

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**Folyadékos napkollektorok hőhordozó
közegének paramétereit és áramlási viszonyai**

**Doktori értekezés tézisei
Hegyi Károly**

**Gödöllő
2009**

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrár műszaki tudományok

vezetője: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet,
Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	4
1.1. A választott témakör jelentősége	4
1.2. Célkitűzések	5
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	7
2.1. A szolárfolyadék	
2.2. A szolárfolyadék sűrűségének mérése	7
2.3. A szolárfolyadék viszkozitásának mérése	7
2.4. A szolárfolyadék hővezetési együtthatójának mérése	7
2.4.1 A mérőkészülék matematikai modellezése	7
2.5. Szolárfolyadék fajhőjének mérése	9
2.6. Szolárfolyadék törésmutatójának mérése	9
3. EREDMÉNYEK.....	10
3.1. A sűrűségmérés eredményei és kiértékelése	10
3.2. A viszkozitás mérés eredményei	10
3.3. Hővezetési együttható mérési eredményei	12
3.4. A fajhőmérés eredményei	13
3.5. A törésmutató mérés eredményei	14
3.6. A folyadékos napkollektor áramlási viszonyai	15
3.7. A napkollektorok üzemeltetésének hatása a szolárfolyadéokra	17
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	18
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	21
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	22
7. SZAKMAI PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE.....	23

1. BEVEZETÉS

1.1 A választott témakör jelentősége

A jelenlegi energiatípusokat vizsgálva megállapítható, hogy az energiatermelés legnagyobb részét *fosszilis energiahordozókon* alapul a fosszilis energiahordozó készletek kimerülő félben vannak, árak egyre növekszik.

Az utóbbi években az energiatermeléssel kapcsolatban a környezetszennyezési gondok is növekednek. A CO₂ szint növekedése előrevetíti egy növekvő átlaghőmérsékletű Föld lehetőségét az üvegházhatás miatt. A kibocsátott NO_x és SO₂ pedig a savas esők révén a bioszféra pusztulását okozhatja. A megoldást hosszútávon a világ az ún. megújuló energiaforrásokban látja, azaz a *napenergiában és annak közvetett formáiban*: a biomasszában, a szélenergiában, a geotermális energiában és a vízenergiában.

A Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karán már régóta folynak kutatások a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatban. A Doktori Iskola keretén belül több dolgozat készült el ezen témakörökben (szélenergia, biomassza, napenergiás szárítás stb.) A Gépészmérnöki Kar Fizikai és Folyamatirányítási Tanszékén elsősorban a napenergia direkt felhasználásával kapcsolatos kutatások folynak már több, mint tizenöt éve. Ennek keretében a tanszéken a napenergiával kapcsolatos kutatási, oktatási és demonstrációs központ épült meg. Meteorológiai állomás mellett folyadékos napkollektor, napenergiás szárító, fotovillamos panelek, és passzív napenergiás fal található. A megújuló energia kutatással, különös tekintettel a napenergia kutatással kapcsolatban az eredmények országos és nemzetközi szinten is ismertek.

A közvetlen napenergia felhasználásnak a két legfontosabb ága: a fotovillamos cellák (napelemek, PV cellák) felhasználása illetve a használati melegvíz előállítását szolgáló napkollektorok. Sajnos a napelemek ára még viszonylag magas (kb. 1 MFT/kW), ezért a magas beruházási költség miatt még nem rentábilisak, viszont várhatóan ezek lesznek a legfontosabbak a napenergia-felhasználásban.

A használati melegvíz előállítására használható folyadékos napkollektorok már napjainkban is kifizetődők. Megtérülési idejük 5-8 év. Működésük lényegében egyszerű. A napsugárzást vízmelegítésre már régóta használják. A téli fagyás elkerülésére az ún. kétkörös napkollektorok terjedtek el. A napsugárzás egy fagyálló folyadékot melegít fel, és egy hőcserélőn keresztül melegítik fel a felhasználni kívánt vizet. A fagyálló folyadék az esetek többségében propilén-glikol alapú. A gépjárműveknél használt etilén-glikolt nem szabad használni, mert mérgező és egy hőcserélő meghibásodás esetén bekerülhet a melegvízbe. A propilén-glikol nem mérgező, felhasználják az élelmiszeriparban is. A napkollektorok hatásfokának javítása aktuális feladat. A hőtechnikai vizsgálatokhoz és fejlesztéshez azonban szükség van a propilén-glikol anyagi paramétereire, melyekre nézve a hozzáférhető irodalom hiányos.

1.2 Célkitűzések

Célul tűztem ki a propilénlikol legfontosabb fizikai paramétereinek meghatározását és e paraméterek napkollektor működésére kifejtett hatásának vizsgálatát. A propilénlikolnak a vizes oldatát vizsgáltam. Ez az ún. szolárfolyadék.

A munkám során meghatározni kívántam a szolárfolyadék alábbi paramétereit:

- Sűrűség
- Dinamikai viszkozitás
- Optikai törésmutató
- Hővezetési együttható
- Fajhő
- Kolorimetrikus tulajdonság

A szolárfolyadék ezen paramétereit egyrészt általam hozzáférhető mérőeszközökkel határoztam meg, másrészt magamnak kellett a mérőeszközt tökéletesíteni, illetve szükség esetén új mérőeszközt készítenem. Alapvetően a szolárfolyadék fizikai paramétereit kívántam megvizsgálni a higítás illetve a hőmérséklet függvényében.

A napkollektor működése és hatásfoka szempontjából a célul kitűzött fizikai paraméterek a legfontosabbak, ezért más szempontokból a szolárfolyadékkal nem kívántam foglalkozni (elektromágneses, kémiai stb.).

Az így meghatározni kívánt anyagi paraméterek segítségével egy konkrét napkollektor típus áramlási viszonyait és a paramétereknek a működésre való hatását szándékoztam megvizsgálni.

A meghatározni kívánt paraméterekkel kapcsolatos megjegyzéseim:

- A szolárfolyadék (a propilénlikol vizes oldata) összetételét általában térfogat százalékban adjuk meg. Ahhoz, hogy tömegszálszázalékban is ismerjük az összetételt alapfontosságú a szolárfolyadék sűrűségének ismerete.
- Áramlási szempontból a legfontosabb anyagi paraméterek egyike a folyadék viszkozitási együtthatója. A későbbiekben részletezem, hogy a napkollektorban a hőátadás szempontjából fontos, hogy az áramlás lamináris vagy turbulens. A turbulens áramlás szempontjából az ún. Reynolds szám a meghatározó, amelynek egyik összetevője a viszkozitás.

- Az optikai törésmutató alapján nagyon pontosan meg lehet határozni a szolárfolyadék víztartalmát, aminek az összes anyagi paraméterre hatása van.
- A hőhordozó hővezetési együtthatójának ismerete alapvető fontosságú egy hőtechnikai berendezésnél.
- Hasonlóan a fajhő, mint alapvető hőtechnikai paraméter ismerete a napkollektor működési tulajdonságait határozza meg.
- Több éve működő napkollektorokban a hőhordozó színe feltűnően megváltozott (megsárgult, megbarnult), ezért tűztem ki a szolárfolyadék fényelnyelésének vizsgálatát (kolorimetriás vizsgálatát) a fény hullámhosszának függvényében.
- Bizonyos üzemzavarok esetén (szivattyú leállás, stb.) a szolárfolyadék az általános üzemi hőmérséklet fölé emelkedhet. Célul tűztem ki ennek vizsgálatát is.

A szolárfolyadék anyagi paramétereinek kihatása van a napkollektor üzemeltetésére. Konkrét napkollektor esetén is változtatható a hőhordozó közeg sebessége a keringtető szivattyú segítségével. Kis sebességeknél az áramlás lamináris, nagyobb sebességeknél az áramlás turbulenssé válhat (a napkollektoros rendszer különböző szakaszaiban eltérő sebességeknél következhet be a turbulens átmenet). A hőátadás szempontjából a lamináris esetben gyakorlatilag a folyadék hővezetése a meghatározó, turbulens áramlásnál a hővezetést a hatékonyabb hőáramlás váltja fel. (a vékony határrétegben továbbra is a hővezetés játszik jelentős szerepet). Mivel a turbulens átmenet a Reynolds számtól függ ($Re_{kritikus} = 2320$), az anyagi paraméterek a turbulens átmenetet befolyásolják.

Célom volt a hőhordozó közeg anyagi paramétereinek az áramlásra gyakorolt hatásának vizsgálata. Elsősorban a turbulens átmenetet akartam vizsgálni.

Az üzemeltetés során a szolárfolyadék elszíneződését elsősorban a szolárfolyadék fényelnyelésével, fotokolorimetriával kívántam vizsgálni. Célul tűztem ki annak vizsgálatát, hogy az üzemeltetés során bekövetkező esetleges túlmelegedések milyen változásokat okoznak a hőhordozó közegre.

