



SZENT ISTVÁN EGYETEM

Napenergia hasznosítás légkondicionálási  
rendszerekben

Doktori (PhD) értekezés tézisei  
Szilágyi Attila

Gödöllő  
2018

**A doktori iskola  
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

**tudományága:**

Agrárműszaki tudományok

**vezetője:**

Prof. Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, DSc  
SZIE, Gépészmérnöki Kar

**Témavezető:**

Prof. Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, DSc  
SZIE, Gépészmérnöki Kar,  
Környezetipari Rendszerek Intézet

**Társ-témavezető:**

Dr. Seres István  
egyetemi docens, PhD  
SZIE, Gépészmérnöki Kar,  
Környezetipari Rendszerek Intézet

.....  
a témavezető jóváhagyása

.....  
az iskolavezető jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSJEGYZÉK .....	4
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK .....	5
1.1. A választott téma időszerűsége, jelentősége .....	5
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	7
2.1. Kísérleti berendezések létrehozása.....	7
2.2. Mérési módszer bemutatása .....	9
2.3. Kísérleti berendezés módosítása .....	10
3. EREDMÉNYEK .....	11
3.1. Napkollektorral hasznosítható maximális hőteljesítmény.....	11
3.2. A párologtató hűtés porózus anyagokkal .....	12
3.3. Napenergiával létrehozott légáramlás hűtési célra.....	13
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	15
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	17
6. ÖSSZEFOGLALÁS .....	18
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK .....	19

## JELÖLÉSJEGYZÉK

A	függvény együttható	$[W/m^6 s^2]$
$A_p$	párolgási felület	$[m^2]$
C	függvény együttható	$[s/m^3]$
I	napsugárzás intenzitása	$[W/m^2]$
$L_p$	párolgáshő	$[J/kg]$
m	tömeg	$[kg]$
$P_h$	hűtőteljesítmény	$[W]$
Q	térfogatáram	$[m^3/s]$
t	idő	$[s]$
T	hőmérséklet	$[°C]$
v	sebesség	$[m/s]$

## 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Az értekezésem e fejezetében a téma jelentőségét és aktualitását fogalmazom meg, illetve a munkám célkitűzéseit mutatom be.

### 1.1. A választott téma időszerűsége, jelentősége

A megújuló energiák, és azon belül a napenergia hasznosítása napjainkban egyre nagyobb jelentőséget kap, egyrészt az energiaárak folyamatos emelkedése miatt, másrészt a környezetvédelem, a környezettudatosság felértékelődése, és az ezt erősítő hivatalos tendenciák (pl. EU direktívák) miatt. Bár a napenergia hasznosítás a világ egyre több régiójában kap kiemelkedő szerepet (Németország, USA, Kína), a technológia nagy hátránya a termelés és fogyasztás időbeli eltérése, ami a megtermelt energia tárolását teszi szükségessé. Bár erre a tárolásra egyre jobb hatásfokú, kiforrott módszerek állnak rendelkezésre, a napenergiás légkondicionálás - a tárolási veszteségek hiánya miatt - a napenergiás technológiák közül különösen nagy fejlődés előtt áll. Ezen alkalmazás esetén a legnagyobb energia igény (a legnagyobb hűtőkapacitás) pont akkor keletkezik, amikor a legtöbb a beeső szoláris energia (hisz ez hozza létre a hűtés igényt).

A kutatási téma jelentőségét erősíti, hogy egyes források szerint a civilizált világ országaiban a légkondicionálás miatti nyári fogyasztási csúcsertékek immár vetekszenek az eddig hagyományosan télen jelentkező energiafogyasztási maximumokkal, vagyis a napenergiás légkondicionálás igen komoly teljesítményeket válthat ki a hagyományos energiahordozókkal történő energiatermelésből.

A klímaváltozás nagymértékben megváltoztatja életünket, kapcsolatunkat a természettel. Az utóbbi években egyre nagyobb számban találkozhatunk hőhullámokkal, aszályos időszakokkal, és kánikulával. A 35 °C feletti hőmérséklet - árnyékban mérve - igen megviseli az emberi szervezetet. A több napon át tartó magas hőmérséklet negatív hatását megpróbáljuk valahogy elviselni, átvészelni. Erre a célra megfelelően szigetelt lakóépületekben való tartózkodással és megfelelő hűtési rendszerrel próbáljuk meg a külső hőhatást csillapítani. A hűtési rendszerünk lehet passzív (energia bevitel nélküli, mely többnyire természetes vagy mesterséges árnyékolás alkalmazása) vagy aktív (úgynevezett gépi) hűtés. A hőérzetünk függ a hőmérséklettől és a levegő páratartalmától, így ezek kontrollálására alkalmazunk légkondicionáló berendezéseket.

A háztartási igények kielégítésére alkalmazott légkondicionáló berendezések döntően villamos energiával működnek, melyek működtetése egy több napos kánikulai időszak esetén jelentős mértékben megterheli az országos villamos energiatermelő és ellátó rendszert. Ennek lehetnek negatív hatásai: például

túlterhelés esetén áramszünet, fosszilis hőerőművek esetén nagyobb mértékű erőművi emisszió. Az adott ország erőművi összetételétől függően nőhet az üvegházhatású gázok légkörbe jutása ebben a periódusban.

