



**QUALITHERM falfűtési rendszer fűtési
és hűtési teljesítmény mérése,
számítógépes szimuláció**

PMMF POLITECHNIKA KFT.

7624 Pécs, Boszorkány u. 2.

Tel: 72/224-277 Fax: 72/501-536

**QUALITHERM falfűtési rendszer fűtési
és hűtési teljesítmény mérése,
számítógépes szimuláció**

Témavezető:

.....
Baumann Mihály
ügyvezető
BAUSOFT Pécsvárad Kft.

Közreműködők:

Jancskárné Anweiler Ildikó
f. adjunktus
PTE PMMK
Informatika Tanszék

Szikra Csaba
e. adjunktus
BME Épületenergetikai és
Épületgépészeti Tanszék

Pozsgai Gábor
műszaki szakoktató
PTE PMMK
Épületgépészeti Tanszék

Pécs, 2006. június

1 ELŐZMÉNYEK

A Falfűtés Rendszer Kft. új falfűtési-falhűtési rendszercsalád kifejlesztésén és elterjesztésén fáradozik. A munka során a különböző kialakítások teljesítményének kimérése, az eredmények értékelése volt. További feladat a falfűtés méretezésére szolgáló BAUSOFT WinWatt programcsomaghoz a rendszer adatbázisának elkészítése.

A hőtechnikai mérésen kívül, alvállalkozók bevonásával, kontrollként infravíziós felvételeket készítettünk, azokat elemeztük, illetve egy szimulációs program segítségével számítógépen is szimulálni próbáltuk a rendszer hőmérséklet eloszlását és teljesítményét.

2 FALFŰTÉSI RENDSZER KIALAKÍTÁSA

A vizsgálat során többféle rendszer kialakítást vizsgáltunk.

A mérőkabin hátfalára nedves rendszerű falfűtést alakítottunk ki. A farostlemez hátfalra 4 cm polisztirolhab hőszigetelés került. A csövek rögzítése sínekbe való bepattintással történt. A csövek 10x1,3 mm méretű térhálósított polietilén csövek oxigéndiffúzió gátló bevonattal. A csövek osztása 100 mm. A csövek fölé műanyag háló került beragasztásra, majd a felületet levakolták. A vakolat vastagsága a csövek felett 0,5-1 cm. A vakolásra RIGIPS RIMANO 6-30 típusjelű gipszes vakolatot használtak. A beépített fűtőfelület 5,2 m².

A mérőkabin mennyezetére száraz rendszerű falfűtés van felszerelve. A hornyokkal rendelkező polisztirolhab hőszigetelés teljes vastagsága 4 cm. A hornyokba 0,5 mm vastagságú horganyzott acéllemez hővezető, hőelosztó profil van bepattintva. Ebbe kerülnek a 10x1,3 mm méretű térhálósított polietilén csövek oxigéndiffúzió gátló bevonattal. A csövek osztása 100 mm. A rendszer 9 mm vastagságú gipszlapokkal van leburkolva. A beépített fűtőfelület 3,0 m².

A mérőkabin oldalfalára ugyancsak száraz rendszerű falfűtés van felszerelve. A farostlemez hátfalra 4 cm polisztirolhab hőszigetelés került. Erre került rögzítésre az előregyártott fűtőpanel. A csövek itt is 10x1,3 mm méretű térhálósított polietilén csövek oxigéndiffúzió gátló bevonattal.

Az oldalfali panelekből 3 különböző kialakításút vizsgáltunk:

Oldalfal I.: csövek osztása 120 mm. A fűtőpanel öntött gipszlap acélháló (1 cm osztású csirkeháló) erősítéssel. A lap vastagsága 15 mm. A beépített fűtőfelület 1,61 m².

Oldalfal II.: csövek osztása 100 mm. A fűtőpanel öntött gipszlap acélháló (2,5 cm osztású csirkeháló) erősítéssel. A lap vastagsága 15 mm. A beépített fűtőfelület 1,8 m².

Oldalfal III.: csövek osztása 80 mm. A fűtőpanel öntött gipszlap dryvitháló erősítéssel. A lap vastagsága 15 mm. A beépített fűtőfelület 0,86 m².

3 MÉRŐKÖR LEÍRÁSA

A mérést radiátor mérésére szolgáló, szabványos kialakítású nyitott mérőkabinban végeztük. A kabin 1 m magas lábakon áll, méretei:

magasság = 2,75 m

szélesség = 2,50 m

mélység = 1,50 m

Homlokfelületén nyitott a vizsgáló helyiség felé. A vizsgáló helyiség elegendően nagy méretű ahhoz, hogy a mérés közben a fűtőtest teljesítménye ne változtassa számottevően a helyiség hőmérsékletét. Vizsgálat közben a helyiség hőmérséklete a szabvány értelmében nem változhat meg 3 K-nél többet.

A vizsgáló kabint a belső fal mellé helyeztük el. A kabin méreteinek felvételénél az volt az irányadó, hogy egy olyan lehatárolt térben tudjuk elhelyezni a fűtőfelületet, amely térben zavaró légmozgás nem lép fel.

