

Felületfűtések mérése és validálása

Testing and validation surface heating

**BUDULSKI László¹, BAUMANN Mihály¹, LENKOVICS László¹², LOCH Gábor¹²,
Dr. GYERGYÁK János², Dr. CAKÓ Balázs¹²**

¹Pécsi Tudományegyetem - Műszaki és Informatikai Kar, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék

²Pécsi Tudományegyetem - Műszaki és Informatikai Kar, Hőkomfort kutatócsoport

H-7624 Pécs Boszorkány út 2., Magyarország, Baranya megye, budulski.laszlo@mik.pte.hu, <https://mik.pte.hu/>

Abstract

In response to the growing interest in next-generation ceiling heating and cooling systems, we examined and evaluated the performance of one of these systems. The evaluation of the efficiency and functionality of the mockups is major importance for the development of the technology. The designed tested system belongs to the dry-built category. During its operation several parameters were measured and recorded, based on which the efficiency and operational characteristics of the system were determined. Based on the results of the measurements, we came to the conclusion that the system is suitable for performing its tasks.

Keywords: heating-cooling, measuring, validation, characteristic, characteristic curve

Kivonat

Az újgenerációs mennyezetfűtési-hűtési rendszerek iránti növekvő érdeklődésre válaszul vizsgáltuk meg és értékeltük ki az egyik ilyen rendszer teljesítményét. A mintapéldányok hatékonyságának és funkcionalitásának értékelése kiemelten fontos a technológia fejlődése szempontjából. A kialakított mért rendszer a szárazépítésű kategóriába tartozik, működése során számos paramétert mértünk és rögzítettünk, melyek alapján megállapítottuk a rendszer hatékonyságát és működési jellemzőit. A mérések eredményei alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a rendszer alkalmas a feladatainak ellátására.

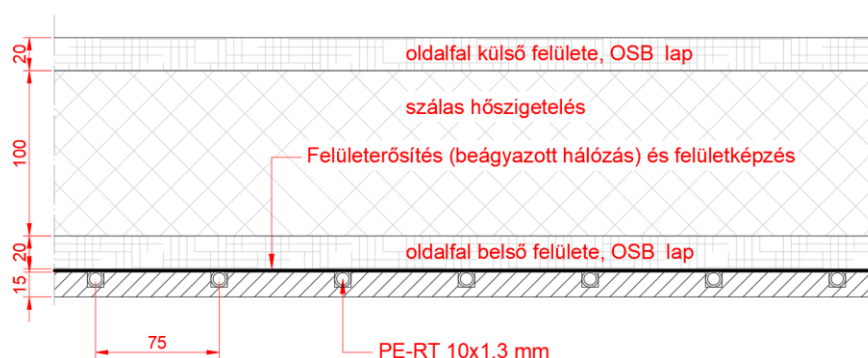
Kulcsszavak: fűtések-hűtések, mérés, validálás, karakterisztika, jelleggörbe

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt években egyre növekvő érdeklődés mutatkozik az újgenerációs mennyezetfűtési-hűtési rendszerek iránt, melyeknek kifejlesztésében és elterjesztésében számos gyártó vesz részt különös tekintettel a szárazépítésű rendszerekre. Ezen új rendszerek hatékonyságának és funkcionalitásának értékelése kulcsfontosságú lépés a technológiai fejlődés előmozdításában. Jelenlegi feladatunk ezen rendszerek mintapéldányainak teljesítményének értékelése.