Magyarország esetén a fosszilis tüzelőanyaggal működő erőművek a villamos energia előállításuk során nagy mennyiségű szén-dioxidot bocsátanak ki, ami a környezet globális felmelegedésének hatását növeli. Az energiahordozók nagyobb mértékű felhasználása külső forrásból egy energiabiztonsági kérdést vet fel, hogy mennyire függ egy ország az energiahordozók beszerzésétől.

Nyáron a napenergiával működtetett klímaberendezések kiváltképp előnyösek, mivel közvetlen energiafelhasználásuk, hálózattól függetlenül működtethetők, költségcsökkentő és környezetbarát megoldások. A napkollektorokkal működtetett hűtőrendszerek használata egyre inkább előtérbe fog kerülni mindennapi életünk során.

## **1.2. Célkitűzések**

Kutatásom célja az, hogy hogyan alkalmazhatóak a napenergiával működtetett hűtőrendszerek kisteljesítményű (néhány kW), lakossági igényeket kielégítő légkondicionáló rendszereknél. Kutatómunkám ennek érdekében két fő területre terjed ki: a napenergia hasznosításának lehetőségeinek vizsgálatára és a megfelelő hűtési technológia kiválasztására.

A napenergia-hasznosítással kapcsolatos kutatási célok:

- A napkollektor által hasznosítható energia meghatározása mérések és numerikus modell alapján (adott helyszínen, adott típusú napkollektorral).
- Megállapítani a napkollektor által biztosítható energia értékét a hűtőberendezés működtetése céljából.
- Megvizsgálni a napsugárzás által létrejött levegőmozgások felhasználhatóságát hűtési célra.

A hűtéstechnika és a légkondicionálás területével kapcsolatos kutatási célok:

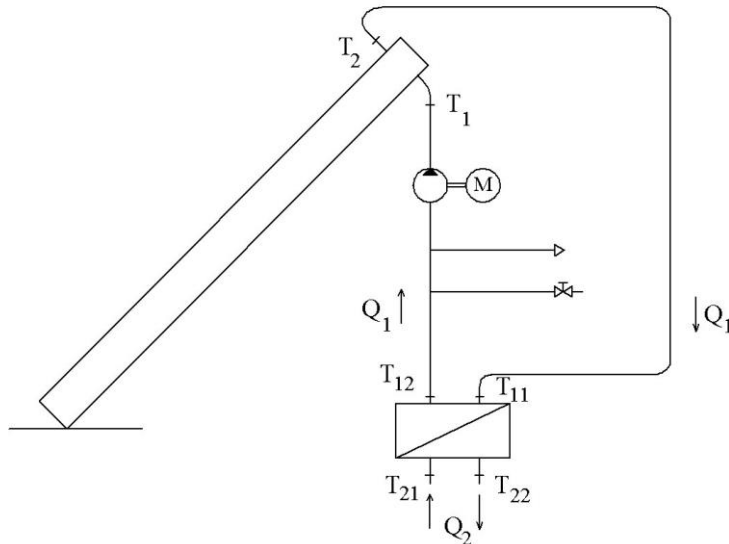
- Abszorpciós hűtés alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata napkollektorral és napelemmel különböző hőátadó közegek alkalmazásával.
- Párolgató hűtés légkondicionáló rendszerekben való alkalmazásának vizsgálata porózus anyagok felhasználásával.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben a kutatási céljaim elérése érdekében alkalmazott modellezési eljárásokat és kísérleti módszereket mutatom be.

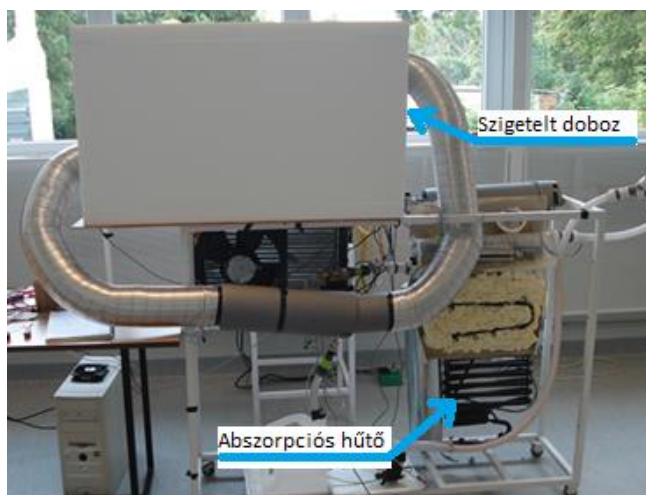
### 2.1. Kísérleti berendezések létrehozása

Napenergiával történő hűtés vizsgálatára a következő kísérleti berendezéseket hoztam létre. Napkollektoros hőhasznosítás vizsgálatára egy vizsgáló kört állítottam össze megfelelő mérőpontokkal (1. ábra). Egy kísérleti rendszert építettem fel a napkollektor által működtetett abszorpciós hűtő és egy szigetelt doboz alkalmazásával (2. ábra). Napelemmel működtetve is megvizsgáltam az abszorpciós hűtő üzemi jellemzőit. Másik lehetséges megoldásként porózus edényekbe töltött víz hűtő hatását vizsgáltam (3. ábra). Továbbá megvizsgáltam egy napenergiával működtethető, levegőmozgáson alapuló klimatizálási lehetőséget (4. ábra). A kísérleti vizsgálatokat a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszék laboratóriumaiban végeztem.