A fűtőközeg puffertároló felmelegítése gázkazánnal történik. Ez zárt kört alkot, amely hőcserélővel van leválasztva a mérésre szolgáló nyitott körről. A pontos méréshez szükséges, hogy a fűtőközeg jellemzőit pontos értéken tudjuk tartani a mérés alatt. Az előremenő víz hőmérséklet szabályozása BITRIC-P típusú értéktartó szabályozóval történik. A beavatkozó szerv Bilmann kétútú motoros szelep, ami a visszatérő víz megfelelő arányú visszakeverését végzi.

A kis tömegáram és a hosszú alapvezeték miatt hosszú beállási időre és nagy vízlehelésre kellene számítani, ezért a kabin közeléből egy közvetlen visszavezető vezeték indul a nyitott tartályba. Az előremenő vezetéken a felhasznált víz mennyiségének többszörösét keringetjük, hogy az említett problémákat elkerüljük, de a felesleges vízmennyiséget felhasználatlanul visszavezetjük.

A mérés során meghatározzuk a fűtővíz előremenő és visszatérő hőmérsékletét, valamint a kabin átlagos levegőhőmérsékletét. A víz hőmérséklet méréséhez PT100 típusú ellenálláshőmérőket használunk fel, a mérés a mérésadatgyűjtővel történik.

A tömegáram mérése a kis vízmennyiség miatt mérleg és stopper segítségével történik. A fűtőfelületen átáramló fűtővíz mennyiségét hitelesített mérlegre vezetjük, ahol a meghatározott idő alatt átfolyt vízmennyiséget pontosan meg tudjuk állapítani. A vízmennyiség beállítására a kifolyásnál elhelyezett szelep szolgál.

A vizsgálati mérést a stacioner állapot beállta után kezdjük. Stacioner állapotról akkor beszélünk, ha a hőmérsékletek és az áramló fűtővíz mennyiség legalább 15 percen keresztül állandóak. A mérés akkor megfelelő, ha a legalább tízpercenként leolvasott vízmennyiségek eltérése a mérés alatt kisebb mint 2 %. A hőmérsékletek eltérése az adott középértéktől max. $\pm 0,5$ K lehet.

A hőmérséklet mérése folyamatosan, 5 sec időközönként történt, hogy a trendeket követni lehessen, illetve az állandósult állapotot utólag ellenőrizni lehessen. A méréshez egy Hewlett Packard HP 3497A Data Acquisition / Control Unit típusú mérésadatgyűjtő egységet használtunk, amely egy 20 csatornás analóg kártyával volt kibővíve. A mérésadatgyűjtő össze volt kapcsolva egy PC-vel, amelyen a Hochschule Technik + Architektur Luzern főiskolán készített OSKI elnevezésű program futott.

A program feladata többek közt a mérésadatgyűjtő vezérlése, a PC és a mérésadatgyűjtő közti kommunikáció, a mért elektromos jelek fizikai jellemzőkké való átszámítása, azok megjelenítése illetve az adatok fájlban való eltárolása. A fájl formátuma olyan, hogy az Excelbe beolvasható. A mérési adatok feldolgozása és a diagramok elkészítése Excelben történt.

Az alábbi kép a rendszer mutatják be mérés közben:



4 MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

Az 5 másodperces adatrögzítés következtében nagy számú adatot mértünk. Terjedelmi okokból nem látjuk értelmét ezeknek az adatoknak a táblázatos megjelenítését, a mérési adatok elektronikus formában átadásra kerülnek.

Az alábbiakban az egyes táblázati sorok értelmezését kívánjuk megtenni.

A mérési eredmények rögzítésénél a mérési időpontok rögzítése is megtörtént. Az eredmények csak akkor értékelhetőek precízen, ha az állandósult állapotok kialakulását megvárjuk. A pontosabb eredmények érdekében hosszabb állandósult állapotú időszak rögzített értékeinek átlagát használtuk fel a kiértékeléshez. Az időszak kiválasztásához grafikusán ábrázoltuk az egyes jellemzők időbeli változását. A táblázat tartalmazza a feldolgozott adatsor kezdő és befejező időpontját.

A hőmérsékletek az adott időszakban mért értékek számtani átlagai:

T_e a fűtővíz előremenő hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

T_v a fűtővíz visszatérő hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

T_e a helyiséghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

A további mért illetve számított jellemzők:

m a fűtővíz tömegárama [kg/s]

Q a fűtővíz által szállított összteljesítmény [W]

$$\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot (T_e - T_v) \quad \text{W}$$

$Q_{\text{hátsul}}$ a fűtőelem hátrafelé való hőleadása [W]

$$\dot{Q}_{\text{hátsul}} = A \cdot U \cdot \Delta T \quad \text{W}$$

A a fűtőpanel felülete [m^2]

U a hőátbocsátási tényező a cső aljától a szigetelésen át hátrafelé [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

q a fűtőpanel fajlagos teljesítménye előrefelé [W/m^2]

$$q = \frac{\dot{Q} - \dot{Q}_{\text{hátsul}}}{A} \quad \text{W}/\text{m}^2$$

ΔT a fűtővíz átlagos túlhőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]

$$\Delta T = \frac{T_e - T_v}{\ln \frac{T_e - T_h}{T_v - T_h}} \quad ^{\circ}\text{C}$$