2. A MÉRT RENDSZER KIALAKÍTÁSA

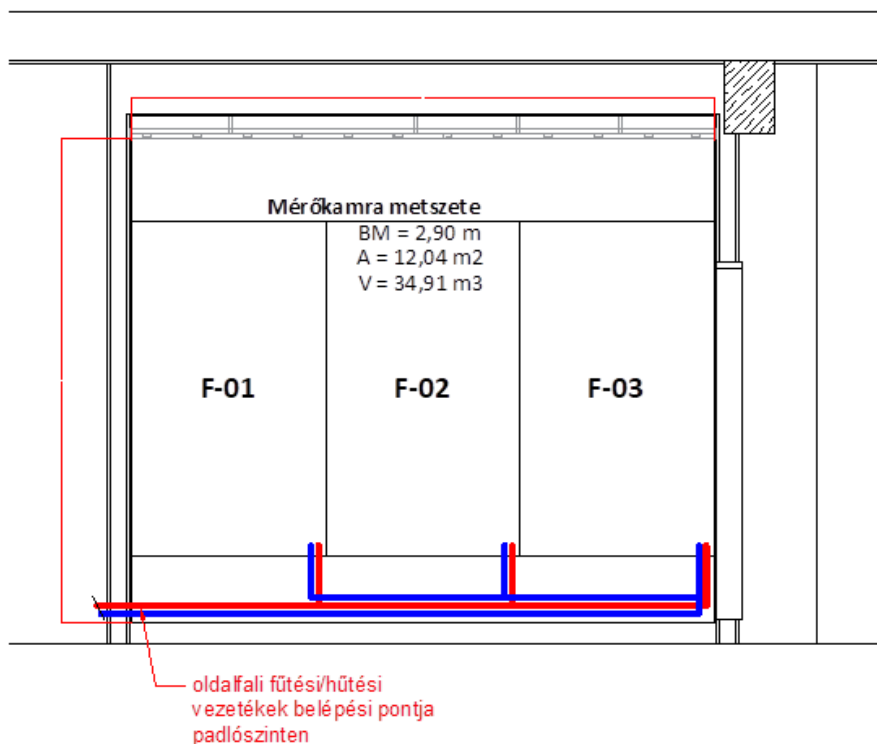
A rendszer egy 15 milliméter vastag gipszlapból áll, amelybe a fűtőcső hátulról, gyárilag bemart hornyokba lett elhelyezve. A csövek védelme és erősítés végett a gipszlapokra hátulról gipszbeágyazott hálós üvegszál-erősítést kapott.



1. ábra. Oldalfali panel kialakítás, 75 mm osztásközzel

A gipszlapokat az oldalfalra rögzítették. A kabin oldalfalát 2-2 cm vastag forgácslap alkotja, köztük lévő részt a tartóváz és 10 cm vastag kőzetgyapot tölti ki. Az oldalfalak külső oldal felületei a laborhelyiségében vannak, ahol a külső oldali hőmérsékletmérés történt.

A panelekben 75 mm-es osztásközzel $\varnothing 10 \times 1,3$ mm PE-RT fűtési csöveket használtak, melyek külön-külön köröket alkotva Tichelmann-kapcsolással csatlakoznak a fűtési rendszer gerincvezetékéhez. A panelek aktív hőleadó felülete összesen $(1,2 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}) \times 3 \text{ db} = 7,2 \text{ m}^2$. Összesen három regiszter, azaz három panel került elhelyezésre a mérőkabin oldalfalán.