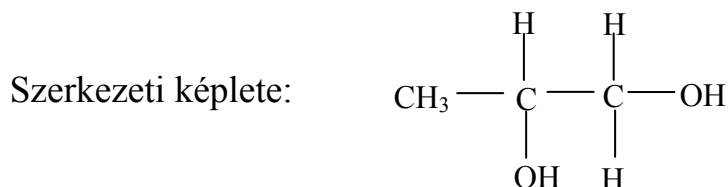
2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 A szolárfolyadék

Vizsgálatom anyaga az un. szolárfolyadék, ami lényegében propilén-glikol vizes oldata. A propilén-glikol kémiaailag: 1,2 propilén-glikol

Más elnevezésben: 1,2 propándiol, 1,2 dihidroxi-propán, vagy monopropilén-glikol (MPG)]

Összegképlete: $C_3H_8O_2$



Fagyáspontja: $-60 \text{ }^\circ\text{C}$

2.2 A szolárfolyadék sűrűségének mérése

A szolárfolyadék sűrűségét az Archimédesz törvényen alapuló Mohr- Westphal mérleggel mértem.

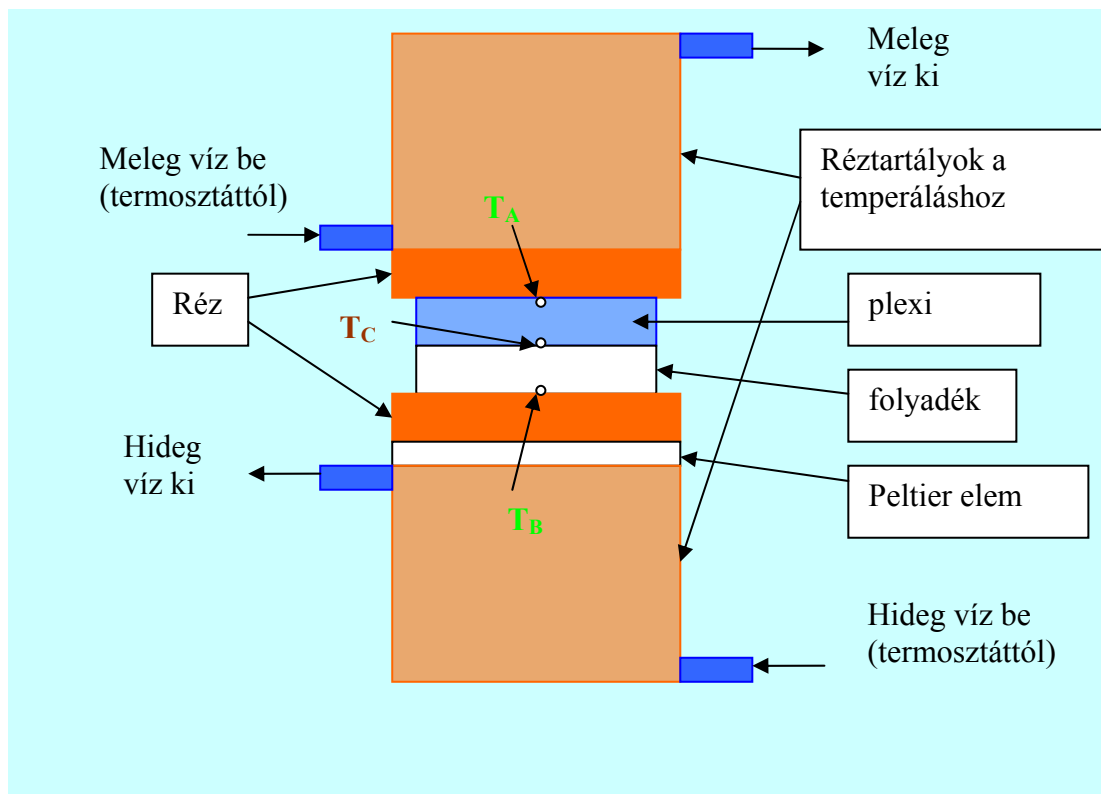
2.3 A szolárfolyadék viszkozitásának mérése

Ahhoz, hogy a szolárfolyadék reológiai típusát megtudjuk, ismernünk kell a folyadék folyási görbáját (a nyírósebesség és nyírófeszültség közötti függvényt). Ezért először a tömény szolárfolyadék viszkozitását mértem Rheotest típusú rotációs viszkoziméterrel. A viszkoziméterhez felhasználtam a viszkoziméterhez készített kiértékelő szoftvert. A mérések alapján megállapíthattam, hogy a propilén-glikol *newtoni típusú* folyadék. A további viszkozitás méréseket a hígítás és hőmérséklet függvényében Höppler viszkoziméterrel végeztem, ami egy esősúlyos típusú viszkoziméter.

2.4 A szolárfolyadék hővezetési együtthatójának mérése

A folyadék hővezetési együttható mérése a stacioner mérési módszert választottam, Az általam elkészített mérőberendezés a relatív mérési módszernek köszönhetően nagyon pontos.

Az 1. ábrán látható a mérőberendezés elvi elrendezése. Egy függőlegesen elhelyezett vékony henger felső része a mérés pontossága miatt a folyadék hővezetési együtthatójával azonos nagyságrendű plexivel van kitöltve. A plexi alatt helyezkedik el a vékony rétegben a mérendő folyadék. A plexi és a folyadék tömör rézből készült korongokkal érintkezik. (A réz hővezetési együtthatója több nagyságrenddel nagyobb a mért folyadékoknál)



1. ábra: Hővezetési együttható mérésére szolgáló berendezés elvi elrendezése.

A folyadékban a hőáramlást elkerülendő az alsó rézkorong az alacsonyabb (T_B), a felső a magasabb hőmérsékletű (T_A).

A rézkorongok hőmérsékletét ultratermosztátokkal hőcserélők segítségével tartottam állandó értéken. Az alsó rézkorong hőmérsékletének a szobahőmérséklet alatti hőmérsékleten való tartásához a hőcserélő és rézkorong közé egy Peltier elem helyezhető el. Termoelemmel mértem a felső, illetve alsó rézhenger hőmérsékletét, valamint a plexi és folyadék határának hőmérsékletét (T_C). A határfelületen levő termoelem a henger tengelyén helyezkedik el. Az elhelyezés pontosságára való igényt a berendezés matematikai modelljével vizsgáltam. Referenciafolyadéknak desztillált vizet használtam, mivel ennek a hővezetési adatai az irodalomban nagy pontossággal állnak rendelkezésre.

A termoelemek termofeszültségét egy PCL- 812 PG típusú mérőpanellel digitalizáltam. A mérési pontokat a PCLD – 889-es multiplexer kapcsolja a mérőpanelhez.

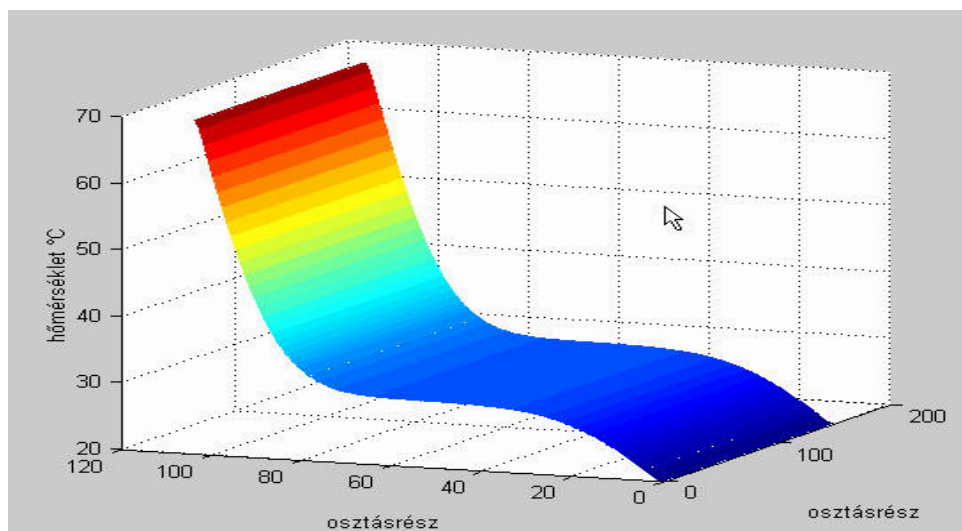
2.4.1 A mérőkészülék matematikai modellezése

A közbülső hőmérsékletmérési pont helyzetének érzékenysége, és a műszer használhatóságát vizsgálandó, megoldottam a berendezés matematikai modelljét. A hővezetési egyenlet hengerkoordinátás alakja:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

ahol λ a hővezetési együttható, ρ a sűrűség, T az abszolút hőmérséklet, c_p a fajhő.

Mivel az adott peremfeltételek esetén a hővezetés egyenletét analitikus nem lehet megoldani, ezért az egyenletet diszkretizálva, numerikusan oldottam meg. A hőmérséklet eloszlásra egy tipikus eredmény a 2. ábrán látható. A matematikai modell eredménye többek között azt is bizonyítja, hogy a két közeg határánál, a tengelynél mért hőmérséklet a termoelem helyének esetleges pár milliméteres eltérésére és a palást peremfeltételeire sem érzékeny. (Neumann és Dirichlet határfeltételekre is végeztem számítást).