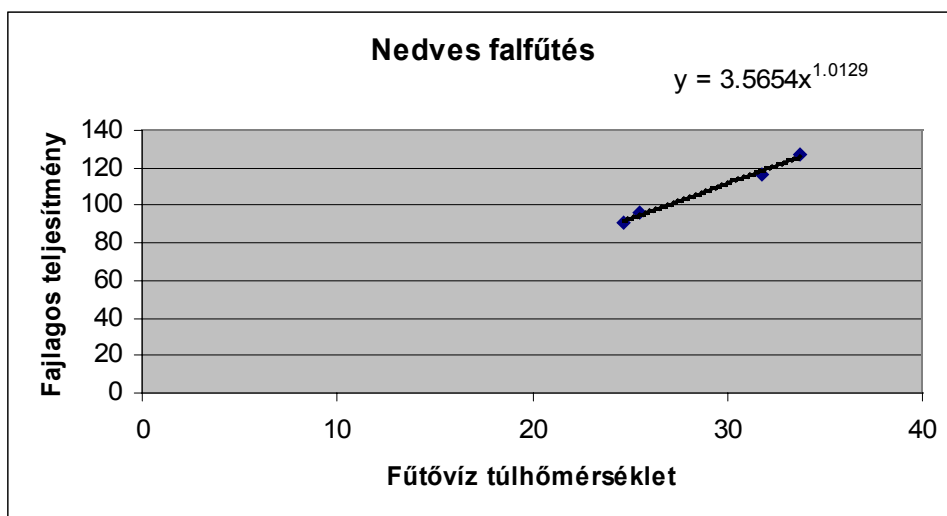
q' a fűtőpanel teljesítménytényezője [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

$$q' = \frac{q}{\Delta T} \quad \text{W}/\text{m}^2\text{K}$$

Kabin hátfalán kialakított nedves rendszer:

Fűtő üzemmód

idő	T _e	T _v	T _h	m	Q	Q _{hátsó}	q	ΔT	q'	
06_06 14:18-14:31	50.9	47.3	23.6	0.0405	620.	5	118.0	96.6	25.4	3.79
06_06 15:25-15:50	8	2	1	0.0379	817.	156.	127.	33.7	9	3.77
06_08 10:23-12:17	60.9	55.7	24.5	0.0501	585.	6	0	2	24.7	3.66
06_08 13:04-14:37	3	9	8	0.0501	753.	147.	0	31.7	6	3.67



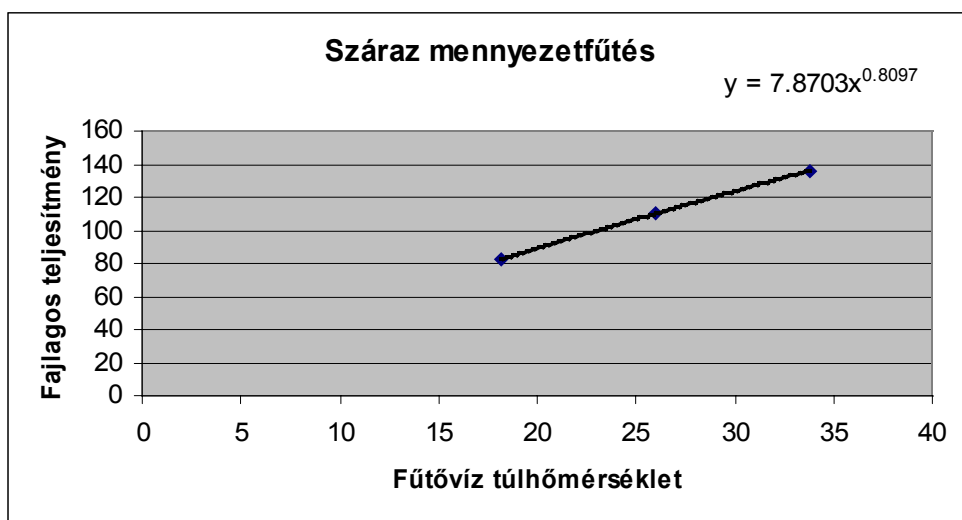
Hűtő üzemmód

idő	T _e	T _v	T _h	m	Q	Q _{hátsó}	q	ΔT	q'	
06_20 16:30-16:50	17.7	19.2	31.5	0.0427	263.	9	60.0	39.2	12.9	3.02
06_22 10:44-11:19	8	6	0	0.0427	242.	6	56.7	35.7	12.2	2.92

Kabin mennyezetén kialakított száraz rendszer:

Fűtő üzemmód

idő	T_e	T_v	T_h	m	Q	$Q_{hátsul}$	q	ΔT	q'
06_07 9:39-10:27	40.5	38.8	21.5	0.0478	350.	103.	82.3	18.1	4.54
06_07 11:14-12:29	50.6	48.2	23.4	0.0484	478.	148.	110.0	26.0	4.23
06_07 14:11-14:23	60.8	57.8	25.5	0.0484	601.	192.	136.	33.7	4.03



