



MŰSZAKI TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Napkollektorok üzemi jellemzőinek modellezése

Doktori (PhD) értekezés

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 Intézet - Gépszerkeztan Tanszék

társtémavezető: Prof. Dr. Keszthelyi- Szabó Gábor DSc

SZTE Mérnöki Kar

Folyamatmérnöki Intézet

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	3
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	7
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
2.1. Történeti áttekintés	9
2.2. A napkollektorok	11
2.3. A napsugárzás fizikai és csillagászati jellemzői	18
2.4. Az abszorberfelület bevonata	20
2.5. Napkollektorokban alkalmazott folyadékok	22
2.6. Napkollektoros rendszerek kapcsolása és szabályozása	22
2.7. A napkollektorok hatásfoka	24
2.8. A hatásfokmérés módszerei	29
2.9. A hatásfok mérésére vonatkozó szabványok áttekintése	30
2.10. Éghajlati sajátosságok	33
2.11. Tranziens jelenségek	34
2.12. Elemző értékelés	35
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	37
3.1. Üzemi körülmények közt végzett hatásfokmérés	37
3.2. A kísérleti berendezés ismertetése, a részegységek jellemzése	41
3.3. A mérési módszer ismertetése	49
3.4. Az adatfeldolgozás és a mérési hibák javításának módszere, a mérési eredmények értékelése	51
4. EREDMÉNYEK	61
4.1. Matematikai modell a kimaradó impulzusjelek okozta hibák javítására	61
4.2. Matematikai módszer a felhőmentes időszakok azonosítására	62
4.3. A kollektorok átlaghőmérsékletének változtatása	66
4.4. A hatásfok változása soros kapcsolásban	68
4.5. Eltérő csövezésű kollektorok párhuzamos kapcsolása	68
4.6. Tranziens jelenségek vizsgálata	70
4.7. Hatásfok-függvények meghatározása	74
4.8. A kollektorok üzemeltetése polikarbonát borítással és borítás nélkül	81
4.9. Ismert hatásfokú kollektor vizsgálata	83
4.10. A várható éves hatásfok és éves energiahozam	84
4.11. Kollektor matematikai modellezése	91
4.12. Új tudományos eredmények	97
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	101
6. ÖSSZEFOGLALÁS	103
7. SUMMARY	104
8. MELLÉKLETEK	105

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

\dot{m}	a folyadék tömegárama a kollektorban	[kg s ⁻¹]
\dot{V}	a folyadék térfogatárama a kollektorban	[m ³ s ⁻¹]
ρ	a folyadék sűrűsége	[kg m ⁻³]
Φ	a kollektor hőteljesítménye	[W]
c	a kollektorban keringtetett folyadék fajhője	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]
t_{be}	a kollektorban keringtetett folyadék belépési hőmérséklete	[°C]
T_i	a kollektorban keringtetett folyadék belépési hőmérséklete	[K]
t_{ki}	a kollektorban keringtetett folyadék kilépési hőmérséklete	[°C]
T_o	a kollektorban keringtetett folyadék kilépési hőmérséklete	[K]
t_{koll}	kollektor átlaghőmérséklet	[°C]
φ	a kollektor fajlagos hőteljesítménye	[W m ⁻²]
A	a kollektor felülete	[m ²]
G, I_b	a napsugárzás intenzitása	[W m ⁻²]
G_i	a napsugárzás intenzitásának i-edik időpillanatban számolt értéke	[Wm ⁻²]
I_i	az adatgyűjtő által az i-edik időpillanatban mentett áramerősség érték	[mA]
η	a kollektor hatásfoka	
φ_v	a kollektor összes, fajlagos vesztesége	[Wm ⁻²]
T_{ot}	állandósult kollektor kilépő folyadék hőmérséklet	[K]
T_{oi}	kezdeti kollektor kilépő folyadék hőmérséklet	[K]
T_a	a környező levegő hőmérséklete	[K]
T_i	kollektor belépő hőmérséklet	[K]
T_b	a kollektor abszorberének átlagos hőmérséklete	[K]
T_f	átlagos kollektor hőmérsékletet	[K]
t_{ot}	állandósult kollektor kilépő folyadék hőmérséklet	[°C]
t_{oi}	kezdeti kollektor kilépő folyadék hőmérséklet	[°C]
t_a	a környező levegő hőmérséklete	[°C]
t_i	kollektor belépő hőmérséklet	[°C]
t_b	a kollektor abszorberének átlagos hőmérséklete	[°C]
t_f	átlagos kollektor hőmérsékletet	[°C]
η_0	környezeti hőmérsékleten mérhető kollektor hatásfok, optikai hatásfok	
X, T^*	hatásfok paraméter, redukált hőmérséklet-különbség	[m ² KW ⁻¹]

a_1, k_1	a hatásfok-függvény elsőrendű tagjának együtthatója	
a_2, k_2	a hatásfok-függvény másodrendű tagjának együtthatója	
U_L'	a teljes hőveszteség tényező	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
k_{pk}	a kamrás polikarbonát lemez hőátbocsátási tényezője	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
Δt_{\log}	logaritmikus hőmérséklet-különbség	$[^\circ\text{C}]$
\dot{V}_i	a térfogatáram-adatsor i-edik eleme	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]; [\text{l min}^{-1}]$
\dot{V}_i'	a korrigált térfogatáram-adatsor i-edik eleme	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]; [\text{l min}^{-1}]$
\dot{V}_i''	a korrigált és simított térfogatáram-adatsor i-edik eleme	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]; [\text{l min}^{-1}]$
G_i	a napsugárzás intenzitásának i-edik időpillanatban számolt értéke	$[\text{Wm}^{-2}]$
I_i	az adatgyűjtő által az i-edik időpillanatban mentett áramerősség érték	$[\text{mA}]$
ΔG_{fajl}	a napsugárzás intenzitásának fajlagos megváltozása	$[\text{Wm}^{-2}]$
T_a	környezeti hőmérséklet	$[\text{K}]$
F_R	kollektor hőelvonási tényező	
$t_{\text{imp } i}$	a térfogatáram-mérőn a napi i-edik átfolyt liter után regisztrált impulzus időpontja	
$t_{\text{imp } 10 i}$	a térfogatáram-mérőn a napi i-edik átfolyt 10 literes mennyiség után regisztrált impulzus időpontja	
Δt_{imp}	két impulzus közti időkülönbség	
c_i	a térfogatáram-mérőn a napi i-edik impulzusig átfolyt teljes mennyiség	$[\text{l}]$
Q_a	éves energiahozam	$[\text{MJ}]$
q_a	fajlagos éves energiahozam	$[\text{MJm}^{-2}]$
$\bar{\eta}_a$	éves átlagos hatásfok	$[\%]$
q_{Ga}	a kollektort ért fajlagos globális napsugárzásból származó éves hőmennyiség	$[\text{MJm}^{-2}]$
$\bar{\eta}_{l0}$	pillanatnyi hatásfok értékek átlaga	$[\%]$

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A megújuló energiaforrást hasznosító eszközök alkalmazásával a nem megújuló energiaforrások kimerülésének ideje kitolható. A rendszer telepítésekor az egyéni szempontok szerint érthető módon annak várható megtérülési ideje mondható az egyik fő kérdésnek. Ezen megtérülési idő jelenleg igen hosszúnak mondható, ez nagyban gátolja ezen rendszerek széleskörű elterjedését. A megtérülési időt a rendszer ára mellett többek közt a kollektorok hatásfok-függvénye határozza meg, így ennek pontos ismerete elsődleges. Kis sorozatban gyártott kollektorok hatásfok-függvényének laboratóriumban végzett meghatározása jelentős mértékben emelheti a fejlesztési költségeket. Ezen esetben szükséges lehet egy olyan, üzemi körülmények közt végzett méréseken alapuló hatásfok-függvény meghatározás, mely a laboratóriumi vizsgálatokhoz képest kisebb költséget jelent. Ennek segítségével ezen kollektorok ára alacsonyabb, megtérülési idejük rövidebb lehet.

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán 2005 óta foglalkozom napkollektorok tervezésével. Saját fejlesztésű kollektorunkat a gyártó céggel közösen több ipari kiállításon is bemutattuk, és kereskedelmi forgalomban is kapható. Ezen kísérleteink két-két kollektor összehasonlító vizsgálatait végeztük el. A kollektorok egy-egy paraméterükben különböztek, így ezen műszaki paraméter változtatásának hatása vizsgálható volt. Nem tudtunk azonban pontos hatásfok értékeket mérni, erre az akkor használt berendezés alkalmatlan volt. Külföldi kutatóintézetek foglalkoznak kollektorok laboratóriumi vizsgálataival, ezekre dolgozatomban kitérek. Ezen vizsgálatok költségei jelentős áremelkedést eredményeztek volna az alacsony darabszámban gyártott kollektorok esetében. Felmerült tehát annak igénye, hogy a hatásfok-függvények meghatározása saját fejlesztésű mérőberendezéssel elvégezhető legyen. Ezen mérésekkel alacsony költségek mellett meghatározhatóak a kisszériában gyártott kollektorok hatásfok-függvényei, valamint a természetes körülmények közt végzett mérések lehetőséget biztosítanak a kollektorok üzemi jelenségeinek tanulmányozására is, így vizsgálhatom például az időjárás változására tett reakciókat, illetve a vízelvétel okozta tranzienst jelenségeket. Ezen vizsgálatok hátránya a laboratóriumi mérésekhez képest az, hogy az időjárási körülményektől függően regisztrálhatóak a megfelelő mért eredmények, így a vizsgálat a laboratóriumi mérésekhez képest hosszabb időt vesz igénybe. Szükséges annak vizsgálata, hogy az időjárás változása hogyan befolyásolja a mérés pontosságát.

A kollektorok hatásfok-függvényének természetes körülmények közt történő kimérésére vonatkozó előírásokat szabványok tartalmazzák, ilyen szabvány az ISO/WD 9806-1, az FSEC Standard 101-09, az ASHRAE 93-77. Ezen szabványok előírásokat tartalmaznak az alkalmazott mérőeszközök pontosságára vonatkozóan, de a berendezést illetően részletes információk nem elérhetők.

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

Korlátot jelenthet az időjárás. A napsugárzás intenzitásának ingadozása pontatlanná teheti a méréseket. Igazolni kívánom ezen zavaró tényezőt. Meg kívánom határozni a pontos, számszerű kritériumokat a mérésre alkalmas időszakok napsugárzási intenzitását illetően.

Le kívánom ellenőrizni a kísérletekhez szükséges saját mérőberendezés műszereinek megfelelő működését, különös tekintettel az impulzus alapú térfogatáram-mérésre. Az esetleges kimaradó impulzusok a térfogatáram és így a hatásfok mérést pontatlanná tehetik. Egy-egy regisztrált érték pontatlansága kis számú impulzuskimaradás esetén üzemi körülmények közt nem okoz lényeges hibát, nincs nagy hatása például a havi energiahozam meghatározására. A hatásfok

mérése során viszont ezek a hibák problémát okoznak, ezért ki akarok fejleszteni egy eljárást a térfogatáram-görbék automatikus javítására.

Meg kívánom határozni a hatásfok görbe felvételének módszerét a mérési adatbázis megfelelő szűrésével.

Vizsgálni kívánom a kollektorokban lejátszódó tranziens jelenségeket. Ezen jelenségeket egy kollektoros rendszernél az időjárás változása, illetve a vízelvétel okozhatja. A kísérleti berendezés működését szintén befolyásolja az időjárás, a vízelvételt a berendezés hűtésének szabályzásával tudom szimulálni. A megfigyelések hasznosak lehetnek kollektoros rendszerek szabályzásának megtervezésénél.

Meg kívánom határozni a vizsgált kollektorok várható éves energiahozamát különböző üzemi paraméterek függvényében. Egyszerű eljárást kívánok létrehozni ismert éghajlat mellett a kollektorok optimális éves hőmérséklet dinamikájának előzetes meghatározására.

Kísérleteimhez szükséges egy új mérőberendezés és adatgyűjtő rendszer összeállítása, valamint a mérési eredmények kidolgozásakor kifejlesztett algoritmusoknak megfelelő automatizálása. A kutatásaimhoz készítendő berendezéssel tetszőleges típusú kollektor vizsgálható, és felvehető azok hatásfok függvénye.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az alábbiakban a napkollektorok fejlődési történetének áttekintésével, fajtáival, hatások függvényeivel, valamint a hatások mérésével foglalkozó szakirodalmat tekintem át.

2.1. Történeti áttekintés

A szoláris energiát hasznosító napkollektorok alkalmazásának ötlete az ókorból származik. Kr. e. 212-ben Arkhimédész gyújtotta fel a támadó római hajókat, egy több száz polírozott pajzsból álló konkáv fémtükörrel, melyek mind ugyanarra a hajóra verték vissza a fényt. Athanasius Kircher a XVII. században kísérleteket végzett egy farakás távolról történő felgyújtására annak vizsgálatára, hogy van-e valamilyen tudományos alapja Arkhimédész történetének, de nem maradt fenn írás az elért eredményeiről (MEINEL A. B., MEINEL M., 1976, ANDERSON, 1977).

Az első modern napkollektort a svájci természettudós, de Saussure (1740-1799) építette meg. Őt üvegtárcsát úgy helyezett el, hogy az egyes üveglapokat légtér választotta el egymástól. Az üvegrétegek közötti levegő jelentősen fokozta a hatásfokot. Ezzel a módszerrel, de Saussure 87,5 °C-ot ért el. Modern síkkollektoraink ezen az elven működnek (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.).

A 19. században Amerikában kevés természetes energiaforrás volt elérhető (beleértve a fát is az alföldeken). Sokan nagyméretű fémtartályokat használtak a víz természetes melegítéséhez, a napenergiát felhasználva (<http://www.thesolarguide.com/solar-thermal/history.aspx> - 2013.01.20.).

A 18. század folyamán vas, réz és egyéb fémek olvasztására képes szoláris kemencéket terveztek polírozott vas, üveglencsék és tükrök felhasználásával. A kemencéket egész Európában és a Közel-Keleten is használták. Az Antoine Lavoisier francia tudós által tervezett kemence elérte a figyelemreméltó 1750 °C-os hőmérsékletet. A kemencéhez egy 1,32 méteres lencsét, valamint egy 0,2 méteres második lencsét használtak ezen hőmérséklet eléréséhez, mely az ember által létrehozott legmagasabb hőmérséklet volt még száz éven keresztül. (KALOGIROU, 2004)

Sir John Herschel, a neves csillagász, hasonló forró dobozt készített, amelyet dél-afrikai csillagászati expedíciója során sütési-főzési célokra használt. Nem sokkal később Samuel Langley kimutatta, hogy több rétegű üvegorrítással ellátott forró dobozban mélyen a fagypon alatti külső hőmérsékleten, hó borította vidéken is 100 °C fölötti hőmérsékletet lehet elérni derült, napsütéses időszakokban. A forródoboz-kísérletek jelentősége abban állt, hogy technikai alapjául szolgáltak a későbbi, melegvíz előállítására alkalmas sík napkollektoroknak. (UJFALUDI, 2003.)

1891-ben Clarence Kemp baltimore-i vállalkozó elsőként jegyeztetett be szabadalmat szoláris kalorikus rendszerre. Kemp sikeresen adta el találmányát Amerika keleti partjának házaiba. 1897-ben a kaliforniai Pasadenában a házak egyharmada szoláris vízfűtéssel rendelkezett (<http://www.thesolarguide.com/solar-thermal/history.aspx> - 2013.01.20.). Kemp találmánya három tartályból állt, amelyek egy vázban, üveg alatt voltak elhelyezve a háztető déli oldalán. A tartályokat hideg vízzel töltötték fel a vízvezetékéből, majd miután a Nap felmelegítette, fürdésre vagy egyéb célokra használták. A vázszerkezetbe foglalással Kemp némileg szigetelte a tartályokat, így a szél nem hűtötte azokat. A mai modern passzív szoláris vízmelegítők Kemp tervén alapszanak (http://www.invent.org/hall_of_fame/438.html - 2013.01.20.).

A későbbiekben Charles Haskell tökéletesítette a készüléket. A hengeres tartályok helyett, – amelyekben a vastag vízréteg lassan melegedett át – nagyobb felületű, lapos tartályt alkalmazott, ezáltal a víz felmelegedése jóval gyorsabbá vált. Ez az új változat – a tökéletesített Climax

vízmelegítő – rendkívül népszerű lett. A századforduló táján készült kaliforniai városképeken (Los Angelesben és Pasadenában) látható, hogy az épületek jelentős hányadában használták a tetőre szerelt vízmelegítő készüléket. (UJFALUDI, 2003.)

1901-ben A. G. Eneas telepített egy 10 m átmérőjű fókuszáló kollektort, ami egy szivattyút üzemeltetett egy kaliforniai farmon. A berendezés egy nagy, fordított, nyitott esernyőszerű építményt tartalmazott, megfelelő szögben ahhoz, hogy a napsugárzást hasznosítsa az 1788 tükörrel, amelyeket a belső felületen helyeztek el. A berendezés a napsugárzást a fókuszpontba koncentráltta, ide helyezték a kazánt, ami gőzt fejlesztett, és így egy hagyományos kompaund gőzgépet és egy centrifugálszivattyút hajtott meg. (MEINEL A. B., MEINEL M., 1976, KREITH, KREIDER, 1978)

1902 és 1908 között Kaliforniában H.E. Willsie és John Boyle 4,4 kW és 15 kW teljesítményű naperőgépet készített. A.G. Aneas egy 11 kW teljesítményű gépet szerkesztett, és ugyanebben az évben készült el Pasadenában a híres napenergiával működő gőztermelő is (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.)

1909 vízválasztó év volt a napenergia hőhasznosítása szempontjából. William Bailey szabadalmaztatta a szoláris vízmelegítő rendszerét, ami elválasztotta a tároló tartályt attól az elemtől, ami a Nap hőjét hasznosította. Ez lehetővé tette nagyobb mennyiségű víz tárolását az otthonokban. 1918-ig Bailey több, mint 4000-et adott el éjjel-nappali szoláris vízmelegítőiből (<http://www.thesolarguide.com/solar-thermal/history.aspx> - 2013.01.20.).

Frank Shuman és C.V. Boys 1911-ben Philadelphiában egy naperőmű modellt készítettek, amelyet két évvel később az egyiptomi Meadiban, Kairótól 16 km-re megvalósítottak. Ez a 73,6 kW teljesítményű berendezés öntözési célokat szolgált. Egy 4200 m² területű gyapotültetvényt látott el a Nílusból szivattyúzott vízzel. (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.)

A jénai Zeiss művekben 1921-ben dr. Rudolf Straubel professzor napkemencét épített, amelyben a vasrúd néhány másodperc alatt megolvadt (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.).

Az első nagy építés, melynek során szolár-vízmelegítőket szereltek fel, 1939-ben Floridában volt (tervező: Edison Court). A kollektorok acélból készültek kettős üvegezéssel, a lapos, ovális formájú vezetékek vörösrézből. A víz néhány óra alatt 83°C-ra melegedett fel. Ezeket az első, sorozatban gyártott kollektorokat a Pan American Solar Heater Inc. cég készítette (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.).

1954-ben az UNESCO konferenciát szervezett New Delhiben, Indiában, Symposium on Wind Power and Solar Energy címmel (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001486/148636eb.pdf> - 2013.01.20., <http://www.gses.it/pub/in-programma.php> - 2013.01.20.).

1955 októberében az arizónai Phoenixben alakult meg a napenergia alkalmazásával foglalkozók egyesülete, az AFASE (Association For Applied Solar Energy), egyidejűleg tudományos ülészakot és a napenergiát hasznosító berendezéseket bemutató kiállítást is tartottak. Harminchat országból mintegy ezer tudós vett részt a rendezvényen, a kiállításon 80 szolárberendezést mutattak be (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.).

1945 és 1959 között építették a legfontosabb, úttörő jellegű szolárházakat. Az első európai szolárházak 1956-ban épültek, különös módon abban az országban, ahol viszonylag keveset süt a nap, Angliában (Gardner és Curtis). Liverpool közelében, Wallaseyben 1961-ben építette fel A.E. Morgan építész a napenergiával fűtött "St. George" iskolát (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.).

Az ENSZ által szervezett UN Conference on New Energy Sources konferenciát 1961 augusztusában tartották Rómában az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) központjában (<http://www.gses.it/pub/in-programma.php> - 2013.01.20.).

Párizsban 1973 júliusában "Le soleil au service de l'homme" címmel megtartott UNESCO konferencia pontosan tájékoztatott arról, hogyan áll a napenergia hasznosításának helyzete a világban. 60 országból 800 tudós vett részt a rendezvényen. Megállapítható, hogy ez az UNESCO konferencia néhány hónappal az olajválság előtt, a napenergia-kutatás egyik korszakát zárta le. 1973-ig a napenergia problémája a tudósok kutatási területe volt, de azóta mindinkább a világ közvéleményének érdeklődési körébe került (<http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> - 2012.11.03.).

Válaszként a késői hetvenes évek energiaválságára 1981-ben az ENSZ új és megújuló energiaforrások (NRSE) témájában konferenciát rendezett Nairobiban (<http://www.gses.it/pub/in-programma.php> - 2013.01.20.).

1992-ben az ENSZ UNCED – UN Conference on Environment and Development – konferenciáját rendezte meg Rio de Janeiroban az energia és a környezet viszonyáról, a klímaváltozásról. (<http://www.gses.it/pub/in-programma.php> - 2013.01.20.).

Az iparosodott országok 1997-ben az ENSZ kiotói klímavédelmi konferenciáján az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentésére vállaltak kötelezettséget a protokoll aláírásával. A dokumentum 2012-ig a környezetszennyező gázok 5,2 százalékos csökkentését írja elő az 1990-es szinthez képest. A Kiotói Egyezmény tekinthető az első lépésnek az emberiség tevékenysége által okozott üvegház hatás megfékezése felé (http://zoldtech.hu/cikkek/20050214kioto_tortenet - 2013.01.20).

Látható, hogy a napenergia hasznosítás gondolata nem újkeletű. A fosszilis energiaforrások kimerüléséhez közeledve a figyelem újra a megújuló energiaforrások – köztük a napenergia – minél gazdaságosabb hasznosítása felé fordul. A napkollektorok és a hozzájuk kapcsolódó rendszerek fejlődése jelentős. Egyre több kis cég foglalkozik telepítés mellett saját fejlesztésű napkollektorok gyártásával is. Elsődleges fontosságú, hogy ezek a kollektorok megfelelő hatásfokkal rendelkezzenek, lehetővé téve a teljes rendszer minél jobb működését és minél gyorsabb megtérülését.

A kollektorok hatásfok-függvényeinek felvételével számos intézet foglalkozik, ilyenek például a freiburgi Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme és az Institut für Solartechnik SPF svájci intézet Rapperswilben. Egy kis sorozatban készülő kollektor laboratóriumi bevizsgálása növelné a berendezés árát.

2.2. A napkollektorok

A napkollektorok olyan eszközök, amelyek a Nap elektromágneses sugárzását hővé alakítják, és azt a hőhordozó közegnek adják át. A felmelegített hőhordozó közeg szerint a napkollektorok lehetnek:

- folyadékkal üzemelő kollektorok,
- légkollektorok,
- kettős funkciójú napkollektorok.

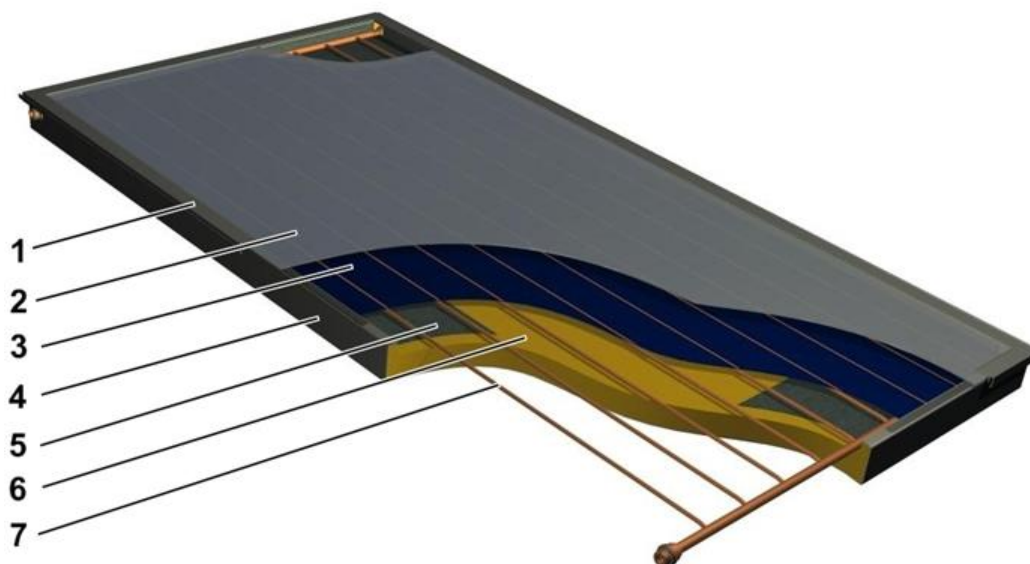
Kialakításuk szerint a napkollektorok a következő csoportokba sorolhatók (2.1. táblázat):

2.1. táblázat: Napkollektorok csoportosítása kialakításuk szerint (KALOGIROU, 2004)

Mozgatás	Kollektor típus	Abszorber típus	Koncentrációs arány	Hőmérséklet-tartomány [°C]
Rögzített	síkkollektor (flat plate collector – FPC)	sík	1	30-80
	vákuumcsöves kollektor (evacuated tube collector – ETC)	sík	1	50-200
	összetett parabolikus kollektor (compound parabolic collector – CPC)	csöves	1-5	60-240
Egytengelyű mozgatás	lineáris Fresnel reflektor (linear Fresnel reflector – LFR)	csöves	10-40	60-250
	parabolavályús kollektor (parabolic trough collector – PTC)	csöves	15-45	60-300
	hengeres vályús kollektor (cylindrical trough collector – CTC)	csöves	10-50	60-300
Kéttengelyű mozgatás	parabolatányéros reflektor (parabolic dish reflector – PDR)	pont	100-1000	100-500
	heliostat kollektormező (heliostat field collector – HFC)	pont	100-1500	150-2000

Síkkollektorok

A síkkollektorok közt találhatóak meg a legegyszerűbb szerkezeti felépítésű kollektorok. Általános szerkezeti kialakításukat a 2.1. ábra mutatja:



2.1. ábra: A síkkollektorok általános felépítése (http://solen.hu/dir_termek/hewalex-ks-2000-tlp.html - 2013.01.20.)

- 1 – alumínium keret, 2 – nagy tisztaságú üvegborítás, 3 – elnyelőlemez, 4 – kollektor ház, 5 – üvegszál szövet, 6 – közetgyapot szigetelés, 7 – osztógyűjtőcső

Az átlátszó borítás jellemzően szolárüveg. Feladata a környező levegőnek átadott hőmennyiség csökkentése, így a jobb hatásfok elérése magas kollektor hőmérséklet esetén. Amennyiben a kollektorban elérni kívánt hőmérséklet nem haladja meg a környező levegő hőmérsékletét, a

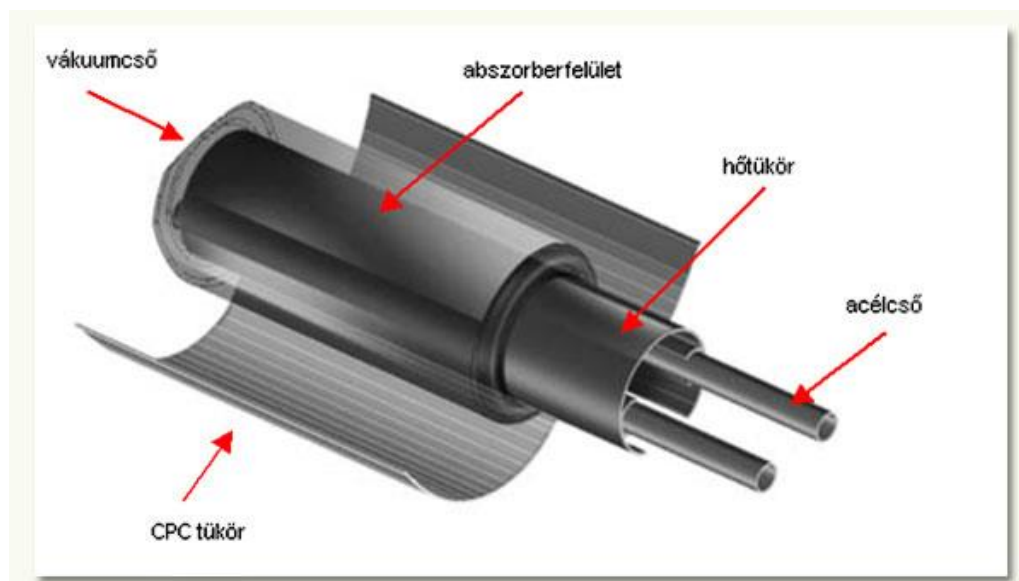
borítás a hatásfokot csökkenti, mivel nem ereszt át teljes mértékben a napsugárzást. Ilyen esetben alacsony költséggel gyártható, fedés nélküli kollektorokat alkalmaznak. Fedés nélküli kollektorok hatásfokát H. Soltau vizsgálta (SOLTAU, 1992). Tipikus alkalmazási területük úszómedencék vizének fűtése. Napkollektoros medencefűtéseket vizsgált B. MOLINEAUX (Molineaux et al., 1994) és F. Winter (WINTER, 1994).

A kereskedelmi forgalomban elérhető ablaküvegek fényáteresztő képessége merőleges beesési szög esetén 0,85-0,87. Direkt sugárzás esetén a fényáteresztés értéke jelentősen változik a beesési szög függvényében (ASHRAE, 1995). Átlátszó szigeteléseket H. Schweiger tesztelt (SCHWEIGER, 1997).

M. Khoukhi, S. Maruyama és S. Sakai napkollektorok pillanatnyi hatásfokát vizsgálta, összehasonlítva a kollektor borításként alkalmazott normál üveg és csökkentett vastartalmú üveg hatását (KHOUKHI et al., 2007). Megállapították, hogy a csökkentett vastartalmú üveggel magasabb kollektor hatásfok érhető el.

Vákuumcsöves kollektorok

A vákuumcsöves kollektorok csővezetékét egy vákuumcsőben helyezik el, mely hőszigetelésként a síkkollektoroknál lényegesen jobban csökkenti a felmelegített folyadéktól a szabad levegő felé távozó hőáram nagyságát. A korszerű típusoknál a szelektív festékbevonat a vákuumcső belső falának külső, vákuum oldali felületén van.



2.2. ábra: Vákuumcsöves kollektor (http://www.alternativ-energia.eu/u_vakuumcsoves_napkollektor.php - 2013.01.20.)

A jobb hőszigetelés miatt alacsony levegőhőmérséklet esetén a vákuumcsöves kollektorok hatásfoka lényegesen jobb a síkkollektorokénál, a henger alakú üvegfelület gyengébb fényáteresztése miatt viszont magasabb külső hőmérséklet vagy alacsony kollektorhőmérséklet esetén a vákuumcsöves kollektor teljesítménye az alacsonyabb. Megállapítható, hogy a szelektív bevonat és a hatásos szigetelés kombinációja jó hatásfokot eredményezhet magas kollektorhőmérsékleten (ASHRAE, 1995).

Termoszifonos kollektor

A termoszifonos rendszer működési elve a felmelegedő folyadék sűrűségének csökkenésén alapul. A kollektor által felmelegített folyadék a sűrűség csökkenésének következtében felfelé áramlik, a kollektor felett elhelyezett hőcserélőbe, melyben lehül, ezáltal a megnövekedett sűrűség miatt lefelé áramlik, a kollektor alsó részébe.

Heat-pipe kollektor

A fűtőcsövek gyűjtik össze a nap melegét (hőenergiát), azt átadják a hőgyűjtő idomban lévő folyadéknak. A napkollektorban így megmelegedett folyadékot vezetjük a melegvíz tároló hőcserélő csőkigyózába, vagy kombinált rendszer esetén egy puffertartályba, ahonnan lehülve, energiáját a használati víznek, fűtésrendszernek átadva tér vissza. (<http://www.napkollektorspecial.hu/cikk/vakuumsöves-napkollektor-heat-pipe-u-pipe> - 2014.12.15.)

Koncentrátoros kollektorok

A CPC-tükör (compound parabolic collector) a beesési szög széles tartományában a napsugárzást az abszorberre veri vissza. Jelentőségükre a napenergia hasznosításban Winston mutatott rá (WINSTON et al., 1974), az optikai és hőtani tulajdonságaik meghatározására A. Rabl publikált módszert (RABL, 1976).

Az ICPC (integrated compound parabolic collector) olyan vákuumsöves kollektor, melyen a vákuumső alsó részére fényvisszaverő anyagot rögzítettek (WINSTON et al., 1999). Magas hőmérséklet eléréséhez napkövető ICPC-t fejlesztettek ki (GRASS et al., 2000).

A koncentrátoros kollektorok főleg erőművekben használatosak. Parabolavályú (3. ábra), vagy parabolatányér (4. ábra) alakú tükrös felületet hoznak létre, melynek fókuszpontjába vagy vályú esetén fókuszvonalába helyezik el a kollektort. A berendezés megfelelő működésének feltétele az, hogy a napsugárzás a parabola tengelyvonalában érje az eszközt, így a napjárásnak megfelelően a tányért vagy vályút mozgatni kell. Parabolatányér esetén kétirányú mozgatás szükséges. A koncentrátoros kollektorokkal, jóval magasabb hőmérséklet érhető el, mint a sík- vagy vákuumsöves kollektorokkal.

A parabolavályú tájolását az határozza meg, hogy nyáron vagy télen nagyobb az energiaigény (KALOGIROU, 1991). Az észak-déli tájolású a teljes év alatt kissé több energiát tud gyűjteni, mint a kelet-nyugati, de az észak-déli teljesítménye főleg nyáron magas, télen sokkal kisebb (KALOGIROU, 2004).

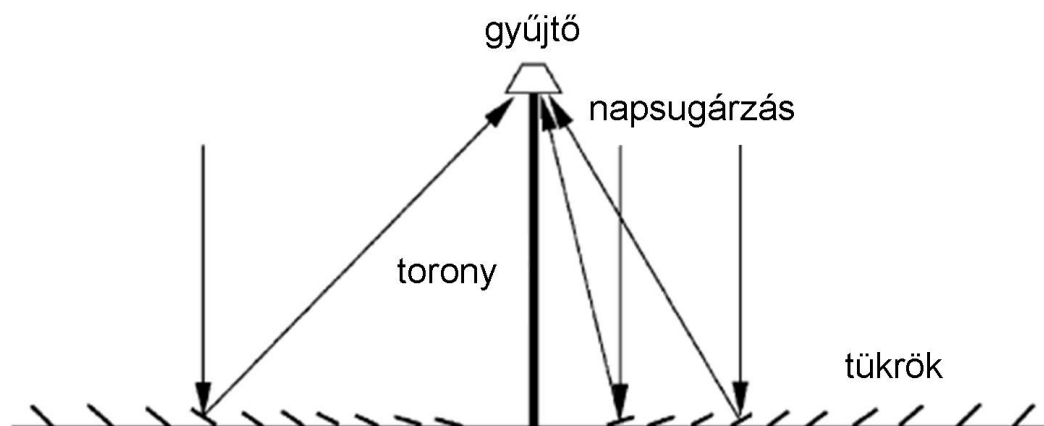


2.3. ábra: A Skyfuel parabolavályús kollektorai, Daggett, Kalifornia
(<http://www.solarthermalmagazine.com/2010/11/28/innovative-approach-to-concentrating-and-collecting-solar-energy-wins-industry-award/> - 2013.01.20.)



2.4. ábra: A Magyar Villamos Művek Zrt. 10 kW-os, parabolatányéros kollektora Csepelen
(<http://csepel.info/?p=6296> - 2012.01.20.)

Az LFR-kollektor (linear Fresnel reflector) egyenes tükörszalagokból áll, amelyek a fényt egy rögzített toronyra koncentrálnak. A parabolavályúval ellentétben a tükröknek nem kell parabola alakú felületet alkotniuk, az abszorber nagy méretű lehet (KALOGIROU, 2004). Lefelé irányított abszorberrel szerelt LFR-mező látható a 2.5. ábrán:



2.5. ábra: LFR kollektormező (Kalogirou, 2004)

Az LFR kollektormezőket vizsgálta Nelson (NELSON et al., 1975), Collares-Pereira (COLLARES-PEREIRA, 1979), Kritchman (KRITCHMAN et al., 1989), valamint Lorenzo és Minano (LORENZO, MINANO, 1986).

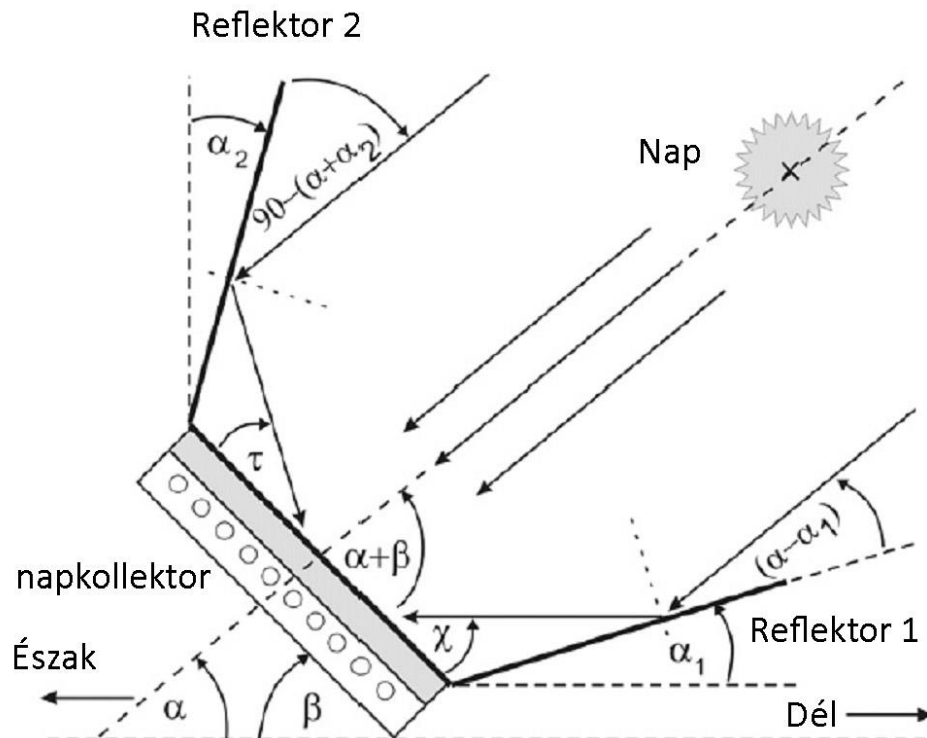
A parabolatányéros kollektorok (PDR – parabolic dish reflector) a napsugárzást a fókuszpontra koncentrálnak, és kéttengelyes mozgással követik a nap járását. Parabolatányéros kollektorokkal 1500 °C is elérhető (KALOGIROU, 2004).

A koncentrátoros kollektorokat széleskörűen alkalmazzák, főleg gőzturbinák, zárt körfolyamatú hőlégmotorok működtetésére villamos energia fejlesztés céljából, valamint gőzfejlesztésre, nagy teljesítményű gőzsugar hűtőgépek ellátására.

Reflektorokkal ellátott síkkollektorok

Különleges megoldásnak tekinthető a reflektorok alkalmazása, mely a síkkollektorok hatásfokát növelheti. Az ezekkel szerelt síkkollektor a koncentrátoros kollektorok közé is sorolható, mivel az abszorber felület kisebb a besugárzott felületnél.

Az elvi felépítést a 2.6. ábra mutatja. Kostic és Pavlovic meghatározta a reflektorok optimális pozícióit napi periódus során és a teljes éves időszakra (KOSTIC, 2012). Megállapítható, hogy az alumínium reflektorok jelentősen, a nyári időszakban 35-44 %-kal növelik a kollektorokból nyerhető hőenergiát. A kollektorok ilyen módszerrel történő hatásfoknövelését először Tabor javasolta (TABOR, 1966), később Seitel (SEITEL, 1975) és Perers (PERERS et al., 1994), valamint Garg és Hrishikesan (GARG, HRISHIKESAN, 1998) végzett tanulmányokat ezen a téren.



2.6. ábra: Reflektorokkal ellátott síkkollektor felépítése (KOSTIC, PAVLOVIC 2012)

Légkollektorok

A levegő alacsony hőkapacitása, valamint az abszorber és a levegő közti alacsony hőátadási tényező miatt feltételezhető, hogy egy légkollektor hatásfoka alacsony a folyadékkal üzemelőkéhez képest (LÖF et al., 1987). Mindemellett előnyös az egyszerű felépítés, a fagymentesség, valamint az, hogy a meleg levegő közvetlenül használható légterek fűtésére (AMARA et al., 2004).

Felépítésüket tekintve a légkollektorok három különböző csoportba sorolhatók: a légáramlás az abszorber fölött, alatt, vagy mindkét oldalán történhet (ONG, 1995).

A légkollektorok két fő alkalmazása a fűtés és a különböző termények szárítása. X. Q. Zhai a fűtést vizsgálta tetőkollektorokkal (ZHAI et al., 2005), légkollektorokkal végzett szárítási kísérleteket C. Tiris (TIRIS et al., 1996). M. A. Karim három különböző típusú, szárításhoz használt légkollektor hatásfokát vizsgálta. Megállapította, hogy kettős légelvezetés alkalmazásával a légkollektorok hatásfoka növelhető (KARIM, HAWLANDER, 2003). Hasonló eredményre jutott Macedo (MACEDO, ALTEMANI, 1978), Ong (ONG, 1982) és Close (CLOSE, 1963). Romano G., Kocsis L. és Farkas I. moduláris rendszerű légkollektorral végzett szárítási kísérleteket almával és répával (ROMANO, KOCSIS, FARKAS, 2009). Seres I., Farkas I., Mészáros Cs. és Géczy-Víg P. napenergiával működő szárítóberendezés légáramlását és hatásfokát elemezte (SERES I. et al., 2009).

Kettős funkciójú napkollektor

A kombinált, kettős funkciójú napkollektorok folyadék és levegő melegítésére is alkalmasak. Az abszorberlemez alsó részére csöveket forrasztottak a folyadék áramoltatására, a felső részén hosszanti, L-alakú bordák helyezkednek el, ezek közt történik a levegő be- és elvezetése. Ezen kollektorok tervezésének célja az éves energiahozam növelése. Jinwei Ma vizsgálatai szerint ezen kollektorok hatásfoka vízmelegítés során elérheti az 50 %-ot, valamint 41 és 55 % közt

változik levegő melegítése során a környezeti feltételek és a levegő térfogatáramának függvényében (MA et al., 2011).

Kutatásom témája nem terjed ki a légkollektorok vizsgálatára, a kísérleteimben folyadékkal üzemeltetett kollektorokat vizsgáltam, az értekezésben a továbbiakban kizárólag ilyen kollektorokkal foglalkozom.

2.3. A napsugárzás fizikai és csillagászati jellemzői

A Naptól a Földre érkező sugárzás közvetlenül hő és villamosenergia célra hasznosítható. Ha a nap sugárzása valamilyen anyag felületét éri, akkor a sugárzási energia egy része azon abszorbeálódik. Az abszorpció összetett folyamat, és az abszorber anyagoktól függően változó, hogy melyik hatás érvényesül (szóródás, foton abszorpció, elektron felgyorsulás, többszörös ütközés), de az eredmény vége, hogy a sugárzó energia hővé alakul (BARÓTFI, 2004).

A napkollektor hatásfokának értelmezésekor a besugárzott energiamennyiségre vonatkoztatjuk a kollektorból nyerhető hőmennyiséget. Ennek megfelelően szükséges áttekinteni a napsugárzás fizikai és csillagászati jellemzőit.

Napállandó

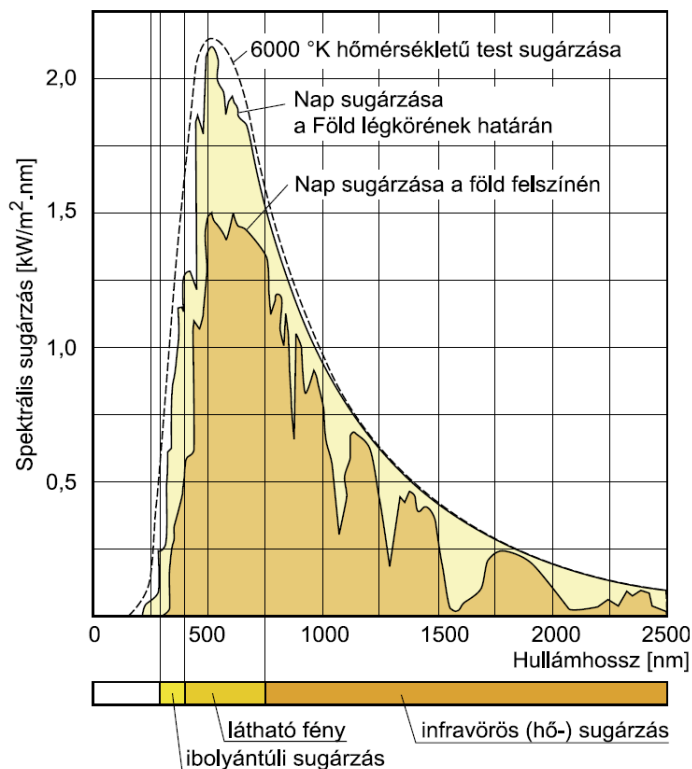
A napállandó az a szám, amely megadja, hogy átlagos Nap-Föld távolságnál, a légkör külső határán, a napsugárzásra merőleges 1 m^2 felületen 1 másodperc alatt mennyi napsugárzási energia halad át. A napállandó-mérések 1827-ben kezdődtek. A múlt század végéig kapott eredmények eléggé eltérnek egymástól, mert sem a mérőműszerek nem voltak elég megbízhatóak, sem a felszínen végzett méréseknek a légkör külső határára való átszámításához nem voltak megfelelő eljárások. Századunkban már megbízhatóbb műszerekkel mértek, így a fő hibaforrás a légkör hatásának kiküszöbölése volt mindaddig, amíg a műszerek nem kerültek rakétákra vagy műholdakra. Természetesen az elmúlt évtizedekben a mérés technika is fejlődött, így ma már a műholdas mérések 0,3%-nál kisebb abszolút hibával szolgáltatják a napállandót. (<http://www.eng.unideb.hu/userdir/csiha/MESZ/Energetikai%20alapismeretek/Szakirodalom/Cikky%20B1jtem%20A9ny/F%20B6ld-1%20A9gk%20B6r%20energiam%20A9rlege.htm> – 2014.12.18.)

Teljesítménysűrűség-spektrum

A napsugárzás a légkör határán az alábbi hullámhossz- tartományokra osztható:

- 0,29-0,4 μm : ibolyántúli sugárzás, részaránya 9%,
- 0,4-0,75 μm : látható fény tartománya, részaránya 49%,
- 0,75 μm -tól: nem látható infravörös (hő-) sugárzás, részaránya 42% (NAPLOPÓ Kft., 2006).

A 2.7. ábra a napsugárzás spektrális megoszlását mutatja:



2.7. ábra: A napsugárzás spektrális megoszlása (NAPLOPÓ Kft., 2006)

A légkör a földfelszínre érkező napsugárzás kiszámítható gyengülését okozza. Ennél jelentősebb, és az időjárás szeszélyeitől függ a felhőzet és a köd gyengítő hatása. Magyarország az északi mérsékelt övben, az északi szélesség $45,8^\circ$ és $48,6^\circ$ között található. A napsütéses órák száma megközelítőleg évi 2100 óra, a vízszintes felületre érkező napsugárzás hőmennyisége $\sim 1300 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ évente. A napsugárzás csúcserőteke nyáron, a déli órákban, derült, tiszta égbolt esetén eléri, esetenként meghaladja az $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ értéket (NAPLOPÓ Kft., 2006).

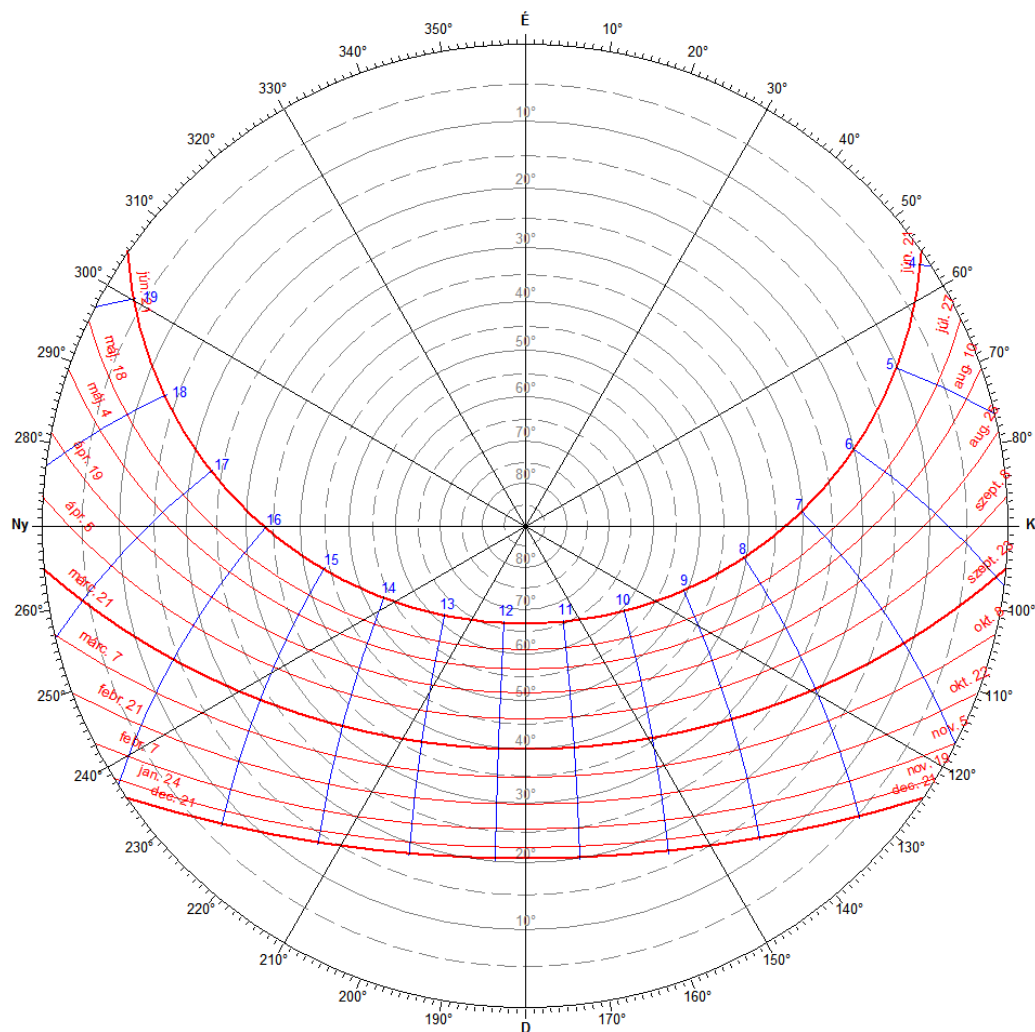
A Naptól kisugárzott energia közvetlen (direkt) és szórt (diffúz) sugárzás formájában érkezik a földfelszínre. A közvetlen sugárzás egyenesvonalú pályán érkezik a Naptól és minden fényre jellemző tulajdonsággal bír. A szórt, határozott irány nélküli sugárzást a légkör részecskéin és a felhőzeten végbemenő szóródás okozza. A közvetlen és a szórt sugárzás összegét teljes (globális) sugárzásnak nevezzük. (NAPLOPÓ Kft., 2006)

Magyarországon a szórt sugárzás részaránya jelentős, meghaladja az 50%-ot (NAPLOPÓ Kft., 2006).

