



MŰSZAKI TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Napkollektorok üzemi jellemzőinek modellezése

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Péter Szabó István

Gödöllő

2015

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Műszaki Tudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Agrárműszaki tudomány

**vezetője:** Prof. Dr. Farkas István DSc.

SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskola vezetője

**témavezető:** Prof. Dr. Szendrő Péter DSc

SZIE Gépészmérnöki Kar

Mechanikai és Géptani - Gépszerkezettan Tanszék

**társtémavezető:** Prof. Dr. Keszthelyi- Szabó Gábor DSc

SZTE Mérnöki Kar

Folyamatmérnöki Intézet

.....  
az iskolavezető jóváhagyása

.....  
a témavezető jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK .....	4
2.	ANYAG ÉS MÓDSZER .....	5
	2.1. A kísérleti berendezés ismertetése, a részegységek jellemzése .....	5
	2.2. Az adatfeldolgozás és a mérési hibák javításának módszere, a mérési eredmények értékelése.....	7
3.	EREDMÉNYEK.....	8
	3.1. Matematikai modell a kimaradó impulzusjelek okozta hibák javítására .....	8
	3.2. Matematikai módszer a felhőmentes időszakok azonosítására .....	9
	3.3. A hatásfok változása soros kapcsolásban .....	10
	3.4. Eltérő csövezésű kollektorok párhuzamos kapcsolása.....	11
	3.5. Tranziens jelenségek vizsgálata .....	11
	3.6. Hatásfok-függvények meghatározása .....	12
	3.7. A kollektorok üzemeltetése polikarbonát borítással és borítás nélkül .....	15
	3.8. Ismert hatásfokú kollektor vizsgálata .....	15
	3.9. A várható éves hatásfok és éves energiahozam .....	16
	3.10. Kollektor matematikai modellezése .....	18
4.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	22
5.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	26
6.	ÖSSZEFOGLALÁS .....	27
7.	AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK.....	28

### 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A megújuló energiaforrást hasznosító eszközök alkalmazásával a fosszilis energiaforrások kimerülésének ideje meghosszabbítható. Megújuló energiaforrást alkalmazó rendszerek telepítésekor fontos szempont annak várható megtérülési ideje, amelyet számos műszaki-gazdasági tényező befolyásol. A megtérülési idő jelenleg igen hosszúnak mondható, amely nagyban gátolja ezen rendszerek széleskörű elterjedését. A megtérülési időt a rendszer ára mellett többek közt a kollektorok különböző időjárási, üzemviteli körülményei közötti hatásfok-függvénye határozza meg, így ennek pontos ismerete elsődleges. Kis sorozatban gyártott kollektorok hatásfok-függvényének laboratóriumban végzett meghatározása jelentős mértékben emelheti a fejlesztési költségeket. Indokolt tehát egy olyan, üzemi körülmények közt végzett méréseken alapuló hatásfok-függvény meghatározási módszer kutatása-fejlesztése, mely biztonságos, és a laboratóriumi vizsgálatokhoz képest költséghatékonyabb. Ennek segítségével ezen kollektorok ára alacsonyabb, fejlesztési, megtérülési idejük rövidebb lehet.

Az értekezésben ismertetett kutatásom célja a kollektorok üzemi jelenségeinek vizsgálata, valamint a természetes körülmények közt végzett mérésekkel történő hatásfok-vizsgálat lehetőségeinek és korlátainak feltárása.

Korlátot jelenthet, hogy a napsugárzás intenzitásának ingadozása pontatlanná teheti a méréseket. Igazolni kívánom ezen zavaró tényező hatását. Meg kívánom határozni a pontos, számszerű kritériumokat a mérésre alkalmas időszakok napsugárzási intenzitását illetően.

Le kívánom ellenőrizni a kísérletekhez szükséges, általam kifejlesztett mérőberendezés műszereinek megfelelő működését, különös tekintettel az impulzus alapú térfogatáram-mérésre.

Meg kívánom határozni a hatásfok görbe felvételének pontos, validált módszerét a mérési adatbázis megfelelő szűrésével. Vizsgálni kívánom a kollektorokban lejátszódó tranzien্স jelenségeket.

Meg kívánom határozni a vizsgált kollektorok várható éves energiahozamát. Egyszerű eljárást kívánok kidolgozni ismert éghajlati viszonyok mellett, a kollektorok optimális éves hőmérséklet dinamikájának előzetes meghatározására.

### 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az értekezés szakirodalmi áttekintésének elemző értékelésében ismertetett szempontok szerint új mérő-adatgyűjtő berendezést fejlesztettem ki, mely lehetőséget biztosít tetszőleges, folyadékkal üzemelő kollektor hatásfok-függvényének felvételére és a kollektorok üzemi jelenségeinek tanulmányozására. Ezen fejezetben ismertetem a berendezés részegységeit, működését, a mérő- és adatgyűjtő eszközöket, a mérési módszert és az adatfeldolgozás lépéseit.

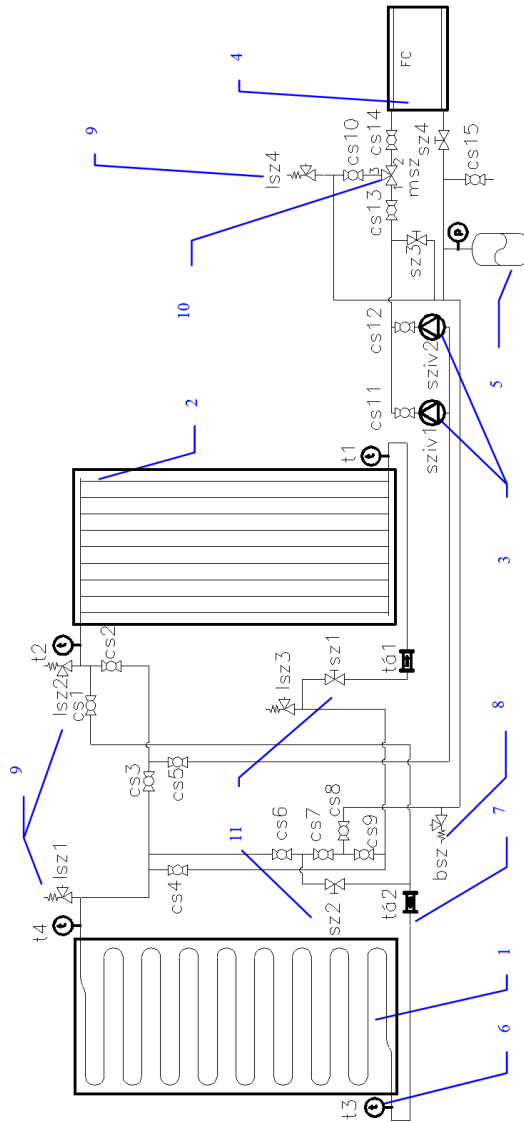
#### **2.1. A kísérleti berendezés ismertetése, a részegységek jellemzése**

Kutatásomhoz a 2.1. ábrán látható kísérleti mérő-adatgyűjtő berendezést fejlesztettem ki.

A kollektor hatásfok-függvényét általánosan számos paraméter befolyásolja. Egy konkrét kollektor típus esetén ezen paraméterek rögzítettek. Tudományos kutatóintézetek elfogadott gyakorlata szerint a vizsgált kollektor hatásfok-függvényének két független változója van, nevezetesen:

- a napsugárzás intenzitása ( $G$ ,  $\text{Wm}^{-2}$ ),
- a kollektor és a levegő közti hőmérséklet-különbség ( $t_{\text{koll}}-t_{\text{lev}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ).

A mérésekkel a kollektor hatásfok függvényét a két független változó minél nagyobb értéktartományán belül kívánom definiálni. A méréseket természetes körülmények közt végeztem, mesterséges fényforrást nem alkalmaztam, így a napsugárzás intenzitását nem befolyásolhattam. A másik változó, a környezethez viszonyított hőmérséklet-különbség hatékonyan szabályozható a rendszerbe kötött termoventilátor (4) segítségével, melyen keresztül a kollektorok által termelt hő a környezetbe távozik. A termoventilátor fordulatszámja fokozatmentesen szabályozható, illetve egy szabályozószeleppel ellátott megkerülő ággal hűtőteljesítménye tovább csökkenthető. Lehetőség van a termoventilátor áramlásból való kizárására is. Ezzel a megoldással a kollektorokba érkező folyadék hőmérséklete változtatható: a termoventilátor hűtőteljesítményének csökkentésével a kollektorba érkező folyadék hőmérséklete emelkedik. Ez lehetővé teszi a kollektorok környezethez viszonyított hőmérséklet-különbségének gyors változtatását. A berendezés alkalmas soros és párhuzamos kapcsolású kollektorok vizsgálatára.