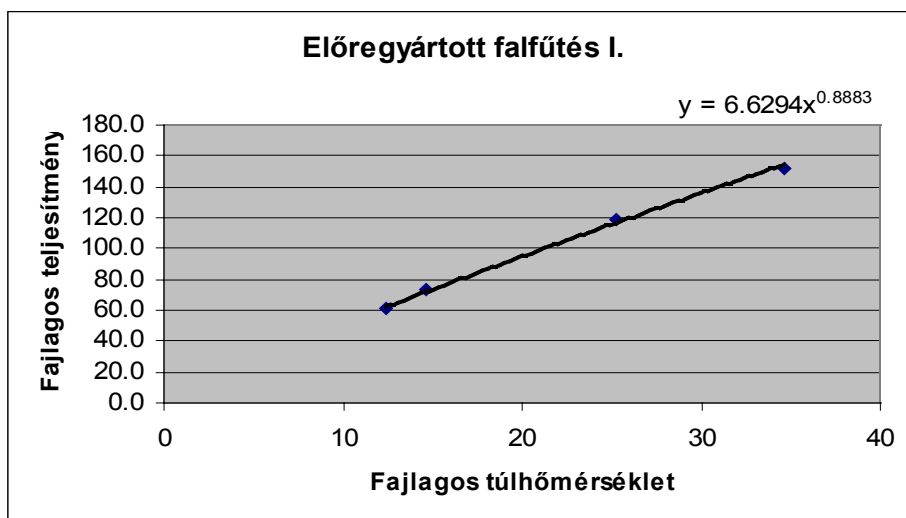
Hűtő üzemmód

idő	T_e	T_v	T_h	m	Q	$Q_{hátsul}$	q	ΔT	q'
06_20 14:00-15:00	17.9	19.4	30.7	0.0349	212.	68.8	47.9	12.0	3.98

Kabin oldalfalán elhelyezett száraz rendszer, I. fűtőpanel:

Fűtő üzemmód

idő	T_e	T_v	T_h	m	Q	$Q_{hátul}$	q	ΔT	q'	
06_07 15:02-15:09	40.4	39.2	25.2	0.0277	139.	1	21.0	73.4	14.6	5 5.01
06_07 16:02-16:22	50.8	48.9	24.6	0.0284	226.	7	36.2	118.3	25.2	5 4.69
06_07 17:21-17:32	60.5	58.0	24.7	0.0279	294.	9	49.6	152.	34.5	9 4.41
06_30 9:54-10:16	44.5	43.4	31.6	0.0244	115.5	17.7	60.7	12.3	8 4.90	



Hűtő üzemmód

idő	T_e	T_v	T_h	m	Q	$Q_{hátul}$	q	ΔT	q'
06_12 13:50-14:30	17.9	18.5	31.4	0.0386	86.0	18.9	41.7	13.1	8 3.16

Kabin oldalfalán elhelyezett száraz rendszer, II. fűtőpanel:

Fűtő üzemmód

idő	T_e	T_v	T_h	m	Q	$Q_{hátul}$	q	ΔT	q'	
07_03 13:20-13:47	60.3	58.1	28.5	0.0378	348.	1	49.2	166.	30.7	1 5.41
07_03 15:00-15:30	45.3	44.1	28.0	0.0386	194.	3	26.6	93.1	16.6	3 5.60

Kabin oldalfalán elhelyezett száraz rendszer, III. fűtőpanel:

Fűtő üzemmód

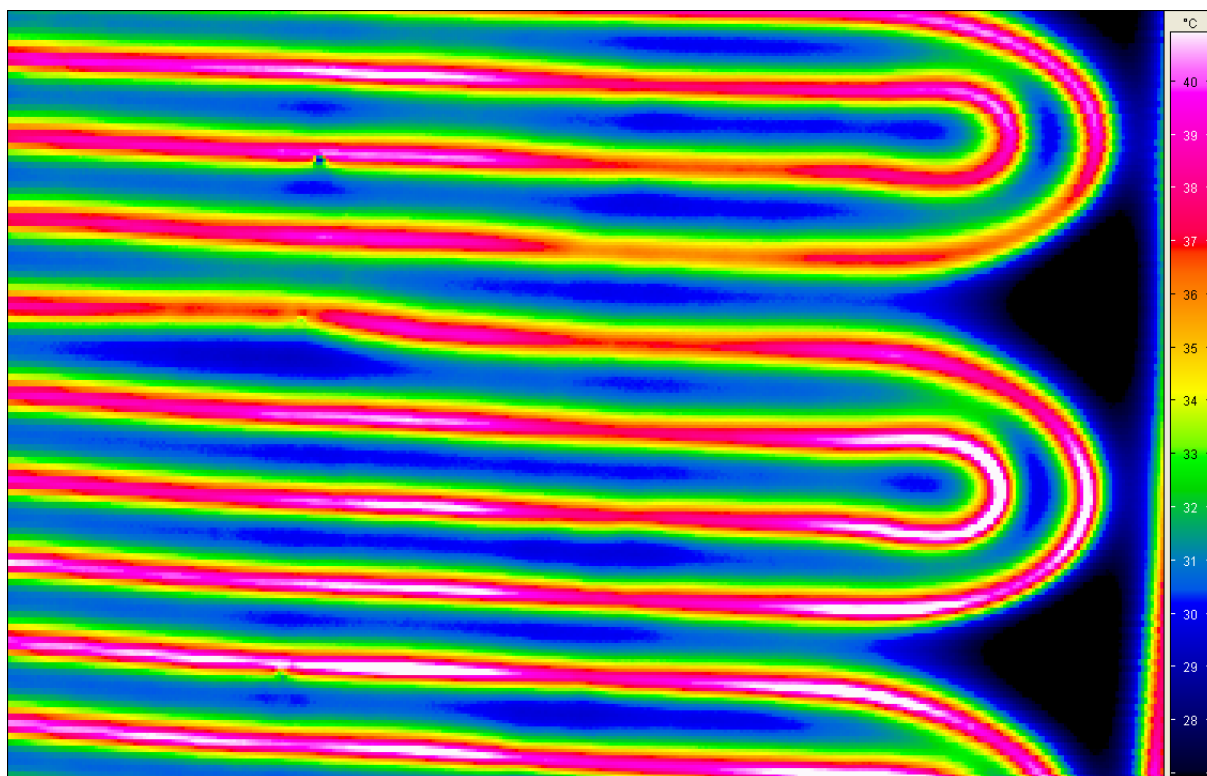
QUALITHERM falfűtési rendszer teljesítmény mérés

idő	T_e	T_v	T_h	m	Q	$Q_{\text{hátsul}}$	q	ΔT	q'
07_06 12:00-13:30	45.0 7	44.0 6	30.8 1	0.0273	115.4	11.7	108. 0	13.7 5	7.85

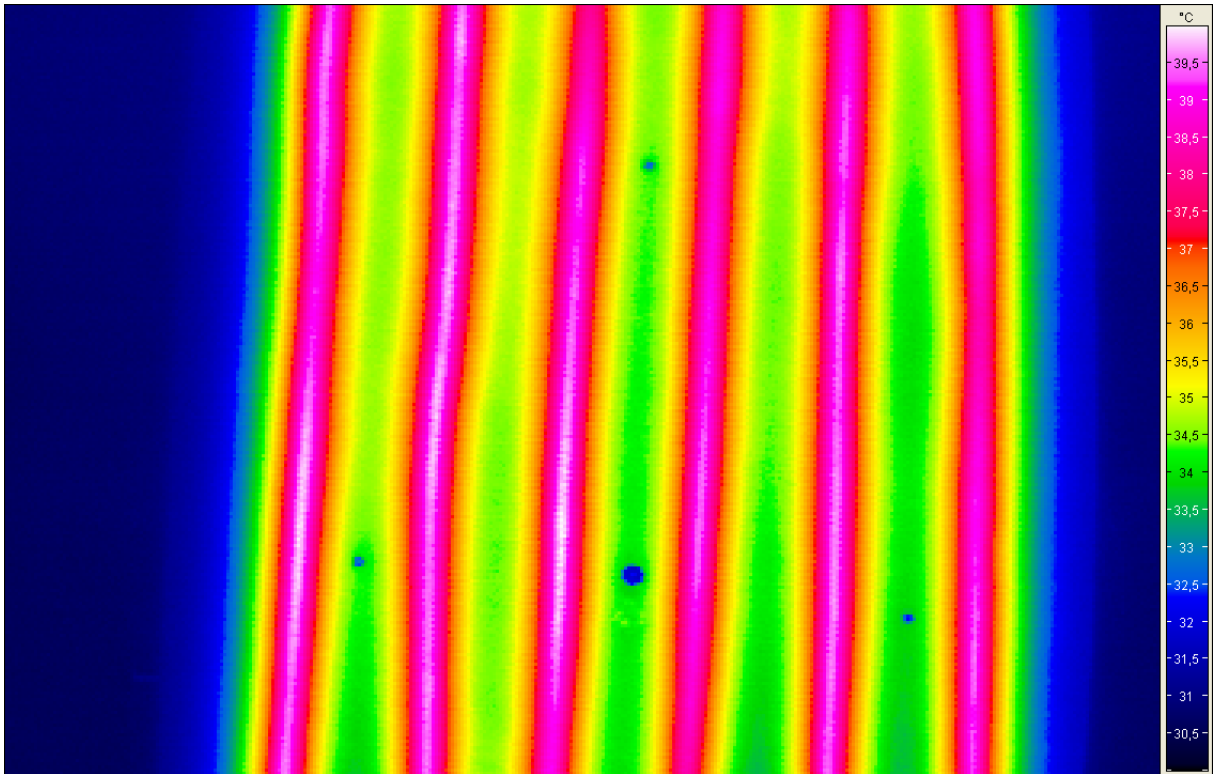
5 TERMOVIZIÓS KÉPEK

Néhány esetben a méréssel párhuzamosan termovízió segítségével képeket is készítettünk. Az alkalmazott VarioScan 3021 ST hr nevű 8-tól 14 μm -ig terjedő hőszugárzási tartományban dolgozó, beépített hosszúéletű Stirling-hűtővel rendelkező hőkamera a 0,03 K hőmérsékletfelbontásával elsősorban a nagyfelbontással mérendő alacsony hőmérsékletű mérésekhez (mint pl. az épületek hőtérképezése) kiválóan alkalmas.