Nappálya-diagram

A Nap helyzetét jellemző napmagasság és azimut értékeket diagramokban is szokás ábrázolni. Az ilyen ún. nappályadiagramok szemléletesen mutatják a Nap járását, és alkalmasak pl. árnyékmaszkok meghatározására is. (NAPLOPÓ Kft., 2006)

A nappályadiagramok egy földrajzi helyre vonatkoznak. Szeged nappálya-diagramját a 2.8. ábra mutatja:



2.8. ábra: Szeged nappálya-diagramja (Forrás: Bausoft Sunarch nappálya szerkesztő program)

A diagram használatakor ügyelni kell arra, hogy az időbeosztás a valós csillagászati időt mutassa, a nyári időszámítás miatti eltérést figyelembe kell venni (NAPLOPÓ Kft., 2006).

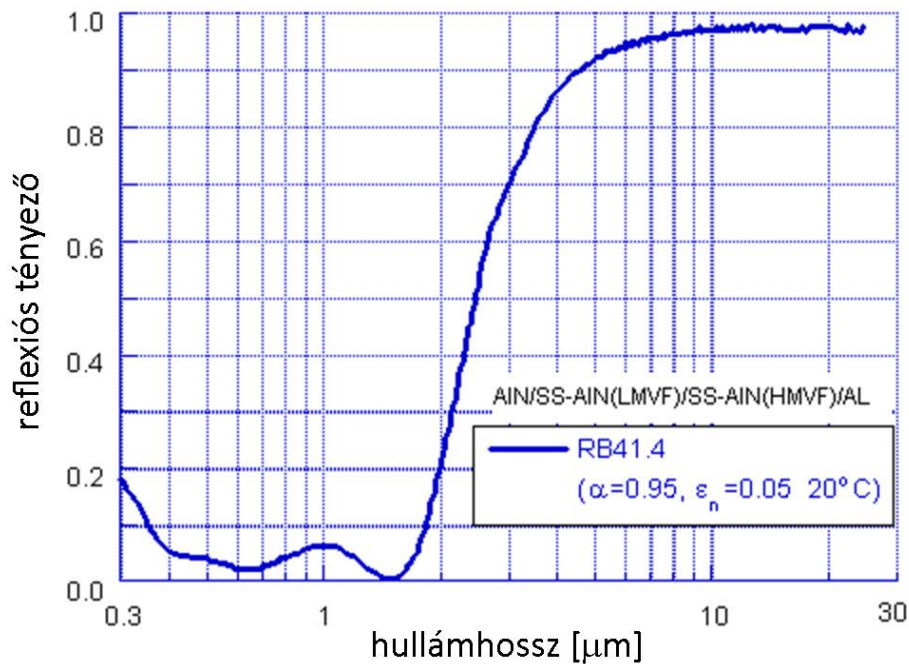
A 360°-os szögbeosztás az égtájaknak megfelelően adja meg a Nap helyzetét, a 0-90°-os tartományú függőleges szögskálán a napmagasságot olvashatjuk le. A piros vonalak a jelzett dátumnak megfelelő napjárást mutatják, a kék vonalak csillagászati időt jelentenek.

2.4. Az abszorberfelület bevonata

A kollektorok abszorber lemezét olyan bevonattal kell ellátni, amely elősegíti a minél nagyobb hőelnyelést. Az abszorber lemez hőelnyelő képessége a rövidhullámú szoláris sugárzás tekintetében a lemez bevonatának színétől és jellegétől, valamint a sugárzás beesési szögétől függ. A bevonat lehet fekete festék, fekete krómozás, illetve szelektív bevonat. Utóbbi a legelterjedtebb, ezzel érhető el a legjobb hatásfok. Színes bevonatokat esztétikai okokból alkalmaznak (TRIPANAGNOSTOPULOS et al., 2000; WAZWAZ et al., 2002; OREL et al., 2002).

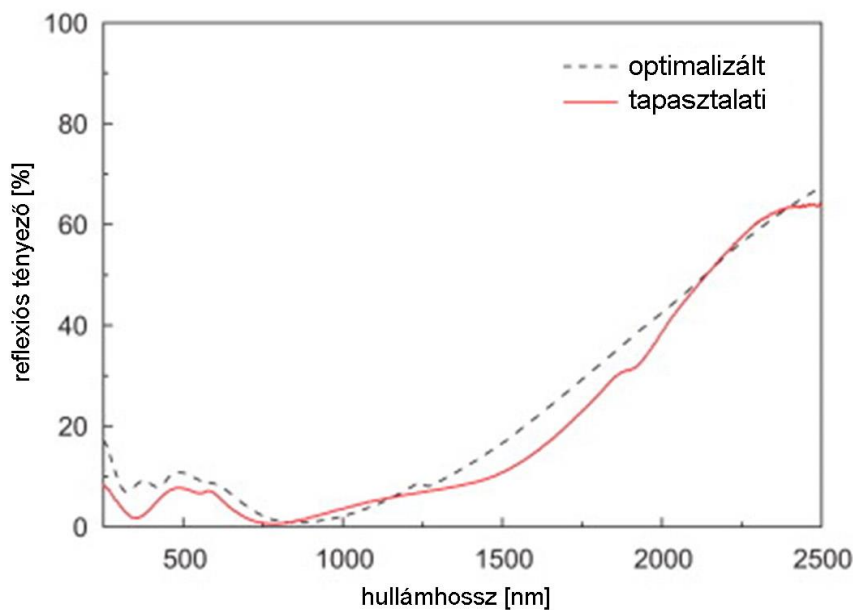
A kollektorok a napsugárzás látható, rövid hullámhosszú, 380-720 nm-es tartományát hasznosítják. A szelektív bevonat a rövid hullámhosszú sugárzást átengedi, de a környezet felé, hosszú hullámon visszasugárzott energiát nem, ezáltal jelentősen csökkenti a kollektor sugárzásos hőveszteségét. A hosszuhullámú sugárzás nagyobb mértékű visszaverődése jól

megfigyelhető a Sydney Egyetem saját fejlesztésű szelektív bevonatának mérési eredményein (2.9. ábra).



2.9. ábra: Szelektív bevonat reflexiós tényezője a hullámhossz függvényében (<http://www.physics.usyd.edu.au/app/solar/research/sputtering.html> - 2012.11.04.)

A reflexiós tényező az egyes bevonat-típusoknál eltérő értékű lehet, de jellegükben megegyező. A 2.10. ábra a $\text{Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}/\text{Ti}_{0,25}\text{Al}_{0,75}\text{N}/\text{AlN}$ bevonat modellezési és mérési eredményét mutatja.



2.10. ábra: $\text{Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}/\text{Ti}_{0,25}\text{Al}_{0,75}\text{N}/\text{AlN}$ szelektív bevonat reflexiós spektruma (DU et. al., 2011)

Alacsony költséggel, mechanikusan gyártható szelektív felületet kísérletezett ki P. Konttinen (KONTTINEN et al., 2003).

2.5. Napkollektorokban alkalmazott folyadékok

A folyadékkal üzemelő napkollektorok esetében a folyadék lehet víz, amennyiben fagyveszély nem áll fenn. Medencefűtés esetén a kollektor folyadéka maga a medence vize. A magas hőmérsékleten fellépő vízkövesedés rontja a hőátadást a kollektor és a folyadék közt.

Fagyveszély esetén használati melegvíz előállításánál a kollektoros rendszerben propilén glikol oldatot kell alkalmazni. Ez az etilén glikollal ellentétben nem mérgező, így a kollektoros rendszer hőcserélőjének sérülésekor a használati melegvízbe keveredve sem veszélyes. Az alkalmazott vizes oldat fajlagos hőkapacitása $3,4\text{--}3,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Különlegesnek számít a nanofolyadékok alkalmazása. A nanofolyadékok fémes vagy nemfémes szemcsékből és bázisfolyadékból álló szuszpenziók (CHOI, 1995). Jellemzőjük a bizonyítottan magasabb hővezetési tényező, viszkozitás és hőátadási tényező. A szilárd fémek hővezetőképessége nagyobb, mint a bázisként alkalmazott folyadékoké (Bejan, Kraus 2003). A szuszpendált fémet tartalmazó folyadékok várhatóan jelentősen jobb hővezetők, mint a tiszta folyadékok (CHOI, 1998). Masuda $4,3 \text{ m/m\% Al}_2\text{O}_3$ és TiO_2 nanorészecskéket diszpergált folyadékban, és kimutatta a hővezetési tényező 32 %-os emelkedését (MASUDA et al., 1993). Grimm $0,5\text{--}10 \text{ m/m\%}$ -nyi, $1\text{--}80 \text{ nm}$ -es alumínium szemcséket diszpergált folyadékban, és a hővezetési tényező 100 %-os növekedését érte el (GRIMM, 1993). E. Natarajan megállapította, hogy a folyadékban szén nanocsöveket (CNT) alkalmazva növelhető a hagyományos szoláris vízmelegítők hatásfoka (NATARAJAN, SATHISH, 2009). Tooraj Yousefi az Al_2O_3 -víz nanofolyadék síkkollektorok hatásfokára gyakorolt befolyását vizsgálva megállapította, hogy $0,2 \text{ m/m\%}$ -os arány esetén a hatásfok 28,3 %-kal növekedett (YOUSEFI et al., 2012). Az alkalmazott szemcseméret 15 nm .

2.6. Napkollektoros rendszerek kapcsolása és szabályozása

Ezen alfejezetben áttekintem a kollektoros rendszerek térfogatáram szerinti csoportosítását, a napkollektorok kapcsolásait, a szoláris rendszerek szabályozását és a kollektoros rendszerek jósági fokát.

Térfogatáram

A napkollektoros rendszereket a jellemző térfogatáram nagysága szerint két csoportra osztjuk:

- magas térfogatáramú (high-flow) rendszerek,
- alacsony térfogatáramú (low-flow) rendszerek.

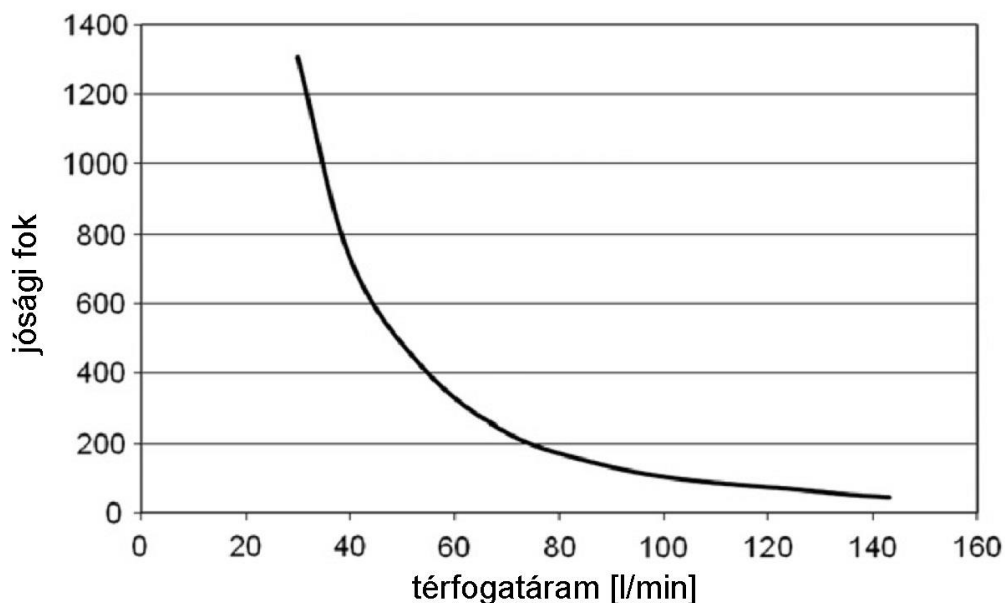
A leggyakrabban alkalmazott high-flow elv alkalmazásának a célja, hogy a napkollektorok hőmérséklete csak a szükséges minimális értékkel legyen magasabb a fűtött tároló hőmérsékleténél, így biztosítható legyen a minél magasabb napkollektor hatásfok. Megfelelő napsugárzás esetén a napkollektorok és a tároló hőmérséklete fokozatosan, együtt emelkedik, a kollektorok a teljes tároló térfogatot homogén módon fűtik. A hőmérséklet különbség a napkollektor körüli előremenő és visszatérő ág között jellemzően $10\text{--}15^\circ\text{C}$.

High-flow térfogatáramú rendszerek alkalmazásakor a napkollektorok a tároló alsó részét fűtik, így a tároló hőmérséklete viszonylag egyenletesen emelkedik. Ha „high flow” alkalmazása esetén szeretnénk a tartály rétegtöltését megvalósítani, tehát először a tartálynak csak a felső részét felfűteni, akkor ehhez több belső hőcserélőt, és motoros váltószelepet kell alkalmaznunk.

A low-flow elv alkalmazása esetén viszont az a cél, hogy a kollektorokban a hőhordozó közeg egy átfolyás alatt felmelegedjen annyira, hogy ezzel a tároló felső részében előállítható legyen a kívánt felhasználási hőmérséklet. A „low flow” ezért mindig együtt jár a tárolón belüli rétegtöltés megvalósításával. A hőmérséklet különbség a napkollektor köri előremenő és visszatérő ág között jellemzően 25-30°C (<http://www.aeroflex.hu/napkollektor-terfogataramok> - 2012.11.03.).

A napkollektoros rendszerek működését illetően meg kell említeni azok jósági fokát vagy másképpen COP – coefficient of power – értékét. Ez a viszonyszám a rendszer energiahozamának az üzemeltetéséhez szükséges energia-befektetésre vonatkoztatott értéke.

L. N. Cunio medencefűtésre használt, fedés nélküli kollektorok jósági fokát vizsgálta. Megállapította, hogy a térfogatáram csökkentésével nagy mértékben növelhető a jósági fok értéke (2.11. ábra).



2.11. ábra: Medencefűtésre használt, fedés nélküli kollektorok jósági foka (COP) a keringtetett folyadék térfogatáramának függvényében (CUNIO, 2012)

A jósági fok nem hatásfok. Felírható a teljes rendszer hatásfoka, mely a kollektorok és a rendszer egyéb veszteségeit is magában foglalja. Nagyméretű kollektoros rendszereknél jelentős lehet a csőhálózat hővesztesége. Lényeges ennek pontos meghatározása annak érdekében, hogy a kollektoros rendszer képes legyen biztosítani a szükséges hőmennyiséget. Ali M. El-Nashar 1064, egyenként 1,75 m² abszorber felületű kollektorból álló sótanító rendszeren vizsgálta ezt a veszteséget (EL-NASHAR, 2006).

Napkollektor kapcsolások

A napkollektorokat soros, párhuzamos és vegyes kapcsolásban lehet üzemeltetni.

A soros kapcsolat előnye az, hogy a sorban minden egyes kollektor azonos térfogatáramon üzemel. További előnyként jelentkezhet a nagyobb áramlási sebesség miatt a kollektorok csöveinek belső falán kialakuló jobb hőátadás.

Párhuzamos kapcsolás esetén a rendszer nyomásellenállása, így a keringtetés energiaszükséglete alacsonyabb. Problémaként jelentkezhet az egyes ágak közti egyenlőtlen térfogatáram-eloszlás.

Szabályozás

A szoláris szabályzók feladata a napkollektoros rendszerek energiatermelésének szabályozása a rendszerhez csatlakoztatott hőérzékelők és jeladók nyújtotta információk alapján. Feladata a rendszer meghatározott feltételek melletti indítása, leállítása és üzem közben a keringtető szivattyú fordulatszámának változtatása. Emellett rendelkezhet adatgyűjtő funkcióval is. Összetettebb szabályzást tesz szükségessé, ha a kollektormező több funkcióval is rendelkezik (a használati melegvíz előállítása mellett pl. fűtésrészegítéssel, medence fűtéssel stb.).

Fontos, hogy a szabályzó az energiatermelési funkciók mellett a rendszervédelmi funkciókat is maradéktalanul ellássa. Ilyen a maximális hőmérséklet korlátozása, amely főleg vákuumsöves kollektoroknál lényeges. Amennyiben a kollektorok hőmérséklete eléri a beállított maximális értéket, a szabályzó leállítja a szivattyú működését, megakadályozva a szolártartály vizének túlzott mértékű felmelegedését és így a forrázási baleseteket.

2.7. A napkollektorok hatásfoka

Az energiaátalakító rendszerek hatásfoka általában a rendszerből kinyerhető, átalakított energiamennyiség a belépő energiamennyiségre vonatkoztatva, vagy pedig pillanatnyi hatásfok értelmezés szerint a kinyerhető, átalakított teljesítmény a belépő teljesítményre vonatkoztatva. Napkollektorok esetében a hatásfok a felmelegített közeg által a kollektorból kinyert hőáramnak és a kollektorra érkező globális napsugárzás intenzitásából adódó belépő hőáramnak a hányadosa. A hatásfok a kollektoron keresztül áramoltatott folyadék belépő és kilépő hőmérsékletével, fajhőjével, térfogatáramával és a napsugárzás intenzitásával meghatározható:

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho, \quad (2.1)$$

$$\Phi = c \cdot \dot{m} \cdot (t_{ki} - t_{be}), \quad (2.2)$$

$$\varphi = \frac{\Phi}{A}, \quad (2.3)$$

$$\eta = \frac{\varphi}{G}. \quad (2.4)$$

A kollektor fajlagos, egységnyi felületre vonatkoztatott összes veszteségével felírva:

$$\eta = \frac{G - \varphi_v}{G} = 1 - \frac{\varphi_v}{G}. \quad (2.5)$$

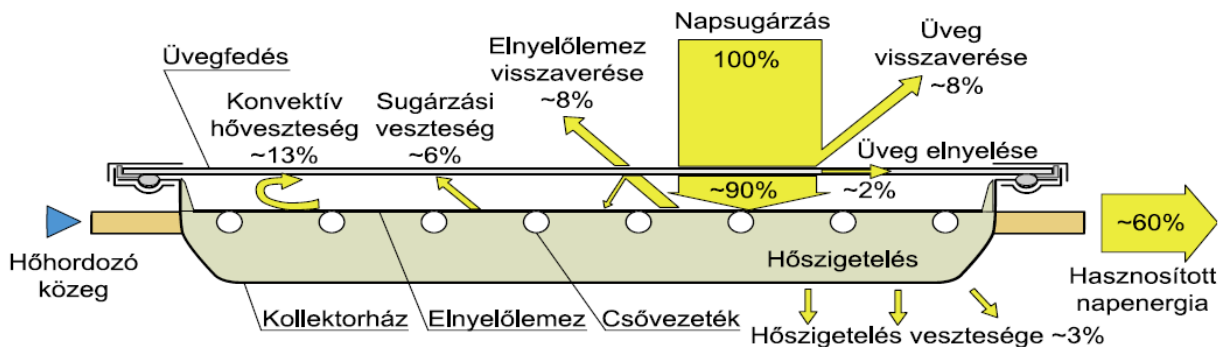
A kollektor hatásfoka nem állandó érték, több üzemi tényező függvényében változik. Az éves átlagos hatásfok az év folyamán a kollektorból kinyerhető fajlagos hőmennyiség (a fajlagos éves energiahozam) és a kollektort ért fajlagos globális napsugárzásból származó éves hőmennyiség hányadosa:

$$\bar{\eta}_a = \frac{q_a}{q_{Ga}}. \quad (2.6)$$

Valós üzemi körülmények közt a kollektorok abszorberének sugárzásos, konduktív és konvektív hővesztesége van. Ezen veszteségek értéke 0, mikor a folyadék hőmérséklete megegyezik a

környezeti hőmérséklettel. A veszteségek növekednek, ahogy a folyadék hőmérséklete emelkedik (NIJEGODOROV, JAIN 1996).

A jellemző veszteségeket a 2.12. ábra mutatja:

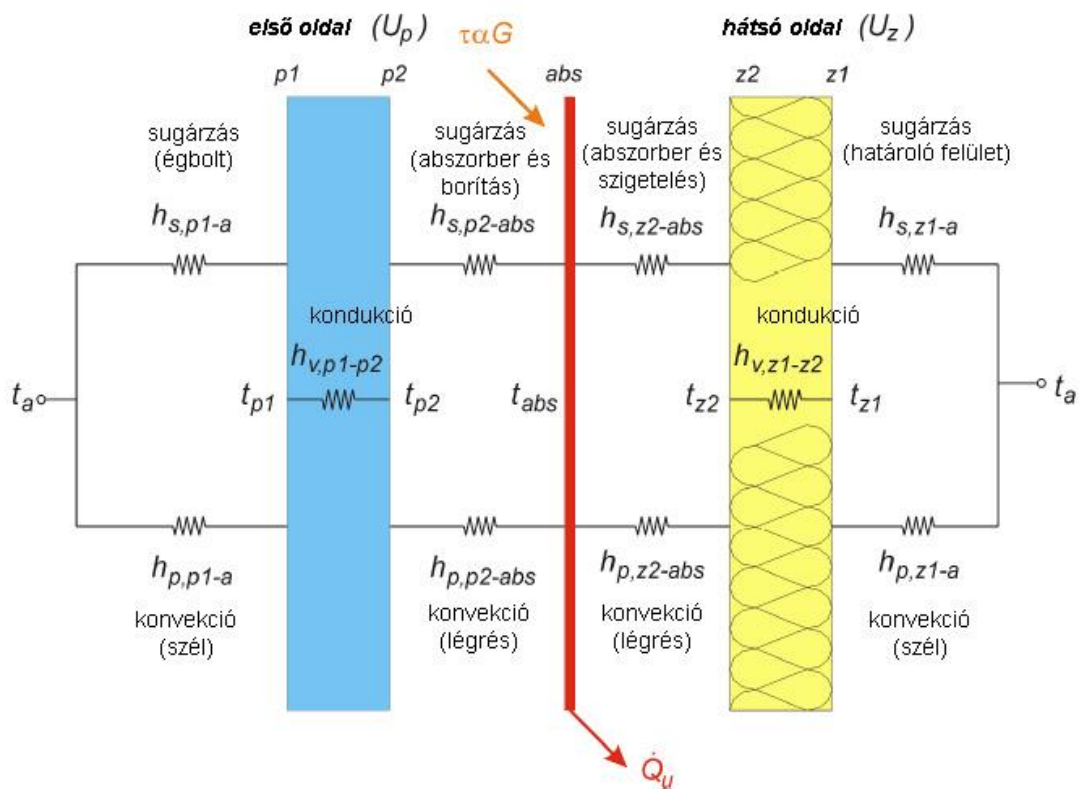


2.12. ábra: Napkollektorok jellemző veszteségei (NAPLOPÓ KFT., 2006)

A 2.12. ábra jól mutatja, hogy a hatásfokot befolyásolja:

- a kollektor borításának fényáteresztő és hőszigetelő képessége,
- az abszorber felület hőelnyelő képessége,
- az abszorber felület és a csővezeték geometriai kialakítása és kapcsolata,
- a kollektorház hőszigetelése.

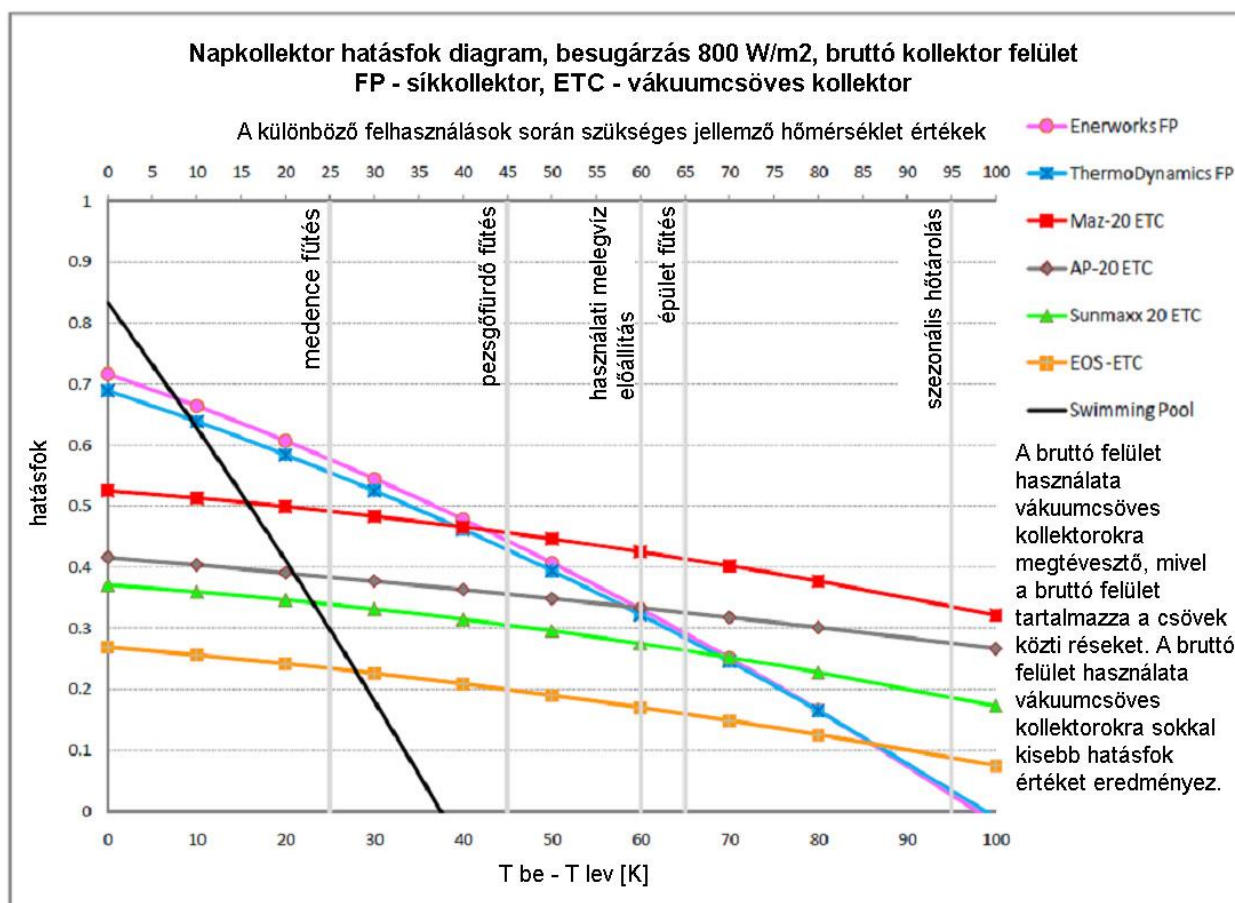
Fenti veszteségek alapján megalkotható a síkkollektor hőáramhálózatos modellje (2.13. ábra):



2.13. ábra: Síkkollektor hőáramhálózatos modellje (MATUSKA et. al., 2009)

Az abszorber lemez és a csővezés geometriai kialakításának a hatásfokra gyakorolt befolyását kutatta W. Eisenmann. Megalkotott egy segédletet síkkollektorok tervezéséhez. Nomogramja segítségével lehetséges maximalizálni a kollektor anyagtartalmára vonatkoztatott hatásfokot (EISENMANN et. al., 2004).

Minél nagyobb a hőmérséklet-különbség a kollektor és a környező levegő közt, a levegőnek átadott hőáram annál inkább növekszik, csökkentve a hatásfokot. A csökkenés mértéke függ a kollektor kialakításától (2.14. ábra).



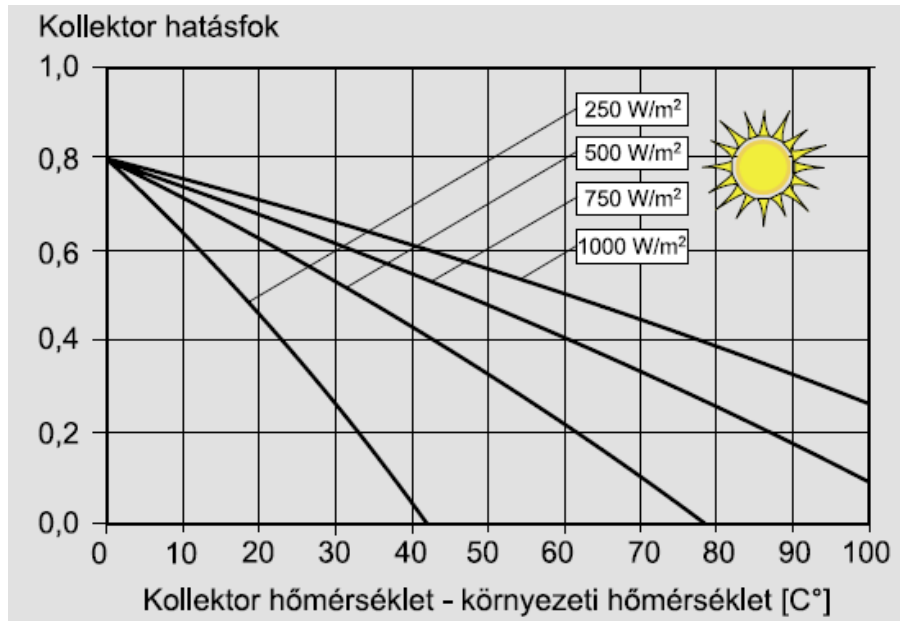
2.14. ábra: Napkollektorok hatásfoka a kollektorok belépő hőmérséklete és a levegő hőmérséklete közti különbség függvényében

(<http://www.solarthermal.com/applications/efficiency/> - 2013.01.20.)

A diagram az Institut für Solartechnik SPF svájci intézetben készült. (www.solarenergy.ch - 2013.01.20.). Látható, hogy a jó hőszigetelésű kollektorok hatásfoka kisebb mértékben csökken a kollektor hőmérséklet emelkedésével. A vákuumcsöves (ETC-vel jelölt) kollektorok (2.14. ábra) hőszigetelése a legjobb, így a legkisebb meredekségű hatásfok-függvényt mutatják. Ezen kollektorokról ugyanakkor az is elmondható, hogy a direkt napsugárzást a hengeres üvegcső nagyobb mértékben veri vissza, mint a síkkollektorok borítása, így a környezeti hőmérsékleten mért maximális hatásfok a vákuumcsöves kollektorok esetében alacsonyabb. Ezen kettős hatás a medencefűtésre használt, borítás nélküli kollektor hatásfok-függvényén figyelhető meg a legjobban. Ezen kollektor rendelkezik a legmagasabb értékkel a környezeti hőmérsékleten, mivel a napsugárzás 100 %-ban eléri az abszorber felületet, hiszen nincs borítás, mely ezt akadályozná, és hőszigetelésre ezen üzemállapotban nincs szükség. A hőmérséklet emelésével viszont a

környező levegő hűtő hatása ennél a kollektornál érvényesül a legjobban, ezért a hatásfok meredeken esik.

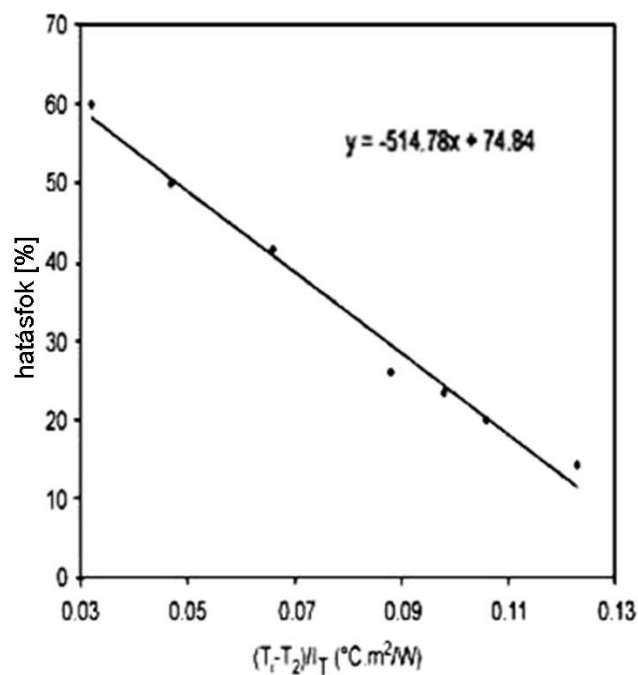
A kollektor hatásfokot befolyásoló másik üzemi paraméter a napsugárzás intenzitása (2.15. ábra).



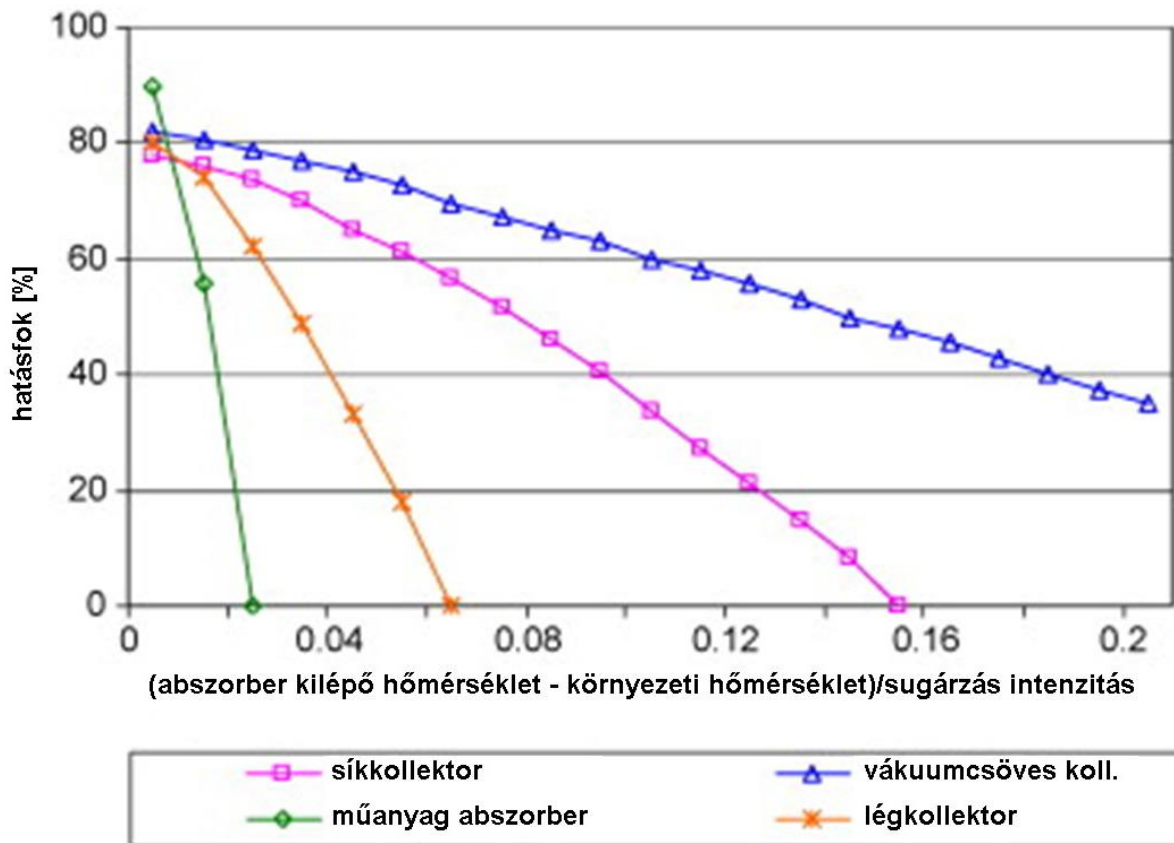
2.15. ábra: A napsugárzás intenzitásának hatása (NAPLOPÓ Kft., 2006)

Ezen hatás figyelembevételével a görbesereget egyetlen hatásfok-függvényként szokás ábrázolni az alábbi összefüggés, a redukált hőmérséklet-különbség szerint (2.16. , 2.17. ábra).

$$X = \frac{T_{\text{koll}} - T_{\text{kömy}}}{G} [\text{m}^2 \text{KW}^{-1}] \quad (2.7)$$



2.16. ábra: Kollektor hatásfok a környezethez képest mérhető hőmérséklet-különbség és a napsugárzás intenzitás hányadosának függvényében (BENNAMOUN, 2012)



2.17. ábra: Kollektorok hatásfoka a hőmérséklet-különbség és a sugárzás intenzitás hányadosának függvényében Forrás: ANANT SHUKLA et. al. (2009)
(Absorber Outlet Temp. – Ambient Temp.)/Radiation – redukált hőmérséklet-különbség, Efficiency – kollektor hatásfok)

Egy szoláris rendszer kalorikus teljesítményének indikátorai jellemzően magukba foglalják többek közt a kollektor hatásfok tényezőt, a kollektor hőelvonási tényezőjét, a hatásfokot, a teljes hőveszteség tényezőjét, az időállandót. Mindazonáltal a kollektor hatásfok tényező és a kollektor hőelvonási tényező a napkollektor kalorikus teljesítményének két fő indikátora (XIE, 2012).

A kollektor időállandója az az időszükséglet, mely alatt a besugárzás megváltozását követően a kollektor kilépő hőmérsékletének megváltozása eléri az állandósult állapothoz tartozó értékének 63 %-át. A kollektor időállandója az az idő, amely szükséges az alábbi egyenlet teljesüléséhez (ASHRAE, 1977):

$$\frac{T_{ot} - T_i}{T_{oi} - T_i} = \frac{1}{e} = 0,368 \quad (2.8)$$

A kollektor pillanatnyi hatásfoka az optikai hatásfok, a teljes hőveszteség tényező, az abszorber és a levegő közti hőmérséklet-különbség, valamint a napsugárzás intenzitásának függvényében (Duffie, Beckman, 2006):

$$\eta = \eta_0 - U'_L \frac{T_b - T_a}{I_b} \quad (2.9)$$

Mivel az átlagos abszorber-hőmérséklet mérése bonyolult, a kollektor belépő és kilépő hőmérsékletéből határozzák meg az átlagos kollektor hőmérsékletet (XIE et al., 2012):

$$T_f = \frac{T_i + T_o}{2} \quad (2.10)$$

A kollektor hatásfok-függvény (XIE et al., 2012):

$$\eta = F_R \left[\eta_0 - U'_L \frac{T_i - T_a}{I_b} \right], \quad (2.11)$$

ahol F_R a kollektor hőelvonási tényező, ami a kollektorból aktuálisan elvont energiát viszonyítja ahhoz a hasznos energiamennyiséghez, amelynek elvonása esetén a teljes abszorber hőmérséklete a folyadék belépő hőmérsékletével lenne megegyező. Az F_R kollektor hőelvonási tényező mértékegység nélküli szám, mely a kollektor hőátbocsátásának karakterisztikáját és a folyadék hővezetésének a kollektor teljesítményére gyakorolt hatását fejezi ki (XIE, 2012).

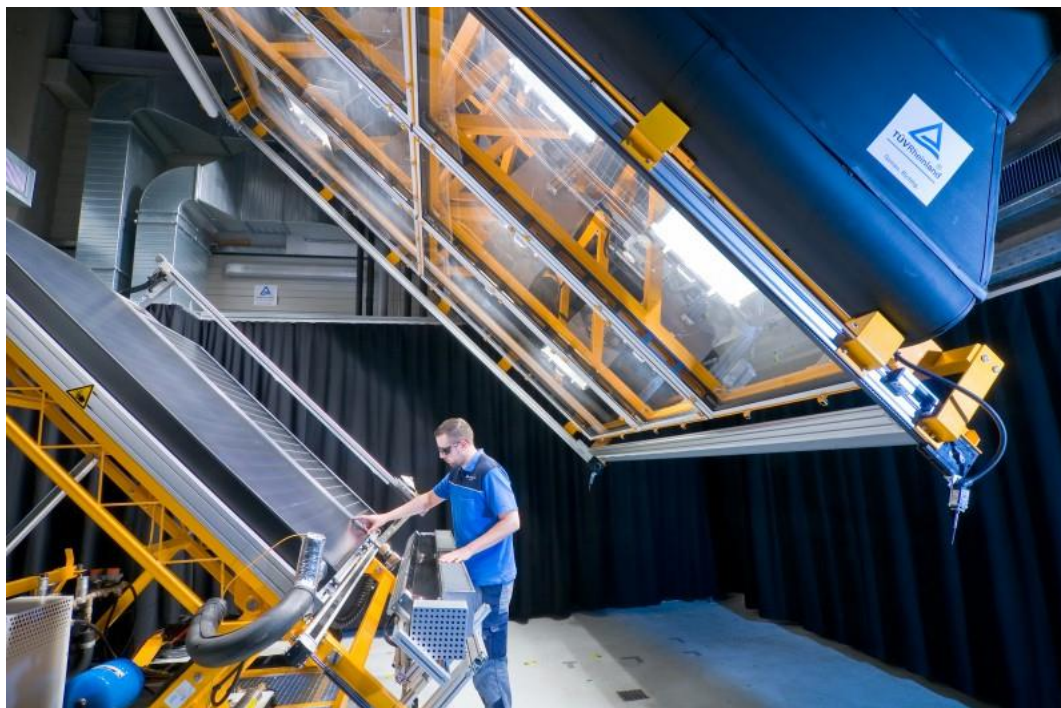
2.8. A hatásfokmérés módszerei

A napenergiát hasznosító berendezések hatásfokának mérése elsődleges fontosságú a szoláris rendszerek méretezésének és költségszámításának szempontjából (NIJEGODOROV, 1995).

A kollektorok hatásfok-függvényeinek felvétele természetes és laboratóriumi körülmények közt lehetséges. Mivel a hatásfokot befolyásoló két tényező a napsugárzás intenzitása és a külső levegőhöz képesti hőmérséklet-különbség, ezen két paramétert változtatják a laboratóriumi berendezések: a vizsgált kollektort egy klímakamrában helyezik el, melyben beállítható a kívánt levegő hőmérséklet. A kamrában egy kalibrált fényforrás található, a sugárzás intenzitását általában 1000 Wm^{-2} értéken tartják.



2.18. ábra: Spi-Sun Simulator 4600 MP (<http://www.spirecorp.com/spire-solar/solar-manufacturing-equipment/test-module-performance/spi-sun-simulator.php> - 2013.01.20.)



2.19. ábra: Laboratóriumi berendezés napkollektorok és napelemek vizsgálatára
(http://www.tuv.com/en/corporate/about_us_1/press/news_2/newscontent_cw_107157.jsp -
2012.11.03.)

A laboratóriumi berendezéseknél lényegesen alacsonyabb költséggel összeállítható és üzemeltethető egy olyan eszköz, mellyel természetes körülmények közt vizsgálhatjuk a napkollektorok hatásfokát és üzemi jelenségeit. Az ilyen mérésekre vonatkozó szabványok (ISO/WD 9806-1, az FSEC Standard 101-09, az ASHRAE 93-77) tartalmazznak kritériumokat a mérés egyes paramétereit illetően, de a mérőberendezés részletes ismertetését nem.

A természetes körülmények közt végzett mérések hátránya az, hogy a sugárzás intenzitása és a levegő hőmérséklete nem befolyásolható.

A természetes és laboratóriumi körülmények közt végzett mérések hatásfok eredményeit hasonlította össze Mahmoud Ben Amara, Imed Houcine, Amenallah Guizani és Mohammed Maalej légkollektorok alkalmazásával (AMARA et al., 2004)

G. Beghi végzett síkkollektorokon kísérleteket (BEGHI, 1981), majd D. Proctor határozott meg hatásfok-függvényeket és időállandót (PROCTOR, 1984). Kratzenberg napkollektorok hitelesítésére alkalmas berendezést fejlesztett ki (KRATZENBERG et al., 2002). Rojas és Klein üvegborítású síkkollektort tesztelt a vonatkozó szabványoknak megfelelően (ROJAS, KLEIN, 2008).

2.9. A hatásfok mérésére vonatkozó szabványok áttekintése

Az egyes szabványok előírásai közt számos eltérés található. A hatásfok értékek is különbözőek, például az ASHRAE-szabvány szerint mért hatásfok kis mértékben alacsonyabb értékű, mint az EN 12975-2 szabványnak megfelelő. A különbség abból adódik, hogy a kollektor teljes felülete nagyobb, mint az abszorber felület, így a redukált hőmérséklet-különbség értéke is eltér aszerint, hogy az egyes szabványoknak megfelelően melyik felületet vesszük figyelembe (KACI et. al., 2012).

ISO/WD 9806-1

A szabvány első fejezete tartalmazza az üveggel borított kollektorok méréseire vonatkozó előírásokat.

A kollektor vízszintes síktól mért dőlésszöge a földrajzi szélesség $\pm 5^\circ$, de nem kisebb, mint 30° . Szeged esetében: $46^\circ 15' \pm 5^\circ$.

Külső mérések esetén a kollektornak rögzített helyzetében az Egyenlítő felé kell néznie, de a rögzített helyzet azt eredményezi, hogy a napsugárzás elfogadható beesési szögtartománya behatárolja a mérés időtartamát.

A mérések során az ISO 9060 szabvány besorolása szerinti elsőosztályú piranométert kell alkalmazni a globális rövidhullámú sugárzás mérésére. A piranométer érzékelőjének $\pm 1^\circ$ -os tűrésen belül párhuzamosnak kell lennie a kollektor felületével. Külső mérések esetén a piranométernek a kollektor magasságának felénél kell lennie.

Három hőmérséklet mérése szükséges, ezek: a folyadék hőmérséklete a kollektor belépési és kilépési pontjánál, valamint a környező levegő hőmérséklete. A folyadék belépő hőmérsékletét $\pm 0,1^\circ\text{C}$ pontossággal kell mérni. Az érzékelő és a kollektor betáplálás távolsága maximum 200 mm lehet, és a csővezetékot hőszigetelni kell, az érzékelőtől mindkét irányban.

A folyadék kilépő és belépő hőmérséklete közti különbséget $\pm 0,1\text{ K}$ pontossággal kell mérni.

A környező levegő hőmérsékletének előírt mérési pontossága $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

A térfogatáram-mérő pontossága a mért érték $\pm 1\%$ -a.

A kollektor hővesztesége fokozódik a szélesebbé válásával. A szélesebbé válás irányának mérése nem szükséges. A kollektor első lapja feletti levegő áramlási sebességét $\pm 0,5\text{ m/s}$ pontossággal szükséges mérni, külső és laboratóriumi körülmények közt is.

Külső méréseknél szélgenerátor alkalmazása szükséges, amennyiben a szélesebbé válás 3 ms^{-1} alá csökken. A teszt során a szélesebbé válás átlagos értékének 2 és 4 ms^{-1} közé kell esnie.

A kollektor felületét $\pm 0,1\%$ pontossággal kell lemérni.

A kollektor folyadékkapacitását (a kollektorban lévő folyadék tömegét) $\pm 10\%$ pontossággal kell mérni.

A hőmérséklet csökkentésére alkalmazott berendezés és a kollektor belépő csonkja közt a csővezeték hosszának minimálisnak kell lennie. A csővezetékot hőszigeteléssel kell ellátni, a hőveszteséget $0,2\text{ WK}^{-1}$ érték alá kell csökkenteni.

A kollektor kilépő csonkjánál és még egy ponton a rendszerben légtelenítőt kell alkalmazni.

A folyadéknak a kollektor aljától a teteje felé kell áramolnia, ha a gyártó ezt másképp nem írja elő.

A teszt idejében a teljes sugárzás intenzitásának a kollektor síkján nagyobbak kell lennie 800 Wm^{-2} -nél.

A közvetlen napsugárzás beesési szögének olyan tartományban kell lennie, amely még nem okozza a kollektor beesési szög módosító tényezőjének a normális irányhoz képesti $\pm 2\%$ -nál nagyobb eltérését. Ez egyrétegű üvegborítású síkkollektoroknál általában akkor teljesül, ha a besugárzás szöge és a kollektor felületének normálisa közt az eltérés 30° -nál kisebb. Ebben az esetben egyrétegű üveggel borított síkkollektor esetén módosító tényező használata nem szükséges.

A folyadék tömegáramát egységnyi kollektorfelületre vonatkoztatva kb. $0,02 \text{ kgs}^{-1}$ értékre kell beállítani. A tömegáramnak $\pm 1 \%$ -os eltérésen belül állandónak kell lennie a teszt során, és az egyes tesztek közt nem lehet nagyobb az eltérése a beállított érték $\pm 10 \%$ -ánál.

Azon mérési eredményeket ki kell zárni, melyeknél a folyadék kilépő és belépő hőmérsékletének különbséges kisebb, mint $1,5 \text{ K}$.

A kollektort a hatásfok-függvény felvételéhez a működési hőmérséklet-tartományán kell tesztelni, tiszta égbolt alatt. Legalább 4, a működési tartományon egyenletesen eloszló belépési hőmérséklet vizsgálata szükséges. Mind a 4 hőmérséklet esetén legalább 4 független adatpontot – így összesen 16 adatpontot – kell felvenni.

Állandósult állapot megállapításához valamennyi paraméter értékeit össze kell hasonlítani a 30 s időintervallumhoz tartozó átlagértékkel. A megengedett eltéréseket a 2.2. táblázat tartalmazza:

2.2. táblázat: Az állandósult állapot kritériumai

Paraméter	Átlagtól való megengedett eltérés
sugárzás intenzitás	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
környező levegő hőmérséklete	$\pm 1 \text{ K}$
folyadék tömegáram	$\pm 1 \%$
folyadék belépő hőmérséklete	$\pm 0,1 \text{ K}$

A hatásfokot statisztikai görbeillesztéssel, a legkisebb négyzetek módszerével kell ábrázolni, a pillanatnyi hatásfok függvényének megállapítására. A függvény alakja:

$$\eta = \eta_0 - a_1 T^* - a_2 G (T^*)^2 \quad (2.12)$$

vagy:

$$\eta = \eta_0 - UT^* \quad (2.13)$$

A választás az első- és a másodrendű görbe közt aszerint történik, hogy melyik eredményez pontosabb illeszkedést. Másodrendű alak nem alkalmazható, ha a_2 értéke negatív.

A másodrendű alak alkalmazása esetén a sugárzás intenzitása:

$$G = 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (2.14)$$

A pillanatnyi hatásfokot meghatározhatjuk az abszorber felületére, illetve a kollektor teljes felületére vonatkozóan.

ASHRAE 93-1986

A szabvány a modellek tesztelése helyett előnyben részesíti a teljes méretű kollektor modulok tesztjét. Természetes körülmények közt végzett tesztek során a kollektort úgy kell elhelyezni,

hogy a teszt során környező épületekről és egyéb felületekről ne érje azt számottevő sugárzott energia.

A kollektort a teljes művelet alatt azzal a folyadékkal kell tesztelni, amelyet a gyártó előír.

Piranométert kell használni a naptól és az égből érkező globális rövidhullámú sugárzás mérésére, valamint egy napkövető pirheliométert a sugárzás direkt komponensének mérésére. A piranométert úgy kell rögzíteni, hogy az érzékelője egy síkban legyen a kollektorral, annak felső részén. Kollektormező esetén a felső középső részen kell lennie. Nem szabad árnyékot vetnie a kollektorra a teszt során.

