

**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**NAPENERGIÁS MELEGVÍZKÉSZÍTŐ ÉS TÁROLÓ  
RENDSZEREK BLOKKORIENTÁLT MODELLEZÉSE**

**Doktori értekezés tézisei**

**Buzás János**

**Gödöllő  
2009**

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki tudományok

vezetője: Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora  
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető: Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora  
SZIE, Gépészmérnöki Kar  
Környezetipari Rendszerek Intézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....	4
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK.....	5
1.1. A választott témakör jelentősége.....	5
1.2. Célkitűzések.....	6
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	7
2.1. A sík-kollektor fizikai alapú modellje.....	7
2.2. Napenergiás használati melegvíztároló modellje.....	8
2.2.1. Belső hőcserélővel ellátott melegvíztároló modellje.....	8
2.2.2. Belső hőcserélő nélküli melegvíztároló modellje.....	9
2.3. Melegvíztárolón kívüli, külső hőcserélő modellje.....	9
2.4. Az ellenőrző mérések napkollektoros rendszerei.....	10
3. EREDMÉNYEK.....	11
3.1. A kollektor átviteli függvényének meghatározása.....	11
3.2. A kollektor modell megoldása blokkorientált szimulációval.....	12
3.3. A kollektor modell teljes hőveszteség tényezőjének identifikációja.....	12
3.4. Tárolóba beépített hőcserélős napkollektoros rendszer szimulációja.....	13
3.5. Külső hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer szimulációja.....	14
3.6. Napkollektoros rendszerek szabályozó modelljei.....	16
3.7. Az uszodai napkollektoros rendszer monitorozása és szimulációja.....	17
4. ÚJ TUDOMÁNYOS ERDMÉNYEK.....	20
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	22
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	24
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK.....	25

## JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

- $A_c$  - kollektor abszorber felület ( $m^2$ )  
 $A_s$  - a tároló külső (hőátadó) határoló felülete ( $m^2$ )  
 $c_c$  - kollektoron áramló folyadék fajhője ( $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ )  
 $c_s$  - folyadék fajhő a tárolóban és a külső hőcserélő tároló oldalán ( $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ )  
 $C_c$  - kollektorban lévő folyadék hőkapacitása ( $J\ K^{-1}$ )  
 $F'$  - kollektor abszorber hőszállítási (hatásfok) tényező, (dimenzió nélküli)  
 $k_s$  - a tároló hőveszteség tényezője ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )  
 $I_c$  - kollektor felületre érkező napsugárzás ( $W\ m^{-2}$ )  
 $\dot{m}_c$  - kollektoron áramló folyadék tömegáram ( $kg\ s^{-1}$ )  
 $T_l$  - hőcserélő csőkígyóból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{abs}$  - kollektor abszorber hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{cav}$  - kollektoron áramló hőszállító közeg átlagos hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{ca}$  - kollektor környezeti levegő hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{ci}$  - kollektorba belépő folyadék hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{co}$  - kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_d$  - tárolóba belépő hálózati hidegvíz hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{ha}$  - a külső hőcserélő környezeti hőmérséklete ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{hci}$  - a tárolóból kilépő a külső hőcserélőbe belépő víz hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{hco}$  - a külső hőcserélőből kilépő a tárolóba visszatérő víz hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{hhi}$  - a kollektor felől a hőcserélő primer oldali belépő hőmérséklete ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{hho}$  - a hőcserélő primer kilépő, kollektorhoz visszatérő hőmérséklete ( $^{\circ}C$ )  
 $T_s$  - tárolóban lévő és abból elvett használati melegvíz hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{sa}$  - tároló környezeti hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{si}$  - hőcserélő csőkígyóba belépő hőszállítóközeg hőmérséklet ( $^{\circ}C$ )  
 $U_c$  - kollektor hőveszteségi tényező ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )  
 $U_L$  - kollektor teljes hőveszteségi tényező ( $W\ m^{-2}\ ^{\circ}C^{-1}$ )  
 $\dot{V}_c$  - a kollektor és a beépített hőcserélő csőkígyó térfogatárama ( $m^3\ s^{-1}$ )  
 $\dot{V}_l$  - tárolóból felhasznált használati melegvíz térfogatáram ( $m^3\ s^{-1}$ )  
 $\dot{V}_s$  - a tárolót a külső hőcserélővel összekötő kör térfogatárama ( $m^3\ s^{-1}$ )  
 $V_c$  - kollektor folyadék átvezető járatainak a térfogata ( $m^3$ )  
 $V_s$  - tároló térfogat ( $m^3$ )

### Görög szimbólumok

- $\eta_0$  - kollektor optikai hatásfok (dimenzió nélküli)  
 $\rho_c$  - a kollektoron áramló folyadék sűrűsége ( $kg\ m^{-3}$ )  
 $\rho_s$  - folyadék sűrűség a tárolóban és a külső hőcserélő tároló oldalán ( $kg\ m^{-3}$ )  
 $\tau_c$  - kollektorra jellemző időállandó (s)

## 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

### 1.1. A választott témakör jelentősége

Az energia áralakulás tendenciáját vizsgálva megállapítható, hogy az eddig bekövetkezett és a jövőben várható árnövekedés mindinkább előtérbe helyezi a takarékos energiafelhasználást, valamint ezzel párhuzamosan a fejlett országokhoz hasonlóan hazánkban is növekedni fog a decentralizált, a fogyasztók számára részleges autonómiát biztosító energiatermelő egységek alkalmazása. E mellett egyre inkább fontos szempont a hagyományos fosszilis energiahordozók elégetésekor keletkező a környezetre káros szennyezőanyag kibocsátást csökkentő, illetve környezetbarát energiatermelést biztosító technológiai megoldások elterjesztése is. Az említett szempontoknak megfelelő, egyik lehetséges megoldás a megújuló energiaforrások növekvő mértékű hasznosítása.

Ennek egyik formája a napenergia aktív termikus hasznosítása. A mai termikus napenergia hasznosítási technológiák jó hatásfokkal és megbízhatóan biztosítják a napsugárzásból termelt hőt az alkalmazások széles körében, így a használati melegvízkészítéshez, az épületfűtéshez, úszómedencék fűtéséhez, napenergiás hűtésre, távfűtésre, ipari hőtermeléshez és sótalanításhoz.

Az Európai Unió tagországaiban 2007 végén 15,4 GW<sub>th</sub> (22 millió m<sup>2</sup> kollektor felület) termikus napenergia hasznosító kapacitás volt üzemben.

Hazánk termikus napenergia hasznosítási adottságai kedvezőbbek, mint sok európai országé. Jelenleg Magyarországon a napenergia termikus hasznosítására beépített működő, és az évenként telepített kollektor felületre vonatkozóan az egyes források eltérő adatokat tartalmaznak. Egy publikáció 2005-ben a hazai összes telepített kollektor felületet 40 ezer m<sup>2</sup>-re becsülte, míg az Európai Szolár Termikus Ipari Szövetség által közétett statisztika a 2006 évben üzemben lévő kollektor felületet 6.250 m<sup>2</sup>-re becsülte, míg az egy évvel későbbi kimutatásban már 14.250 m<sup>2</sup> szerepel. Összehasonlításként Ausztriában, a 2007-ben üzemben lévő kollektor felület mintegy 2.892.627 m<sup>2</sup> volt.

A folyadék munkaközegű napkollektoros rendszerek jövőbeni nagyobb arányú hazai elterjedése főként a használati-, és technológiai melegvíz készítésben, uszodák, strandok vizének fűtésében, valamint kisebb mértékben épületfűtési célú alkalmazásoknál várható. Egy átlagos család évi összes melegvíz igényének kb. 55-60%-a is előállítható 3-4 m<sup>2</sup> hőelnyelő felülettel rendelkező napkollektorral és a hozzátartozó kb. 150 literes tárolóval. Ezzel fosszilis, vagy nukleáris energiahordozóból termelt energia váltható ki, továbbá az energiatermelést kísérő szennyezőanyag kibocsátás is csökkenthető.

## 1.2. Célkitűzések

A kutatási feladat célkitűzései a napenergiás használati melegvízkészítő és tároló rendszerek hőátviteli problémáinak modellezésére, szimulációjára és a rendelkezésre álló napenergia-hasznosító rendszereken - a modell eredmények ellenőrzése céljából - mérési és monitorozási feladatok végzésére irányultak.

A folyadék munkaközegű napkollektoros berendezések hőtermelő egysége a napkollektor. A szakirodalmat felhasználva cél olyan fizikai alapú modell kidolgozása, ami alkalmas a folyadék munkaközegű sík-kollektor hőegyensúlyának leírására, a napsugárzás, a környezeti hőmérséklet, a kollektorba belépő folyadék hőmérséklet és tömegáram figyelembevételével.

A napkollektorban előállított hőt a későbbi felhasználás céljából a tárolóba kell juttatni. Kétkörös rendszer esetén ezt a feladatot a kollektor kör és a tároló közötti hőszállítási feladatot ellátó hőcserélő végzi. A napenergiás használati melegvízkészítő és tároló rendszerekben, a hőcserélő vagy a tároló belsejében, vagy a tárolón kívül van telepítve. Ezért elengedhetetlen olyan fizikai alapú modell kidolgozása, ami leírja a kollektor felől a hőcserélőbe belépő folyadékkal szállított hőnek a tároló vízébe, vagy a tárolóból a hőcserélő szekunder oldalán átáramló folyadékkáramba jutását.

Napenergiás melegvízkészítő rendszerek esetén az energia rendelkezésre állása és a felhasználói energia igény nagyrészt időben elkülönül. Ezért a rendszerekbe beépített tároló feladata az összegyűjtött hő tárolása, illetve a felhasználási igényeknek megfelelő rendelkezésre bocsátása. Ennek megfelelően fontos olyan fizikai alapú modell kidolgozása, ami leírja a tárolóba belépő, és az abból távozó hő és folyadékkáramokat.

A napenergiás melegvízkészítő rendszerekben a hőhasznosítást szabályozó berendezés irányítja. A modellezéshez kapcsolódóan célszerű olyan, - az ellenőrző mérések elvégzéséhez rendelkezésre álló rendszerekben alkalmazott szabályozókkal azonos működésű - szabályozó modell kidolgozása, ami a kollektor kilépő hőmérséklet és a tároló hőmérséklet alapján a rendszer szimuláció során szabályozza a folyadékkáramot.

A napkollektoros rendszer egyes elemeinek, úgymint kollektor, hőcserélő, tároló és a szabályozó berendezés működését leíró modellek felhasználásával kialakítható a teljes rendszer integrált modellje. A végső feladat egy olyan szimulációs modell kidolgozása, ami a bemenő paraméterek, a napsugárzás, a környezeti hőmérséklet, a hálózati hidegvíz hőmérséklet és a használati melegvíz felhasználás alapján képes a tárolóban lévő használati melegvíz hőmérsékletének számítására, illetve a rendszer energia termelésének becslésére.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A napkollektoros használati melegvízkészítő rendszerek működésére tranziens, időben változó folyamatok a jellemzőek. A folyamatok leírásához olyan koncentrált paraméterű, a hőátviteli folyamatokat időben kellő pontossággal leíró közönséges differenciálegyenleteket alkalmaztam, amelyeket blokkorientált szimulációs szoftver, a MATLAB+Simulink segítségével oldottam meg. A szoftver a konkrét fizikai folyamatok modellezésén kívül alkalmas a rendszer irányítási, szabályozási funkcióinak modellezésére és vizsgálatára is.

