SZENT ISTVÁN EGYETEM

NAPENERGIÁS MELEGVÍZKÉSZÍTŐ ÉS TÁROLÓ RENDSZEREK BLOKKORIENTÁLT MODELLEZÉSE

Doktori értekezés

Buzás János

Gödöllő
2009

SZENT ISTVÁN EGYETEM

NAPENERGIÁS MELEGVÍZKÉSZÍTŐ ÉS TÁROLÓ RENDSZEREK BLOKKORIENTÁLT MODELLEZÉSE

Doktori értekezés

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 5
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK 7
1.1. A választott témakör jelentősége 7
1.2. Célkitűzések 9
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 11
2.1. A napsugárzás energia viszonyai, magyarországi potenciál és hasznosítás 11
2.2. A termikus napenergia hasznosítás energiapolitikája és támogatási rendszere 15
2.3. Napenergiás használati melegvízkészítő berendezések elemei 21
2.3.1. Napkollektor 22
2.3.2. Napenergiás használati melegvíztárolók 28
2.3.3. Hőcserélők 29
2.3.4. Napenergiás használati melegvízkészítő berendezések irányítása 32
2.3.5. A kollektor kör és főbb jellemzői 34
2.3.6. Hőszállító folyadék 37
2.4. Napkollektoros rendszerek ellenőrzési eljárásai, vizsgálati szabványai 42
2.5. Napkollektoros rendszerek szimulációs szoftverei 45
2.5.1. Polysun programcsomag 45
2.5.2. TRNSYS programcsomag 47
2.5.3. T-SOL programcsomag 48
2.5.4. Naplopó programcsomag 51
2.5.5. MATLAB 52
3. ANYAG ÉS MÓDSZER 55
3.1. A sík-kollektor modellje 55
3.1.1. A sík-kollektor fizikai alapú modellje 56
3.1.2. A kollektor modell analízise állandósult állapotban 59
3.1.3. A kollektor modell analitikus megoldása 60
3.1.4. A kollektor modell megoldása Laplace transzformációval 61
3.2. Napenergiás használati melegvíztároló modellje 63
3.2.1. Osztott melegvíztároló modellje 64
3.2.2. Belső hőcserélővel ellátott melegvíztároló modellje 67
3.3. Napenergiás melegvízkészítő és tároló rendszerek kialakítása és vizsgálata 71
3.3.1. Napkollektoros használati melegvízkészítő és tároló rendszer... 71
3.3.1.1. A rendszer felépítése és műszaki jellemzői 72
3.3.1.2. A berendezés monitorozó és szabályozó rendszerének felépítése 74

3.3.2. Használati melegvízkészítő és úszómedence vízfűtő napkollektoros rendszer ... 77
3.3.2.1. A rendszer felépítése és műszaki jellemzői ... 78
3.3.2.2. A rendszer szabályozó berendezésének kialakítása, működése ... 79
3.3.2.3. A berendezés monitorozó rendszerének felépítése ... 80
3.3.3. Növényházi fűtésrásegítő napkollektoros rendszer ... 85
3.3.3.1. A rendszer felépítése és műszaki jellemzői ... 86
3.3.3.2. A rendszer szabályozó berendezésének kialakítása, működése ... 87
4. EREDMÉNYEK ... 89
4.1. A kollektor átviteli függvényének meghatározása ... 89
4.2. A kollektor modell megoldása blokkorientált szimulációval ... 94
4.3. A kollektor modell teljes hőveszteség tényezőjének identifikációja ... 95
4.4. Tárolóba beépített hőcserélős napkollektoros rendszer szimulációja ... 97
4.5. Külső hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer szimulációja ... 99
4.6. Napkollektoros rendszerek szabályozó modelljei ... 107
4.7. Az uszodai napkollektoros rendszer monitorozása és szimulációja ... 111
4.8. Új tudományos eredmények ... 114
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK ... 117
6. ÖSSZEFOGLALÁS ... 119
7. SUMMARY ... 121
8. MELLÉKLETEK ... 123
M1 melléklet: Irodalomjegyzék ... 123
M2 melléklet: Telepített kollektor felület az Európai Unió 27 országában 129
M3 melléklet: A 2002-ben gyártásban lévő abszorberek főbb jellemzői ... 130
M4 melléklet: Használati melegvízkészítő és úszómedence vízfűtő napkollektoros rendszer mért jellemzői ... 131
M5 melléklet: Növényházi fűtésrásegítő napkollektoros berendezés elvi kapcsolási vázlata ... 132
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ... 133

