa huomioon vain ajan, jolloin investoinnista saadut tuotot ylittävät investointikustannukset. Sitä ei pidä käyttää kannattavuusmittarina, koska se ei ota huomioon korkokantaa eikä myöskään käyttöajanjakson jälkeistä tuottoa.

5.7 Muut ratkaisut

Uimahallin kulutusseurantaa olisi parannettava. Kohteessa on vain lämpöenergian kulutusmittari kylmän veden kulutusmittarit ja osittain sähköenergiankulutusmittari. Sähköenergiankulutuksessa mitataan sekä uimahallin että palvelutalon puoli yhteisellä mittarilla. Tämän vuoksi on vaikea arvioida kuinka paljon uimahalli kuluttaa sähköenergiaa. Kulutusseurannoista pitäisi tehdä kulutuseurantaraportteja, josta näkyisivät järjestelmi-

en kuluttumat energiat. Kulutuseurantaa pitäisi pitää ainakin seuraavista järjestelmistä. (8, s. 20):

- lämpöenergia
- sähköenergia
- kylmän veden kulutus
- uimaveden kokonaiskulutus
- uima-altaiden lisäveden kulutus järjestelmittäin
- lämpimän veden kulutus.

Veden kulutusta pitäisi seurata jo senkin puolesta, että uima-altaista pitäisi vaihtaa vettä 30 l/hlö viikkokeskiarvosta. Tapauksessa korvausvesi pitäisi johtaa tasausaltaaseen. Tällaista mittausmenetelmää ei ole kohderakennuksesta ollenkaan, vaan vettä lisätään manuaalisesti katsoen vedenpinnan korkeuden muutosta lasiputkituubista. (11, s. 4.)

6 Yhteenveto

Uimahallin energiankäytön kartoituksessa on syytä perehtyä kohteeseen aina huolellisesti. Mitä paremmin kartoituksen tekijä perehtyy kenttämittauksiin ja kohteen taloteknisiin ratkaisuihin, sitä suuremmat mahdollisuudet on kartoittajalla onnistua työssään. Kartoituksen tekeminen vaatii usein pitkäjänteisyyttä ja huolellisuutta tekijältään.

Uima-altaan peittäminen kannattaa aina tehdä, kun se on mahdollista. Altaan peittämisellä saatiin haihtuminen huomattavan pieneksi. Peittämistä kannattaisi harjoittaa aina uimahallin ollessa kiinni ja ilmanvaihdon toimiessa puolikkaalla teholla. Kuivaimen käyttöä kannattaisi myös harkita, sillä se pystyisi lämmittämään sisäilmaa ja näin ollen lämpötilan nostolla saatavat hyödyt tulisi käytettyä. Näillä ratkaisuilla saataisiin haihtumisesta johtuva energiahäviö minimoitua.

Aurinkolämpö on kasvava energianmuoto Suomessa, ja sen tuomia hyötyjä olisi syytä harkita aina kun niistä arvellaan olevan suurta hyötyä. Aurinkoenergia olisi varteenotettava vaihtoehto uimahallinlämmitykseen. Laskuissa käytettiin kuitenkin teoreettisia arvoja aurinkoenergian määrittämiseen, joten aurinkoenergian hyödyntämisen arvioinnis-