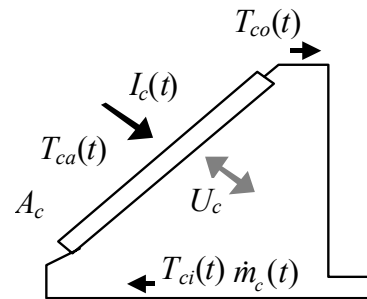
Európában a napkollektoros rendszereket döntő többségében üvegezett, folyadék munkaközegű, sík-kollektorokkal telepítik. Ez a hazai telepítések esetére is igaz. Ezért a dolgozatban ennek a kollektor típusnak a modellezésével foglalkoztam.

A modellezés során a fizikai alapú megközelítést alkalmaztam. A fizikai alapú matematikai modellek paraméterérzékenység vizsgálatra, szimulációra és irányítási célokra is használhatók, továbbá lehetővé teszik az irányítástechnikában alkalmazott rendszervizsgálati módszerek alkalmazását, az átviteli tulajdonságok megítélése céljából.

### 2.1. A sík-kollektor fizikai alapú modellje

Feltételezve az 1. ábra által vázolt sík-kollektort a modell a kollektorból távozó folyadék hőmérsékletét  $T_{co}(t)$  írja le a bemeneti változók és paraméterek függvényében.

A kollektor állandósult állapota esetén a kollektorba érkező hőmennyiség azonos a kollektorból távozó hőmennyiséggel. Tehát a kollektorban, áramlás közben felmelegedő hőszállító közeg által elszállított hő egyenlő a kollektor napsugárzásból származó hőnyereségének és a környezetbe távozó hőveszteségének a különbségével.



1. ábra A napkollektor vázlata

A kollektor állapotegyenlete a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet idő szerinti elsőrendű differenciálhányadosára rendezve:

$$\frac{dT_{co}(t)}{dt} = \frac{A_c \eta_0}{C_c} I_c(t) - \frac{U_L A_c}{C_c} (T_{cav}(t) - T_{ca}(t)) + \frac{\dot{v}_c(t)}{V_c} (T_{ci}(t) - T_{co}(t)), \quad (1)$$

ahol  $C_c = \rho_c c_c V_c$ ,  $\dot{m}_c(t) = \dot{v}_c(t) \rho_c$  és  $T_{cav}(t)$  az átlagos kollektor hőmérséklet:

$$T_{cav}(t) = \frac{T_{ci}(t) + T_{co}(t)}{2}. \quad (2)$$

## 2.2. Napenergiás használati melegvítároló modellje

A használati melegvítárolók modellezésére számos, a szakirodalomban felelhető, egymástól igen eltérő módszer alkalmazható. A koncentrált paraméterű modell termikusan teljesen kevert tárolóra vonatkozik. A tároló hőmérsékletének időbeli változását leíró matematikai modell egy közönséges differenciálegyenlet. Ebben az esetben a modell azon feltételezéssel érvényes, hogy a tároló belsejében térbeli hőmérséklet eloszlás nincsen, azaz homogénnek tekinthető a hőmérséklettér. A munka során ezt a modellezési módszert alkalmaztam.

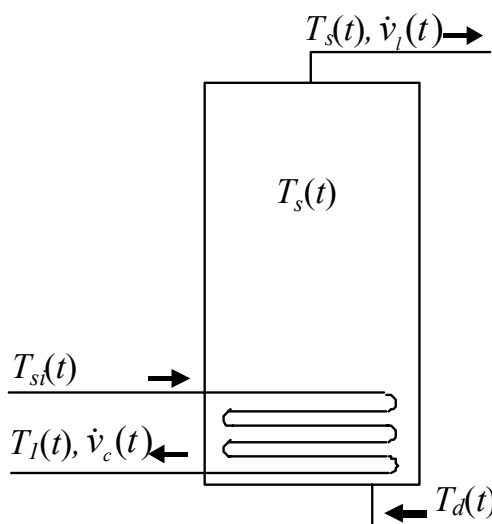
### 2.2.1. Belső hőcserélővel ellátott melegvítároló modellje

A gyakorlatban telepített, kisebb méretű napkollektoros rendszerekben, megközelítőleg 500 l-es tároló méretig, általában belső hőcserélő csőkígyóval szerelt tárolókat alkalmaznak.

Ebben az esetben a tároló úgy épül fel, hogy a kollektorból érkező hőszállítóközeg a tároló alsó részébe beépített hőcserélő csőkígyón (2. ábra) halad keresztül.

A tárolóban egyenletes hőmérséklet eloszlást, vagyis termikus szempontból teljesen kevert tartályt feltételezve, valamint,  $T_d(t)=T_d$  állandó. A modell a környezet és a tároló közötti hőveszteséget nem veszi figyelembe.

A beépített hőcserélő csőkígyóval kialakított tároló blokkorientált szimulációjához a tároló energia egyensúlyát leíró differenciálegyenletet a tárolóban lévő melegvíz hőmérséklet  $T_s(t)$ , mint kimeneti változó idő szerinti elsőrendű differenciálhányadosára rendezve:



2. ábra Beépített hőcserélő csőkígyóval kialakított tároló tartály vázlat

$$\frac{dT_s(t)}{dt} = \frac{\dot{v}_l(t)}{V_s}(T_d - T_s(t)) + \frac{\dot{v}_c(t)}{V_s}(T_{si}(t) - T_1(t)). \quad (3)$$

A hőcserélő csőkígyóból kilépő hőszállítóközeg hőmérsékletre vonatkozó összefüggés:

$$T_1(t) = (T_{si}(t) - T_s(t)) e^{-\frac{UA}{\dot{v}_c(t)\rho c}} + T_s(t), \quad (4)$$

ahol  $\rho$  a hőcserélő csőkígyóban áramló folyadék sűrűsége,  $c$  a hőcserélő csőkígyóban áramló folyadék fajhője,  $U$  a hőcserélő csőkígyó hőátadási tényezője a tárolóban,  $A$  a hőcserélő csőkígyó felülete.

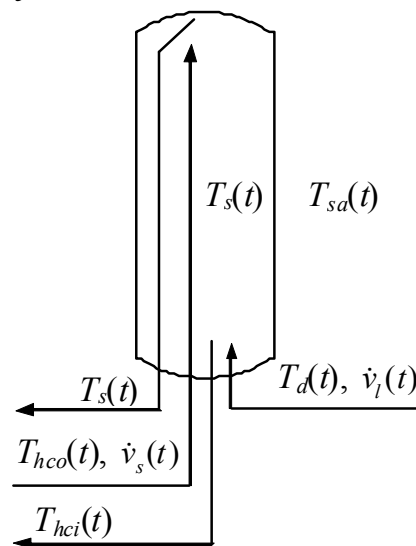
### 2.2.2. Belső hőcserélő nélküli melegvítároló modellje

Nagyobb méretű napkollektoros rendszerek kialakításánál gyakran külső hőcserélőt alkalmaznak, így a tároló tartály nem tartalmaz beépített hőcserélőt. A tároló vázlatát a 3. ábra mutatja.

A kidolgozott tároló modell nem veszi figyelembe a tároló tartály anyagára és tömegére jellemző hőkapacitást.

A tároló energia egyensúlyi egyenletének felírása során homogén hőmérsékletű tárolót feltételezve és a tárolóban lévő használati melegvíz és a külső hőcserélő felé a tárolóból kilépő víz hőmérsékletét azonosnak feltételezve  $T_{hci}(t)=T_s(t)$  a tároló állapotegyenlete:

$$\frac{dT_s(t)}{dt} = \frac{\dot{v}_l(t)}{V_s} (T_d(t) - T_s(t)) + \frac{\dot{v}_s(t)}{V_s} (T_{hco}(t) - T_s(t)) - \frac{A_s k_s}{\rho_s c_s V_s} (T_s(t) - T_{sa}(t)). \quad (5)$$

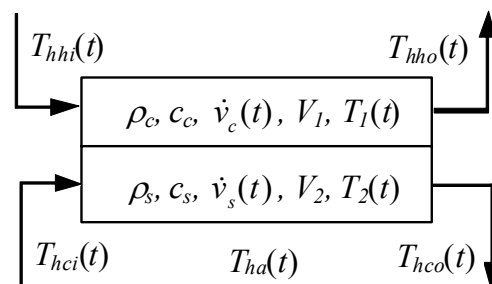


3. ábra A hőcserélő nélküli tároló vázlat

### 2.3. Melegvítárolón kívüli, külső hőcserélő modellje

Nagyobb méretű napkollektoros rendszerek esetén gyakran alkalmazott konstrukció a külső hőcserélős kivitel. Az ellenőrző mérések végzésére rendelkezésre álló napkollektoros rendszerek között is voltak ilyenek. Ezért kidolgoztam a melegvítárolón kívüli, ún. külső hőcserélő modelljét. A hőcserélő vázlatát a 4. ábra mutatja. A hőcserélő kollektor köri, vagy primer oldali változói és paraméterei: a hőcserélő primer oldalában lévő folyadék hőmérséklete  $T_1(t)$ , a hőcserélő primer oldalának térfogata  $V_1$ , és a hőcserélő primer oldalához csatlakozó kollektor köri térfogatáram  $\dot{v}_c(t)$ .

A hőcserélő tároló köri, vagy szekunder oldali változói és paraméterei: a hőcserélő szekunder oldalában lévő folyadék hőmérséklete  $T_2(t)$ , a hőcserélő szekunder oldalának térfogata  $V_2$ , végül a hőcserélő szekunder oldalához csatlakozó tároló köri térfogatáram  $\dot{v}_s(t)$ .



4. ábra A tárolón kívül elhelyezett külső hőcserélő vázlat

A hőcserélő mindkét oldalán homogén hőmérséklet eloszlást feltételezve (termikusan teljesen kevert folyadékot feltételezve) és a következők bevezetése mellett  $T_1(t)=T_{hho}(t)$ ,  $T_2(t)=T_{hco}(t)$ ,  $V_1=V_2=V$ . A hőcserélő primer oldali energiamérlegét leíró egyenlet:

$$\frac{dT_{hho}(t)}{dt} = \frac{\rho_c c_c \dot{v}_c(t)}{C_{h1} + \rho_c c_c V} (T_{hhi}(t) - T_{hho}(t)) - \frac{A k}{C_{h1} + \rho_c c_c V} (T_{hho}(t) - T_{hco}(t)) - \frac{A_a k_a / 2}{C_{h1} + \rho_c c_c V} (T_{hav}(t) - T_{ha}(t)). \quad (6)$$

A hőcserélő szekunder oldali energia mérlegét leíró egyenlet:

$$\frac{dT_{hco}(t)}{dt} = \frac{\rho_s c_s \dot{v}_s(t)}{C_{h2} + \rho_s c_s V} (T_{hci}(t) - T_{hco}(t)) + \frac{A k}{C_{h2} + \rho_s c_s V} (T_{hho}(t) - T_{hco}(t)) - \frac{A_a k_a / 2}{C_{h2} + \rho_s c_s V} (T_{hav}(t) - T_{ha}(t)). \quad (7)$$

Az átlagos hőcserélő hőmérsékletre vonatkozó összefüggés:

$$T_{hav}(t) = \frac{T_{hho}(t) + T_{hco}(t)}{2}. \quad (8)$$

A hőcserélő modell további paraméterei a primer és a szekunder oldal közötti hőátadó felület nagysága  $A$ , a két oldal közötti hőátadási tényező  $k$ , a hőcserélő külső (határoló) felülete  $A_a$ , a hőcserélő és a környezeti levegő közötti hőátadási tényező  $k_a$ . A hőcserélő szerkezeti kialakításából adódó primer és szekunder oldali hőkapacitások  $C_{h1}=C_{h2}=(c_h m_h)/2$ , ahol  $c_h$  a hőcserélő anyagának fajlagos hőkapacitása,  $m_h$  pedig a hőcserélő üres tömege.