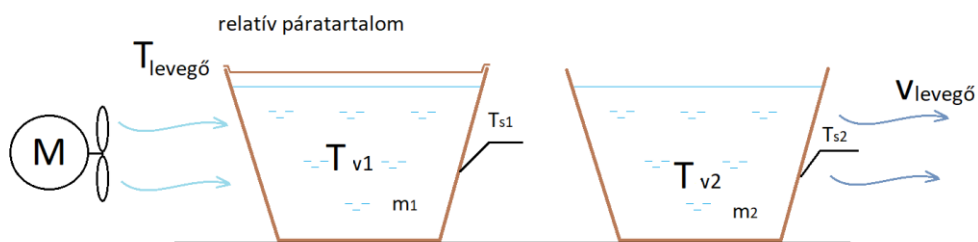
1. ábra A napkollektor kapcsolási rajza a mérőeszközökkel

A napkollektor hasznos felülete  $1,485 \text{ m}^2$  (15 csöves vákuumcsöves kollektor, ami  $5,8 \text{ cm}$  átmérőjű,  $180 \text{ cm}$  hosszúságú abszorber-felületű csövekből áll), a kollektor által begyűjtött napenergia egy lemezes hőcserélőn keresztül került hasznosításra.



2. ábra Kísérleti hűtőrendszer

A kísérletekhez egy kereskedelemben kapható hűtőszekrény hűtőaggregátját használtam fel. A vizsgált abszorpciós hűtő aggregát ammónia vizes oldatával van feltöltve. A visszatérő ágban egy ultrahangos hőmennyiségmérő és egy keringető szivattyú lett elhelyezve.



3. ábra Kísérleti párologtató hűtés mérési paraméterei  
(zárt és nyitott kerámia edények vízzel töltve)

A porózus anyagú edények vizsgálata során a hőelvonási értékek meghatározása történt víz munkaközeg párolgása során. Zománc nélküli, csiszolatlan kerámia edényekbe töltött vízzel lett vizsgálva a párolgási tömegáram és a hőmérséklet-csökkenés értékei.





4. ábra Palackos kísérleti alternatív hűtő

Különböző méretű petpalackok felhasználásával az EcoCooler nevű hűtési eljárás valós működési elvét vizsgáltam meg saját készítésű kísérleti berendezésen. A palackokat egy farostlemezre szereltem fel a 4. ábra szerint.

### **2.2. Mérési módszer bemutatása**

A napkollektoros rendszernél a hőhordozó munkafolyadék desztillált víz volt. A hőmérsékletmérés négy ponton PT1000 típusú szenzorokkal történt (1. ábra). A munkaközeg térfogatárama egy ultrahangos hőárammérővel lett mérve. A pillanatnyi direkt és szórt napsugárzási értékek a vízszintes síkra és a kollektor síkra is egy Kipp & Zonen CM-11 típusú piranométer segítségével kerültek rögzítésre.

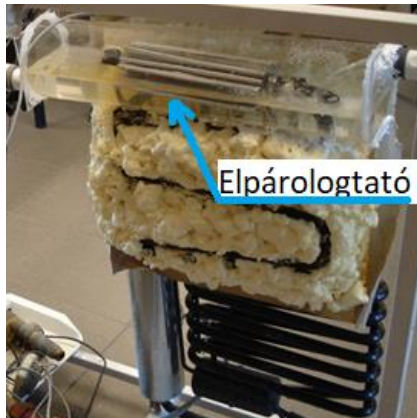
Az abszorpciós hűtőkör felfűtése során megvizsgáltam, hogy mekkora hűtőteljesítményt tud leadni. A vizsgált hűtő aggregát működtethető villamos felfűtéssel vagy egyéb hő bevitellel. A hűtő maximális villamos teljesítménye 170 W. A hűtő által leadott hűtőteljesítmény egy hőcserélő segítségével lett hasznosítva, ahol a munkaközeg víz, etilén- és propilén glikol volt.

Porózus anyagok hőelvonó képességeinek vizsgálata során meghatározásra került a hűtési teljesítmény és a szükséges pároglási felület. A méréshez használt eszközök PT1000-es hőmérséklet-szenzorok, NEC H2640 típusú infravörös hőkamera, Peakmeter MS6252A típusú szélesség-mérő, digitális mérleg. A mérési eredmények kiértékelése a Report Generation Lite és az Excel programok segítségével történt.