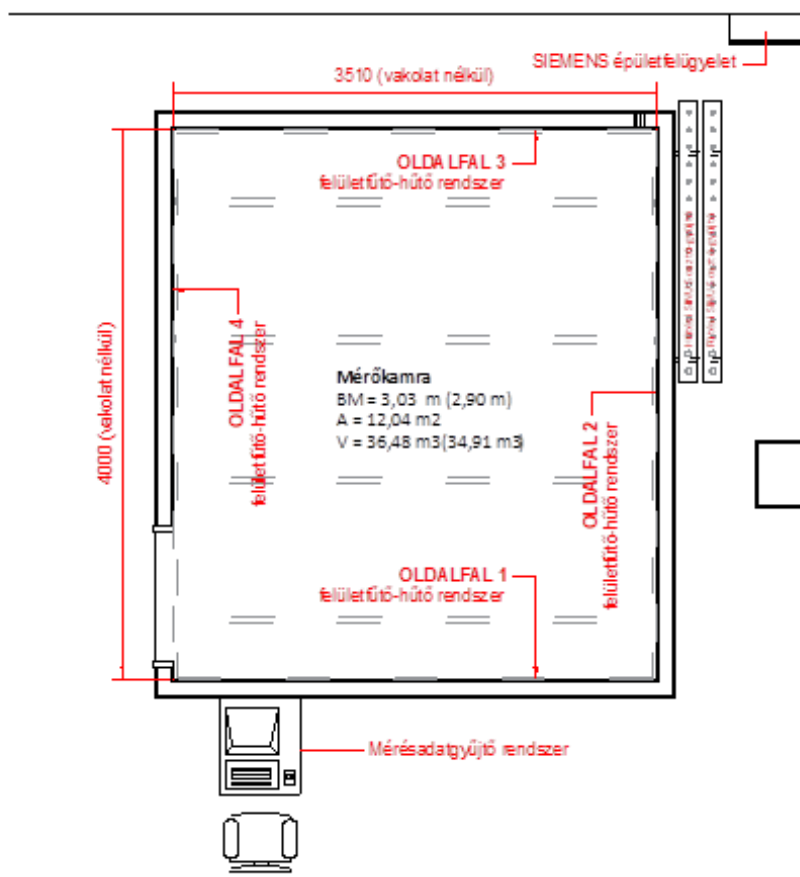
2. ábra. Az oldalfali panelek elhelyezkedése a kabin oldalfalán

3. MÉRŐKÖR LEÍRÁSA

A kabin a már meglévő laborhelyiségben belül került kialakításra, így a külső tér zavarai nem befolyásolják a mérést. A mérőhelyiség alapterületének mérete $4,00 \times 3,51$ m, míg belmagassága 3 m.

A mérendő rendszert a kabin mennyezetén és oldalfalán helyeztük el. Emellett a mérőkabin további négy határoló felülete is rendelkezik önálló felületfűtéssel, melyek mindegyike képes fűtési vagy hűtési üzemmódban működni. Az egyes köröknél az előremenő vízhőmérséklet szabályozás befecskendező kapcsolással történik, melyet a Siemens épületfelügyeleti rendszere szabályoz.

A fűtőközeg puffertárolójának felmelegítése gázkazánnal, míg a hűtési puffertároló hűtése folyadék-hűtővel történik.



3. ábra. A mérőkabina kialakítása

A mérés pontosságát nagy mértékben befolyásolja, hogy az egyes jellemzők értéke állandósult-e. A mérés során figyelemmel kísértük a fűtővíz előremenő és visszatérő hőmérsékletét és térfogatáramát, valamint a kabin átlagos levegőhőmérsékletét. A vizsgálati mérést a stacioner állapot beálltát követően kezdtük el.

4. HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS ÉS ADATGYŰJTÉS

A térfogatáram méréseit a SONTEX Superstatic 440 statikus (mozgó alkatrészt nem tartalmazó) áramlásmérővel és a hozzá tartozó SONTEX Supercal 531 többfunkciós számítógéppel végeztük el.

A hőmérsékletérzékelők mindegyike TC Kft. által gyártott 514-207 típus jelölésű Pt100 ellenállás-hőmérő, melyek széles hőmérséklettartományban (-75°C -tól $+250^{\circ}\text{C}$ -ig) működnek, „A” pontossági osztályúak, megfelelnek az IEC 60751 szabványnak.

Mivel a mérések során stacioner, azaz állandósult állapotokat vizsgáltunk, így a hőmérséklet mérését és adatrögzítését folyamatosan, 5 másodperces időközönként végeztük.

Az érzékelők analóg jeleinek digitalizálását és a számítógéppel való kommunikációját egy erre a célra kifejlesztett National Instruments gyártmányú cDAQ-9171 USB-s adatgyűjtő kártya fogadó interfész modulok és NI 9217 hőellenállás bemeneti modulok végezték, melyek 24-bites AD konverterrel rendelkeznek.