#### 2.4. Az ellenőrző mérések napkollektoros rendszerei

A kutató munka során a modellezési és szimulációs feladatokhoz kapcsolódó kísérleteket, méréseket alapvetően két napkollektoros rendszeren végeztem.

A Szent István Egyetem (SZIE), Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén kialakított 1,65 m<sup>2</sup>, sík-kollektort és egy 150 l-es hagyományos villamos fűtésű bojlerből átalakított hőtárolót tartalmazó napkollektoros rendszer áll rendelkezésre. A hőtároló tartályhoz a kollektor kör - átszerelést követően - vagy belső hőcserélő csőkígyóval, vagy külső forrasztott lemezes hőcserélővel kapcsolódhat. A rendszer környezeti, meteorológiai és üzemi jellemzőinek mérése, valamint a szivattyúk és útváltó szelepek működtetése számítógép vezérelte mikrokontroller alapú moduláris adatgyűjtő rendszerrel történt.

A SZIE gödöllői campusán megépült napkollektoros rendszer kollektor köre 33,3 m<sup>2</sup> felületű, 23,31 kW<sub>th</sub> termikus teljesítményű kollektormezőt tartalmaz. A rendszernek két lemezes hőcserélője van 40-40 kW névleges teljesítménnyel. Az egyik az úszómedence fűtéshez 1 m<sup>2</sup> hőátadó felülettel, a másik pedig az óvodai használati melegvíz előfűtéséhez 2 m<sup>2</sup> hőátadó felülettel. A medence kör a medencei hőcserélő és a 700 m<sup>3</sup>-es úszómedence között, míg az óvodai kör az óvodai hőcserélő és a 2000 l-es szolár tároló között működik. A berendezéshez egy adatgyűjtő, monitorozó rendszer is ki épült.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. A kollektor átviteli függvényének meghatározása

A Laplace transzformáció módszerének alkalmazásával meghatároztam a kollektor átviteli függvényét. A kollektor leíró egyenletét (1) az átáramló folyadék térfogatáram  $\dot{v}_c(t)$  = állandó feltétel mellett lineárisnak tekintettem.

A kollektor időállandóját az alábbiak szerint definiáltam:

$$\tau_c = \frac{1}{\frac{U_L A_c}{2C_c} + \frac{\dot{v}_c}{V_c}} \quad (9)$$

A vizsgált bemenő változókra vonatkozó átviteli függvények meghatározhatók. A kollektort leíró egyenlet a korábban bevezetett feltétel miatt lineárisnak tekinthető, ezért érvényes rá a szuperpozíció elve. Mely szerint a rendszer bemenetére kapcsolt jelek hatására a kimeneten jelentkező válaszjel az egyes bemenő jelek hatására adott részválaszok összegeként számítható. A kiválasztott bemenő jel átviteli függvényének meghatározásakor a többi bemenő jel zérus, továbbá a kollektor kilépő hőmérséklet kezdeti értéke is zérus  $T_{co}(0)=0$ .

Az időtartománybeli változók Laplace transzformáltjait operátor-tartományban felülvonás jelöli. Az átviteli függvényt  $W(s)$ -el jelölve a kollektor napsugárzásra vonatkozó átviteli függvénye:

$$W_1(s) = \frac{\bar{T}_{co}(s)}{\bar{I}_c(s)} = \frac{(\tau_c A_c \eta_0) / C_c}{\tau_c s + 1}. \quad (10)$$

A kollektorba belépő hőszállítóközeg hőmérsékletre vonatkozó átviteli függvény:

$$W_2(s) = \frac{\bar{T}_{co}(s)}{\bar{T}_{ci}(s)} = \frac{\tau_c}{\tau_c s + 1} \left( \frac{\dot{v}_c}{V_c} - \frac{U_L A_c}{2C_c} \right). \quad (11)$$

A kollektor környezeti hőmérsékletre vonatkozó átviteli függvénye:

$$W_3(s) = \frac{\bar{T}_{co}(s)}{\bar{T}_{ca}(s)} = \frac{(\tau_c U_L A_c) / C_c}{\tau_c s + 1}. \quad (12)$$

Végül vizsgálható a kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet kezdeti értékének  $T_{co}(0)$  hatása is. A kezdeti érték, kilépő közeghőmérsékletre gyakorolt hatása az alábbi függvénnyel adható meg:

$$W_0(s) = \frac{\tau_c}{\tau_c s + 1}. \quad (13)$$

A napkollektor kilépő hőszállítóközeg hőmérsékletre vonatkozó eredő átviteli függvényét a szuperpozíció elve szerint a (10-13) egyenletek által definiált

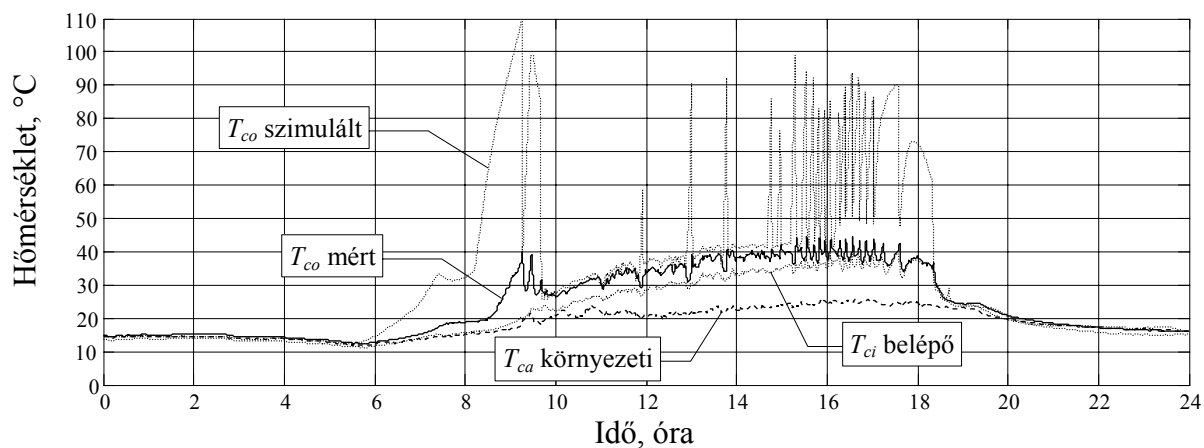
átviteli függvények együttesen adják. Az egyes bemenő jelek a rájuk vonatkozó átviteli függvényeken keresztül fejtik ki a kimenetre gyakorolt hatásukat.

A kilépő hőszállítóközeg hőmérsékletére vonatkozó összefüggés az átviteli függvényekkel a kollektor kilépő hőmérséklet kezdeti értéke  $T_{co}(0) \neq 0$  esetén:

$$\bar{T}_{co}(s) = W_0(s)T_{co}(0) + W_1(s)\bar{I}_c(s) + W_2(s)\bar{T}_{ci}(s) + W_3(s)\bar{T}_{ca}(s) \quad (14)$$

### 3.2. A kollektor modell megoldása blokkorientált szimulációval

A napkollektorból kilépő hőszállító közeg hőmérsékletének számításához a MATLAB program, blokkorientált megoldási technikát támogató Simulink szoftver csomagját alkalmaztam. A blokkrendszert az (1) és a (2) egyenletek felhasználásával konstruáltam meg. A szimuláció eredményét az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra A vizsgált kollektor hőmérséklet eloszlásának alakulása

A kollektor mért és a modellel számított kilépő hőmérsékletének átlagos eltérése  $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$ , az eltérés minimuma  $-3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , a maximuma  $72,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , míg a szórás  $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$  volt. A hibát több tényező befolyásolja, például a modellben a hőkapacitás ( $C_c$ ) csak a kollektorban lévő folyadék hőkapacitását tartalmazza, tehát az abszorberlemezek, a folyadékátvezető járatokat alkotó csövek és a kollektor további szerkezeteinek a hőkapacitása nincs figyelembe véve. A modellezés során alkalmazott optikai hatásfok ( $\eta_0$ ) és a kollektor hőveszteség tényezője ( $U_L$ ) is a szakirodalomból vett érték, ami a gyakorlati tapasztalatok alapján közelítőleg jellemző lehet az ilyen típusú kollektor csoportra, de természetesen nem lehet azonos a vizsgált kollektorra vonatkozó értékekkel.

### 3.3. A kollektor modell teljes hőveszteség tényezőjének identifikációja

A mért és a számított kollektor kilépő hőmérséklet értékek közötti eltérés paraméter identifikációval csökkenthető. Ebben az esetben a mért kollektor kilépő hőmérsékletet felhasználva a modell előzetesen becsült paramétereinek értéke pontosítható. Ilyen paraméter például a kollektor hőveszteség tényezője ( $U_L$ ). Az identifikációhoz többféle célfüggvény konstruálható. Az egyik

leggyakrabban alkalmazott függvény a valós rendszeren mért és a modellel számított jellemző eltérésének négyzetösszegét számítja. Az identifikációhoz ezt a megoldást választva a célfüggvény a (15) egyenlettel adható meg. Így módon az identifikáció a célfüggvény minimalizálásával végezhető el.

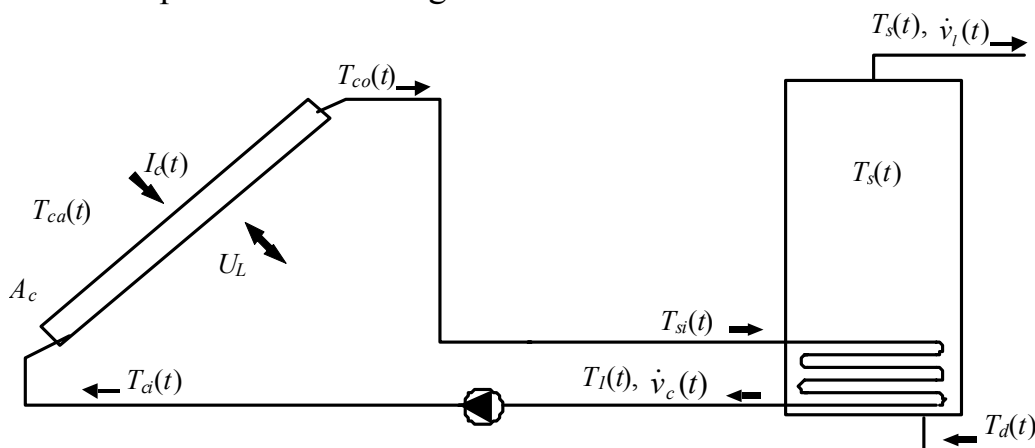
$$J(U_L) = \sum_{i=1}^n (T_{co}(t_i) - \hat{T}_{co}(t_i))^2 \Rightarrow \min. \quad (15)$$

A (15) egyenletben  $J$  a mért és a számított kollektor kilépő hőmérséklet értékek közötti eltérés négyzetösszegét jelenti a vizsgált tartományon,  $T_{co}(t_i)$  az  $i$ -edik időpontban mért értéket,  $\hat{T}_{co}(t_i)$  az  $i$ -edik mérési időponthoz tartozó számított értéket,  $n$  pedig a mérési adatok számát jelöli.

