

# SÍK- ÉS VÁKUUMCSÖVES KOLLEKTOROK HASZNOS FELÜLETÉNEK GEOMETRIAI MODELLJE

## GEOMETRY MODEL OF ACTIVE SURFACE OF FLAT PLATE AND VACUUM TUBE COLLECTORS

Kocsány Ivett\*, Dr. Seres István\*\*

### ABSTRACT

As the behavior of the solar collectors is depending on a lot of factors, among them on the spectral distribution of the solar radiation, spectral measurements were started. Based on the measurements an analysis was carried out to determine the rate of the red and infrared radiation (the most important part of the spectra for the collectors) in the incoming power. The paper introduces the result of the measurements and the analysis. The comparison of the operation of a flat plate collector (installed about ten years before) and a vacuum tube collector (installed in 2009) in the Department of Physics and Process Control Szent István University has numerous interesting questions connected to my PhD work. The results show different operation of the different technologies under different meteorological (different radiation and environmental temperature) circumstances. In case of low radiation – which is usually accompanied with lower temperature - the vacuum tube collector has better energy production.

### 1. BEVEZETÉS

A Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén hosszú ideje tanulmányozott sík-kollektor (tizennyéve került beépítésre), valamint a 2009 évben üzembe helyezett vákuumcsöves kollektor működésének összehasonlítása számos kérdést vet fel. Többen foglalkoztak ezzel a témával, csak úgymint például E. Zambolin és társa [1], illetőleg W. Eisenmann és társai [2] stb.

A kollektorok beállítási paraméterei a magyarországi napsugárzási viszonyoknak megfelelően  $45^\circ$  dőlésszöget zárnak be a vízszintessel (természetesen ez a szög állítható), továbbá az eszközök déli tájolásúak.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a különböző napszakokban, illetve fényviszonyok esetén az energiahasznosítás mértéke eltérő a különböző technológiák szerint. Az alacsony sugárzási szint mellett a vákuum-

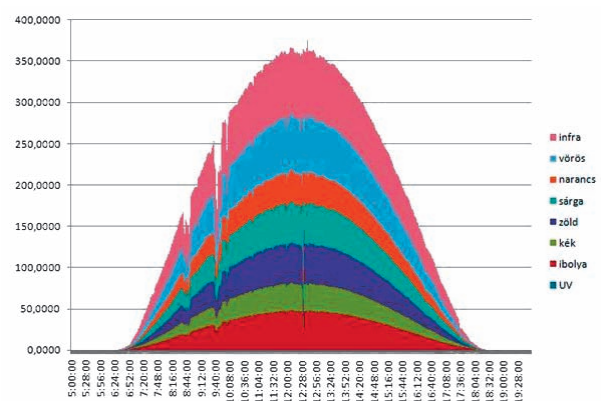
csöves kollektornak jobb a hatásfoka, mint a sík-kollektoros társának.

### 2. A KOLLEKTOROK HASZNOS FELÜLETÉNEK GEOMETRIAI MODELLEZÉSE

#### 2.1. Geometriai különbségek

A geometriai különbségekből adódóan, azonos intenzitású sugárzási értéknél és azonos beesési szög alatt (a felületre érkező sugárzás és a felület normál vektora által bezárt szöget jelenti) a két kollektor különböző teljesítményt, hasznos felület nagyságot mutat és a visszaverődő sugárzás mértéke sem egyenlő.

Az eredmények típusonként számos esetben eltérnek, melynek oka többek között a kivitelezésükből (hasznos felület méretei és geometriája), a hővesztéseikből és az elnyelő felületek érzékenységeiből adódik. Az abszorber felület kialakítása a vákuumcsöves kollektor esetében és a sík-kollektor esetében is változhat, ami azt jelenti, hogy a nap spektrumának különböző részeit jobban hasznosítják. Közismerten a lemenő és a felkelő nap spektrumában az infravörös és az ultraibolya sugárzás mértéke különböző a napközbeni értéktől az eltérő vastagságú levegőrétegen való áthaladás (illetve a levegő szóró hatása) miatt (1. ábra).



1. ábra. Nap spektruma napsütéses időben

Ezzel a témával részletesen is foglalkozunk a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén

\*PhD hallgató, Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

\*\*egyetemi docens, Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

[3], aminek gondozásában a kollégium tetején telepített fotovillamos rendszerrel kapcsolatban folytatottunk számos mérést. Egy közös projekt keretén belül Gödöllőn is végeztünk spektrális méréseket a Bécsi Agrártudományi Egyetem Meteorológiai Intézet eszközeivel különböző meteorológiai körülmények között.