2.1. ábra: Kollektorok hatásfokainak meghatározására alkalmas kísérleti mérő-adatgyűjtő berendezés

1 – kollektor csőkigyós abszorberrel (CSK), 2 – kollektor osztó-gyűjtős abszorberrel (OGY), 3 – keringtető szivattyúk (sziv1: szabályozott, sziv2: szabályozás nélküli), 4 – termoventilátor, 5 – tágulási tartály, 6 – hőmérők (t1 – t2 – t3 – t4), 7 – térfogatáram-mérők, 8 – biztonsági nyomáshatároló szelep, 9 – légtelenítő szelepek (lsz1 – lsz4), 10 – motoros szelep a hűtőtéljesítmény szabályozására (msz), 11 – fojtószelepek a térfogatáram szabályozására (sz1, sz2), cs1 – cs14: csapok a kapcsolás változtatására, cs15: feltöltő csap

### 2.2. Az adatfeldolgozás és a mérési hibák javításának módszere, a mérési eredmények értékelése

Az egynapos mérések feldolgozásához Excel táblázatot készítettem. A táblázat az adatgyűjtőkből származó 5 másodpercenkénti mérési eredmények alapján a következő mennyiségeket határozza meg:

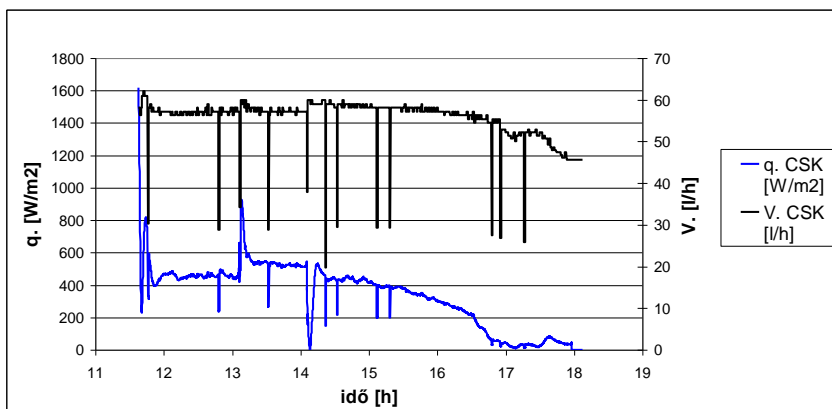
- napsugárzás intenzitás:  $G$ , [ $\text{Wm}^{-2}$ ],
- a fagyálló folyadék térfogatárama az egyes kollektorokon:  $\dot{V}_{\text{OGY}}$ ,  $\dot{V}_{\text{CSK}}$ , [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ;  $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
- a fagyálló folyadék sűrűsége a hőmérséklet függvényében:  $\rho = f(t)$ , [ $\text{kgm}^{-3}$ ;  $\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
- a fagyálló folyadék tömegárama:  $\dot{m}_{\text{OGY}}$ ,  $\dot{m}_{\text{CSK}}$ , [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- a kollektorok hőteljesítménye:  $\Phi_{\text{OGY}}$ ,  $\Phi_{\text{CSK}}$ , [W]
- a kollektorok hatásfoka,  $\eta_{\text{OGY}}$ ,  $\eta_{\text{CSK}}$
- a kollektorok közepes hőmérsékletei:  $t_{\text{koll OGY}}$ ,  $t_{\text{koll CSK}}$ , [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- a közepes kollektor hőmérsékletek és a levegő hőmérséklete közti eltérés értékei:  $t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}}$ , [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- a mért és számított jellemzők öt- és tízperces időintervallumokra vett átlagértékei,
- a pillanatnyi értékek és az átlageredmények közti eltérések.
- a teljes napi mérésre vonatkozó összegek és átlagok.

### 3. EREDMÉNYEK

Ezen fejezetben ismertetem a végzett méréseim során tapasztalt hibajelenségeket, azok javítására kidolgozott módszereimet, a mérések korlátait. Leírom a kísérletek során tapasztalt üzemi jelenségeket és a hatásfok-függvények felvételére, valamint a várható éves energiahozam meghatározására kidolgozott eljárási algoritmust.

#### 3.1. Matematikai modell a kimaradó impulzusjelek okozta hibák javítására

Matematikai algoritmust hoztam létre az impulzus adatgyűjtők jeleinek kimaradásából adódó mérési hibák (3.1. ábra) automatikus javítására, majd a javított térfogatáram-görbék simítására.



3.1. ábra: Egy napi mérés nyers térfogatáram-adatai, 2010.08.22-ei mérés

Amennyiben egy térfogatáram-adatnak, valamint a megelőző és következő két adat átlagának hányadosa  $\frac{2}{3}$  vagy annál kisebb, impulzus-kimaradást tételezek fel, és a hibás adatot ezen megelőző kettő és következő kettő adat átlagával helyettesítem (3.1 és 3.2 egyenletek):

$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} > \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}'_i = \dot{V}_i \quad (3.1)$$

$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}'_i = \frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4} \quad (3.2)$$



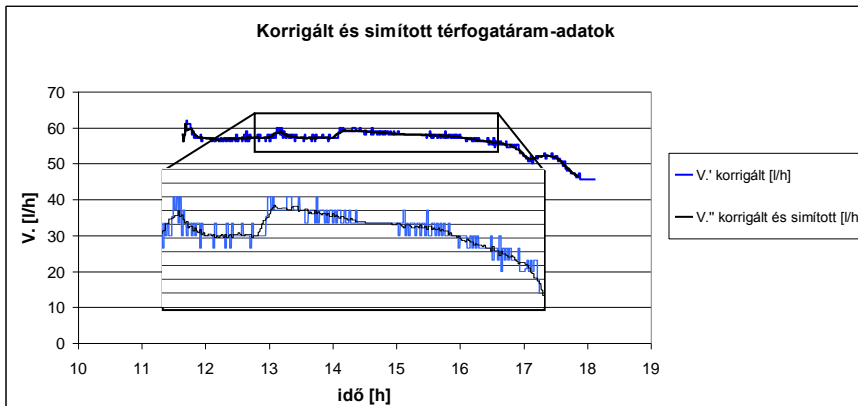
### 3. Eredmények

#### A térfogatáram-görbe simítása

Tovább növeltem a mérés pontosságát a korrigált térfogatáram-görbe simításával. Minden számolt adatot az egyes időpillanatokban a megelőző két és a következő két adat átlagával helyettesíttem.

$$\dot{V}_i'' = \frac{\dot{V}_{i-2}' + \dot{V}_{i-1}' + \dot{V}_{i+1}' + \dot{V}_{i+2}'}{4} \quad (3.3)$$

A 3.2. ábra az ilyen módon simított görbét hasonlítja össze a korrigált görbével:



3.2. ábra: Korrigált és simított térfogatáram-görbék, 2010.08.22-ei mérés

Kidolgozott módszerem tudományos újdonsága abban foglalható össze, hogy nem csupán a napkollektorok vizsgálatánál, illetve térfogatáram-méréseknél alkalmazható, hanem bármely, impulzusjelek gyűjtésén alapuló mérési eljárásnál.

#### 3.2. Matematikai módszer a felhőmentes időszakok azonosítására

Kutatásaim bizonyítják, hogy a felhős időszakok a napkollektorok pillanatnyi hatásfok értékének meghatározásakor hibát eredményeznek. Logikai függvényt fejlesztettem ki, mely a méréseket felhőmentes és felhős időintervallumokra bontja, ezzel kiszűrhetővé válnak a mérési pontatlanságot eredményező felhős időszakok.

Előállítottam azt a három kritériumot, melyek együttes teljesülése esetén a vizsgált időpont felhőmentesnek jelölhető. Az adott időpont felhőmentes, ha a logikai függvény által előírt három feltétel (3.4, 3.5, 3.6), egy adott időpontra nézve a megelőző ötperces időszakok alatt teljesül:

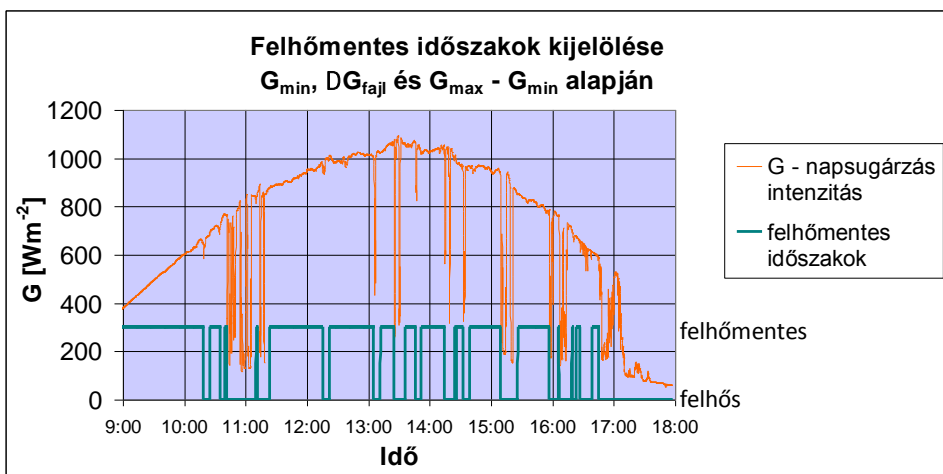
### 3. Eredmények

$$\Delta G_{\text{faji}} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \leq 0,05 \quad (3.4)$$

$$G_{\text{max}} - G_{\text{min}} \leq 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (3.5)$$

$$G_{\text{min}} \geq 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (3.6)$$