A teszt során a műszer jelének ingadozása különböző környezeti hőmérsékleteken $\pm 1\%$ -nál kisebb kell, hogy legyen.

A piranométernek és a pirheliométernek állandó érzékenységűnek kell lennie 0,3 és 2,5 μm közt.

Ha a linearitás hibája $\pm 1\%$ -nál nagyobb, a műszerhez kalibrációs görbét kell használni.

A piranométer időállandója 5 másodpercnél kisebb kell, hogy legyen.

A mért értéknek szöghelyzetből adódó $\pm 1\%$ -nál nagyobb eltérés esetén kalibrációs görbét kell használni.

A hőmérséklet és a hőmérséklet különbség mérésére vonatkozó pontossági előírásokat a 2.3. táblázat foglalja magába:

2.3. táblázat: A hőmérséklet és a hőmérséklet-különbség mérésére vonatkozó előírások (ASHRAE 93-1986)

	pontosság	ismételhetőség (precizitás)
hőmérséklet	$\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
hőmérséklet-különbség	$\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

A hőmérsékletmérés hibájának csökkentése érdekében az érzékelőket a lehető legközelebb kell helyezni a kollektor folyadék be- és kimenetéhez, egy keverőben, mely a folyadék egyenletes hőmérsékletét biztosítja. A kollektor és a keverő közti csőszakaszt hőszigetelni kell.

A folyadék tömegáramát $\pm 1\%$ -os pontossággal kell mérni.

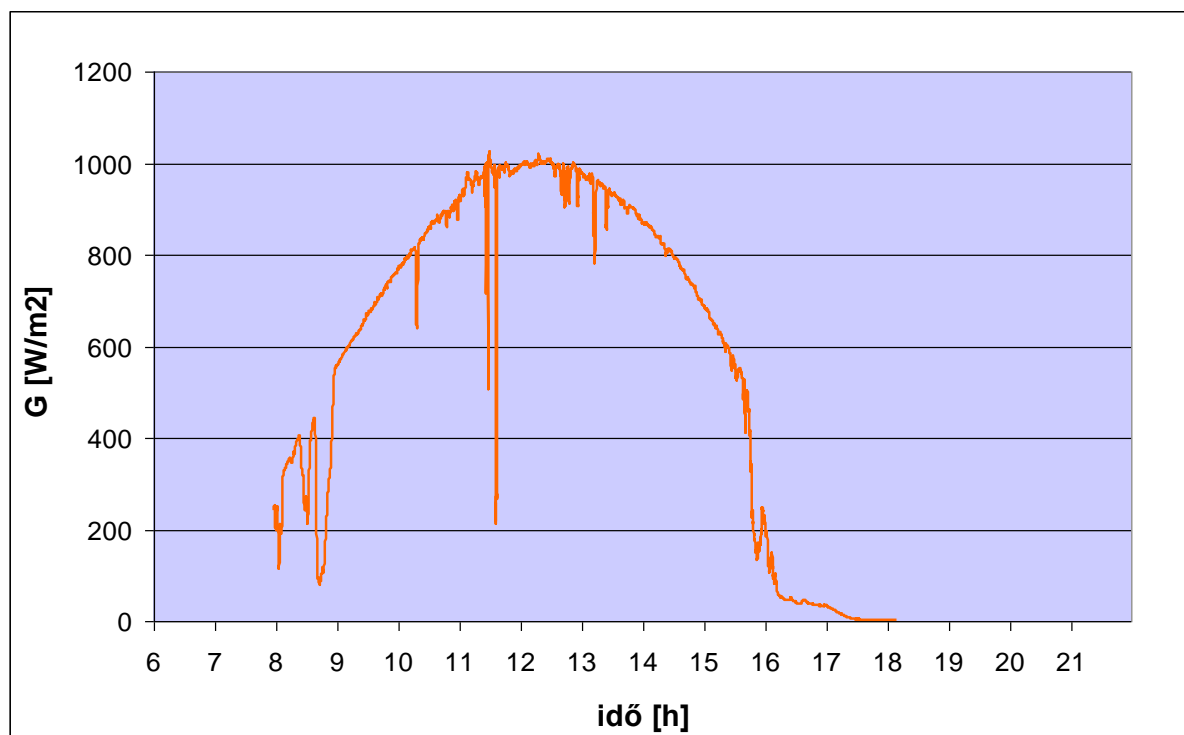
Természetes körülmények közt végzett teszt esetén folyamatos mérést kell végezni csillagászati idő szerint 10:00 és 14:00 közt. A belépő hőmérsékletet állandó értéken kell tartani. A kollektor dőlésszöge a 11 órás napsugárzás beesési szögnek megfelelő legyen, és ebben a helyzetben maradjon. A napsugárzás a teljes teszt alatt haladjon meg a 800 Wm^{-2} értéket, és amennyire lehetséges, legyen állandó. A folyadék hőmérsékletének emelkedését 1 perces intervallumonként vagy gyakrabban kell regisztrálni.

2.10. Éghajlati sajátosságok

Látható, hogy mindkét ismertett szabványban előírás a 800 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás elérése. Egyik szabvány sem definiálja pontosan azt, hogy milyen időjárási körülmények alkalmasak a mérésre, a napsugárzás intenzitásának milyen mértékű ingadozása teszi pontatlanná

a mérési eredményeket. Ennek pontos meghatározása szükséges a természetes körülmények közt végzett teszt sorozatok időigényének csökkentéséhez.

A 13-as melléklet a vízszintes síkon mérhető teljes sugárzás intenzitás értékeit tartalmazza ideális légkör esetén, Wm^{-2} -ben. Sötéttel jelöltem a 800 Wm^{-2} -nél magasabb értékeket. Látható, hogy a mérésre alkalmas időszak márciustól szeptemberig tart. Meg kell említeni, hogy a táblázat értékeinél magasabb sugárzás intenzitás is mérhető a szabványoknak megfelelően a kollektorok síkjában. A 2.20. ábra 2013. március 3-ai mérésünk eredményét mutatja. Látható, hogy a 13-as melléklet értékeivel szemben a mért sugárzás intenzitás az 1000 Wm^{-2} értéket is elérte, a szabványok által előírt 800 Wm^{-2} értéket az adott napon több, mint négy órás intervallumon keresztül meghaladta.



2.20. ábra: A kollektorok síkjában mért napsugárzás intenzitás, 2013.03.03.

2.11. Tranziens jelenségek

A felhők a szoláris sugárzás intenzitását változóképp teszik. A napkollektor válaszüzeje az az időszükséglet, amely alatt az abszorber lemez felületének hőmérséklete az állandósult állapothoz tartozó hőmérséklet-emelkedés 90 %-ával emelkedik, mikor a kollektorra érkező napsugárzás intenzitása ugrásszerűen emelkedik (WIJEYSUNDERA, 1976). M.C. Rodriguez-Hidalgo megállapította, hogy a kollektor teljes hőtehetetlenségének 30 %-a a kollektorban lévő folyadék hőtehetetlenségéből származik (RODRÍGUEZ-HIDALGO et al., 2011). Kísérleteihez egy 9 éves, 50 m^2 -es kollektortelepelt használt.

Patrick Pierson és Jaques Padet síkkollektorok időállandóját határozta meg (PIERSON, PADET, 1990). Tanulmányozták a különböző paraméterek (a borítás és az abszorber vastagsága, az üvegrétegek száma, a folyadék fajhője és tömegárama) hatását.

2.12. Elemző értékelés

Látható, hogy a napkollektorok alkalmazásának története több száz évre nyúlik vissza. Ezen szoláris rendszerek hatásfoka több összetevőből áll, az egyik legfontosabb maga a napkollektor hatásfok. Ez egy konkrét kollektor típusra nézve sem állandó érték, a két fő befolyásoló tényező a napsugárzás intenzitása, valamint a kollektor és a környező levegő közötti hőmérsékletkülönbség, így kétváltozós függvényt kapunk, melyből előállítható a megadott napsugárzás intenzitásoknak megfelelően egy görbesereg.

A hatásfok mérésére több eljárás használatos: fel lehet venni a hatásfok függvényt laboratóriumi körülmények közt, mesterséges fényforrást alkalmazva, valamint üzemi körülmények közt, természetes megvilágítással. Utóbbi eljárás kevésbé költséges, de bizonyos részletei nem rögzítettek, például a vonatkozó szabványok említést tesznek arról, hogy nem alkalmasak a mérésre az ingadozó napsugárzás intenzitású időszakok, de ezt számszerűen nem definiálják. A megfelelő mérések elvégzéséhez szükséges a felhőmentes időszakok pontos, matematikai definíciója. Megállapítható, hogy ilyen definíció jelenleg nem hozzáférhető.

A természetes körülmények közt üzemelő kollektorok pillanatnyi üzemállapotai az említett kétváltozós hatásfok függvény felületén helyezkednek el. Megállapítható, hogy a vonatkozó szabványok nem tartalmazzák annak pontos leírását, hogy a mérési eredményekből hogyan lehetséges az említett görbesereg felvétele.

A mérések során fellépő tranziens jelenségek hibás eredményekhez vezethetnek. Ezen hibák javítása szintén fontos a mérés pontossága szempontjából. A mért adatok regisztrációját ennek megfelelően rövid időközönként kell végezni.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A szakirodalmi áttekintés elemző értékelésében ismertetett szempontok szerint új mérő-adatgyűjtő berendezést terveztem, 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.

3.1. Üzemi körülmények közt végzett hatásfokmérés

Az üzemi körülmények közt végzett hatásfokmérés a mért értékek kellően gyakori regisztrációjával alkalmas lehet a kollektorok különböző üzemi jelenségeinek tanulmányozására. A napkollektorok üzeme csak ritka esetben lehet stacioner, hiszen az időjárás váltakozása mellett a rendszer szolártartályából a hő elvétele sem egyenletes, így az üzemi paraméterek értéke időben változó. Az ezekre adott reakció tanulmányozása fontos lehet a napkollektoros rendszerek szabályozása szempontjából.

Fentiekből következik, hogy az időjárás változékonysága, valamint a mért értékek kellően gyakori regisztrációja nagy mennyiségű adat kezelését teszi szükségessé. A vonatkozó szabványok nem térnek ki ezen nagy mennyiségű mérési eredmény kezelésének részleteire, illetve a mérések során fellépő adatgyűjtési hibák automatikus javítására és a hibás értékek szűrésére.

Kutatásom célja a napkollektorok üzemi jelenségeinek tanulmányozása, valamint a természetes körülmények közt végzett hatásfokmérés korlátainak feltárása. A kísérletekhez saját mérőberendezést fejleszték ki.

Méréseim során természetes fényforrást, a napsugárzást használom, így a hatásfok függvény ezen paramétere nem állítható, az időjárás függvényében kell minél több mért értéket begyűjteni. Ez akkor lehetséges, ha a kollektorok hőmérséklete viszonylag gyorsan változtatható. Amennyiben a kollektorok szolártartályhoz kapcsolódnak, a tartályban lévő folyadék hőtehetetlensége ezt megakadályozza.

A méréseket lehetőség szerint két kollektorral kell végezni. Ez lehetővé teszi a két kollektor megbízható összehasonlítását, így a kollektorok egy-egy műszaki paraméterét megváltoztatva a hatásfok változása pontosan kimérhető. Ehhez a kollektorokat párhuzamosan kell kapcsolni.

A két kollektor alkalmazása megnöveli a mérési tartományt: amennyiben sorosan kapcsolom azokat, a sorban második kollektorba már előmelegített folyadék érkezik, így ezen kollektor átlagos hőmérséklete magasabb, nagyobb tehát az eltérés a környező levegő hőmérsékletéhez képest, így a hatásfok-függvény magasabb hőmérséklet-különbséghez tartozó szakasza is mérhető. Szükséges tehát a soros kapcsolás. Mindkét kollektor mérhető a teljes lefedhető hőmérséklet-tartományon, amennyiben változtatható a két kollektor sorrendje a soros kapcsolásban. A kapcsolást ennek megfelelően tervezem meg.

A kollektorok által szolgáltatott hőt valamilyen hűtőberendezéssel el kell távolítani. A soros és párhuzamos kapcsolások esetén a berendezésnek két kollektor hőjét kell elvonnia. Amennyiben az egyik kollektor kizárható a kapcsolásból, a hűtőberendezésnek csak a másik kollektort kell hűtenie, így a folyadék alacsonyabb hőmérsékletre hűthető vissza. Ez lehetővé teszi a hatásfok-függvény mérési tartományának további növelését, hiszen a környező levegőhöz képesti hőmérséklet-különbség csökkenthető.

A méréseket adatgyűjtőkkel kell végezni. Az adatokat lehetőleg kis időközönként kell regisztrálni, mivel a felhős égbolt gyors változásokat eredményez a napsugárzás intenzitásában, ezért pontos átlagértékek csak gyakori méréssel érhetőek el.

A megfelelő gyakoriságú adatgyűjtés lehetővé teszi a tranziens jelenségek megfigyelését.

A berendezés déli tájolású. A kollektorokat állítható dőlésszögűre tervezem, ez lehetővé teszi a különböző dőlésszögökben mért paraméterek összehasonlítását.

Számszerűen definiálni kívánom a hatásfok mérésére alkalmas, felhőmentes időszakot.

Mérőberendezést úgy tervezem meg, hogy azzal a kollektor hőmérséklet hatékonyan változtatható legyen, így rövid ideig fennálló, állandónak tekinthető időjárási körülmények közt több üzemállapotot, ennek megfelelően több mérési pontot tudok vizsgálni.

Meg kívánom vizsgálni a kollektorok tranziens üzemi jelenségeit, többféle kapcsolásban.

A méréseimhez eltérő abszorbercsövezésű kollektorokat alkalmazok: az egyik kollektor osztógyűjtős, a másik csőkígyós kialakítású. Meg kívánom vizsgálni ezen két, eltérő hidrodinamikai tulajdonságú kollektor üzemi jelenségeit, különböző kapcsolásokban.

A kollektorok borítása befolyásolja a hatásfok függvényét: a borítás hőszigetelő szerepet tölt be, de fényáteresztése nem 100 %-os. Meg kívánom vizsgálni a kísérleti kollektoraink polikarbonát borításának hatásfokra gyakorolt befolyását, ehhez méréseket végzünk a borítás eltávolítását követően is.

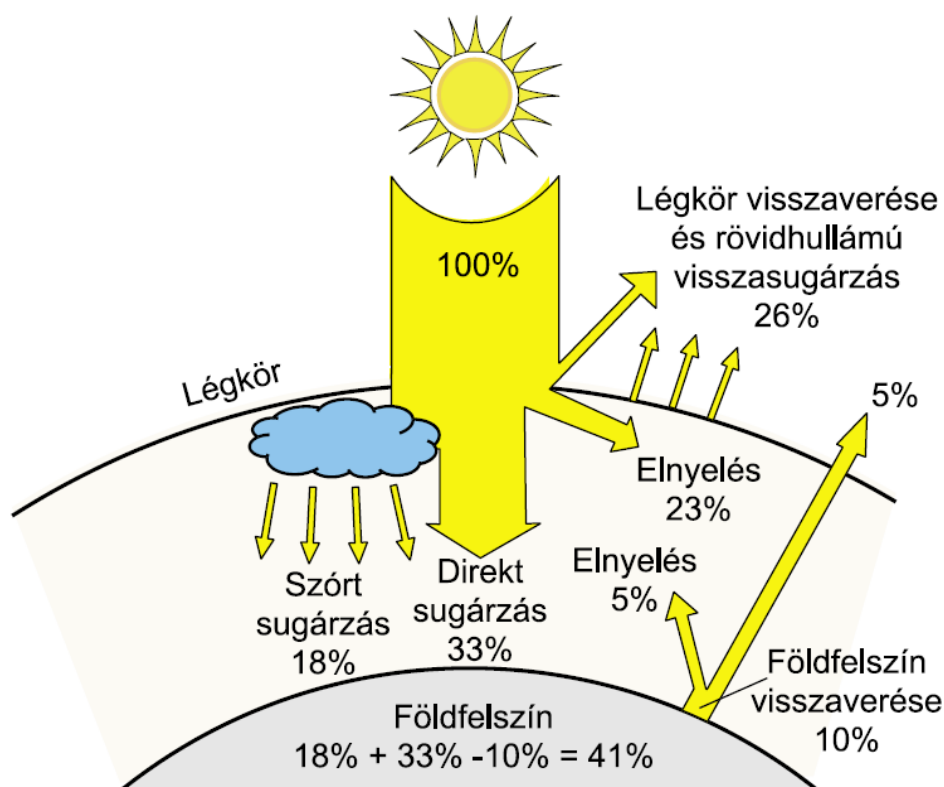
A méréseim eredményeinek feldolgozását követően kidolgozom a hatásfok függvény meghatározásának lépéseit. Eljárásom helyességét ismert hatásfokú kollektor vizsgálatával kívánom igazolni.

A kutatás során az adatgyűjtőkből kinyert eredmények adatfeldolgozását táblázatkezelő szoftverrel végzem. A kutatásom eredményeképpen megalkotott mérési algoritmusoknak megfelelően automatizált mérő-adatgyűjtő berendezést tervezek, mely a hibajavításokat és az adatfeldolgozást nem csak a mérést követően, hanem már a mérés folyamata során elvégzi és megjeleníti. Ezzel a mérés gyorsabbá válik, hiszen a berendezést a hatásfok függvény mért adatainak kijelzésével a függvény még hiányzó hőmérséklet-tartományaira lehet beállítani.

A napsugárzást befolyásoló tényezők

Az üzemi körülmények közt végzett mérések egyik fő korlátja a napsugárzás intenzitásának változása. A napkollektorok hatásfok-függvényei olyan görbesereget alkotnak, amely görbéken a napsugárzás intenzitásának értéke állandó. Az üzemi körülmények közt végzett mérések feldolgozása során ennek megfelelően ki kell válogatni az adott függvény előállítására alkalmas mérési eredményeket.

A napsugárzás földi energiamérlegét a 3.1. ábra mutatja:



3.1. ábra: A napsugárzás földi energiamérlege (NAPLOPÓ Kft., 2006)

A napkollektorok felületét érő sugárzás intenzitását több tényező befolyásolja:

$$G_{\text{koll}} = f(A, B, C, D, E, F, G, H, I), \quad (3.1)$$

ahol:

- A – a Nap sugárzási teljesítménye, a napállandó értéke,
- B – a légkör sugárzásátbocsátó képessége (szennyezettség, páratartalom, felhősödés),
- C – felhők és egyéb felületek által szórt sugárzás mennyisége,
- D – földrajzi szélesség,
- E – a napkollektor tájolása,
- F – a napkollektor dőlésszöge,
- G – napmagasság,
- H – napjárás.

A napállandó a Nap sugárzásának a földi légkört elérő fajlagos teljesítménye, a Föld közepes naptávolságában mért értéke 1361 Wm^{-2} körül enyhén ingadozik (<http://www.mimi.hu/csillagaszat/napallando.html> – 2015.03.02.).

A globális sugárzás két részre bontható: direkt és szórt sugárzásra. Előbbi a Napból érkező sugárzás, utóbbi a légkörben szóródó és különböző tereptárgyokról visszavert sugárzás. A felhősödés a direkt és a szórt sugárzást is befolyásolja. A felhőkről további visszavert, szórt sugárzás érheti a napkollektorok felületét, a Napot eltakaró felhőzet viszont csökkenti a direkt sugárzás intenzitását. A légkör sugárzásátbocsátó képességét befolyásolja még a páratartalom és

a különböző szennyezőanyagok jelenléte is. A légkörben kisebb részarányban található elemek, szennyeződések sávosan, egy-egy hullámhossztartományban fejtik ki elnyelő hatásukat. A vízgőz elsősorban a 0,6-1,8 μm , míg a széndioxid az 1,8 μm -nél nagyobb hullámhossztartományokban okoz jelentős elnyelést. A légkör felső részén található ózon (O_3) a 0,3 μm -nél rövidebb hullámhosszú (élettani szempontból ártalmatlan) sugárzást nyeli el teljes egészében (Naplopó Kft., 2006).

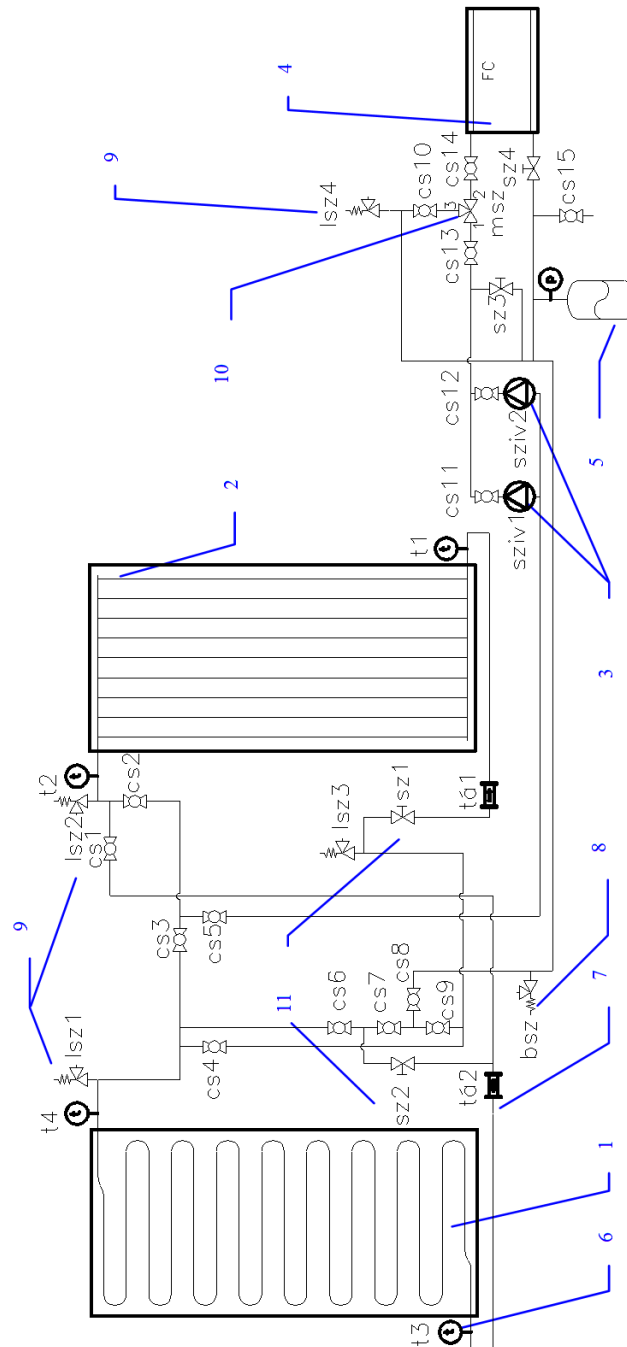
A további felsorolt befolyásoló tényezők összefoglalóan meghatározzák a direkt sugárzás kollektorsíkon mérhető beesési szögét. A vízszintes felületen mérhető beesési szög a nappályadiagram segítségével az adott földrajzi pontra és tetszőleges mérési időpontra meghatározható. Ezen irány és a napkollektorok abszorberének helyzete ismeretében kiszámolható a napsugárzás iránya és az abszorber síkja által bezárt szög.

A napsugárzás intenzitását mérő piranométert az abszorber síkjában kell elhelyezni, így a beesési szög hatását is mérni tudjuk. Mivel a piranométer az abszorberre jutó napsugárzás intenzitását méri, az azt befolyásoló tényezők hatásának számszerű ismerete nem szükséges.

A felsorolt tényezők közül a napsugárzás intenzitásának gyors és nagyfokú változását okozhatja a felhősödés. Ezen gyors változások befolyásolhatják a mérés pontosságát, ennek további vizsgálata szükséges.

3.2. A kísérleti berendezés ismertetése, a részegységek jellemzése

Kutatásomhoz a 3.2. ábrán látható kísérleti mérő-adatgyűjtő berendezést fejlesztettem ki.



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

A 3.2. ábra jelölései: 1 – kollektor csőkiágós abszorberrel, 2 – kollektor osztó-gyűjtős abszorberrel, 3 – keringtető szivattyúk (sziv1: szabályozott, sziv2: szabályozás nélküli), 4 – termostabilizáló szelep, 5 – tágulási tartály, 6 – hőmérők ($t_1 - t_2 - t_3 - t_4$), 7 – térfogatáram-mérők, 8 – biztonsági nyomáshatároló szelep, 9 – légtelenítő szelepek (Isz1 – Isz4), 10 – motoros szelep a hűtőtéljesítmény szabályozására (msz), 11 – fojtószelepek a térfogatáram szabályozására (sz1, sz2), cs1 – cs14: csapok a kapcsolás változtatására, cs15: feltöltő csap.

Kísérleteimhez egyedi gyártású kollektorokat alkalmaztam. A kollektorok kialakítása a gyakorlatban előforduló – kollektor csőkígyós abszorberrel (1), kollektor osztógyűjtős abszorberrel (2). Tekintettel arra, hogy a kollektorok fedése cserélhető, így különböző, polikarbonát-fedéseket és fedés nélküli üzemeltetést is vizsgálhattam. A kapcsolással lehetséges a két kollektor párhuzamos és soros üzemeltetése, soros kapcsolásnál tetszőleges sorrendben. Lehetőség van az egyes kollektorok kizárására is. A berendezés működtethető szabályozatlan, vagy kilépő hőmérsékletre szabályozott üzemmódokban a keringtető szivattyúk (3) segítségével.

Az egyes üzemmódokhoz tartozó beállításokat a 3.1. táblázat, 3.2. táblázat, 3.3. táblázat tartalmazza.

3.1. táblázat: Beállítások párhuzamos és soros kapcsoláshoz, illetve egy kollektorral történő üzemeltetéséhez

Elem	Párhuzamos kapcsolás	Soros kapcsolás		Üzemeltetés egy kollektorral	
		osztó-gyűjtős + csőkígyós	csőkígyós, + osztó-gyűjtős	osztó-gyűjtős	csőkígyós
cs1	zárva	nyitva	zárva	zárva	zárva
cs2	nyitva	zárva	nyitva	nyitva	zárva
cs3	nyitva	nyitva	zárva	zárva	nyitva
cs4	zárva	zárva	nyitva	zárva	zárva
cs5	nyitva	nyitva	nyitva	nyitva	nyitva
cs6	zárva	zárva	zárva	zárva	zárva
cs7	nyitva	zárva	nyitva	zárva	nyitva
cs8	nyitva	nyitva	nyitva	nyitva	nyitva
cs9	nyitva	nyitva	zárva	nyitva	zárva

3.2. táblázat: Beállítások az 1. vagy a 2. szivattyú üzemeltetéséhez

Elem	1. szivattyú üzemeltetése	2. szivattyú üzemeltetése
cs11	nyitva	zárva
cs12	zárva	nyitva

3.3. táblázat: Beállítások a termoventilátoros, illetve motoros szeleppel történő szabályozással

Elem	Termoventilátor üzemben	Termoventilátor üzemen kívül	Termoventilátor üzemeltetése motoros szabályozószeleppel
cs10	zárva	-	nyitva
cs13	nyitva	zárva	nyitva
cs14	nyitva	-	zárva
msz	1-2	-	1-2 és 1-3 közt fokozatmentesen szabályozva
sz3	zárva, nyitásával a termoventilátor teljesítménye csökkenthető	nyitva	zárva
sz4	nyitva, zárásával a termoventilátor teljesítménye csökkenthető	-	nyitva

Egyes csapok a berendezés karbantartása során szükséges szakaszoláson túlmenően más funkciókkal nem rendelkeznek. Ilyen csap a cs5 és cs8. A cs15 jelölésű csap a berendezés fagyállóval való feltöltésére szolgál.

A kollektor hatásfok-függvényét általánosan számos paraméter befolyásolja. Ilyenek például a borítás anyagminősége és vastagsága, az abszorberfelület bevonata, az abszorber csövezése és az abszorberlemez közti kapcsolat, a hőszigetelés anyaga és vastagsága stb. 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 , Wm^{-2}),
- környező levegőhöz viszonyított hőmérséklet-különbség ($t_{koll}-t_{lev}$, °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 fordulatszáma 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 berendezést két szivattyúval láttuk el, a sziv1 szivattyú a folyadék hőmérsékletének megfelelően szabályozza a térfogat-áramot, a sziv2 szivattyú nem végez szabályzást. A két szivattyú közül egyszerre csak az egyik üzemel.

A térfogatáram-mérők (7) a hagyományos turbina-rendszerű berendezésektől eltérően forgódugattyús, térfogat-kiszorítás elvén működő eszközök, melyekkel már rendkívül alacsony, $7,5 \text{ lh}^{-1}$ térfogatáram is mérhető. A mérőberendezésekre szerelt impulzus jeladók literenként jeleznek. Az impulzusjeleket kétcsatornás adatgyűjtővel mentettem. A térfogatáram-mérők pontossága ± 2 tf. %.

A hőmérsékleteket K-típusú termoelemekkel mértem. A termoelemek hőmérséklet-adatait Testo 177-T4 adatgyűjtővel regisztráltam. A mérési pontosság $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

A 3.2. ábra hőmérséklet- (6) és térfogatáram-mérőin (7) kívül mértem a környező levegő hőmérsékletét és páratartalmát, illetve a napkollektorok közé, azok síkjával megegyező helyzetben rögzített Lambrecht 16131 típusú piranométerrel a globális napsugárzás intenzitását. A piranométer 18 másodpercen belül érzékeli a napsugárzás intenzitásának változását. A műszer megfelel az ISO 9060 szabvány szerinti elsőosztályú minősítésnek. (www.lambrecht.net – 2012.01.20.) A piranométernek a teszt alatt a jellemző pozícióban kell lennie, és a mérés megkezdése előtt legalább 30 percet kell biztosítani a kiegyenlítődésre (ISO 9806-1, 1994).

A mérések során 5 másodpercenkénti regisztrálást alkalmaztam, mely gyakoriság a tranziens jelenségek vizsgálatát is lehetővé teszi. Az eredmények feldolgozását Microsoft Excel szoftverrel végeztem el.

Kollektorok

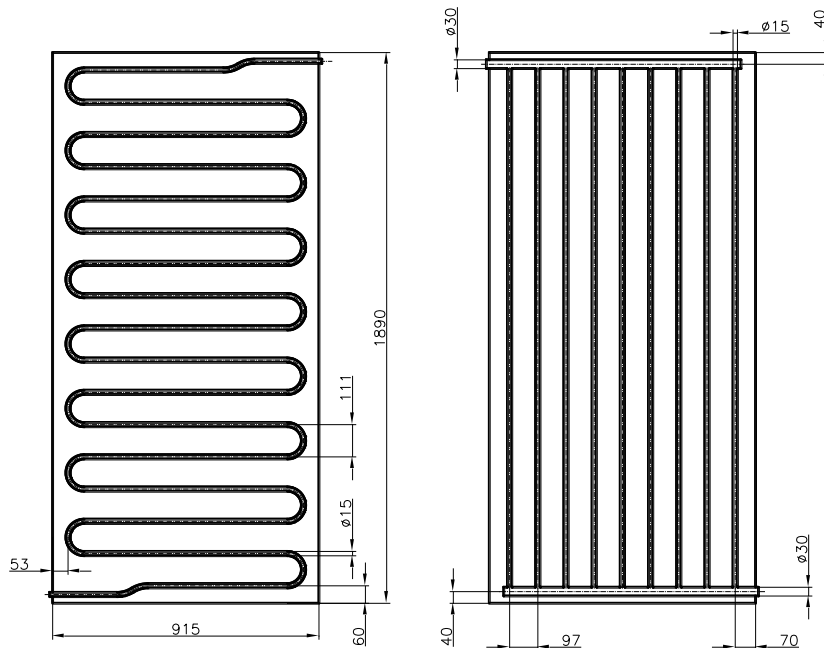
A méréseket az általam kifejlesztett síkkollektorokkal végeztem. A kollektorok szélessége 1080 mm, magassága 2036 mm, bruttó felületük $2,2 \text{ m}^2$. A kollektorok abszorber lemezeinek szélessége 915 mm, magassága 1890 mm, felületük $1,73 \text{ m}^2$.



3.3. ábra: A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán tervezett kollektor

Az abszorberek rézlemezről készültek, melyekre a réz csővezetékek a minél jobb hőátadás érdekében lágyszereléssel vannak rögzítve. Az abszorber lemez vastagsága 1 mm, a csővezeték külső átmérője 15 mm, falvastagsága 1 mm.

Méréseim során vizsgáltam az osztógyűjtős és a csőkígyós abszorberek közti különbségeket, így a két abszorber lemezt ezen kétféle csővezetéssel gyártattam. A két abszorberlemez rajzát a 3.4. ábra mutatja:



3.4. ábra: A kísérleti kollektorok abszorberjei
(bal oldal: csőkígyós abszorber, jobb oldal: osztógyűjtős abszorber)

Az abszorber lemezek és a rájuk forrasztott csővezetékek matt fekete festékekkel festettek. Az abszorberek alatt 50 mm vastag, alacsony sűrűségű Rockwool kőzetgyapot szigetelés található. Hővezetési tényezője: $\lambda_{\text{kg}} = 0,037 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. A kőzetgyapot jellemzőit az M3 melléklet tartalmazza.

A kollektorok doboza 2 mm vastag horganyzott acéllemezről készült.

A kollektor fedése cserélhető. Méréseim során Makrolon multi UV 2/10-10,5 típusú kamrás polikarbonát fedőlemez alkalmaztam, melynek vastagsága 10 mm, hőátbocsátási tényezője $k_{\text{pk}} = 3,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. A polikarbonát lemez műszaki adatait az M4 melléklet tartalmazza.

Végeztem méréseket fedetlen kollektorokkal is.

Szivattyúk

A berendezést kétféle szivattyúval szereltem fel, melyek közül egyszerre csak az egyik üzemel, a másik kiiktatható a körből. Első méréseimhez Grundfos Magna 25-40 szivattyút használtam, mely a térfogatáramot a keringtetett folyadék hőmérséklete szerint szabályozza.

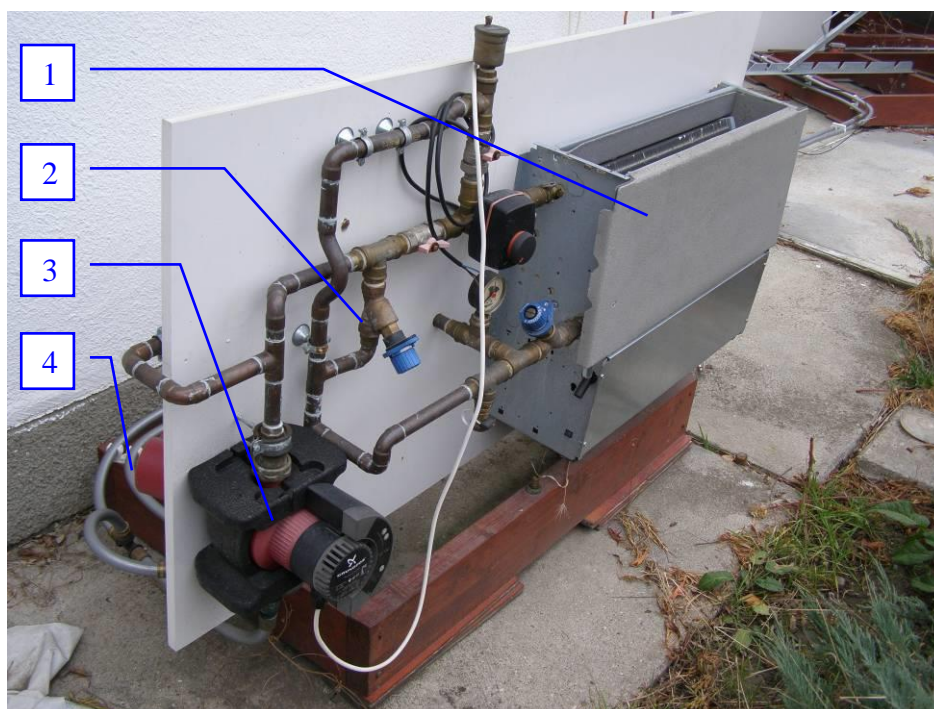
A szivattyú teljesítménye 5 fokozatban állítható. A minimális és maximális fokozattól eltekintve választható arányos nyomású és állandó nyomású szabályozás. Előbbi kiválasztásakor a nyomáskülönbség a térfogatárammal arányosan változik. Utóbbi esetén a szivattyú állandó nyomáskülönbséget tart a térfogatáram változásától függetlenül. Minimális fokozatban ezek a

funkciók nem választhatóak. A szivattyúval a térfogatáram a keringtetett folyadék hőmérsékletének függvényében is szabályozható: a hőmérséklet emelkedésével a térfogatáram növelhető, így csökkentve a kollektorok kilépő hőmérsékletének ingadozását.

Ez a szabályzási funkció nem mindig előnyös a kísérleti mérések szempontjából, ezért a berendezést elláttam egy szabályozatlan Grundfos UPS 25-30 típusú szivattyúval is. A szivattyú nem végez szabályzást. A teljesítmény három fokozatban állítható.

Termoventilátor

A kollektorokból a keringtetett folyadékkal távozó hőt a berendezés egy Galletti EF05CLX típusú termoventilátoron keresztül a szabad levegőnek adja át (3.5. ábra).



3.5. ábra: A berendezés hidraulikai és visszahűtő egysége

- 1 – Galletti EF05CLX termoventilátor, 2 – szabályozó szelep a termoventilátor megkerülő vezetékén, 3 – Grundfos Magna 25-40 szivattyú, 4 – Grundfos UPS 25-30 szivattyú

A termoventilátor maximális fűtőteljesítménye 5,47 kW, a maximális levegő térfogatáram $442 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (<http://supervent.ru/upload/file/Narezka/Price%20Galletti%2009.pdf> - 2012.11.04.). A katalógusban megadott hűtő- és fűtőteljesítmény közül a fűtőteljesítmény az irányadó, hiszen a termoventilátor a környező levegőnek adja át a kollektorokból érkező hőt, ezzel a levegőt „fűti”. A megadott fűtőteljesítmény $70 \text{ }^\circ\text{C}$ -os belépő és $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -os kilépő folyadék, valamint $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os levegő hőmérsékletre értendő. A logaritmikus hőmérséklet-különbség:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(t_{be} - t_{lev}) - (t_{ki} - t_{lev})}{\ln \frac{t_{be} - t_{lev}}{t_{ki} - t_{lev}}} = \frac{(70 - 20) - (60 - 20)}{\ln \frac{70 - 20}{60 - 20}} = 44,81 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

A termoventilátor hőátbocsátási tényezőjének és hőátadó felületének a szorzata:

$$k_{tv} \cdot A_{tv} = \frac{\Phi_{tv}}{\Delta t_{log}} = \frac{5470}{44,81} = 122,06 \frac{W}{K} \quad (3.3)$$

Két kollektor üzemeltetésekor 1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás esetén a 2 db, egyenként $1,73 \text{ m}^2$ abszorber felületű kollektorra érkező hőáram:

$$\Phi_s = G \cdot A = 1000 \cdot 2 \cdot 1,73 = 3460 \text{ W} \quad (3.4)$$

1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás és 100 %-os kollektor hatásfok esetén a logaritmikus hőmérséklet-különbség:

$$\Delta t_{log} = \frac{\Phi_s}{k_{tv} \cdot A_{tv}} = \frac{3460}{122,06} = 28,35^\circ\text{C} \quad (3.5)$$

Figyelmen kívül hagyva a termoventilátort és a kollektorokat összekötő csővezetékek hőveszteségét, mint kedvező hűtő hatást, a napkollektor belépő hőmérséklete megegyezik a termoventilátor kilépő hőmérsékletével, a napkollektor kilépő hőmérséklete pedig megegyezik a termoventilátor belépő hőmérsékletével. Ilyen módon a kollektorok és a környező levegő közti hőmérséklet-különbség is 28°C -ra tehető. Csak az egyik kollektor üzemeltetése esetén a hőáram és így a hőmérséklet-különbség is felére csökken.

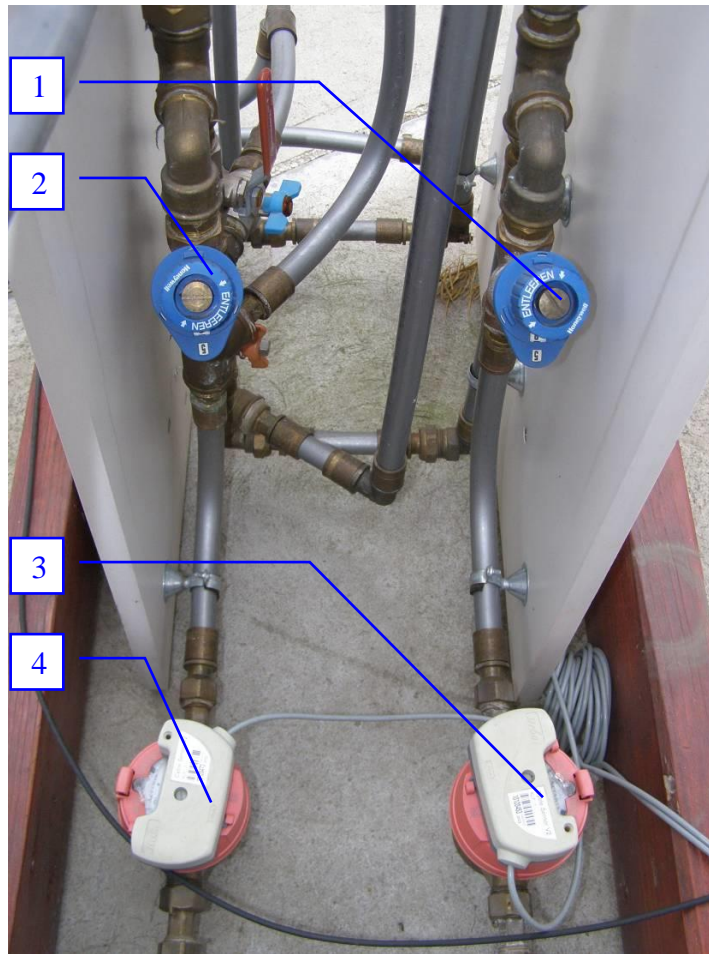
A berendezéssel 1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás esetén a kollektor és a környező levegő közti elérhető minimális hőmérséklet-különbség 14°C .

A termoventilátor teljesítménye szabályozható a ventilátor fordulatszámának fokozatmentes változtatásával, illetve a ventilátor kikapcsolásával. A folyadék lehűlésének további csökkentésére a termoventilátor egy megkerülő ággal kiiktatható a körből. A megkerülő ágat szabályozószeleppel (2) láttam el (3.5. ábra).

Csővezetékek és szerelvények

A kapcsolat összeállításához rézvezeték, valamint flexibilis, ötrétegű műanyag vezetékeket alkalmaztam. A csővezetékek hővesztesége a berendezés által a környező levegőbe távozó hőáramot növeli, így a kollektorok belépő hőmérsékletét tovább csökkenti. A termoventilátor fordulatszámának változtatásával megfelelő határok közt szabályozhattam a leadott hőáram nagyságát. A termoventilátor megkerülő vezetékének használatával a berendezés hőleadása kellő mértékben lecsökkenthető.

A két kollektor eltérő abszorber csővezetéke miatt a nyomásveszteségek is különbözőek, ezért a kollektorokat nyomásszabályozó szelepekkel láttam el, melyekkel lehetséges a két térfogatáram kiegyenlítése a párhuzamos kapcsolású mérések esetén.



3.6. ábra: Szabályozó szelepek és térfogatáram-mérők

1 – szabályozó szelep az osztógyűjtős abszorberrel ellátott kollektorhoz, 2 – szabályozó szelep a csőkígyós kollektorhoz, 3 – az osztógyűjtős kollektor térfogatáram-mérője, 4 – a csőkígyós kollektor térfogatáram-mérője

A fagyálló folyadék fiziko-kémiai paramétereit

A méréseim során a berendezést Tyfocor L fagyálló folyadékkal feltöltve üzemeltettem, melynek fiziko-kémiai jellemzőit az M5 melléklet tartalmazza. A fagyálló folyadék fajlagos hőkapacitása $3,56 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

A kollektorok pozicionálása

A berendezést déli tájolással üzemeltettem. A berendezéssel meg akartam vizsgálni a kollektorok vízszintes síkkal bezárt dőlésszögének a teljesítményre gyakorolt hatását. Ennek érdekében a két kollektort dönthető állványra szereltem, mellyel a két kollektor dőlésszöge egymástól függetlenül, 7 fokozatban változtatható (3.7. ábra).



3.7. ábra: Dönthető kollektorállványok

A kollektorok egyes fokozataihoz tartozó dőlésszög mértékét a 3.4. táblázat tartalmazza:

3.4. táblázat: Vízsintestől mért kollektor dőlésszögek

Fokozat	Dőlésszög
1.	24°
2.	30°
3.	35°
4.	41°
5.	46°
6.	51°
7.	55°

3.3. A mérési módszer ismertetése

Ebben a fejezetben ismertetem a hatásfok mérés, azon belül a napsugárzás intenzitásának, a hőmérsékletek, a térfogatáram mérésének módszerét és a kísérletek célját.

A napsugárzás intenzitásának mérése

A globális napsugárzás intenzitást a kollektorok közé, azok síkjában elhelyezett Lambrecht 16131 típusú piranométerrel mértem.

A piranométer egy kör és egy körgyűrű alakú lemezből, valamint a rájuk helyezett, duplafalú, félgömb alakú üvegborításból áll. A belső, kör alakú lemez hőszigetelt és feketére festett. A két üvegfal által határolt külső, szellőztetett részen elhelyezkedő körgyűrű alakú lemezfelület szürke. A lemezek a napsugárzás hatására eltérő mértékben melegszenek fel. A műszer a hőmérséklet-különbséget termoelemekkel méri, és ennek megfelelő jelet ad, melyet egy jelerősítő $0\div 20$ mA tartományú jellé alakítva továbbítja az adatgyűjtőnek. A piranométerek minőségi osztályozását többek közt az ISO 9060:1990, az ISO 9847:1993 és a World Meteorological Organisation előírásai szerint végzik. Az alkalmazott Lambrecht 16131 piranométer műszaki adatait az M6 melléklet tartalmazza.

A 20 mA-es jel 1400 Wm^{-2} globális sugárzás intenzitásának felel meg.

A piranométer jelerősítőjéből származó $0\div 20$ mA-es jelet egy Testo 175-S2 típusú adatgyűjtővel regisztráltam 5 másodpercenként. Az eszköz műszaki adatait az M7 melléklet tartalmazza.

A kollektorok belépő és kilépő hőmérsékletének mérése

A mérésekhez tokozatlan K-típusú termoelemeket használtam. A pontos mért érték 99 %-ának eléréséhez tartozó válaszidő 5 s, tehát ezek a termoelemek a tokozás hiánya miatt a lehető leggyorsabban reagálnak a hőmérséklet változására, ezáltal alkalmasak a berendezés tranziens jelenségeinek mérésére.

A termoelemeket a réz csővezetékekre rögzítettem, azoktól elektromosan elszigetelve.

A kollektorok belépő hőmérsékletét a csővezetéken közvetlenül a kollektorok előtt, a kilépő hőmérsékletet az abszorbert elhagyó csővezetéken, a kollektor burkolatán belül mértem. További termoelemeket helyeztem el a kollektorok kilépő csőszakaszára, a kollektor burkolatán kívül.

A felszerelést követően minden egyes termoelem környezetében a csővezeték 150 mm-es szakaszát $\varnothing 100$ mm-es hőszigeteléssel láttuk el. A termoelemek által mért értékeket Testo 174-T4 típusú hőmérséklet-adatgyűjtőkkel regisztráltam. Az adatgyűjtő műszaki adatait az M8 melléklet tartalmazza.

Levegő hőmérséklet és páratartalom mérés

A környező levegő hőmérsékletének és páratartalmának mérésére Testo 175-H2 mérő-adatgyűjtőt használtam. A műszert felfüggesztve, direkt napsugárzástól mentes helyen, a kollektorok alatt helyeztem el. Az eszköz műszaki adatait az M9 melléklet tartalmazza.

Térfogatáram-mérés

A térfogatáramok méréséhez Aquadis típusú térfogatáram-mérő órákat alkalmaztam, melyek forgódugattyúval, térfogatkiszorítási elven mérnek. Két mérőórát szereltem fel, így a térfogatáram-adatok kollektoronként külön mérhetők. A méréstechnikai adatokat az M10 melléklet tartalmazza.

A mérőórákat kéteres Cyble Sensor gyártmányú impulzus jeladókkal láttam el, melyek átfolyt literenként adnak impulzusjelet. Műszaki adataikat az M11 melléklet tartalmazza.

Az impulzusjeleket Comet S7021 típusú adatgyűjtővel regisztráltam, műszaki jellemzőit az M12 melléklet tartalmazza.

A kísérleti célkitűzések meghatározása

A kollektorok hatásfokát a napsugárzás intenzitása és a kollektor hőmérséklet környezethez képesti eltérése befolyásolja. A kollektorok gyártói által az adatlapokon megadott hatásfokgörbe laboratóriumi körülmények közt készült mérésorozat eredménye, mely mérések során a mesterséges fényforrás sugárzási intenzitása állandó, rögzített értékű. A valóságos üzemi körülmények közt a kollektor hatásfoka nem ezen függvény mentén változtatja értékeit, hiszen a napsugárzás intenzitása is változik, nem csak a kollektor hőmérsékletének a környező levegőhöz képesti eltérése. Ily módon a hatásfok alakulása a hőmérséklet-különbség és a sugárzási intenzitás, mint két független változó függvényében egy felületet ír le.

Méréseim célja ezen kétváltozós függvény felvétele mellett a kollektorok üzem közben tapasztalható különböző jelenségeinek mérése és leírása, valamint a hatásfok mérés korlátainak feltárása.

3.4. 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 , [Wm^{-2}],
- a fagyálló folyadék térfogatárama az egyes kollektorokon: \dot{V}_{OGY} , \dot{V}_{CSK} , [m^3s^{-1} ; $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]
- a fagyálló folyadék sűrűsége a hőmérséklet függvényében: $\rho = f(t)$, [kgm^{-3} ; $\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$]
- a fagyálló folyadék tömegárama: \dot{m}_{OGY} , \dot{m}_{CSK} , [kgs^{-1} ; $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$]
- a kollektorok hőteljesítménye: Φ_{OGY} , Φ_{CSK} , [W]
- a kollektorok hatásfoka, η_{OGY} , η_{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.

A sablon a következő diagramokat tartalmazza:

- belépő, kilépő hőmérsékletek, levegő hőmérséklet és páratartalom, napsugárzás intenzitás, térfogatáramok, hőteljesítmény és hatásfok értékek napi menete,
- a hatásfok a kollektor közepes hőmérséklete és a levegő hőmérséklete közti különbség függvényében,
- hatásfok a napsugárzás intenzitásának függvényében,
- a kollektor és a levegő hőmérséklete közti különbség a napsugárzás intenzitásának függvényében,
- öt- és tízperces intervallumokra meghatározott hatásfok értékek.

A napi mérések során az 5 másodpercenkénti regisztrálást figyelembe véve kb. 8000 sort tartalmazó adatbázis keletkezik. A napi jellemzők jól megfigyelhetők, a teljes mérésorozatunkra vonatkozó kiértékelést egy, az összes mérési adatot tartalmazó Excel adatbázis adatszűréseivel végeztük. Ezen adatbázis 450 ezer vizsgált időpillanathoz tartozóan tartalmazza a berendezés mért adatait.