A palackos hűtés vizsgálatánál a petpalackok kupakjainak kifűrésével különböző áramlási keresztmetszeteket vizsgáltam. 4 - 35 mm átmérőjű furatokat használtam ugyanannál a palacknál. A hőmérséklet értékeket PT1000 típusú szenzorokkal mértem.

### 2.3. Kísérleti berendezés módosítása

A kísérleti hűtőberendezés megépítésekor az abszorpciós hűtőaggregáthoz egy egyedi készítésű hőcserélő lett kialakítva (5. ábra).



5. ábra Abszorpciós hűtő egyedi építésű hőcserélővel

Az abszorpciós hűtőkör napelemmel és napkollektorral lett működtetve. A napelem által termelt villamos energia egy 24V/12V DC/DC konverteren át jutott el a hűtő aggregáthoz, miközben a pillanatnyi felvett feszültség és áramerősség értékek rögzítve lettek. A vákuumcsöves napkollektor által biztosított hőenergia átadása egyedi hőcserélő beépítésével történt a kiűzőbe beépítve (6. ábra).



6. ábra Abszorpciós hűtő összekapcsolása a kollektor körrel

## 3. EREDMÉNYEK

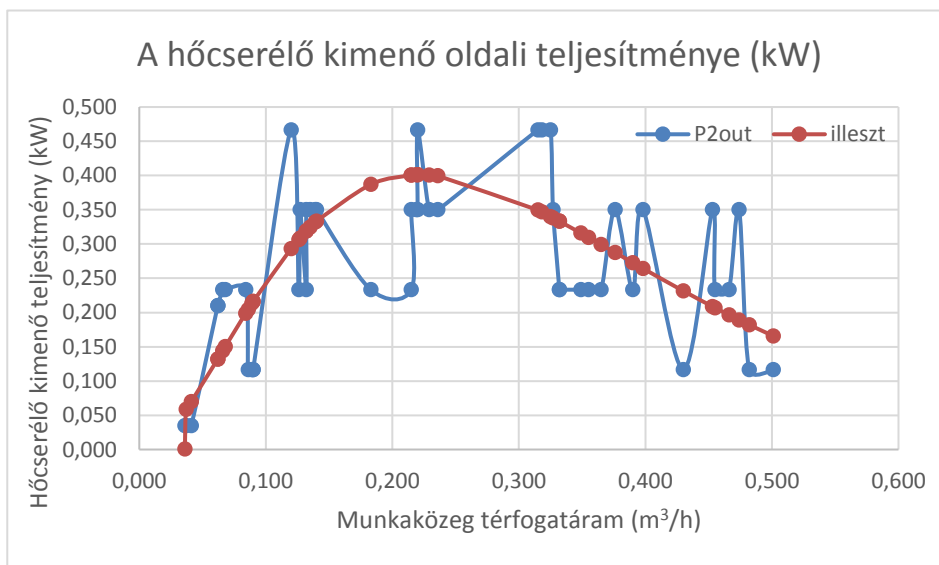
Ebben a fejezetben ismertetem a kutatásom során elért új tudományos eredményeket, melyek segítséget nyújtanak a napenergia felhasználásával működtetett hűtőrendszerek alkalmazásában.

## 3.1. Napkollektorral hasznosítható maximális hőteljesítmény

A napkollektorból kivett hőteljesítményt leíró folyamatra elméleti modellt állítottam fel. A modell alapján kapott eredmények és a mérési tapasztalatok is azt mutatják, hogy a térfogatáram ( $Q = \dot{V}$ ) változtatásával egy fizikai eloszlásfüggvényszerűen változik a kollektorból a hőcserélőn keresztül kivehető teljesítmény, azaz a térfogatáram növelésével kezdetben nő, majd a térfogatáram további növelésére ismét csökken ez az érték. A modellalkotás részben bemutatott  $f(x) = A \cdot x^n \cdot e^{-cx}$  alakú közelítést a mért adatokra illesztve az alábbi függvényt kapjuk:

$$P(\dot{V}) = 60 \cdot \dot{V}^2 \cdot e^{-9 \cdot \dot{V}}. \quad (1)$$

A kapott függvény  $R=0,7$ –es korrelációs együtthatóval illeszkedik az adatsorra (7. ábra).



7. ábra A hőcserélő kimenő oldali teljesítmény adatokra történő függvény-illesztés

A kísérletek során a vizsgált vákuumcsöves napkollektor össze lett kapcsolva egy egyedi hőcserélő segítségével az abszorpciós hűtővel. A hűtő működtetéséhez napkollektornak biztosítania kell a hűtőközeg párolgási

hőmérsékletét. Ellenkező esetben nem indul be a hűtőkörben a párolgási folyamat.