A logikai függvény értéke 1, ha az időpont felhőmentes, és 0, ha az időpont felhős. Működését a 3.3. ábra szemlélteti:



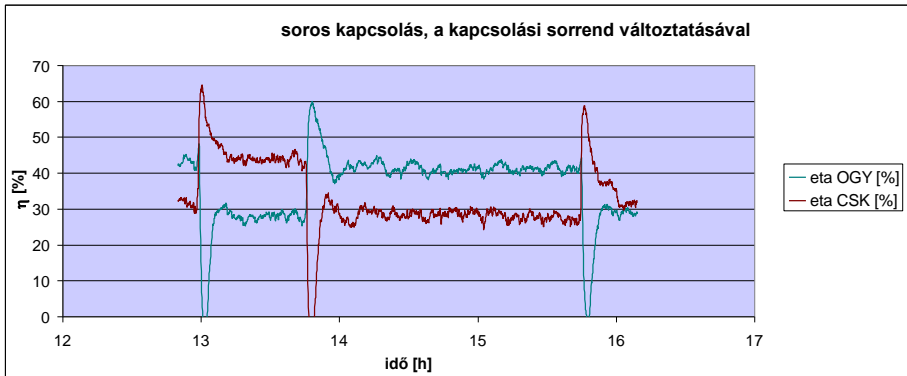
3.3. ábra: Felhőmentes időszakok kijelölése saját fejlesztésű logikai függvénnyel (2010.08.11-ei mérés alapján)

### 3.3. A hatások változása soros kapcsolásban

Kimutattam a soros kapcsolású napkollektorok üzemeltetése során az egyes kollektorok pillanatnyi hatásfoka közti eltérést.

Soros kapcsolás esetén megállapítható, hogy a soros ágon előrehaladva az egyes kollektorok pillanatnyi hatásfoka csökkenő értéket mutat. A jelenséget a második kollektor magasabb átlaghőmérséklete okozza. A jelenségre vonatkozó méréseimet felcserélt sorrendű soros kapcsolással is elvégeztem (3.4. ábra). Mint látható, a sorrend felcserélésekor a kollektorok hatásfokainak viszonya is megváltozik, mindig a második kollektor hatásfoka alacsonyabb. (A tranzien্স jelenségekből adódó kiugró értékek a cserék időpontjait jelzik.)

### 3. Eredmények



3.4. ábra: Változtatott sorrendű soros kapcsolás.

13:00-ig osztógyűjtős-csökígyós, 13:00-13:45: csökígyós-osztógyűjtős, 13:45-15:45: osztógyűjtős-csökígyós, 15:45-től csökígyós-osztógyűjtős sorrend, 2010.08.21-ei mérés

#### 3.4. Eltérő csövezésű kollektorok párhuzamos kapcsolása

Megállapítottam, hogy az eltérő áramlástani tulajdonságokkal rendelkező, viszkozus folyadékkal feltöltött kollektorok térfogatáram-viszonya nem állandó érték, az a folyadék hőmérsékletének függvényében változik. A jelenségre a folyadék viszkozitásának hőmérséklet-függése a magyarázat.

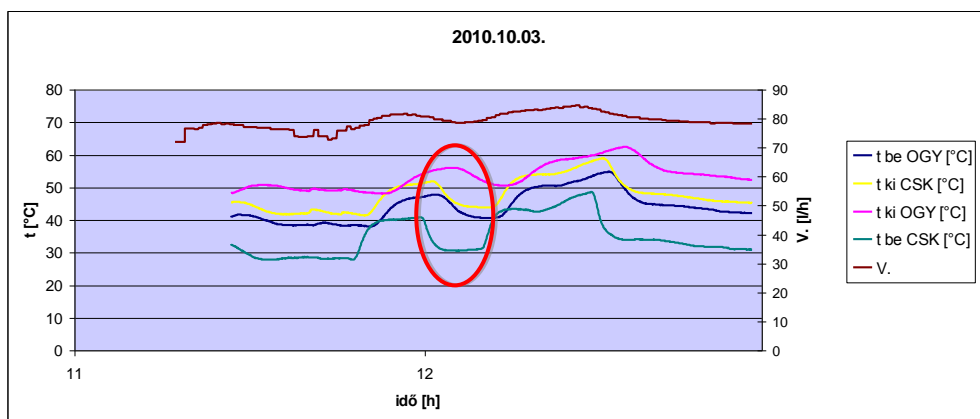
#### 3.5. Tranziens jelenségek vizsgálata

Megállapítottam, hogy soros kapcsolásban az első kollektor gyorsabban reagál a belépő hőmérséklet csökkenésére. Megállapítottam továbbá azt is, hogy a második kollektor reakciója nem csak később jelentkezik, hanem lassabb is az elsőénél.

A termoventilátor teljesítményének változására tett reakció az első kollektor esetében korábban jelentkezik és rövidebb időt vesz igénybe.

A napsugárzás ingadozásakor hasonló jelenséget figyeltem meg. A 3.5. ábra görbesereg lefutásain a jelenség jól érzékelhető.

### 3. Eredmények



3.5. ábra: Kollektorok belépő és kilépő hőmérsékletei csőkígyós-osztógyűjtős (CSK-OGY) sorrendű soros kapcsolásban

Kísérleteim eredményét fordított sorrendű – osztógyűjtős-csőkígyós – soros kapcsolással is igazoltam. A különböző típusú kollektorok közül a sorban első kollektoron korábban jelentkezik a tranzienst jelenség, és annak lefutása gyorsabb.

Megállapításaim jól hasznosíthatók nagy kollektor telepek szabályozásánál.

#### 3.6. Hatásfok-függvények meghatározása

Eljárást dolgoztam ki az üzemi körülmények közt végzett mérések eredményeinek feldolgozására és a hatásfok függvények felvételére.

A hatásfok függvények előállításához a következő lekérdezést használtam a mérési adatbázisban:

3.1. táblázat: Az adatbázis szűrési paraméterei az  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ -es napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvények előállításához

G maximális eltérése	$\pm 10 \text{ Wm}^{-2}$
$t_{ki} - t_{be}$	$> 5^\circ\text{C}$
felhőmentes idő	igen
borítás	Makrolon mUV 10-es borítás
napsugárzás beesési szög függőleges síkban	tetszőleges

A mérési adatbázisból kigyűjtött 1803 értéket a környezeti hőmérséklettől való eltérés szerint  $2^\circ\text{C}$ -os sávokra osztottam. Az így kapott tartományokra eső adatokra meghatároztam azok átlagértékét, mediánját, minimumát és

### 3. Eredmények

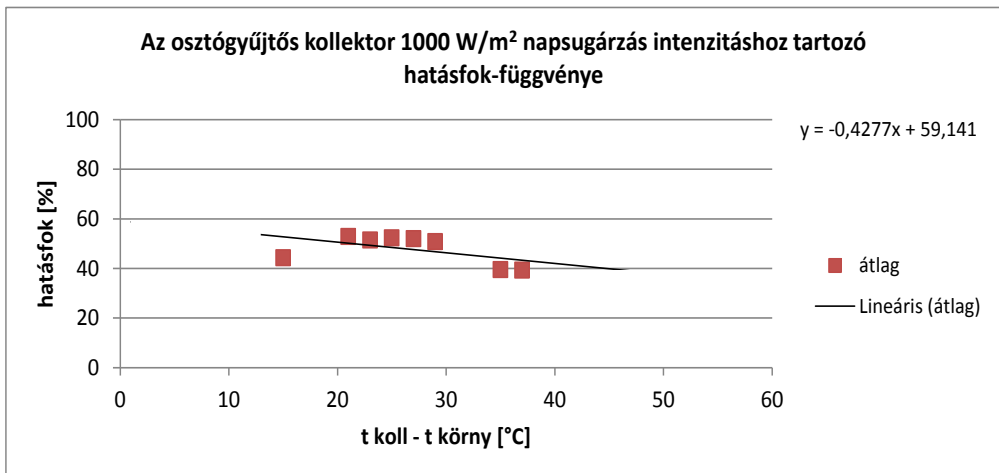
maximumát, valamint az adatok mennyiségét. Ezen eredményeket a 3.2. táblázat mutatja be:

3.2. táblázat: Az osztógyűjtős kollektor  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  sugárzás intenzitáshoz tartozó mért hatásfok értékeinek jellemzői

$t_{\text{koll}} - t_{\text{körny}}$	14-16	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	34-36	36-38
	15	21	23	25	27	29	35	37
átlag	44,23	52,87	51,46	52,27	52,00	50,83	39,49	39,30
medián	43,43	52,72	51,91	52,28	51,66	51,09	39,86	39,11
maximum	46,75	54,00	54,44	56,15	55,59	51,97	40,60	42,32
minimum	42,90	51,109	47,36	48,80	49,51	45,97	37,56	36,62
szórás	1,481	0,943	1,727	1,551	1,698	1,16	0,801	1,098
darab	18	30	471	622	348	110	79	125

A kapott eredményeket a  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ -os tartományok középértékeihez rendeltem. Ehhez hasonlóan kigyűjtöttem a csökígyős kollektor mérési eredményeit is.