A térfogatáram-mérés adatfeldolgozása

A Comet S7021 impulzus adatgyűjtő két adatgyűjtő csatornája rögzíti a térfogatáram-mérők impulzusait.

Az adatgyűjtőből a hozzá mellékelt Program for dataloggers 2.2.3.0 szoftverrel a regisztrált értékeket USB-porton keresztül lehet kiolvasni. A két csatorna adatsorainak formátumát a 3.8. ábra mutatja.

INDEX	Date	Time	Counter
46	2011.11.03.	9:02:40	0
47	2011.11.03.	9:02:50	0
48	2011.11.03.	9:03:00	0
49	2011.11.03.	9:03:10	0
50	2011.11.03.	9:03:20	0
51	2011.11.03.	9:03:30	1
52	2011.11.03.	9:03:40	1
53	2011.11.03.	9:03:50	1
54	2011.11.03.	9:04:00	1
55	2011.11.03.	9:04:10	2
56	2011.11.03.	9:04:20	2
57	2011.11.03.	9:04:30	2
58	2011.11.03.	9:04:40	3
59	2011.11.03.	9:04:50	3
60	2011.11.03.	9:05:00	3
61	2011.11.03.	9:05:10	4
62	2011.11.03.	9:05:20	4

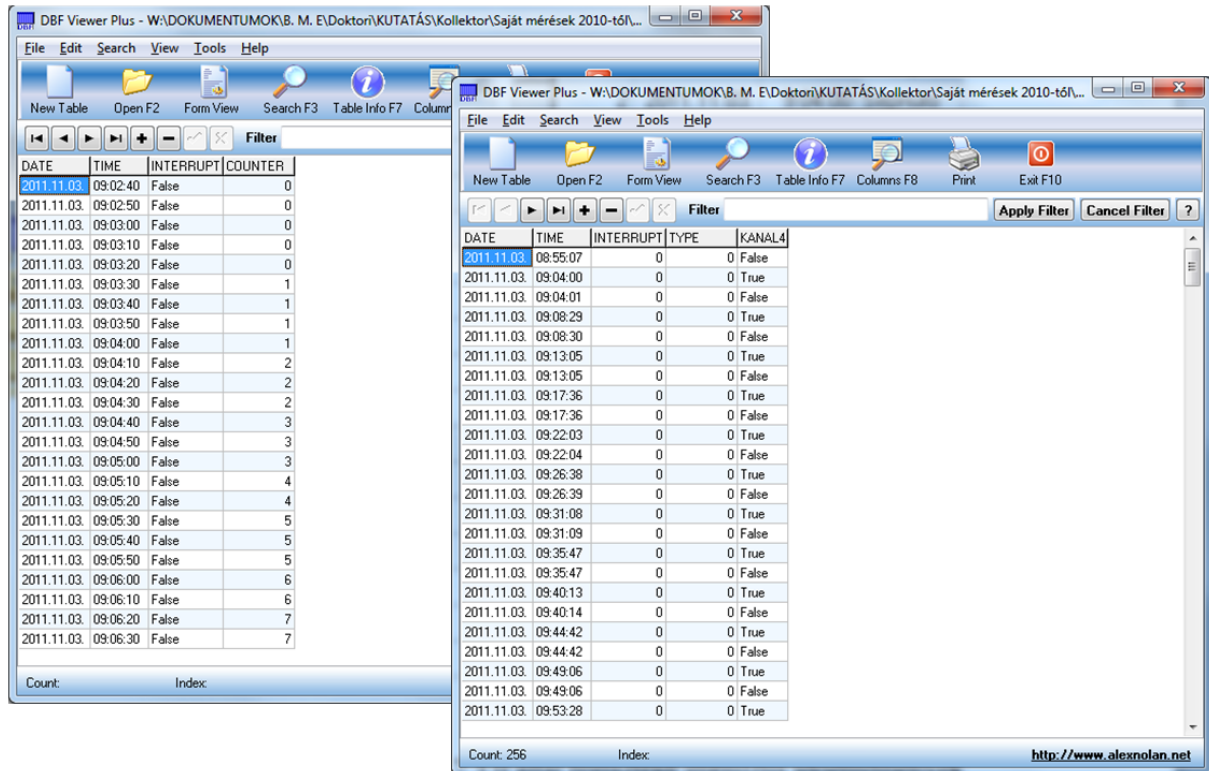
a

INDEX	Date	Time	Bin
1	2011.11.03.	8:55:07	Rozeprnut
2	2011.11.03.	9:04:00	Seprnuto
3	2011.11.03.	9:04:01	Rozeprnut
4	2011.11.03.	9:08:29	Seprnuto
5	2011.11.03.	9:08:30	Rozeprnut
6	2011.11.03.	9:13:05	Seprnuto
7	2011.11.03.	9:13:05	Rozeprnut
8	2011.11.03.	9:17:36	Seprnuto
9	2011.11.03.	9:17:36	Rozeprnut
10	2011.11.03.	9:22:03	Seprnuto

b

3.8. ábra: A Program for dataloggers 2.2.3.0 által regisztrált impulzus időeredmények

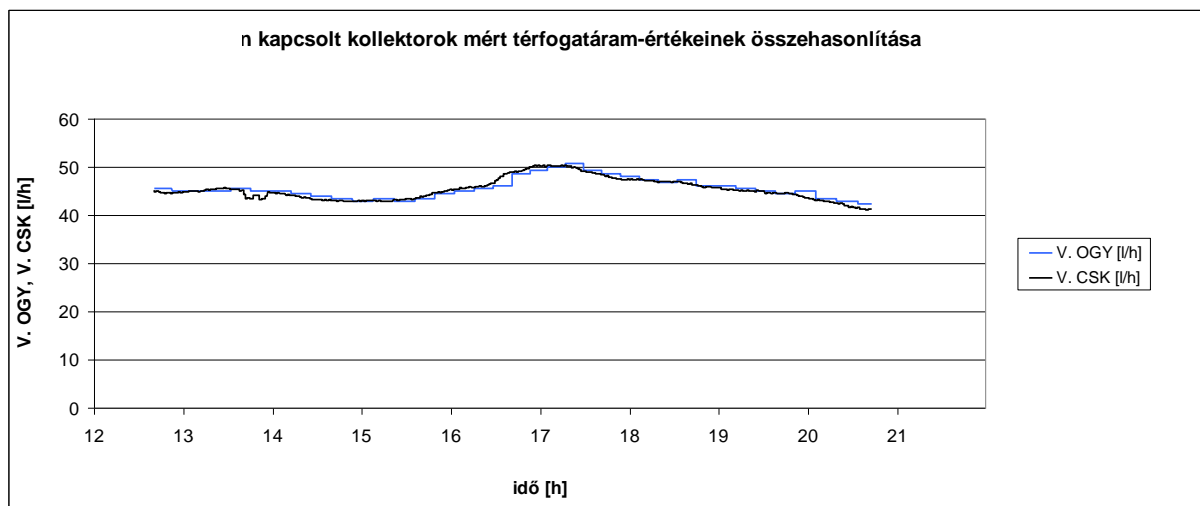
Az adatokat a szoftver MSS-formátumú fájlokba menti, és DBF-formátumba tudja exportálni. A DBF-adatfájlokat DBF-Viewer Plus szoftverrel konvertáltam CSV formátumra (3.9. ábra), ezen formátumot tudja fogadni a Microsoft Excel.



3.9. ábra: Az impulzus adatsorok konverziójához használt DBF-Viewer Plus szoftver

Az adatgyűjtő két csatornája kétféle módszerrel regisztrálja az impulzusjeleket: az első csatorna meghatározott időközönként rögzíti azt, hogy épp érkezik-e jel a térfogatáram-mérő jeladójától vagy sem, ennek megfelelően növeli vagy változatlanul hagyja a számláló értékét (3.8. a, ábra). A legkisebb beállítható időköz 10 s. A második csatorna a jel érkezésének („Sepnuto”) és megszűnésének („Rozepnut”) időpontját másodperc pontossággal menti (3.8. b, ábra). Utóbbi csatorna tehát pontosabb. A saját készítésű Excel sablonom használata nagy mértékben csökkenti az első csatorna pontatlanságát.

A sablonban az első, 10 másodpercenként regisztráló csatorna 10 egymást követő impulzus adatára vonatkozó átlagolást alkalmaztam, tehát 1 liter helyett 10 literes átfolyt mennyiségekre számoltam átlagos térfogatáram-adatot. Ilyen módon az adatgyűjtő 10 másodperces legkisebb beállítható mentési gyakoriságából származó hiba tizedére csökken. A kapott eredményt a soros kapcsolású kollektorok mérése során összehasonlítottam a második csatorna által regisztrált adatokból számított térfogatáram-értékekkel. A 3.10. ábra az impulzusjelekből számított térfogatáram-értékeket mutatja.



3.10. ábra: A térfogatáram két adatsornájának összehasonlítása sorosan kapcsolt kollektorok vizsgálatával

A kétféle módszerrel mért térfogatáram-adatok közti eltérés minimálisnak mondható: a 2011. július 20-ai mérés során nem haladta meg a $2,83 \text{ lh}^{-1}$ értéket. Az eltérés mediánja a mérés során $0,415 \text{ lh}^{-1}$ volt.

Első csatorna

A térfogatáram-méréshez készített Excel sablonunk az első csatorna esetében a következők szerint működik:

Dátum	Idő	Jel	Számláló	Jel időpc	Idő	Térfogat					Jel időpc	Idő	Térfogat
				1l	/1l	áram					10l	/10l	áram
						l/min							l/min
61	2011.11.03	9:04:40	False	3	9:04:40	0:00:30	2	0,3	0	0			
62	2011.11.03	9:04:50	False	3				0,3	0	0			
63	2011.11.03	9:05:00	False	3				0,3	0	0			
64	2011.11.03	9:05:10	False	4	9:05:10	0:00:30	2	0,4	0	0			
65	2011.11.03	9:05:20	False	4				0,4	0	0			
66	2011.11.03	9:05:30	False	5	9:05:30	0:00:20	3	0,5	0	0			
67	2011.11.03	9:05:40	False	5				0,5	0	0			
68	2011.11.03	9:05:50	False	5				0,5	0	0			
69	2011.11.03	9:06:00	False	6	9:06:00	0:00:30	2	0,6	0	0			
70	2011.11.03	9:06:10	False	6				0,6	0	0			
71	2011.11.03	9:06:20	False	7	9:06:20	0:00:20	3	0,7	0	0			
72	2011.11.03	9:06:30	False	7				0,7	0	0			
73	2011.11.03	9:06:40	False	7				0,7	0	0			
74	2011.11.03	9:06:50	False	8	9:06:50	0:00:30	2	0,8	0	0			
75	2011.11.03	9:07:00	False	8				0,8	0	0			
76	2011.11.03	9:07:10	False	8				0,8	0	0			
77	2011.11.03	9:07:20	False	9	9:07:20	0:00:30	2	0,9	0	0			
78	2011.11.03	9:07:30	False	9				0,9	0	0			
79	2011.11.03	9:07:40	False	9				0,9	0	0			
80	2011.11.03	9:07:50	False	10	9:07:50	0:00:30	2	1	1	1	9:07:50		
81	2011.11.03	9:08:00	False	10				1	1	0			
82	2011.11.03	9:08:10	False	10				1	1	0			
83	2011.11.03	9:08:20	False	11	9:08:20	0:00:30	2	1,1	1	0			
84	2011.11.03	9:08:30	False	11				1,1	1	0			
85	2011.11.03	9:08:40	False	12	9:08:40	0:00:20	3	1,2	1	0			
86	2011.11.03	9:08:50	False	12				1,2	1	0			
87	2011.11.03	9:09:00	False	12				1,2	1	0			
88	2011.11.03	9:09:10	False	13	9:09:10	0:00:30	2	1,3	1	0			

3.11. ábra: Excel-sablon a térfogatáram-adatgyűjtő első csatornájához

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Dátum	Idő	Jel	Számláló	Jel időpc	Idő	Térfogat				Jel időpc	Idő	Térfogat	
2					1l	/1l	áram				10l	/10l	áram	
3							l/min						l/min	
108	2011.11.03	9:12:30	False	20	9:12:30	0:00:30	2	2	2	1	9:12:30	0:04:40	2,14286	
136	2011.11.03	9:17:10	False	30	9:17:10	0:00:30	2	3	3	1	9:17:10	0:04:40	2,14286	
164	2011.11.03	9:21:50	False	40	9:21:50	0:00:30	2	4	4	1	9:21:50	0:04:40	2,14286	
192	2011.11.03	9:26:30	False	50	9:26:30	0:00:30	2	5	5	1	9:26:30	0:04:40	2,14286	
220	2011.11.03	9:31:10	False	60	9:31:10	0:00:20	3	6	6	1	9:31:10	0:04:40	2,14286	
248	2011.11.03	9:35:50	False	70	9:35:50	0:00:20	3	7	7	1	9:35:50	0:04:40	2,14286	
276	2011.11.03	9:40:30	False	80	9:40:30	0:00:20	3	8	8	1	9:40:30	0:04:40	2,14286	
304	2011.11.03	9:45:10	False	90	9:45:10	0:00:30	2	9	9	1	9:45:10	0:04:40	2,14286	
332	2011.11.03	9:49:50	False	100	9:49:50	0:00:30	2	10	10	1	9:49:50	0:04:40	2,14286	
359	2011.11.03	9:54:20	False	110	9:54:20	0:00:30	2	11	11	1	9:54:20	0:04:30	2,22222	
386	2011.11.03	9:58:50	False	120	9:58:50	0:00:20	3	12	12	1	9:58:50	0:04:30	2,22222	
414	2011.11.03	10:03:30	False	130	10:03:30	0:00:30	2	13	13	1	10:03:30	0:04:40	2,14286	
441	2011.11.03	10:08:00	False	140	10:08:00	0:00:30	2	14	14	1	10:08:00	0:04:30	2,22222	
468	2011.11.03	10:12:30	False	150	10:12:30	0:00:30	2	15	15	1	10:12:30	0:04:30	2,22222	
495	2011.11.03	10:17:00	False	160	10:17:00	0:00:30	2	16	16	1	10:17:00	0:04:30	2,22222	
522	2011.11.03	10:21:30	False	170	10:21:30	0:00:30	2	17	17	1	10:21:30	0:04:30	2,22222	
548	2011.11.03	10:25:50	False	180	10:25:50	0:00:20	3	18	18	1	10:25:50	0:04:20	2,30769	
575	2011.11.03	10:30:20	False	190	10:30:20	0:00:30	2	19	19	1	10:30:20	0:04:30	2,22222	
602	2011.11.03	10:34:50	False	200	10:34:50	0:00:30	2	20	20	1	10:34:50	0:04:30	2,22222	
628	2011.11.03	10:39:10	False	210	10:39:10	0:00:30	2	21	21	1	10:39:10	0:04:20	2,30769	
655	2011.11.03	10:43:40	False	220	10:43:40	0:00:30	2	22	22	1	10:43:40	0:04:30	2,22222	
681	2011.11.03	10:48:00	False	230	10:48:00	0:00:30	2	23	23	1	10:48:00	0:04:20	2,30769	
708	2011.11.03	10:52:30	False	240	10:52:30	0:00:30	2	24	24	1	10:52:30	0:04:30	2,22222	
734	2011.11.03	10:56:50	False	250	10:56:50	0:00:30	2	25	25	1	10:56:50	0:04:20	2,30769	
761	2011.11.03	11:01:20	False	260	11:01:20	0:00:30	2	26	26	1	11:01:20	0:04:30	2,22222	
787	2011.11.03	11:05:40	False	270	11:05:40	0:00:20	3	27	27	1	11:05:40	0:04:20	2,30769	
814	2011.11.03	11:10:10	False	280	11:10:10	0:00:20	3	28	28	1	11:10:10	0:04:30	2,22222	
841	2011.11.03	11:14:40	False	290	11:14:40	0:00:30	2	29	29	1	11:14:40	0:04:30	2,22222	

3.12. ábra: Excel-sablon a térfogatáram-adatgyűjtő első csatornájához, szűrt adatok

A CSV formátumú adatállományból a vesszővel elválasztott értékeket külön oszlopokra tagoltam a „Szövegből oszlopok” paranccsal, majd a térfogatáram-mérés táblázatába másoltam (A, B, C, D oszlopok).

Az E-oszlop a számláló értékének változásaihoz tartozó időeredményeket tartalmazza (3.11. ábra). Amennyiben a számláló értéke változatlan, a cella üresen marad. Továbbiakban példaként a 15. sorban szereplő képleteket ismertetem. (Természetesen minden sorban hasonlóak az összefüggések, kizárólag a cellahivatkozásokban szereplő 15-ös szám helyén szerepelnek eltérő értékek.)

A Microsoft Excel logikai HA-függvényének alakja:

= HA (logikai feltétel; a függvény értéke, ha a feltétel teljesül; a függvény értéke, ha a feltétel nem teljesül)

Az E15 cella képlete:

$$=HA(D15>D14;B15;"")) \quad (3.6)$$

Az E-oszlop függvénye:

$$f_{Ei} = \begin{cases} t_{imp\ i}, & \text{ha } c_i > c_{i-1} \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.7)$$

Ennek megfelelően ha a D15 cella értéke nagyobb, mint a D14-é, akkor a függvény a B15 cella értékét veszi fel, egyéb esetekben a két idézőjelnek megfelelően üresen marad.

Az F-oszlop a számláló változásához tartozó időkülönbségeket mutatja. Az F15 cella képlete:

$$=HA(MAX(E\$4:E14)>0;HA(E15<>"";E15-MAX(E\$4:E14);""));"" \quad (3.8)$$

Az F-oszlop függvénye:

$$f_{Fi} = \begin{cases} t_{\text{imp } i} - t_{\text{imp } i-1}, & \text{ha } t_{\text{imp } i} \neq 0 \text{ és } t_{\text{imp max}} \neq 0 \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.9)$$

Az egymásba ágyazott logikai HA függvények működése a következő: ha az E\$4:E14 tartomány maximuma nagyobb, mint 0 (azaz korábban már érkezett impulzus az első térfogatáram-mérőtől), és az E15 cellában szerepel szám (tehát impulzus érkezett az aktuális sornak megfelelő időpillanatban), akkor a cella képlete az aktuális és az előző impulzushoz tartozó időpontok különbségét adja eredményül, minden ellenkező esetben a cella üresen marad.

A G-oszlop képletei meghatározzák a térfogatáramot:

$$=HA(F15<>"";1/F15/60/24;"" \quad (3.10)$$

A G-oszlop függvénye:

$$f_{Gi} = \begin{cases} \frac{1}{f_F \cdot 60 \cdot 24}, & \text{ha } f_F \text{ értelmezett} \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.11)$$

Ha az F15 cellában szerepel érték, akkor a lmin^{-1} -ben meghatározott térfogatáram kerül a G15 cellába, ellenkező esetben a G15 cella üresen marad.

Amint látható, az 1 liternyi mennyiség átfolyásához tartozó idő 20, illetve 30 másodpercként jelenik meg (3.11. ábra). Ilyen alacsony térfogatáram esetén az átfolyási idő mérése rendkívül pontatlanná válik az egyes csatornán 10 másodperces regisztrálási időközre beállítható impulzus adatgyűjtővel, emiatt a korábban leírtak szerint 10 liter folyadék átfolyásának időeredményeit rögzítjük, és erre írunk fel átlagos térfogatáram-értékeket. Ehhez a H-oszlopban az impulzus számláló értékét osztjuk 10-zel. A H15 cella képlete:

$$=D15/10 \quad (3.12)$$

A H-oszlop függvénye:

$$f_{Hi} = \frac{c_i}{10} \quad (3.13)$$

Az I-oszlopban az így meghatározott értéket lekerekítjük egészre, vagyis az alsó egészrészét számítjuk:

$$=KEREK.LE(H15;0) \quad (3.14)$$

Az I-oszlop függvénye:

$$f_I = \lfloor f_H \rfloor \quad (3.15)$$

A J-oszlopban az aktuális és az előző regisztrált időponthoz tartozó kerekített érték különbsége jelenik meg:

$$=I15-I14 \quad (3.16)$$

A J-oszlop függvénye:

$$f_{J_i} = f_{I_i} - f_{I_{i-1}} \quad (3.17)$$

Amennyiben a képlet 1-et ad eredményül, 10 liter folyadék átfolyt a mérőműszeren. Ellenkező esetben az eredmény 0. Ezt felhasználva ha a J15 cella értéke nullánál nagyobb, a K-oszlopban megjelenik az impulzus ideje, ellenkező esetben a cella üresen marad:

$$=HA(J15>0;E15;"") \quad (3.18)$$

A K-oszlop függvénye:

$$f_K = \begin{cases} f_E, & \text{ha } f_J > 0 \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.19)$$

Így a K-oszlopban csak minden tizedik impulzus ideje szerepel.

A tíz literes mennyiségek átfolyásához tartozó impulzusok közti időkülönbséget az L-cella számolja. A logikai HA függvény működése az F-oszlopéhoz hasonló, a különbség az, hogy ez a függvény a K-oszlop adatai alapján a 10 liter átfolyásának időszükségletét számolja:

$$=HA(MAX(K$4:K14)>0;HA(K15<>"";K15-MAX(K$4:K14);"");"") \quad (3.20)$$

Az L-oszlop függvénye:

$$f_{L_i} = \begin{cases} t_{\text{imp}10i} - t_{\text{imp}10i-1}, & \text{ha } t_{\text{imp}10i} \neq 0 \text{ és } t_{\text{imp}10\text{max}} \neq 0 \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.21)$$

Ennek megfelelően az M-oszlopban a térfogatáram:

$$=HA(L15<>"";10/L15/60/24;"") \quad (3.22)$$

Az M-oszlop függvénye:

$$f_M = \begin{cases} \frac{1}{f_L \cdot 60 \cdot 24}, & \text{ha } f_L \text{ értelmezett} \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.23)$$

Ha az L15 cellában szerepel érték, akkor a l_{\min}^{-1} -ben meghatározott térfogatáram kerül az M15 cellába, ellenkező esetben az M15 cella üresen marad.

Az Adatok fül Szűrő parancsával bekapcsolt adatszűrő segítségével csak azokat a sorokat jelenítem meg, amelyekben érték szerepel az M-oszlopban, az üreseket elrejttem. A 3.12. ábra ezt az állapotot mutatja. A táblázat szűrésével csak azokat a sorokat jelenítem meg, amelyekben érvényes térfogatáram-érték található 10 liter átfolyására. Ezt követően az A, B, C, D, K, L, M oszlopokat a napi teljes kollektor adatmennyiség feldolgozásához készített sablonomba másolom.

Második csatorna

A második adatgyűjtő az elsővel ellentétben másodperces pontossággal regisztrálja az impulzusjel érkezésének és megszűnésének idejét, az adatfeldolgozás is lényegesen egyszerűbb.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dátum	Idő			Jel	Időkülönb.	V.	
2							l/min	
3	2011.11.03	8:55:07	0	0	False			
4	2011.11.03	9:04:00	0	0	True			
5	2011.11.03	9:04:01	0	0	False	0:08:54		
6	2011.11.03	9:08:29	0	0	True	0:04:29	0,22305	
7	2011.11.03	9:08:30	0	0	False	0:04:29		
8	2011.11.03	9:13:05	0	0	True	0:04:36	0,21739	
9	2011.11.03	9:13:05	0	0	False	0:04:35		
10	2011.11.03	9:17:36	0	0	True	0:04:31	0,2214	
11	2011.11.03	9:17:36	0	0	False	0:04:31		
12	2011.11.03	9:22:03	0	0	True	0:04:27	0,22472	
13	2011.11.03	9:22:04	0	0	False	0:04:28		
14	2011.11.03	9:26:38	0	0	True	0:04:35	0,21818	
15	2011.11.03	9:26:39	0	0	False	0:04:35		
16	2011.11.03	9:31:08	0	0	True	0:04:30	0,22222	

3.13. ábra: A második térfogatáram-mérő impulzusainak adatfeldolgozása

Az F-oszlop az időkülönbségeket tartalmazza. Amennyiben az adott sor az impulzusjel érkezésének idejéhez tartozik, az előző impulzus érkezésétől számított időkülönbség a meghatározó. A jel megszűnésének regisztrálása esetén az előző jel megszűnésétől kell számolni az időkülönbséget, így az F-oszlopban szereplő képlet, példaként szintén a 15. sort ismertetve a két sorral feljebb regisztrált időponthoz képest számol időkülönbséget:

$$=B15-B13 \quad (3.24)$$

Az F-oszlop függvénye:

$$\Delta t_{\text{imp } i} = t_i - t_{i-2} \quad (3.25)$$

A G-oszlopban a térfogatáram-értékeket határoztuk meg az impulzusjelek érkezésének időpontjai alapján. A G15 cella képlete:

$$=HA(E15="True";1/F15/60/24;"")) \quad (3.26)$$

A G-oszlop függvénye:

$$f_G = \begin{cases} \frac{1}{f_F \cdot 60 \cdot 24}, & \text{ha } f_E \text{ értéke "True"} \\ \text{nincs érték, egyébként} \end{cases} \quad (3.27)$$

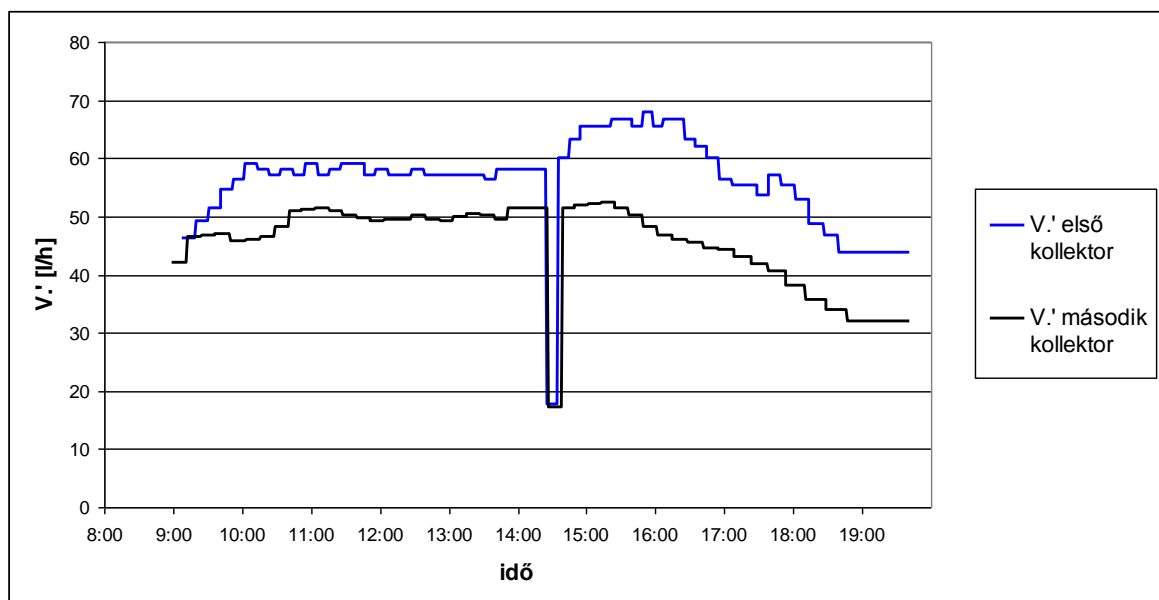
Ha az E15 cellában értéke „True”, akkor a l_{\min}^{-1} -ben meghatározott térfogatáram kerül a G15 cellába, ellenkező esetben a G15 cella üresen marad.

Az Adatok fül Szűrés parancsával elrejttem azon sorokat, melyekben nem szerepel térfogatáram-érték, majd az A-G oszlopokat a napi teljes kollektor adatmennyiség feldolgozásához készített sablonomba másolom.

Térfogatáram-mérők összehasonlítása soros kapcsolással

A kollektor hőteljesítménye a kilépő és belépő hőmérséklet közti különbség és a térfogatáram szorzataként határozható meg. A hőmérsékletmérés pontatlansága annál kisebb hibát eredményez a hőteljesítmény számított értékében, minél nagyobb a hőmérséklet-különbség. Ennek megfelelően a mérések során alacsony térfogatáramot kell biztosítani.

Az alábbi diagram (3.14. ábra) hagyományos térfogatáram-mérő órákkal, 10 literenként adott impulzusjelek gyűjtésével végzett soros kapcsolás eredményeit tartalmazza.



3.14. ábra: Sorosan kapcsolt kollektorok hibás térfogatáram-adatai

A két vízőrán a sorba kapcsolás révén azonos a térfogatáram, mégis jelentős eltérés figyelhető meg a mért értékek közt. A hiba oka az, hogy a hagyományos térfogatáram-mérő műszerek nem képesek pontosan mérni olyan alacsony térfogatáram-értékeket, melyeken a vizsgálatokat végezzük. A hagyományos, turbinás műszereket térfogat-kiszorítási elven működőekre cseréltem. Katalógusadat szerint a mérés alsó határa ezen műszerekkel $7,5 \text{ l h}^{-1}$. Hasonló soros kapcsolásban a két térfogatáram-mérő teljes napi mérés során is azonos számú impulzust ad.

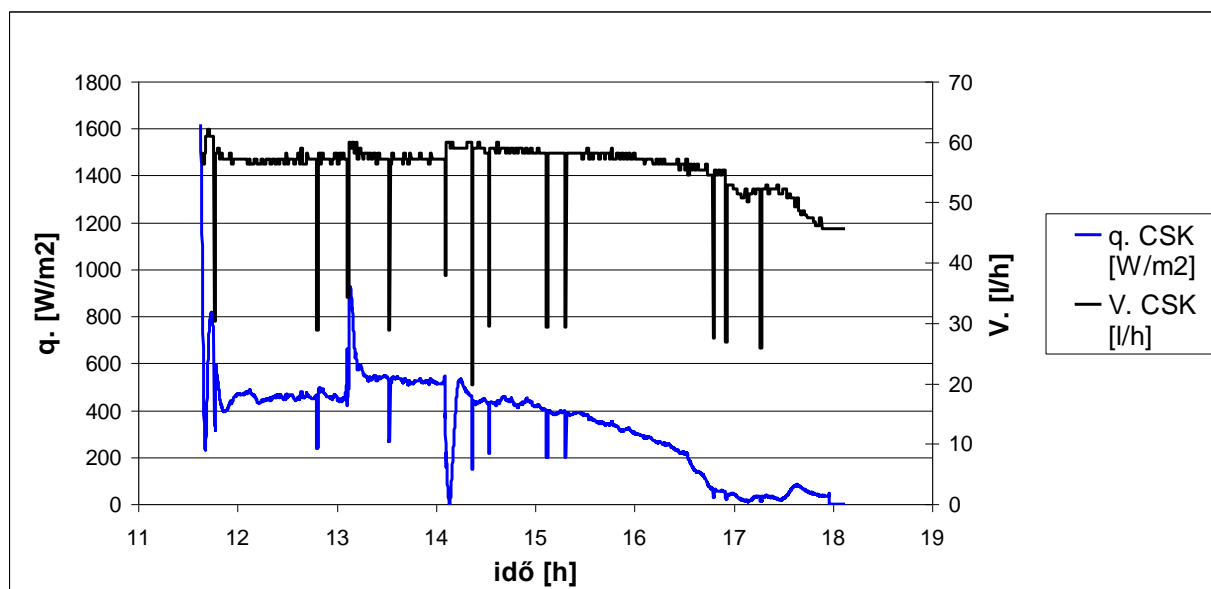
4. EREDMÉNYEK

Ezen fejezetben ismertetem a végzett méréseim során tapasztalt hibajelenségeket, az azok javítására kidolgozott módszereimet, a mérések korlátait, leírom a kísérletek során tapasztalt üzemi jelenségeket és a hatásfok-függvények felvételére, valamint az éves energiahozam becslésére kidolgozott eljárásomat.

4.1. Matematikai modell a kimaradó impulzusjelek okozta hibák javítására

A mérések során a vízórák adott mennyiség átfolyása esetén impulzusjelet adnak, az ezekhez tartozó időértékeket egy adatgyűjtővel rögzítem. A térfogatáram értékeket táblázatkezelővel határozom meg.

Az impulzusjelek esetleges kimaradása hibás térfogatáram-értékeket eredményez, ezért első lépésként ezen kimaradt jelek korrekcióját kell elvégezni. A következő diagramon ezen impulzus kimaradások jól kivehetőek (4.1. ábra).



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

A térfogatáram ezen napi mérés során 12 alkalommal hirtelen a felére csökkent, majd ugrásszerűen kétszeresére növekedett. Ezek az ugrásszerű változások a térfogatáram-mérés egy-egy impulzusának kimaradására utalnak. Természetesen, ahogy a diagramon is jól kivehető, a térfogatáram hibái egyben a számított hőteljesítmény hibáit jelentik. Az adatfeldolgozás során ezen hibás térfogatáram adatokat tehát javítani kell. Az adatfeldolgozás során a következő módszert alkalmaztuk: amennyiben egy térfogatáram-adatnak, valamint a megelőző és következő két adat átlagának hányadosa $2/3$ vagy annál kisebb, impulzus-kimaradást tételezünk fel, és a hibás adatot ezen megelőző kettő és következő kettő adat átlagával helyettesítjük:

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

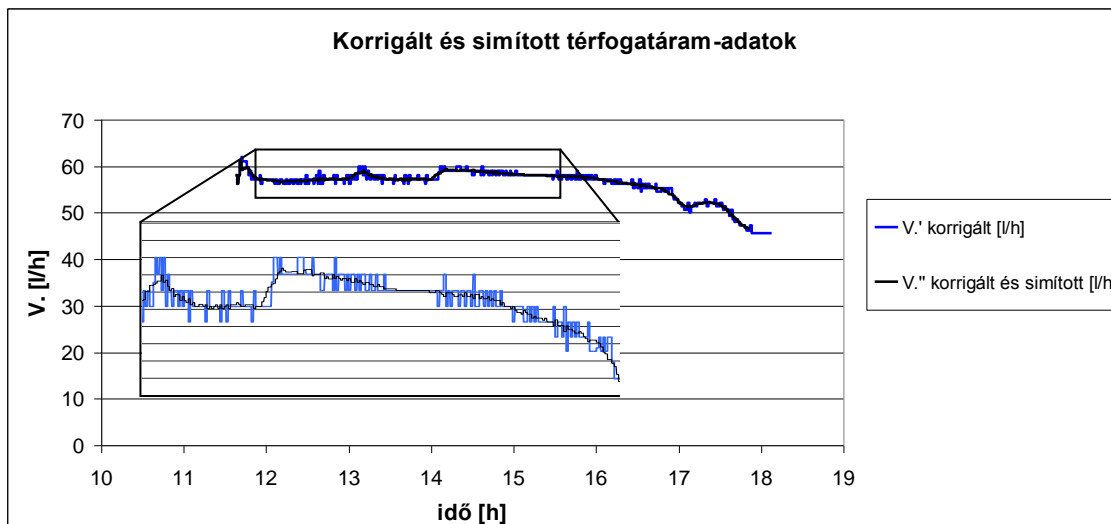
$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}_i' = \frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4} \quad (4.2)$$

A térfogatáram-görbe simítása

A térfogatáram-adatok pontatlanságának másik oka az impulzusonkénti átlagolásból adódik: két impulzusjel közt állandónak feltételezett térfogatáram nem mindig pontos. Ezen hiba csökkentésére az impulzus-kimaradások korrekcióját követően a görbe simítását vezettem be. Az impulzusjelek alapján számolt adatokat az egyes időpillanatokban a megelőző két és a következő két adat átlagával helyettesíttem.

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

A 4.2. ábra az ilyen módon simított (és korrigált) görbét hasonlítja össze a korrigált görbével:

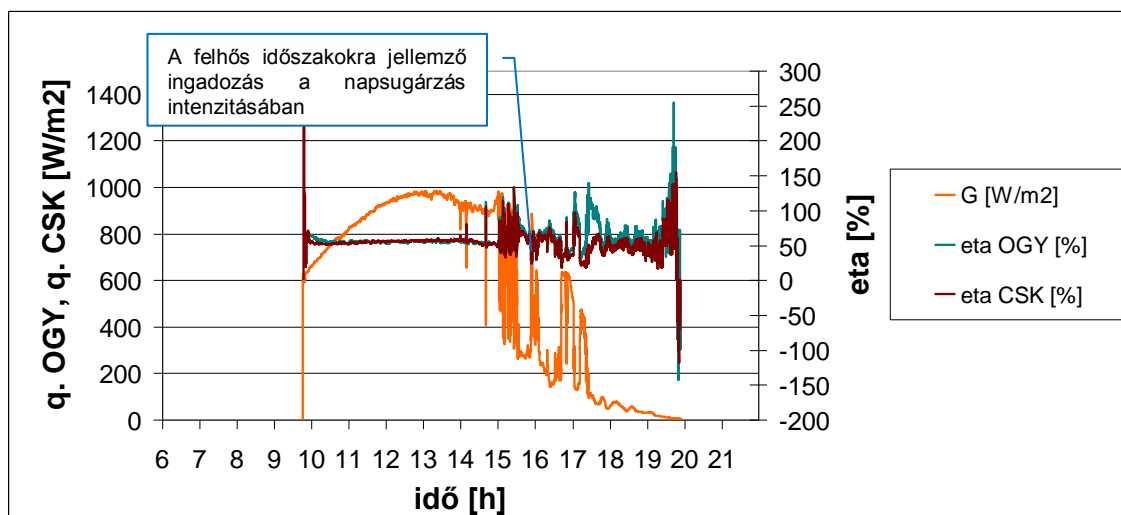


4.2. ábra: Térfogatáram-adatok az impulzus-kimaradások korrekcióját, valamint a görbe simítását követően, 2010.08.22-ei mérés

4.2. Matematikai módszer a felhőmentes időszakok azonosítására

Kutatásaim bizonyítják, hogy a felhős időszakok a pillanatnyi hatások értékének meghatározásakor hibát eredményeznek.

A napsugárzás intenzitásának változását az alkalmazott piranométer 18 másodpercen belül érzékeli. A kollektorok tömege, így hőtehetetlensége jóval nagyobb, mint a piranométeré, azok reakciója tehát jóval lassabb. Ennek következtében egy báránnyfelhő hatására bekövetkező napsugárzás-csökkenés ideje alatt a kollektorból a megelőző időszak hatására távozó hőteljesítmény a pillanatnyilag már lecsökkent napsugárzás intenzitására vonatkoztatva a számításokban hibát okoz, ahogy az a következő diagramon is megfigyelhető (4.3. ábra).



4.3. ábra: Napsugárzás intenzitás és a pillanatnyi hatásfok-értékek az idő függvényében, 2011.08.08-ai mérés

A felhős időszakot a G napsugárzás intenzitás görbe jelentős ingadozása mutatja, 15 órától. Ugyanezen időszak alatt a hatásfok pillanatnyi értékei nagyobb szórást mutatnak, és értelmetlen, 100 % fölötti értékeket vesznek fel, ami nyilvánvaló mérési hibát jelent. Az ilyen időszakokat a pillanatnyi hatásfok értékek közül ki kell szűrni.

Kizárólag a napsütéses időszakokban lehetséges a pillanatnyi hatásfok pontos meghatározása, felhős időszakban időtartamokra vett átlagértékekkel lehet számolni. A diagramokon tehát jól láthatóak a felhős időszakok, de a nagy mennyiségű mért adat gyors feldolgozásához szükséges egy logikai függvény definiálása, mellyel megállapítható egy napi mérésről, hogy mely időszakai minősíthetők felhőmentesnek. Ezen függvény beállításához egy olyan mérési napot választottam ki, mely felhős és felhőmentes időszakokat egyaránt tartalmaz.

A napsugárzásmérő egy jelerősítőn keresztül egy adatgyűjtőre van kapcsolva, mely a kapott 0÷20 mA-es jel pillanatnyi értékeit 5 másodpercenként menti. A 20 mA-es jelerősség 1400 W/m² napsugárzás intenzitásának felel meg, így a kapott áramerősség adatokból a következő képlettel számolható a globális sugárzás intenzitásának pillanatnyi értéke:

$$G_i = I_i \cdot \frac{1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{20\text{mA}}, \quad (4.4)$$

ahol:

G_i – a napsugárzás intenzitásának i -edik időpillanatban számolt értéke [Wm⁻²]

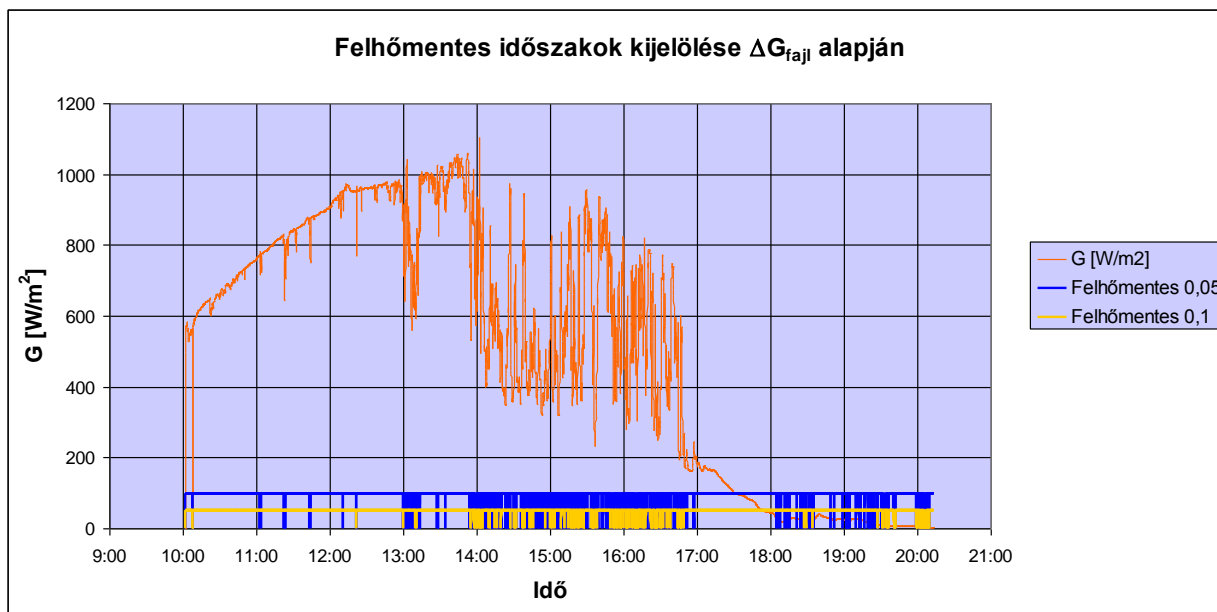
I_i – az adatgyűjtő által az i -edik időpillanatban mentett áramerősség érték [mA]

Elméletileg előfordulhat olyan hibás adatsor, amely 0 áramerősség értéket tartalmaz valamilyen okból, pl. a jelerősítő áramellátásának megszűnése miatt. Ilyen hibajelenséget nem tapasztaltam, de egy logikai függvénnyel a 0 értékű jelek szűrését biztosítottuk.

A táblázat egy új oszlopának minden i -edik sorába mentettem a napsugárzás intenzitás változásának fajlagos értékét:

$$\Delta G_{\text{faji}} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \quad (4.5)$$

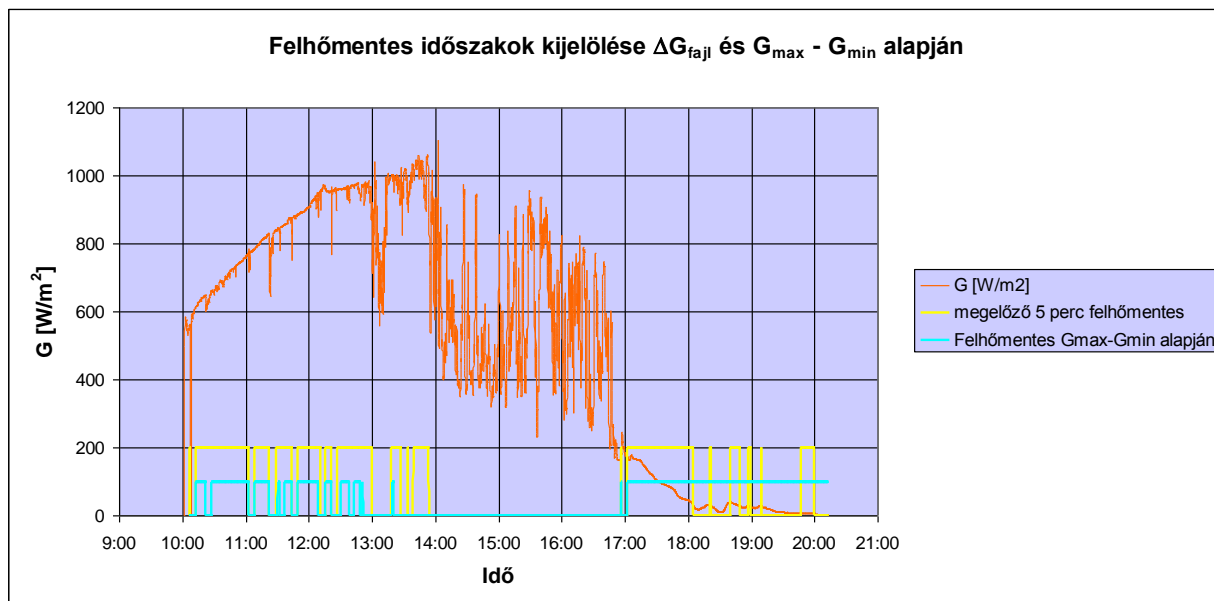
Az első módszerem szerint, ha a napsugárzás ezen fajlagos változása meghaladt egy felvett értéket, azt az időpontot felhősnek jelöltem meg. Első lépésként ezt az értéket – küszöbszámot – 0,05-ra vettem fel. A következő diagram (4.4. ábra) kék görbéje a 0,05 érték esetén mutatja a logikai függvény alakulását. A függvény 0 értéket vesz fel felhős, 1-et felhőmentes időszakban, a sugárzás intenzitás fajlagos változásának megfelelően. (A diagramon a jobb ábrázolhatóság érdekében százszoros nagyításban látható a logikai függvény.)



4.4. ábra: 0,05-os és 0,1-es küszöbértékkel meghatározott felhőmentes időszakok, 2010.07.30-ai mérés

Mint ahogy a diagramon látható, a logikai függvény megfelelően szűri ki a délelőtti rövid felhős időszakokat, de a 14:00 és 17:00 óra közti felhősödés rövid intervallumait felhőmentesnek jelöli. Ezen problémát a küszöbszám növelésével próbáltam elkerülni. A diagram sárga görbéje 0,1-es értékkel készült. Mint látható, a délutáni időszak problémája nem szűnt meg, de a délelőtti rövid felhősödéseket a függvény figyelmen kívül hagyja. Ez a módszer tehát önmagában nem megfelelő a felhős időszakok kijelölésére.

Második módszerem alkalmazása során a küszöbszám értékét ismét 0,05-ra állítottam. Az eddigieket azzal a kritériummal egészítettem ki, hogy egy időpillanat felhőmentes megjelöléséhez a megelőző 5 percnek is meg kell felelni a ΔG_{faji} küszöbértékével leírt követelménynek. Az így kapott eredményt a 4.5. ábra sárga görbéje mutatja:



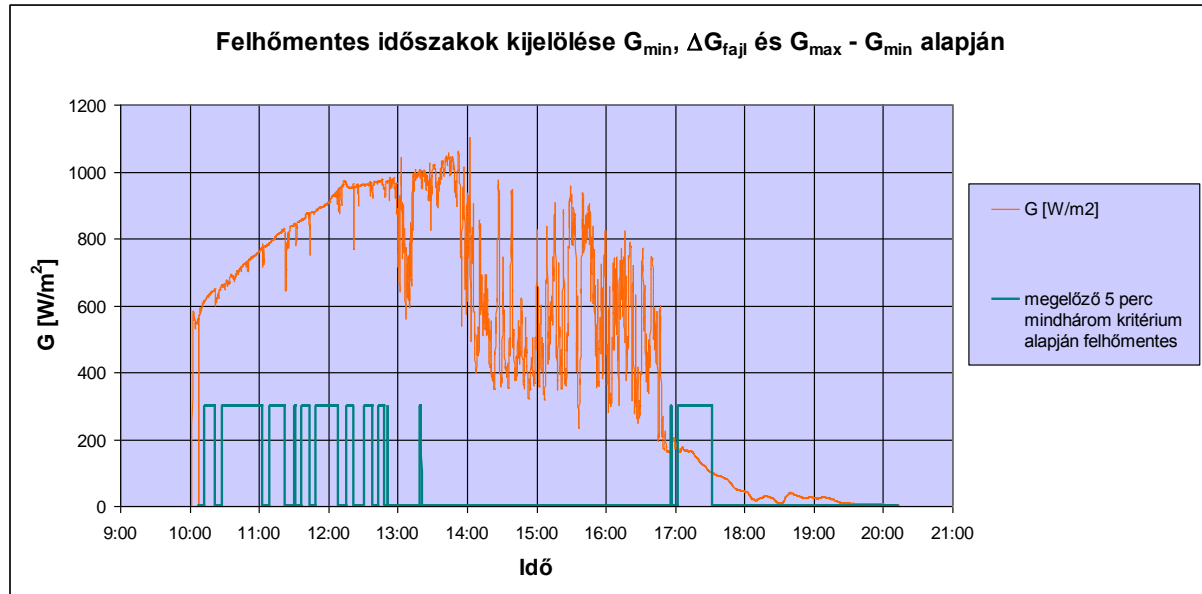
4.5. ábra: Felhőmentes időszakok kijelölése ötperces megelőző időszakok figyelembevételével, 2010.07.30-ai mérés

Látható, hogy ezen módszer megszünteti a 14:00 és 17:00 óra közti időszak hibás, felhőmentes kijelölését. Az ötperces megelőző időszakok a kollektorok hőtehetetlenségéből adódóan is szükségesek ahhoz, hogy pontos hatásfok-értékek legyenek mérhetőek. Ugyanakkor látható az is, hogy a 12:45-13:00 órai tartományt hibásan felhőmentesnek jelöli.

A diagramon kézzel jelölt logikai függvény szintén a megelőző ötperces időszakokat vizsgálja, de nem relatív, hanem abszolút sugárzásváltozás szerint. Azon időpillanatokat jelöli felhőmentesnek, melyekre fennáll az, hogy a megelőző öt percben a sugárzás intenzitásának maximuma és minimuma közt nem nagyobb a különbség $50 W/m^2$ -nél. Több kísérlet alapján ez az érték megfelelő, ugyanakkor látszik az is, hogy a 18:00 óra utáni időszaknál viszont a sárgával jelölt relatív eltérést használó függvény a pontos.

A pontos kijelölést ezen két függvény kombinációjával tehetjük meg. A legpontosabbnak mondható függvény az, amely ezen két előző megoldást egyesíti: azon időpontokat jelöli felhőmentesnek, melyeknél a megelőző öt perc teljesíti az abszolút és relatív eltérésekre felírt, korábban ismertetett kritériumokat.