2. ábra Hőmérséklet eloszlás a mérőberendezés matematikai modelljében

2.5 A szolárfolyadék fajhőjének mérése

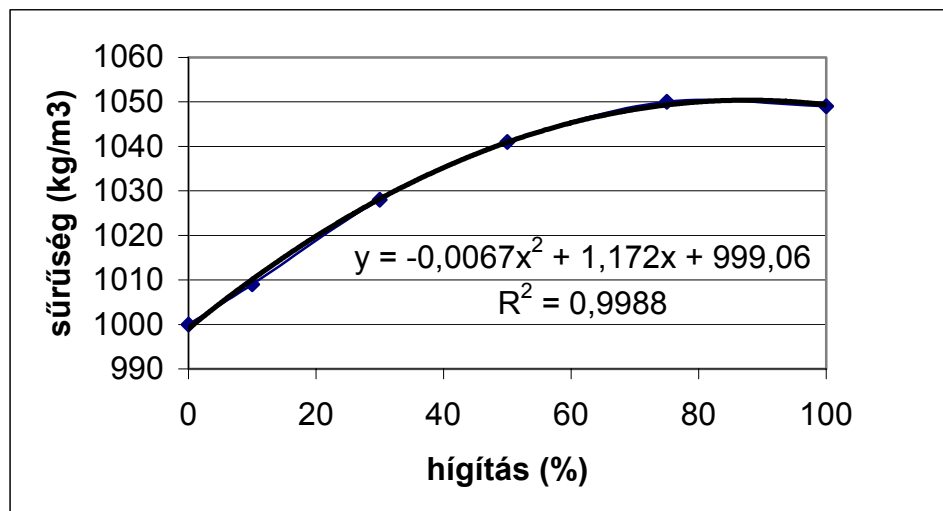
A szolárfolyadék fajhőjét kaloriméterrel mértem, relatív módszerrel. A kaloriméterben levő folyadékot elektromos patronnal melegítettem és mértem a hőmérséklet időtől való függését. A hőmérséklet méréshez a hővezetésnél is használt termoelemes mérőrendszert használtam. A kaloriméter, valamint a benne levő kiegészítő berendezések - fűtőpatron, keverő, termoelem – tömege és fajhője ismeretlen, praktikusán mérhetetlen, ezért az abszolút mérés helyett a relatív mérést választottam, amelynél az előbbi alkatrészek fizikai paramétereire (kaloriméter vízértéke) nincs szükség. Standard anyagnak a desztillált vizet választottam, melynek hőtechnikai adatai nagy pontossággal állnak rendelkezésünkre.

2.6 A szolárfolyadék törésmutatójának mérése

A szolárfolyadék hígítási arányának nagyon pontos meghatározására a folyadék törésmutatójának mérését célszerű használni. A méréshez laboratóriumi Abbe-féle refraktométert használtam, amely a totális reflexió határszögének meghatározása alapján igen pontos törésmutató mérést tesz lehetővé. A készülékkel 1,3 és 1,7 közötti értékekre lehet folyadékok törésmutatóját meghatározni 0,2% pontossággal.

3. EREDMÉNYEK

3.1 A sűrűségmérés eredményei



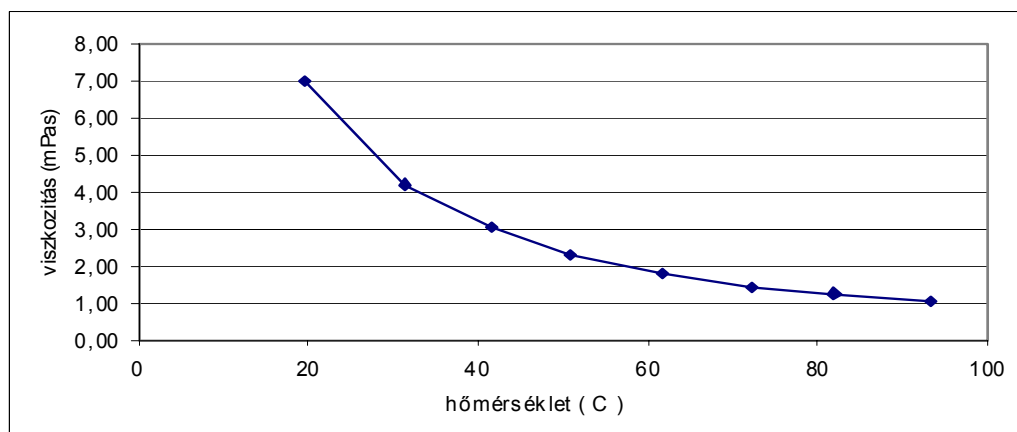
3. ábra Szolárfolyadék sűrűsége a hígítás függvényében 20 °C- on
A sűrűség hígítástól való függésére (20 °-on) a mérés adatai alapján az alábbi összefüggést készítettem:

$$\rho_{(\alpha)} = -66,892 \alpha^2 + 117,2\alpha + 999,06 \quad ,$$

ahol $0 < \alpha < 1$ a hígítás mértéke , $\alpha = 1$ a tömény propilénglikol

3.2 A viszkozitás mérés eredményei

A szolárfolyadék dinamikai viszkozitásának hőmérséklettől való függésére tipikus eredmény látható a 4. ábrán.

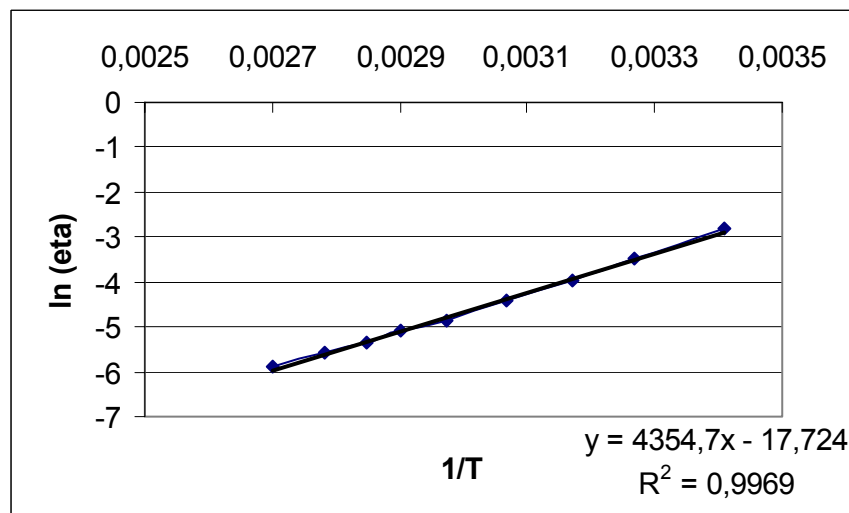


4. ábra 50%-os szolárfolyadék dinamikai viszkozitása a hőmérséklet függvényében

Az irodalom alapján a folyadékok viszkozitásának hőmérséklet függésére alkalmaztam az ARRHENIUS - ANDRADE - GUZMAN egyenletet:

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}}$$

Az egyenletet logaritmálva, a mérési adatokra a következő tipikus görbét kaptam.



5. ábra. Tömény szolárfolyadék viszkozitásának függése a hőmérséklet reciprokától

Ez alapján

- a tömény szolárfolyadékra (propilénlikol):

$$\eta_{100} = 2,0071 \cdot 10^{-8} e^{\frac{4354,7}{T}}$$

- az 50%-os hígítású szolárfolyadékra:

$$\eta_{50} = 5,5295 \cdot 10^{-7} e^{\frac{2728,7}{T}}$$

A kapott viszkozitási aktivációs energiák értékei a tömény szolárfolyadéknál és az 50%-os hígítású szolárfolyadékra:

$$E_{100} = 36,19 \text{ kJ/mol}$$

$$E_{50} = 22,67 \text{ kJ/mol.}$$

(A közelítés pontossága a számítás szerint kb. 3,5%)

Különböző hígítások méréséből polinomiális összefüggést is készítettem a szolárfolyadék viszkozítására a hőmérséklet és hígítás függvényében (1. táblázat):

$$\eta(\alpha, t) = A_{\eta}(\alpha) \cdot t^2 + B_{\eta}(\alpha) \cdot t + C_{\eta}(\alpha), \text{ ahol az együtthatók}$$

együttható	együttható hígításfüggése	Determinációs együttható
$A_\eta(\alpha)$	$= 0,0249 \alpha^2 - 0,0108 \alpha + 0,0007$	$R^2=0,9795$
$B_\eta(\alpha)$	$= - 4,0786 \alpha^2 + 1,8685 \alpha - 0,1268$	$R^2=0,9885$
$C_\eta(\alpha)$	$= 165,89 \alpha^2 - 77,335 \alpha + 5,7668$	$R^2=0,9767$
α - a hígítás mértéke. Az összefüggésben $0 < \alpha < 1$		

1. táblázat Viszkózitási együtthatók a hígítás függvényében

A fenti összefüggéssel az 50%-os szolárfolyadék ($\alpha=0.5$) együtthatói:

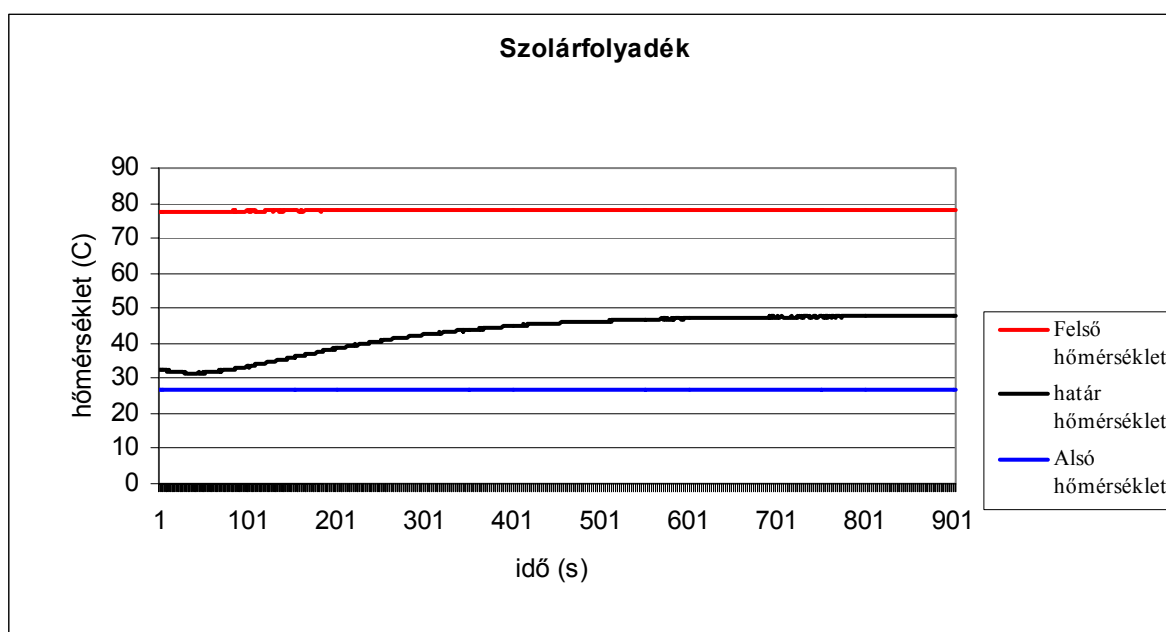
$$A_\eta(0.5)=1,525 \cdot 10^{-3} \text{ mPas/}^\circ\text{C}^2$$

$$B_\eta(0.5)=0,2122 \text{ mPas/}^\circ\text{C}$$

$$C_\eta(0.5)=8,5718 \text{ mPas}$$

3.3 A hővezetési együttható mérési eredményei

A 6. ábrán a hővezetés mérésre egy tipikus mérési eredmény látható. A hővezetés mérésnél kb. 10 perc alatt beáll a stacioner állapot. A közbülső hőmérséklet aszimptotikusan tart a stacioner hőmérsékleti értékhez ($\Delta t < 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$).



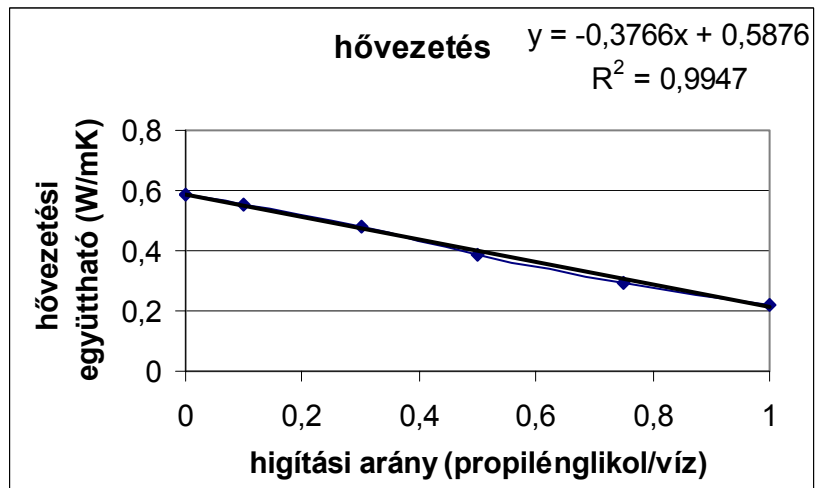
6. ábra: Tipikus hőmérséklet értékek az idő függvényében a hővezetési együttható mérésénél

A méréseknél $\lambda_{\text{víz}}=0,5873 \text{ W/mK}$ értékkel számolva a tömény szolárfolyadék hővezetési együtthatójára $0,2227 \text{ W/mK}$ – t kaptam ($50 \text{ }^\circ\text{C}$ –on).

A hígítási arány függvényében a hővezetési együttható jó közelítéssel ($R^2=0,9947$) lineáris függvénnyel közelíthető.

$$\lambda = -0,3766 \alpha + 0,5876$$

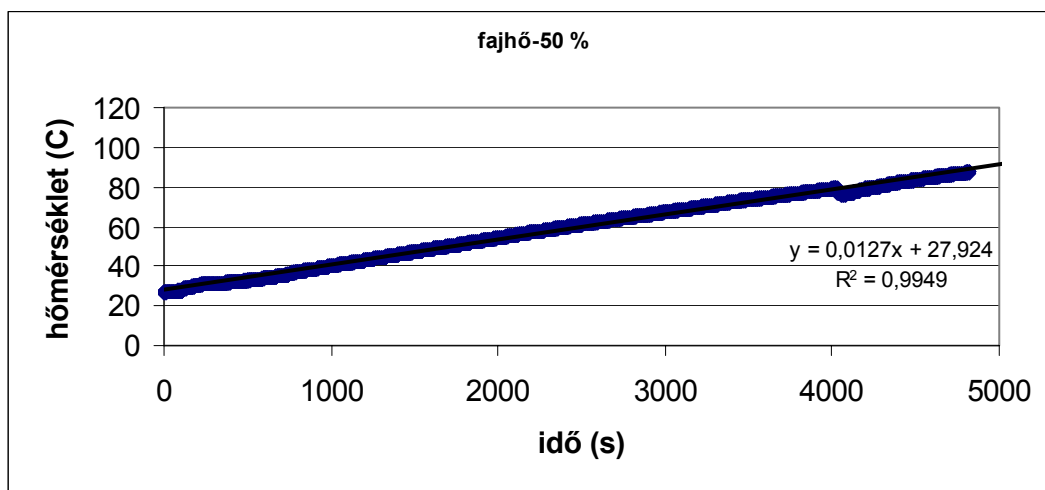
$[\lambda]=\text{W/mK}, \quad 0 < \alpha < 1$



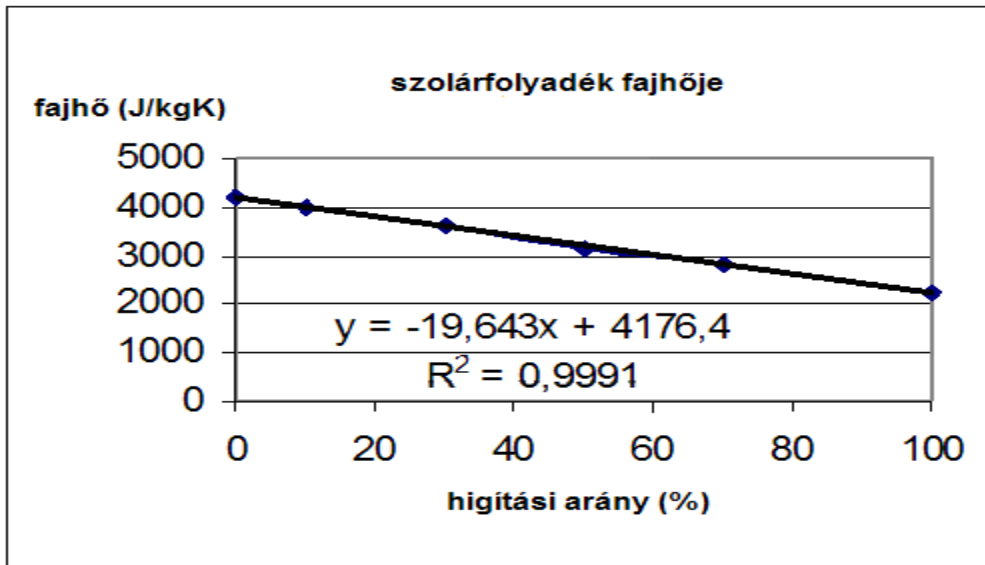
7. ábra Hővezetési együttható függése a hígítástól

3.4 A fajhőmérés eredményei

A hőmérsékletet másodpercenként mérve tipikus mérési eredmény a szolárfolyadék melegítésekor.



8. ábra A kaloriméter hőmérséklete az idő függvényében (50%-os szolárfolyadékánál).