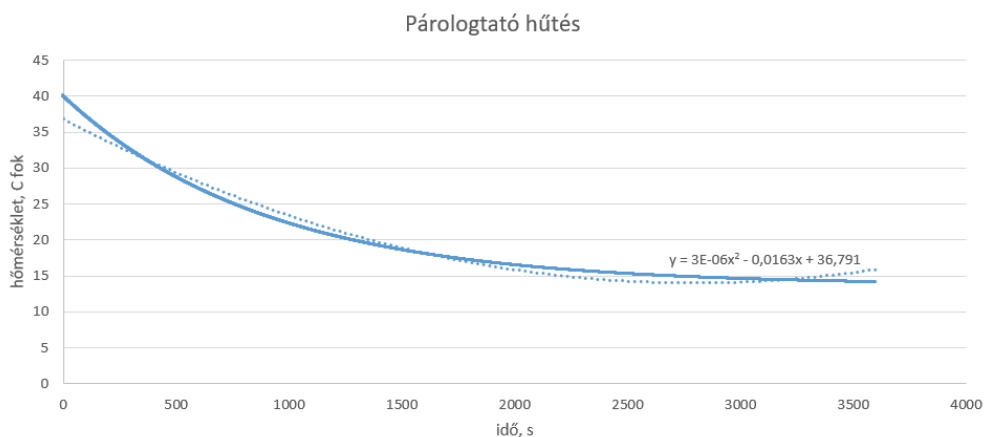
### 3.2. A párologtató hűtés porózus anyagokkal

A fazekasagyagból készült kerámiák porózus szerkezete miatt könnyen átteresztik a folyadék munkaközeget, mely párolgása során gáz halmazállapotúvá alakul át. A párolgás ezáltal pedig hőelvonással jár.

A párologtató hűtés során elérhető hőmérsékleti érték az idő függvényében (8. ábra) a következő egyenlettel írható le:

$$T(t) = 0,000003 t^2 + 0,0163 t + 36,791. \quad (2)$$

A függvény 1062-1234 g/h párolgási tömegáram tartományban érvényes.

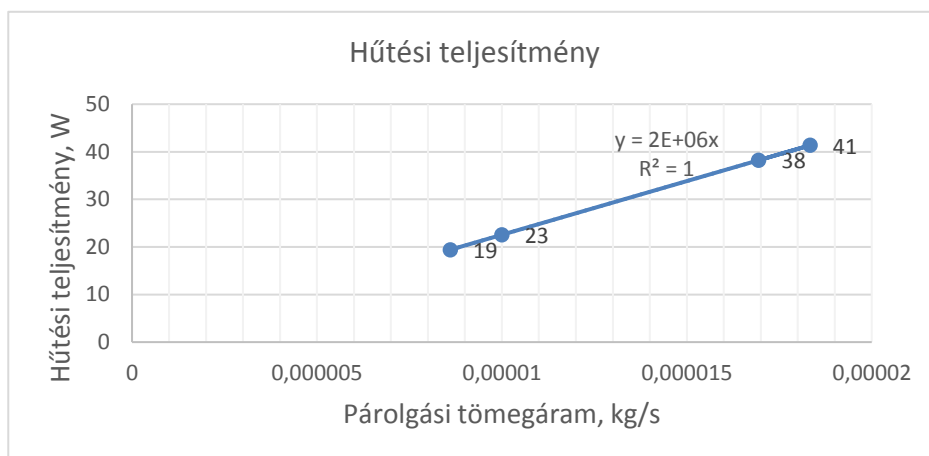


8. ábra Hűtési hőmérséklet-görbe párologtatás során

A számítások szerint 1000 W hűtési teljesítményhez 1,29 m<sup>2</sup> kerámiafelület szükséges. A számított érték párolgó víz esetén 1234 g/m<sup>2</sup> óra tömegáram mellett érvényes. Adott porózus anyagra vonatkozó párolgási tömegáramot mérésekkel meg tudjuk határozni, mely alapján kiszámítható a szükséges felület. Ez az érték a következő egyenlettel számítható a szükséges hűtési teljesítmény szerint:

$$A_p = \frac{L_p \cdot \dot{m}}{P_{fh}} \quad (3)$$

A hűtési teljesítményt befolyásolja a párolgási tömegáram (9. ábra). A mérések során elért hőmérséklet-különbség ideális lehet légkondicionáló rendszerekhez, hiszen az emberi szervezet számára ez az érték még megfelelő lehet, szemben az ettől nagyobb hőmérséklet-különbséggel.