A mérési adatgyűjtést és megjelenítést ugyancsak National Instruments gyártmányú LabVIEW szoftver segítségével végezzük el. A programot saját fejlesztésű, közvetlenül a számítógép háttértárára rögzíti az adatokat, naponta új fájlt nyit az adat biztonság növelése érdekében. Minden csatorna egyenként lett programozva az érzékelők specifikációinak megfelelően.

A program feladatai közé tartozik a mérésadatgyűjtő vezérlése, a PC és a mérésadatgyűjtő közti kommunikáció, az elektromos jelek fizikai jellemzőkké való átszámítása, azok megjelenítése, valamint az adatok fájlban való eltárolása. A fájl formátuma olyan, hogy az Excelbe könnyen beolvasható legyen. A mérési adatok feldolgozása és a diagramok elkészítése szintén az Excelben történik.

5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

A mérések során rögzítettük a mérési időpontokat is. A pontos és megbízható eredmények érdekében az állandósult állapotok kialakulását megvártuk, majd a kiértékeléshez a hosszabb időtartam alatt rögzített értékek átlagát vettük figyelembe. Egy-egy mérési pontot, 1 órás állandósult állapot átlagértékeiből képeztük.

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_h	a helyiség hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_f	a átlagos belső felületi hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_k	a külső tér hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
V	a fűtővíz térfogatárama [m^3/h]

A további mért, illetve számított jellemzők az alábbiak szerint használtak:

A	a fűtőpanel felülete [m^2]
U	a hőátbocsátási tényező a panel belső oldalától a szigetelésen át kifelé [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A fűtővíz tömegárama:

$$\dot{m} = \frac{\rho \cdot \dot{V}}{3600} \quad [\text{kg}/\text{s}] \quad (1)$$

A sugárzó fűtések hőleadását leíró egyenlet:

$$\dot{Q} = A \cdot \dot{q} \cdot \Delta T^n \quad [\text{W}] \quad (2)$$

A fűtővíz által szállított összteljesítmény:

$$\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot (T_e - T_v) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

A fűtőpanel fajlagos teljesítménye:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q} - \dot{Q}_{\text{veszt}}}{A} \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (4)$$

A fűtővíz átlagos túlhőmérséklete:

$$\Delta T_{\text{ln}} = \frac{(T_e - T_h) - (T_v - T_h)}{\ln \frac{T_e - T_h}{T_v - T_h}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

A fűtőpanel teljesítménytényezője:

$$q' = \frac{\dot{q}}{\Delta T^n} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (6)$$

Mért eredmények fűtési üzemmódban

1. táblázat

SR	Hőmérsékletek					Töm.áram	Teljesítmény		Hatvány egyenlet	
	T_e átlag	T_v átlag	T_h átlag	ΔT	ΔT_{ln}	m	Q	q	meredekség	kitevő
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kg/s	W	W/m^2	b	a
1	30.30	28.58	19.29	1.72	10.13	0.053560	396	55	4.992	1.030
2	35.42	32.89	18.92	2.54	15.20	0.055057	581	81		
3	40.76	37.43	19.49	3.32	19.56	0.054339	769	107		
4	45.68	41.75	20.30	3.93	23.36	0.055176	920	128		
5	51.09	46.39	21.16	4.70	27.52	0.054500	1107	154		