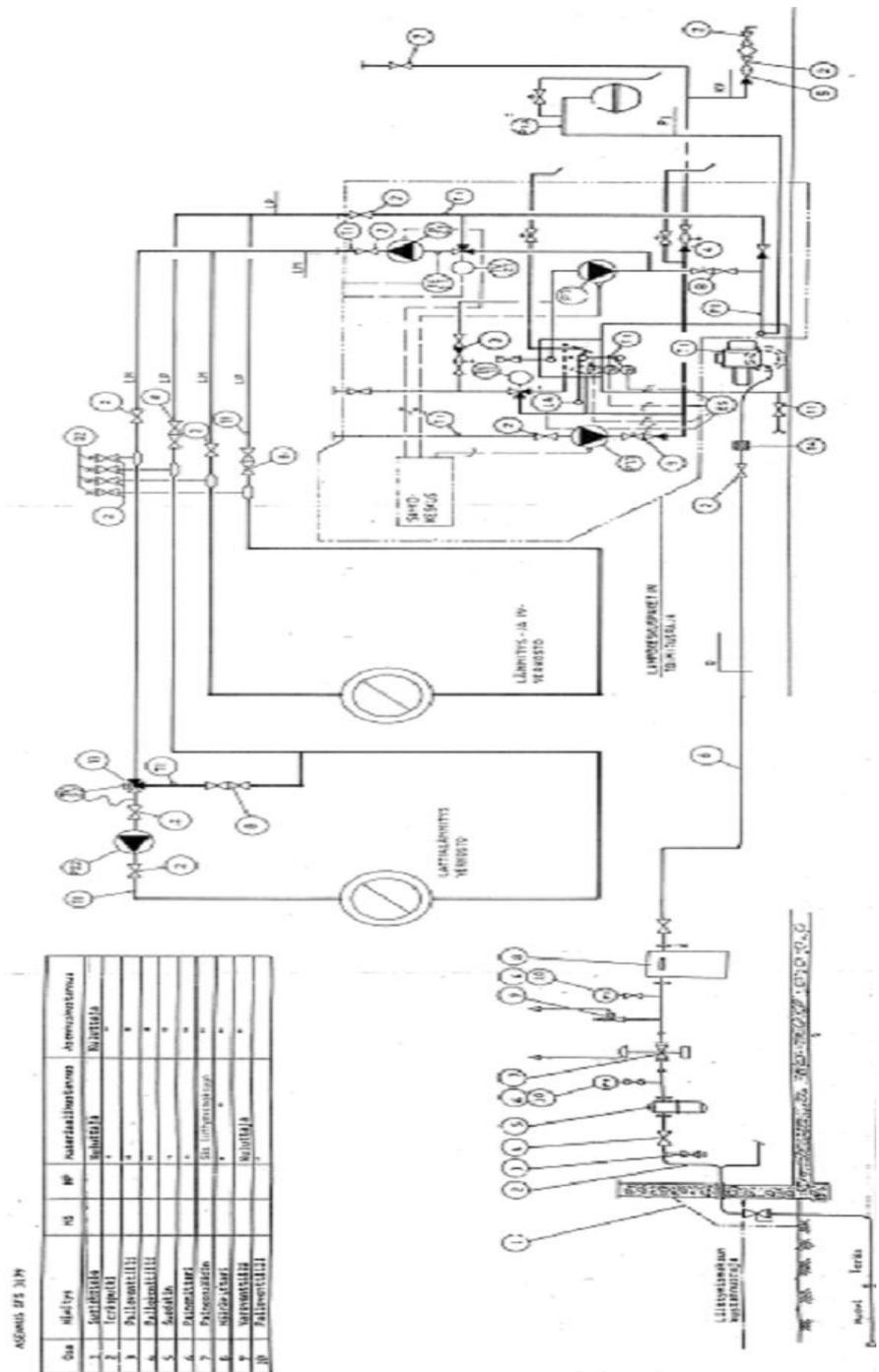
sa olisi vielä kehittämisen varaa. Kuitenkin takaisinmaksuajaksi saatu 6,7 vuotta on houkutteleva tulos lisätutkimuksia varten.

Korian uimahallin ylläpitäjille olisi erittäin paljon hyötyä energiankulutuksen seurannan kannalta, jos uimahalliin asennettaisiin standardin mukaisia energiankulutuksen seurantalaitteita. Näillä laitteilla voitaisiin ennakoida energiankulutuksia ja saada niistä tietoa reaaliajassa.

Lähteet

- 1 Elimäen puustellit ry.2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.elimaenpuustelli.fi/?s=etusivu>> 2012. Luettu 16.4.2012.
- 2 Kulutuksen normitus. 2010. Verkkodokumentti.
<<http://www.motiva.fi/kulutuksennormitus>> Luettu. 20.5.2012.
- 3 Palvelusektorin ominaiskulutuksia. 2012. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia>
- 4 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 5 Ilmastointi, ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. 1992. LVI-ohjekortti 014-10190. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 6 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D1. Helsinki: Ympäristöministeriö
- 7 Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. 2007. Verkkodokumentti.
<http://www.valvira.fi/files/ohjeet/Oppaita_3_2008_Uimahallien_ilmanvaihto_5.pdf> Helsinki 3.12.2007. Luettu. 17.4.2012.
- 8 Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. 2009. LVI-ohjekortti 06-10451. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 9 Uima-allasvesien käsittely. 2005. LVI-ohjekortti 22-10386. Helsinki. Rakennustietosäätiö.
- 10 Aurinkoenergian hyötykäyttö. 2009. Verkkodokumentti.
<<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF>> Luettu.20.5.2012.
- 11 Aurinkoenergia – viisas valinta. 2012. Verkkodokumentti. Aurinkovoima.
<<http://www.aurinkovoima.fi/fi/sivut/aurinkoenergia>> Luettu. 19.5.2012.
- 12 Alakangas Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Verkkodokumentti. VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>> Luettu. 20.5.20