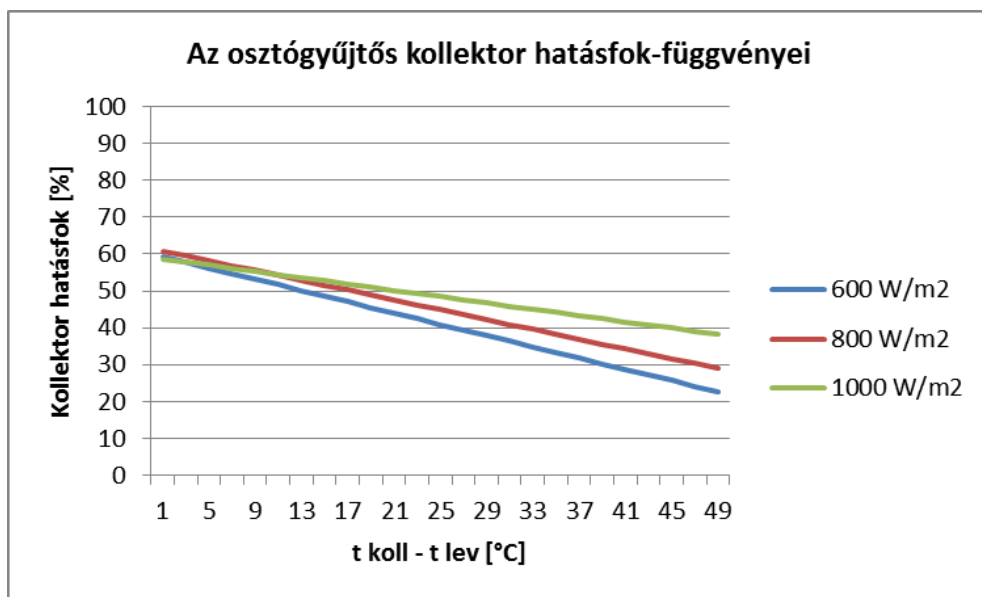
A 3.6. ábra az osztógyűjtős kollektor hatásfokának alakulását mutatja  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  napsugárzás intenzitás esetén, a közepes kollektor hőmérséklet és a levegő hőmérséklet különbségének függvényében:



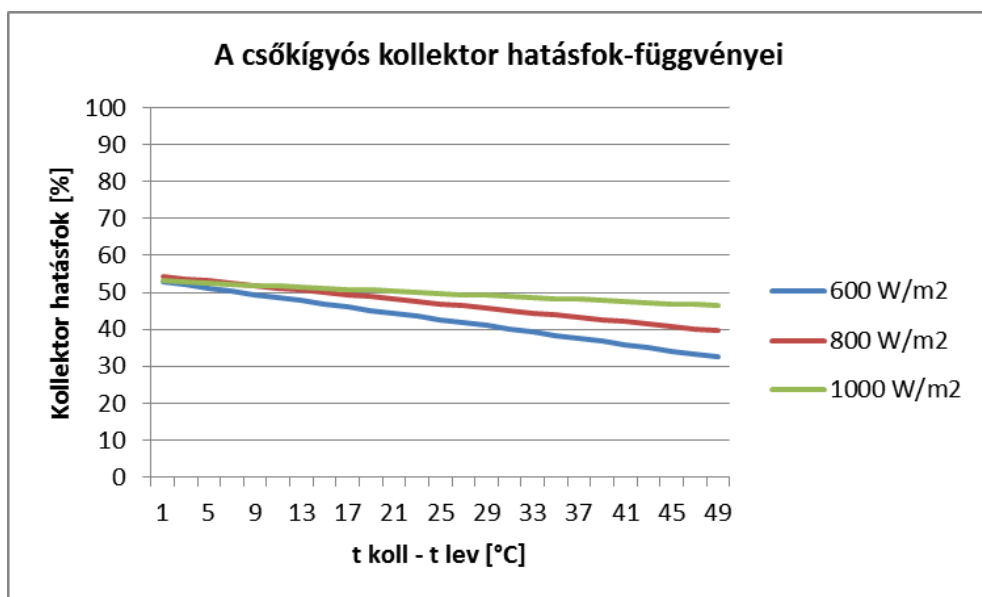
3.6. ábra:  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – osztógyűjtős abszorberrel szerelt kollektor

További lekérdezésekkel meghatároztam a két kollektor hatásfok-függvényét  $800 \text{ Wm}^{-2}$  és  $600 \text{ Wm}^{-2}$  napsugárzás intenzitásra is, így előállítottam a különböző napsugárzás intenzitás értékek szerinti görbesereget (3.7. ábra). Hasonlóképpen előállítottam a csökígyős kollektor megfelelő diagramját (3.8. ábra).

### 3. Eredmények

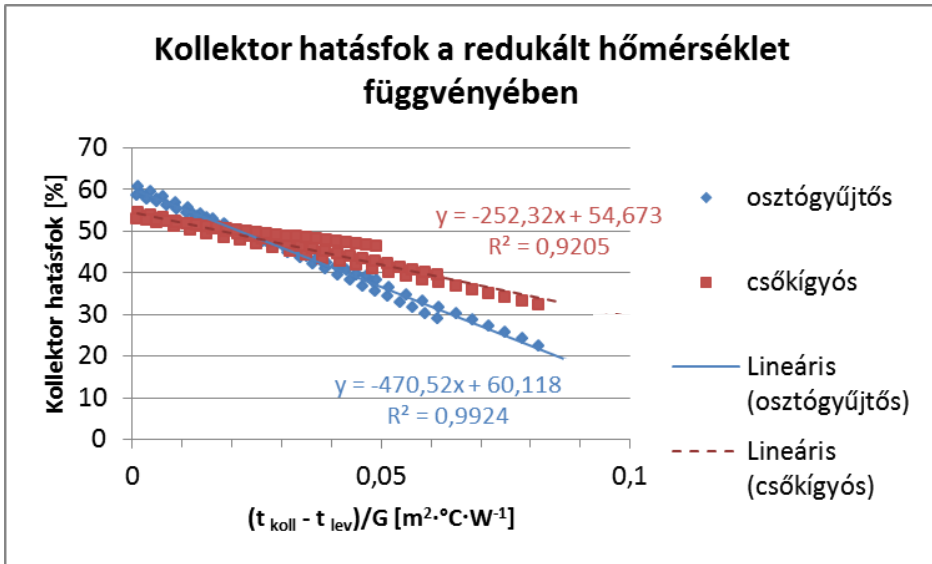


3.7. ábra: Az osztógyűjtős kollektor hatásfok-függvényei különböző napsugárzás intenzitás értékekre



3.8. ábra: A csőkígyós kollektor hatásfok-függvényei különböző napsugárzás intenzitás értékekre

Az 3.7. és az 3.8. ábra görbeseregeit a redukált hőmérséklet-különbség függvényében egy-egy görbévé alakítva a kollektorok hatásfok-függvényeit mutatja a 3.9. ábra:



3.9. ábra: Az osztógyűjtős és a csőkígyós kollektor hatásfoka a redukált hőmérséklet-különbség függvényében, lineáris közelítéssel

A közelítő lineáris függvények pontos illeszkedése jellemző a laboratóriumi méréseknél használt  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  és a szakirodalomban előírt minimális  $630 \text{ Wm}^{-2}$  értékek közé eső teljes tartományon.

### 3.7. A kollektorok üzemeltetése polikarbonát borítással és borítás nélkül

Kísérleteim során meghatároztam a Makrolon Multi UV 2/10-10,5 polikarbonát lemez kollektor hatásfokra gyakorolt befolyását.

A mért eredmények illeszkedésének pontossága még megfelelőnek mondható, de elmarad a borítással ellátott napkollektorok mérési eredményeitől. A 95 %-os konfidencia intervallum az osztógyűjtős kollektor esetében  $\pm 1,466 \%$ , a csőkígyósnál  $\pm 3,116 \%$ .