Az identifikáció eredményeként a kollektor hőveszteségi tényezője  $U_L=35,0 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  értékre adódott. Az ezzel az értékkel végzett szimuláció eredményeként a kollektor mért és számított kilépő hőmérséklet átlagos eltérése  $-0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , a minimum  $-15,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , a maximális eltérés  $14,6 \text{ }^\circ\text{C}$  volt, míg a szórás  $3,4 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra változott.

### 3.4. Tárolóba beépített hőcserélős napkollektoros rendszer szimulációja

A gyakorlatban alkalmazott napkollektoros rendszer változatok közül a beépített hőcserélővel rendelkező tárolókkal kialakított konstrukció az egyik legelterjedtebb. A kidolgozott és bemutatott kollektor és hőcserélő csőkiágazással ellátott melegvítartoló modell felhasználásával összeállítható a 6. ábra által szemléltetett napkollektoros melegvízkészítő rendszer blokkorientált modellje.



6. ábra Napkollektoros melegvízkészítő rendszer vázlatja tárolóba beépített hőcserélővel

A napkollektort és a tárolóba beépített hőcserélőt tartalmazó rendszer szimulációját a korábban bemutatott részmodellek segítségével, blokkorientált szimulációval végeztem. A szimulációhoz mérésrel meghatározott bemenő változók a kollektor kör térfogatárama  $\dot{v}_c(t)$ , a kollektor felületére érkező napsugárzás intenzitása  $I_c(t)$ , a környezeti hőmérséklet  $T_{ca}(t)$  a tárolóba belépő hálózati hidegvíz hőmérséklet  $T_d(t)$  és a tárolóból felhasznált víz térfogatárama

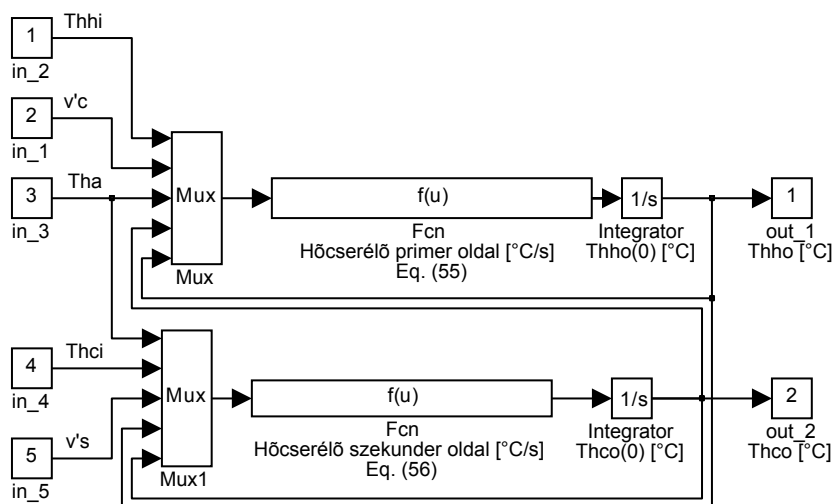
$\dot{v}_l(t)$  voltak. A szimuláció során a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet  $T_{co}(t)$  és a tároló hőmérséklet  $T_s(t)$  időbeli alakulása számítható.

### 3.5. Külső hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer szimulációja

Az előző fejezetben ismertetett beépített hőcserélővel rendelkező tárolóval kialakított napkollektoros rendszerváltozat mellett, a gyakorlatban a másik leggyakrabban alkalmazott konstrukció a külső hőcserélővel kialakított rendszer. Ezt a változatot főként nagyobb kollektor felülettel, nagyméretű- vagy több tárolóval kialakított rendszerhez alkalmazzák.

A kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet számításához az (1) és (2) egyenleteket használtam. A kollektor modell, méréssel meghatározott bemenő változói voltak a kollektor felületre érkező napsugárzás intenzitás  $I_c(t)$ , a kollektor környezeti hőmérséklete  $T_{ca}(t)$ , és a kollektoron áthaladó folyadék térfogatárama  $\dot{v}_c(t)$ . A modell kimenő változója a kollektor kilépő hőmérséklet  $T_{co}(t)$  volt.

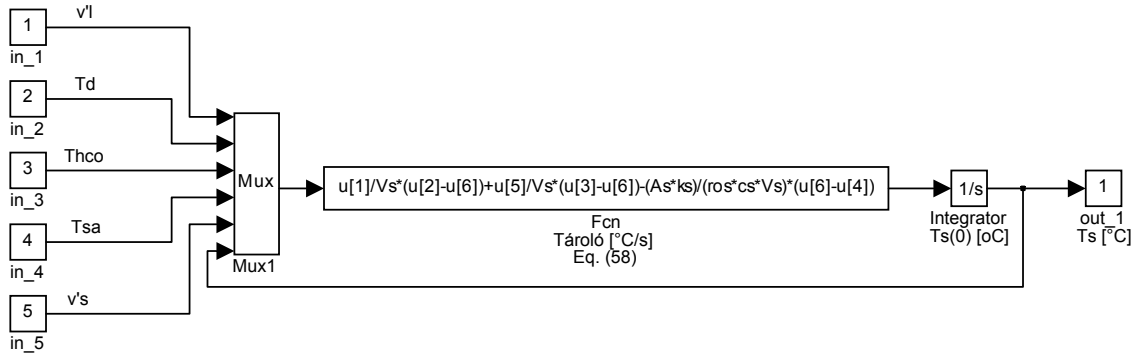
A hőcserélő primer és szekunder oldalára felírt (6) és (7) egyenletek blokkorientált megoldását a 7. ábra mutatja. A modell a hőcserélő primer és szekunder oldali kilépő hőmérsékleteit számítja ( $T_{hho}(t)$ ,  $T_{hco}(t)$ ).



7. ábra Blokkorientált hőcserélő modell

Mivel a tároló és a hozzá kapcsolt hőcserélő egymáshoz közel, ugyanazon helyiségben volt elhelyezve, így a modellezés során a hőcserélő  $T_{ha}(t)$  és a tároló környezeti hőmérséklete  $T_{sa}(t)$  megegyezik.

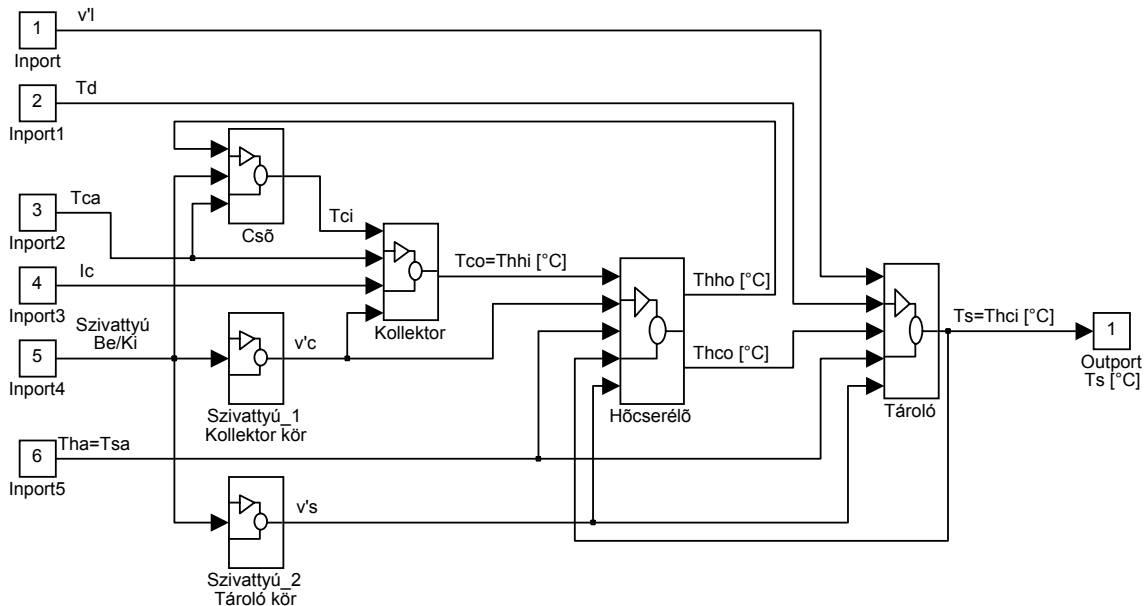
A tároló energiamérleg egyenletének (5) blokkorientált megoldását a 8. ábra mutatja. A tároló modell a tárolóban lévő víz hőmérsékletét  $T_s(t)$  számítja.



8. ábra Blokkorientált tároló modell az (5) egyenlet alapján

Az elkészített alrendszer modellek egyesítésével létrehoztam a külső hőcserélővel kialakított teljes napkollektoros rendszer modelljét.

A blokkorientált szimulációs technika felhasználásával az alrendszerekből összeépített komplett rendszer szimulációs modelljét a 9. ábra mutatja.



9. ábra A külső hőcserélős napkollektoros rendszer blokkorientált modellje

A szimuláció során a keringtető szivattyúk működésének modellezéséhez a mérő rendszer által monitorozott, a szivattyúk ki- és bekapcsolt állapota került felhasználásra mind a kollektor, mind pedig a tároló körben. A mérések során a kollektor és a tároló körben a keringtető szivattyúk kapcsolása a kollektor kilépő csomóján  $T_{co}(t)$ , és a tárolóban  $T_s(t)$  mért hőmérséklet különbség alapján történt. A ki-, és a bekapcsolási hőmérsékletkülönbség egyaránt  $3\text{ °C}$  volt.