9. ábra Szolárfolyadék fajhője a hígítás függvényében

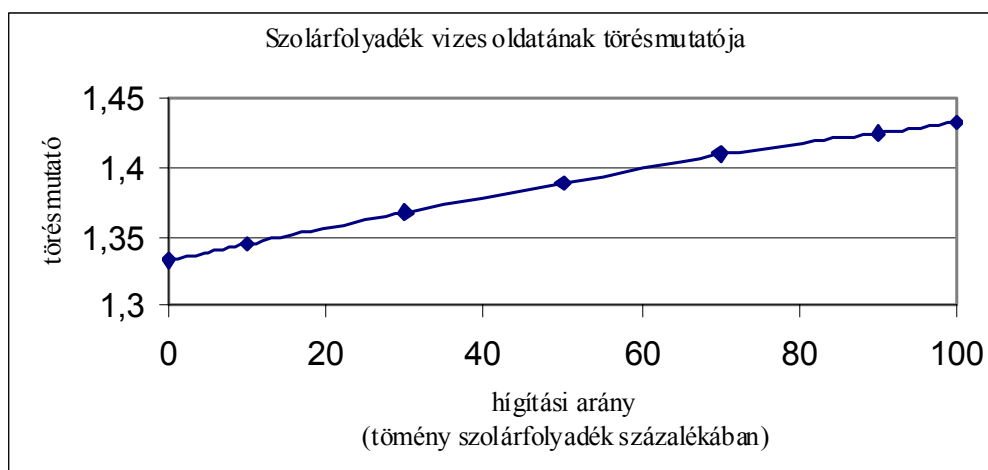
Különböző hígítású szolárfolyadékokra megmérve a fajhőt (referenciaanyagként vizet választva) a 9. ábrán látható értékeket kaptam, melyek segítségével összefüggést állítottam fel

$$c(\alpha) = -19,643\alpha + 4176,4$$

ahol α a hígítási arány ($0 < \alpha < 1$), c a szolárfolyadék fajhője [c]=J/kgK.

3.5 A törésmutató mérés eredményei

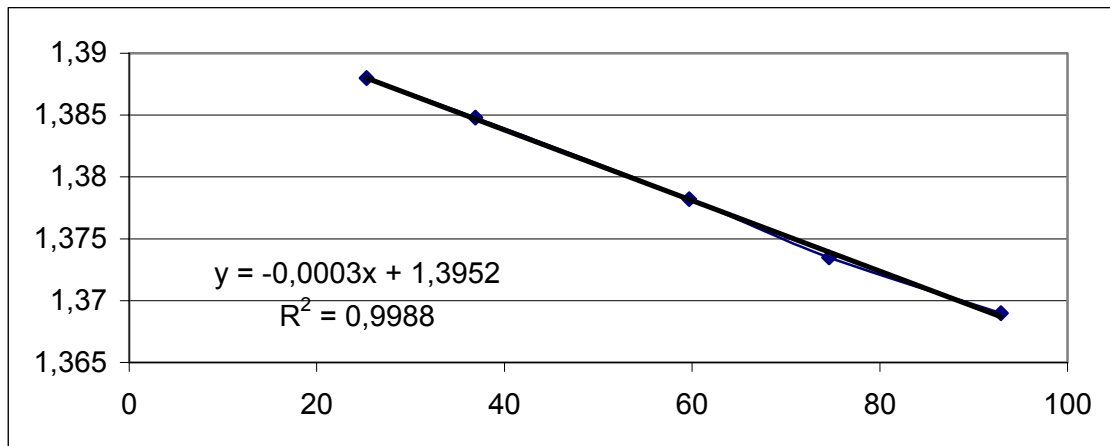
A 10. ábra a szolárfolyadék optikai törésmutatóját mutatja különböző hígítási arányokra 20 °C -on.



10. ábra Szolárfolyadék vizes oldatának törésmutatója a hígítási arány függvényében (20°C-on).

A 10. ábrán látható és a determinációs együtthatóból ($R^2 = 0,9947$) megállapítható hogy az optikai törésmutató első közelítésben lineárisan változik a hígítási aránnyal.

A 11. ábra az 50%-os hígítású szolárfolyadék törésmutatóját ábrázolja a hőmérséklet függvényében. A többi hígításnál is hasonló jellegű adatokat kaptam, amelyek lineárisan közelíthetők.



11. ábra Szolárfolyadék törésmutatójának hőmérsékletfüggése

A mérések alapján az új tudományos eredményeknél fejezetben közölt összefüggéseket állítottam fel.

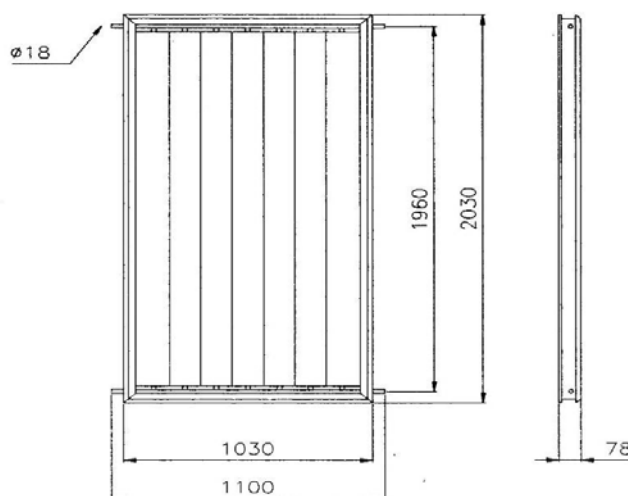
Mivel leggyakrabban szobahőmérsékleten mérünk, 20 °C-ra

$$n = 0,1033 \alpha + 1,3347$$

[n]=[α]=1. n: a szolárfolyadék törésmutatója, α: keverési arány (0<α<1)

3.6 A folyadékos napkollektor áramlási viszonyai

Lamináris-turbulens átmenet számítását a 12. ábrán látható síkkollektorra végeztem el.



12. ábra Az SKV folyadékos napkollektor

A napkollektorból az abszorbensen elnyelt hőt a 6 db 60 mm² keresztmetszeten áramló szolárfolyadék viszi el. A napkollektor a 20 m-re levő bojlerrel 18x1 mm-es rézcsővel van összekötve. A számítások során a csöveket hidraulikailag simának vettem. Külön számítottam a napkollektorhoz vezető cső hidraulikai ellenállását és a napkollektor hidraulikai ellenállását. Lamináris áramlás esetén (Reynolds szám <2320) a klasszikus:

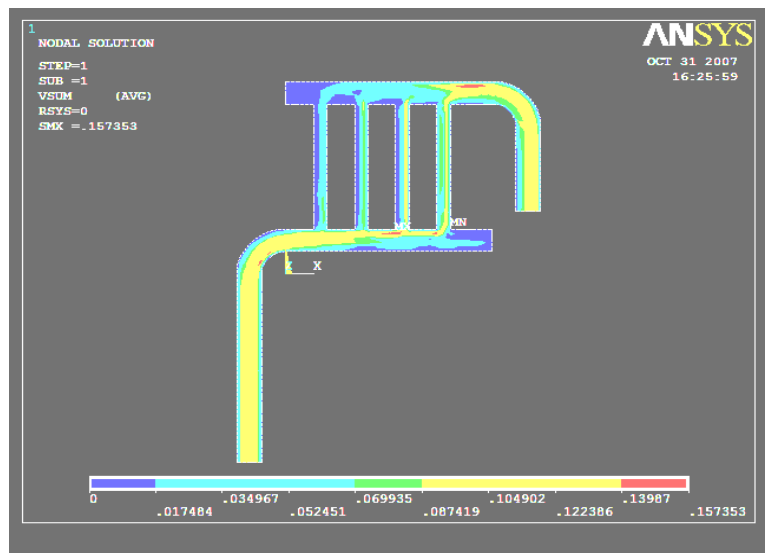
$$\Delta p = \frac{64}{Re} \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2 \text{ összefüggéssel,}$$

illetve turbulens esetben a

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2$$

formulával számoltam és a $\lambda = 0.3164 Re^{-0.25}$ Blasius féle csősúrlódási tényezőt használtam, ahol

- Δp - a nyomáskülönbség a cső két vége között
- l, d - a cső hossza illetve átmérője
- ρ -a folyadék sűrűsége
- η - a folyadék dinamikai viszkozitása
- v - a folyadék átlagsebessége
- $Re = \frac{vd\rho}{\eta}$ - a Reynolds szám



13. ábra A hőhordozó közeg ANSYS programmal számolt sebességeloszlása

Számoltam a kollektoron, illetve a hozzávezető csőnél a nyomáseséseket a térfogatáram (hozam) függvényében. Mindkét esetben használtam az általam mért viszkozitási eredményeket, és ezekkel vízre és 50 °C-os 50%-os propilénlikol-víz keverékre számoltam. A lamináris-turbulens átmenet a

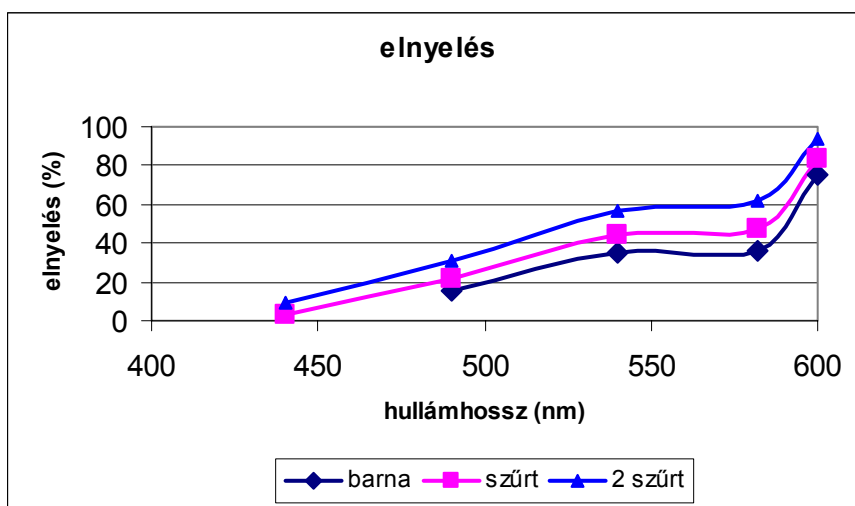
csöveknél a belépési pont utáni ún. tranziens szakasz (L_t) után értendő. Ennek értéke. (Re a Reynolds szám, d a csőátmérő.)