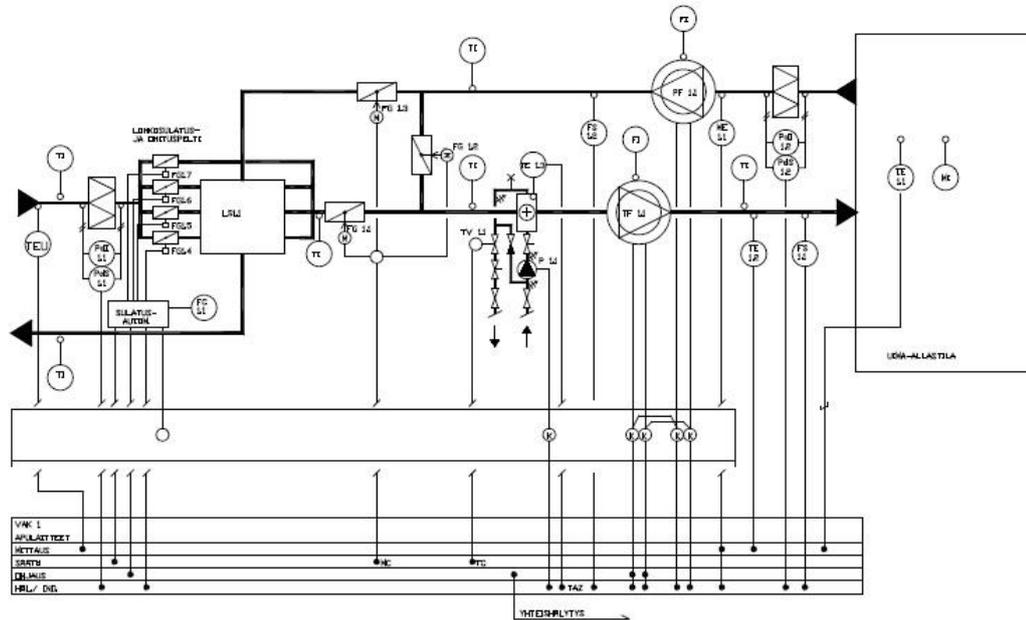
Maakaasukattilan kytkentäkaavio



Käyntiajat ja ilmavirrat

KONE	Palvelee	Käyntiaika 1/1 teho			Käyntiaika 1/2 teho			Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su
		Käynnist.	Pysäht.		Käynnist.	Pysäht.								
1TK/PK01	Uimahalli	4:00	23:00	X	X	X								
2TK/PK01	Montoimitilat	6:00	8:00	X	X	X								
		11:00	16:30	X	X	X								
		21:00	23:00	X	X	X								
KONE	Palvelee	Suunn. Ilmavirat Tulo m ³ /s	Mitatut Ilmavirat Tulo m ³ /s	Suunn./Mit. Erotus %	Tulo	Suunn. Ilmavirat Poisto m ³ /s	Mitatut Ilmavirat Poisto m ³ /s	Suunn./Mit. Erotus %	1/1	1/2	1/1	1/2	1/1	1/2
1TK/PK01	Uimahalli	2,7	1,35	2,34	1,25	2,8	1,4	0,93	0,87	0,93	1,71	1,09	0,61	0,78
2TK/PK01	Montoimitilat	1,8	0,9	1,65	0,94	1,8	0,9	1,04	0,92	1,04	1,87	0,872	1,04	0,97

Ilmanvaihtokoneen toimintaselostus



Käynnistys

Säätöjärjestelmän aikaohjelma ohjaa koneen TK1 toimintaa. Uimahallitilan iv-koje käy aina. Käynnistystoiminta liittyy huollon tms. seisokin jälkeen tapahtuvaan käynnistykseen. Kojе käynnistyy ensin 1/2 teholle ja sitten vasta täydelle teholle. Puhaltimet voivat olla suoraikäyttöisiä taajuusmuuttajalla.