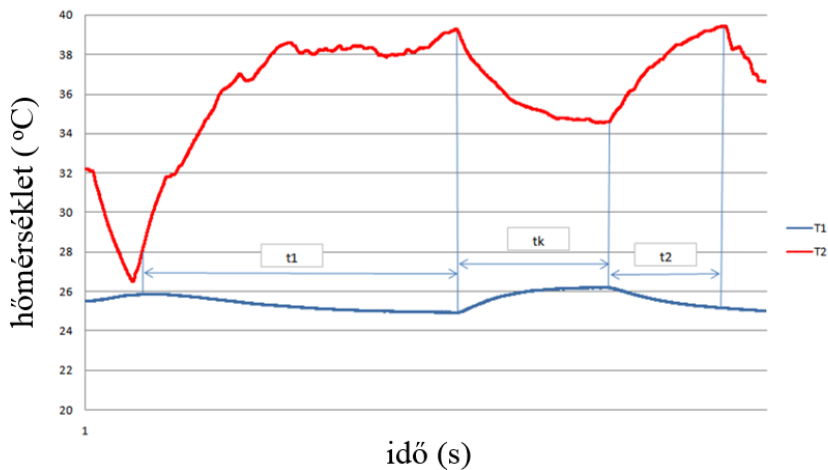
9. ábra Hűtési teljesítmény a párolgási tömegáram függvényében

### 3.3. Napenergiával létrehozott légáramlás hűtési célra

A kánikulában az emberi szervezet nehezen viseli a sajátjánál magasabb hőmérsékletet. A hosszabb időn át tartó hőterhelés enyhítésére megoldás lehet a palackos hűtés. Ezzel a technikával a zárt térbe bejutó levegő hőmérsékletének csökkentését lehet elérni.

A módszer során a napsugárzásnak kitett felületek mentén a levegő felfelé fog áramlani, és így keltett nyomásváltozás felhasználható az épületben levő meleg levegő eltávolítására. Ha a külső hőmérséklet eléri a 30 °C-ot a kialakuló nyomásváltozás hatására a kisebb sűrűségű légréteg áramlást indít el. A kialakuló légáramlás 35 °C külső hőmérséklet felett intenzív.

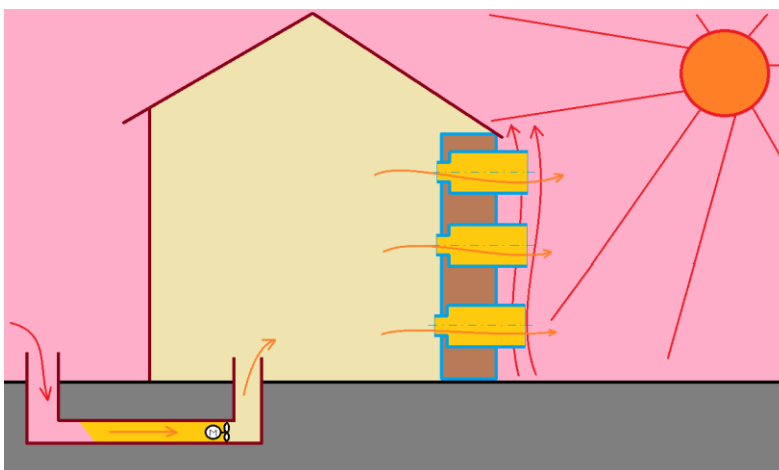
A kísérleti berendezés részben zárt dobozának egyik oldalát egy 1000 W teljesítményű hőszugárzóval melegítettem ( $T_2$  hőmérséklet), a belépési pont után a dobozban mértem a belső levegő hőmérsékletét ( $T_1$  hőmérséklet). Az értékek időbeli változásai a 10. ábrán láthatóak. Kiemelendő a  $t_1$  és a  $t_2$  időszakasz, melyeknél jól látható a „hűtő hatás”, azaz amikor a külső levegő hőmérséklete növekszik, akkor a belső levegőé csökken. Ez utóbbi köszönhető a beáramló levegőmozgásnak, melynek hőelvivő szerepe van. A doboz külső felületénél lévő levegő hő hatására felmelegszik, ezáltal elkezd a levegő felfelé áramlani, mely hatás révén az alsó levegőrétegek felfelé áramlanak.



10. ábra A hőmérséklet-változás alakulásai

A palackok alakja megakadályozza azt, hogy a felfelé áramló meleg levegő bejusson az épületbe, és emiatt a palackok mellett fog a levegő felfelé áramlani. A palackok legszűkebb részének mérete az épületbe való beáramlást gátolja, a mérések szerint 30 mm átmérő fölött nyílás esetén már megtörténhet a meleg levegő épületbe való beáramlása; 16 mm alatt pedig nem számottevő a levegő kiáramlása. Tehát az optimális szűk keresztmetszet palackok esetén 16 és 30 mm közötti értékű.

Összegezve megállapítható, hogy a napsugárzásnak kitett felület esetén működik a légáramlással létrejött hűtőhatás (11. ábra).



11. ábra Az EcoCooler valós működése hűtőcsővel kiegészítve

#### 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

##### *1. Vákuumcsöves napkollektorból hűtési célra kivehető maximális teljesítmény*

Megalkottam klimatizálási célra használt vákuumcsöves napkollektorok hőhasznosítási matematikai modelljét. Megállapítottam, hogy a kollektorról üzemeltetett hőcserélő szekunder oldalából kivehető hőtéljesítmény  $P(\dot{V}) = A \cdot x\dot{V}^n \cdot e^{-c\dot{V}}$  alakú függvény szerint függ a primer oldali térfogatáramtól ( $\dot{V}$ ), amit kísérleti eredményekkel is igazoltam. Mérések során identifikáltam heat pipe rendszerű vákuumcsöves napkollektoros modell együtthatóit ( $A=60 \text{ Wm}^{-6}\text{s}^2$ ,  $n=2$ ,  $C=9 \text{ sm}^{-3}$ ,  $R=0,7$ -es korrelációs együtthatóval). A kapott eredmények  $800\text{-}1000 \text{ W/m}^2$  sugárzási tartományban érvényesek.