lamináris esetben: $L_t = C_1 \cdot Re \cdot d$, ahol $C_1 = 0,06$ 0,029
 turbulens esetben: $L_t = C_2 \cdot d$, ahol $C_2 = 50$ 100

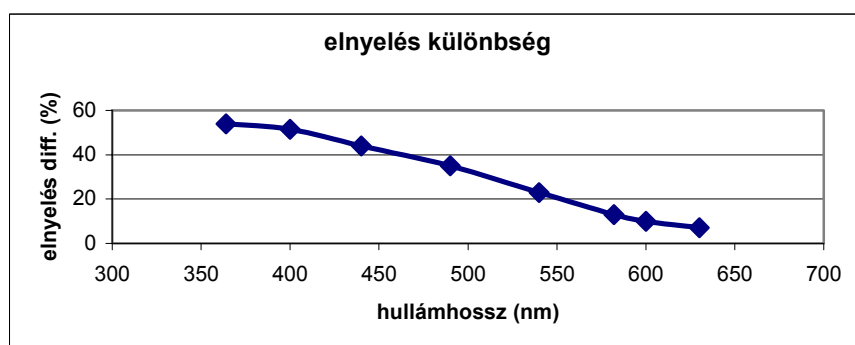
Az eredmények az új tudományos eredmények fejezetben a 16. ábrán láthatók. Számításokat végeztem ANSYS programmal is hasonló kollektortípusra, ennek egyik eredménye a 13. ábrán látható.

3.7 A napkollektorok üzemeltetésének hatása a szolárfolyadéokra.

Több éve működő kollektorokból származó minta megsárgult, megbarnult. Ennek vizsgálatára fotokolorimetriás méréseket végeztem. A szolárfolyadék optikai abszorpcióját mértem. A folyadékot 0,45 μm -es nuclepore szűrővel és utána másodszer mélységi szűrővel megsűrtem. Az így kapott folyadékok abszorpciói a 14. ábrán láthatók. Megállapítottam, hogy a barnulást egyrészt a korróziótermékek okozzák (első szűrés), de ezen kívül más hatás is létezik.



14. ábra Fényabszorpció a hullámhossz függvényében, használt szolárfolyadékokra kétszeres szűrés esetén



15. ábra Fényabszorpció különbsége tiszta és hevített, tömény szolárfolyadék között

Szolárfolyadékot nyomás alatt hevítettem és mértem a hősokk hatására bekövetkező optikai abszorpció különbséget. Az eredmény a 15. ábrán látható.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Mérések alapján összefüggést állítottam fel a szolárfolyadék sűrűségére a propilénlikol-víz keverési arány függvényében (20 °C-on):

$$\rho_{(\alpha)} = -66,892 \alpha^2 + 117,2 \alpha + 999,06 \quad ,$$

ahol $0 < \alpha < 1$ a propilénlikol-víz keverési aránya ($\alpha=1$ a tömény propilénlikol).

Meghatároztam a tömény szolárfolyadék sűrűségfüggését a hőmérséklettől:

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta t) = 1068,3 (1 - 8,73 \cdot 10^{-4} t),$$

ahol t a hőmérséklet °C-ban, és $[\rho] = \text{kg/m}^3$.

2. Rotációs viszkoziméterrel való mérésekkel igazoltam, hogy a propilénlikol alapú szolárfolyadék newtoni típusú folyadék. Viszkozimetrikus mérésekkel összefüggést állítottam fel a szolárfolyadék viszkozitására a hőmérséklet (T) függvényében különböző (propilénlikol – víz) keverési arányok (α) mellett:

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}}$$

$$\begin{aligned} E &= 12394\alpha^2 + 8427,1\alpha + 15370 \\ \eta_0 &= 2 \cdot 10^{-6}\alpha^2 - 3 \cdot 10^{-6}\alpha + 2 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

viszkozitás: $[\eta_0] = [\eta] = \text{Pas}$, viszkozitási aktiválási energia: $[E] = \text{J/mol}$, univerzális gázállandó: $R = 8,31 \text{ J/mol K}$, hígítás mértéke: $0 < \alpha < 1$, $[\alpha] = 1$

A gyakorlatban könnyebben használható polinomiális összefüggést is kidolgoztam:

$$\eta(\alpha, t) = A_\eta(\alpha) \cdot t^2 + B_\eta(\alpha) \cdot t + C_\eta(\alpha),$$

Az együtthatók értékei a leggyakrabban használt 50%-os szolárfolyadékra:

$$A_{\eta}(0,5)=1,525 \cdot 10^{-3} \text{ mPas/}^{\circ}\text{C}^2$$

$$B_{\eta}(0,5)=0,2122 \text{ mPas/}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{\eta}(0,5)=8,5718 \text{ mPas}$$

3. Kalorimetrikus mérésekkel összefüggést állítottam fel a szolárfolyadék fajhőjére különböző keverési arányok mellett.

$$c(\alpha) = -19,643\alpha + 4176,4$$

ahol α a hígítási arány ($0 < \alpha < 1$), c a szolárfolyadék fajhője [c]=J/kgK.

4. A szolárfolyadék hővezetési együtthatójának (λ) meghatározásához mérőeszközt készítettem. A mérőeszköz használhatóságát numerikus számításokkal igazoltam a hővezetési egyenlet alapján. Mérésekkel összefüggést állítottam fel a szolárfolyadék hővezetési együtthatójára a hígítás (α) függvényében:

$$\lambda = -0,3766\alpha + 0,5876$$

$$[\lambda] = \text{W/mK}, \quad 0 < \alpha < 1$$

5. Laboratóriumi Abbe refraktométeres mérésekkel a szolárfolyadék törésmutatójára (n) vonatkozó összefüggést dolgoztam ki a hőmérséklet (t) és a keverési arány (α) függvényében:

$$n = A_n(\alpha) t + B_n(\alpha)$$

ahol: $A_n(\alpha) = -0,0002\alpha^2 - 0,0004\alpha - 0,0002$ és

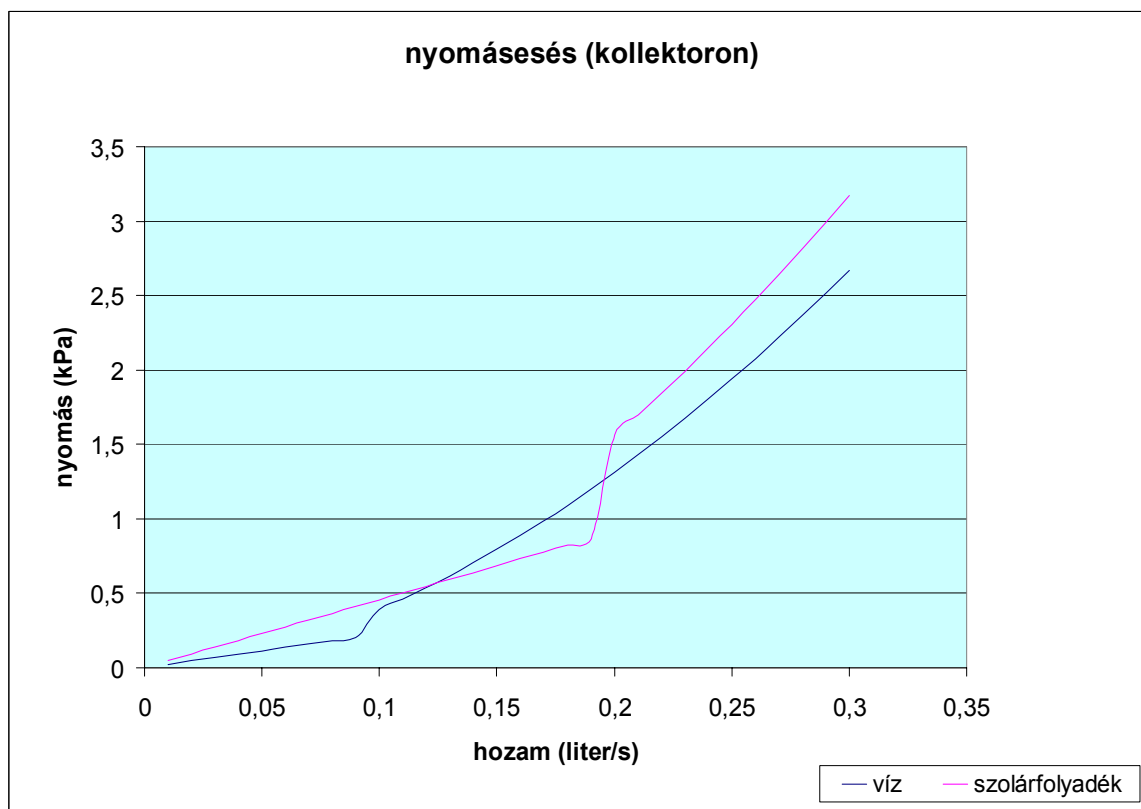
$$B_n(\alpha) = 0,1\alpha + 1,3397$$

Mivel leggyakrabban szobahőmérsékleten mérünk, 20 $^{\circ}\text{C}$ -ra lineáris összefüggést készítettem (relatív hiba $\delta=0,2\%$):

$$n = 0,1033\alpha + 1,3347$$

$[n]=[n]_D=1$.