### 3.8. Ismert hatásfokú kollektor vizsgálata

A hatásfok méréshez kifejlesztett módszerem igazolására a berendezéssel megvizsgáltam egy ismert hatásfokú, Buderus SKN 3.0 típusú napkollektort.

A berendezéssel végzett mérés a vizsgált tartományon nagy pontossággal követi a katalógusadatok alapján felvett gyári hatásfok-függvényt. Az abszolút hiba maximuma  $3,02 \%$ .

### 3. Eredmények

---

#### 3.9. A várható éves hatásfok és éves energiahozam

A kísérleti kollektorokra meghatározott hatásfok-függvényekkel megvizsgáltam az éves elérhető energiahozam nagyságát.

A szimulációhoz a 2012. év tízpercenként regisztrált meteorológiai adatait használtam fel. Az előírt kritériumok szerint szimulált kollektorműködésnek megfelelően az év bármely tízperces szakaszára meghatározható a kollektorok hatásfoka és energiahozama. Az éves energiahozam ezen tízperces időszakok energiahozamainak teljes évre számított összege (MJ):

$$Q_a = \sum_{i=1}^n Q_{10i} \quad (3.7)$$

A fajlagos éves energiahozam a kollektor felületére vonatkoztatott éves energiahozam ( $\text{MJm}^{-2}$ ):

$$q_a = \frac{Q_a}{A} \quad (3.8)$$

Az éves átlagos hatásfok a kollektor fajlagos éves energiahozamának és a kollektor egységnyi hőelnyelő felületére érkező éves besugárzott energiának a hányadosa (%):

$$\bar{\eta}_a = \frac{q_a}{\sum_{i=1}^n G_i \cdot \Delta t_i} \quad (3.9)$$

Az éves besugárzott energiát a mért napsugárzás intenzitás és a két mérés regisztráció közt eltelt idő szorzatának éves összegzéseként kapjuk meg.

A pillanatnyi hatásfok értékek átlaga az év tízperces időintervallumaira felírható hatásfok értékek átlaga (%):

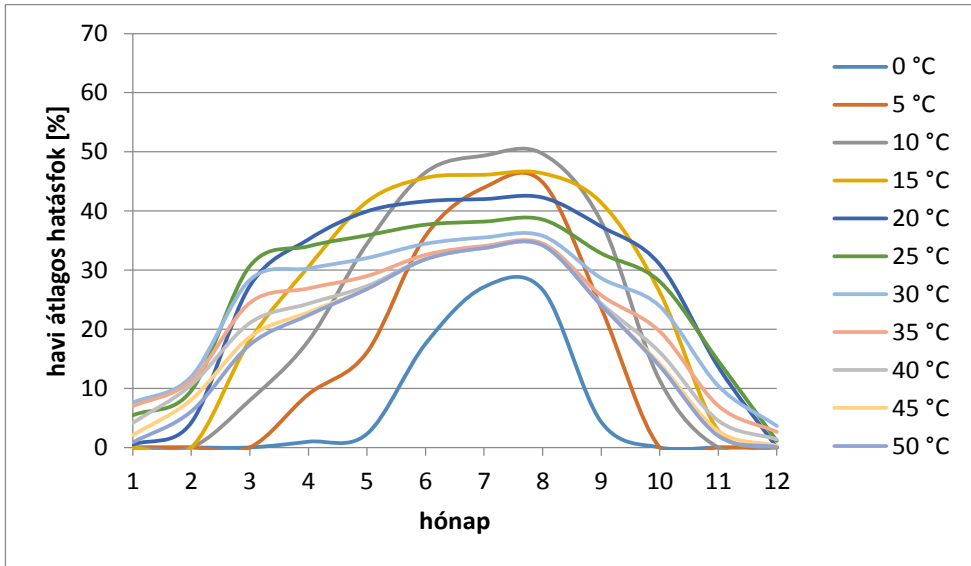
$$\bar{\eta}_{10} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{10}}{n} \quad (3.10)$$

Értéke nem egyezik meg az éves átlagos hatásfok értékével, hiszen nem minden tízperces időszak folyamán ugyanakkora a besugárzott energia nagysága.

Ha a minimális kollektor hőmérsékletet  $30\text{ }^\circ\text{C}$ -ra, a maximálisat  $60\text{ }^\circ\text{C}$ -ra veszem fel, a függvények a 3.10. ábra szerint alakulnak:

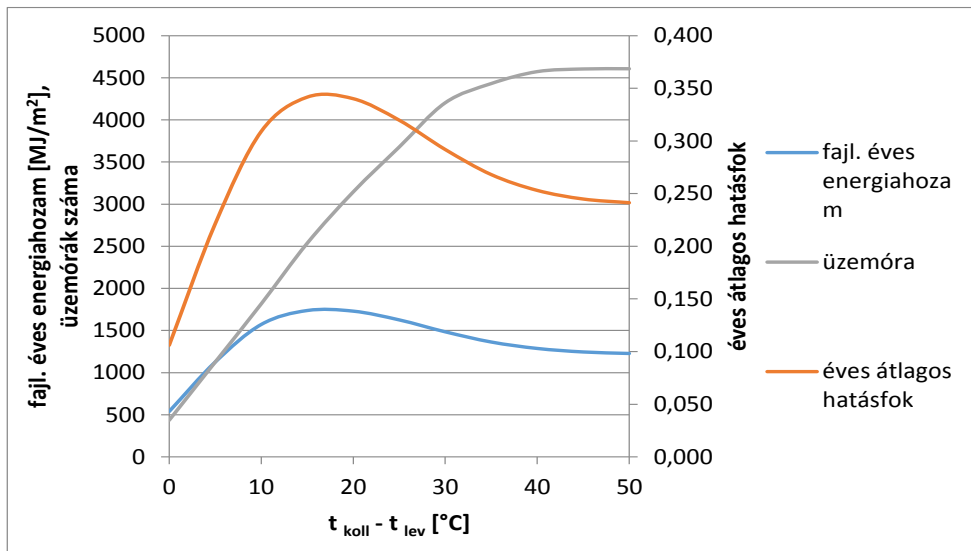


### 3. Eredmények



3.10. ábra: Az osztógyűjtős kollektor havi átlagos hatásfoka a kollektor és a levegő közti hőmérséklet-különbség egyes értékeihez tartozóan, 30 °C-os minimális és 60 °C-os maximális kollektor hőmérséklet esetén

A kollektor és a környező levegő közti hőmérséklet-különbség függvényében az éves paraméterek a 3.11. ábra segítségével meghatározhatók:

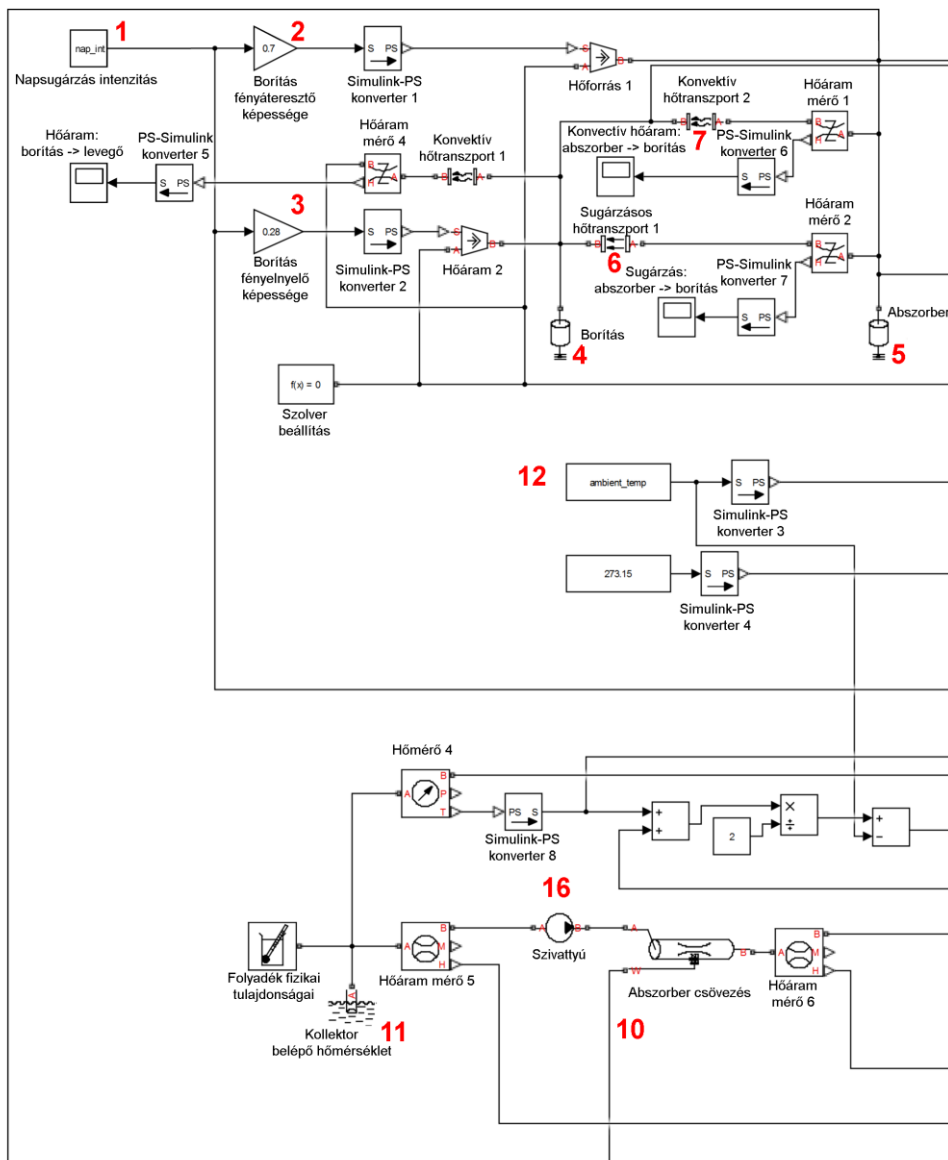


3.11. ábra: Az osztógyűjtős kollektor éves üzemi paraméterei 30 °C-os minimális és 60 °C-os maximális kollektor hőmérséklet esetén

### 3. Eredmények

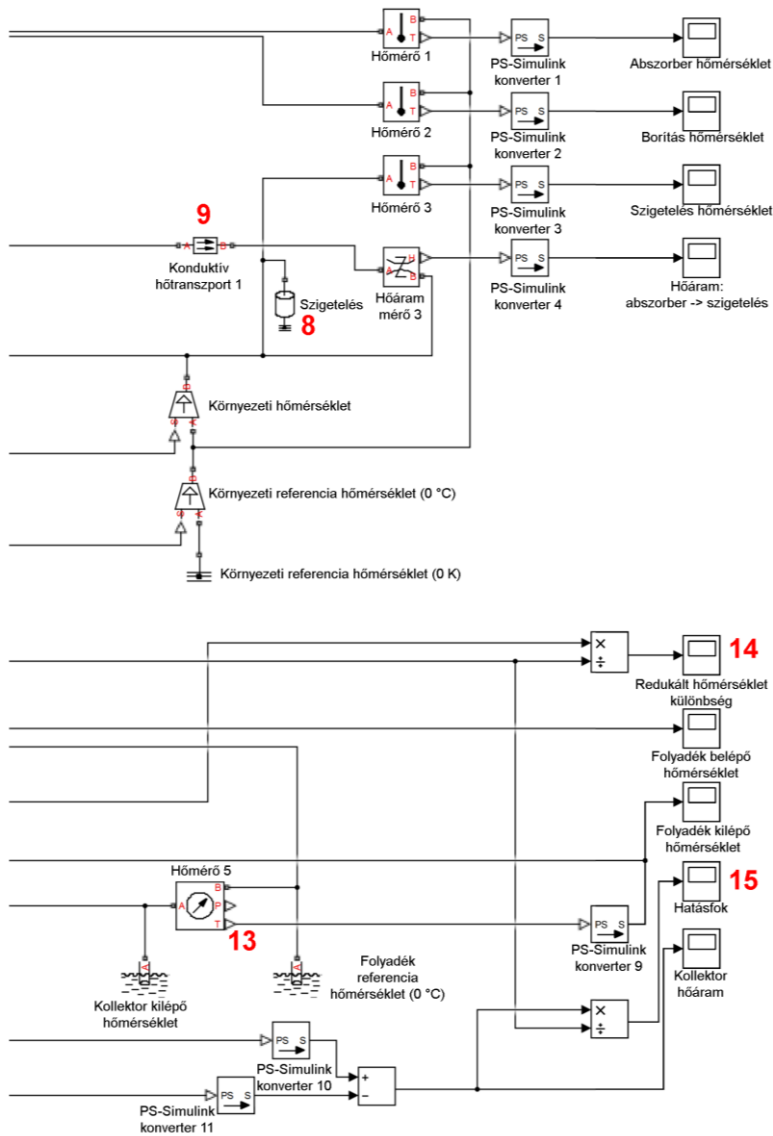
#### 3.10. Kollektor matematikai modellezése

Az osztógyűjtős kollektor működésének szimulációjához matematikai modellt fejlesztettem Matlab szoftver alkalmazásával (3.12. ábra, 3.13. ábra):



3.12. ábra: Az osztógyűjtős kollektor matematikai modelljének Matlab kapcsolási rajza, első részlet

### 3. Eredmények



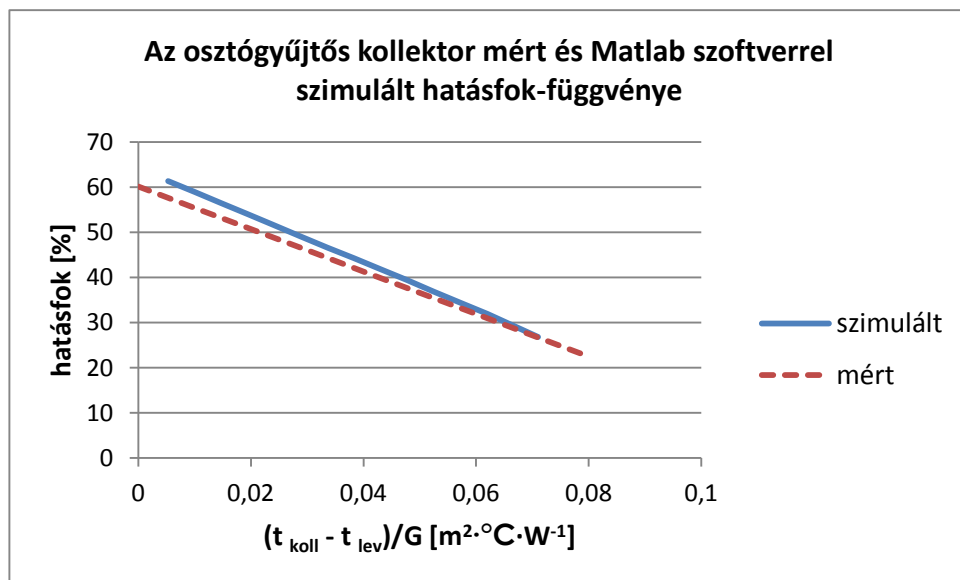
3.13. ábra: Az osztógyűjtős kollektor matematikai modelljének Matlab kapcsolási rajza, második részlet

A Matlab szoftverben készített modell kapcsolási rajza hőáramhálózatként szimulálja a kollektor működését, megadott üzemi paramétereknek

### 3. Eredmények

megfelelően. A napsugárzás intenzitás (1) állítható, a borítás fényáteresztő képessége szerint csökkentett sugárzás intenzitás jut tovább az abszorberre, a fényelnyelő képességnek (3) megfelelő hányada a borítást (4) melegíti fel, a további mennyiséget a borítás visszaveri. Az abszorberre (5) jutó sugárzásos hőáram egy részét az abszorber visszaveri a borítás felé (6), másik része a felmelegedett abszorberről konvektív úton jut a borításra (7), harmadik része a hőszigetelés (8) felé konduktív hőáramként (9). Az elnyelt hőáram fennmaradó része (10) jut az abszorber csövezésében áramló folyadékba. Beállítható a folyadék belépő hőmérséklete (11) és a környező levegő hőmérséklet (12). A kilépő folyadék hőmérséklet (13) és a belépő hőmérséklet átlaga, valamint a napsugárzás intenzitása meghatározza redukált hőmérséklet-különbséget (14). A napsugárzás intenzitásának (1) és az abszorberből a folyadékba jutó hőáramnak (10) a hányadosa a hatásfok (15).