A mért eredmények alapján elemzést készítettünk arra vonatkozóan, hogy a kollektorok energiatermelése szempontjából melyik a hasznos sugárzási tartomány. A kutatáshoz kapcsolódó mérési eredményeket számítógépes adatgyűjtést követően egy adatrögzítő számítógépén tároljuk. A legfontosabb paraméterek a

Sík-kollektor esetében a sugárzás mértéke:

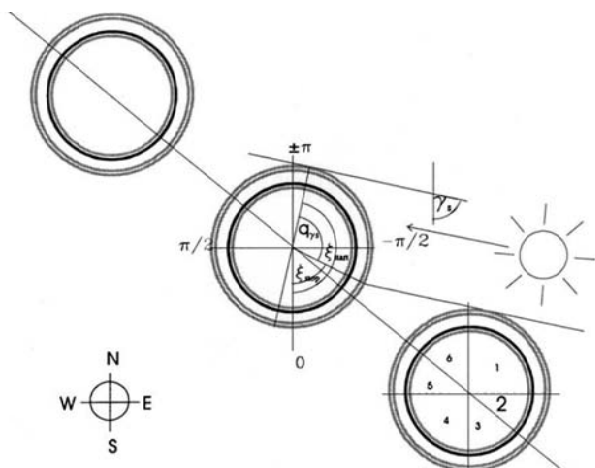
$$Q_p = \int_{-\pi/2}^{\beta_1} G_b R_b \tau_b (\alpha_b + \rho \rho_d F_{tr \rightarrow bl} \alpha_d) \frac{r}{\rho_{bl}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f_s G_d \tau_d (\alpha_d + \rho_d^2 F_{tr \rightarrow bl} \alpha_d) \frac{r}{\rho_{bl}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho_g G_T \tau_d \rho_d F_{tr \rightarrow bl} \alpha_d \frac{r}{\rho_{bl}} d\beta$$

Vákuumsöves kollektor esetében pedig:

$$Q_c = \int_{-\pi/2}^{\beta_1} G_b R_b \alpha_{tr} (1 + \tau_b \rho_d) \frac{r}{\rho_{tr}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f_s G_d \alpha_{d,tr} (1 + \tau_d F_{tr \rightarrow bl} \rho_d + \rho_d F_{tr \rightarrow tr}) \frac{r}{\rho_{tr}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho_g G_T f_g \alpha_{d,tr} (1 + \tau_d) \frac{r}{\rho_{tr}} d\beta$$

Azonban a vákuumsöves kollektoroknál figyelembe kell venni az egyes csövek egymásra vetett árnyékát, hogy mennyiben befolyásolja az összteljesítményt.

Erre vonatkozóan L.J. Shah és társa [5] által publikált cikkből kaphatunk információt (2. ábra).



2. ábra. A Nap azimut szögének ( $\gamma_s$ ) és a beérkező sugárzásnak kapcsolata (Forrás: L.J. Shah, et al, 2004)

Korábban Lart [6] fejlesztett ki egy hasonló modellt, a Cardiff Egyetemen, aki a Gépészmérnöki Kar egyik

be- illetve kimenő szolár folyadék hőmérséklete és tárfogatárama az egyes típusok esetében, a sugárzás intenzitása és a külső hőmérséklet.

## 2.2. Modellek

Számos matematikai, analitikai és geometriai modell készült már különböző célokkal, úgymint a kollektor tájolásának és optimális dőlésszögének meghatározása, illetve a beérkező sugárzás becslése, melyet többek között H. P. Grag társaival [4] készített mind sík-és mind vákuumsöves kollektorra egyaránt. Az alábbi összefüggéseket publikálták 1998-ban.

doktorandusza. Egy olyan geometriai módszert dolgozott ki, amellyel meghatározható a vákuumsöves kollektorok árnyékolt felületének mérete és az elhelyezkedése is.

Ezt a fejlesztést használták fel arra, hogy a keresztirányból érkező sugárzás által keletkezett árnyékolást is figyelembe véve egy effektív abszorber felülettel határozzák meg a kollektor teljesítményét. A geometriai modellem kalkulációja során számításba vettem a fent említetteket.

## 2.3. Geometriai modell

A különböző típusú kollektorok hasznos felület meghatározásához egy geometriai modellre van szükség, melyet ez alkalommal szeretnék ismertetni. A mért adatok alapján a visszaverődő sugárzás jelentősen függ a beérkező sugárzás szögétől. A visszaverődés mértéke leginkább akkor elhanyagolhatóan kicsi, ha a napsugárzás és a felület normál vektora által bezárt szög kicsi. Az összszugárzás, mely a Föld felszínét eléri a globális sugárzás, valamint a szórt és visszaverődő sugárzás összegéből adódik, ennek értéke Magyarországon kb. 1000-900 W/m<sup>2</sup>.