Toiminta normaalikäytössä

Koneen TK1 käynti ohjataan säätöjärjestelmän aikaohjelmalla. Hallin käyttöaikana puhaltimet käyvät 1/1-teholla, muuna aikana 1/2-teholla. Ilman suhteellinen kosteus pidetään asetellussa arvossa säätämällä sekoituspeltejä poistoilman kosteusmittauksen perusteella kosteusanturin ME2.1 avulla. Peltien asennolle asetellaan päiväkäytössä minimi ulkoilmaosuus. Kojе käyttää kaiken aikaa mahdollisimman vähän ulkoilmaa. Jos ilman suhteellinen kosteus seisokkiaikana nousee asetusarvon yläpuolelle, ja koje toimii jo maksimiulkoilmavirralla, ts.pelti FG1.2 on kiinni, puhaltimet käynnistyvät 1/1-teholle, kunnes suhteellinen kosteus on laskenut asetusarvoon. Säätöjärjestelmä pitää huonelämpötilan asetteluarvossa säätämällä sisäänpuhalluslämpötilaa muuttamalla lämmityspatterille menevän veden lämpötilaa venttiilillä TV1.1 huoneanturin TE1.1 mittaustuloksen perusteella. Sisäänpuhallusilman lämpötilalle asetellaan minimi- ja maksimirajat. Kaikki lohkosulkupellit FG1.4,FG1.5 ja FG1.6 ovat aukiasennossa. Paluuvden lämpötilan TE1.3 lähestyessä jäätymissuojan asetteluarvoa nostetaan menoveden lämpötilan asetusarvoa suhteellisesti. Jäähdytystarvetilanteessa lämmönsiirintä ohitetaan säätämällä peltejä FG1.4-FG1.7. Lohkopeltejä ja ohituspeltejä säätämällä lämmönsiirintä toimii yhtenä lämmitysportaana. Tätä varten tuodaan lohkopeltiin valmiiksi asennettuun logiikkakeskukseen 0-10 V jänniteviesti säätöjärjestelmästä.

Varo- ja suoja-toiminnot

Lasiputkisiirtimen huurtumisen rajoittaminen

Kun ulkolämpötila alittaa asetellun huurteeneston käynnistymislämpötilan (n. -10°C), tuodaan lohkopellin logiikkakeskukseen viesti säätöjärjestelmästä, jolloin huurteenestotoiminta alkaa:

Ensimmäiseksi sulkeutuu pelti FG1.4, muut pellit ovat edelleen auki. Ohituspelti FG1.7 on koko ajan kiinni. Lämmin poistoilma sulattaa putkien ulkopinnoille muodostuneen huurteen ja jään.

Pellille on ohjelmoitu tietty kiinnioloaika (10 - 15 min.), jonka jälkeen se avautuu ja vuorostaan pelti FG1.5 sulkeutuu jne. Jos sulatusjakson loputtua ulkolämpötila on vielä alle asetusarvon, alkaa sulatus toiminta alusta ohjelmaan asetellun jaksojen välisen ajan kuluttua, ja kaikki lohkot suljetaan jälleen vuoron perään asetelluksi sulatusajaksi.

Kunkin pellin rajakatkaisijasta saadaan tilatieto. Mikäli joku pelleistä ei palaudu aukiasentoon tietyn ajan kuluttua ohjauksesta, lohkopellin logiikkalaite lähettää hälytysviestin säätöjärjestelmään.

Lohkosulatuksen ohjauskeskus ja moottorit FG1.4-FG1.7 kuuluvat kaapelointineen lämmönsiirintöimittukseen ellei toisin määritellä. Ne voivat sisältyä myös rakennusautomaatiourakkaan. Peltimoottorit ovat jännitesäätöisiä ja niiden avautumis-/sulkeutumisaajan on oltava 30 s.

Muut varotoimet:

Jos patterin paluuvden lämpötila TE1.3 laskee alle asetellun jäätymissuojarajan, koje pysähtyy ja tapahtuu hälytys. Pellit FG1.1 ja FG1.3 sulkeutuvat ja pelti FG1.2 avautuu.