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

A_c - kollektor abszorber felület (m^2)
c_c - kollektoron átáramló folyadék fajhője ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
C_c - kollektorban lévő folyadék hőkapacitása ($J\ K^{-1}$)
F' - kollektor abszorber hőszállítási (hatásfok) tényező, (dimenzió nélküli)
I_c - kollektor felületre érkező napsugárzás ($W\ m^{-2}$)
$\dot{m}_c$ - kollektoron átáramló folyadék tömegáram ($kg\ s^{-1}$)
Q_{abs} - kollektor abszorber napsugárzásból származó hőárama (W)
Q_{cl} - kollektor hőveszteségből származó hőárama (W)
Q_{cf} - kollektorból folyadék árammal kilépő hőáram (W)
T_{abs} - kollektor abszorber hőmérséklet (°C)
T_{cav} - kollektoron átáramló hőszállító közeg átlagos hőmérséklet (°C)
T_{ca} - kollektor környezeti levegő hőmérséklet (°C)
T_{ci} - kollektorba belépő folyadék hőmérséklet (°C)
T_{co} - kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet (°C)
T_d - tárolóba belépő tápvíz hőmérséklete (°C)
U_c - kollektor hőveszteségi tényező ($W\ m^{-2}\ K^{-1}$)
U_L - kollektor teljes hőveszteségi tényező ($W\ m^{-2}\ °C^{-1}$)
$\dot{v}_c$ - kollektoron átáramló folyadék térfogatáram ($m^3\ s^{-1}$)
$\dot{v}_l$ - tárolóból felhasznált használati melegvíz térfogatáram ($m^3\ s^{-1}$)
V_c - kollektor folyadék átvezető járatok térfogata (m^3)

Görög szimbólumok

α - abszorber felület napsugárzás elnyelő képessége (dimenzió nélküli)
η - kollektor hatásfok (dimenzió nélküli)
η_0 - kollektor optikai hatásfok (dimenzió nélküli)
ρ_c - a kollektoron átáramló folyadék sűrűsége ($kg\ m^{-3}$)
τ - a kollektor lefedés fényátbocsátó képessége (dimenzió nélküli)
τ_{cr} - kollektor feltöltési térfogatra és térfogatáramra jellemző tartási idő (s)

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

1.1. A választott témakör jelentősége

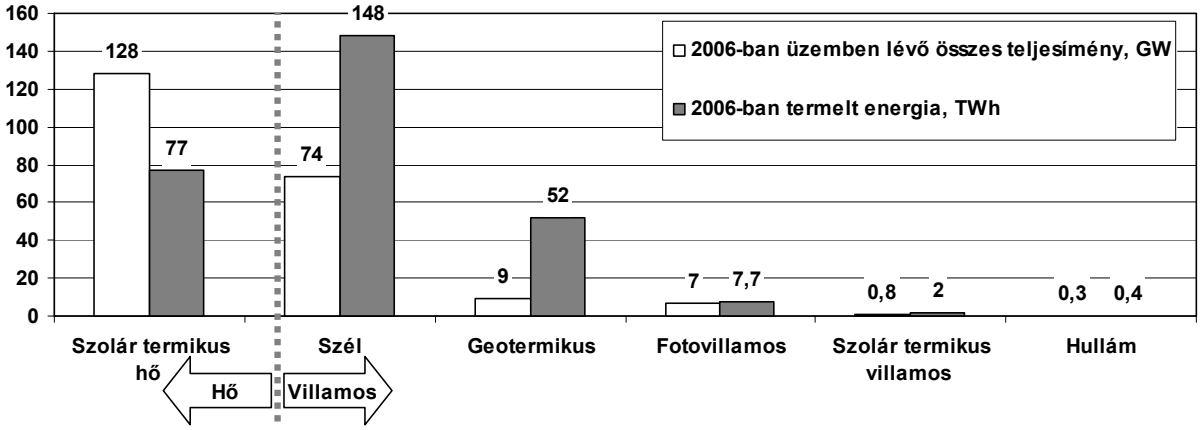
Az energia áralakulás tendenciáját vizsgálva megállapítható, hogy az eddig bekövetkezett és a jövőben várható árnövekedés mindinkább előtérbe helyezi a takarékos energiafelhasználást, valamint ezzel párhuzamosan a fejlett országokhoz hasonlóan hazánkban is növekedni fog a decentralizált, a fogyasztók 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 melegvíz készítéshez, az épületfűtéshez, úszó medencék fűtéséhez, napenergiás hűtésre, távfűtésre, ipari hőtermeléshez és sótalanításhoz. Az M2 melléklet táblázata a termikus napenergia hasznosítás helyzetét szemlélteti az EU 27 országában és Svájcban (European Solar Thermal Industry Federation 2008).