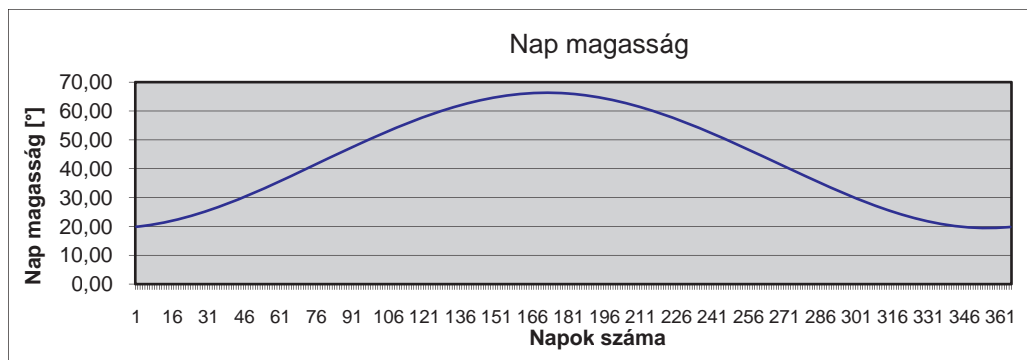
A hosszú hullámú sugárzás számos felületen elnyelődhet, mint például egy kollektoron, vagy akár a légkör

felsőhatárán. (A napfény intenzitásának mértéke csökken minden olyan esetben, ha elnyelődik, vagy visszaverődik, emiatt a légkör felsőhatárán az intenzitás  $1365 \text{ W/m}^2$ , mely az úgynevezett napállandó értéke.)

A deklinációs szög (Nap szöghelyzete a szoláris déln, vagyis amikor a Nap a helyi délkörön van, az egyenlítő síkjához viszonyítva) függvényében megállá-

píthatjuk, hogy adott időpontban és helyen (szélességi és hosszúsági fok tekintetében) a Nap milyen szögben látszik a horizonthoz viszonyítva.

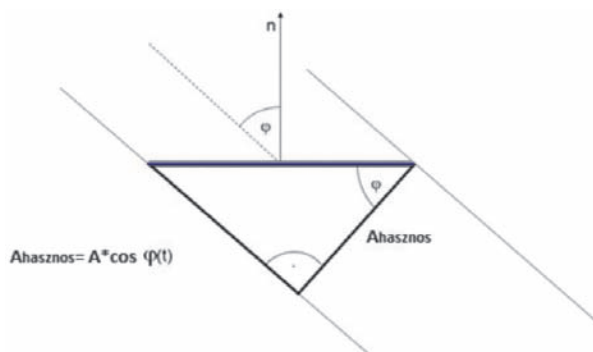
Ennek tekintetében Magyarországon a napmagassága egész évben az alábbi grafikonon látható (3. ábra).



3. ábra. Nap magassága Magyarországon, egész évre vonatkoztatva

### 2.3.1. Sík kollektor geometriai modellje

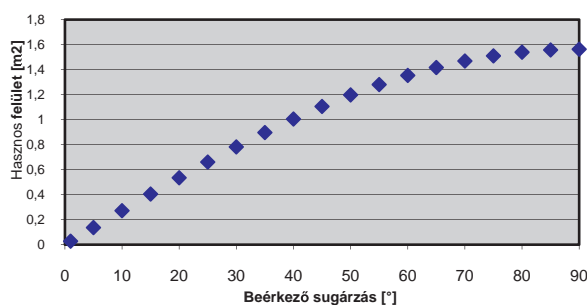
A kollektor felület normálisának és a beérkező sugárzás szögének ( $\varphi$ ) ismeretében meghatározhatjuk egy sík-kollektor hasznos felületét, ami a kollektor felületnek a sugárzási irányra merőleges vetülete. Ezt a  $\varphi$  szög koszinuszának és a kollektor felületnek a szorzataként kapjuk meg (4. ábra).



4. ábra. Sík-kollektor hasznos felületének meghatározása a nap bármely szakában

Ahol,  $A_{hasznos}$  a hasznos felületet,  $A$  pedig a kollektor teljes abszorber felületét jelzi. A fentiek szerint a következő diagramon látható, a sík-kollektor hasznos felülete a beeső sugárzásnak a felület normálisával bezárt szögének függvényeként (5. ábra).