Fentieket kiegészítettem egy elvárt minimális sugárzás intenzitás előírásával, mivel korábbi mérések alapján az igen alacsony napsugárzás értékek szintén pontatlanná teszik a számítást: az eredmények szórása növekszik. Így a végső kigyűjtésből a 18:00 óra utáni időszak kiesik, de a logikai függvény a további mérések során esetlegesen előforduló ilyen jellegű, magasabb sugárzási intenzitású adatokat megfelelően kezeli.



4.6. ábra: Felhőmentes időszakok kijelölése abszolút és relatív kritériumok alapján, 2010.07.30-ai mérés

A logikai függvény által előírt három feltétel, melyeknek egy adott időpontra nézve a megelőző ötperces időszakok alatt kell teljesülniük:

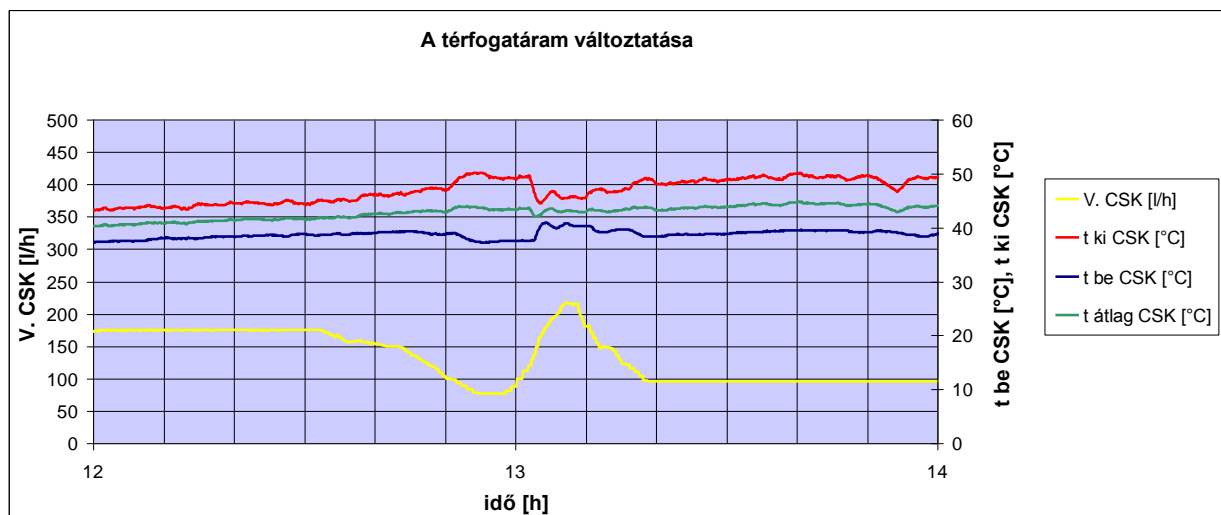
$$\Delta G_{\text{fajl}} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \leq 0,05, \quad (4.6)$$

$$G_{\text{max}} - G_{\text{min}} \leq 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \quad (4.7)$$

$$G_{\text{min}} \geq 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (4.8)$$

4.3. A kollektorok átlaghőmérsékletének változtatása

Méréseim eredményei igazolják, hogy a szivattyú szabályozásának alkalmazása az átlaghőmérséklet változtatására nem hatékony, mivel a térfogatáram csökkenésével nő ugyan a kollektor folyadékának belépési és kilépési hőmérséklete közti különbség, de az átlaghőmérséklet nem, vagy csak igen kis mértékben változik (4.7. ábra):

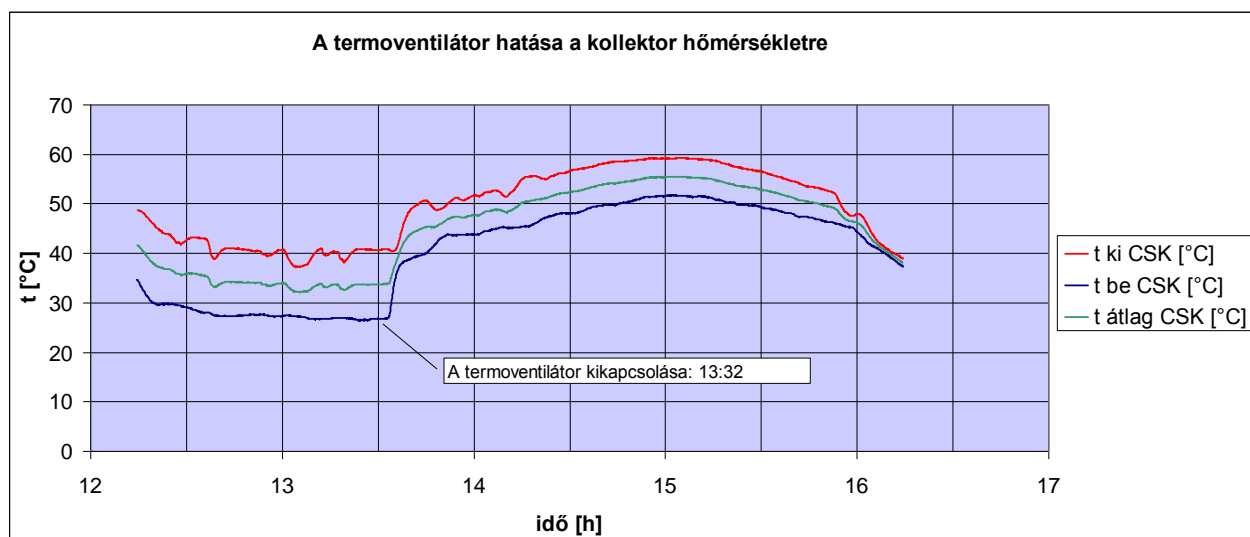


4.7. ábra: A térfogatáram változtatása és az átlaghőmérséklet, 2010.08.10-ei mérés

Mint látható, a térfogatáram a szabályzás hatására 175 l h^{-1} értékről 100 l h^{-1} értékre, 57 %-ára csökkent. Az átlaghőmérséklet láthatóan közel egyenletes, a belépő és kilépő hőmérsékletek tranzienst jelenségeinek lefutása alatt is.

Természetesen a térfogatáram megfelelő beállítása fontos a mérések pontossága szempontjából, mivel előírt kritérium szerint a kilépő és a belépő hőmérséklet különbségének meg kell haladnia az előírt minimális értéket. Ezt a kellően alacsony térfogatáram teszi lehetővé.

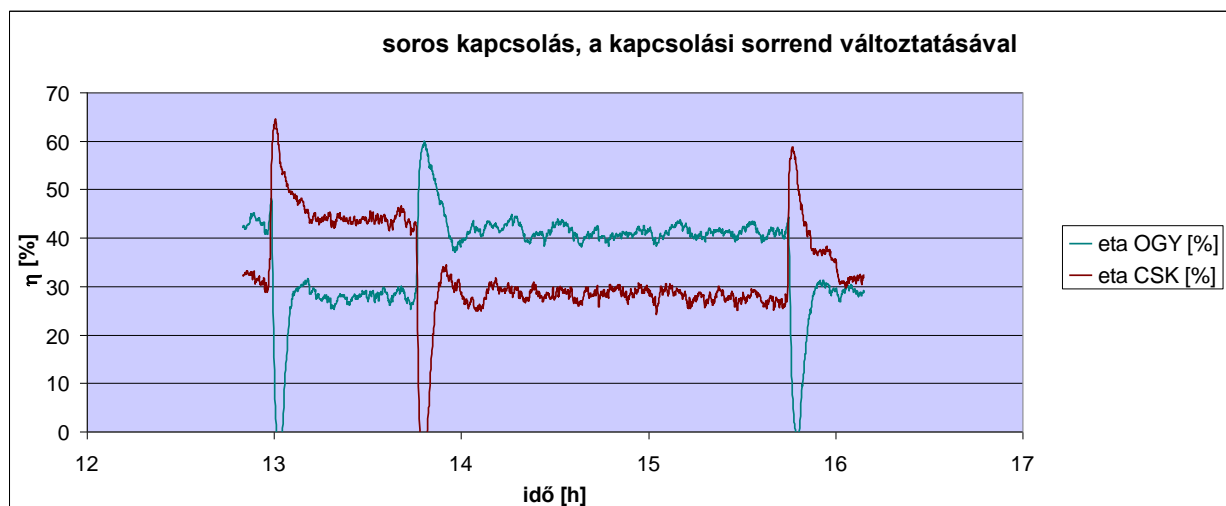
A termoventilátorral összekapcsolt kollektorokból álló mérőberendezéssel a termoventilátor hűtőteljesítményét szabályozva lehet hatékonyan változtatni a kollektorok átlaghőmérsékletét. A megoldásom a szolártartály alkalmazásával ellentétben gyors beavatkozást tesz lehetővé: a fokozatmentesen szabályozható termoventilátorral rövid idő alatt különböző belépő hőmérséklet értékekkel tudjuk lemérni az adott napsugárzás intenzitáshoz és levegő hőmérsékletéhez tartozó üzemi állapotot (4.8. ábra):



4.8. ábra: A termoventilátor üzemi működésének hatása a csőkígyós kollektor hőmérsékletére, 2010.10.10-ei mérés

4.4. A hatásfok változása soros kapcsolásban

Megállapítható, hogy sorosan kapcsolt kollektorok hatásfoka a sorban előrehaladva csökken. Ez a napkollektorok hatásfokgörbéinek jellegéből is adódik, hiszen minél magasabb egy kollektor átlaghőmérséklete a környező levegőhöz képest, annál nagyobb a környezetbe távozó hőáram nagysága. A sorosan kapcsolt kollektorokban az egyre magasabb hőmérsékletre melegített folyadék egyre nagyobb hőveszteséget és alacsonyabb hatásfokot eredményez. A jelenséget a 4.9. ábra mérési diagramja mutatja be:



4.9. ábra: Változtatott sorrendű soros kapcsolás.

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

A mérés során a két kollektort soros kapcsolásban üzemeltettük, de a kapcsolás sorrendjét változtattuk. 13 óráig az osztógyűjtős kollektor volt az első, a csőkígyós kollektor a második a sorban, 13:00-tól 13:45-ig a csőkígyós az első és az osztógyűjtős a második, 13:45-től ismét az osztógyűjtős az első és a csőkígyós kollektor a második. 15:45-től a csőkígyós kollektor az első, az osztógyűjtős a második. (Jól láthatóak a kapcsolás változtatásakor lezajló tranziens jelenségek okozta kiugró, hibás értékek, melyeket a kollektorok hatásfok-függvényeinek meghatározásakor nem veszünk figyelembe.)

A hatásfok kollektorról kollektorra történő csökkenése minden, soros kapcsolású kollektortelep jellemzője. Üzemi problémát a jelenség akkor okoz, ha a soros kollektortelep csúcshőmérséklete nem a kilépő csonkon mérhető, tehát nem az utolsó kollektorban éri el a folyadék az adott kollektortípussal az adott időjárási körülmények közt elérhető maximális hőmérsékletét. Ez a probléma akkor jelentkezik, ha túl alacsony a térfogatáram. Ekkor a folyadék ezen maximális hőmérséklet elérését követően a további kollektorokban már nem tud tovább melegedni.

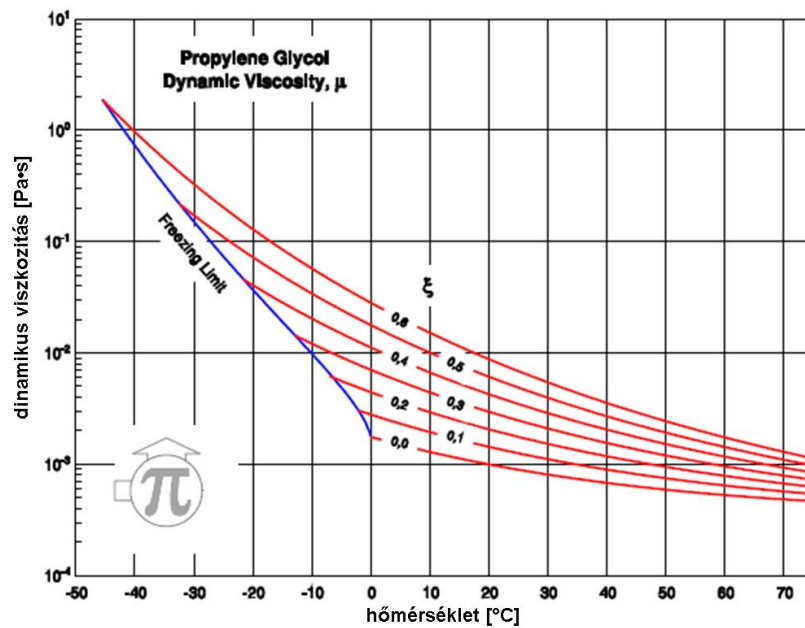
A jelenséget a térfogatáram növelésével lehet megszüntetni, de amennyiben a szabályozás nem érzékeli a hibás üzemmódot, a kilépő hőmérséklet emelésére esetlegesen a térfogatáramot tovább csökkenti, ezzel a kívánttal ellentétes hatást vált ki. Fentiekből az következik, hogy sorosan kapcsolt kollektormező szabályozására nem feltétlenül elegendő egyetlen hőmérő. A hibás üzemmód a soros ág utolsó szakaszában elhelyezett több hőmérővel mutatható ki.

4.5. Eltérő csövezésű kollektorok párhuzamos kapcsolása

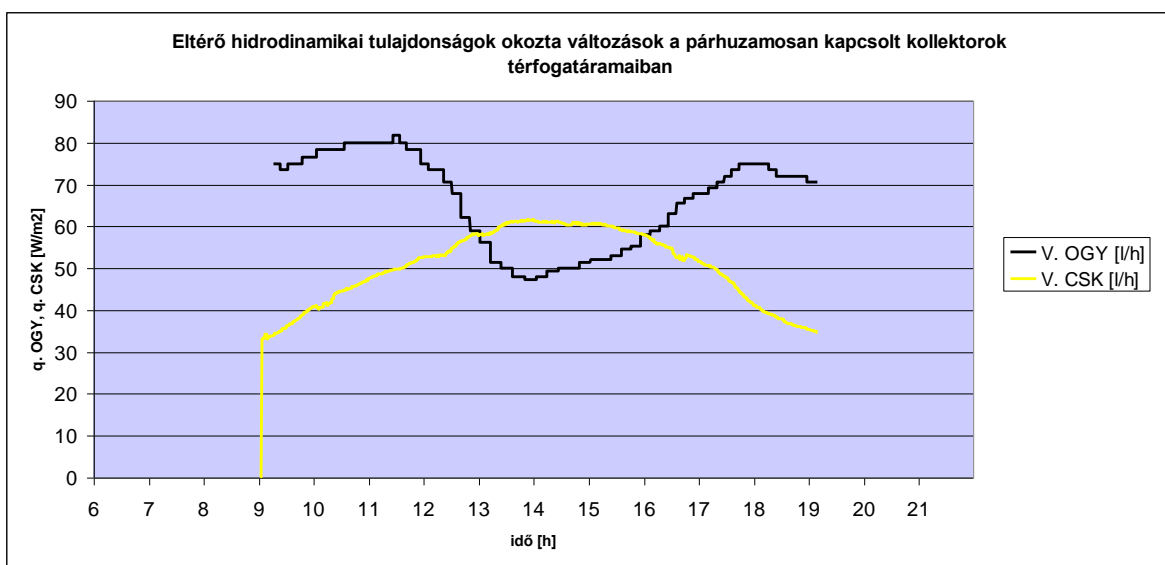
A két kollektor eltérő abszorber csövezetéke miatt a nyomásveszteségek is különbözőek, ezért a kollektorokat nyomásszabályozó szelepekkel láttuk el, melyekkel lehetséges a két térfogatáram

kiegyenlítése a párhuzamos kapcsolású mérések során. Tapasztalataim szerint az eltérő hidrodinamikai tulajdonságú kollektorok párhuzamos kapcsolása hibás üzemmódokat eredményezhet.

Fojtószelepekkel van lehetőség a párhuzamosan kapcsolt két kollektor eltérő nyomásesésének kiegyenlítésére. Ez a kiegyenlítés viszont hőmérsékletfüggő, mivel a propilén glikol viszkozitása jelentősen csökken a hőmérséklet emelkedésével (4.10. ábra). Mérési tapasztalataim szerint ez ahhoz vezet, hogy a hidegen azonos térfogatáramra beállított, majd felmelegedő kollektorok közül az osztógyűjtőben radikálisan csökken az áramlás (4.11. ábra).



4.10. ábra: A propilén glikol oldat dinamikus viszkozitása (http://www.solarbook.ie/solar_design.html, 2013.07.13.)



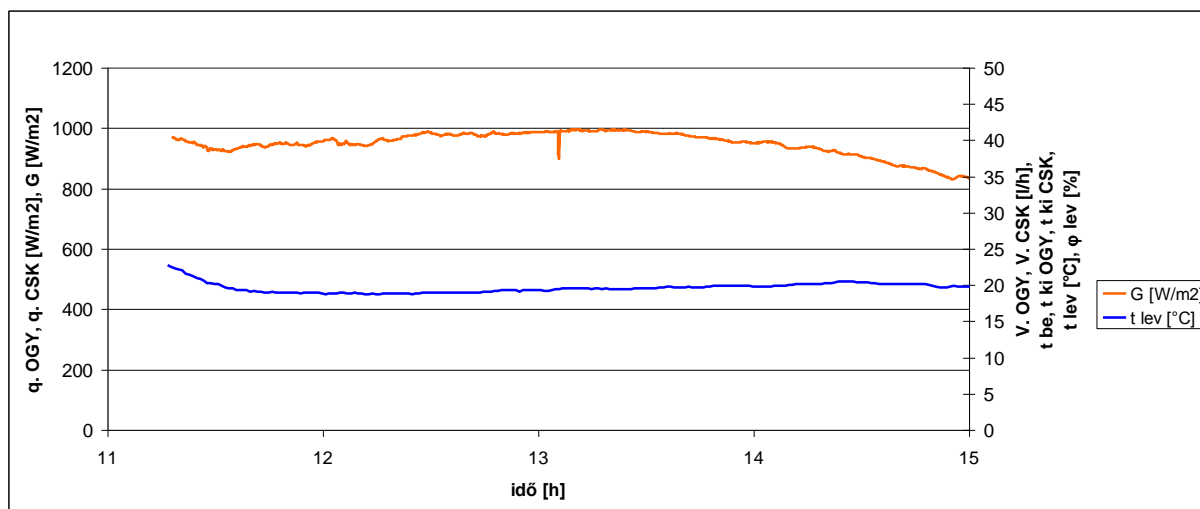
4.11. ábra: A térfogatáramok arányának változása a fagyálló folyadék hőmérsékletfüggő viszkozitásának hatására, 2011.08.22-ei mérés

4.6. Tranziens jelenségek vizsgálata

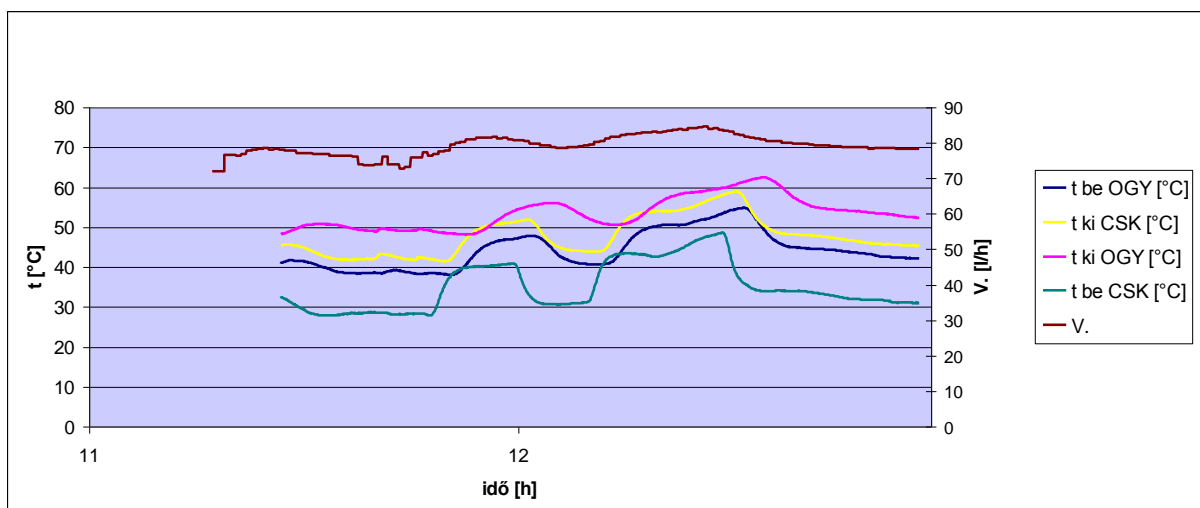
A napkollektorok hőmérséklete késleltetve követi az időjárás változását. A késleltetés mértéke kollektor típusonként eltérő lehet. A tranziens jelenségek nem csak az időjárás változása által jöhetnek létre, szoláris rendszerekben a vízelvétel a szolártartály hőmérsékletének, így a kollektorok belépő hőmérsékletének csökkenését okozhatja. Kísérleteinkben ezen két hatást vizsgáltuk.

Az adatgyűjtővel a hőmérsékleteket 5 másodpercenként regisztráljuk, így lehetőség van a tranziens jelenségek elemzésére is. Ez nem csak a napkollektorok működéséről adhat hasznos információkat a megfelelő szabályozás megtervezéséhez, hanem a hatásfok mérésének szempontjából is fontos, hiszen a tranziens állapotok pontatlanná teszik a hatásfok értékeket.

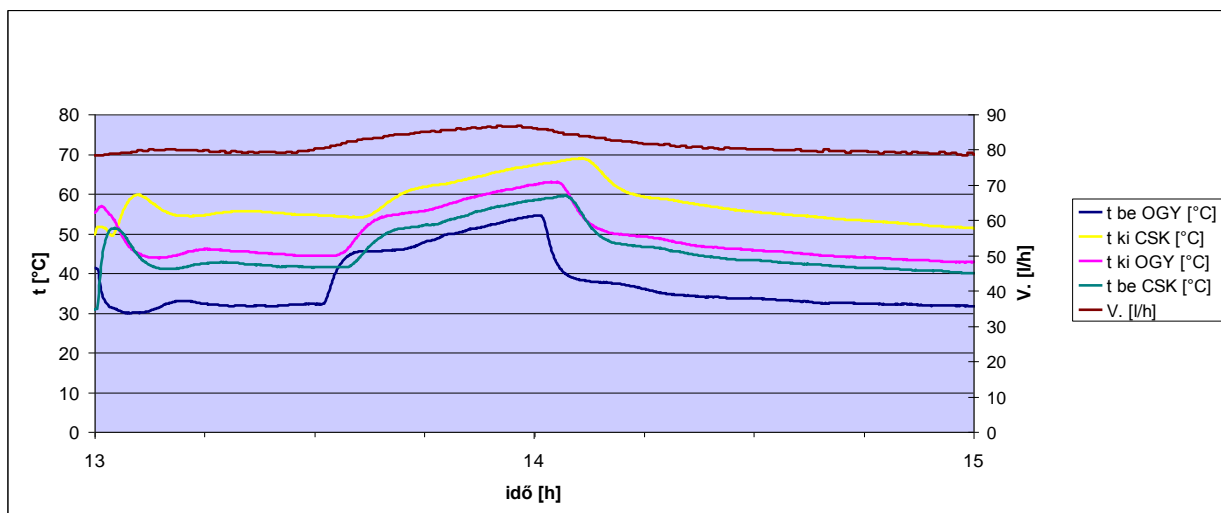
A 2010. október 3-ai mérés során az égbolt felhőmentes, a levegő hőmérséklete gyakorlatilag egyenletes volt (4.12. ábra) a két kollektort sorosan kapcsoltam, 13 óráig csőkígyós-osztógyűjtős (4.13. ábra), majd 13 órától osztógyűjtős-csőkígyós sorrendben (4.14. ábra).



4.12. ábra: A napsugárzás intenzitása és a levegő hőmérséklete a tranziens jelenségek mérése során, 2010.10.03-ai mérés



4.13. ábra: Kollektorok belépő és kilépő hőmérsékletei csőkígyós-osztógyűjtős sorrendű soros kapcsolásban, 2010.10.03-ai mérés



4.14. ábra: Kollektorok belépő és kilépő hőmérsékletei osztógyűjtős-csőkígyós kapcsolásban, 2010.10.03-ai mérés

A tranziens jelenséget a termoventilátor ki- és visszakapcsolásával hoztam létre, ezáltal a belépő hőmérséklet emelkedett, majd csökkent. (A belépő hőmérséklet csökkenése a kollektoros rendszereknél vízelvételnél játszódik le.) A kísérletet lefolytattam a sorosan kapcsolt kollektorok felcserélését követően is (4.14. ábra), az előzővel megegyező térfogatáramon.

Ahogy az várható volt, a kapcsolásban a termoventilátorhoz közelebb lévő, első kollektor kilépő hőmérséklete gyorsabban reagál a belépő hőmérséklet változására. Megfigyelhető továbbá az is, hogy a sorban második kollektor reakciója nem csak később indul, hanem időben elnyújtottabb jellegű.

4.1. táblázat: A termoventilátor be- és kikapcsolásainak időpontjai a 2010. október 3-ai mérés során

11:49:00	termoventilátor ki
12:01:00	termoventilátor be
12:11:00	termoventilátor ki
12:30:00	termoventilátor be
13:30:00	termoventilátor ki
14:00:00	termoventilátor be

Az első mérés során a termoventilátor kikapcsolásakor az első kollektor belépő hőmérséklete 28,3 °C volt. Ez 11:50:28-kor kezdett emelkedni, és 12:01:48-kor érte el a maximális 40,9 °C-ot (a termoventilátor 12:01:00-kor történt bekapcsolását követően). A termoventilátort 12:11:00-kor kapcsoltam ki újra. Az első kollektor belépő hőmérséklete 12:11:08-kor csökkent le 31 °C-ra, majd ezt az értéket tartotta 12:11:58-ig. Ezt követően elkezdett ismét emelkedni, egészen a 12:30:43-kor elért 48,6 °C-os értékig, majd a 12:30:00-kor bekapcsolt termoventilátor hatására 31 °C-ra hűlt vissza 12:55:18-ig. A sorban első kollektor ezen belépő hőmérsékletadatait, valamint a kilépő hőmérséklet alakulását és a második kollektor hasonló jellemzőit a 4.2. táblázat tartalmazza.

4.2. táblázat: Tranziens jelenségek csőkígyós-osztógyűjtős sorrendű soros kapcsolásnál

mérő-pont	termoventilátor kikapcsolása		hőmér-séklet-emelkedés kezdete	termov. be	maximális hőmérséklet	
CSK be	28,3 °C	11:49:00	11:50:28	12:01:00	40,9 °C	12:01:48
CSK ki	42,2 °C		11:52:48		51,8 °C	12:03:18
OGY be	38,2 °C		11:53:23		47 °C	12:05:38
OGY ki	49,4 °C		11:57:38		56 °C	12:06:48

termov. ki	minimális hőm.	
12:11:00	30,7 °C	12:06:08
	44,1 °C	12:10:18
	40,7 °C	12:11:53
	50,8 °C	12:16:48

mérő-pont	hőmér-séklet-emelkedés kezdete	termov. be	maximális hőmérséklet		állandósult hőm.	
CSK be	12:11:58	12:30:00	48,6 °C	12:30:43	34,1 °C	12:35:38
CSK ki	12:13:58		59 °C	12:32:58	48,2 °C	12:40:43
OGY be	12:14:23		54,9 °C	12:33:43	44,8 °C	12:41:23
OGY ki	12:16:48		62,4 °C	12:36:13	54,1 °C	12:48:18

A tranziens jelenségek időszükségeit az egyes kollektorokon a 4.3. táblázat tartalmazza.

4.3. táblázat: A tranziens jelenségek időszükségei az egyes kollektorokon

mérőpont	hőmér-séklet-emelkedés időszüksége	hőmér-séklet-csökkenés időszüksége	hőmér-séklet-emelkedés időszüksége	hőmér-séklet-csökkenés időszüksége	Teljes első tranziens időszüksége	Teljes második tranziens időszüksége
CSK be	0:11:20	0:04:20	0:18:45	0:04:55	0:15:40	0:23:40
CSK ki	0:10:30	0:07:00	0:19:00	0:07:45	0:17:30	0:26:45
OGY be	0:12:15	0:06:15	0:19:20	0:07:40	0:18:30	0:27:00
OGY ki	0:09:10	0:10:00	0:19:25	0:12:05	0:19:10	0:31:30

Amint az a 4.3. táblázat két utolsó oszlopában látható, a sorosan kapcsolt kollektorokon a tranziens jelenségek a sorban előre haladva lassabban játszódnak le.

A fordított sorrendű soros kapcsolással mért hőmérséklet-változások (4.14. ábra) időtartamait a 4.4. táblázat tartalmazza.

4.4. táblázat: Tranziens jelenségek osztógyűjtős-csőkígyós sorrendű soros kapcsolásnál

mérőpont	termoventilátor kikapcsolása		hőmérséklet-emelkedés kezdete	termov. be	maximális hőmérséklet		állandósult hőmérséklet	
	OGY be	OGY ki			OGY be	OGY ki	CSK be	CSK ki
OGY be	32,2 °C	13:30:00	13:31:13	14:00:00	54,5 °C	14:00:18	38,3 °C	14:06:23
OGY ki	44,4 °C		13:33:03		63 °C	14:02:23	50,2 °C	14:10:33
CSK be	41,5 °C		13:34:48		59,5 °C	14:04:23	47,2 °C	14:12:33
CSK ki	54,7 °C		13:36:48		69 °C	14:06:33	59 °C	14:16:03

4.5. táblázat: A tranziens jelenségek időszükségei az egyes kollektorokon

mérőpont	hőmérséklet-emelkedés időszüksége	hőmérséklet-csökkenés időszüksége	Teljes tranziens időszüksége
OGY be	0:29:05	0:06:05	0:35:10
OGY ki	0:29:20	0:08:10	0:37:30
CSK be	0:29:35	0:08:10	0:37:45
CSK ki	0:29:45	0:09:30	0:39:15

A 4.3 és 4.5 táblázatok első és negyedik sorában szereplő teljes tranziens időszükségelek viszonyát felírva megállapítható, hogy a tranziens jelenségek a második kollektor kilépő csomópontján átlagosan 22,4 %-kal hosszabb idő alatt játszódtak le.

Összehasonlítva a termoventilátor bekapcsolásakor létrejövő hőmérséklet-csökkenések meredekségét, az alábbi eredményeket kapjuk:

4.6. táblázat: A hőmérséklet csökkenésének átlagos sebessége csőkígyós-osztógyűjtős sorrendű soros kapcsolásban

mérőpont	időtartam kezdete	kezdeti hőmérséklet [°C]	időtartam vége	vég hőmérséklet [°C]	hőmérséklet-csökkenés átlagos sebessége [°C/s]
CSK be	12:31:28	46,6	12:32:28	39,7	0,1150
CSK ki	12:33:58	57,1	12:35:43	52	0,0486
OGY be	12:35:08	53	12:37:38	47,4	0,0373
OGY ki	12:38:48	60,5	12:41:08	57,1	0,0243

4.7. táblázat: A hőmérséklet csökkenésének átlagos sebessége osztógyűjtős-csőkígyós sorrendű soros kapcsolásban

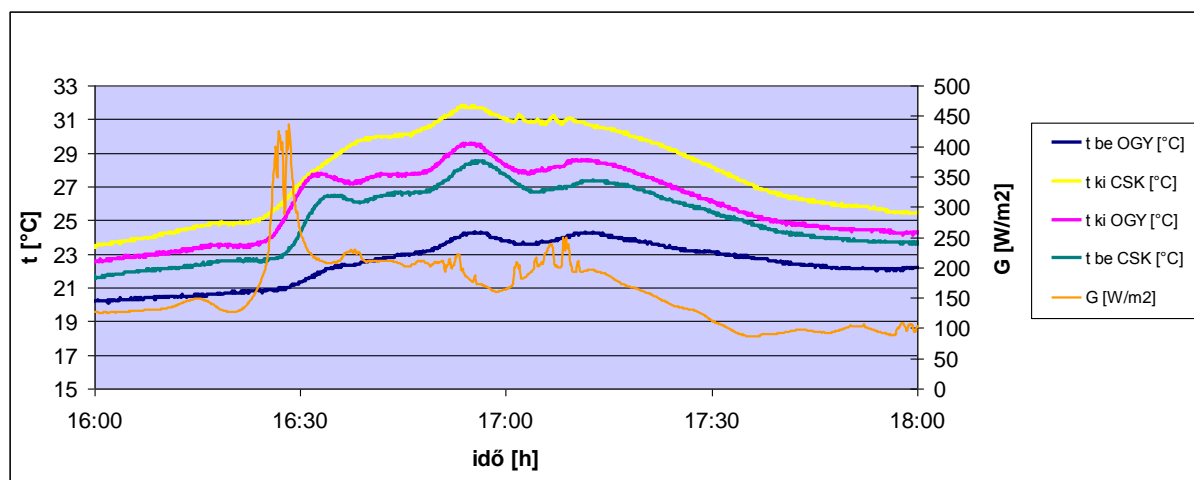
mérőpont	időtartam kezdete	kezdeti hőmérséklet [°C]	időtartam vége	vég hőmérséklet [°C]	hőmérséklet-csökkenés átlagos sebessége [°C/s]
OGY be	14:01:13	53,9 °C	14:02:28	45,3 °C	0,1147
OGY ki	14:04:33	60,5 °C	14:06:38	54,3 °C	0,0496
CSK be	14:05:48	57,1 °C	14:07:53	51,3 °C	0,0464
CSK ki	14:08:38	66,5 °C	14:10:53	62,3 °C	0,0311

A 4.6. és 4.7. táblázat első és negyedik sorában szereplő értékek viszonyát felírva megállapítható, hogy a hőmérséklet csökkenésének sebessége a második kollektor kilépő csomkján átlagosan 48,2 %-a az első kollektor belépő csomkján mérhető értéknek.

A jelenség jól nyomon követhető a 4.13. és a 4.14. ábra függvényein: a hőmérséklet-csökkenés sebessége a sorosan kapcsolt kollektorokon előrehaladva egyre kisebb.

Megállapítható, hogy a sorosan kapcsolt kollektoroknak a belépő hőmérséklet ingadozására tett reakciójuk sebessége a sorban előre haladva egyre csökken.

Hasonló jelenség figyelhető meg a napsugárzás intenzitásának ingadozásakor (4.15. ábra):



4.15. ábra: A napsugárzás intenzitásának ingadozása és az ezáltal létrejött tranzienis jelenségek osztógyűjtős-csőkígyós soros kapcsolás mérésénél, 2011.07.20-ai mérés

Az osztógyűjtős-csőkígyós sorrendű soros kapcsolással végzett mérés alatt az első kollektoron korábban mérhetők a hőmérséklet-változások, ez különösen a lila (első kollektor kilépő hőmérséklete) és a zöld (második kollektor belépő hőmérséklete) görbék összehasonlításakor szembetűnő.

4.7. Hatásfok-függvények meghatározása

Laboratóriumi körülmények közt a sugárzás a kollektor abszorber felületét merőlegesen éri, természetes körülmények közt ez a szög változó. Vizsgálataim során kétféle hatásfok-függvényt vettem fel: tetszőleges beesési szöghöz tartozó, illetve a merőlegestől maximálisan 15°-os eltérést megengedő lekérdezéssel előállított függvényt.

Tetszőleges napsugárzás beesési szög

A mérések során létrehozott adatbázisból lekérdezésekkel felvehető a kollektorok hatásfok-diagramja.

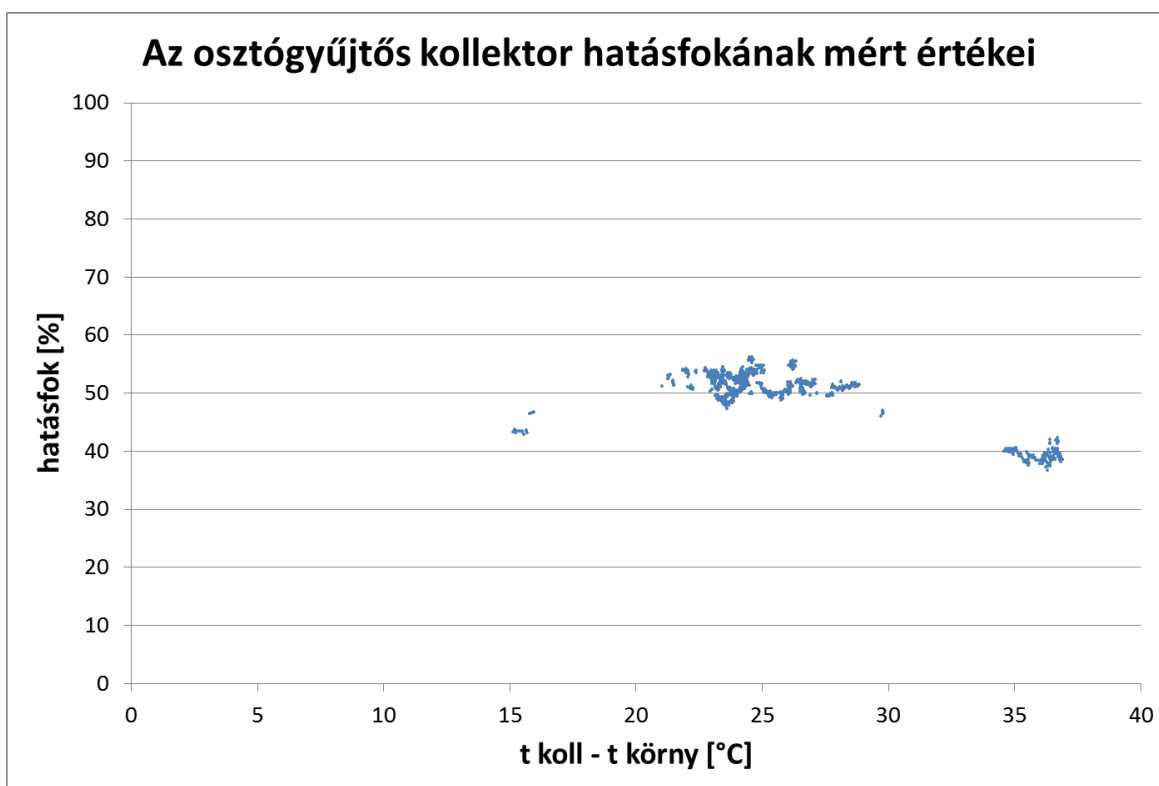
A kollektorok déli tájolásúak. Ezen fejezet függvényeinek felvétele során sem az égtáj szerinti, sem a kollektorok dőlésszöge és a napsugárzás vízszintes síkkal bezárt beesési szögéből adódó, merőleges beeséstől való szögeltérést nem korlátoztam.

Az 4.17. és 4.18. ábra függvényeinek előállításához a következő lekérdezést használtam az adatbázisban:

4.8. táblázat: Az adatbázis szűrési paraméterei az 1000 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 lekérdezést mindkét kollektorra elvégeztem. A 4.16. ábra példaként az osztógyűjtős kollektorra a lekérdezés eredményeként kapott 1803 mért érték ponthalmazát mutatja.



4.16. ábra: Hatásfok mérési eredmények az osztógyűjtős kollektorra

A mérési adatbázisból kigyűjtött 1803 értéket a környezeti hőmérséklettől való eltérés szerint 2°C -os sávokra osztottam. Az így kapott tartományokra eső adatokra meghatároztam azok

átlagértékét, mediánját, minimumát és maximumát, valamint az adatok mennyiségét. Ezen eredményeket a 4.9. táblázat mutatja be:

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

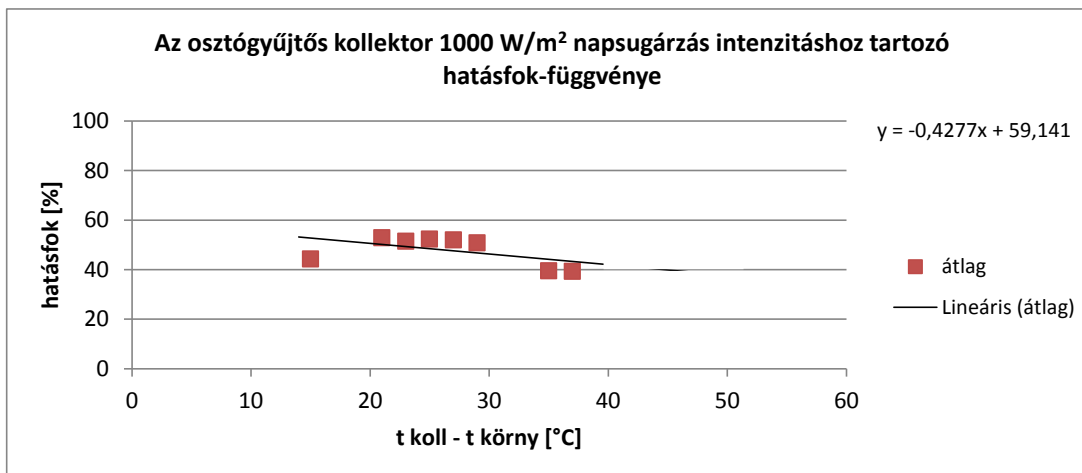
$t_{\text{koll}} - t_{\text{körny}}$	14-16	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	34-36	36-38
	15	21	23	25	27	29	35	37
átlag	44,23	52,87	51,46	52,27	52,00	50,83	39,49	39,30
medián	43,43	52,72	51,91	52,28	51,66	51,09	39,86	39,11
maximum	46,75	54,00	54,44	56,15	55,59	51,97	40,60	42,32
minimum	42,90	51,109	47,36	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 csőkígyós kollektor mérési eredményeit is (4.10. táblázat):

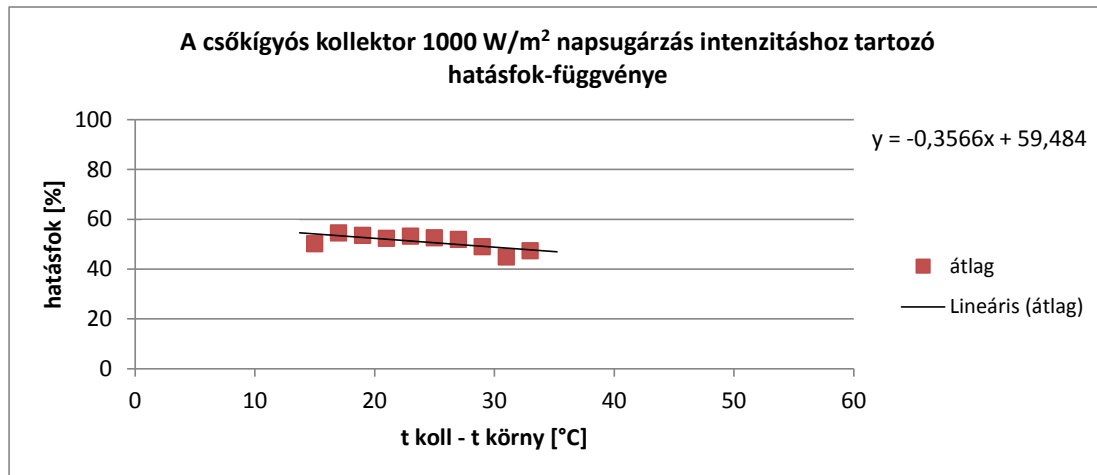
4.10. táblázat: A csőkígyós kollektor 1000 Wm^{-2} sugárzás intenzitáshoz tartozó mért hatásfok értékeinek jellemzői

$t_{\text{koll}} - t_{\text{körny}}$	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32	32-34
	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33
átlag	50,16	54,53	40,68	51,16	53,67	54,40	52,87	48,97	44,87	47,33
medián	50,12	55,54	40,65	52,54	53,18	54,39	52,06	50,99	45,19	47,64
max.	50,55	56,95	41,19	55,34	60,16	61,28	59,61	54,18	48,32	51,97
min.	49,80	49,47	40,22	40,27	47,90	49,48	49,45	43,25	41,53	42,61
szórás	0,331	2,585	0,437	3,55	3,577	3,226	2,012	3,651	1,728	2,560
darab	7	54	4	318	528	575	561	208	96	108

A 4.17. és a 4.18. ábra a két kollektor hatásfokának alakulását mutatja 1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás esetén, a közepes kollektor hőmérséklet és a levegő hőmérséklet különbségének függvényében:

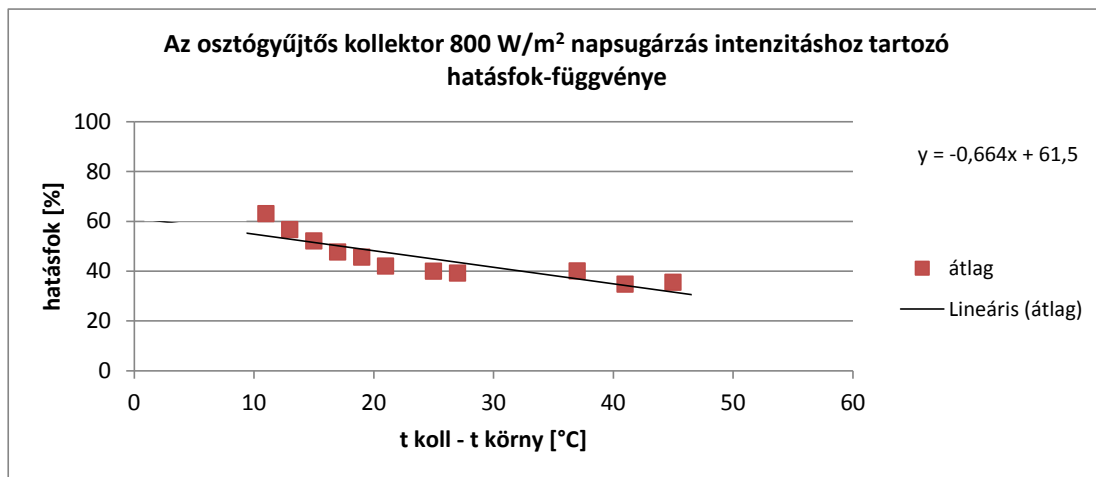


4.17. ábra: 1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – osztógyűjtős abszorberrel szerelt kollektor

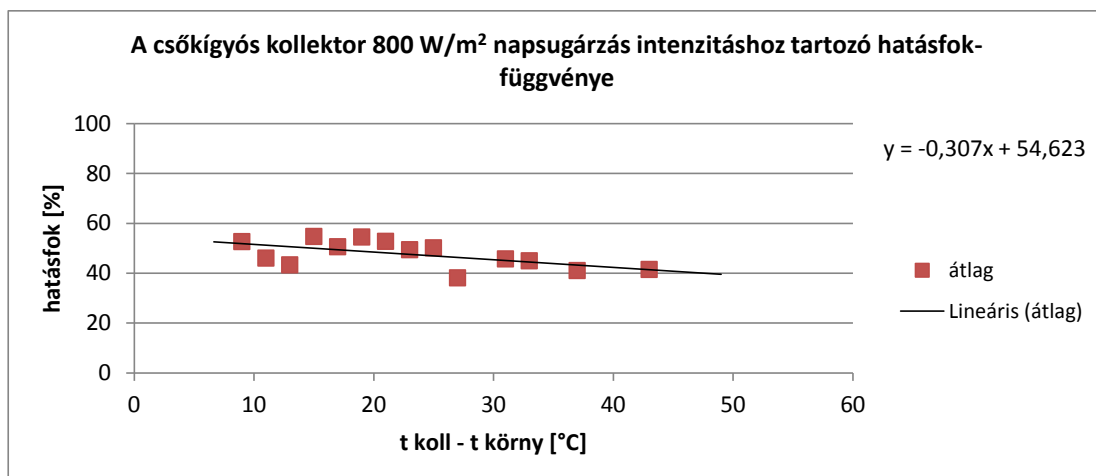


4.18. ábra: 1000 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – csőkígyós abszorberrel szerelt kollektor

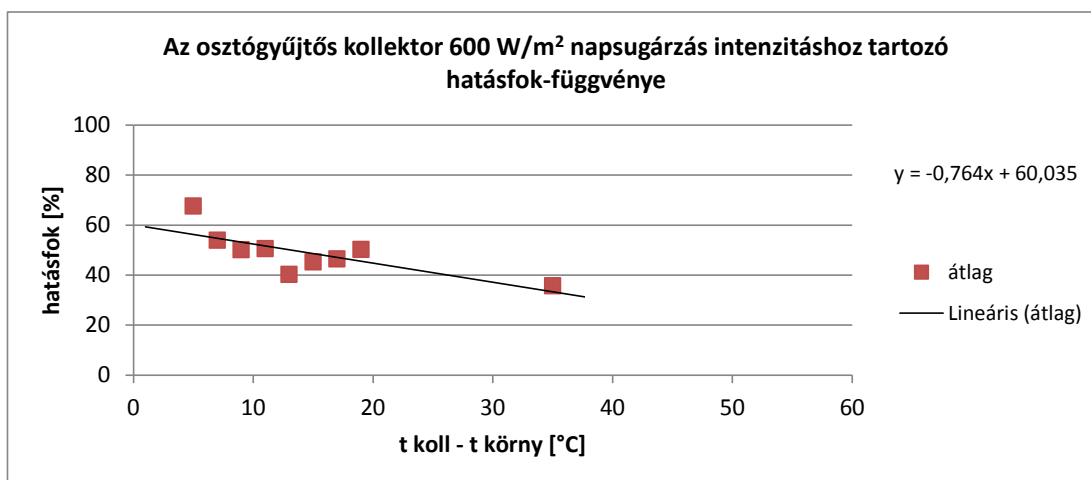
További lekérdezésekkel meghatároztam a két kollektor hatásfok-függvényét 800 Wm⁻² és 600 Wm⁻² napsugárzás intenzitásra is (4.19. ábra, 4.20. ábra, 4.21. ábra, 4.22. ábra):



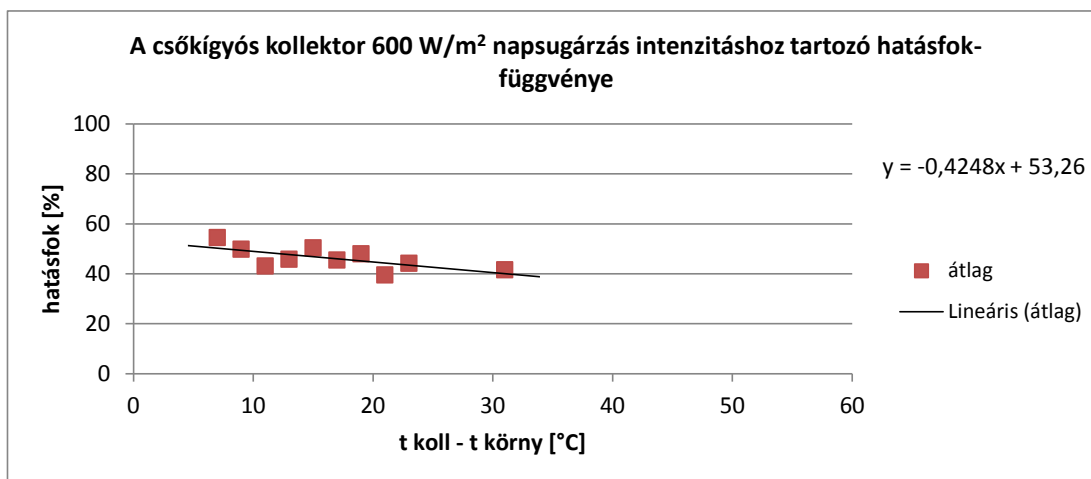
4.19. ábra: 800 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – osztógyűjtős abszorberrel szerelt kollektor



4.20. ábra: 800 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – csőkígyós abszorberrel szerelt kollektor



4.21. ábra: 600 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – osztógyűjtős abszorberrel szerelt kollektor



4.22. ábra: 600 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – csőkígyós abszorberrel szerelt kollektor

A 4.17. ábra, 4.18. ábra, 4.19. ábra, 4.20. ábra, 4.21. ábra és a 4.22. ábra lineáris függvényeinek illeszkedési pontossága a 4.11. táblázat adataival jellemezhető:

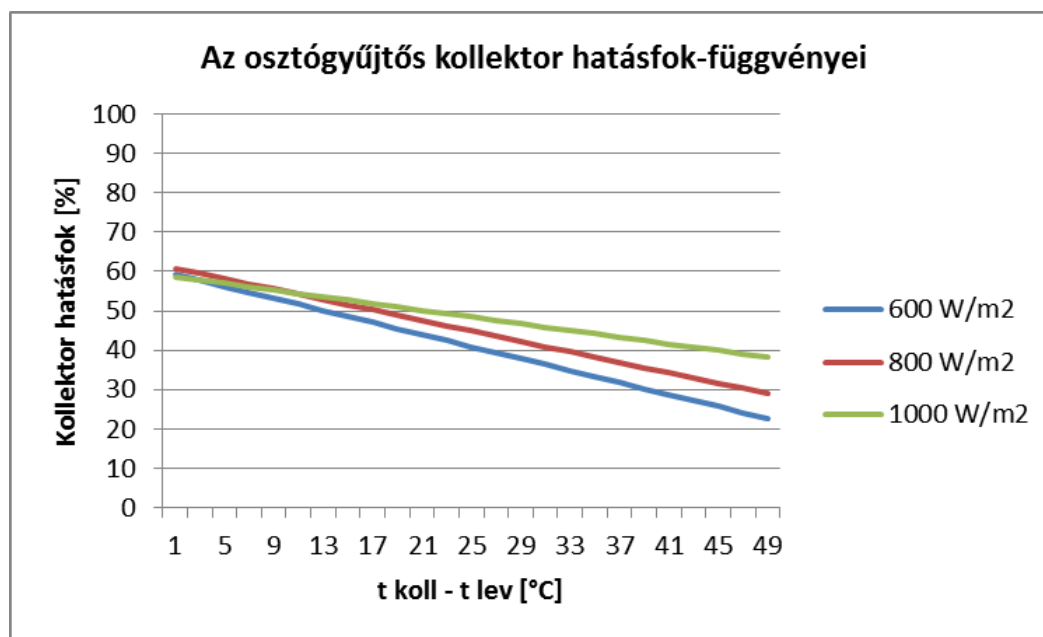
4.11. táblázat: Az 1000 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvények illeszkedési pontossága, eltérések a hatásfok értékek és a lineáris függvény közt

Napsugárzás intenzitás	1000 Wm ⁻²		800 Wm ⁻²		600 Wm ⁻²	
	OGY kollektor	CSK kollektor	OGY kollektor	CSK kollektor	OGY kollektor	CSK kollektor
hatásfok tartomány	43-53 %	47-54 %	32-54 %	41-52 %	33-56 %	40-50 %
átlagos abszolút eltérés	0,043	0,0162	0,0375	0,0337	0,0274	0,0229
átlagos relatív eltérés	9,3 %	3,22 %	8,26 %	7,09 %	6,14 %	5,2 %
szórás	1,898	1,329	2,33	2,63	1,73	1,7
95 %-os konfidencia intervallum	± 1,315 %	± 0,824 %	± 1,378 %	± 1,378 %	± 1,131 %	± 1,05 %

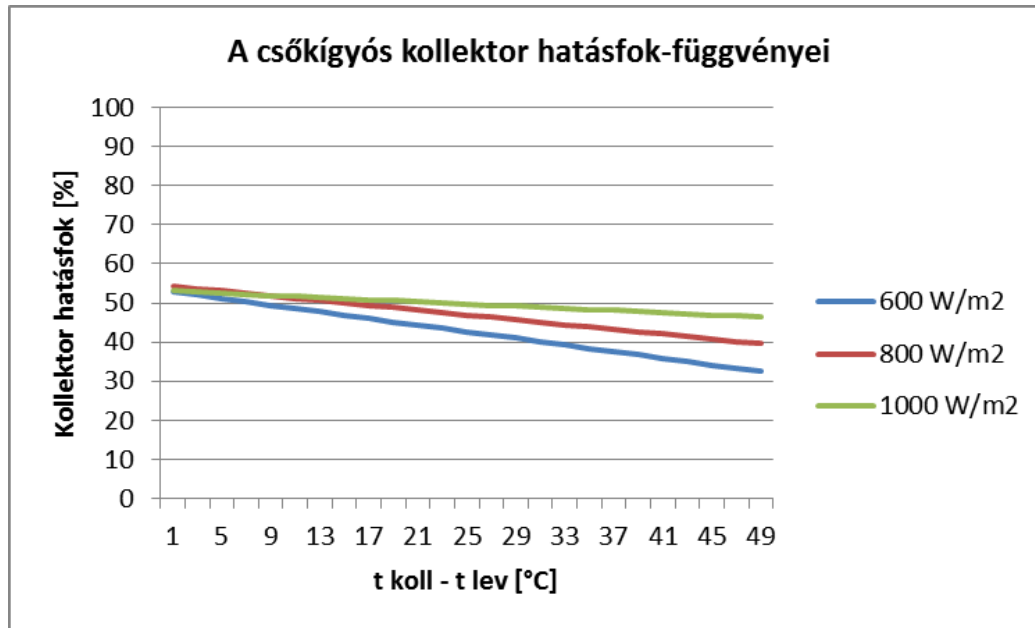
Ezen diagramokból előállítható a különböző napsugárzás intenzitás értékek szerinti görbesereg (4.23. ábra). Hasonlóképpen előállítható a csökígyós kollektor megfelelő diagramja (4.24. ábra).