6. Síkkollektorok esetén, az általam mért anyagi paraméterek segítségével számításokat végeztem 50%-os szolárfolyadékra, a lamináris-turbulens átmenetre vonatkozólag. Meghatároztam a jobb hőátadás, ezzel együtt a jobb hatásfok érdekében az optimális hozam értékét ($2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$).



16. ábra Lamináris- turbulens átmenet napkollektornál

7. Fotokolorimetrikus mérésekkel és mikroszűréssel igazoltam, hogy a használt szolárfolyadék elszíneződését egyrészt a korróziós termékek, másrészt a szolárfolyadék túlhevüléséből – hősokkjából - származó elszíneződés okozza. Meghatároztam, hogy a szolárfolyadék hevítésének hatására a 350-400 nm-es hullámhossz tartományban a legnagyobb az optikai elnyelés növekedése.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A megújuló energiaforrások felhasználásának úgy tűnik minden körülmény kedvez. A környezetvédelmi kérdések egyre fontosabbá válnak, a fosszilis energiahordozó árak egyre emelkednek.

A háztartások használati melegvíz ellátása jelentős tétel az energia számlában, ezért kívánatos volna a napkollektorok nagyobb számba való elterjesztése. Az árak csökkentése pl. a megújuló energiát használó berendezések ÁFÁ-jának eltörlésével vagy csökkentésével is segíthető volna. A nemzetközi trendek EU-s források bevonását is lehetővé tennék. Mindez persze a politikai döntéshozók feladata. A témával foglalkozók feladata a szakmai kérdések megoldása mellett a döntéshozók tájékoztatása és a fenti célokkal kapcsolatos lobbizás.

A későbbiekben részletesebb mérésekkel a hővezetési együttható és fajhő hőmérsékletfüggését is célszerű volna meghatározni.

A számítógépek teljesítményének fejlődése lehetőséget nyújt, hogy pl. ANSYS CFX segítségével a napkollektor részletesebb áramlási viszonyait megvizsgálhassuk.

Áramlási programok segítségével meg kellene vizsgálni, hogy a hővezetési együttható méréséhez használt berendezésnél milyen feltételek (rétegvastagság, geometriai adatok stb.) esetén indul meg a konvekció.

Nagyobb mennyiségű „használt” szolárfolyadék minta segítségével a benne levő korróziós részecskék alaposabb vizsgálatát is el kellene végezni.

A Fizika és Folyamatirányítási Tanszéken levő folyadékos napkollektor segítségével, megfelelő nyomás és áramlásmérő detektorok felhasználásával mérésekkel is igazolni kell a jövőben az áramlási viszonyoknak szerepét a napkollektor határfokárára.

A szolárfolyadék megfelelő fizikai paramétereinek birtokában a napkollektor tervezését is át kellene gondolni. Úgy tűnik a jelenlegi sík kollektorokat ad-hoc módszerrel tervezték. Meg kellene vizsgálni, hogy pl. az abszorber csövek milyen száma, elhelyezkedésük sűrűsége, hossza ad optimális megoldást.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A megújuló energiafelhasználás napjaink aktuális kérdése. A fosszilis energiahordozók egy része kifogyóban van, és az üvegházhatású széndioxid termelés miatt súlyos klimatikus gondokat okoznak.

Használati melegvíz előállítása a napenergia segítségével már napjainkban is rentábilis. A napkollektorok hatásfokának növeléséhez, tervezéséhez és az optimális üzemeltetési viszonyok megteremtéséhez szükséges a hőhordozó közeg fizikai paramétereinek ismerete, melyekre nézve az irodalom nagyon hiányos. A célkitűzésben meghatározott feladatokat sikerült megvalósítani:

- Megmértem a szolárfolyadék sűrűségét és összefüggést állítottam fel a hőmérséklet és a hígítási arány függvényében.
- A szolárfolyadék reológiai vizsgálatával megállapítottam, hogy a szolárfolyadék newtoni típusú és összefüggést állítottam fel a dinamikai viszkozitás hígítástól és hőmérséklettől való függésére.
- A viszkozitás ismeretében az áramlás minőségében szerepet játszó Reynolds szám meghatározható, ezzel kiszámolható milyen sebesség esetén megy át az áramlás laminárisból turbulensbe. Ezzel a már meglévő napkollektorok hatásfoka is növelhető. Egy konkrét napkollektor típusra kiszámoltam a lamináris-turbulens átmenetet.
- A propilénglikol-víz hígítási aránya legpontosabban optikai műszerrel mérhető. Refraktométerrel való mérésekkel összefüggést állapítottam meg a törésmutatóra a hígítási arány és a hőmérséklet függvényében.
- A szolárfolyadék hővezetési együtthatójának ismerete hőtechnikai szempontok miatt alapfontosságú. A folyadék hővezetési együtthatóját mérő készüléket, részint a kiértékelő elektronikával együtt, magam készítettem és matematikai modellel elemeztem. Meghatároztam a szolárfolyadék hővezetési együtthatóját a hígítás függvényében.
- Az előbbiekhöz hasonlóan hőtechnikailag a szolárfolyadék fajhője is meghatározó, ezért mérésekkel összefüggést állapítottam meg a fajhő hígítástól való függésére.
- Több éve működő napkollektorokban a folyadék megbarnul. Fotokolorimetrikus mérésekkel és mikro filtrációval megállapítottam, hogy az elszíneződésnek két oka is van. Egyrészt a korróziótermékek, másrészt a napkollektort ért túlhevülés – hősokk. A korróziótermékek áramlásban való mozgását matematikai-fizikai modellel írtam le. A hősokkot mesterségesen szimulálva előidéztem az elszíneződési effektus. Egyúttal objektív mérésekkel a folyadék színét is meghatároztam.

Remélem a dolgozat használható jobb hatásfokú folyadékos napkollektor tervezésénél és az áramlási viszonyok optimális beállításánál is segítséget nyújthat.

7. SZAKMAI PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

1. **Hegyi K.** (1985): A szűréselmélet és mezőgazdasági alkalmazása. (egyetemi doktori disszertáció, Gödöllő, 1985. 130 p.)
2. Vincze Gy., **Hegyi K.**, Vékony., Seres I. (1989): Hőmérsékletmérés termopárral hidegpont nélkül MTA-MÉM Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozása. A mezőgazdaság gépesítése. VI. szekció. Gödöllő, 1989. I. 17-18.
3. Vincze Gy., **Hegyi K.** (1993): Részecskelokolektívumok szedimentációs folyamatának vizsgálata ülepítőtartályban. MTA-MÉM Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozása. A mezőgazdaság gépesítése. VI. szekció. Gödöllő, 1993. I. 18-20.
4. Vincze Gy., **Hegyi K.**, Bencsik T., Dudás J. (1994): RHEOTEST 2. viszkoziméter alkalmazása nemnewtoni folyadékok vizsgálatára. MTA-MÉM Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozása. A mezőgazdaság gépesítése. VI. szekció. Gödöllő, 1994.
5. Farkas I., Buzás J., **Hegyi K.**, Kardon B., Seres I., (1995): Napenergia mezőgazdasági hasznosítása. Megújuló energiaforrások hasznosítási lehetőségei Magyarországon, Magyar-EU Energia Központ Tanulmány 6. fejezet, Budapest, 1995.
6. **Hegyi K.**, Farkas I. (1995): Hagyományos és megújuló energiaforrások összehasonlítása különböző mezőgazdasági technológiáknál. (előadás) MTA-MÉM Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozása. A mezőgazdaság gépesítése. VI. szekció. Gödöllő, 1995. I. 17-18. p.28.
7. **Hegyi K.** (1995): Tanyák energiaellátása megújuló energiaforrások felhasználásával. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozása. A mezőgazdaság gépesítése. VI. szekció. Gödöllő, 1995. I. 17-18.
8. **Hegyi K.**-Farkas I. (1995): Hagyományos és megújuló energiaforrások összehasonlítása különböző mezőgazdasági technológiáknál. MTA Agrár-Műszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 1995. jan. 17-18, 1. kötet, p. 421-424.
9. **Hegyi K.**-Farkas I. (1995): Megújuló és hagyományos energiaforrások mezőgazdasági felhasználása és oktatásának kérdései. INTACT '95, Környezetvédelmi Kongresszus és Kiállítás, I. kötet, 1. Budapest, 1995. márc. 21-24, p. 102-109.
10. Farkas I.-**Hegyi K.** (1995): Hagyományos és megújuló energiaforrások a mezőgazdaságban, Magyar Energetikai Társaság, Energia Fórum 95, Szeged, 1995. ápr. 24-26. (Megjelent a Magyar Energetika, 1995/6 sz., p. 23-26.)