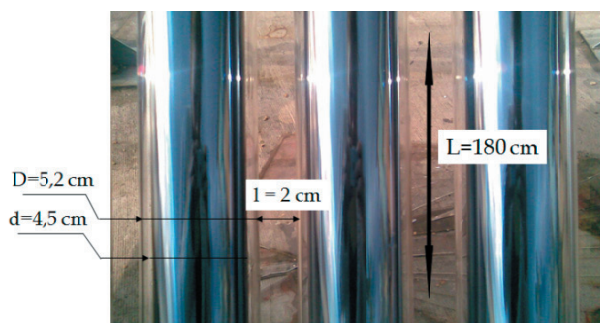
### Sík-kollektor hasznos felülete



5. ábra. Sík-kollektor hasznos felülete

### 2.3.2. Vákuumsöves kollektor geometriai modellje

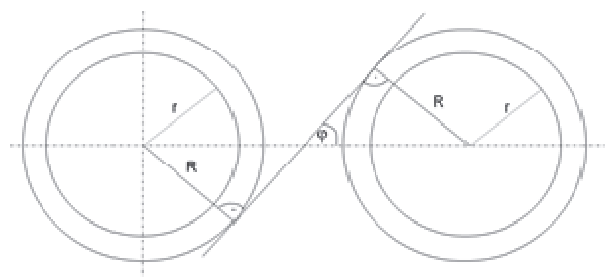
A vákuumső belsejében egy másik ső helyezkedik el, a két ső között fél centiméteres rés van. Ez utóbbi ső speciális bevonata abszorberként funkcionál. A különböző szögekből érkező sugárzás esetén a párhuzamosan elhelyezett csövek részben fedik egymást. A csövek árnyékolása csak bizonyos beérkező sugárzási irányok esetén lép fel, hiszen például amikor a sugárzás a felületre merőlegesen érkezik, a csövek nem fedik egymást.



6. ábra. A vákuumsöves kollektor paraméterei

A fenti képen láthatóak a vákuumsöves kollektor adatai, illetve a csövek szerkezete.

Az árnyékolás kezdetének és befejezésének meghatározása céljából fontos volt először azt a határszöget ( $\varphi_h$ ) megtalálni, mely esetén a csövek még éppen nem árnyékolják egymást (7. ábra).



7. ábra. Vákuumsövek keresztmetszete

A fenti ábra szerint a határszöget könnyedén meghatározhatjuk, az alábbi összefüggéssel,

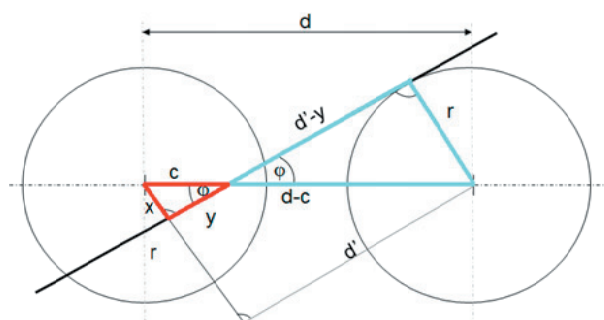
$$\varphi_h = \text{Arc sin} \left( \frac{d_{\text{belső}}}{D_{\text{távolság}}} \right)$$

ahol  $d_{\text{belső}}$  a belső cső átmérője,  $D_{\text{távolság}}$  pedig a két cső tengelye közötti távolságot jelenti. A fenti kalkuláció segítségével definiálhatjuk azt a szöveget, mely esetében az árnyékolódás megkezdődik.

$$\varphi > \varphi_h$$

Tehát amennyiben a határszögnél nagyobb szöveget zár be a beeső sugárzás kollektor normálisával, a kollektor hasznos felülete kisebb lesz, mint abban az esetben, mikor az összes csövet egyenlő mértékben éri el a sugárzás.

A fedés mértékének értelmezéséhez egy újabb számítást kellett végre hajtani, az alábbi 8. ábra alapján.



8. ábra. Árnyékolás

Az ábra alapján az alábbi egyenletrendszer írható fel:

$$(1) \cos(\varphi) = \frac{d'}{D'}$$

$$(2) \text{tg}(\varphi) = \frac{r}{d' \cdot y}$$

$$(3) \text{tg}(\varphi) = \frac{x}{y}$$

Ahol  $d$  a vákuumsövek középpontjának távolsága,  $\varphi$  a sugárzásnak a felület síkjával bezárt szöge.