A kollektor köri térfogatáram szabályozás az alábbiak szerint működött:

$$\dot{v}_c(t) = \begin{cases} 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}, & \text{amikor } T_{co}(t) \geq T_s(t) + 3 \\ 0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}, & \text{amikor } T_{co}(t) \leq T_s(t) + 3 \end{cases}$$

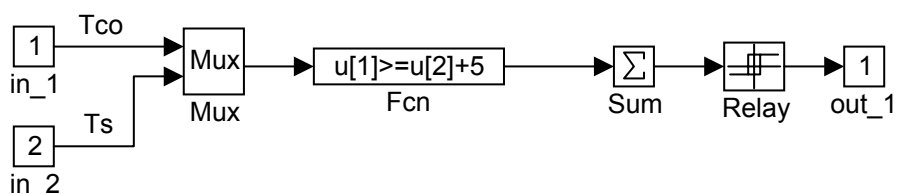
A tároló köri térfogatáram szabályozás működése:

$$\dot{v}_s(t) = \begin{cases} 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}, & \text{amikor } T_{co}(t) \geq T_s(t) + 3 \\ 0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}, & \text{amikor } T_{co}(t) \leq T_s(t) + 3 \end{cases}$$

### 3.6. Napkollektoros rendszerek szabályozó modelljei

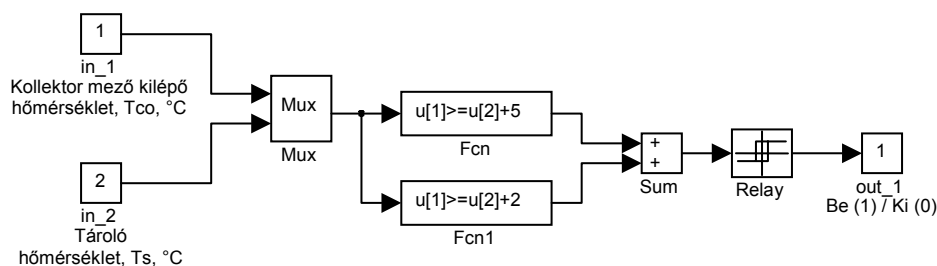
Ebben a fejezetben a napkollektoros rendszerek kollektor körüli keringtető szivattyút működtető, három különböző típusú, a gyakorlatban megvalósított napkollektoros rendszereknél alkalmazott szabályozó berendezés blokkorientált modelljének kidolgozását mutatom be.

Kidolgoztam az azonos be- és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő állásos szabályozó modelljét, amelyet a 10. ábra mutat.



10. ábra Azonos be- és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő állásos szabályozó Simulink modellje

Az úszómedence vízfűtő és használati melegvízkészítő napkollektoros rendszer szabályozó berendezésének működését alapul véve, a rendszer szimulációhoz kidolgoztam az előzőleg bemutatott állásos szabályozó modelljének továbbfejlesztett változatát, ami különböző be-, és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő szabályozás megvalósítására alkalmas. A szabályozó blokkorientált modelljét az 11. ábra mutatja.



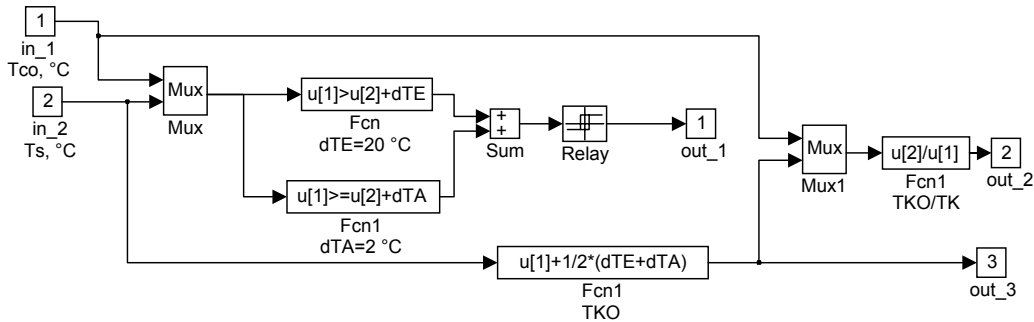
11. ábra Eltérő be-, és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő állásos szabályozó modelljének realizálása SIMULINK-ben

A harmadik kidolgozott szabályozási modell típus a szivattyú ki- és bekapcsolásán kívül alkalmas a kollektor körüli szivattyú térfogatáramának működés közbeni változtatására is. Ez a szabályozás annyiban hasonlít az előzőleg ismertetett típushoz, hogy a szivattyú akkor kapcsol be, ha a kollektor kilépő csőjén a hőszállítóközeg hőmérséklete  $T_{co}(t)$  a beállított értékkel (dTE) – jelen esetben  $20\text{ °C}$  – meghaladja a tárolóban lévő folyadék hőmérsékletét  $T_s(t)$ . Üzem közben, ha a csökkenő hőmérséklet-különbség eléri

az alsó beállított értékhatárt (dTA) – jelen esetben 2 °C –, akkor a szivattyú kikapcsol. Az előző szabályozási megoldásokhoz képest az eltérés abban van, hogy a kollektor körüli szivattyú folyadékszállítása a működés alatt folyamatosan változtatható. Ezzel megvalósítható a kollektor kilépő hőmérsékletének optimális értéken tartása. Ezt az optimális kollektor hőmérsékletet a szabályozó az alábbi összefüggéssel számolja:

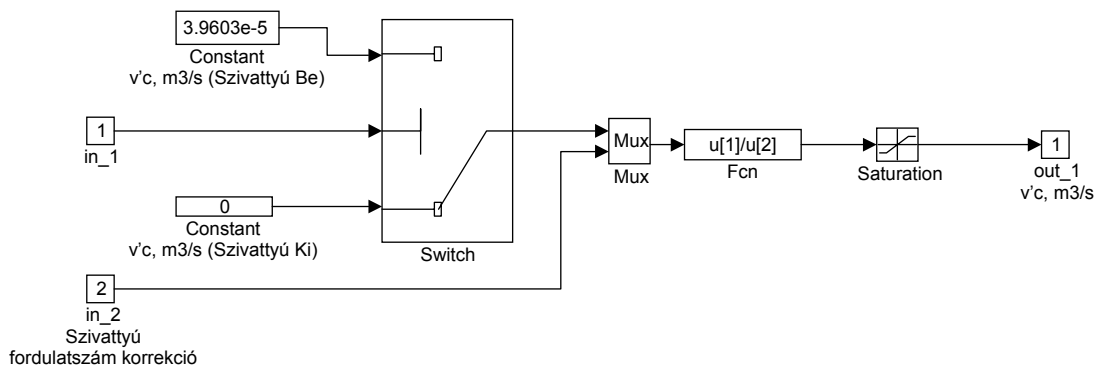
$$TKO = T_s + 1/2(dTE + dTA),$$

ahol TKO az optimális kollektor kilépő hőmérséklet. A szabályozó blokkorientált modelljét a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra Változó térfogatáramú szivattyúvezérlést végző szabályozó Simulink modellje

A szabályozó modell által számított fordulatszám korrekciós tényező a 2-es számú kimeneten jelenik meg. Ez a korrekciós tényező a 13. ábra által szemléltetett kollektor körüli szivattyú modell *in\_2* jelű 2-es számú bemenetére kerül. A szállított térfogatáram végül megjelenik a szivattyú modell kimenetén. A bemutatott szabályozó modellel és a változtatható folyadékszállítású szivattyúmodellel a napkollektoros rendszerek kollektor körében a szivattyú bekapcsolt állapotában változó térfogatáramú szivattyú üzemet lehet létrehozni, ami kedvezően befolyásolja a napkollektoros rendszer működését.

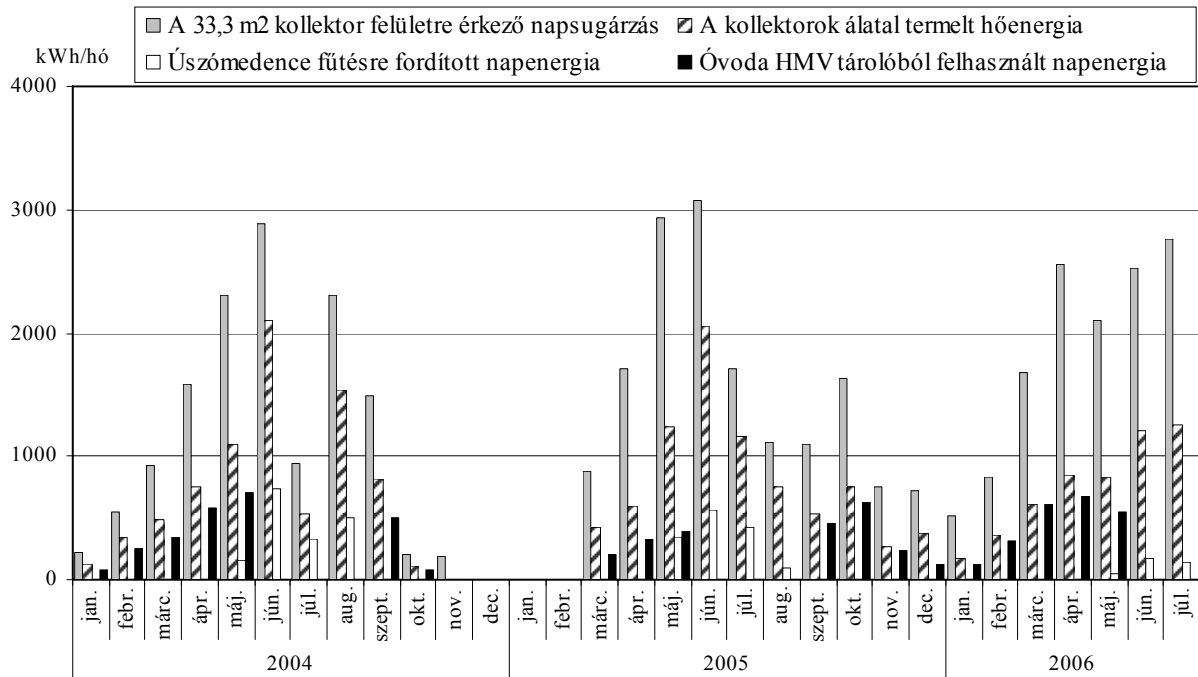


13. ábra A változtatható térfogatáramú kollektor körüli szivattyú modellje

### 3.7. Az uszodai napkollektoros rendszer monitorozása és szimulációja

A kutatómunka során a úszómedence vízfűtő és használati melegvízkészítő napkollektoros rendszeren monitorozási és szimulációs feladatokat végeztem.

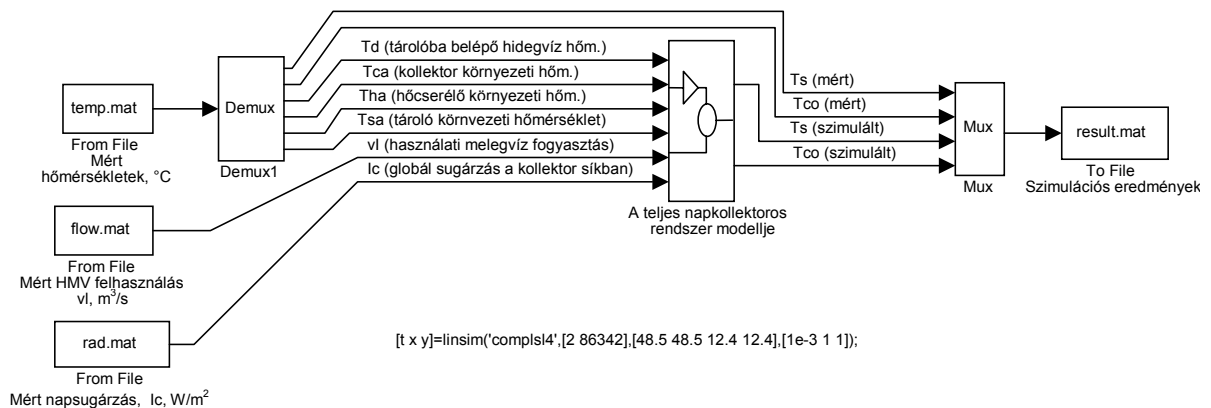
A kiépített adatgyűjtő rendszer mérési adatainak kiértékelése után a szoláris potenciált és az ebből begyűjtött, illetve hasznosított hőmennyiségeket a 14. ábra mutatja havonkénti bontásban.