11. Farkas I., **Hegyi K.**, Kardon B., Seres I. (1995): Development of a standalone PV power system for remote villages making use of pumped water energy storage, Contribution Report to the concept proposed for the Romanian sites, Department of Physics and Process Control, University of Agricultural Sciences, Gödöllő, Hungary, No. 2, June 1995.
12. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Kardon B., Seres I. (1995): Napenergia kommunális célú hasznosításának lehetőségei, Esettanulmány, Gödöllő Város Önkormányzata, No. 3, Gödöllő, 1995. okt.
13. **Hegyi K.** (1995): Renewable Energy for Remote Farms. Anniversary Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, 1995. IX. 27-30.
14. Farkas I., Buzás J., **Hegyi K.**, Kardon B., Seres I. (1995): Napenergia mezőgazdasági hasznosítása. Megújuló energiaforrások hasznosítási lehetőségei Magyarországon. Magyar-EU Energia Központ Tanulmány 6. fejezet, Budapest, 1995.
15. Farkas I., **Hegyi K.**, Kardon B., Seres I. (1995): Development of a standalone PV power system for remote villages making use of pumped water energy storage. Contribution Report to the concept proposed for the Romanian sites, Department of Physics and Process Control, University of Agricultural Sciences, Gödöllő, Hungary, No. 2, June 1995.
16. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1995): Application possibilities of a PV energy supply system combined with water storage in Hungary, International Conference on Rational Use of Renewable Energy Sources in Agriculture, in connection with the Environmental Control, 1995. June 2-8, Budapest, Hungary, p. 71.
17. Farkas I., Buzás J., **Hegyi K.**, Kardon B., Seres I. (1995): Napenergia mezőgazdasági hasznosítása. Megújuló energiaforrások hasznosítási lehetőségei Magyarországon, Magyar-EU Energia Központ Tanulmány 6. fejezet, Budapest, 1995.
18. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1996): Development of a standalone PV power system for remote villages making use of pumped water energy storage, Feasibility study on potential Hungarian sites, Department of Physics and Process Control, University of Agricultural Sciences, Gödöllő, Hungary, No. 4, January 1996.
19. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1996): PV operated energy and water supply system in a grape farm. EuroSun'96, Proceedings, Vol. 2, Freiburg, 1996. p. 655-659.

20. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1996): Development of a standalone PV power system for remote villages making use of pumped water energy storage, Feasibility study on potential Hungarian sites, Department of Physics and Process Control, University of Agricultural Sciences, Gödöllő, Hungary, No. 4, January 1996.
21. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Lágymányosi A., Seres I. (1996): Development of a standalone PV power system for remote villages making use of pumped water energy storage, Feasibility study on grape farm applications, Department of Physics and Process Control, University of Agricultural Sciences, Gödöllő, Hungary, No. 5, April 1996.
22. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1996): Application possibilities of a PV energy supply system combined with water storage in Hungary, International Conference on Rational Use of Renewable Energy Sources in Agriculture, in connection with the Environmental Control, 1996. June 2-8, Budapest, Hungary, p. 71.
23. **Hegyi K.** (1996): Small farms powered by renewable energy. Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, 1996. IX. 3-6.
24. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1996): PV operated energy and water supply system in a grape farm. EuroSun'96, Proceedings, Vol. 2, Freiburg, 1996. p. 655-659.
25. **Hegyi K.**, Fekete M., Farkas I., Buzás J. (1997): Application of the renewable energy sources to the rural tourism, 3rd Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 10-12, 1997. p. 8.
26. **Hegyi K.** (1997): Villamos hálózatok felújítása a megújuló energiaforrások felhasználásával. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozása. A mezőgazdaság gépesítése VI. szekció, Gödöllő, 1997. I. 21-22
27. **Hegyi K.**, Farkasné Fekete M., Farkas I., Buzás J. (1997): Megújuló energiaforrások és a fenntartható fejlődés a magyar mezőgazdaságban, Vállalati környezet és alkalmazkodás az élelmiszertermelésben c. konferencia, Gödöllő, 1997. okt. 9-10.
28. **Hegyi K.**, Fekete M., Farkas I., Buzás J. (1997): Application of the renewable energy sources to the rural tourism, 3rd Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 10-12, 1997. p. 8.
29. **Hegyi K.**, Farkasné Fekete M., Farkas I., Buzás J. (1998): Megújuló energiaforrások és a fenntartható fejlődés a magyar mezőgazdaságban. Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Tudományos Közlemények 2., 1998. p. 13-18.

30. Farkas I., Bencsik T., Buzás J., **Hegyi K.**, Seres I. (1998): Víz tározóval kiegészített fotovillamos energiatermelő rendszerek telepíthetősége, Magyar Energetika, VI. évf., 1998/1. sz., p. 25-29.
31. **Hegyi K.**, Farkasné Fekete M., Farkas I., Buzás J. (1998): Megújuló energiaforrások felhasználása a falusi turizmusban. VI. Nemzetközi Agrárökonómiai Tudományos Napok, Gyöngyös, 1998. márc. 24-25, 2. kötet, p. 67-72.
32. Farkas I., Biró A., Buzás J., **Hegyi K.**, Lágymányosi A., Seres I., Seres E.E., Szűcs M. (1998): Oktatási és demonstrációs célú napenergia hasznosító berendezések, Magyar Energetika, VI. évf., 1998/3. sz., p. 17-24.
33. **Hegyi K.**, Farkas I., Fekete M. (1998): Megújuló energiaforrások környezetvédelmi aspektusai, A ma és holnap fizikája Magyarországon, Fizikus Vándorgyűlés, Gödöllő, 1998. aug. 25-28, Kivonatok Gyűjteménye, p. 61-63.
34. Farkas I., Buzás J., **Hegyi K.**, Fekete M., Bartha S. (1998): Application of renewable energy sources to develop rural tourism, EuroSun'98, Book of Proceedings, Vol. 1, Portoroz, Slovenia, 1998, p. I.3.8.
35. Buzás J., Farkas I., Biró A., **Hegyi K.**, Lágymányosi A., Seres I., Seres E.E., Szűcs M. (1999): Napenergiahasznosító eszközök a mezőgazdaságban. MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 1999. jan. 19-20, 2. kötet, p. 155-159.
36. Farkas I., Buzás J., **Hegyi K.**, Fekete M., Predescu M., Bartha S. (1999): Use of PV-hydro-wind hybrid system in rural tourism, Proceedings of the Conference on Energy and Agriculture towards the Third Millennium, AgEnergy'99, Athens, Greece, June 2-5, 1999. Vol. II, p. 574-581.
37. **Hegyi K.**, Farkas I. (2000): Megújuló energiaforrások alkalmazása a vidékfejlesztésben, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXIV. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2000. jan. 18-19, 2. kötet, p. 160-163.
38. Lágymányosi A., Farkas I., Kalmár I., **Hegyi K.** (2000): Installation conditions of a PV-wind hybrid system. 6th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, October 9-10, 2000. p.9.
39. **Hegyi K.** (2001): Levegő munkaközegű napkollektorok mezőgazdasági alkalmazásai. MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2001. jan. 23-24
40. **Hegyi K.**, Farkas I. (2002): Szoláris folyadék viszkozitásának vizsgálata, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2002. jan. 15-16, 2. kötet, 211-215. o.
41. Judák E., Korzenszky P., **Hegyi K.** (2002): Vékonyrétegű halmazok hővezetési

- tényezőjének meghatározása. Ifjú Műszakiak Konferenciája, Kolozsvár, 2002. márc. 22-23.
42. **Hegyi K.** (2002): Folyadékos napkollektorok hőhordozó közegének fizikai vizsgálata. Tájvédelmi Napok, Mezőtúr. 2002.
43. **Hegyi K.** (2003): Szolárfolyadék anyagi paramétereinek vizsgálata fizikai módszerekkel, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. jan 21-22, 3. kötet, 156-160. o.
44. Farkas I., Buzás J., **Hegyi K.**, Bartha S., Teodoreanu, D.I. (2003): Modelling and simulation of a solar thermal system with Matlab/Simulink, Research Report, Department of Physics and Process Control, Szent István University Gödöllő, No 32, October 2003.
45. **Hegyi K.** (2003): Napenergia a mezőgazdaságban (szerk.: Farkas I) (könyvrészlet), Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2003. ISBN 963 9358 91 6.
46. Farkas I., **Hegyi K.**, Seres I., Buzás J., Géczy-Vígh P. (2003): Education and research at the Department of Physics and Process Control, Szent István University Gödöllő, Hungary, Proceedings of the International scientific Conference on Research and Teaching at Departments of Physics in the Context of University Education, Nitra, Slovakia, June 4, 2003, p. 5-11.
47. **Hegyi K.** (2004): Szolárfolyadék termodinamikai paramétereinek vizsgálata, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2004. jan. 20-21, 4. kötet, 359-362. o.
48. **Hegyi K.** (2005): Folyadékos napkollektorok hőhordozó közegének és áramlási jellemzőinek vizsgálata, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXIX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2005. jan. 18-19, 3. kötet, 99-102. o.
49. **Hegyi K.** (2006): A hőhordozó közeg anyagi paramétereinek hatása a folyadékos napkollektorok működésére, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2006. jan. 24, 3. kötet, 116-119. o.
50. **Hegyi K.** (2007): Folyadékos napkollektor modellezése a hőhordozó közeg paramétereinek alapján, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2007. jan. 23, 3. kötet, 95-98. o.
51. **Hegyi, K.**, Farkas, I., Bartha, S (2007): Measuring Approach of Thermodynamical Parameters of Solar fluid, Revista Electrotehnică, Electronică, Automatică, Vol. 55, Nr. 3-4-2007. Pag 27-29.