A beállított szűrési paramétereknek megfelelő esetenként több száz mérési eredmény szórását mutat, az átlagtól eltérő, kiugró értékek hibát jeleznek. Az egyik leghatékonyabb módszer, ami eltávolítja a kiugró értékeket, ugyanakkor megőrzi a valós adatokat az alacsony, 200 Wm^{-2} napsugárzás intenzitásnál kisebb értékekhez tartozó eredmények eltávolítása (LESTER, MYERS, 2006). Az adatok feldolgozása során én is azt tapasztaltam, hogy az alacsony napsugárzás intenzitás bizonytalanná teszi a méréseket, így ezen eredményeket az adatbázisból eltávolítottam. Az ASHRAE szabvány előírásai szerint az előírt minimális napsugárzás a mérések során 630 Wm^{-2} (ASHRAE STANDARD 93-77, 1977). Az adatfeldolgozás során tapasztalható volt, hogy 600 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás alatt a mérés pontatlanná válik, az eredmények szórása jelentősen növekszik. A jelenség további vizsgálata albedométeres mérésekkel folytatható. Az albedométer a teljes sugárzás intenzitás mellett méri a szórt sugárzás intenzitását is, a két érték különbsége a direkt sugárzás. A napsugárzás ezen mérése szerint vizsgálhatóvá válhat az, hogy a direkt és szórt sugárzás különböző arányainál mekkora lehet a mérésekhez szükséges minimális sugárzás intenzitás.

A 4.17. ábra és a 4.18. ábra függvényeihez hasonlóan a mért értékeket tartalmazó adatbázisom szűrésével előállítottam a 600 és a 800 Wm^{-2} napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvényeket is, mindkét kísérleti kollektorra. A 4.17. ábra és a 4.18. ábra 1000 Wm^{-2} értékhez tartozó függvényeivel együtt a görbeseregeket a 4.23. ábra és a 4.24. ábra mutatja:

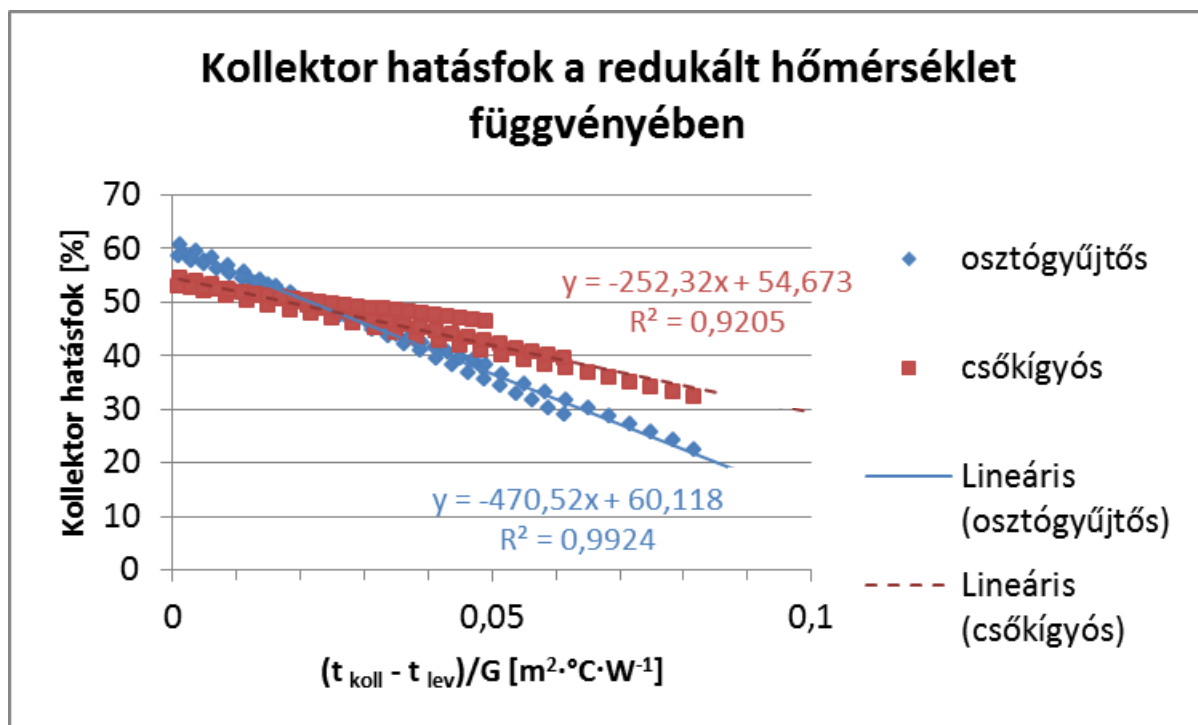


4.23. ábra: Az osztógyűjtős kollektor hatásfok-függvényei különböző napsugárzás intenzitás értékekre



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

Az 4.23. és az 4.24. ábra görbeseregeit a redukált hőmérséklet-különbség függvényében egy-egy görbévé alakítva a két kollektor hatásfok-függvénye (4.25. ábra):



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

A mérési eredmények nagy pontossággal illeszkednek az elméletnek megfelelő jelleget mutató közelítő függvényekre: a környező levegőhöz képesti hőmérséklet-különbség növekedésével a hatásfok csökken, magasabb napsugárzás intenzitás pedig magasabb hatásfokot eredményez, valamint a környezeti hőmérsékleten üzemelő kollektorok esetében a hatásfok értéke gyakorlatilag független a napsugárzás intenzitásától. A felírt függvények ordinátatengely

metszékei közt a maximális eltérés 2,36 % az osztógyűjtős és 1,43 % a csőkígyós kollektor esetében.

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

A mérőrendszer pontosságát igazolandó, a fentiekhez hasonlóan elvégeztem egy olyan kollektor vizsgálatát is, melynek ismertek a laboratóriumi méréseken alapuló hatásfok-függvényei. Mérési eredményeimet a 4.9. fejezetben ismertetem.

Előírt napsugárzás beesési szög

A napsugárzás vízszintes síkkal és az északi iránnyal bezárt szöge a nap folyamán folyamatosan változik. A mérések idejéhez tartozó szögértékeket és a csillagászati dél időpontját az Astronomical Applications Department of the US Naval Observatory adatbázisából határoztam meg (<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php>, 2013.07.15.), Szegedre vonatkozóan. Az adatok lekérdezésénél 1 perces időközöket alkalmaztam.

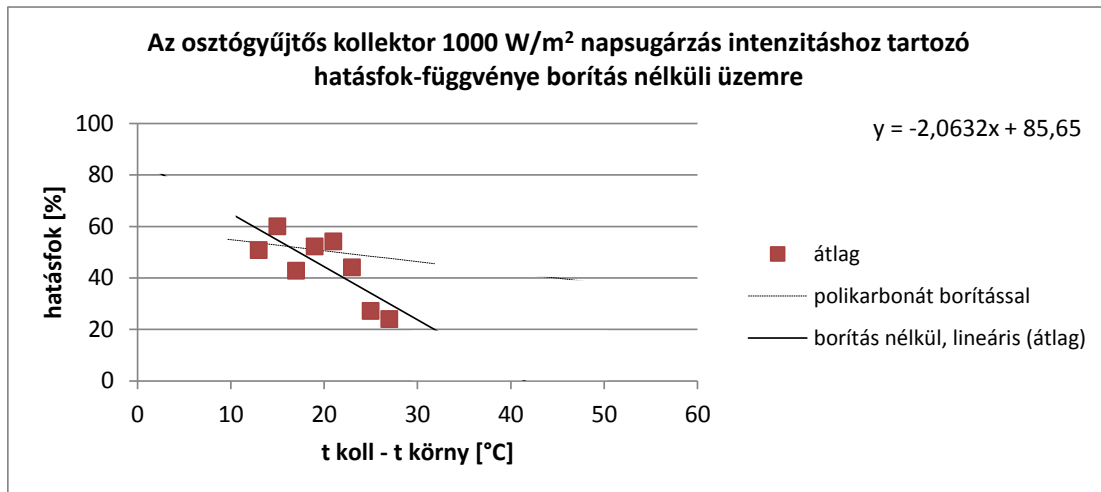
Első lépésként a csillagászati déltől való eltérést vizsgáltam meg. Megítélésem szerint a kollektor síkjának normálisától való 15° -os eltérés megengedhető. Az adatokat leszűkítve a mindenkori csillagászati dél ± 30 perces időintervallumra az 1000 Wm^{-2} sugárzáshoz tartozó függvények esetében változást nem tapasztaltam. Ez azzal magyarázható, hogy a felhőmentesnek megjelölt és 1000 Wm^{-2} -es sugárzási intenzitású időszakok túlnyomórészt ebbe az időszakba esnek.

Elmondható az is, hogy a felhőmentes, ugyanakkor alacsonyabb napsugárzási intenzitással jellemezhető mérések a vizsgált időszakban kívül esnek a csillagászati dél ± 30 perces időszakon.

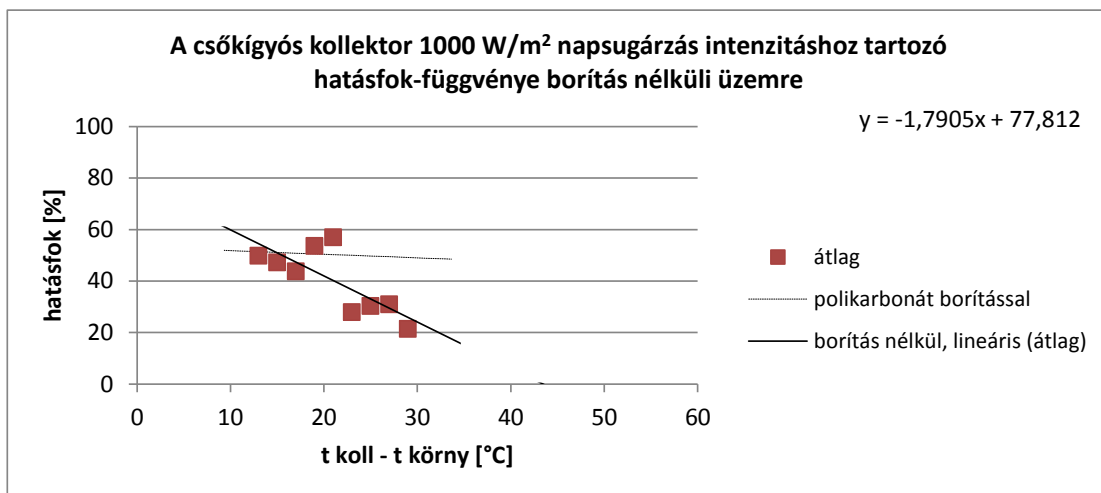
4.8. A kollektorok üzemeltetése polikarbonát borítással és borítás nélkül

A saját tervezésű kísérleti kollektoraink megbonthatóak, róluk a polikarbonát borítás eltávolítható. Kísérleteim során borítás nélkül is végeztem méréseket. Az 1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvényeket az 4.26. és az 4.27. ábra mutatja.

Megállapítható, hogy a felírt hatásfok-függvények az elméletivel megegyező jelleget mutatnak: a borítás nélküli kollektor hatásfokának induló értéke magasabb, viszont a görbe meredekebb, a kollektor hőmérséklet emelésével a hatásfok csökkenése nagyobb mértékű. A polikarbonát borítás hőszigetelő szerepet tölt be, ezért a kollektor hővesztesége kisebb, a görbe laposabb, ezért nagyobb hőmérséklet-különbségnél is használható a kollektor. Ugyanakkor a polikarbonát 100 %-nál kisebb fényáteresztő képessége veszteséget okoz, így a hatásfok induló értéke alacsonyabb.



4.26. ábra: Az osztógyűjtős kollektor hatásfok-függvénye 1000 Wm⁻² sugárzás intenzitás esetén, borítás nélkül és polikarbonát borítással, 863 mért adat alapján



4.27. ábra: A csőkígyós kollektor hatásfok-függvénye 1000 Wm⁻² sugárzás intenzitás esetén, borítás nélkül és polikarbonát borítással, 961 mért adat alapján

4.12. táblázat. Az 1000 Wm⁻² napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvények illeszkedési pontossága, eltérések a hatásfok értékek és a lineáris függvény közt

	osztógyűjtős kollektor, borítás nélkül	csőkígyós kollektor, borítás nélkül
átlagos abszolút eltérés	0,0719	0,0624
átlagos relatív eltérés	17,44 %	15,5 %
szórás	2,115	4,769
95 %-os konfidencia intervallum	± 1,466 %	± 3,116 %

Megfigyelhető, hogy a mért eredmények illeszkedésének pontossága még megfelelőnek mondható, de elmarad a borítással ellátott napkollektorok mérési eredményeitől. A borítás nélküli napkollektorok hatásfokát jelentősen befolyásolja a szélesség, a borítással ellátott napkollektoroknál ez a hatás elhanyagolható (BURCH, 2009). Ezen utóbbi körülmény miatt a mérőberendezés szélmérőt nem tartalmaz, de az automatizált működtetéséhez megírt LabVIEW

programot már úgy készítettük el, hogy az képes legyen fogadni egy szélmérő jelét, így a fedetlen kollektorok hatásfokának mérése a későbbiekben pontosítható.

4.9. Ismert hatásfokú kollektor vizsgálata

A hatásfok méréshez kifejlesztett módszerem igazolására a berendezéssel megvizsgáltam egy ismert hatásfokú, Buderus SKN 3.0 típusú napkollektort. A kollektor hatásfokát a gyártók az alábbi összefüggés szerint adják meg:

$$\eta = \eta_0 - k_1 T^* - k_2 G(T^*)^2 \quad (4.9)$$

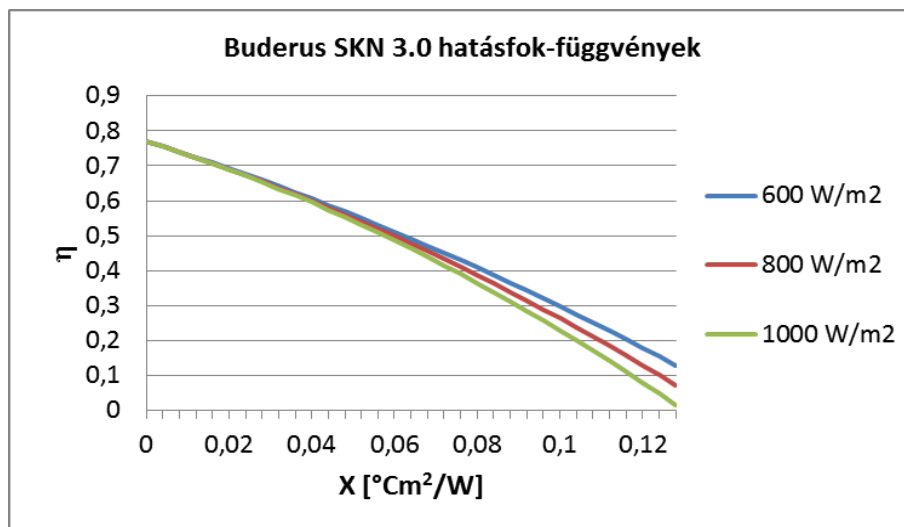
A vizsgált kollektor paraméterei a Buderus szolár tervezési segédlet alapján:

$$\eta_0 = 0,77 \quad (4.10)$$

$$k_1 = 3,6810 \quad (4.11)$$

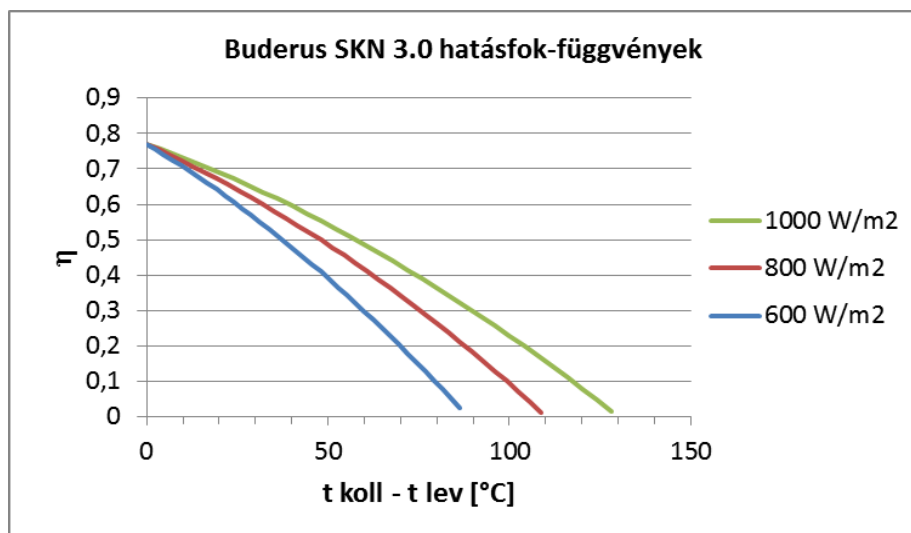
$$k_2 = 0,0173 \quad (4.12)$$

A kollektor hatásfok-függvényeit 600, 800 és 1000 Wm⁻² napsugárzás intenzitásra is felvettem (4.28. ábra):



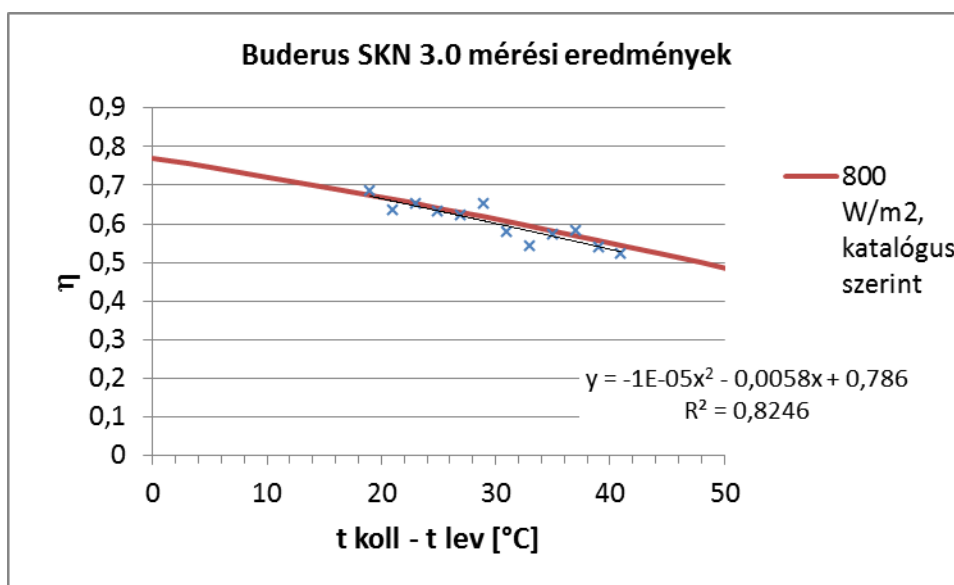
4.28. ábra: A Buderus SKN 3.0 napkollektor hatásfoka 600, 800 és 1000 Wm⁻² napsugárzás-intenzitáshoz tartozóan, a redukált hőmérséklet-különbség függvényében (Forrás: saját szerkesztés katalógus adatok alapján - <http://ecomfort.com/skn-30-flat-plate-residential-portrait-solar-energy-collector-77-optical-efficiency-2666.html>)

A redukált hőmérséklet-különbség függvényében felvett hatásfok-függvény szabvány szerint előírt napsugárzás-intenzitása 800 Wm⁻², emellett felvettem a 600 és 1000 Wm⁻² értékekhez tartozó hatásfok-függvényeket is. A hatásfok-függvényeket kiszereztem a hőmérséklet-különbség függvényében is (4.29. ábra):



4.29. ábra: A Buderus SKN 3.0 napkollektor hatásfoka 600, 800 és 1000 Wm⁻² napsugárzás-intenzitáshoz tartozóan, a hőmérséklet-különbség függvényében (Forrás: saját szerkesztés katalógus adatok alapján - <http://ecomfort.com/skn-30-flat-plate-residential-portal-solar-energy-collector-77-optical-efficiency-2666.html>)

A Buderus kollektorral végzett méréseim eredményét, a 800 Wm⁻² sugárzási intenzitáshoz tartozó mért értékeket kigyűjtve a 4.30. ábra tartalmazza:



4.30. ábra: A Buderus SKN 3.0 kollektor mért hatásfok értékei és a katalógus adatok szerint felvett hatásfok függvény (Forrás: saját mérések és katalógus adatok alapján - <http://ecomfort.com/skn-30-flat-plate-residential-portal-solar-energy-collector-77-optical-efficiency-2666.html>)

Mint látható, a berendezéssel végzett mérés a vizsgált tartományon nagy pontossággal követi a katalógusadatokat alapján felvett gyári hatásfok-függvényt. Az abszolút hiba maximuma 3,02 %. A mérési eredményekre felvett másodfokú polinom adatai a diagramon láthatók.

4.10. A várható éves hatásfok és éves energiahozam

A leírt módon meghatározott kollektor hatásfok-függvények, valamint az éghajlat jellemzőinek ismeretében meghatározható, illetve az éghajlati jellemzők előzetesen várható értékei szerint

becsülhető a kollektorokkal elérhető éves energiahozam. Az energetikai jellemzők egész évre meghatározott értékeinek ismeretében becsülhető a kollektorok megtérülési ideje.

A várható megtérülési idő a teljes napkollektoros rendszertől függ. A csövek hőszigetelésének minősége, a szolártartály nagysága, a hőfelhasználás célja mind befolyásolja a kollektorok üzemi paramétereit, így az elérhető éves energiahozamot is. Kutatásom a napkollektorokra korlátozódik, a különböző rendszerek és rendszerelemek vizsgálata nem képezi részét. Ezen rendszerjellemzőket az átlagos kollektor hőmérséklet változtatásával vettem figyelembe.

A kísérleti kollektorok meghatározott hatásfok-függvényeivel megvizsgáltam az éves elérhető energiahozam nagyságát. A számításokhoz a 2012. év Szegeden regisztrált hőmérséklet és napsugárzás intenzitás adatait tízperces bontásban tartalmazó mérési adatbázist használtam fel, melyet a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszéke bocsátott rendelkezésemre, melyért ezúton kívánok köszönetet mondani Dr. Unger János Tanszékvezető Egyetemi Tanár Úrnak.

A kísérleti kollektoraink hatásfok-függvényeit felhasználva megállapítható az energiahozam és az éves hatásfok. A számítások során többféle üzemeltetési kritérium szerint határoztam meg ezeket. 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):

$$Q_a = \sum_{i=1}^n Q_{10i} \quad (4.13)$$

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

$$q_a = \frac{Q_a}{A} \quad (4.14)$$

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

$$\bar{\eta}_a = \frac{q_a}{\sum_{i=1}^n G_i \cdot \Delta t_i} \quad (4.15)$$

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 a meteorológiai adatbázis tízperces felbontásának megfelelően az év tízperces időintervallumaira felírható hatásfok értékek átlaga (%):

$$\bar{\eta}_{10} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{10}}{n} \quad (4.16)$$

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

A meteorológiai adatbázisból kiszűrtem az éjszakai időszakokat, a diagramok készítéséhez a mérhető napsugárzással rendelkező adatsorokat vettem figyelembe.

A hatásfok a kollektorok üzemeltetése szerint többféleképp alakulhat az éves periódus folyamán. A szokásos szabályozás a szolártartály hőmérsékletéhez képest tart meghatározott hőlépcsőt, így

a kollektor hőmérséklete a szolártartály hőmérsékletét követi. Ezen üzemeltetés esetén az éves hatásfok több paramétértől is függ:

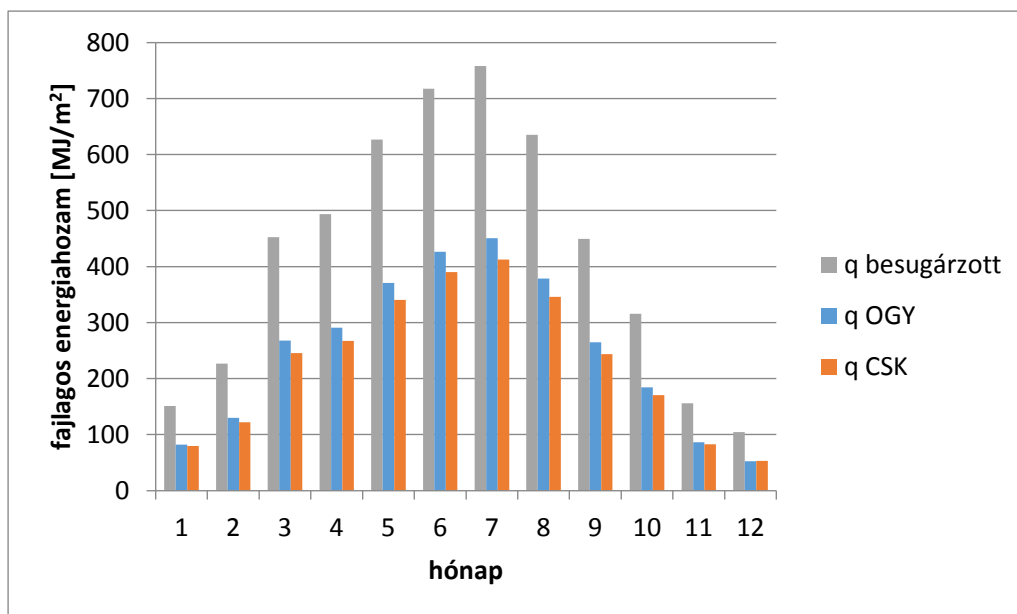
$$\bar{\eta}_a = f(A, B, C, D, E) \quad (4.17)$$

A - a rendszer rendeltetésétől (használati melegvíz előállítás, fűtés rásegítés, medence fűtés stb.), B - a szolártartály nagyságától és kialakításától, C - a hőelvételek jellegétől (gyakoriság, mennyiség és szokásos időpontjai), D - a rendszer hővesztességétől és E – számos egyéb tényezőtől. Mindezen tényezők vizsgálata és elemzése nem témája a jelen értekezésnek. Célom olyan szimuláció elvégzése volt, melynek eredményeképpen ismert éghajlati viszonyok esetén felírható a megadott kollektor hőmérséklet-tartományon belül a kollektor várható éves energiahozama és átlagos hatásfoka.

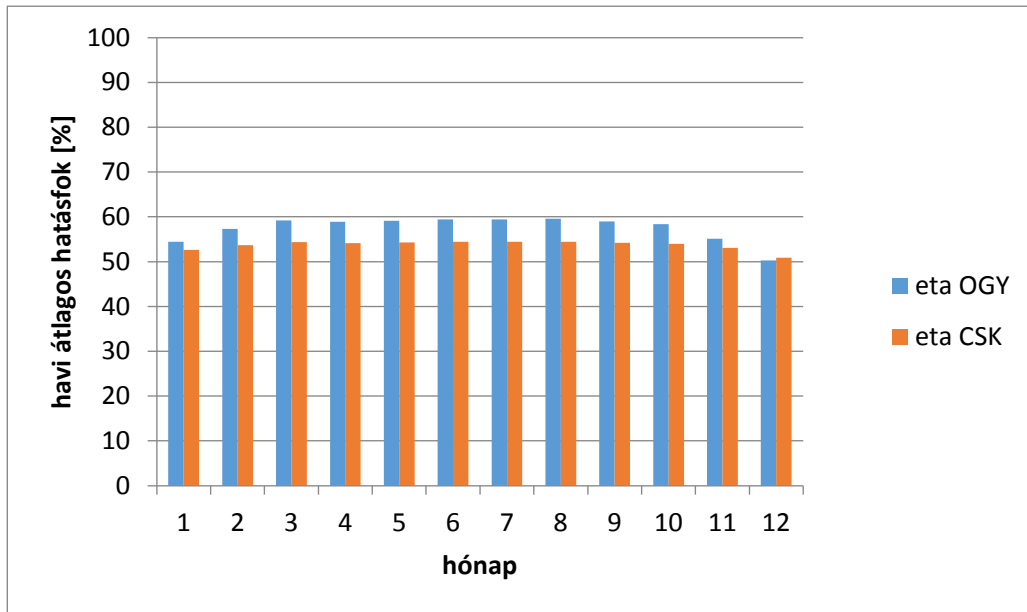
Az éves energiahozamot a kollektor hatásfok-függvények segítségével a 2012-es évre a meteorológiai adatbázist felhasználva határoztam meg. A szimulációt úgy végeztem el, hogy a kollektorok és a levegő közt állandó hőmérséklet-különbséget tartva határoztam meg a tízperces periódusok energiahozamát, majd ezek összegéből az éves energiahozamot.

Amennyiben ismert a napsugárzás várható intenzitása és a levegő hőmérséklet, valamint a kollektorok üzemeltetésének jellege, prediktív módon meghatározható a várható éves energiahozam. A 2012. év szegedi meteorológiai adatait felhasználva tízperces időközökre bontva numerikusan integrálható az energiahozam. Az eljáráshoz Excel táblázatot készítettem, mely tartalmazza a kísérleti kollektorok hatásfokfüggvényeit is.

Amennyiben a kollektorok üzemi hőmérséklete megegyezik a levegő hőmérsékletével, a fajlagos energiahozam és a hatásfok havi lebontásban a 4.31. ábra és a 4.32. ábra szerint alakul:

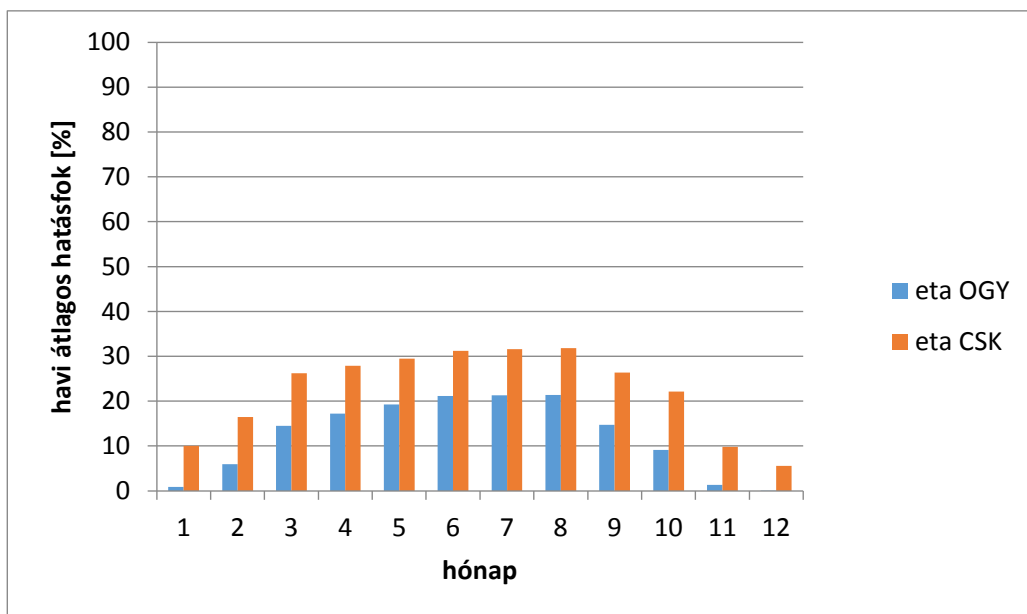


4.31. ábra: Az osztógyűjtős és a csőkígyós kollektor fajlagos energiahozama, környezeti hőmérsékleten



4.32. ábra: Az osztógyűjtős és a csőkígyós kollektor átlagos hatásfoka, környezeti hőmérsékleten

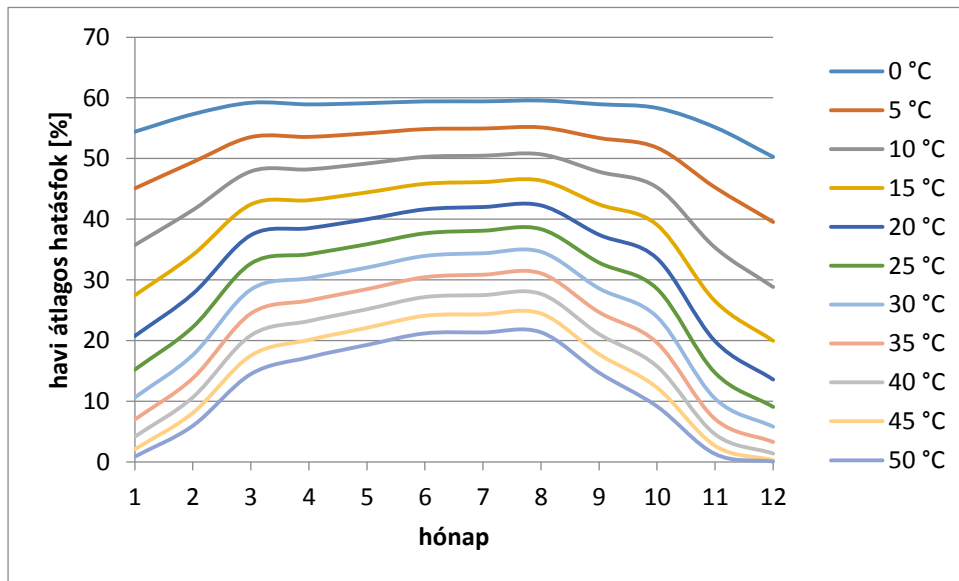
Ahogy látható, környezeti hőmérsékleten az osztógyűjtős kísérleti kollektor energiahozama nagyobb, ez összhangban van az 4.23. ábra és 4.24. ábra hatásfokfüggvényeinek összehasonlításával: az osztógyűjtős kollektor görbéi magasabb értéknél metszik a függőleges tengelyt. A diagramokat elkészítettem a környező levegő hőmérsékleténél magasabb kollektor üzemi hőmérsékletekre is, 5 °C-os lépésekben, 50 °C-ig. A diagramokat az M19 melléklet tartalmazza. A 4.33. ábra az 50 °C-os hőmérséklet-különbséghez tartozó havi átlagos hatásfok értékeket tartalmazza:



4.33. ábra: Az osztógyűjtős és a csőkígyós kollektor átlagos hatásfoka, a környező levegő hőmérsékleténél 50 °C-kal magasabb kollektor hőmérsékleten

Látható, hogy a kollektor hőmérséklet emelésekor a téli hónapok alatt a hatásfok csökkenése nagyobb mértékű, mint a nyári időszakban, az egyenletesség megszűnt. Az is megfigyelhető, hogy ezen magasabb hőmérséklet-tartományon üzemelve a csőkígyós kollektor hatásfoka a jobb. Ez szintén összhangban van az 4.23. ábra és 4.24. ábra függvényeivel: a csőkígyós kollektor

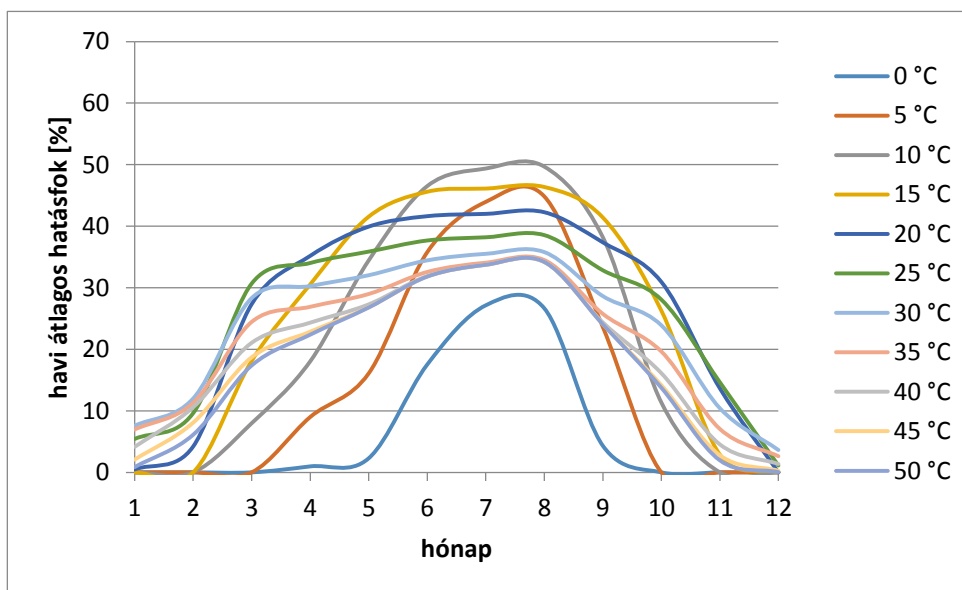
hatásfoka kevésbé csökken a hőmérséklet-különbség emelkedésével. Az M19 melléklet havi átlagos hatásfok diagramjait egyesítve a 4.34. ábra görbéit kapjuk:



4.34. ábra: Az osztógyűjtős kollektor havi átlagos hatásfokának alakulása a kollektor és a levegő közötti hőmérséklet-különbség egyes értékeihez tartozóan

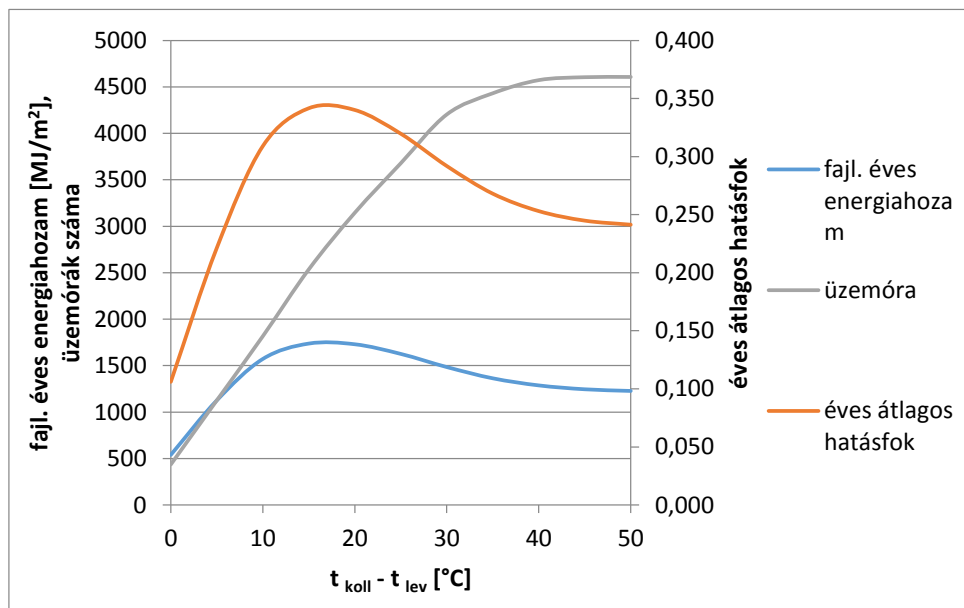
A 4.34. ábra átlagos hatásfok értékei elméleti értékek, valós körülmények közt nem állnak elő, mivel a környezeti hőmérsékleten legfeljebb a nyári időszakban üzemeltethetőek a kollektorok. A téli levegő hőmérsékletnek megfelelő vagy annál alacsonyabb hőmérsékletű hőfelvevő közeg nem áll rendelkezésre, így télen a kollektor nem üzemelhet a környezeti hőmérsékleten.

A valós átlagos hatásfok értékek közelítéséhez figyelembe kell vennünk a hőfelvevő közeg hőmérsékletét, ami meghatározza a minimális üzemi hőmérsékletet, valamint az elérendő maximális hőmérsékletet. Ha a minimális kollektor hőmérsékletet 30 °C-ra, a maximálisat 60 °C-ra vesszük fel, a függvények a 4.35. ábra szerint módosulnak:



4.35. ábra: Az osztógyűjtős kollektor havi átlagos hatásfokának alakulása a kollektor és a levegő közötti hőmérséklet-különbség egyes értékeihez tartozóan, 30 °C-os minimális és 60 °C-os maximális kollektor hőmérséklet esetén

Ezen két kritériumot figyelembe véve a kollektor és a környező levegő közti hőmérséklet-különbség függvényében az éves paraméterek a 4.36. ábra szerint alakulnak:



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

A pontos értékeket a 4.13. táblázat tartalmazza:

4.13. táblázat: Az osztógyűjtős kollektor éves üzemi paraméterei a kollektor és a környező levegő közti hőmérséklet-különbség függvényében

t koll - t lev [°C]	q OGY [MJ/m ²]	hatásfok	üzemórák száma
0	539,3	0,106	435
5	1125,8	0,221	1126
10	1571,7	0,309	1816
15	1737,5	0,342	2536
20	1729,9	0,340	3145
25	1626,0	0,320	3679
30	1484,5	0,292	4204
35	1363,4	0,268	4432
40	1287,0	0,253	4573
45	1245,3	0,245	4605
50	1227,4	0,241	4607

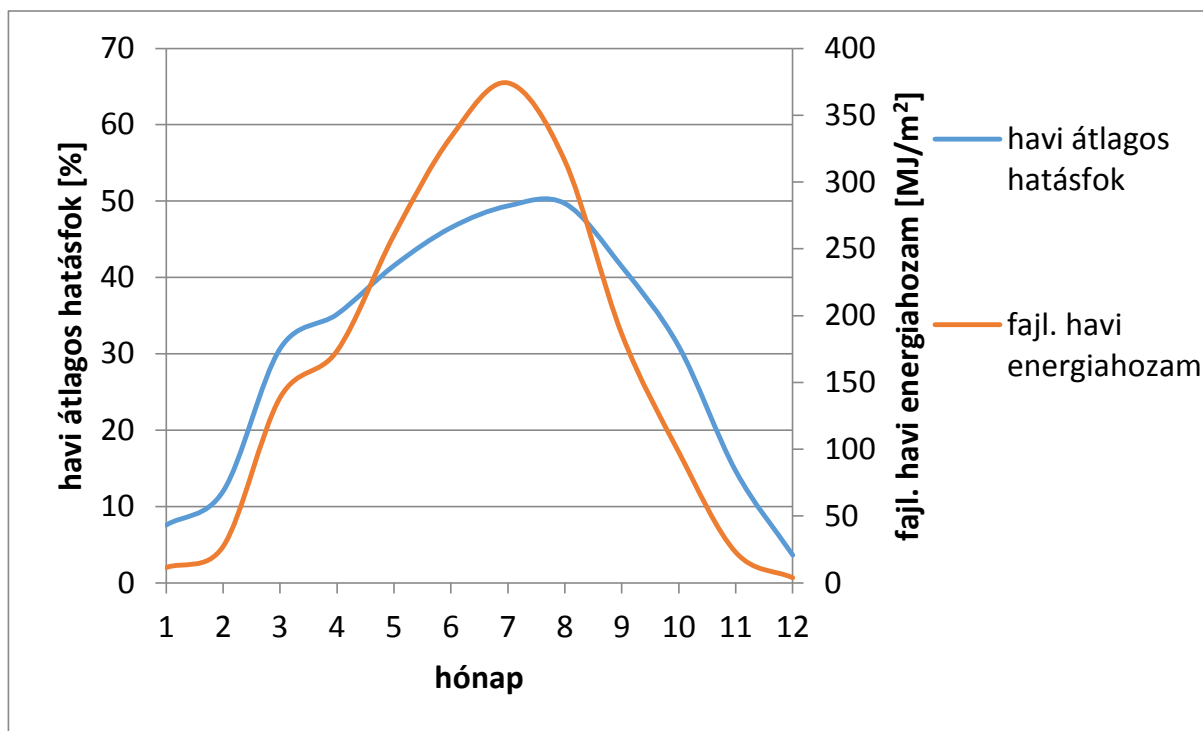
Mint látható, a vizsgált 2012-es év éghajlati jellemzői esetében az osztógyűjtős kollektor 30 és 60 °C közti kollektor hőmérséklet-tartományon akkor üzemel optimálisan, ha a környező levegőhöz képest 15 °C-os hőmérséklet-különbséget hozunk létre. Ebben az esetben az éves fajlagos energiahozam 1537,5 MJm⁻², az éves átlagos hatásfok 34,2 %, az üzemórák száma 2536.