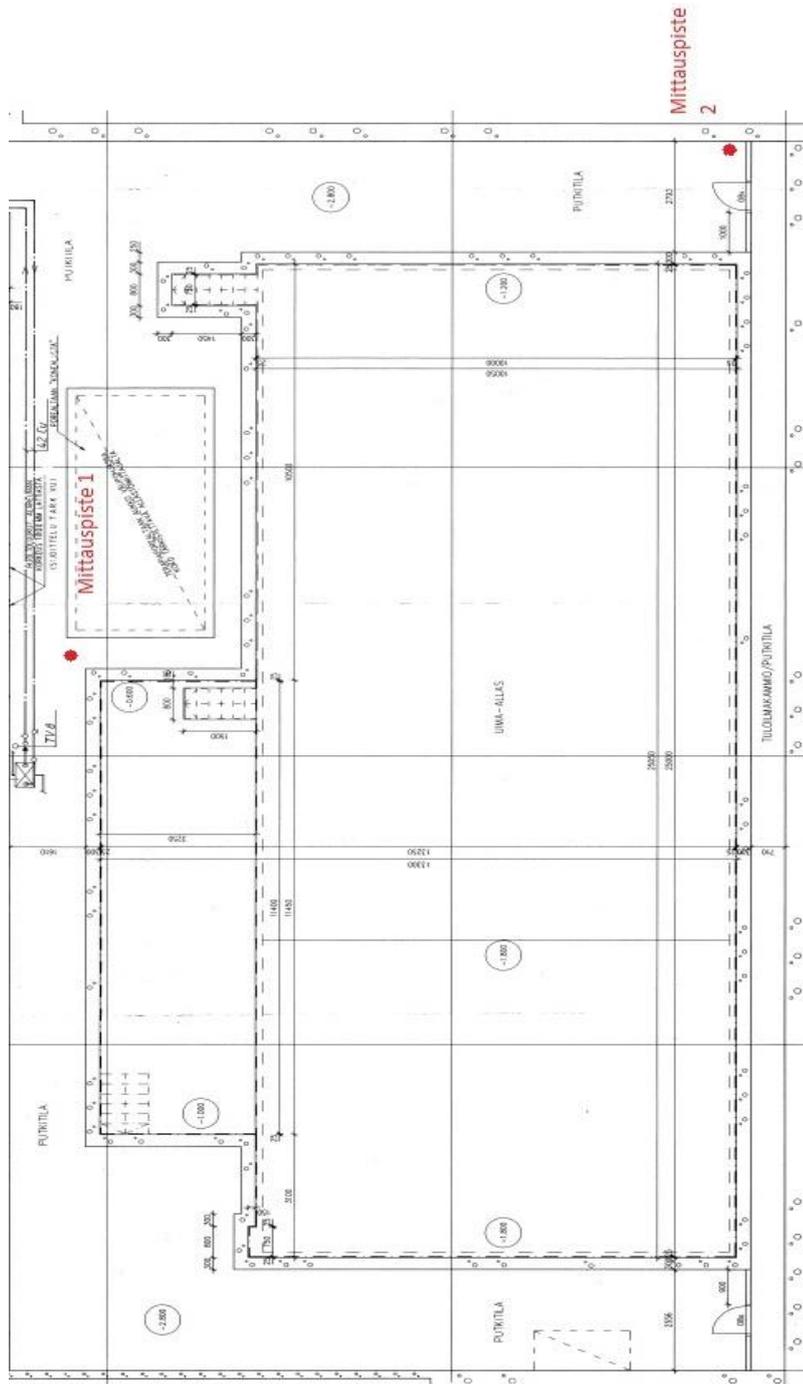
Tuloilmapuhallin ei saa käydä, ellei kiertovesipumppu P1.1 käy.

Jos paine-ero ylittää suodatinvahdin PdS1.1 tai PdS1.2 paine-erorajan, tapahtuu hälytys.

Kiertovesipumppu käy jatkuvasti. Jos pumppu pysähtyy pysähtyvät myös puhaltimet.

Jäätymissuojan lauetessa puhaltimet pysähtyvät ja pellit FG1.1 ja FG1.3 sulkeutuvat ja pelti FG1.2 avautuu.