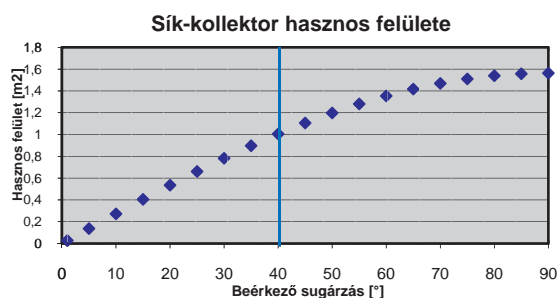
Az egyenletrendszer megoldásával a letakart területet kaptuk meg. A képen jól látható, hogy a pirossal jelölt kis háromszög  $x$  oldalát és a cső sugarát összegezve az adott szögben érkező besugárzás által fellépő árnyék mértéke egy csőre nézve az alábbi képlet alapján állapítható meg:

$$A_{\text{árnyék}} = (d_i - (r + x)) \cdot L$$

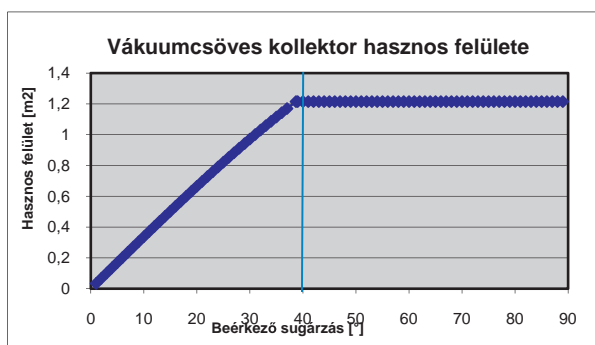
Így a hasznos felület:

$$A_h = (2r + (n - 1) \cdot (r + x)) \cdot L$$

Számításaim szerint a vákuumsöves kollektor aktív felülete az alábbi grafikon szerint alakul (9/b. ábra). A két kollektor típus összehasonlítása a grafikonokon egyértelműen látszik, hogy eltérő a működésük. Az eredmény azt mutatja, hogy ugyanannál a beérkező sugárzásnál a vákuumsöves kollektor már eléri a hasznos felületének teljes nagyságát, ellentétben a sík-kollektorral, amely ennél a szögnél még növekvő tendenciát mutat.



9/a. ábra. Sík-kollektor hasznos felülete különböző besugárzási szögek esetén



9/b. ábra. Vákuumsöves kollektor hasznos felülete különböző beesési szögek esetén

### 3. KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyik fontos tényező a napenergia hasznosító eszközök teljesítmény növelésében, a visszaverődő sugárzás mértékének csökkentése, melyre a különböző kivitelezésű kollektor adhat megoldást. A mért eredmények alapján egy geometriai modell került kifejlesztésre, mely meghatározza a sík-és vákuumsöves kollektorok esetében egyaránt a hasznos felület nagyságát különböző szögekben.

Arra a következtetésre jutottam a fenti grafikonok alapján, hogy a két kollektor típus ugyanazon szög alatt érkező sugárzásnál eltérő aktív felülettel dolgozik, ebből következően a teljesítményük is eltérő.

### 4. TOVÁBBI CÉLOK

A kutatási munkám következő célja elemezni és meghatározni a beérkező sugárzás reflektált összetevőjét különböző beesési szögek esetén. Ennek és a hasznos felületnek az ismeretében már a kollektorba bejutó teljesítmény meghatározható.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás az OTKA K84150 projekt támogatásával keretében készült.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] E. ZAMBOLIN, D. DEL COL: Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, *Solar Energy*, 84, 1382–1396, 2010
- [2] W. EISENMANN, K. VAJEN, H. ACKERMANN: On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat-plate solar collectors, *Solar Energy*, 76, 381–387, 2004
- [3] SERES I., FARKAS I., KOCSÁNY I., WEIHS P.: Comparison of PV modules under different spectral conditions, *Mechanical Engineering Letters*, Vol.3., pp. 81-89, Gödöllő, 2009
- [4] H. P. GARG, R. KUMAR: Studies on semi-cylindrical solar tunnel dryers: estimation of solar irradiance, *Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3, pp. 393-400, 1998
- [5] L.J. SHAH, S. FURBO: Vertical evacuated tubular collectors utilizing solar radiation from all directions, *Applied Energy*, 78, 371–395, 2004
- [6] LART S.: Development of a thermal performance test for an Integrated Collector-Storage Solar Water-Heating System, pp. 90–100, PhD thesis, Division of Mechanical Engineering and Energy Studies, University of Wales Cardiff, 2000