A 4.35. ábra hatásfok értékei alapján meghatároztam a $30\div 60$ °C kollektor hőmérséklet-tartományon a maximális éves energiahozamot. Ehhez a kollektor és a levegő közti hőmérséklet-különbséget minden időszakban úgy vettem fel, hogy a havi átlagos hatásfok értéke a maximális legyen (4.14. táblázat):

4.14. táblázat: A kollektorok maximális fajlagos éves energiahozama

	$t_{\text{kol}} - t_{\text{ev}}$	q OGY	q CSK	havi átl. hatásfok OGY	havi átl. hatásfok CSK	gl. besug. hőmenny.
	[°C]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[%]	[%]	[MJ/m ²]
Január	30	11,41	24,47404	7,566582	16,2	150,87
Február	30	27,21	38,13513	11,99676	16,8	226,84
Március	25	138,67	163,0017	30,66887	36,1	452,14
Április	20	173,60	187,5432	35,17461	38,0	493,53
Május	15	260,32	264,5923	41,5473	42,2	626,57
Június	10	333,65	324,928	46,51616	45,3	717,28
Július	10	374,15	364,7999	49,36933	48,1	757,86
Augusztus	10	315,66	307,0506	49,67881	48,3	635,41
Szeptember	15	186,00	194,9148	41,40897	43,4	449,19
Október	20	97,74	112,5746	30,9474	35,6	315,82
November	25	22,81	37,75292	14,63203	24,2	155,87
December	30	3,78	9,921946	3,628395	9,5	104,14

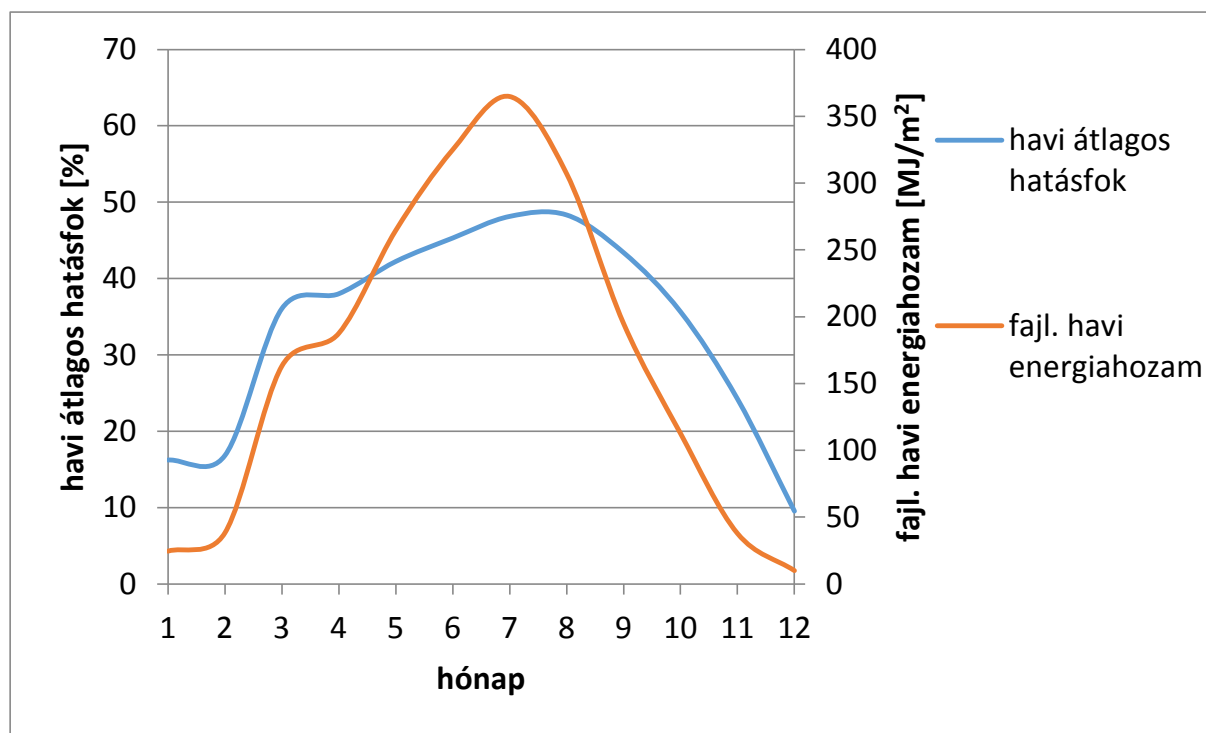
A 4.14. táblázat adatai alapján az osztógyűjtős kollektor havi átlagos hatásfok és fajlagos energiahozam értékei a következők szerint alakulnak (4.37. ábra):



4.37. ábra: Az osztógyűjtős kollektor havi átlagos hatásfok és fajlagos energiahozam értékei $30\div 60$ °C kollektor hőmérséklet-tartományon, maximális éves energiahozam esetén

Az osztógyűjtős kollektor fajlagos éves energiahozama a 4.14. táblázat $t_{\text{koll}}-t_{\text{lev}}$ hőmérséklet-különbség beállításával $1945 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ -re, az éves átlagos hatásfok értéke $38,25 \%$ -ra nő.

Fentiekhez hasonlóan a csőkígyós kollektor jellemzőit a 4.38. ábra tartalmazza:



4.38. ábra: A csőkígyós kollektor havi átlagos hatásfok és fajlagos energiahozam értékei $30-60 \text{ }^\circ\text{C}$ kollektor hőmérséklet-tartományon, maximális éves energiahozam esetén

A csőkígyós kollektor fajlagos éves energiahozama a 4.14. táblázat $t_{\text{koll}}-t_{\text{lev}}$ hőmérséklet-különbség beállításával $2029,7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, az éves átlagos hatásfoka $39,91 \%$.

Az általam készített táblázattal tetszőleges éghajlati jellemzőket megadva tetszőleges, ismert hatásfok-függvényű kollektor hasonló optimuma megállapítható.

4.11. Kollektor matematikai modellezése

A kísérleti kollektorok közül az osztógyűjtős abszorberrel ellátott változat mérési eredményeit és szerkezeti felépítését vettem figyelembe. Ezen kollektor működésének szimulációját elvégeztem a Kollektor 2.2 szoftverrel, illetve saját modellt készítettem a Matlab szoftverrel.

Modellezés Kollektor 2.2 szoftverrel

Első lépésként a Tomas Matuska, Vladimir Zmrhal és Juliane Metzger által kifejlesztett Kollektor 2.2 szoftverrel vizsgáltam meg az osztógyűjtős kollektor hatásfok-függvényét.

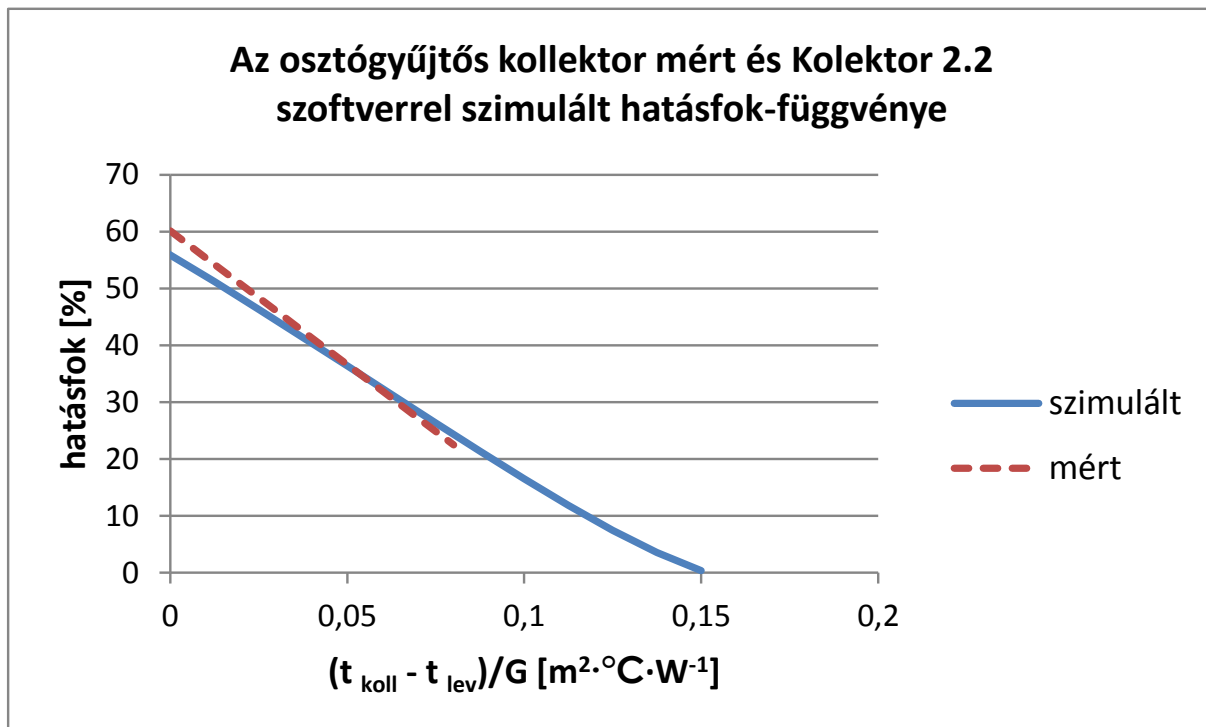
A szoftverben beállított üzemi paraméterek a következők voltak:

- a folyadék fajlagos tömegárama: $0,01 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$,
- globális napsugárzás intenzitás: $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,
- környezeti hőmérséklet: $20 \text{ }^\circ\text{C}$,
- dőlésszög: 45° .

A kollektor fizikai jellemzői:

- szélesség: 1 m,
- magasság: 2 m,
- az abszorber és a borítás közti légrés: 20 mm,
- az abszorber és a szigetelés közti légrés: 2 mm,
- az abszorber anyaga: réz,
- az abszorber lemezének vastagsága: 1 mm,
- a csövek külső és belső átmérője 15 mm és 13 mm,
- a folyadék propilénlikol,
- a borítás vastagsága 10 mm, hőellenállása $0,323 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$,
- a kollektorban a nyomás 100 kPa, töltőgázt nem tartalmaz.

A program a 2.13. ábra hőáramhálózatos modellje alapján vizsgálja a kollektor működését. A szimuláció eredményét a 4.39. ábra mutatja:



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

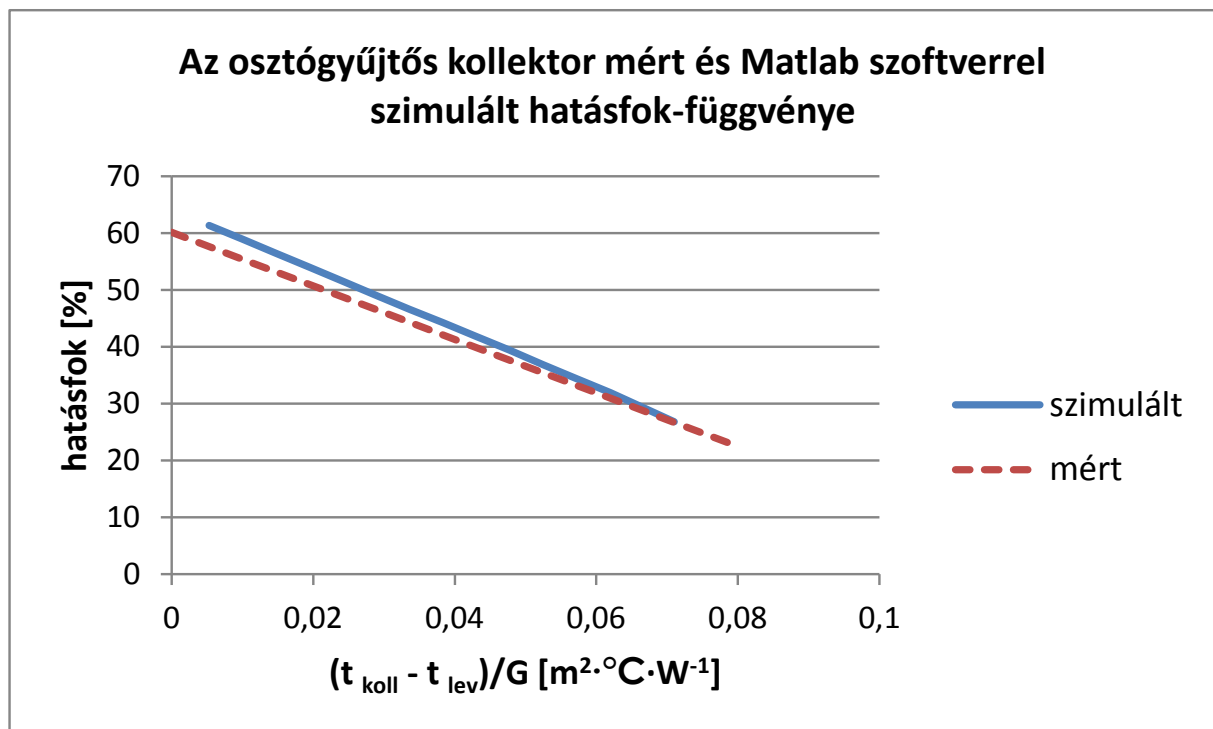
Modellezés Matlab szoftverrel

A modellezéshez a Matlab Simulink modulját használtam, illetve a Simscape csoporton belül található Thermal és a Thermal Liquid modult. A modell kapcsolási rajza a 4.41. és 4.42. ábrákon látható.

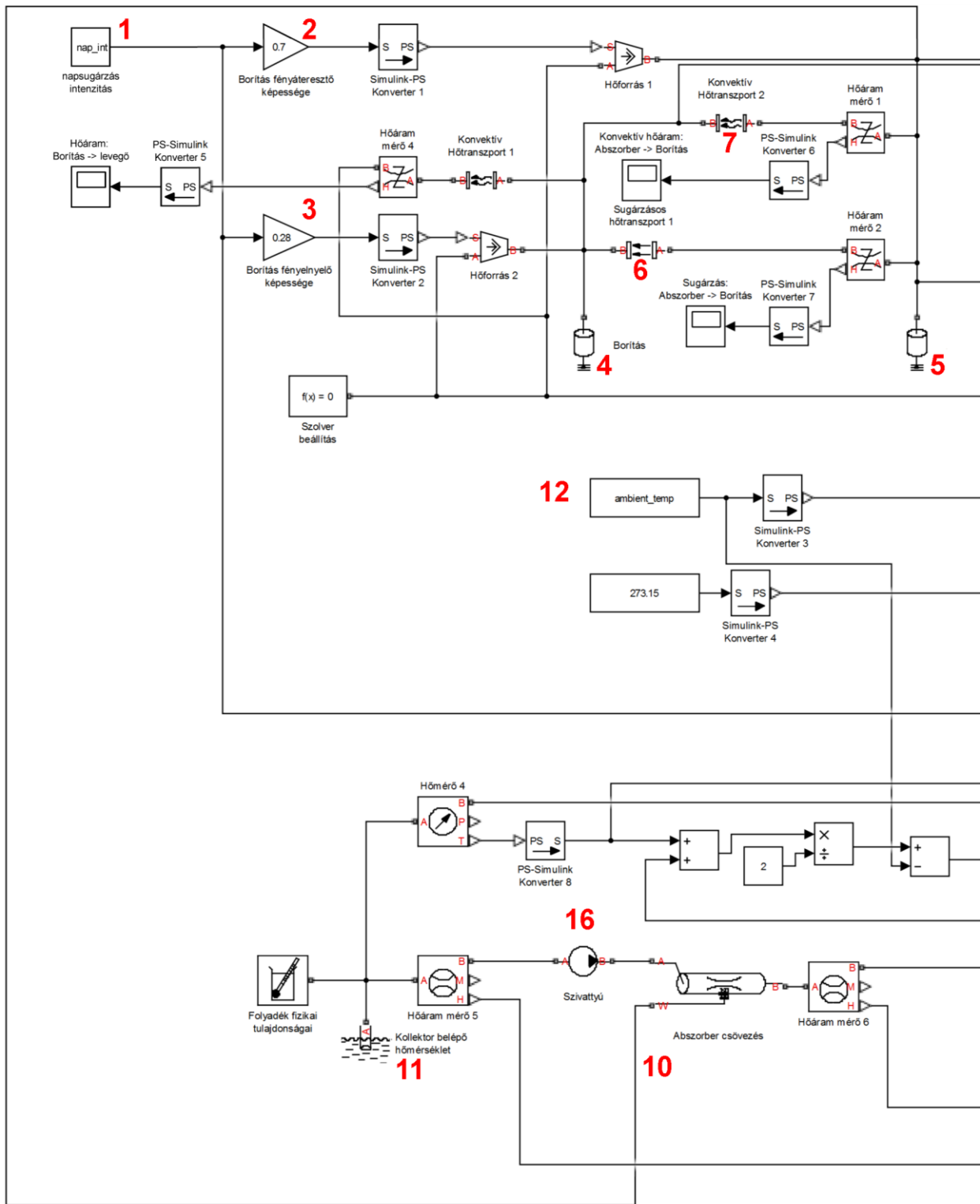
A működés a hőáramhálózatos modellen alapszik. A napsugárzás intenzitás (1) állítható, a borítás fényáteresztő képessége szerint csökkentett sugárzás intenzitás jut tovább az abszorberre, a fényelnyelő képességnek (3) megfelelő hányada a borítást (4) melegíti fel, a további

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), másik része a hőszigetelés (8) felé konduktív úton (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).

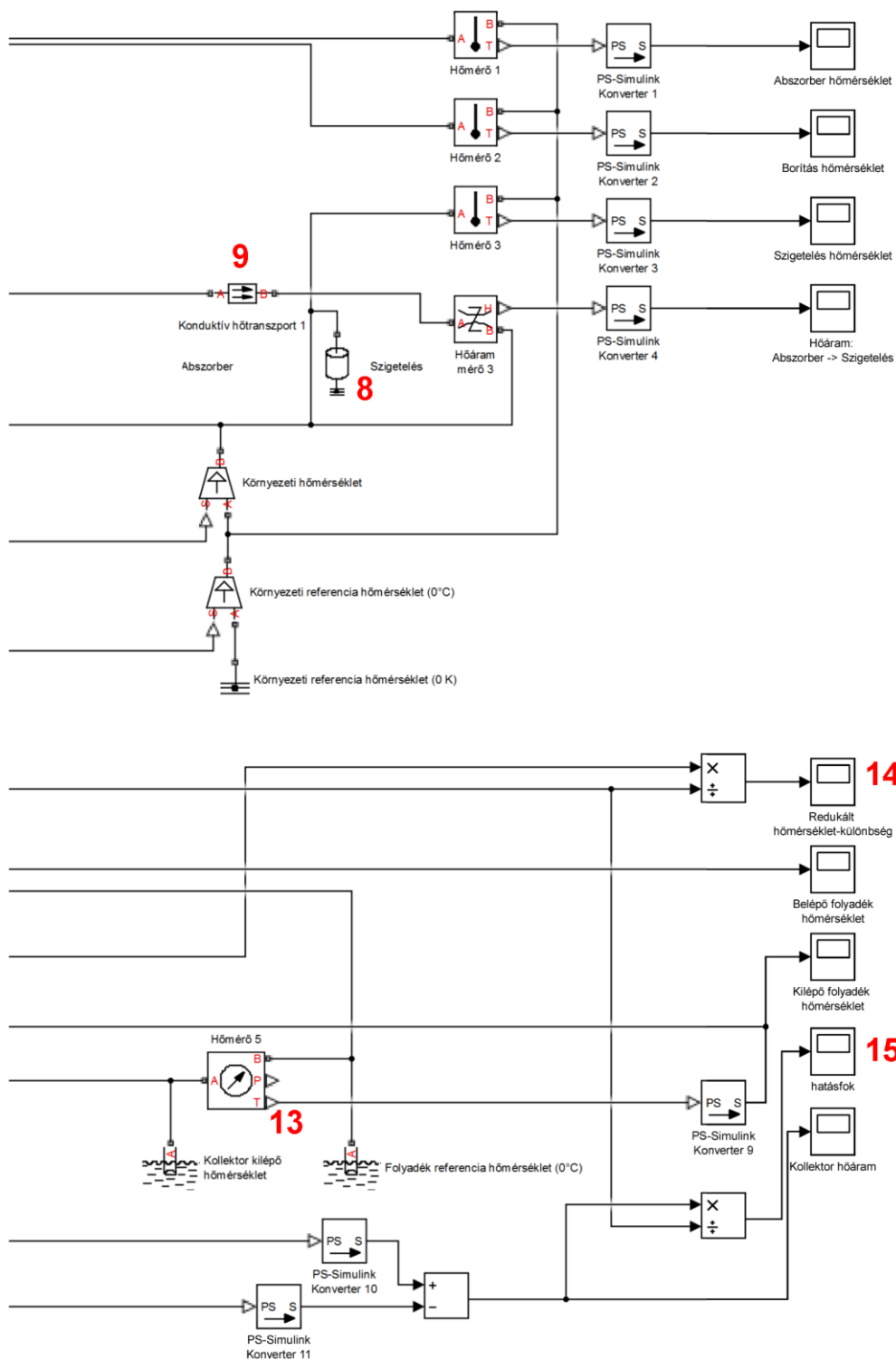
A napsugárzás intenzitásának (1), a környező levegő hőmérsékletének (12), a belépő folyadék hőmérsékletnek (11), a szivattyúval (16) a folyadék térfogatáram változtatásával a kollektor tetszőleges üzemállapotában meghatározható a hatásfok, így felvehető a hatásfok-függvény. A szimuláció eredményét a 4.40. ábra mutatja:



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



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



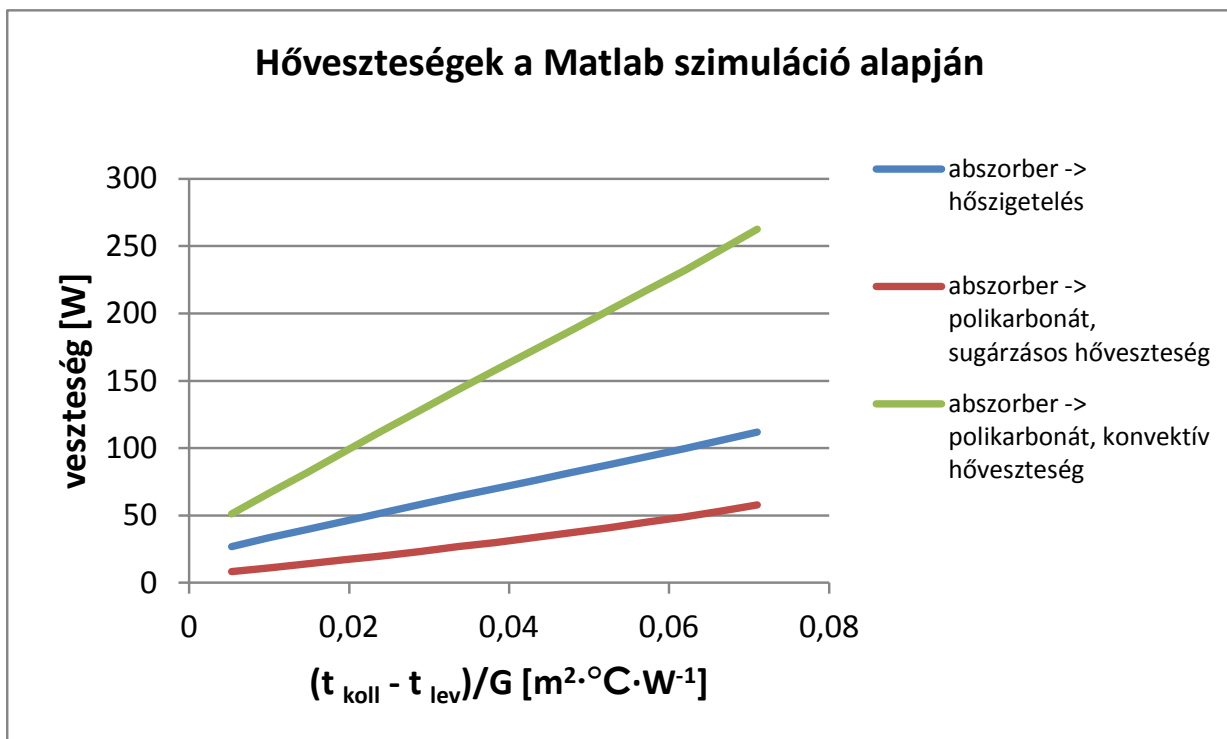
4.42. ábra: Az osztógyűjtős kollektor matematikai modelljének Matlab kapcsolási rajza, második részlet

A modellel vizsgáltam a kollektor hővesztésének egyes összetevőit. Ezen eredményeket és a hatásfok értékeit a 4.15. táblázat tartalmazza:

4.15. táblázat: A Matlab modellel végzett szimuláció eredményei

folyadék belépő hőmérséklet: t_{be}	redukált hőmérséklet-különbség: G	hatásfok: η	abszorber -> hőszigetelés	abszorber -> polikarbonát sugárzásos hőveszteség	abszorber -> polikarbonát konvektív hőveszteség
[°C]	[Km^2W^{-1}]	[%]	[W]	[W]	[W]
20	0,0053	61,3	27	8,37	51,2
25	0,01	58,9	33,45	11,14	66,6
30	0,01475	56,46	39,57	14	81,8
35	0,0194	54	45,7	17	97,25
40	0,024	51,6	51,8	20	112,5
45	0,02885	49,1	58	23,35	127,9
50	0,03358	46,6	64,1	26,71	143,3
55	0,0383	44,22	70	30	158
60	0,043	41,82	75,9	33,53	172,6
65	0,0477	39,4	81,75	37,05	187,3
70	0,0524	36,9	87,7	40,9	202,2
75	0,0572	34,4	93,725	44,93	217,2
80	0,062	31,9	99,75	48,96	232,2
85	0,0665	29,35	105,875	53,34	247,4
90	0,071	26,8	112	57,72	262,6

Az eredményeket a redukált hőmérséklet-különbség függvényében a 4.43. ábra mutatja:



4.43. ábra: Az abszorber számított hőveszteségei a redukált hőmérséklet-különbség függvényében

A diagram nem tartalmazza a polikarbonát borítás fényáteresztő képessége szerint kialakuló veszteséget. Az osztógyűjtős kollektor optikai hatásfoka 60,12 % (4.25. ábra), ez a szimuláció 1000 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 a borítás felé irányuló konvektív hőveszteség és a hátsó hőszigetelésen keresztül fellépő konduktív hőveszteség, 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, esetleg szigetelt üvegezést érdemes modellezni, és ezen borítások alkalmazásával, mérésekkel felvenni a módosított kollektor hatásfok-függvényét.

4.12. 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.

$$\frac{\dot{V}_i}{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}} > \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}_i' = \dot{V}_i \quad (4.18)$$

$$\frac{\dot{V}_i}{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}_i' = \frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4} \quad (4.19)$$

$$\dot{V}_i'' = \frac{\dot{V}_{i-2}' + \dot{V}_{i-1}' + \dot{V}_{i+1}' + \dot{V}_{i+2}'}{4} \quad (4.20)$$

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.

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 teljesül:

$$\Delta G_{\text{fajl}} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \leq 0,05, \quad (4.21)$$

$$G_{\text{max}} - G_{\text{min}} \leq 50 \frac{W}{m^2}, \quad (4.22)$$

$$G_{\text{min}} \geq 100 \frac{W}{m^2}. \quad (4.23)$$

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 Wm^{-2} napsugárzás intenzitáshoz tartozóan a 95 %-os konfidencia intervallum az osztógyűjtős kollektorra $\pm 1,315 \%$, a csőkígyós kollektorra $\pm 0,824 \%$. 800 Wm^{-2} sugárzás intenzitás esetén $\pm 1,378 \%$, illetve $\pm 1,378 \%$, 600 Wm^{-2} sugárzás intenzitás esetén $\pm 1,131 \%$ és $\pm 1,05 \%$.

4. Tranziens üzemi jelenségek jellemzése

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. 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, valamint az éghajlati jellemzők megadásával 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 becsült éves energiahozama megállapítható. Meghatározható a kollektor és a levegő közti hőmérséklet-különbség azon értéke, melyhez a maximális 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 külön-külön számíthatóak. Megállapítottam, hogy a kollektor veszteségének legjelentősebb összetevője a borítás által elnyelt és visszavert hőmennyiség. 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 arányát, ezzel hatékony eszköze lehet más kollektorok vizsgálatának.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

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

Kutatómunkám során tanulmányoztam a napkollektorok hatásfok-függvényeit és a kollektorok szerkezeti felépítésének erre gyakorolt befolyását. Kutatásomhoz saját mérőberendezést fejlesztettem ki. A kollektorok vizsgálatának folyamán több üzemi jelenséget is tanulmányoztam.

A természetes körülmények közt 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 báránnyelvények hatására ingadozó napsugárzás intenzitás a pillanatnyi kollektor hatásfok mérését ellehetetleníti. A mérések adatbázisainak tanulmányozásával olyan kritériumokat fektettem le, melyekkel a vizsgált időszakról egyértelműen megállapítható, hogy az felhőmentesnek tekinthető-e, így alkalmas-e a kollektorok pillanatnyi hatásfokának mérésére.

A kutatáshoz kifejlesztett mérőberendezés két kollektor vizsgálatára alkalmas, ezek párhuzamosan, illetve tetszőleges sorrendben sorosan kapcsolhatók. Lehetőség van az egyes kollektorok kizárására is. A megtermelt hőt a berendezés egy termoventilátoron keresztül a szabad levegőnek adja át. Párhuzamos kapcsolásban kollektorok összehasonlítására van lehetőség, soros kapcsolásban a második kollektor magas hőmérsékleten üzemeltethető, kizárásos kapcsolásban a termoventilátor hűtőteljesítménye egy kollektorra korlátozódik, ily módon a vizsgált kollektor hőmérséklete alacsonyabb, vagyis a soros és a kizárásos kapcsolással kiterjeszhető a mérések hőmérséklet-tartománya.

A hatásfok meghatározásához szükséges a térfogatáram megfelelő pontosságú mérése. Ezt impulzusjeladókkal ellátott térfogatáram-mérőkkel végeztem. Tapasztalataim szerint viszonylag gyakran előfordul impulzus-kimaradás, mely a mérést pontatlanná teszi. A mérési diagramokon jól látható hiba automatizált kiküszöbölésére matematikai algoritmust dolgoztam ki.

A méréseim adatbázisának tanulmányozása során megállapításokat tettem a kollektorok tranziens üzemi jelenségeire vonatkozóan. Soros kapcsolásban megállapítható, hogy a második kollektor az időjárás változásaira nem csak később, hanem lassabban reagál.

A vizsgált kísérleti kollektorok abszorber-csővezése eltérő: osztógyűjtős, illetve csökígyós. Párhuzamos kapcsolású méréseim alapján megállapítható, hogy a viszkozus fagyálló folyadékkal feltöltött rendszer alacsony hőmérsékleten beállított térfogatáram-egyensúlya a hőmérséklet emelkedésével – a viszkozitás csökkenésével – felborul: a kezdetben azonos térfogatárammal üzemelő két kollektor a napi mérések során eltérő térfogatáram-értékeket mutat. A jelenség alapján kijelenthető, hogy két, eltérő hidrodinamikai tulajdonságokkal rendelkező kollektor vagy kollektorsor párhuzamos kapcsolása esetén az azonos térfogatáramok tartása szabályzást igényel a hőmérséklet változása esetén.

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

NAPKOLLEKTOROK ÜZEMI JELLEMZŐINEK MODELLEZÉSE

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán – jogelőd intézménye a Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar – 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. Síkkollektoraink hatásfokának növelése érdekében a hagyományos üvegborítás helyett kamrás polikarbonát lemezt alkalmaztunk, mely közel olyan jó fényáteresztő, mint az üveg, de annál lényegesen jobb hőszigetelő.

A napenergia hasznosítással kapcsolatos kísérleteink kezdeti fázisában két-két kollektor összehasonlító vizsgálatát végeztem. Mértém a kollektorok hőteljesítményét, mely alapján meghatároztam az üzemi hatásfokot. A hatásfok értékeit ugyanakkor csak hozzávetőleges pontossággal tudtam közelíteni. A mérések bizonytalanságát az okozta, hogy eszköz – piranométer – hiányában a napsugárzás intenzitását nem tudtam mérni, így a hatásfokot a meteorológiai állomások mért adatainak felhasználásával határoztam meg. Az összehasonlító 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. A berendezést 2010-ben helyeztem üzembe.

Kutatási eredményeim alapján kidolgoztam a mérő-adatgyűjtő berendezés üzemeltetési algoritmusát, így az automatizált mérőberendezés alkalmas természetes körülmények között tesztelhető, tetszőleges típusú 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.

A tárgyban jelenleg érvényes szabványok jó kiindulási alapot jelentettek a természetes körülmények közt végzett kollektor hatásfokmérésre, egyéb üzemi paramétereinek optimalására. 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. SUMMARY

MODELING OF THE OPERATING CHARACTERISTICS OF SOLAR COLLECTORS

At the University of Szeged Faculty of Engineering – the predecessor was the College Faculty of Food Engineering – we research the field of solar energy utilizing since 2005. Our first collectors were commercialized in 2006, which were designed with the primary goal of the the low level manufacturing costs. Towards the increasing of the efficiency we used chambered polycarbonate sheet instead of glass covering, it has the closely high transparency as the glass, but it is a much better insulation.

In the first phase of our research about solar energy utilization I analysed collectors comparing in pairs. I measured the heat output of the collectors, from these measurement I have calculated the operating efficiency. I could calculate the values of the efficiency only approximately. The uncertainty of my measurements is occurred by the lack of a pyranometer: I could not measure the intensity of the solar irradiation, so I have calculated the efficiency by the databases of weather-stations. Availing my research experiences from the comparative measurements I have started to design and build a new measuring unit for testing collectors in natural working conditions for the research introduced in this dissertation. It was in operation since 2010.

By the results of my research I have elaborated the operating algorithm for the measuring and datalogging unit, so the automated device is suitable for testing any types of solar collectors in working conditions, for the logging and calculating the function of the efficiency and the comparing measurements of working parameters of different types of solar collectors and for the classification measurement of the manufactured product. With the data processing of the measurements I have determined theses not only about the method of the calculation of the efficiency but the working effects of the solar collectors.

The actually valid standards in this object were good originations for the measuring of the efficiency of solar collectors in outdoor conditions and the optimization of other working parameters. During my work I have studied the limits and errors of the measurement of efficiency among natural operating conditions. After the analysis of the measurements I have elaborated the criteria of the intensity of the solar radiation. By the algorithym the signing of the cloudy and cloudless periods becomes automatically, so the filtering out of the cloudy periods with wrong results is much faster. I have elaborated the steps for the logging and calculation of the function of the efficiency, I have made the operation of the unit more accurate and formulated theses about the operating of the solar collectors.

I have described the working effects observed in linear and parallel connection. I have elaborated the effect of the polycarbonate sheets to the function of the efficiency. I have studied the running down of the transient effects, I have elaborated a method to estimate the annual energy yield and the annual efficiency and to determine the optimal collector temperature variation to reach the maximal annual efficiency.

8. MELLÉKLETEK

M1: Irodalomjegyzék

1. Amara, M. B.; Houcine, I.; Guizani, A.; Maalej, M. (2004): Comparison of indoor and outdoor experiments on a newly designed air solar plate collector used with the operating conditions of a solar desalination process. Elsevier Desalination 168, 81-88.
2. Anderson, B. (1977). Solar energy: fundamentals in building design. New York: McGraw-Hill.
3. ASHRAE STANDARD 93-77 (1977): Methods of testing to determine thermal performance of solar collectors. ASHRAE, 345 East 47th street, New York 10017, 1977.
4. ASHRAE (1995): Handbook of HVAC Applications, Atlanta; [1995, chapter 30].
5. Barótfi I. (2004): Megújuló energiaforrások. A Miskolci Egyetem Közleménye: A sorozat, Bányászat 67: 65-98. o.
6. Beghi, G. (1984): Thermal energy storage. Solar Energy, vol 33, issue 5, pp 433; (1984).
7. Bejan, A.; Kraus, A. D. (2003.): Heat transfer handbook. Hoboken, New Jersey: Wiley, Sons Inc.
8. Burch, J; Casey, R. (2009): Wind Issues in Solar Thermal Performance Ratings. American Solar Energy Society (ASES) 2009 National Solar Conference (SOLAR 2009) Buffalo, New York. May 11–16, 2009. Conference Paper NREL/CP-550-45466, April 2009
9. Bennamoun, L. (2012): An Overview on Application of Exergy and Energy for Determination of Solar Drying Efficiency. International Journal of Energy Engineering p-ISSN, 2(5): 184-194. (2163-1891 e-ISSN: 2163-1905 2012).
10. Choi, S. (1995): Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles in development and applications of non-newtonian flows. New York: American Society of Mechanical Engineers; 1995. p. 99e105. Siginer DA, Wang HP, editors.
11. Choi, S. (1998): Nanofluid technology: current status and future research. Vienna, VA, US: Korea-U.S. Technical Conference on Strategic Technologies
12. Close, D. J. (1963): Solar air heaters for low and moderate temperature applications. Sol. Energy 7 (1963) 117-124.
13. Collares-Pereira, M. (1979): High temperature solar collector with optimal concentration: non-focusing Fresnel lens with secondary concentrator. Solar Energy 1979;23:409–20.
14. Cunio, L. N.; Sproul, A. B. (2012): Performance characterisation and energy savings of uncovered swimming pool solar collectors under reduced flow rate conditions. Solar Energy, 86 (2012) 1511–1517.
15. Du, M.; Hao, L.; Mi, J.; Lv, F.; Liu, X.; Jiang, L.; Wang, S. (2011): Optimization design of Ti_{0.5}Al_{0.5}N/Ti_{0.25}Al_{0.75}N/AlN coating used for solar selective applications. Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 95, Issue 4, April 2011, Pages 1193–1196.
16. Duffie, J. B. (2006): Solar Engineering of Thermal Process, third ed. New Jersey, USA.: John Wiley & Sons.

17. Eisenmann, W.; Vajen, K.; Ackermann, H. (2004): On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat-plate solar collectors. Elsevier, *Solar Energy*, 2004, 76, 381–387.
18. El-Nashar, A. M. (2006): Heat loss through the piping of a large solar collector field. *Energy* 31 (2006) 2020–2035
19. Garg H. P.; Hrishikesan, D. S. (1998): Enhancement of solar energy on flat-plate collector by plane booster mirrors. *Solar Energy* 1998; 40 (4): 295–307.
20. Grass, C.; Benz, N.; Hacker, Z.; Timinger, A. (2000): Tube collector with integrated tracking parabolic concentrator. Proceedings of the Eurosun'2000 Conference on CD-ROM, Copenhagen, Denmark
21. Grimm, A. (1993): Powdered aluminum-containing heat transfer fluids. German Patent DE 4131516 A1.
22. ISO 9060 (1990): Solar energy – Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation
23. ISO 9806-1, I. (1994): Test methods for solar collectors - Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop.
24. ISO 9847 (1993): Solar Energy – Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer
25. Kaci, K.; Merzouk, N. K.; Merzouk, M.; Hakema, S. A. (2012): Effect of Tests Norms on the Instantaneous Efficiency of a Plate. *Procedia Engineering* 33 (2012) 392 – 403
26. Kalogirou, S. A. (1991): Solar energy utilisation using parabolic trough collectors in Cyprus. MPhil Thesis. The Polytechnic of Wales; 1991.
27. Kalogirou, S. A. (2004): Solar thermal collectors and applications. *Energy and Combustion Science*, 231–295.
28. Karim, M. A.; Hawlader, M.N.A. (2003): Development of solar air collectors for drying applications. *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 329–344
29. Khouki, M.; Maruyama, S.; Sakai, S. (2007): Non-gray calculation of plate solar collector with low iron glazing taking into account the absorption and emission with a glass cover. *Desalination* 209 (2007) 156–162
30. Konttinen, P.; Lund, P. D.; Kilpi R. J. (2003): Mechanically manufactured selective solar absorber surfaces. *Solar Energy Mater Solar Cells* 2003; 79(3): 273–83.
31. Kostic, L. T., Pavlovic, Z. T. (2012): Optimal position of flat plate reflectors of solar thermal collector. *Energy and Buildings* 45 (2012) 161–168
32. Kratzenberg, M. G.; Beyer, H. G.; Colle, S. (2002): Setup of a test facility for the characterization of thermal collectors according to the Euronorm at the Universidade Federal de Santa Catarina. Proceedings Sun at the end of the world, Internacional solar energy congress, Valparaiso, Chile.
33. Kreith, F.; Kreider, J. F. (1978): Principles of solar engineering. New York: McGraw-Hill.
34. Kritchman, E. M.; Friesem, A. A.; Yekutieli, G. (1989): Efficient Fresnel lens for solar concentration. *Solar Energy* 1989;22:119–23.
35. Lester, A.; Myers, D. R. (2006): A method for improving global pyranometer measurements by modeling responsivity functions. *Solar Energy* 80 (2006) 322–331

36. Lorenzo E.; Minano, J. C. (1986): Design of one-axis tracked linear Fresnel lenses. *Solar Energy* 1986;36(6):531–4.
37. Löf, G. O. G.; Brisbane, T.; Coughlan, B.; Davidson J.H.; Walker, H.A. (1987): Evaluation of a boiling collector solar heating system. Report No. SAN-160306-2. US Department of Energy.
38. Ma, J.; Sun, W.; Ji, J.; Zhang, Y.; Zhang, A.; Fan, W. (2011): Experimental and theoretical study of the efficiency of a dual-function solar collector. *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 1751-1756
39. Macedo, I. C.; Altemani, C.A.C. (1978): Experimental evaluation of natural convection solar air heaters. *Sol. Energy* 20 (1978) 367-369.
40. Masuda, H.; Ebata, A.; Teramae, K.; Hishinuma, N. (1993): Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of g-Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles). *Netsu Bussei (Japan)* 1993;7: 227e33.
41. Matuska, T; Zmrhal, V.; Metzger, J. (2009): Detailed modeling of solar flat-plate collectors with Design Tool Kolektor 2.2. *Building Simulation* 2009; 2289-2296; International Building Performance Simulation Association
42. Meinel, A. B.; Meinel, M. (1976): *Applied solar energy: an introduction*. Addison-Wesley Pub. Co.
43. Molineaux, B.; Lachal, B.; Gusian, O. (1994): Thermal analysis of five outdoor swimming pools heated by unglazed solar collectors. *Solar Energy* 1994;53(1):21–6.
44. Naplopó Kft. (2006): *Napenergia-hasznosítás tervezési segédlet*. Naplopó Kft.
45. Natarajan, E.; Sathish, R. (2009): Role of nanofluids in solar water heater. *Int J Adv Manuf Technol*; 2009. doi:10.1007/s00170-008-1876-8.
46. Nelson, D. T.; Evans D. L.; Bansal R. K. (1975): Linear Fresnel lens concentrators. *Solar Energy* 1975;17:285–9.
47. Nijegodorov, N.; Jain, P. K. (1996): A Graphical Method Of Measuring The Performance Characteristics Of Solar Collectors. *Renewable Energy*, 1996 Vol. 7 No. 1, 23-31.
48. Ong, K. S. (1982): Results of investigation into forced and natural convection solar air heater and crop dryers. *Reg. J. Energy Heat Mass Transfer* 4 (1982) 29-45.
49. Ong, K. S. (1995): Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure. *Sol. Energy* 55 (1995) 93-109.
50. Orel, Z. C.; Gunde, M. K.; Hutchins, M. G. (2002): Spectrally selective solar absorbers in different non-black colours. *Proceedings of WREC VII, Cologne on CD-ROM*; 2002.
51. Perers, B.; Karlsson, B.; Bergkvist, M. (1994): Intensity distribution in the collector plane from structured booster reflectors with rolling grooves and corrugations. *Solar Energy* 1994;53(2): 215–26.
52. Pierson, P.; Padet, J. (1990): Time constant of solar collectors. *Solar Energy*, 1990, 44 (2). 109-114. p.
53. Proctor, D. (1984): A generalized method for testing all class of solar collectors. 1 – Attainable accuracy. 2 – Evaluating of collector thermal constants. 3 – Linearized efficiency equations. *Solar Energy*, vol 32, N°3 ; pp 377-386(1984).

54. Rabl, A. (1976): Optical and thermal properties of compound parabolic collectors. *Solar Energy* 1976;18:497–511.
55. Rodríguez-Hidalgo, M.C.; Rodríguez-Aumente, P.A.; Lecuona, A.; Gutiérrez-Urueta, G.L.; Ventas, R. (2011): Flat plate thermal solar collector efficiency: Transient behavior under working conditions. Part I: Model description and experimental validation. *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 2394-2404
56. Rojas, D.; Klein, A. (2008): Thermal performance testing of flat-plate collectors. *Solar Energy* vol 82, pp:746–757; (2008).
57. Romano G., Kocsis L., Farkas I. (2009): Analysis of energy and environmental parameters during solar cabinet drying of apple and carrot. *Drying Technology* 27:(4) pp. 574-579. (2009)
58. Schweiger, H. (1997): Optimisation of solar thermal absorber elements with transparent insulation. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, Barcelona, Spain; 1997.
59. Seitel, S. C. (1975): Collector performance enhancement with flat reflectors. *Solar Energy* 1975;17:291–5.
60. Seres I., Farkas I., Mészáros Cs., Géczy-Víg P. (2009): Air flow and efficiency analysis in a solar dryer: 8th International Workshop for Young Scientists (BioPhys Spring 2009), Lublin, Poland, May 21-22, 2009 pp. 54-56. (2009)
61. Shukla, A.; Buddhi, D.; Sawhney, R.L. (2009): Solar water heaters with phase change material thermal energy storage medium: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 8, Pages 2119–2125. October 2009
62. Soltau, H. (1992): Testing the thermal performance of uncovered solar collectors. *Solar Energy* 1992; 49 (4): 263–72.
63. Tabor, H. (1966): Mirror boosters for solar collectors. *Solar Energy* 1966;10:111–8.
64. Tiris, C.; Tiris, M.; Dincer, I. (1996): Experiments on a new small-scale solar dryer. *Appl. Therm. Eng.* 16 (1996) 183-187
65. Tripanagnostopoulos, Y.; Souliotis, M.; Nousia, Th. (2000): Solar collectors with colored absorbers. *Solar Energy* 2000;68: 343–56.
66. Ujfaludi L. (2003): A napenergia-hasznosítás rövid története. *Fizikai Szemle*, 2003/3., 99.
67. Wazwaz, J.; Salmi, H.; Hallak, R. (2002): Solar thermal performance of a nickel-pigmented aluminium oxide selective absorber. *Renewable Energy* 2002;27:277–92.
68. Wijesundera, N. E. (1976): Response time of solar collectors. *Solar Energy*, vol. 18, no. 1, 1976, p. 65-68.
69. Winston, R. (1974): Solar concentrators of novel design. *Solar Energy* 1974;16:89–95.
70. Winston, R.; O’Gallagher, J; Muschaweck, J; Mahoney, A.; Dudley, V. (1999): Comparison of predicted and measured performance of an integrated compound parabolic concentrator (ICPC). *Proceedings of ISES Solar World Congress on CDROM*, Jerusalem, Israel; 1999.
71. Winter, F. (1994): Twenty-year progress report on the copper development association do-it-yourself solar swimming pool heating manual and on the associated prototype heater. *Solar Energy* 1994; 53 (1): 33–6.
72. World Meteorological Organization (2008): *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, chapt. 7: Measurement of radiation. Fifth ed., WMO-No. 8, Geneva

73. Xie, W.T.; Dai, Y. J.; Wang, R. Z. (2012): Theoretical and experimental analysis on efficiency factors and heat removal factors of Fresnel lens solar collector using different cavity receivers. *Solar Energy*, 86 (2012) 2458-2471.
74. Yousefi, T.; Veysi, F.; Shojaeizadeh, E.; Zinadini, S. (2012): An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Renewable Energy* 39 (2012) 293-298
75. Zhai, X. Q.; Dai, Y. J.; Wang, R. Z. (2005): Comparison of heating and natural ventilation in a solar house induced by two roof solar collectors, *Appl. Therm. Eng.* 25 (2005) 741-757.

Internetes források

76. <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php> (2013.07.15.)
77. <http://www.aeroflex.hu/napkollektor-terfogataramok> (2012.11.03.)
78. http://www.alternativ-energia.eu/u_vakuumcsoves_napkollektor.php (2013.01.20.)
79. http://www.buderus.hu/files/201107111441530.Logasol_szolartechnika.pdf (2014.02.09.)
80. <http://www.comet-datalogger.hu/hun/manuals/ie-log-s7021.pdf> (2013.01.20.)
81. <http://www.eng.unideb.hu/userdir/csiha/MESZ/Energetikai%20alapismeretek/Szakirodalom/Cikkgy%C5%B1jtem%C3%A9ny/F%C3%B6ld-1%C3%A9gk%C3%B6r%20energi%C3%A9rlege.htm> (2014.12.18.)
82. <http://www.gses.it/pub/in-programma.php> (2013.01.20.)
83. http://guide.rockwool.hu/media/387987/rockwool_airrock_ld.pdf (2012.11.04.)
84. http://guide.rockwool.hu/media/387987/rockwool_airrock_ld.pdf (2012.11.04.)
85. <http://www.hollix.hu/dl.php?id=489> (2013.01.20.)
86. <http://www.hollix.hu/index.php?mod=sdoc&id=145> (2013.07.12.)
87. http://www.invent.org/hall_of_fame/438.html (2013.01.20.)
88. <http://www.kollektorok.hu/a-napenergia/a-napenergia-tortenete.html> (2012.11.03.)
89. <http://www.ktto.com.ua/db/nms/grundfos-ups-100-4-graf.jpg> (2013.01.20.)
90. http://www.lambrecht.net/uploads/media/16131_3_Leaflet_EN.pdf (2013.07.13.)
91. <http://www.napkollektorspecial.hu/cikk/vakuumcsoves-napkollektor-heat-pipe-u-pipe> (2014.12.15.)
92. <http://www.mimi.hu/csillagaszat/napallando.html> (2015.03.02.)
93. <http://www.naplopo.hu/rendszerar/hmv1.html> (2012.11.03.)
94. <http://www.okosolart.com/index.php?site=napkollektor/napsugarzas> (2013.01.20.)
95. <http://www.physics.usyd.edu.au/app/solar/research/sputtering.html>. (2012.11.03.)
96. www.sheet.bayerpolymers.com (2012.11.04.)
97. www.solarenergy.ch (2013.01.20.)

98. <http://www.solarbayer.com/Flat-plate-collector-PremiumPlus.html> (2012.11.03.)
99. http://www.solarbook.ie/solar_design.html (2013.07.13.)
100. <http://www.solarthermal.com/applications/efficiency/> (2012.11.03.)
101. <http://www.solarthermalmagazine.com/2010/11/28/innovative-approach-to-concentrating-and-collecting-energy-wins-industry-award/> (2013.01.20.)
102. http://solen.hu/dir_termek/hewalex-ks-2000-tlp.html (2013.01.20.)
103. <http://www.spirecorp.com/spire-solar/solar-manufacturing-equipment/test-module-performance/spi-sun-simulator.php> (2012.11.03.)
104. <http://supervent.ru/upload/file/Narezka/Price%20Galletti%2009.pdf> (2012.11.04.)
105. [http://www.testo.hu/online/abaxx-;jsessionid=9052868A57F9008500DEC46831773CCE?\\$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&\\$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Fanalysis%2FDatenlogger_fuer_Strom-_Spannung%2Ftesto_175-S2%2FUngarisch.product](http://www.testo.hu/online/abaxx-;jsessionid=9052868A57F9008500DEC46831773CCE?$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Fanalysis%2FDatenlogger_fuer_Strom-_Spannung%2Ftesto_175-S2%2FUngarisch.product) (2013.07.13.)
106. [http://www.testo.hu/online/abaxx-?\\$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&\\$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Ftemperature%2FMessgeraete%2FDatenlogger%2Ftesto_177-T4%2FUngarisch.product](http://www.testo.hu/online/abaxx-?$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Ftemperature%2FMessgeraete%2FDatenlogger%2Ftesto_177-T4%2FUngarisch.product) (2013.07.13.)
107. [http://www.testo.hu/online/abaxx-?\\$part=PORTAL.HUN.SectorDesk&\\$event=show-from-menu&categoryid=4690143](http://www.testo.hu/online/abaxx-?$part=PORTAL.HUN.SectorDesk&$event=show-from-menu&categoryid=4690143) (2013.07.13.)
108. http://www.tuv.com/en/corporate/about_us_1/press/news_2/newscontent_cw_107157.jsp (2012.11.03.)
109. http://www.tyfo.de/docs/SDS-TYFOCOR-L_gb_2011.pdf (2012.11.04.)
110. http://zoldtech.hu/cikkek/20050214kioto_tortenet (2013.01.20.)
111. <http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/832> (2013.07.12.)