Az aktív termikus napenergia hasznosító berendezéseket a kiépített hőtermelő kapacitás helyett a statisztikákban hosszú ideig inkább a telepített kollektor felülettel (m^2) jellemezték. Ennek eredményeként a termikus napenergia hasznosítás nem volt könnyen összehasonlítható más megújuló energiaforrásokkal és gyakran inkább kihagyták a statisztikákból. Ezt a problémát igyekszik megszüntetni a Nemzetközi Energia Ügynökség, Szolár Fűtés és Hűtés Programja (angolul: International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme – IEA SHC) és a főbb termikus napenergia hasznosítással foglalkozó szervezetek részvételével 2004 szeptemberében az ausztriai Gleisdorfban kidolgozott ajánlás (IEA SHC 2004). Az ebben foglaltak szerint a fedésnélküli, az üvegfedésű és a vákuumcsöves kollektorok esetén a termikus teljesítmény (kW_{th} – angolul: kilowatt thermal) számításához a m^2-ben megadott kollektor felületet 0,7 kW_{th}/m^2 konverziós tényezővel kell megszorozni.

A bevezetett konverziós tényezőt alkalmazva a napkollektorokra vonatkozó adatok alapján az IEA SHC 48 országra vonatkozó statisztikája alapján a telepített termikus napenergia kapacitást 2006-ban 128 GW_{th}-ra becsülték, ami 182,5 millió m^2 napkollektor felületnek felel meg (WEISS et al. 2008). A termikus napenergia hasznosítást más megújulókkal összehasonlítva a

tradicionális megújulók mellett, mint a biomassza és a vízenergia csak a szélenergia hasznosítás előzi meg, míg a fotovillamosnál az energiatermelésben lényegesen nagyobb részesedéssel rendelkezik. Az 1. ábra a világ 48 országában telepített termikus napenergia, szélenergia, fotovillamos, geotermikus és hullámenergia kapacitást, valamint azok éves energiatermelését szemlélteti.



1. ábra 2006-ban üzemelő megújuló energiaforrásokra telepített hő (GW_{th}) és villamos (GW_{el}) kapacitások, valamint az éves hő (TWh_{th}) és villamos energia (TWh_{el}) termelés

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^2-re becsülte (KABOLDY 2005), míg az Európai Szolár Termikus Ipari Szövetség által közétett statisztika a 2006 évben üzemben lévő kollektor felületet 6.250 m^2–re becsülte (European Solar Thermal Industry Federation 2007), míg az egy évvel későbbi kimutatásban már 14.250 m^2 szerepel (lásd: M2 melléklet táblázata). Összehasonlításként Ausztriában, a 2007-ben üzemben lévő kollektor felület mintegy 2.892.627 m^2 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^2 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 folyadékárammal szállított hőnek a tároló vízébe, vagy a tárolóból a hőcserélő szekunder oldalán átáramló folyadékáramba 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 folyadékáramokat.

A hőátviteli folyamatok fizikai modelljei összetett parciális differenciálegyenletekkel, vagy egyenletrendszerekkel is leírhatók. A kutatás során megvalósítandó fizikai alapú modellek koncentrált paraméterűek, amelyek közönséges differenciálegyenletek, illetve egyenletrendszerek formájában fogalmazhatók meg. Ezen differenciálegyenletek segítségével a napenergiás melegvízkészítő rendszerek főbb eleminek dinamikus tulajdonságai leírhatók. Az egyes változók definiált bemeneti függvényei mellett a hagyományos, analitikus megoldás is előállítható, illetve az egyes bemenetekre adott válaszfüggvények is meghatározhatók.