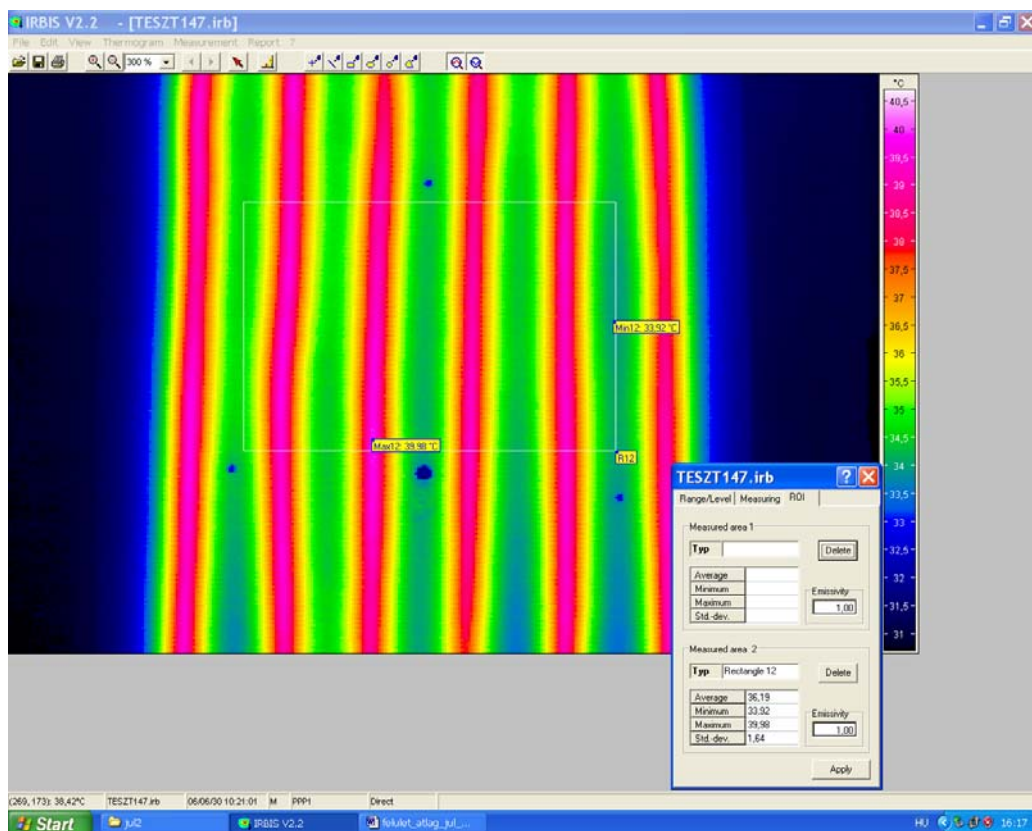
Az InfraTec által kifejlesztett nagyteljesítményű és sokoldalú, 32-bites, Windows 95/98/NT/2000/XP alatt futtatható termográfiai IRBIS®-szoftvercsalád különösen az ipari alkalmazásokhoz van kifejlesztve. A szoftver alapsomagja (a hőkamerák tartozéka) a tárolt hőképek kiértékelésére és a képdokumentálásra alkalmas. A program segítségével kijelölt területek hőmérséklet statisztikáját készítettük el.