1. EREDMÉNYEK VALIDÁLÁSA

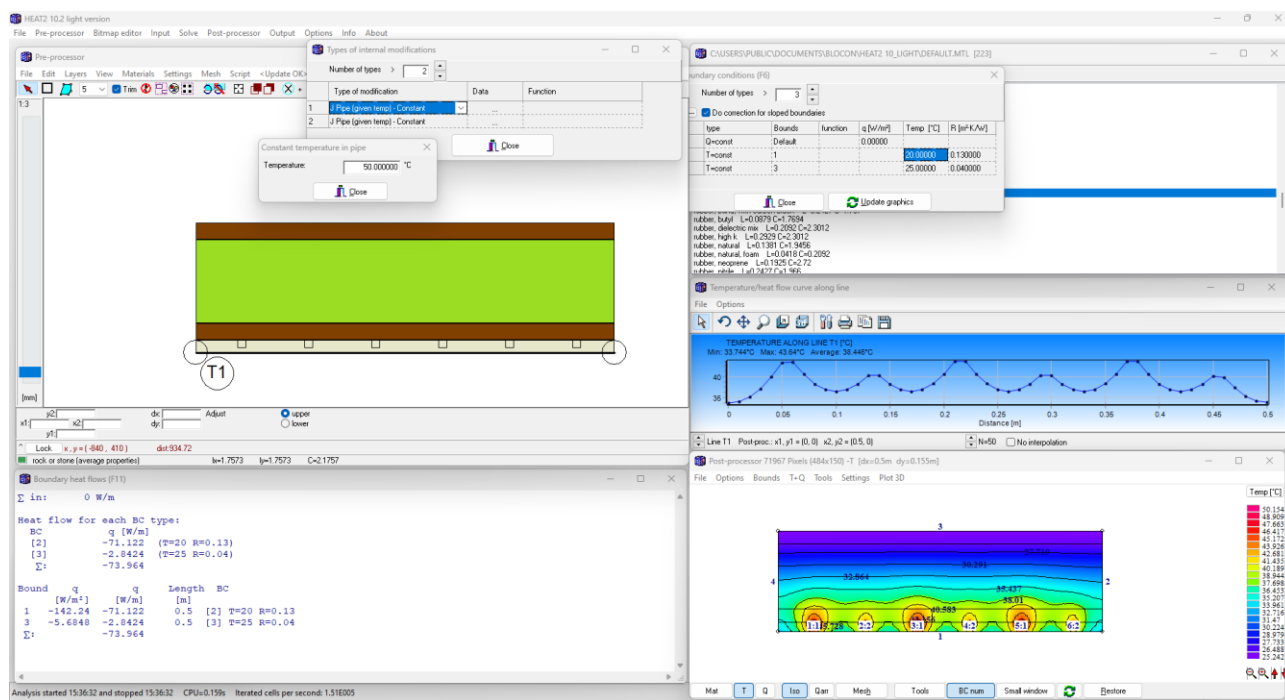
A kapott mérési eredmények kulcsfontosságú lépése, hogy megítéljük és alá tudjuk támasztani, hogy sikeres volt a mérés, valamint elfogadható eredményeket kaptunk.

Az eredmények validálására több lehetőség nyílik:

- Az egyik ilyen lehetőség a termovíziós felvételekkel való alátámasztás, bázis-jelleggörbék alapján (EN ISO 11855), ám ez meglehetősen pontatlan, mivel kis felületi hőmérsékleti pontatlanság nagy hatással van a kapott teljesítmény értékére.
- Egy másik a trend vizsgálat, amikor a több pontban mért eredmények jól követik az elvárt jelleggörbét.

- Dolgozhatunk összehasonlító kiértékeléssel is, amikor hasonló rendszerekkel vetjük össze a kapott eredményeket.
- Amennyiben teljesen ismeretlen rendszereknél szeretnék visszajelzést kapni numerikus számítások révén, akkor érdekes lehet a szabványi ajánlás EN ISO 11855 alapján.
- Lehetőség van még modellezés révén pontosabb eredmények felállítására is. Általában végeeselemes módszereken alapuló szoftverek használata lehet a legcélravezetőbb megoldás.

Jelen mérési eredmények, utóbb említett hőáram modellező szoftverben kerültek validálásra. A használt szoftver BLOCON egy Svéd cég által forgalmazott HEAT2 szoftver, amely 2 dimenziós hőáram szimulációk elvégzésére alkalmas.