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 folyadékáramot.

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 számítására.

Az elméleti modellalkotás és szimuláció mellett a kutatási program célja a rendelkezésre álló napenergia-hasznosító berendezéseken, gyakorlati ellenőrző mérési és monitorozási feladatok végzése. Méréssel meghatározhatók a környezeti paraméterek, úgymint a kollektor felületre érkező napsugárzás intenzitás, a környezeti hőmérséklet, valamint a napenergia-hasznosító berendezés főbb elemeinek üzemére jellemző paraméterek, mint például az áramló hőszállítóközeg hőmérséklete és térfogatárama. A mért adatok felhasználhatók a modellezési eredmények gyakorlati, kísérleti ellenőrzésére. Így többek között a napenergiás melegvíz készítő rendszerek egyes elemeire (kollektor, hőcserélő, tároló) felállított modellek mérési ellenőrzése, illetve az egyes elemek közötti kölcsönhatások és a teljes rendszer vizsgálatára.

A napenergiás melegvízkészítő és tároló rendszerre kidolgozott fizikai modellek akkor hozhatnak gyakorlati hasznot (nevezetesen a vizsgált rendszer későbbi viselkedésére vonatkozó előrejelzést), ha a felállított differenciálegyenletek valamilyen numerikus módszerrel megoldhatók. Mivel jelen esetben tranziens, időben változó folyamatokról van szó, ezért például a végeselem módszer alkalmazása – a parciális differenciálegyenletek megoldása – a nagy számítási igény miatt csak nagy számítógép kapacitás biztosításával lehetséges. Ezért a folyamatok leírásához olyan koncentrált paraméterű, a hőátviteli folyamatokat időben kellő pontossággal leíró közönséges differenciálegyenleteket, célszerű használni, amelyek blokkorientált szimulációs szoftver, Matlab+Simulink alkalmazásával megoldhatók. Az említett szoftver a konkrét fizikai folyamatok modellezésén kívül alkalmas a rendszer irányítási, szabályozási funkcióinak modellezésére, illetve vizsgálatára is.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

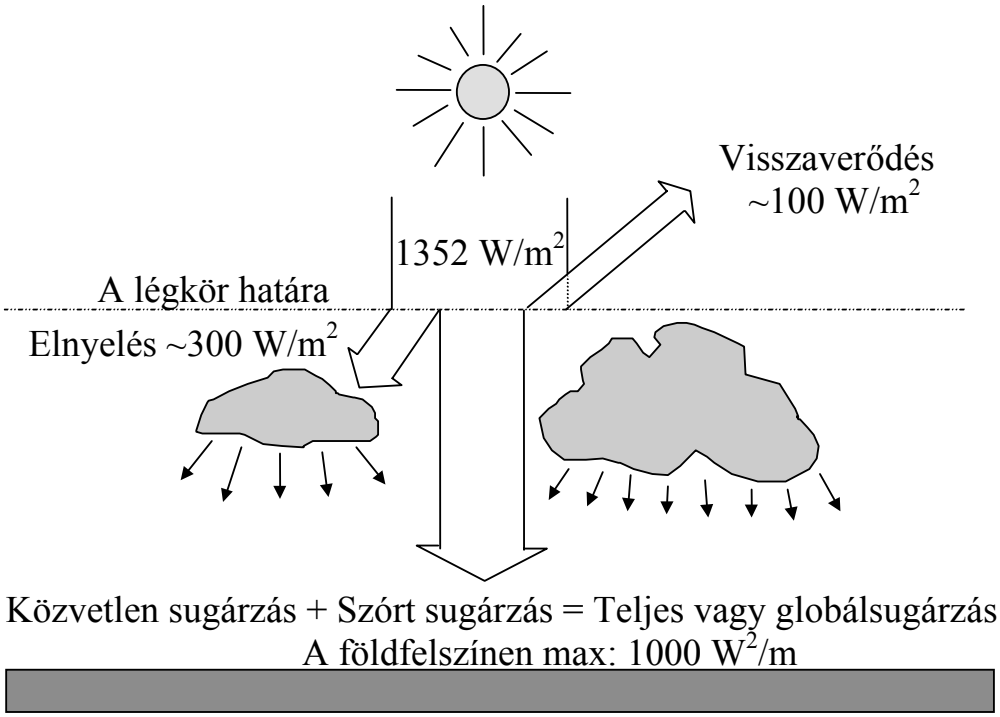
Ez a fejezet a napenergiás használati melegvízkészítő rendszerekkel kapcsolatos irodalom feldolgozást tartalmazza. Áttekintést ad a napsugárzás energia viszonyairól, a magyarországi potenciálról, valamint a telepítést befolyásoló támogatási rendszerről. Ismerteti továbbá a napenergiás melegvízkészítő rendszerek főbb egységeinek kialakítását, tulajdonságait. Bemutatja a napkollektoros rendszerek ellenőrzési eljárásait és a bevezetett hazai és nemzetközi vizsgálati szabványokat. Áttekinti továbbá a napkollektoros rendszerek méretezésére, modellezésére számba vehető szimulációs szoftvereket.