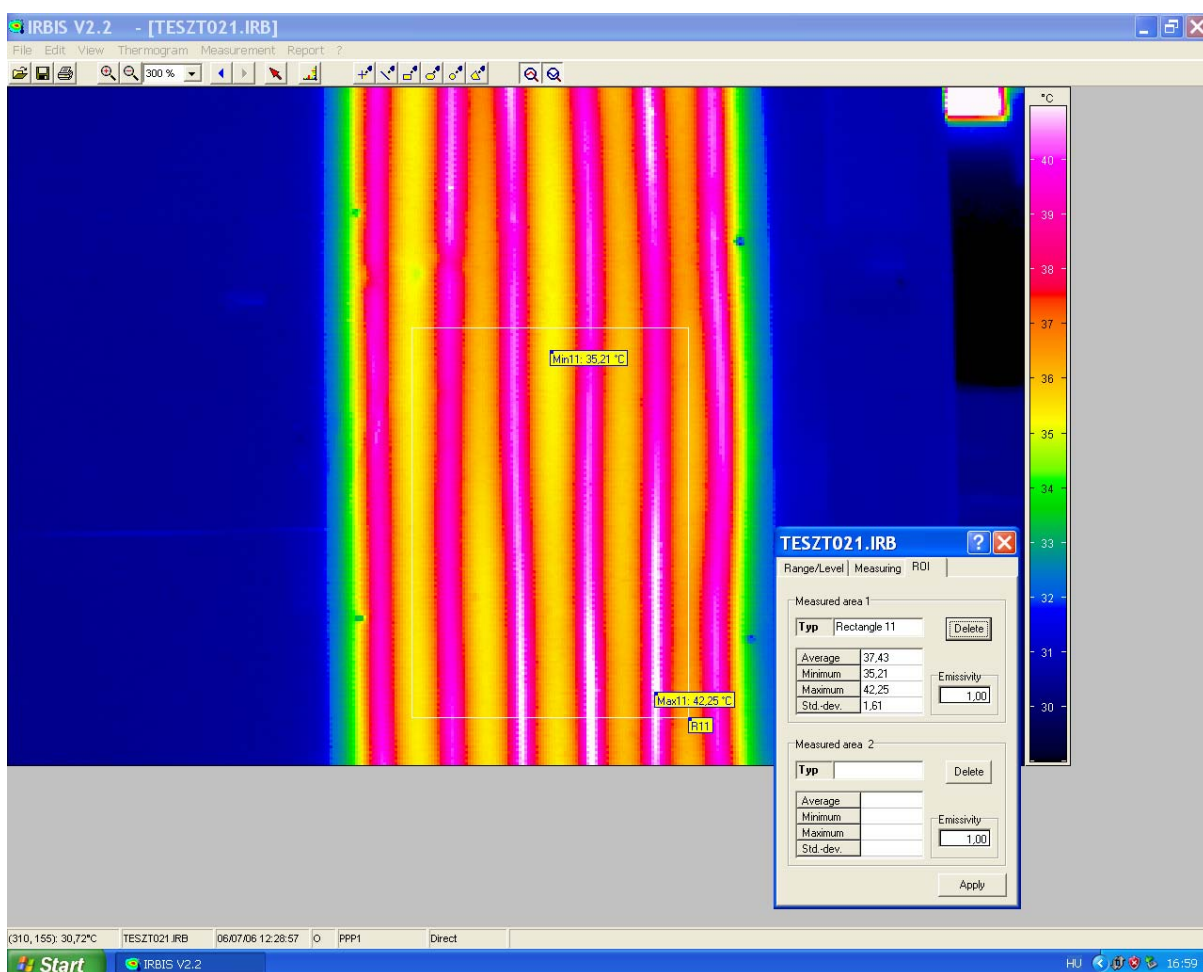
Hátsó fal hőképe a 06_08 10:23-12:17 időszakban, átlaghőmérséklet 33,1 °C, maximális hőmérséklet 43,03 °C, minimális hőmérséklet 29,56 °C



I. fűtőpanel hőképe a 06_30 9:54-10:16 időszakban, átlaghőmérséklet 36,26 °C, maximális hőmérséklet 40,05 °C, minimális hőmérséklet 34,12 °C



II. fűtőpanel hőképe a 07_03 15:00-15:30 időszakban, átlaghőmérséklet 36,19 °C, maximális hőmérséklet 39,98 °C, minimális hőmérséklet 33,92 °C