4. ábra. HEAT2 hőáram modellező szoftver működés közben

A validálást a megépített modellben kétféle peremfeltétel alkalmazása mellett is lefuttattuk minden mérési pontra, hogy érthetőbbek és részletpontosabbak legyenek az alátámasztott értékek.

Az egyik alkalmazott mód a peremfeltételeknél, hogy a mérés során az előállt körülmények, mért értékeit használtuk fel (a 2 táblázatban az 1.1-1.5-ig terjedő sorszámú sorok). Ilyen volt például az előremenő és visszatérő vízhőmérséklet, a helyiség léghőmérséklete, a külső tér léghőmérséklete. A másik alkalmazott mód, egy tetszőlegesen felvett peremfeltételei értékek voltak (a 2 táblázatban az 2.1-2.5-ig terjedő sorszámú sorok). Az így kapott eredményhalmazt az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

HEAT2 modellből kapott értékek

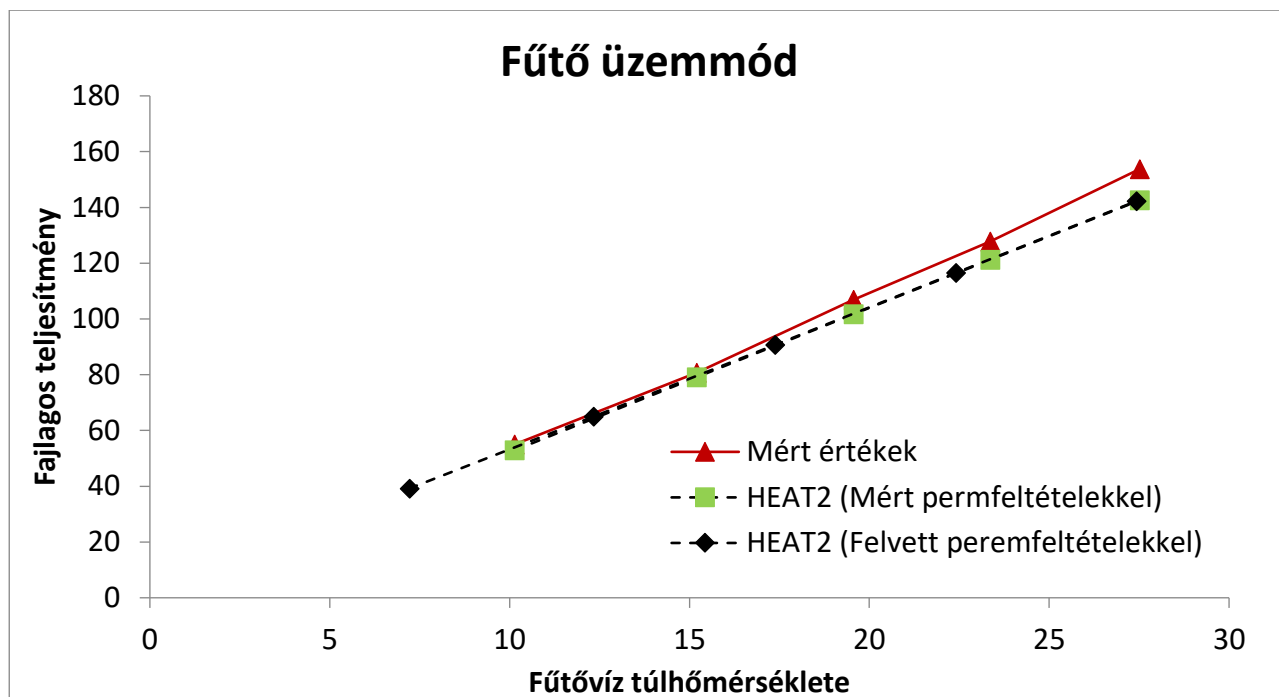
2. táblázat

SR	Hőmérsékletek (peremfeltételek)					Teljesítmény q W/m ²	Hatvány egyenlet	
	T_e átlag °C	T_v átlag °C	T_h átlag °C	ΔT °C	ΔT_{in} °C		meredekség b	kitevő a
1.1	30.30	28.58	19.29	1.72	10.13	5.635	0.974	
1.2	35.42	32.89	18.92	2.54	15.20			
1.3	40.76	37.43	19.49	3.32	19.56			
1.4	45.68	41.75	20.30	3.93	23.36			
1.5	51.09	46.39	21.16	4.70	27.52			
2.1	30.00	25.00	20.00	5.00	7.21			
2.2	35.00	30.00	20.00	5.00	12.33			
2.3	40.00	35.00	20.00	5.00	17.38			
2.4	45.00	40.00	20.00	5.00	22.41			
2.5	50.00	45.00	20.00	5.00	27.42			

Az eredmények összevetéséhez diagram alkalmazása talán a legszemléletesebb. Ahhoz, hogy függetleníteni tudjuk az előremenő-, visszatérő vízhőmérsékletektől és a helyiség légállapotától a rendszert, a fűtővíz túlhőmérséklet értékeket számolunk. Az így kapott összetartozó fűtővíz túlhőmérséklet és fajlagos teljesítmény pontokra illesztünk hatványgörbét. Két görbét ábrázoltunk a diagramban, az egyik a mért értékek görbéje, a másik pedig a HEAT2 segítségével kapott értékek trendje.