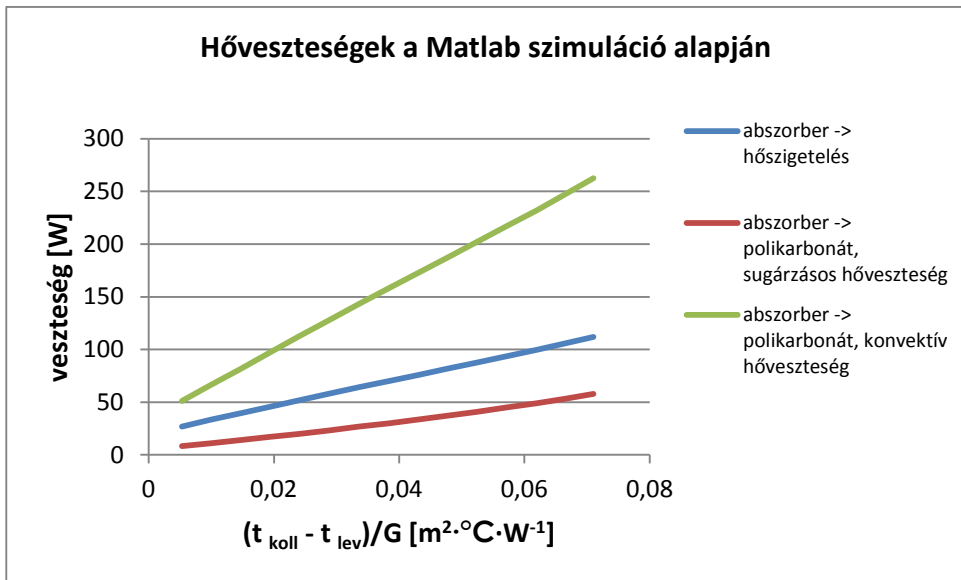
A napsugárzás intenzitásának (1), a környező levegő hőmérsékletének (12), a belépő folyadék hőmérsékletnek (11), a szivattyúval (16) a folyadék térfogatáram változtatásával a kollektor tetszőleges üzemállapotában meghatározható a hatásfok, így felvehető a hatásfok-függvény. A szimuláció eredményét a 3.14. ábra mutatja:



3.14. ábra: Az osztógyűjtős kollektor mért és szimulált hatásfok-függvénye

A modellel vizsgáltam a kollektor hővesztésének egyes összetevőit. A szimuláció eredményeit a redukált hőmérséklet-különbség függvényében a 3.15. ábra mutatja:

### 3. Eredmények



3.15. ábra: Az abszorber számított hővesztései a redukált hőmérséklet-különbség függvényében

A diagram nem tartalmazza a polikarbonát borítás fényáteresztő képessége szerint kialakuló veszteséget. Az osztógyűjtős kollektor optikai hatásfoka 60,12 % (3.9. ábra), ez a szimuláció  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  napsugárzás intenzitásánál 399 W veszteséget okoz. A kísérleti kollektor esetében tehát megállapítható, hogy napsugárzásnak a borítás által elnyelt és visszavert hányada a legnagyobb veszteség. Ezt követi az abszorbertől a borítás felé irányuló konvektív hővesztés és a hátsó hőszigetelésen keresztül fellépő konduktív hővesztés, majd az abszorber által a polikarbonátra visszasugárzott hőáram.

A modellezés eredményeiből megállapítható, hogy a további kísérleteket illetően a kollektor fedésére többféle polikarbonát lemezt, illetve szolárüveget és szigetelt üvegezést érdemes modellezni, és ezen borítások alkalmazásával, mérésekkel felvenni a módosított kollektor hatásfok-függvényét.

### 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az alábbiakban összegzem a kísérleteim eredményeinek feldolgozása során nyert új tudományos eredményeket, melyek részben mérés technikai területen, részben a kollektorok hatásfok-függvényének meghatározásához, valamint a kollektorok üzemeltetése és szabályozása során jelentenek jól hasznosítható megállapításokat.

#### 1. Matematikai modell a kimaradó impulzusjelek okozta hibák javítására

Matematikai algoritmust hoztam létre az impulzus adatgyűjtők jeleinek kimaradásából adódó mérési hibák automatikus javítására, majd a javított térfogatáram-görbék simítására.

A létrehozott algoritmus az impulzus kimaradás hibáit automatikusan javítja, így a nagy mennyiségű adat feldolgozása jelentősen felgyorsul.

$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} > \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}_i' = \dot{V}_i \quad (4.1)$$

$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}_i' = \frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4} \quad (4.2)$$

$$\dot{V}_i'' = \frac{\dot{V}_{i-2}' + \dot{V}_{i-1}' + \dot{V}_{i+1}' + \dot{V}_{i+2}'}{4} \quad (4.3)$$

Kidolgozott módszerem nem csupán a napkollektorok vizsgálatánál, illetve térfogatáram-méréseknél használható, hanem bármely, impulzusjelek gyűjtésén alapuló mérési eljárásnál.

#### 2. Matematikai módszer a felhőmentes időszakok azonosítására

Logikai függvényt dolgoztam ki, mely a méréseket felhőmentes és felhős időintervallumokra bontja. Ezzel kiszűrhetővé válnak a mérési pontatlanságot eredményező felhős időszakok.

Megállapítottam, hogy a felhős időszakok alkalmatlanok a pillanatnyi hatásfok értékének meghatározására.

#### 4. Új tudományos eredmények

---

Több lehetőséget megvizsgálva előállítottam azt a három kritériumot, melyek együttes teljesülése esetén a vizsgált időpont felhőmentesnek jelölhető. Az adott időpont felhőmentes, ha a logikai függvény által előírt három feltétel a megelőző öt perc folyamán fennáll:

$$\Delta G_{\text{fajl}} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \leq 0,05 \quad (4.4)$$

$$G_{\text{max}} - G_{\text{min}} \leq 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (4.5)$$

$$G_{\text{min}} \geq 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (4.6)$$

A kidolgozott módszer lehetővé teszi az adatok gyors szűrését, kiválogatva a pontatlan értékeket eredményező, a pillanatnyi hatásfok számítására alkalmatlan mérési időszakokat.

#### 3. Adatszűrési és hibajavítási módszer a hatásfok-függvények felvételére

Kidolgoztam a kezdeti hibás, helyenként értelmezhetetlen adatok szűrésének és hibajavításának matematikai módszerét: javítottam a térfogatáram függvényeket, kiszűrtem a felhős időszakok okozta hibákat, majd az így módosult adatbázist alkalmazva meghatároztam a hatásfok-függvények felvételének módszerét.

A mérési adatbázis eredményeinek szűrésénél a következő kritériumokat adtam meg:

- A görbére jellemző napsugárzás intenzitáshoz képest a mért értékek eltérése nem lehet nagyobb  $\pm 10 \text{ Wm}^{-2}$ -nél.
- A kollektor kilépő és belépő folyadék hőmérséklete közti különbség minimum  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Kizárólag a felhőmentes időszakok adatai szerepelhetnek a kigyűjtésben.

A kidolgozott módszert a kísérleti síkkollektorokon validáltam, meghatároztam azok hatásfok-függvényeit a  $600 - 1000 \text{ Wm}^{-2}$  napsugárzás intenzitás intervallumra. Az  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  napsugárzás intenzitáshoz tartozóan a 95 %-os konfidencia intervallum az osztógyűjtős kollektorra  $\pm 1,315 \%$ , a csőkígyós kollektorra  $\pm 0,824 \%$ .  $800 \text{ Wm}^{-2}$  sugárzás intenzitás esetén  $\pm$

#### 4. Új tudományos eredmények

---

1,378 %, illetve  $\pm 1,378$  %,  $600 \text{ Wm}^{-2}$  sugárzás intenzitás esetén  $\pm 1,131$  % és  $\pm 1,05$  %.

##### 4. *Tranziens üzemi jelenségek leírása*

Megállapítottam, hogy soros kapcsolásban az első kollektor gyorsabban reagál a belépő hőmérséklet csökkenésére. Megállapítottam továbbá azt is, hogy a második kollektor reakciója nem csak később jelentkezik, hanem lassabb is az elsőénél. Megállapítható, hogy a tranziens jelenségek a sorban második kollektor kilépő csonkján átlagosan 22,4 %-kal hosszabb idő alatt játszódnak le, mint az első kollektor belépő csonkjánál. A hőmérséklet csökkenésének sebessége a második kollektor kilépő csonkján átlagosan 48,2 %-a az első kollektor belépő csonkján mért értéknek.

Kísérleteim eredményét fordított sorrendű soros kapcsolással is igazoltam. A különböző típusú kollektorok sorrendjétől függetlenül a sorban első kollektoron korábban jelentkezik a tranziens jelenség, és annak lefutása gyorsabb.

Megállapításaim jól hasznosíthatók nagy kollektor telepek szabályozásánál.

##### 5. *Az éves energiahozam és az optimális kollektor hőmérséklet dinamika*

Definiáltam a kollektorok éves átlagos hatásfokát és a fajlagos éves energiahozamot a környező levegőhöz képest állandó hőmérséklet-különbség, valamint a kollektor hőmérséklet-tartományának ismeretében. A szimulációval ezen paraméterek megadásával, valamint az éghajlati jellemzők ismeretében meghatározható a kollektorok várható éves energiahozama.

Eljárást dolgoztam ki a várható éves energiahozam maximális elérhető értékének meghatározására. A rögzített paraméterek a minimális és maximális kollektor hőmérséklet. Ezen paraméterekhez tartozóan tetszőleges, ismert hatásfok-függvényű kollektor várható éves energiahozama megállapítható. Meghatározható a kollektor és a levegő közti hőmérséklet-különbség azon értéke, melyhez a maximális éves energiahozam és így a maximális éves átlagos hatásfok tartozik.