14. ábra A szoláris potenciál és a napenergia felhasználás havonkénti megoszlása

A 2004. január - 2006. július közötti monitorozási időszakban a napkollektoros rendszer 3,5 MWh hőenergiával fűtötte az úszómedence vizét, míg az óvoda használati melegvizének előmelegítésére 7,2 MWh fordítódott. A vizsgált időszakban a kollektor mező egységnyi felületére vonatkoztatott hasznosult hőenergia 0,34 kWh/m<sup>2</sup> nap volt.

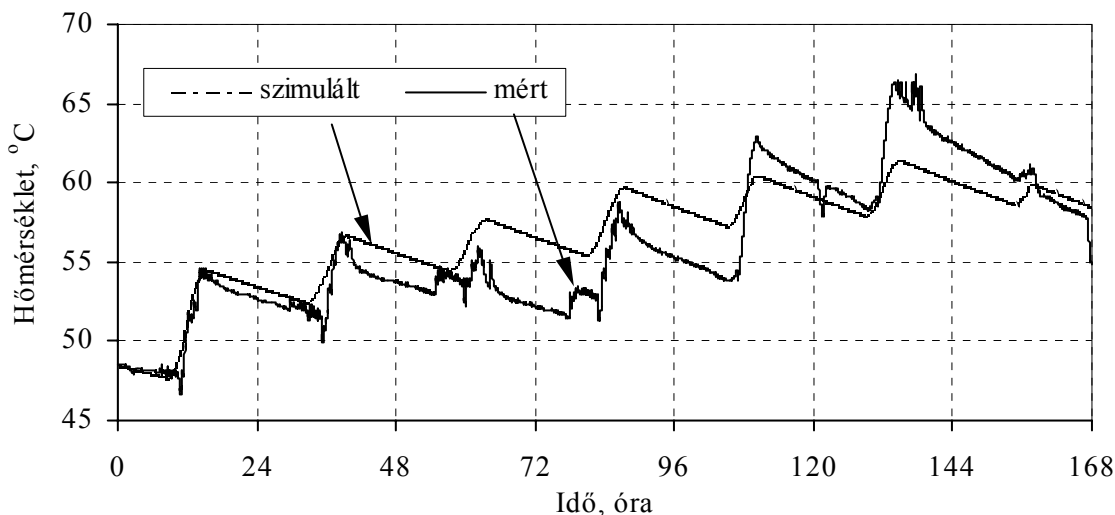
A 15. ábra a teljes napenergia-hasznosító berendezés blokkorientált modelljét mutatja.



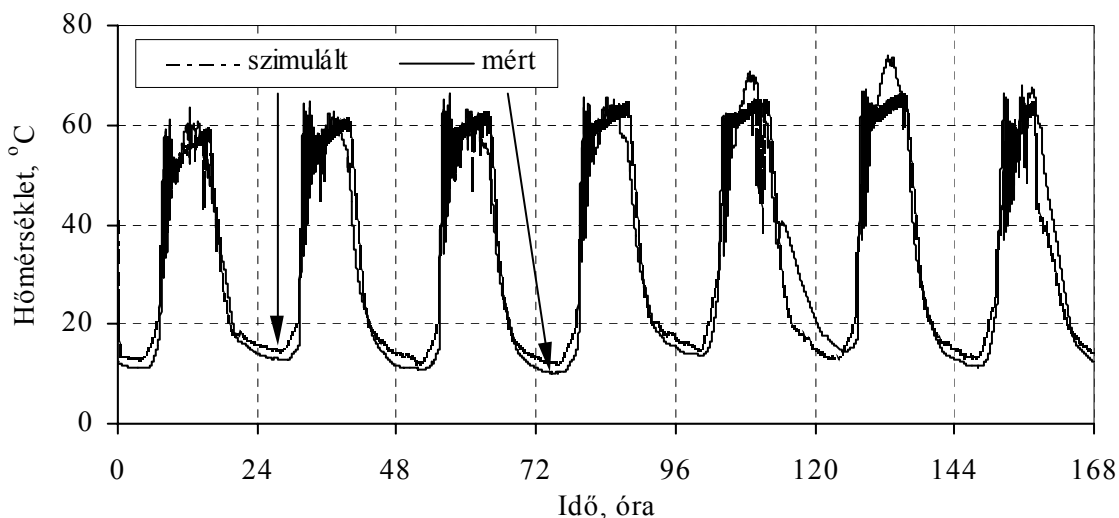
15. ábra A napenergia-hasznosító berendezés blokkorientált modellje

A modellel végzett szimuláció valamint a mért és a számított hőmérsékletek összehasonlítása 2002. május 14-20. közötti hét napos időszakban mért adatokkal történt. A mért és a számított kollektor kilépő és szolár tároló hőmérséklet lefutásokat a 16. ábra mutatja.

a/ Szolár tároló hőmérséklet, 2002. május 14-20.



b/ Kollektor mező kilépő hőmérséklet, 2002. május 14-20.



16. ábra A mért és számított hőmérsékletek összehasonlítása

A kollektor kilépő hőmérséklet esetén a mért és a számított értékek közötti átlagos eltérés  $4,26\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt, míg a szolár tároló hőmérséklete átlagosan  $1,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al tért el. A modell javítása érdekében további méréseket kell végezni, így az adatok alapján az egyes komponensek paramétereit, a hőátadási tényezőket pontosabban meghatározhatók, ezzel várhatóan a szimuláció pontossága növelhető.

#### 4. ÚJ TUDOMÁNYOS ERDMÉNYEK

A napenergiás használati melegvízkészítő rendszerekkel kapcsolatos kutatómunka során elért új tudományos eredmények a következőkben foglalhatók össze:

1. A folyadék munkaközegű napkollektoros rendszerek főbb alkotó elemeire, a síkkollektorra, a hőcserélőre és a tárolóra fizikai alapú megközelítést alkalmazva, koncentrált paraméterű, közösleges differenciálegyenletekkel leírható modellt dolgoztam ki. Az egyes elemek hő- és anyagtranszport folyamatait leíró energiaegyensúlyi egyenleteket a blokkorientált megoldási technika alkalmazásával oldottam meg. A kidolgozott dinamikus modellek a bemeneti változók alapján alkalmasak az egyes részrendszerek termikus szimulációjára, a kimeneti változók időbeli alakulásának számítására.
2. Meghatároztam a síkkollektorok bemeneti változói közül a napsugárzás intenzitásra, a belépő folyadék hőmérsékletre, a környezeti levegő hőmérsékletre és a kollektorból kilépő hőhordozóközeg hőmérséklet kezdeti értékére vonatkozó átviteli függvényeket. Az egyes bemeneti változók átviteli függvényének ismerete lehetővé teszi a bemeneti változók kollektor kilépő hőmérsékletre gyakorolt hatásának elkülönített vizsgálatát. Ily módon a bemeneti változók tekintetében elemezhetők az átviteli tulajdonságokat alapvetően meghatározó, az adott síkkollektorra jellemző konstrukciós paraméterek hatása. A síkkollektorok eredő átviteli függvényét az egyes bemeneti változókra vonatkozó átviteli függvények lineáris szuperpozíciójaként definiáltam.
3. Síkkollektorok teljes hőveszteségi tényező értékének meghatározására kísérleti identifikációs módszert dolgoztam ki. Ennek segítségével mérési adatok felhasználásával meghatároztam a teljes hőveszteségi tényező értékét folyadék hőhordozó közeggel működő síkkollektorok esetére.
4. A tárolóba beépített csőkígyós hőcserélő esetére, analitikus megoldással meghatároztam a csőkígyóból kilépő hőhordozó közeg hőmérsékletének időbeli változását leíró összefüggést. A kidolgozott modellben a tárolóban lévő melegvíz hőmérséklete, mint állapotváltozó, a hőcserélő csőkígyóba belépő hőszállítóközeg hőmérséklete valamint a hőcserélő csőkígyón áthaladó hőszállítóközeg térfogatárama szerepelnek bemeneti változóként.
5. A napkollektoros berendezés főbb elemeire kialakított blokkorientált modelleket alrendszerként kezelve, azok összekapcsolása, integrálása révén, kidolgoztam a teljes szoláris rendszer csatolt modelljét és annak blokkorientált realizációját a gyakorlatban is fontos esetekre, mind belső, mind pedig külső hőcserélő esetére.

6. Blokkorientált szabályozási modelleket dolgoztam ki a hőmérsékletkülönbség alapján működő állásos- és a kollektorköri tömegáram változtatásán alapuló szabályozókra. Az állásos szabályozásra kidolgozott szabályozó modellek egyike azonos, míg a másik különböző be- és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő szabályozás megvalósítására alkalmas. A kollektor körben a hőhordozó közeg tömegáram változtatására kialakított szabályozó modell a mikroprocesszoros szabályozók mintájára egy szabályozási algoritmus alapján képes az irányítási feladat ellátására. A szabályozási modellek alapján kidolgoztam a kombinált üzemű úszómedence vízfűtő és óvodai használati melegvízkészítő napkollektoros rendszer blokkorientált rendszermodelljét.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szimulációs eredmények és a mérési adatok összevetése igazolta, hogy a kidolgozott koncentrált paraméterű matematikai modellek alkalmasak a folyadék munkaközegű napkollektoros melegvízkészítő rendszer elemek időben változó, hő- és anyagtranszport folyamatainak leírására. A kidolgozott modellek alapján elkészült a blokkorientált számítógépes realizáció, amellyel nem csak rendszerelemek, hanem azok csatolásával komplett rendszerek termikus szimulációja is elvégezhető.

A blokkorientált szimulációs technika lehetőségeit kihasználva a napkollektoros rendszerek főbb elemeire kialakított modellek egyesítésével a teljes rendszer szimulációja elvégezhető. A munka során két egymástól eltérő felépítésű rendszer, szimulációjára került sor. Az egyik rendszer, tárolóba beépített hőcserélő csőkígyóval rendelkezett, míg a másik rendszer a tárolón kívül, úgynevezett külső hőcserélővel kialakított berendezés volt. Az első esetben a modellel számított tároló hőmérséklet időbeli alakulása jól közelítette a mért tároló hőmérsékletet. Csak két kisebb eltérés volt tapasztalható. Ezek az eltérések két tényezőre vezethetők vissza. Egyrészt az éjszakára felfűtött tárolóban a modellel számított hőmérséklet állandó értéken maradt, míg a mért hőmérséklet egyenletes csökkenést mutatott. Ezt az eltérést az okozta, hogy a tároló modell nem megfelelően vette figyelembe a tároló és a környezet között kialakuló hővesztéséget. A másik eltérés a mért és a számított hőmérséklet között a teljes tároló térfogatnyi melegvíz kivételekor volt tapasztalható. Ekkor a vízkivételek végén mért tároló hőmérséklet magasabb volt, mint a modellel számított. Ezt az okozta, hogy a tároló modell csak a tárolóban lévő víz hőkapacitásával számol, míg a valóságban a tároló tartálya is felmelegszik, ami vízkivételkor egyfajta "maradék hő" effektust vált ki, amelynek során a visszamaradt hő átadódik a tárolóba beáramló hálózati hidegvíznek.