##### *2. A napenergiás hűtés működésének feltételei*

A mérési adatok alapján meghatároztam a vizsgált napenergia-hasznosító berendezések és az abszorpciós hűtő munkapont létrejöttének feltételeit.

Bizonyítottam, hogy a napkollektor esetén a munkapont létrejöttének feltétele a minimális hőmérséklet biztosítása a hűtőegység felfűtő része számára, amelynek értékét a hűtőközeg párolgási hőmérséklete határozza meg. Ennek megfelelően, ha a napkollektorban lévő munkafolyadék hőmérséklete nem éri el a hűtőközeg párolgási hőmérsékletét, akkor a hűtőaggregát nem indul be, nem lesz hűtés.

Igazoltam továbbá, hogy a napelem által termelt egyenáram villamos fűtőpatronon keresztül biztosítani tudja a működéshez szükséges minimális hőmérsékletet. Így a napelemmel stabilan működtethető a hűtőaggregát.

##### *3. Napenergiával létrehozott légáramlás hűtési célra*

Kidolgoztam a villamos hálózattól távoli területeken használt klimatizálási eljárás működési elvét és meghatároztam a jelenség szempontjából fontos működési paramétereket. A módszer során a napsugárzásnak kitett felületek mentén a levegő felfelé fog áramlani, és így keltett nyomásváltozás felhasználható az épületben levő meleg levegő eltávolítására. A hatás fizikai magyarázatát kísérletekkel validáltam.

Mérések alapján megállapítottam, hogy a hűtés palackokkal történő megoldásánál a hűtő hatás (párolgás és hőelvonás megvalósulása a belső térben) csak egy bizonyos mérettartományban van. A palackok legkisebb átmérője 16 és 30 mm között kell, hogy legyen. Ha a külső hőmérséklet eléri

a 30 °C-ot a kialakuló nyomásváltozás hatására a kisebb sűrűségű légréteg áramlást indít el.

A kialakuló légáramlás 35 °C külső hőmérséklet felett már intenzív, mely során a levegő áramlási sebessége növekszik, ezáltal jelentősen növeli a belső felületek párolgását, hőelvonását.

#### *4. Párolgató hűtés felhasználása klimatizálási célra*

Porózus edények hőelvonó képességét vizsgáltam párolgó vízzel, mint munkaközeggel. Kismintákon kísérleteket végezve meghatároztam a hőelvonás – párolgási térfogatáram (tömegáram) közötti kapcsolatot. Identifikáltam a folyamat szempontjából fontos paramétereket és további jellemzőket. Ennek során – mérések alapján – a hőmérséklet idő függésére egy parabolikus modellt állítottam fel, amely felhasználható a hőelvonási igényhez tartozó párolgási tömegáram meghatározásához az 1062-1234 g/h tartományban:

$$T(t) = 0,000003 t^2 + 0,0163 t + 36,791.$$

Megállapítottam, hogy a párolgató hűtés porózus anyagokkal (kerámiákkal) alkalmas a klimatizálási célú felhasználásra 8-10 °C hőmérséklet-különbség létrehozásával, mely optimális hőlépcső az emberi szervezet számára.



## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Kutató munkám során a napenergiával történő hűtés vizsgálatával kapcsolatban olyan eredményekre jutottam, amelyek segítséget nyújtanak az energiafüggetlen, hagyományos energiahordozóktól mentes klimatizálás és hűtés megoldásainak alkalmazásaira.

Megalkottam egy klimatizálási célra használt vákuumcsöves napkollektor hőhasznosítási matematikai modelljét a napsugárzási adatok alapján. Megállapítottam, hogy a kollektorból kivehető hőtéljesítmény térfogatáramtól függő értékeit. Vákuumcsöves napkollektorra adott körülmények között meghatároztam a függvény együtthatóit.

Kísérleti rendszert állítottam össze napenergiával történő hűtés vizsgálatára. A rendszerben abszorpciós hűtőaggregátot használtam. A kísérleti mérések során vizsgáltam a hűtő működését napkollektorral és napelemmel. A hűtő és a napenergia-hasznosító berendezések munkapontjának jellemzőit vizsgáltam, a hasznosított energia mellett. A kísérleti rendszer egyedi hőcserélők alkalmazásával lett vizsgálva. A napkollektoros üzem létrejöttének feltétele a minimum hőmérséklet létrehozása a felfűtő-egység számára. Napelemes működtetés esetén a minimális áramerősség biztosítása a fűtőpatron felé.