A méréssel kapott rendszerre jellemző jelleggörbe vagy hatványegyenlet, amit további tervezéseknél, a rendszer más körülmények közötti teljesítményének átszámításához felhasználhatunk:

$$\dot{q} = b \cdot \Delta T_{In}^a \quad (7)$$



5. ábra. Eredmények összevetése

Látható, hogy ugyan a mért értékre illesztett hatványgörbe konstans értéke és kitevője (1. táblázat) eltér a HEAT2 szoftver segítségével kapott értékekre illesztett hatványgörbe konstans értékeitől és kitevőitől (2. táblázat), de csak kismértékben térnek el a teljesítmények. A legnagyobb eltérés a mért érték és a modellezett érték között $\Delta q = 10$ W lett, ami körülbelül 7%-os eltérés a mért értékek javára. Ez adódhat a modellezett szerkezet feltételezett anyagi tulajdonságainak a hibájából is. Megállapítható, hogy a mért értékek helytállóak, a mérés sikeresnek mondható.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Baumann M., *Felületfűtések és hűtések teljesítmény-mérése, számítógépes méretezése*, Magyar Épületgépészet 53: 1 pp. 27-31., 5 p. (2004)
- [2] Baumann M., *Felületfűtések teljesítményének számítása, mérése*, Magyar Installateur 18: 10-11 pp. 10-12., 3 p. (2008)
- [3] Budulski L., *Méréstechnika és épületenergetikai diagnosztika*, Pécs, Magyarország : Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar (2021) , 88 p. ISBN: 9789634296515
- [4] Handbook A.S.H.R.A.E., *HVAC Systems and Equipment, Air-Conditioning and Heating Systems*
- [5] Baumann M., *Felületfűtések hidraulikája*, Magyar Installateur 21: 2-3 pp. 42-43., 2 p. (2011)
- [6] Baumann M., *Csőrendszerek hidraulikája*, Magyar Installateur 21: 5 pp. 38-40., 3 p. (2011)
- [7] Cakó B. és munkatársai., *Hőkomfort: mérések és számítások*, Pécs, Magyarország : KomfortMűhely Kft (2022) , 176 p. ISBN: 9789634299479
- [8] Budulski L. és munkatársai., *Testing surface heating and cooling*, EXPRES 2024, 56-60., 5 p. (2024), ISBN-978-86-82912-00-2