A mérési és a szimulációs eredmények kiértékelése során azt tapasztaltam, hogy főként növekvő és csökkenő napsugárzás intenzitású időszakokban a szabályozó berendezések egy időintervallumon belül egymás után többször ki-, és bekapcsolnak. Ez a jelenség a kollektor kör instabilitását eredményezi, ami a rendszer üzemeltetése szempontjából nem előnyös. A leírt jelenség megszüntetése, illetve a kollektor kör stabilitásának helyreállítása érdekében azt javaslom, hogy a keringtető szivattyú esetén egy minimális működési idő kerüljön beállításra. A minimális szivattyú működési idő legalább 3-5 perc körüli érték legyen. Ezt a szempontot mérlegelve a jövőben megvalósítandó rendszereknél olyan szabályozókat célszerű kiválasztani, amelyek alkalmasak a probléma kiküszöbölésére.

A kutatómunka további folytatása során célszerű lenne vizsgálni a szabályozásnak a rendszer energia termelésére gyakorolt hatását. A

kifejlesztendő szabályozási algoritmusoknál törekedve az energiatermelés optimalizálására.

A működése során dinamikus rendszerként viselkedő síkkollektorokban lejátszódó anyag és energiaáramok helykoordinátától független időtartománybeli leírására egyváltozós közönséges differenciálegyenletet alkalmaztam. Az időtartománybeli leíró egyenlet Laplace-transzformációval átírható operátortartományba. Az időtartománybeli egyenlet fizikai tartalmú paramétereinek felhasználásával meghatározható az operátortartománybeli átviteli függvény. Az ily módon előállított átviteli függvénnyel lehetővé válik az irányítás elméletben kidolgozott rendszervizsgálati módszerek alkalmazása. Síkkollektorok esetén vizsgálható a bementi változók a napsugárzás intenzitás, a belépő hőszállítóközeg hőmérséklet, a környezeti hőmérséklet és a kilépő hőhordozó közeg hőmérséklet kezdeti értékének a kimeneti változóra, a kilépő hőmérsékletre gyakorolt hatása. Meghatározható továbbá a kollektor anyag- és energiátárolási tulajdonságaira jellemző időállandó. A rendszervizsgálati módszereken túl az átviteli függvény szimulációs-, paraméterérzékenység vizsgálati- és irányítási feladatokra is alkalmazható.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatási témakörhöz kapcsolódó szakirodalom tanulmányozás során áttekinttem a magyarországi napsugárzás energiaviszonyait és a napkollektoros berendezések telepítését befolyásoló támogatási rendszert. Feldolgoztam a napkollektoros használati melegvízkészítő berendezések főbb elemeire vonatkozó szakirodalmat. Áttekinttem a termikus napenergia hasznosító rendszerek vizsgálatára vonatkozó szabványokat, továbbá információt gyűjtöttem a napkollektoros rendszerek modellezésére számba vehető szimulációs szoftverekről.

Az anyag és módszer fejezetben - a szakirodalom felhasználásával - részletesen bemutattam a napenergia hasznosító rendszerekben leggyakrabban alkalmazott folyadék munkaközegű síkkollektorok fizikai alapú modellezését. Kialakításra került egy fizikai alapú modell, ami leírja a kollektorban végbemenő hőtranszport folyamatokat. A síkkollektorok bemenő változói közül meghatároztam a napsugárzás intenzitásra, a belépő folyadék hőmérsékletre, a környezeti hőmérsékletre és a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet kezdeti értékének a kollektorból kilépő hőhordozó közeg hőmérsékletre vonatkozó átviteli függvényeket.

Modelleket dolgoztam ki a napkollektoros rendszerek másik fő egységére a tárolóra. A modellváltozatok osztott tároló, beépített hőcserélővel kialakított tároló, valamint hőcserélő nélküli tároló leírására alkalmasak.

A napkollektoros rendszerek egyik leggyakoribb konstrukciójához kidolgozásra került egy a tárolón kívül elhelyezett, külső hőcserélőre vonatkozó modell, ami a kollektor kör és a tároló kör közötti hőátadás számítását teszi lehetővé.

A szoláris rendszer teljes szimulációjának elvégzéséhez a kollektor kilépő hőmérséklet és a tároló hőmérséklet különbség alapján működő, különböző módon paraméterezhető blokkorientált szabályozási modelleket alakítottam ki.

A blokkorientált technika alkalmazásával, a kidolgozott részmodellek integrálásával különböző felépítésű napkollektoros rendszerekre szimulációt végeztem. A munka során a leggyakrabban előforduló két konstrukciót vettem alapul. Az egyik típus a tárolóba beépített hőcserélő csőkígyóval kialakított berendezés, míg a másik a tárolón kívül, úgynevezett külső hőcserélővel kialakított berendezés volt. Ez utóbbi esetre a szimulációt két különböző méretű napkollektoros rendszerre is elvégeztem.

A napkollektoros úszómedence vízmelegítő rendszer esetén monitorozási feladatokat végeztem, aminek eredményeként meghatároztam, hogy a megtermelt energia milyen arányban hasznosul úszómedencevíz fűtésre, illetve használati melegvízkészítésre.

## 7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### Lektorált cikk idegen nyelven:

1. **Buzás,J.**, Farkas,I., Biró,A., Németh,R. (1998): Modelling and simulation aspects of a solar hot water system, *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 48, No. 1, p. 33-46.

#### Hivatkozás:

- Zachár A., Aszódi A. (2001): Napkollektoros melegvíz-tároló hőmérsékleti rétegződése, *Magyar Energetika*, IX. évf., 2001/5. sz., 29-34. o.
- Zachár A. (2003): Termikus rétegződés használati melegvíztárolókban, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 106.
- El Mashad, H.M., Van Loon, W.K.P., Zeeman, G., Bot, G.P.A., Letinga, G. (2004): Design of a solar thermophilic anaerobic reactor for small farms, *Biosystems Engineering*, 87 (3), p. 345-353.
- 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.
- Petrasch, J., Steinfeld, A. (2007): Dynamics of a solar thermochemical reactor for steam-reforming of methane, *Chemical Engineering Science*, 62 (16) p. 4214-4228.
- Géczyné V. P. (2007): Napkollektoros rendszerek modellezése neurális hálóval, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 130.
- Chao Shen, Ya-Ling He, Ying-Wen Liu, Wen-Quan Tao (2008): Modelling and simulation of solar radiation data processing with Simulink, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16 (7) p. 721-735.
- Petrasch, J., Osch, P., Steinfeld, A. (2009): Dynamics and control of solar thermochemical reactors, *Chemical Engineering Journal*, 145 (3) p. 362-370.

### Lektorált cikk magyar nyelven:

1. 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. 3. szám, 1998. június, p. 17-24.

**Hivatkozás:**

- Rick K. (1999): Szoláris szárítóban kialakuló természetes konvekció mérése, Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, Report No. 12, 1999. január, 1-25. o.
  - Géczyné V. P. (2007): Napkollektoros rendszerek modellezése neurális hálóval, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 130.
2. Farkas I., Biró A., **Buzás J.** (1999): Napenergia növényházi hasznosítása, *Energiagazdálkodás*, 40. évf., 1. szám, 1999. január, p. 11-14.
  3. Farkas I., **Buzás J.**, Lágymányosi A., Kalmár I. (2001): Napenergiás uszodai vízmelegítő rendszer, *Magyar Energetika*, IX. évf. 3. szám, 2001. június, p. 17-20.

**Hivatkozás:**

- Géczyné V. P. (2007): Napkollektoros rendszerek modellezése neurális hálóval, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 130.
4. Farkas I., Lágymányosi A. **Buzás J.** (2001): Tetőbe integrált napkollektoros rendszer családi ház melegvíz-ellátására, *Magyar Energetika*, IX. évf. 4. szám, 2001. augusztus, p. 40-44.
  5. Farkas I., Lágymányosi A., **Buzás J.** (2002): Családi ház tetőbe integrált napkollektoros vízmelegítő rendszerének monitorozási eredményei, *Energiagazdálkodás*, 43. évf., 2002, 2. sz., 22-25. o.
  6. **Buzás J.**, Farkas I., Lágymányosi A., Tóth M. (2002): Úszómedence napenergiás vízmelegítő rendszerének monitorozási eredményei, *Energiagazdálkodás*, 43. évf., 2002, 3. sz., 24-28. o.

**Hivatkozás:**

- Zsebik, A. (2002): Motivationen und Grenzen der Verwendung erneuerbarer Energie in Ungarn, Berliner Energietage, VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Berlin, 15. Mai, 2002.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.

### Nemzetközi konferencia kiadvány:

1. Matrawy,K.K., Farkas,I., **Buzás,J.** (1996): Optimum selection for the aspect ratio of solar storage tank, EuroSun'96, Proceedings, Vol. 1, Freiburg, September 16-19, p. 251-255.
2. Farkas,I., Matrawy,K.K., **Buzás,J.** (1996): Theoretical and experimental study of solar collectors under transient conditions, Energy and Environment Congress, Vol. I. /ed by B. Frankovic/, Croatian Solar Energy Association, Opatija, October 23-25, p. 77-84.
3. **Buzás,J.**, Farkas,I., Biró,A., Németh,R. (1997): Modelling and simulation of a solar thermal system, Proceedings of IMACS/IFAC Second International Symposium on Mathematical Modelling and Simulation in Agricultural and Bio-Industries, May 7-9, 1997, Budapest, Hungary, p. 143-147.
4. Seres,E.E., Farkas,I., Biró,A., **Buzás,J.**, Lágymányosi,A. (1997): Data logging and monitoring tools used for simulation and modelling of a solar system, Proceedings of IMACS/IFAC Second International Symposium on Mathematical Modelling and Simulation in Agricultural and Bio-Industries, May 7-9, 1997, Budapest, Hungary, p. 277-282.
5. Seres,E.E., Farkas,I., Biró,A., **Buzás,J.**, Lágymányosi,A. (1997): Data logging and monitoring of an integrated rural energy system, Preprints of the 3rd Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture & Horticulture, September 28 - October 2, 1997, /ed by A. Munach and H.-J. Tantau/, Pergamon, Hannover, Germany, p. 85-90.
6. **Buzás,J.**, Farkas,I., Jedrisko,C. (1999): Simulation of a solar domestic hot water system, Proceedings of the Conference on Energy and Agriculture towards the Third Millennium, AgEnergy'99, Athens, Greece, 2-5 June 1999, Volume 1, p. 500-507.
7. **Buzás,J.**, Farkas,I. (2000): Solar domestic hot water system simulation using block-oriented software, The 3<sup>rd</sup> ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2000), Copenhagen, Denmark, June 19-22, 2000, CD-ROM Proceedings, pp. 9.