M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó saját publikációk listája

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

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.

Nemzetközi konferencia kiadvány:

13. **Péter Szabó, I.** (2005): Operating of solar collectors at low external air temperature. 20-21th April., Szeged, Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Akadémiai Bizottság, 8th International Symposium on Interdisciplinary Regional Research, Hungary – Romania – Serbia and Montenegro. CD-ROM, 6 p.
14. **Péter Szabó, I.** – Vági, S. (2008): Designing a solar tank filled with phase change material. MicroCAD 2008 International Scientific Conference 20-21 March 2008. pp. 49-54
15. **Péter Szabó, I.** (2008): Efficient energy storage in solar collector systems. Tudomány és Technika az Agrár- és Élelmiszergazdaságban (ICoSTAF 2008) 2008 nov. 5-6. CD-ROM, 5 p.
16. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2011): Research and development of the application of renewable resources at the Faculty of Engineering University of Szeged. International Symposium on Academic Informing Science and Engineering: AISE. March 27th-30th, 2011, Orlando, Florida, USA. CD-ROM, 5 p.
17. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2011): Efficiency analysis of solar collectors. Synergy in the Technical Development of Agriculture and Food Industry (Synergy2011), Gödöllő, Hungary, October 9-15, 2011, CD-ROM, 5 p., ISBN: 978-963-269-250-0.
18. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2012): Data processing of measuring sets of solar collectors. Proceedings of 2012 International Conference on Clean and Green Energy (ICCGE 2012), Hong Kong, 5-7 January, 2012, pp. 41-45. ISSN: 2010-4618, CD-ROM.
19. **Péter Szabó, I.** – Szabó, G. (2012): Analysis of the experimental results of solar collectors' measuring. International Conference on Science and Technique in the Agri-Food Business (ICoSTAF 2012) 7th June 2012, CD-ROM, 7 p., ISSN 1788-7593
20. **Péter Szabó, I.** – Szendrő, P. – Szabó, G. (2013): Analyzing solar collectors with own-designed experimental device. Synergy International Conferences – Engineering, Agriculture, Waste Management and Green Industry Innovation. Gödöllő, Hungary, October 13-19, 2013, CD-ROM, 5 p.

Magyar nyelvű konferencia kiadvány:

21. **Péter Szabó I.** (2004): Összetett szigetelőelemek hővezetésének vizsgálata. XII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Kutatások a gépészetben. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 238-241. o., ISBN 973-86097-9-8
22. **Péter Szabó I.** (2004): Összetett szigetelőanyagok egyenértékű hővezetési tényezőjének vizsgálata. VI. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia: 6th International Conference on Food Science. 285 p. Hodúr C, Kovács E, Véha A, Szűcs E (szerk.). Szegedi Tudományegyetem Élelmiszeripari Főiskolai Kar, 2004. 265-266. o. ISBN 963-482-676-8
23. **Péter Szabó I., Szabó G.** (2011): Fázisváltó Anyaggal töltött szolártartály vizsgálata. 7. Magyar Szárítási Szimpózium Összefoglalói (CDROM) 2011.04.07-08., 7 o. ISBN 978 963 269 211 1

24. **Péter Szabó I.**, Szabó G. (2012): Napkollektorok hatásfokának vizsgálata és a mérési eredmények analízise. VI. Európai Kihívások Nemzetközi Konferencia, konferencia CD-ROM, 7 o.
25. **Péter Szabó I.**, Szabó G. (2012): Napkollektorok hatásfokának és egyéb üzemi paramétereinek vizsgálata. XXXIV. Óvári Tudományos Nap, 2012. október 5. CD-ROM, 19-23. o., ISBN 978-963-9883-93-2

Nemzetközi konferencia abstract:

26. **Péter Szabó, I.** (2007): Description of the solar system of Solanova-house as well as recommendations for testing the economic operation. International Symposium Interdisciplinary Regional Research "ISIRR 2007" Hungary – Serbia – Romania. June 21st – 22nd, 2007, Abstract Book, pp. 42-42. ISBN 978-86-7892-042-4
27. **Péter Szabó, I.** (2008): Efficient Energy Storage in Solar Collector Systems. Tudomány és Technika az Agrár- és Élelmiszergazdaságban (ICoSTAF 2008) 2008 nov. 5-6. Summaries of Lectures and Posters. ISBN 963482 676 8, p. 280

Magyar nyelvű abstract:

28. **Péter Szabó I.**, Szabó G. (2011): Fázisváltó anyaggal töltött szolártartály vizsgálata (Analysis of solar tank filled with phase change material). 7. Magyar Szárítási Szimpózium Összefoglalói. 2011.04.07-08., 40-41. o., ISBN 978 963 269 212 8

M3: A Rockwool LD kőzetgyapot műszaki jellemzői¹

Tulajdonság	Jel	Érték	Mértékegység	Vonatkozó szabvány
Tűzvédelmi osztály	–	A1	–	EN 13501-1
Deklarált hővezetési tényező	λ_D	0,037	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	EN 12667, EN 12939
Páradiffúziós ellenállási tényező	μ	1	–	EN 13162
Névleges testsűrűség	ρ_{sm}	40	$kg \cdot m^{-3}$	EN 1602
Vastagsági tűrés	T4	-3% vagy -3 mm (a); +5% vagy +5 mm (b)	A számszerűen nagyobb (a), ill. kisebb (b) tűrést eredményező a mértékadó.	EN 823
Vizfelvétel rövid ideig tartó vízbe merítéskor	WS	$\leq 1,0$	$kg \cdot m^{-2}$	EN 1609
Vizfelvétel hosszú ideig tartó vízbe merítéskor	WL(P)	$\leq 3,0$	$kg \cdot m^{-2}$	EN 12087
Olvadáspont	t_f	> 1000	$^{\circ}C$	DIN 4102
CE tanúsítvány száma		1415-CPD-35-(C-7/2010)		ÉMI Budapest

M4: A Makrolon polikarbonát lemez műszaki adatai²

Keresztmetszet	Megnevezés	Osztály	Szín	Verzió	Vastagság [mm]	Tömeg [kg/m ²]	Hőátbocsátási tényező [Wm ⁻² K ⁻¹]
	Makrolon® Multi UV 2/10-10,5	2/10	tiszta	IQ- Relax no drop	10	1,7	3,1

¹ http://guide.rockwool.hu/media/387987/rockwool_airrock_ld.pdf (2012.11.04.)

² www.sheet.bayerpolymers.com (2012.11.04.)

M5: A Tyfocor L fagyálló folyadék fiziko-kémiai jellemzői³

Szín:	színtelen
Szag:	csaknem szagtalan
pH-érték (500 g/l, 20 °C):	6,5 – 8,5 (ASTM D 1287)
Dermedéspont:	<-50 °C (DIN 51583)
Forráspont:	>150 °C (ASTM D 1120)
Lobbanáspont:	kb. 109 °C (DIN EN 22719, ISO 2719)
Alsó robbanáshatár:	2,6 tf. %
Felső robbanáshatár:	12,6 tf. %
Gyulladáspont:	480 °C. (DIN 51794)
Gőznyomás (20 °C):	0,2 hPa
Sűrűség (20 °C):	kb. 1,06 g/cm ³ (DIN 51757)
Oldószerek:	Poláris oldószerekkel oldható.
Kinematikus viszkozitás (20 °C):	kb. 70 mm ² s ⁻¹ (DIN 51562)
Robbanásveszély:	Nem robbanékony.
Vízzel való elegyíthetőség:	Bármilyen arányban elegyíthető.

³ http://www.tyfo.de/docs/SDS-TYFOCOR-L_gb_2011.pdf (2012.11.04.)

M6: A Lambrecht 16131 piranométer műszaki adatai⁴

Méréstartomány	0÷2000 W/m ² , globalis sugárzás 305÷2800 nm hullámhossz tartományon belül
Működési hőmérséklet-tartomány	-40 ÷ +80 °C
Pontosság	< ±5 % (305÷2800 nm), billenésből származó eltérés < ±2 %
Nemlinearitás	< ±1 %
Érzékenység	10÷40 μV/(W/m ²)
Válaszidő (95 %)	< 18 s
Irányításból adódó eltérés	< 20 W/m ²
Impedancia	40÷60 Ω
Kimenet	0,1÷50 mV
Szabvány:	ISO 9060 első osztályú

M7: A Testo 175-S2 áram és feszültség adatgyűjtő műszaki adatai⁵

Üzemi hőmérséklet	-10 ÷ +50 °C
Mérési tartomány	0 ÷ +1 V 0 ÷ +10 V 0 ÷ +20 mA +4 ÷ +20 mA
Pontosság	±0,002 V (0 ÷ +1 V) ±0,02 V (+1 ÷ +10 V) ±0,05 mA (0 ÷ +20 mA) ±0,05 mA (+4 ÷ +20 mA)
Felbontás	0,001 V (0 ÷ +1 V) 0,01 V (+1 ÷ +10 V) 0,01 mA (0 ÷ +20 mA) 0,01 mA (+4 ÷ +20 mA)

⁴ http://www.lambrecht.net/uploads/media/16131_3_Leaflet_EN.pdf (2013.07.13.)

⁵ [http://www.testo.hu/online/abaxx-;jsessionid=9052868A57F9008500DEC46831773CCE?%\\$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&\\$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Fanalysis%2FDatenlogger_fuer_Strom-_Spannung%2Ftesto_175-S2%2FUngarisch.product](http://www.testo.hu/online/abaxx-;jsessionid=9052868A57F9008500DEC46831773CCE?%$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Fanalysis%2FDatenlogger_fuer_Strom-_Spannung%2Ftesto_175-S2%2FUngarisch.product) (2013.07.13.)

M8: A Testo 177-T4 hőmérséklet-adatgyűjtő műszaki adatai⁶

Memória	48000 adat
Tárolási hőmérséklet	-40 ... +85 °C
Üzemi hőmérséklet	0 ... +70 °C
Elem típusa	lítiumelem
Elem élettartama	> 5 év
Tömeg	129 g
Méret	103 x 64 x 33 mm
Ház anyaga	ABS
Érzékelő: T típusú Cu-CuNi	
Mérési tartomány	-200 ... +400 °C
Érzékelő: K típus	
Mérési tartomány	-200 ... +1000 °C
Pontosság	±0,5% mért ért. (+70,1 ... +1000 °C) ±1,5% mért ért. (-200 ... -100,1 °C) ±0,3 °C (-100 ... +70 °C)
Felbontás	0,1 °C
Érzékelő: J típusú FeCuNi	
Mérési tartomány	-100 ... +750 °C

M9: Testo175-H2 mérő-adatgyűjtő műszaki adatai⁷

Memória	16000
Tárolási hőmérséklet	-40 ... +85 °C
Üzemi hőmérséklet	-20 ... +70 °C
Elem típusa	lítiumelem
Tömeg	85 g
Méret	82 x 52 x 30 mm
Ház anyaga	ABS
Hőmérséklet érzékelő típusa	NTC
Mérési tartomány	-20 ... +70 °C
Felbontás	0,1 °C
Páratartalom érzékelő típusa	Kapacitív páraszenzor
Mérési tartomány	0 ... +100 %rH

⁶ [http://www.testo.hu/online/abaxx-?\\$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&\\$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Ftemperature%2FMessgeraete%2FDatenlogger%2Ftesto_177-T4%2FUngarisch.product](http://www.testo.hu/online/abaxx-?$part=PORTAL.HUN.ProductCategoryDesk&$event=show-from-content&externalid=opencms%3A%2FProducts%2FMeasurementParameters%2Ftemperature%2FMessgeraete%2FDatenlogger%2Ftesto_177-T4%2FUngarisch.product) (2013.07.13.)

⁷ [http://www.testo.hu/online/abaxx-?\\$part=PORTAL.HUN.SectorDesk&\\$event=show-from-menu&categoryid=4690143](http://www.testo.hu/online/abaxx-?$part=PORTAL.HUN.SectorDesk&$event=show-from-menu&categoryid=4690143) (2013.07.13.)

Felbontás	0,1 %rH
-----------	---------

M10: A térfogatáram-mérő órák mérés technikai adatai⁸

Névleges átmérő (DN)	mm							15
	Inches							½"
E.E.C. pontossági osztály		C. osztályú minden helyzetben						
E.E.C. típusengedély szám		F-04-G-297						
Max. üzemi hőmérséklet	C							30
Max. üzemi hőmérséklet (<1h)	C							50
Max. megengedett nyomás	bar							16
Próba nyomás	bar							25
Nyomásveszteség	bar							1
Névleges térfogatáram Qn	m ³ /h	0,75	1				1,5	0,75-1,5*
Max. térfogatáram Qmax	m ³ /h	1,5	2				3	3
Min. térfogatáram Qmin	l/h	7,5	10				15	7,5
Átmeneti térfogatáram Qt	l/h	11,25	15				22,5	11,25
Jell. Indulási térfogatáram	l/h							1
Pontosság ± 5%	l/h							3
Pontosság ± 2%	l/h							6
Kijelzés	m ³							99999
Legkisebb skála osztás	l							0,05
Kommunikációs előkészítés		Cyble technológia						
*Névleges térfogatáram változatok		0,75-1 és 1-1,5 m ³ /h						
Méret	mm							15
mérőmenet	Inches							G ¾" B
	mm							20x27
A	mm	105	110	134	165	170	190	
D osztályú-NÁ15-ös hagyományos és függőleges a British Standard az 5728 szerint.								
Névleges térfogatáram Qn	m ³ /h	1-1,5						
Max. térfogatáram Qmax	m ³ /h	2-3						
Min. térfogatáram Qmin	l/h	7,5						
Átmeneti térfogatáram Qt	l/h	11,5						
Kijelzés	m ³	9999						
Legkisebb skála osztás	l	0,02						
IMPULZUS ÉRTÉK								
	HF érték	LF érték (A K értéke függ a Cyble Sensortól)						
Mérőtípus		K=1	K=2, 5	K=10	K=25	K=100	K=1000	
NÁ15 C osztályú	1l	1l	2,5l	10l	25l	100l	1m ³	
NÁ15 D osztályú (BS 5728)	0,1l	0,1l	0,25l	1l	2,5l	10l	100l	

⁸ <http://www.hollix.hu/dl.php?id=489> (2013.01.20.)

M11: Cyble Sensor impulzus jeladók műszaki adatai⁹

Változat		2 eres	5 eres
LF jel		*	*
Kábelhiba érzékelés			*
HF jel			•
Áramlás irány jel			*
Belső tápellátás (elem)		*	*
Jel kimenet	Tápellátás	AC vagy DC	DC
	Max. áramfelvétel (mA)	100	
	Max.feszültség (V)	30	
	Polarizáció	Nincs	Van
	Típus	Száraz kontaktus egyenérték	Nyitott kollektor
Belső elem/Élettartam*		Igen, lithium elem/12 év - Nem cserélhető	
Kábelhossz	m	5	
Vezetékek száma		2	5
Kábel méretek		6,6 x 2,3 lapos kábel	
Vezeték átmérő	mm	0,9	
Üzemi hőmérséklet	C	-10/+55	
Tárolási hőmérséklet	C	-20/+55	
Védelem		IP681	
E.M.C. szabványok		EN 50081-1, EN 50081-2, EN 50082-1, EN 50082-2	

* Normál alkalmazás és a megadott üzemi hőmérsékletek mellett ** Ha a kábelhossz nagyobb, mint 100 mkérjen tájékoztatást

M12: Comet S7021 impulzus adatgyűjtő műszaki paramétere¹⁰

Számláló méréstartomány – felhasználó által választható:	16 bit változat: 0 ... 61 695 impulzus, memória kapacitás 32 504 mért érték „non-cyclic” üzemmódban 32 bit változat: 0 ... 2 021 654 527 impulzus, memória kapacitás 16 252 mért érték „non-cyclic” üzemmódban
Bemeneti jelek:	Potenciál mentes kontaktus, vagy kétállapotú feszültségjel
Számláló bemenet jellemzői:	Min. impulzus szélesség: 1 ms (rövidebb impulzusok esetén az adatgyűjtés elmaradhat) max. frekvencia: 500 Hz, záró kontaktus terhelhetősége: 30 µA, max. feszültség nyitó kontaktuson: 3,6V, LOW feszültség szint: 0 ... +0.2V (bemeneti áram max. 30 µA) HIGH feszültség szint: +3.0 ... +30 V (bemeneti áram max 100 nA)
Bináris bemeneti jelek jellemzői:	Min. impulzus szélesség: 500 ms (rövidebb impulzusok esetén az adatgyűjtés elmaradhat) max. frekvencia: 0,5 Hz, (pl. max. 5 impulzus 10 s alatt) záró kontaktus terhelhetősége: 3 microA, max. feszültség nyitó kontaktuson: 3.6V, LOW feszültség szint: 0 ... +0.2V (bemeneti áram max. 3 µA) HIGH feszültség szint: +3.0 ... +30 V (bemeneti áram max 100 nA)
Üzemi hőmérséklet:	-30 ... +70°C
Valós idejű óra:	év, szökőév, hónap, nap, óra, perc, másodperc

⁹ <http://www.hollix.hu/index.php?mod=sdoc&id=145> (2013.07.12.)

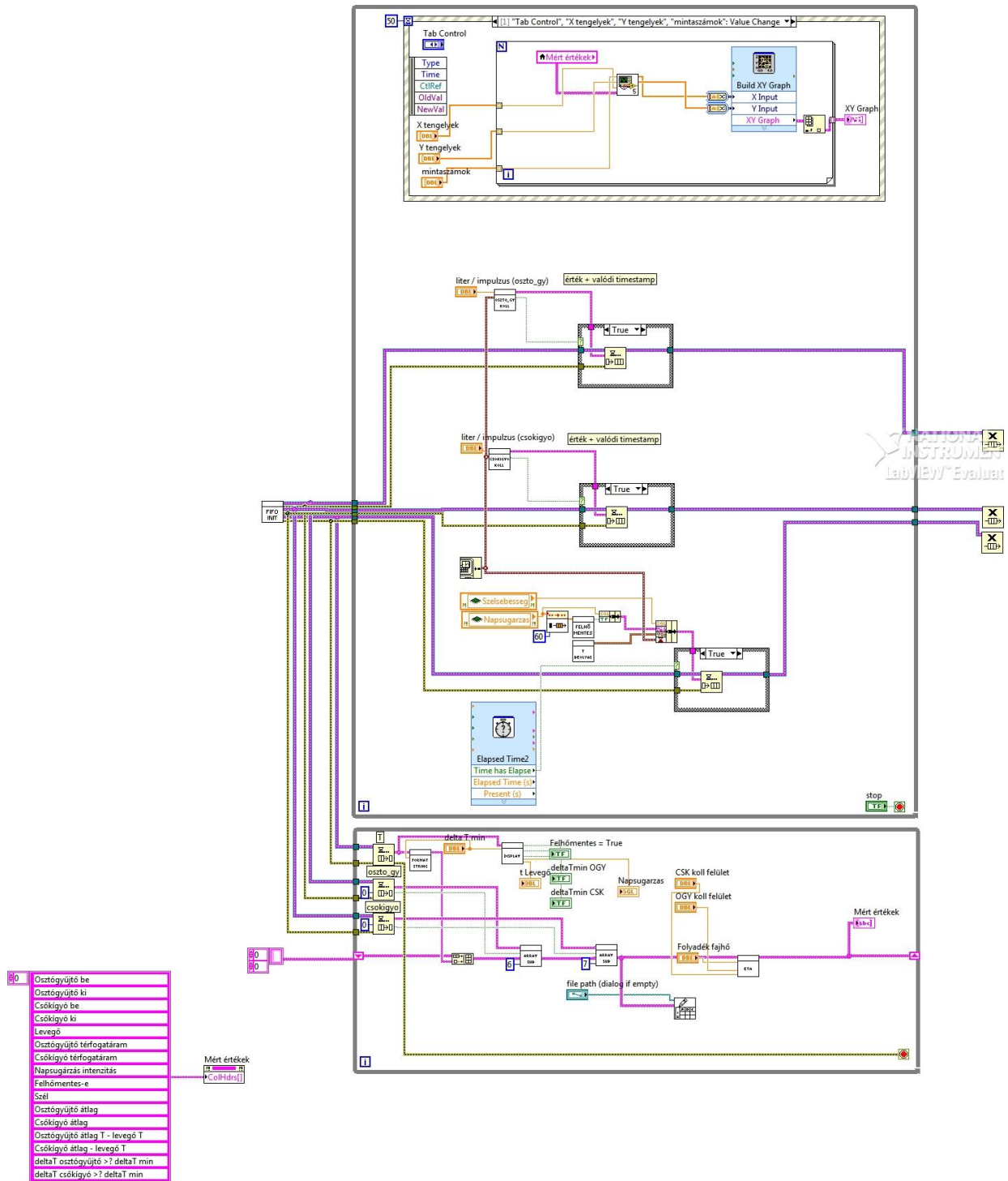
¹⁰ <http://www.comet-datalogger.hu/hun/manuals/ie-log-s7021.pdf> (2013.01.20.)

M13: Vízsíntes síkon mérhető teljes sugárzás intenzitása ideális légkör esetén, Wm^{-2} -ben¹¹

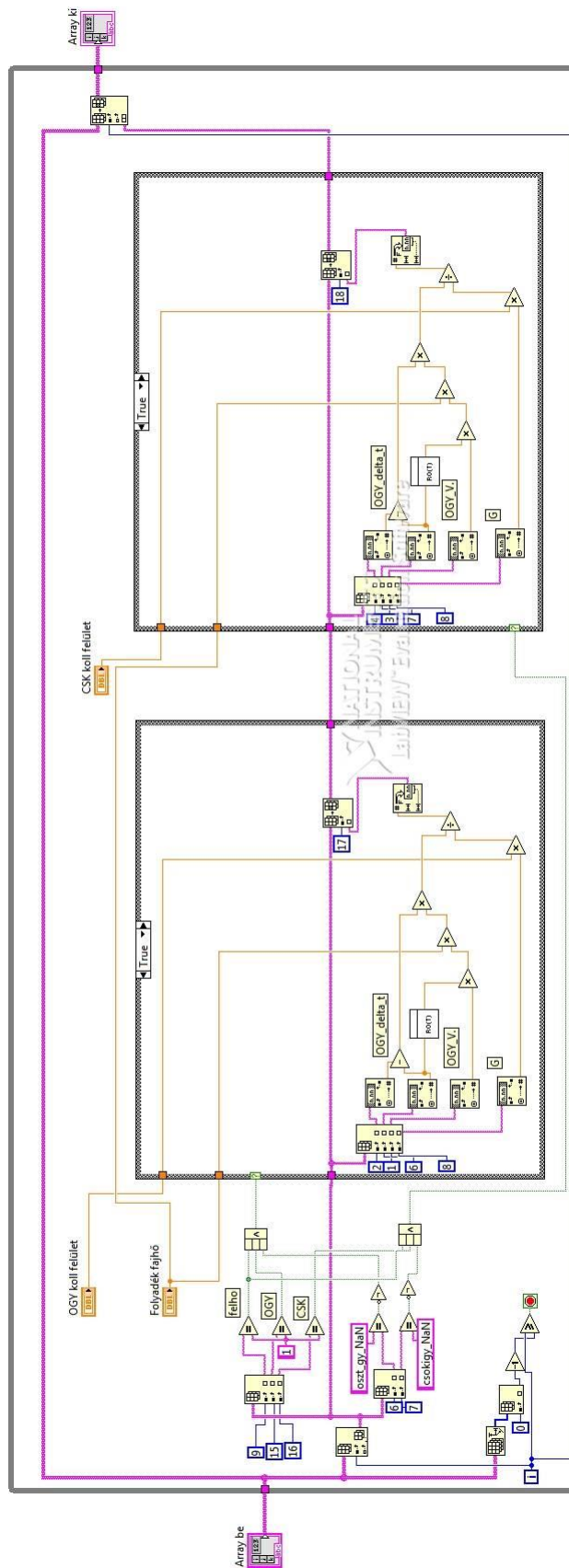
Hó Óra	Jan	Feb	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Átlag
03-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	0	0	0	0	56	147	107	8	0	0	0	0	27
05-06	0	0	1	106	272	338	314	182	18	0	0	0	103
06-07	0	4	122	319	450	507	484	380	207	26	0	0	208
07-08	21	143	330	504	624	671	649	557	403	216	48	0	347
08-09	188	326	505	672	781	820	798	717	571	391	233	151	513
09-10	331	470	649	811	911	943	922	849	711	533	373	219	650
10-11	433	575	753	912	1005	1032	1012	945	812	635	474	392	748
11-12	490	632	811	967	1057	1081	1061	998	868	691	529	447	803
12-13	496	639	817	973	1062	1087	1067	1004	874	698	535	454	809
13-14	452	594	772	930	1022	1048	1028	963	831	654	492	410	766
14-15	360	501	679	840	938	969	948	877	740	562	402	320	678
15-16	227	365	544	710	816	854	832	753	609	430	271	189	550
16-17	53	195	376	548	665	710	688	599	447	265	92	23	388
17-18	0	18	177	366	494	549	526	425	262	60	0	0	240
18-19	0	0	11	162	316	380	356	238	48	0	0	0	126
19-20	0	0	0	5	107	216	170	30	0	0	0	0	44
20-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Átlag	170	248	364	490	588	631	609	529	411	287	192	149	589

¹¹ <http://www.okosolart.com/index.php?site=napkollektor/napsugarzas>

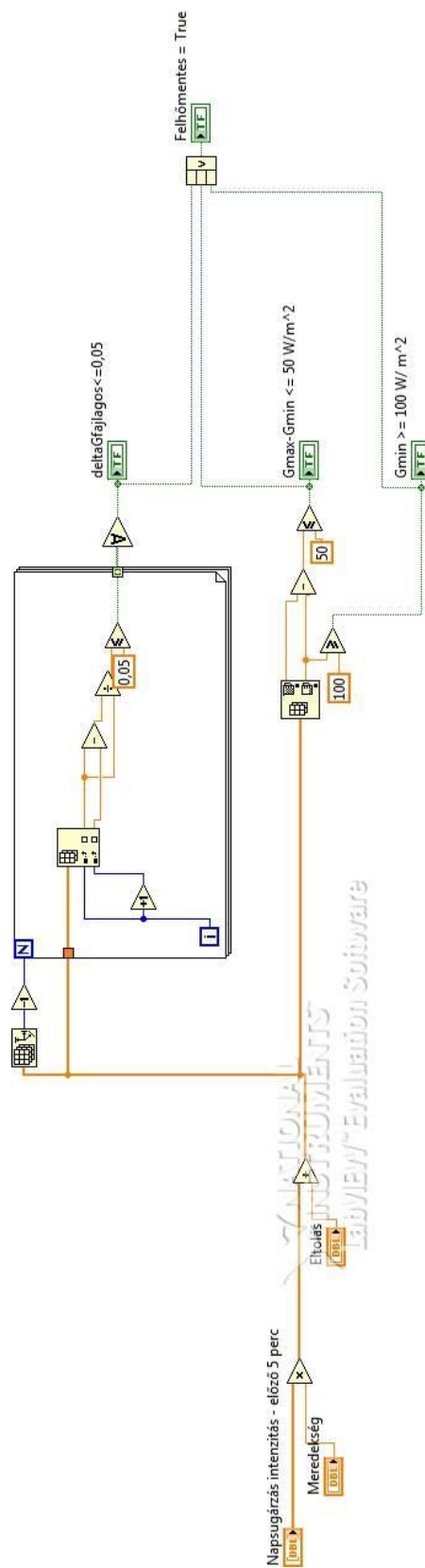
M14: LabVIEW blokk diagram: Host_v3.vi



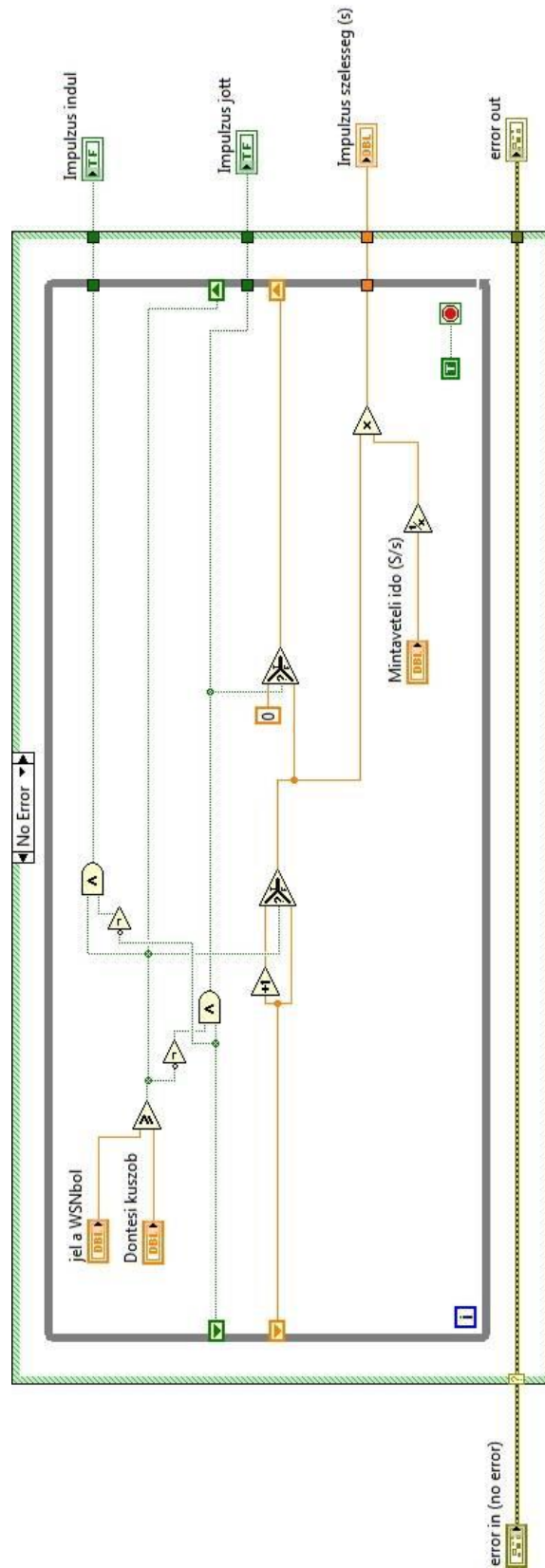
M15: LabVIEW blokk diagram: eta_calc_subVI.vi



M16: LabVIEW blokk diagram: felhómentes_idoszak_kijelolese.vi



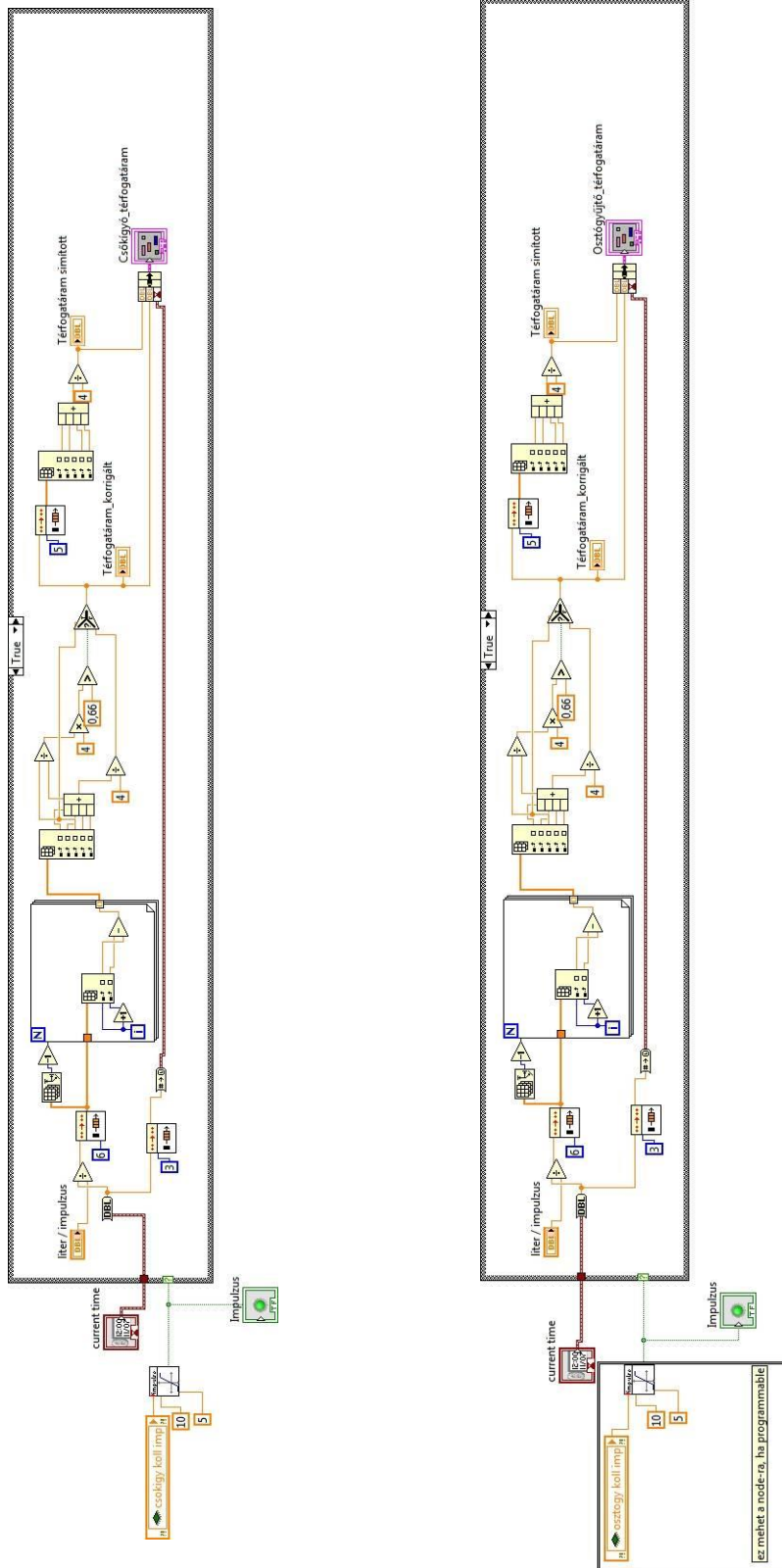
M17: Labview blokk diagram: impulzus_meres.vi



M18: Labview blokk diagram:

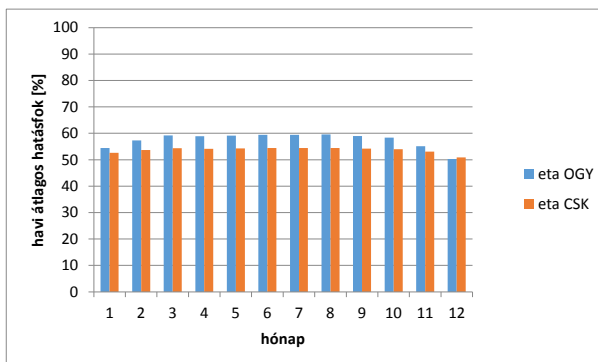
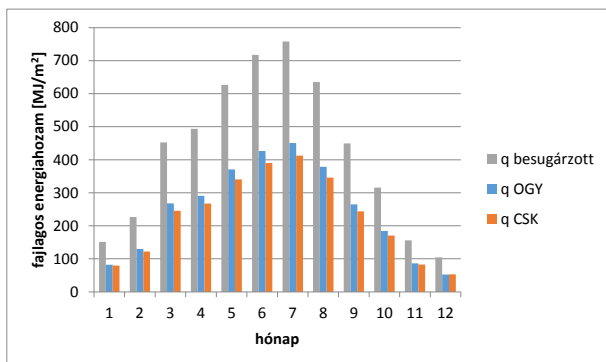
Terfogataram_csokigyo_koll_subVI.vi

Terfogataram_osztogy_koll_subVI.vi

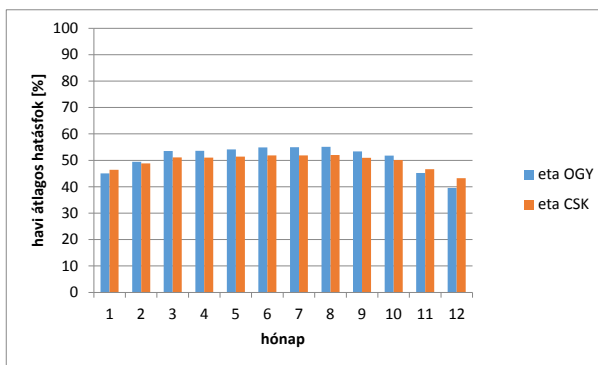
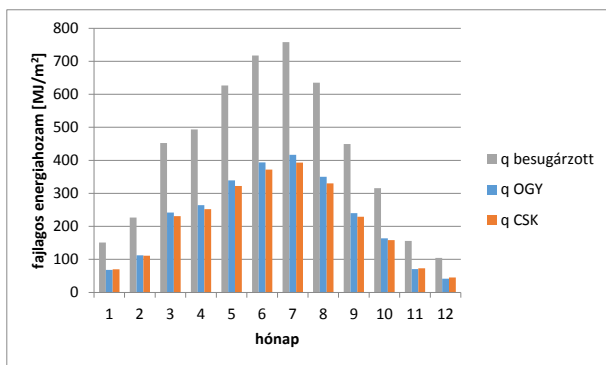


M19: A kísérleti kollektorok havi energiahozam és átlagos hatásfok diagramjai a levegő hőmérsékletéhez képesti konstans Δt hőmérséklet-különbség tartása esetén

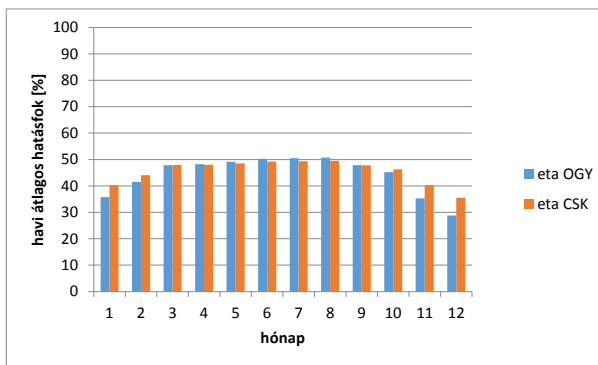
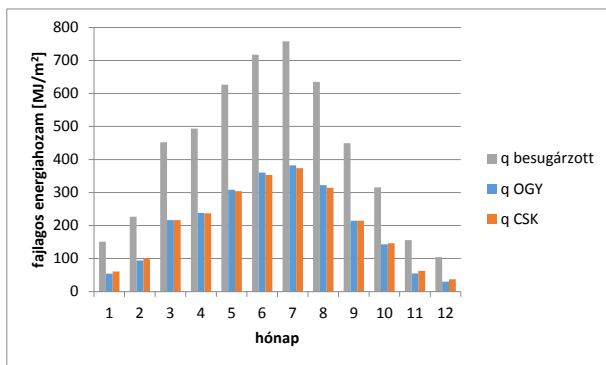
$$\Delta t = t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$



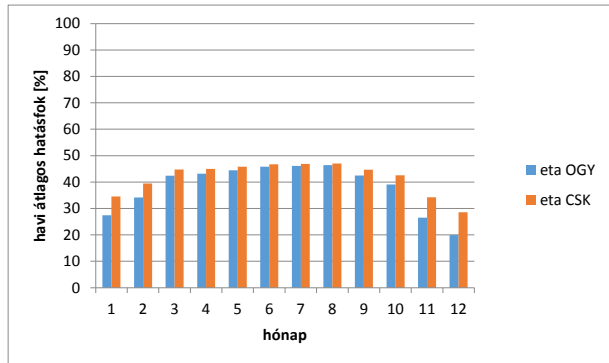
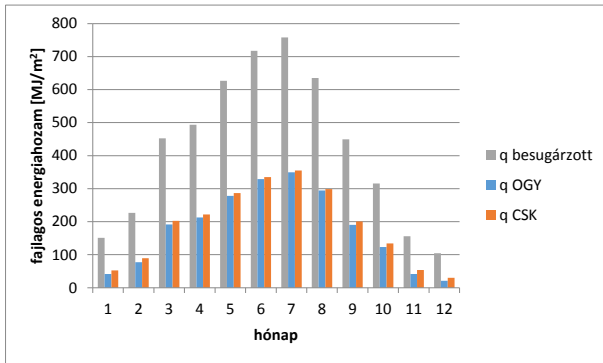
$$t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$



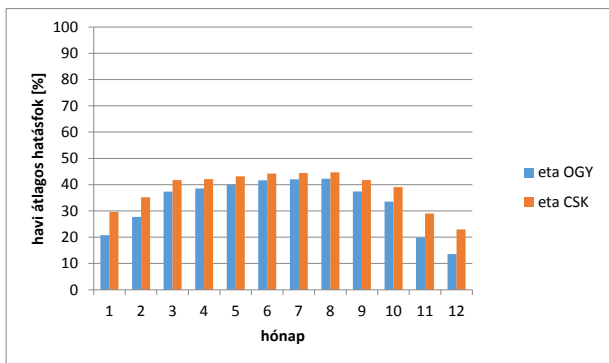
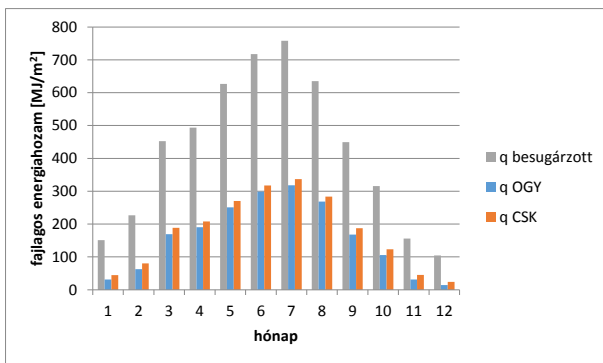
$$t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$



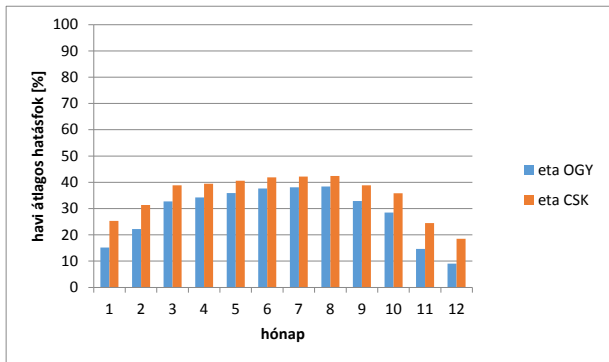
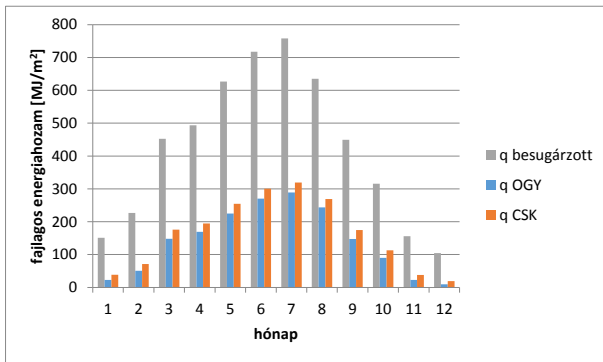
$t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$



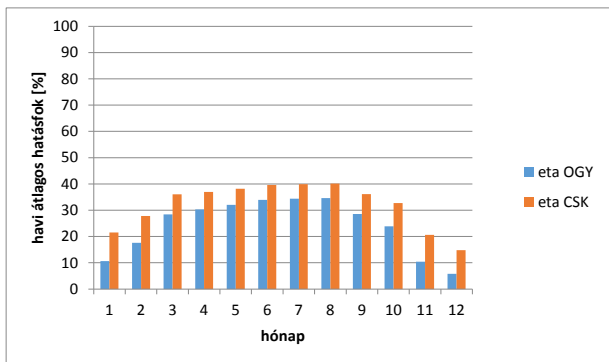
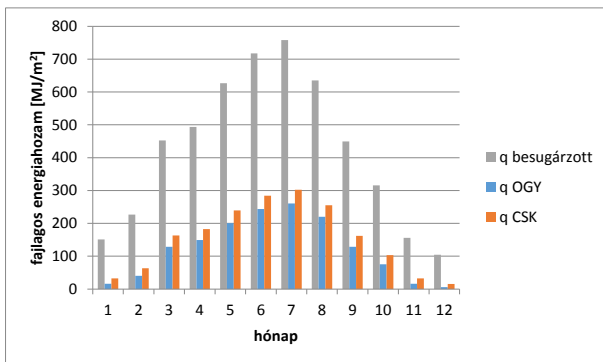
$t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$



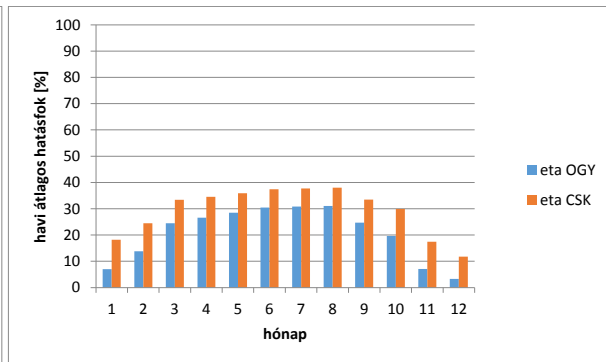
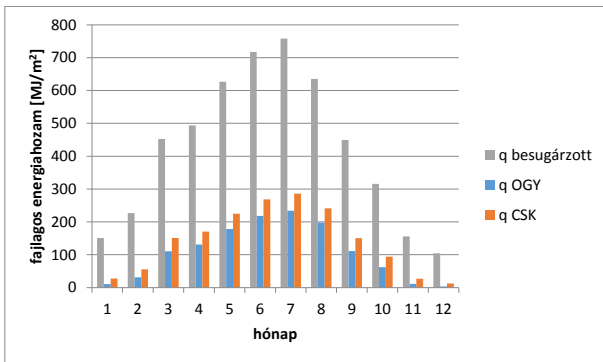
$t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$



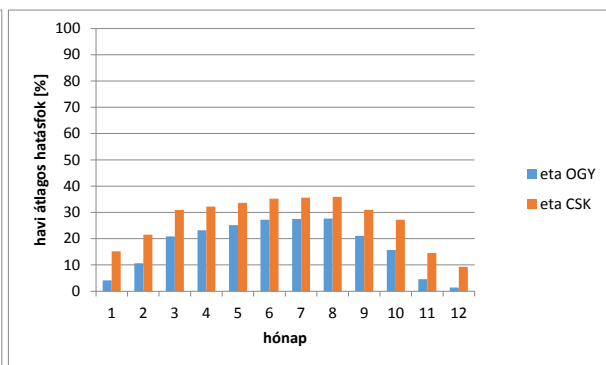
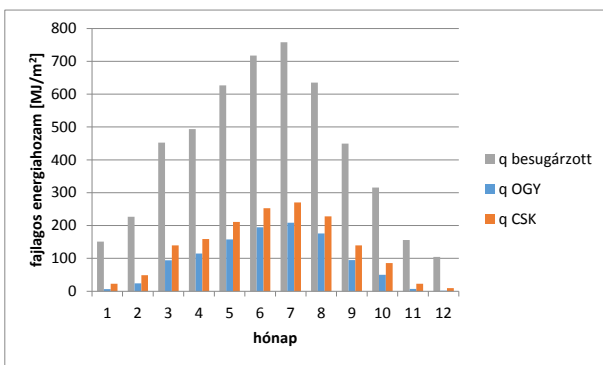
$t_{\text{koll}} - t_{\text{lev}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$



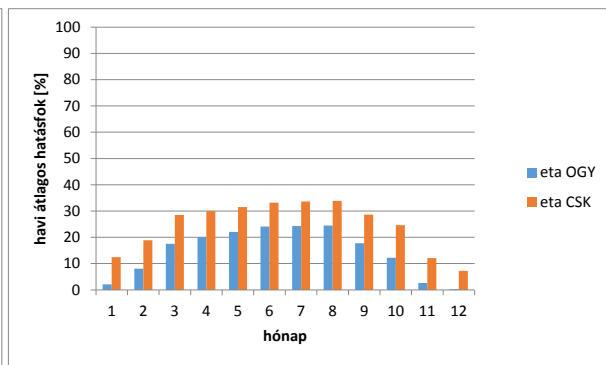
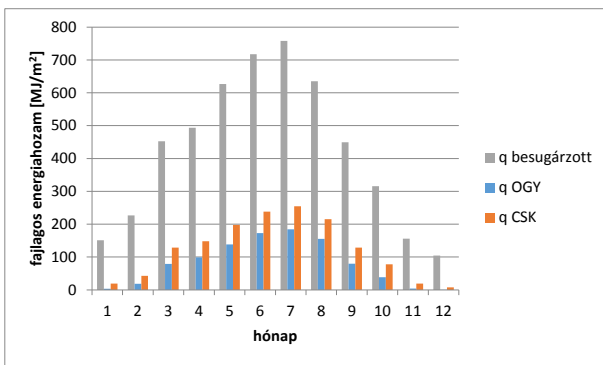
$t_{koll} - t_{lev} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$



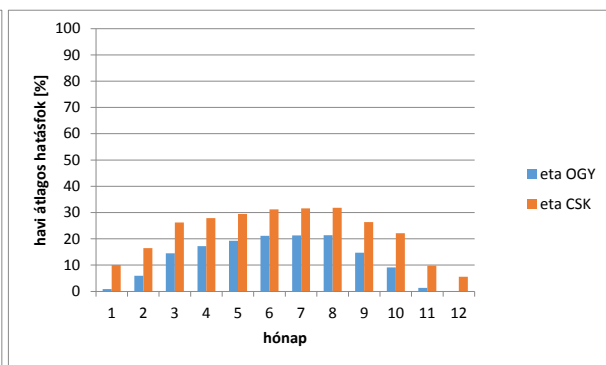
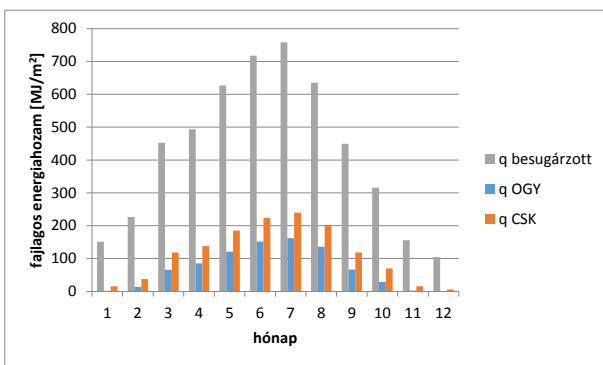
$t_{koll} - t_{lev} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$



$t_{koll} - t_{lev} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$



$t_{koll} - t_{lev} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni Témavezetőimnek, Dr. Szendrő Péter és Dr. Keszthelyi-Szabó Gábor Professzor Uraknak a munkám során adott hasznos útmutatásukért, valamint a publikálási lehetőségek biztosításáért. Köszönöm Dr. Farkas István és Dr. Barótfi István Professzor Urak, Dr. Fodor Dezső Docens Úr észrevételeit, és mindazon Kollégáim segítségét, akik támogattak az értekezés elkészítésében.