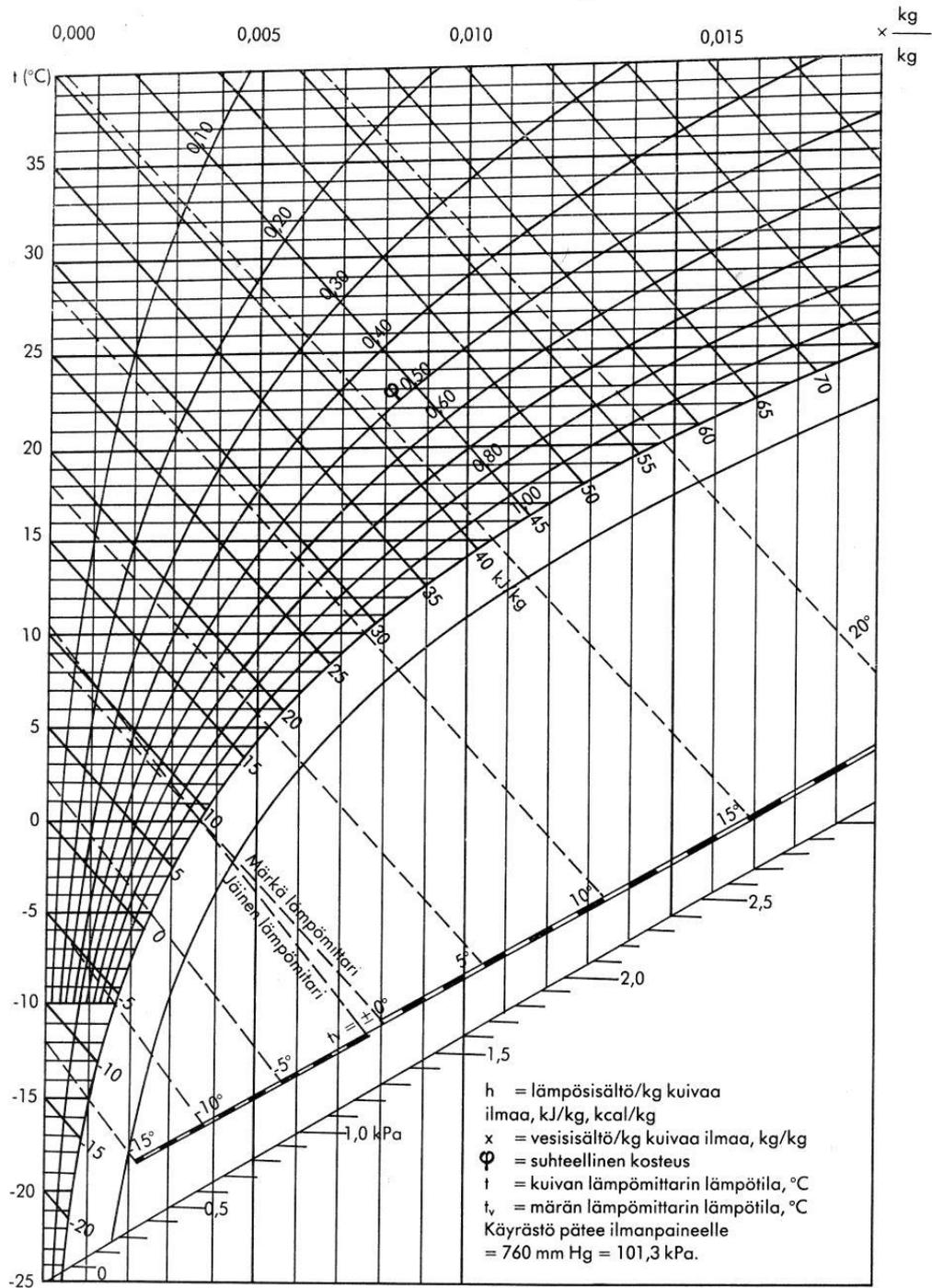
Uima-allastilan mittauspisteet



Mittauspiste
2

Mollier-diagrammi

Kostean ilman Mollier-käyrästä

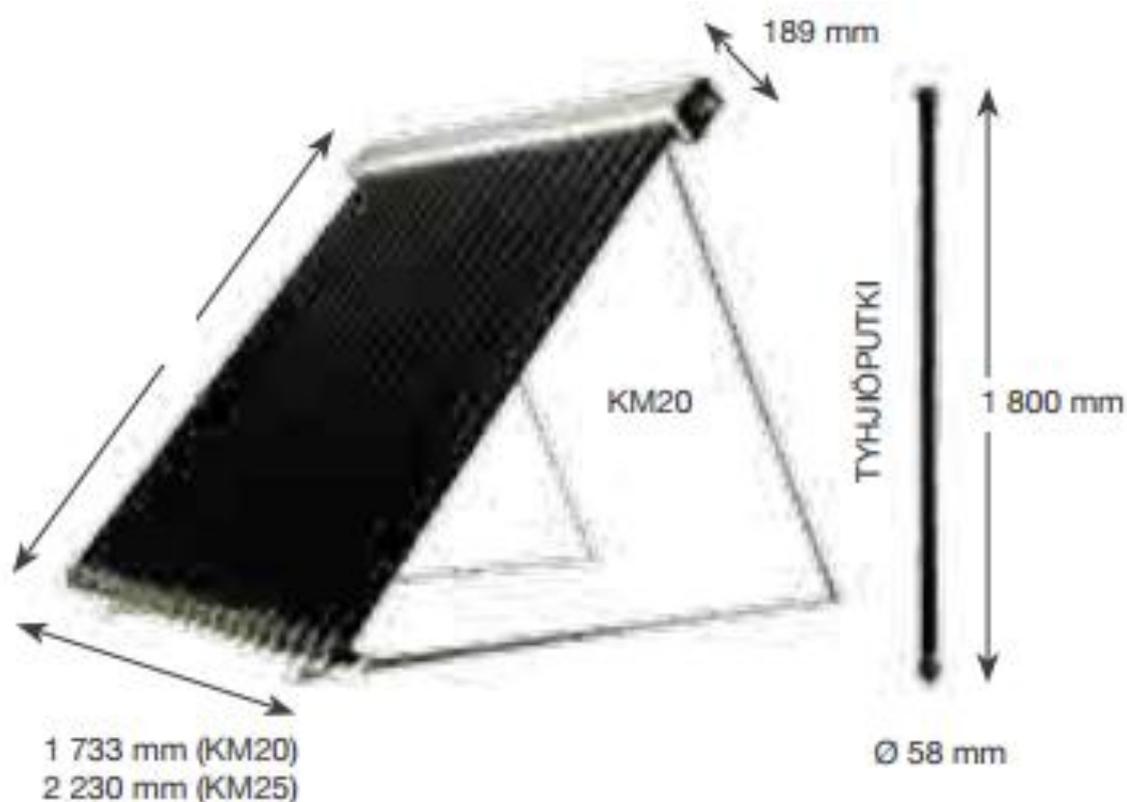


Ilmankuivaimen tekniset tiedot

TEKNISET TIEDOT		HYGRO 6	HYGRO 7	HYGRO 8
Kuivausteho olosuhteessa				
+25°C, RH 50 %	l/h	4,3	5,1	6,2
+25°C, RH 70 %	l/h	6,0	7,0	8,5
+25°C, RH 90 %	l/h	7,2	8,5	10,0
Sähkölaitanta				
- virtalaji		3N 400V 50Hz	3N 400V 50Hz	3N 400V 50Hz
- liitännäjohto	mm ²	5x2,5	5x2,5	5x2,5
- sulakkeet	A	3 x 16	3 x 16	3 x 16
- nimellisteho	kW	3,5	4,0	5,2
Poistovesiliitanta				
- halkaisija	mm	19	19	19
- poistomäärä	l/min	0,12	0,14	0,16
Mitat				
- leveys (L)	mm	745	745	745
- syvyys (S)	mm	660	660	660
- korkeus (K)	mm	1325	1325	1325
- paino	kg	145	150	160



Aurinkokeräimen tekniset tiedot



Järjestelmä korketehovuomi	Heat-pipe-System
Keräysala aktiivinen m ²	4,46
Keräimen tuotto, väh.	730 kWh/m ² /a (Fraunhofer Institut mit-taus Würzburg)
Putkien lukumäärä	25
Putkien ulkohalkaisija, mm	58
Putkien sisähalkaisija, mm	47
Tyhjiöputkien pituus, mm	1800
Keräimen mitat, mm (ilman liittimiä)	2002 x 2023 x 150 (k x l x p)
Tyhjiöputkien materiaali	vähärautainen borosilikaattilasi 3.3
Tyhjiöputken lasin paksuus, mm	1,6/1,8
Tyhjiö, Pa	<=3 x 0,001 Pa
Absorptiokalvot	AIN/AIN-SS/Cu
Aktiivinen absorptioala	2,01 m ²
Takaisinheijastuma	e<8%
Virtaus, l/min	1,92 l
Kehikko	alumiini ja ruostumaton teräs
Omapaino, kg	85
Käyttölämpötila, max	+ 235 C
Käyttöpaine, max	6 bar
Lämpötila-anturin paikka	1