### **Hivatkozás:**

- Kicsiny, R. (2008): Performance modelling of combined solar heating systems with ordinary- and with an energetically-based control, Energy and Environment in practice, Proceedings of the Seminar of Doctorate Students from Justus Liebig University and Szent István University, 19-21, August 2008, p. 67-78.
- 8. Farkas,I., **Buzás,J.**, Lágymányosi,A., Kalmár,I., Kaboldy,E., Nagy,L. (2000): A combined solar hot water system for the use of swimming pool and kindergarten operation, Energy and the Environment 2000, Vol. I. /ed by B. Frankovic/, Croatian Solar Energy Association, Opatija, October 25-27, 2000, p. 81-88.
- 9. **Buzás,J.**, Farkas,I. (2001): Monitoring of a solar heated swimming pool, Research and Teaching at Department of Physics in the Context of University Education, Proceedings of the International Scientific Conference, Nitra, Slovak Republic, January 26, 2001, p. 61-64.
- 10. Farkas,I., **Buzás,J.**, Lágymányosi,A., Tóth,M. (2001): Experiences with the use of a solar collector system integrated in to the roof structure of a family house, CD-ROM Proceedings of North Sun 2001, Leiden, The Netherlands, 6-8 May 2001, pp. 6.
- 11. Farkas,I., **Buzás,J.** (2001): Experience with a combined solar system for heating swimming pool and producing domestic hot water, CD-ROM Proceedings of ISES World Congress, Adelaide, Australia, November 25-30, 2001, p. 1003-1007.
- 12. **Buzás,J.**, Farkas,I., Tóth,M. (2002): Performance evaluation of a solar heated swimming pool, The 4th ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2002), Bologna, Italy, June 23-26, 2002, CD-ROM Proceedings, pp. 7.
- 13. Tóth,L., Schrempfl,N., **Buzás,J.**, Fogarasi,L. (2005): Solar-energy utilization system wellness hotel, Proceedings 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR Section IV (The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources) September 27-29, 2005, İzmir, Turkey, p. 301-305.

### **Magyar nyelvű konferencia kiadvány:**

- 1. Bencsik T., **Buzás J.** (1996): Napenergia alkalmazás lehetőségeinek elemzése a használati melegvíz szolgáltatásban, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 1996. január 16-17.

2. Seres E.E., Farkas I., Biró A., Lágymányosi A., **Buzás J.** (1998): Moduláris felépítésű adatgyűjtő rendszer, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 1998. január 20-21. 3. kötet, p. 201-204.
3. 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.
4. Farkas I., **Buzás J.** (1998): A napenergia hasznosítás alternatívái a mezőgazdaságban, XXVII. Óvári Tudományos Napok, Új kihívások a mezőgazdaság számára az EU-csatlakozás tükrében, Mosonmagyaróvár, 1998. szeptember 29-30. VI. kötet, p. 1214-1219.
5. **Buzás J.**, Farkas I., Biró A., Hegyi K., Lágymányosi A., Seres I., Seres E.E., Szűcs M. (1999): Napenergia hasznosító eszközök a mezőgazdaságban, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 1999. jan. 19-20, 2. kötet, p. 155-159.
6. **Buzás J.**, Farkas I. (2000): Napenergiás használati melegvízkészítő rendszer blokkorientált modellezése, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXIV. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2000. január 18-19, 2. kötet, p. 164-167.
7. Farkas I., **Buzás J.**, Lágymányosi A., Kalmár I. (2001): Napenergiás uszodai vízmelegítő rendszer, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXV. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2001. jan. 23-24, 3. kötet, 70-74. o.
8. **Buzás J.**, Farkas I., Lágymányosi A., Tóth M. (2002): Kombinált napenergiás vízmelegítő rendszer monitorozási eredményei, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2002. jan. 15-16, 2. kötet 175-179. o.
9. Lágymányosi A., Farkas I., **Buzás J.** (2002): Családi ház napkollektoros vízmelegítő rendszerének energetikai értékelése, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2002. jan. 15-16, 2. kötet 196-200. o.
10. **Buzás J.**, Farkas I., Tóth M. (2003): Napkollektoros uszodavíz- és használati melegvíz fűtőberendezés monitorozása és modellezése, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. jan. 21-22, 3. kötet, 161-165. o.

11. Mészáros Cs., **Buzás J.**, Farkas I., Bálint Á., Janta K. (2004): Napenergiával működő berendezések hatásfokának elméleti vizsgálata, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2004. jan. 20-21, 4. kötet 355-358. o.
12. Buzás J. (2007): Napkollektor átviteli függvényének meghatározása, MTA Agrárműszaki Bizottság, XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2007. jan. 23, 3. kötet, 85-89. o.
13. Kicsiny,R., **Buzás,J.**, Farkas,I. (2008): Napenergiás uszodai vízmelegítő rendszer monitorozása, MTA Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2008. jan. 22, 3. kötet, 114-118. o.

#### **Nemzetközi konferencia abstract:**

1. Farkas,I., **Buzás,J.**, Hegyi,K., Fekete,M., Bartha,S. (1998): Application of renewable energy sources to develop rural tourism, EuroSun'98, Book of Abstracts, Portoroz, Slovenia, 1998, p. I.3.8.
2. **Buzás,J.**, Farkas,I., Lágymányosi,A., Kalmár,I., Kaboldy,E., Nagy,L. (2000): Solar heated swimming pool, 6th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, October 9-10, 2000, p. 8.
3. **Buzás,J.**, Farkas,I. (2001): Monitoring issues of a solar heated swimming pool, 7th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 5-6, 2001, p. 10.
4. Lágymányosi,A., Farkas,I., **Buzás,J.** (2001): Solar collector system integrated into a building roof structure, 7th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 5-6, 2001, p. 11.
5. **Buzás,J.** Kicsiny,R. (2007): Solar heated swimming-pools, Summer School on Solar Energy Applications, Agigea, Romania, August 20-25, 2007, p. 5.
6. **Buzás,J.** Kicsiny,R. (2007): Solar thermal heating of outdoor swimming-pools, Home High Tech Symposium, Agigea, Romania, August 27-28, 2007, p. 3.
7. Kicsiny,R., **Buzás,J.** Farkas,I. (2007): Long term performance evaluation of a combined solar thermal system, 13<sup>th</sup> Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 5-6, 2007, p. 18.

#### **Idegen nyelvű jegyzet részlet:**

1. Farkas,I., **Buzás,J.** (1998): Modelling of a solar thermal system - application, Modelling, control and optimization. Greenhouse, drying and farm energy system, /ed. by Farkas,I., Gödöllő University of Agricultural Sciences, Textbook, Gödöllő, Hungary, p. 158-162.

### **Magyar nyelvű jegyzetrészlet:**

1. Buzás J. (1999): Szoláris melegvízkészítő rendszer szimulációja, Számítógépes szimuláció, Szerk.: Farkas I., Jegyzet, Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdasági Gépészmérnöki Kar, Gödöllő, 1999, p. 59-75.

### **Magyar nyelvű könyvrészlet:**

1. Buzás J. (2007): Recora műszaki kézikönyv a megújuló energiaforrások gyakorlati alkalmazásáról, 2.4. fejezet 42-48 o. 3.3. fejezet 81-84. o. 3.9. fejezet 108-111. o. 4.3. fejezet 119-120. o. 4.11. fejezet 152-154. o. /szerk. Hajdú J./, Recora, Gödöllő

### **Idegen nyelvűr könyvrészlet:**

1. Buzás, J. (2007): Handbook for generic technical guidelines, 2.4. chapter p. 44-50, 3.3. chapter p. 85-88, 3.9. chapter p. 111-114, 4.3. chapter p. 123-124, 4.11. chapter p. 155-157. /Ed. by. Hajdú, J./, Recora, Gödöllő

### **Magyar nyelvű tanulmány:**

1. 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

#### **Hivatkozás:**

- Imre L. (1998): UNESCO világprogram megújuló energiák hasznosítására, *Magyar Energetika*, 1998-1, 14-18. o.
2. 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
3. Farkas I., **Buzás J.**, Lágymányosi A. (2002): Napkollektoros uszodai és használati melegvíz készítő rendszer, Megújuló energiaforrások a területfejlesztésben, Közép-Magyarországi Régió, Összefoglaló tanulmány, CD-ROM Proceedings, 2002. június, pp. 8.

### **Idegen nyelvű kutatási jelentés:**

1. **Buzás, J.**, van Straten, G. (1996): Solar Hot Water System Study Examples with Matlab/Simulink MRS Report 96-6, Tempus 9709-95 Report, Wageningen, The Netherlands, June 1996.

### Hivatkozás:

- 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.
2. Farkas,I., **Buzás,J.**, Lágymányosi,A., Teodoreanu,D.I., Bartha,S. (2002): Overview of solar energy applications in Romania and Hungary, Research Report, Department of Physics and Process Control, Szent István University Gödöllő, No 26
3. 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

### Magyar nyelvű kutatási jelentés:

1. Farkas,I., Biró,A., **Buzás,J.**, Lágymányosi,A., Seres,E.E., Seres,I., Szűcs,M (1996): Aktív, termikus és fotovillamos napenergia hasznosítható rendszerek demonstrálása, Phare Megújuló Energia Projekt, No. HU9103-07-01-L013, Részjelentés, No. 7, Gödöllő
2. Farkas I., **Buzás J.**, Kalmár I., Lágymányosi A., Nagy L., Szepesváry L. (2000): Úszómedence vízmelegítő és óvoda használati melegvíz készítő napenergia-hasznosító berendezés mérési adatgyűjtő rendszere, Jelentés, SZIE, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 17, Gödöllő
3. Farkas I., **Buzás J.**, Lágymányosi A. (2000): Családi ház használati melegvízkészítő napenergia-hasznosító berendezés mérési adatgyűjtő rendszere, Jelentés, SZIE, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 18, Gödöllő
4. Farkas I., **Buzás J.**, Kalmár I., Lágymányosi A., Tóth M. (2001): Úszómedence vízmelegítő és óvoda használati melegvíz készítő napenergia-hasznosító berendezés 2000. évi monitorozása, Jelentés, SZIE, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 20, Gödöllő
5. Farkas I., **Buzás J.**, Lágymányosi A., Tóth M. (2002): Úszómedence vízmelegítő és óvoda melegvíz készítő napenergia-hasznosító berendezés 2001. évi monitorozása, Jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 23 Gödöllő
6. Lágymányosi A., **Buzás J.** (2002): Növényházi fűtést kiegészítő napenergia-hasznosító berendezés, Jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 27 Gödöllő

### **Egyéb magyar nyelvű tudományos cikk:**

1. Hegyi K., Farkasné Fekete M., Farkas I., **Buzás,J.** (1998): Megújuló energiaforrások és fenntartható fejlődés a magyar mezőgazdaságban, Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Tudományos Közlemények 2., p. 13-18.
2. Farkas I., **Buzás J.**, (1999): A napenergia hasznosítása a mezőgazdaságban, *Növényvédelmi tanácsok*, VIII. évf. 1999. június, p. 14-16.
3. **Buzás J.**, Farkas I. (2000): Napenergiás használati melegvízkészítő rendszer blokkorientált modellezése, *Mezőgazdasági Technika*, XLI. évf. 2000. 5. sz. p. 2-3.