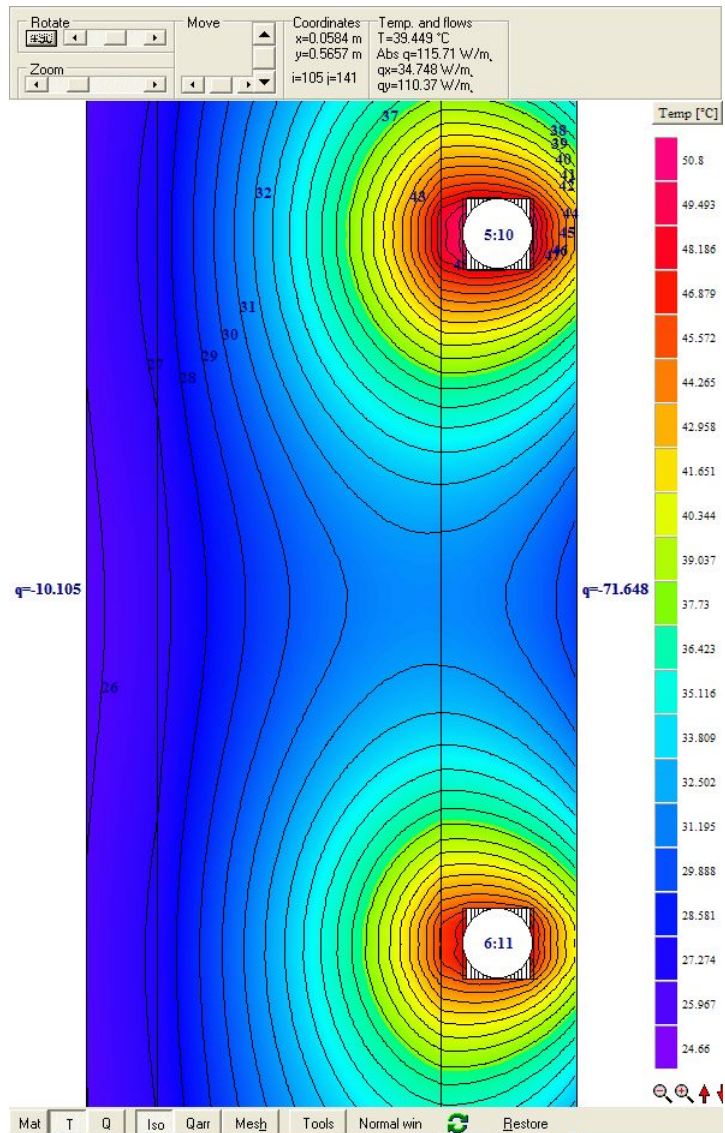


III. fűtőpanel hőképe a 07_06 12:00-13:30 időszakban, átlaghőmérséklet 37,43 °C, maximális hőmérséklet 42,25 °C, minimális hőmérséklet 35,21 °C

6 SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓ

A szimulációhoz a BLOCON – HEAT2 nevű programot használtuk. Az alkalmazott modell kétdimenziós időben állandó hő-transzport folyamat volt. A program a hő-transzportfolyamat differenciál egyenletét, numerikus formában a véges differenciák módszerével oldja meg. Az egyenleteket egy háló segítségével diszkrét egyenletekké alakítja, majd a mezőn a peremfeltételekből kiindulva relaxációs algoritmust alkalmaz. A peremfeltételek: oldal irányban a hőleadó felületen változó hőátadási tényező, mely értéke a felület és a környezet hőmérsékletétől függ. A szigetelő lemez oldalán állandó hőátadási tényező. A hőleadásra merőleges záró felületeken másodfajú peremfeltétel zéró hőáram sűrűséggel. A vakolatban elhelyezett falfűtés csövek felületén, állandó hőmérséklet. A négyzetháló segítségével diszkrét egyenletekként modellezett rendszerben a kör keresztmetszetű cső közelében, a háló sűrűsödik. A háló sűrítése okán a cső felületén pontosabban modellezhető a cső és a vakolat közötti, hő-transzport folyamat.

A cső felett 6 mm gipszvakolatot feltételezésével adódtak a leginkább megfelelő számítási eredmények. Nem volt pontos információnk a gipszvakolat hővezetési tényezőjéről, ennek értéke a számításnál 0.19 [W/mK] értékre van felvéve. Ekkor a hőmérsékletekben mindössze 0.3%, 0.1°C körül tér el a mért értéktől. Nagyobb eltérés csak az átlaghőmérsékletben van, de ennek oka a peremfeltétel ($q=0$ az oldal irányban) miatt van. Ez a hiba csökkenthető, ha tovább növelnénk a csövek számát. Bár ez a hiba jelenleg sem túl magas, csak 1.83%-os.



Hátó fal hőmérséklet szimuláció eredményei, átlaghőmérséklet 33,7 °C,
 maximális hőmérséklet 42,8 °C, minimális hőmérséklet 29,5 °C

7 EREDMÉNYEK ÉRÉKELÉSE

A mérés során több alkalommal ütköztünk abba a problémába, hogy a frissen elkészült felületek nem voltak még kiszáradva, ezért a mérési eredmények markánsan különböztek a kiszáradás után mérhető eredményektől. Természetesen a kiértékelésnél nem használtuk a hibásnak ítélt méréseket.

A mérés jóságát a leginkább a q' teljesítménytényező állandóságán lehet lemérni. Ennek változása csupán azért következik be, mert a külső hőátadási tényező némiképpen függ a felületi hőmérséklettől.

A mért eredmények jól illeszkednek az irodalomban található értékekhez. A mérés talán legnagyobb hibája abból adódik, hogy nem túl nagy felületek (időnként 1 m^2 alatt) mérése történt. Így a mért teljesítmények alacsonyak, ami a mérés hibáját növeli. A kis felületeknél már befolyásolja az eredményeket az is, hogy a széleken oldalirányú hőáramok is kialakulnak.

A vakolt falfelület mért, hőfényképről és szimulációval meghatározott értékei jól összevágnek, ez annak lehetőségét veti fel, hogy pusztán szimulációval is készüljenek számítások arra vonatkozóan, hogy egyes paraméterek hogyan befolyásolják a fajlagos teljesítményt. A maximális és minimális felületi hőmérséklet nagy különbsége felveti azt a kérdést, hogy nem célszerű-e sűrűbb fektetést alkalmazni a teljesítmény növelésére.

A mennyezeti panel esetében jól érzékelhető, hogy a hővezető fémlemez hőelosztása és a sűrűbb csőosztás következtében 30-40 %-al megnövekszik a fajlagos teljesítmény.

Az oldalfalra felszerelt előregyártott gipszlapok esetében túlságosan sok paraméter változott egyidejűleg, mindegyik panel mérete más volt, mindegyikben más csőosztás volt és a hőelosztásra szolgáló elem is más volt. Így nem lehet tendenciákat egyértelműen megállapítani. Egyértelmű volt azonban az, hogy valószínűleg a cső fektetési sűrűség hatása a legmarkánsabb.