##### 6. *A kísérleti kollektor matematikai modellje a veszteségek vizsgálatára*

Kidolgoztam az osztógyűjtős abszorberrel szerelt kísérleti kollektor matematikai modelljét. A modell segítségével a veszteség egyes összetevői



#### 4. Új tudományos eredmények

---

külön-külön számíthatóak. Megállapítottam, hogy a kísérleti kollektor veszteségének legjelentősebb összetevője a borítás által elnyelt és visszavert sugárzás. A modell segítségével meghatározható a kollektoron a jobb hatásfok elérése érdekében elvégzendő további módosítások várható hatása. A modell síkkollektorok fizikai jellemzőinek ismeretében meghatározza azok hatásfok-függvényeit, illetve a veszteség egyes összetevőinek értékeit, ezzel hatékony eszköze lehet más kollektorok vizsgálatának.

### 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Kutatásom célja a napkollektorok üzemi jelenségeinek tanulmányozása, a határfok-függvény természetes körülmények közt végzett mérésekkel való felvétele, valamint ezen mérési módszer részletes kidolgozása és korlátainak feltárása volt.

Kutatásaimhoz mérő-adatgyűjtő berendezést fejlesztettem ki. A kollektorok vizsgálatának folyamán több üzemi jelenséget is tanulmányoztam.

A természetes körülmények között folytatott mérések során a fő probléma a napsugárzás intenzitásának, valamint a környező levegő hőmérsékletének változása. A vonatkozó szabványok említést tesznek arra, hogy a sugárzás intenzitásnak amennyire lehetséges, állandó értékűnek kell lennie a mérés folyamán, de számszerű megállapítások erre vonatkozóan eddig nem voltak elérhetők. Méréseim során megállapítottam, hogy a báránnyel felhők hatására ingadozó napsugárzás intenzitás a pillanatnyi kollektor határfok mérését ellehetetleníti. A mérések adatbázisainak tanulmányozásával olyan kritériumokat határoztam meg, melyekkel a vizsgált időszakról egyértelműen megállapítható, hogy az felhőmentesnek tekinthető-e, így alkalmas-e a kollektorok pillanatnyi határfokának mérésére.

A térfogatáram mérését impulzusjeladókkal ellátott térfogatáram-mérőkkel végeztem. A mérési diagramokon jól látható, impulzuskimaradás okozta hibák automatizált kiküszöbölésére matematikai algoritmust dolgoztam ki.

A méréseim adatbázisának tanulmányozása során megállapításokat tettem a kollektorok tranziens üzemi jelenségeire vonatkozóan.

A vizsgált kísérleti kollektorok abszorber-csővezése eltérő. Párhuzamos kapcsolású méréseim alapján megállapítható, hogy a viszkózus fagyálló folyadékkal feltöltött rendszer alacsony hőmérsékleten beállított térfogatáram-egyensúlya a hőmérséklet emelkedésével – a viszkozitás csökkenésével – felborul. A jelenség alapján kijelenthető, hogy két, eltérő hidrodinamikai tulajdonságokkal rendelkező kollektor vagy kollektorsor párhuzamos kapcsolása esetén az azonos térfogatáramok tartása szabályozást igényel a hőmérséklet változása során.

További tervezett fejlesztésként javasolható albedométer alkalmazása, így nem csak a kollektorfelületre érkező teljes sugárzás, hanem külön a szórt, a kettő különbségeként pedig a direkt sugárzás is mérhető lenne. Ennek elsősorban koncentrátoros kollektorok vizsgálatánál lehet majd jelentősége.

### 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán 2005 óta folytatunk kutatásokat a szoláris energia hasznosításának területén. 2006-ban kerültek kereskedelmi forgalomba első napkollektoraink, melyek tervezésénél elsődleges szempontunk a gyártási költségek alacsony értéken tartása volt.

A mérések során szerzett kutatási tapasztalataimat felhasználva 2009-ben kezdtem meg a jelen értekezésben ismertetett kutatásokhoz egy új, kollektorok természetes körülmények közötti tesztelésére szolgáló mérőberendezés tervezését, kivitelezését.

Kutatási eredményeim alapján kidolgoztam a mérő-adatgyűjtő berendezés üzemeltetési algoritmusát, így az automatizált mérőberendezés alkalmas természetes körülmények között tesztelhető napkollektor hatásfok-függvényeinek felvételére, a különböző típusú kollektorok üzemi paramétereinek összehasonlító vizsgálatára, a gyártott termék szabványosítható minősítésére. A berendezéssel végzett mérések eredményeinek kiértékelésével számos megállapítást tettem nem csak a hatásfok mérésének módszerét illetően, hanem a napkollektorok üzemi jelenségeivel kapcsolatban is.

Munkám során tanulmányoztam a természetes körülmények közt végzett hatásfok-mérések korlátait és hibajelenségeit. A mérések kiértékelését követően kidolgoztam a napsütés sugárzás intenzitásával kapcsolatos kritériumokat. Az algoritmus alapján a felhős és felhőmentes időszakok megjelölése automatikussá válik, ezáltal a hibás mérési eredményeket adó felhős időszakok kiszűrése sokkal gyorsabb. Kidolgoztam a hatásfok-függvény felvételének lépéseit, pontosítottam a berendezés működését, és több megállapítást tettem a napkollektorok üzemeltetésével kapcsolatban. Leírtam a soros és párhuzamos kapcsolásokban tapasztalható üzemi jelenségeket. Meghatároztam a kísérleti kollektorokon alkalmazott polikarbonát borítás hatásfok-függvényre gyakorolt befolyását. Tanulmányoztam a tranziens jelenségek lefutását, módszert dolgoztam ki az éves energiahozam és az éves hatásfok becslésére, valamint a maximális éves hatásfok eléréséhez szükséges optimális kollektor hőmérséklet dinamika megállapítására.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT  
PUBLIKÁCIÓK

*Lektorált cikk idegen nyelven:*

1. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2010): Design of an experimental PCM solar tank. *Analecta Technica Szegediensia*, University of Szeged Faculty of Engineering. 2010/2-3 pp. 200-205. ISSN 1788-6392
2. **Péter Szabó, I.** (2010): Efficient energy storage in PCM solar tank. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 2010/1 pp. 143-146. ISSN: 1584-2665
3. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2011): Transient effects in solar collector systems. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 2011/3 pp. 111-114. ISSN 1584 - 2673
4. **Péter Szabó, I.** – Véha, A. – Szabó, G. (2012): Research and education of the application of renewable resources at the Faculty of Engineering University of Szeged. *Analecta Technica Szegediensia*, 2012/1-2, pp. 19-25. ISSN: 1788-6392
5. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2011): Research of solar energy at the Faculty Of Engineering – “Agrár és Vidékfejlesztési Szemle” (Review on Agriculture and Rural Development), pp. 382-386. ISSN 1788-5345
6. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2012): Development of data processing algorithm for the recognition and correction of measuring errors occurred during the test of solar collectors. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 2012/2. pp. 161-166. ISSN 1584 - 2665
7. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2013): Study of the efficiency and other working parameters of solar collectors. *Acta Technica Corviniensis, Bulletin of Engineering*, 2013/1 pp. 143-145. ISSN 2067-3809
8. **Péter Szabó, I.** – Szendrő, P. – Szabó, G. (2014): Efficiency measurement and energy yield estimation of solar collectors. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, Volume-2, Issue-10, October 2014. pp. 174-178. ISSN: 2321-0869

## 7. Kiemelt publikációk

---

*Lektorált cikk magyar nyelven:*

9. **Péter Szabó I.** (2005): Rövid megtérülési idejű napkollektorok tervezése és hatásfokuk vizsgálata. Műszaki Tudományos Füzetek 2005, Kolozsvár, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, X. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, 97-100. o., ISBN 973-8231-44-2
10. **Péter Szabó I., Szendrő P., Szabó G.** (2013): Berendezés kifejlesztése napkollektorok üzemi jellemzőinek mérésére. *Analecta Technica Szegediensia*, 2013 Special Issue, University of Szeged Faculty of Engineering. ISSN 1788-6392, 59-64. o.
11. **Péter Szabó I., Szendrő P., Szabó G.** (2014): Kísérleti berendezés kifejlesztése napkollektorok hatásfokának mérésére. *Energiagazdálkodás folyóirat*, Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület, 2014. október, 20 - 23. o., ISSN 0021-0757.
12. **Péter Szabó I., Szendrő P., Szabó G.** (2014): Napkollektorok várható éves energiahozamának becslése. *Magyar Épületgépészet, Épületgépészet Kiadó Kft.*, 2014.10., 3-6. o.