Porózus kerámia edények hőelvonó képességét vizsgáltam homogén folyadékkal. A párolgó víz által létrehozott hűtőhatást mérésekkel vizsgáltam. Kismintákon kísérleteket végezve meghatároztam a hőelvonás – párolgási térfogatáram (tömegáram) közötti kapcsolatot a folyamat szempontjából fontos paraméterek meghatározásával. A mérések során tapasztalt hőmérséklet-különbség alapján megállapítottam, hogy a porózus anyagokkal létrehozott párologtató hűtés alkalmas klimatizálási célra.

Egy gyakorlatban alkalmazott technika alapján kidolgoztam a villamos hálózattól távoli területeken használt hűtési eljárás valós működési elvét és meghatároztam a jelenség szempontjából fontos működési paramétereket. A módszer során a napsugárzásnak kitett felületek mentén a levegő felfelé fog áramlani (a palackok alakja miatt nem jut be meleg levegő a helyiségbe), és az így keltett nyomásváltozás felhasználható az épületben levő meleg levegő eltávolítására. A hatás fizikai magyarázatát kísérletekkel validáltam.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi években a légkondicionáló berendezések nyári energiaigénye megközelíti a téli energiafelhasználás mértékét. Ez a plusz villamos energiaigény a fosszilis tüzelőanyagot felhasználó hőerőművek és a villamos hálózat nagyobb leterheltségét jelenti. Ennek kiváltására egy lehetőség a napenergiával való hűtés, légkondicionálás alkalmazása. A napenergiával történő hűtés előnye, hogy a kereslet és a kínálat egy időbe esik, azaz a legintenzívebb napsugárzás esetén jelentkezik a legnagyobb energiaigény a légkondicionáló berendezések részéről, így nincs szükség energiátárolásra. Ebben az értekezésben bemutatásra került, hogy mekkora egy vákuumcsöves napkollektor által hazai klimatikus viszonyok között hasznosítható energia mennyisége, továbbá hogy ezt a hőenergiát illetve a napelemek által termelt villamos energiát mekkora hatásfokkal hasznosítja az abszorpciós hűtőkör, mekkora hűtőtéljesítmény leadására képes. Továbbá vizsgálat tárgya lett a párologtató hűtés kerámia edények felhasználásával. Alternatív hűtőként a napsugárzás által felhasználható légmozgások hasznosítását vizsgáltam adott eszközön.

A mérések alapján meghatároztam egy vákuumcsöves napkollektor által leadott hőtéljesítmény értékeit egy tipikus nyári napon, és egy napelem segítségével felfűtött abszorpciós hűtőkör hűtőtéljesítményét. Minden esetben a hőcserélőknél alkalmazott munkaközeg víz volt. A leadott teljesítmények meghatározásánál (mindkét esetben) két paraméter befolyásolta a kimenő értékeket: a térfogatáram és a hőmérséklet-különbség. A mérések alapján megállapítható, hogy napkollektorral illetve napelemmel közvetlenül biztosítható a szükséges energia az abszorpciós hűtő számára, azonban a hűtőközeg elpárologtatásához szükséges minimális hőmérsékletet biztosítani kell.

Kisminták alapján mérésekkel vizsgáltam a párologtató hűtés lehetőségeit kerámia edényekkel. Hőkamerával vizsgáltam a kialakuló hőmérséklet-eloszlásokat. A víz párologását felhasználva igazoltam, hogy kedvező hűtést lehet ezzel a megoldással létrehozni. A mérések alapján bizonyítottam, hogy a palackos hűtőhatás kedvezően alkalmazható kiegészítő elemként légkondicionáló rendszereknél.

A bemutatott új tudományos eredmények megkönnyíthetik a gyakorló mérnökök munkáját a napenergiás hűtés tervezésében.

## 7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

### *Lektorált cikk világnyelven*

1. **Szilágyi A.**, Seres I.: Solar energy utilization in solar air conditioning systems, Mechanical Engineering Letters, Szent István University, Gödöllő, 2012., Vol.8., pp. 61-67.
2. **Szilágyi A.**, Farkas I., Seres I.: Development of a solar assisted absorption cooler, Mechanical Engineering Letters, Szent István University, Gödöllő, 2016., Vol. 14., pp. 26-32.
3. **Szilágyi A.**, Farkas I., Seres I.: Evaporation cooling with ceramics in air-conditioning system, Journal of Scientific and Engineering Research (*megjelenés alatt*).

### *Lektorált cikk magyar nyelven*

4. **Szilágyi A.**, Farkas I., Seres I.,: Párolgató hűtés kerámiákkal, Energiagazdálkodás, 59. évf., 2018., 3-4. sz., 34-38. o.
5. **Szilágyi A.**, Farkas I., Seres I.,: Napkollektorokkal elérhető hőtéljesítmény nyári időszakban, Energiagazdálkodás, 59. évf., 2018., 6. sz., 2-5. o.
6. **Szilágyi A.**, Farkas I., Seres I.,: Szoláris klimatizálás lehetőségei az állattartó telepeken, Mezőgazdasági Technika (*megjelenés alatt*)