2.1. A napsugárzás energia viszonyai, magyarországi potenciál és hasznosítás

A Föld légkörének felső határához érkező napsugárzás energiája 1352 W/m^2, ezt az értéket napállandónak nevezik, és közepes Nap-Föld távolság mellett értelmezik. A napenergia technikai felhasználhatóságát korlátozza intenzitásának változása. A sugárzás függ a földrajzi elhelyezkedéstől, valamint az évszakok és a napszakok változásától is. Budapest környékén a legnagyobb sugárzási áramsűrűség érték a napsugárzás irányára merőleges felületen júniusban mérhető, értéke 1000 W/m^2. A hasznosítható sugárzás mértékét jelentősen befolyásolhatják a meteorológiai jellemzők is. A levegő nedvességtartalma és a homályossági tényező csupán kismértékű változást okoz, míg a felhősödéssel jelentősen csökken, illetve megszűnik a közvetlen sugárzás.

A légkörbe érkező sugárzás egy része gyengítetlenül, közvetlen árnyékot adó sugárzásként, másik része pedig a légkörben lévő részecskéken, por, vízgőz, szennyeződéseken és a felhőzeten szóródva, határozott irány nélkül, szórt sugárzásként jut a felszínre. A közvetlen és a szórt sugárzás összegét teljes, vagy globálsugárzásnak nevezik. A 2. ábra a földfelszínre érkező napsugárzás mennyiségi viszonyait szemlélteti (IMRE L., VARGA P. 1997).

A Föld felszínére érkező sugárzás nagy részét a szárazföld, a tengerek és a növényzet elnyeli, kisebb része visszaverődik. Az elnyelt sugárzás hővé alakul. Az elnyelt hő felmelegíti a levegőt.



2. ábra A földfelszínre érkező napsugárzás mennyiségi viszonyai

Magyarországon a globálsugárzás értéke a déli órákban átlagos napsütés esetén, a téli félévben (október - március) 250-600 W/m^2, a nyári félévben (április - szeptember) 600-1000 W/m^2 között változik. A szórt sugárzás részaránya elérheti a 40-50 %-ot is, ezért a hazai viszonyokra a sík-kollektorok alkalmasabbak, mivel a szórt és a direkt sugárzást egyaránt hasznosítják.

Magyarország napenergia potenciáljában, az ország sugárzási egyenlegében a Kárpát-medence hatása kimutatható. Az elnyelt és a kimenő sugárzás átlagos zonális értéke, vagyis a 47-ik szélességi fokhoz tartozó sugárzási egyenleg értéke negatív, átlagosan -35 MJ/m^2/nap. Magyarországra ugyan szintén negatív, azonban sokkal kisebb mértékben, mindössze -2,76 MJ/m^2/nap (BELLA SZ., MAJOR GY., NAGY Z. 2006).

Magyarország termikus napenergia hasznosítási adottságai kedvezőbbek, mint sok európai országé: az évi napsütéses órák száma 1900-2200, a beeső napsugárzás éves összege átlagosan 1300 kWh/m^2. A Budapesten lehetséges és tényleges napsütéses órák számát havonkénti bontásban az 1. táblázat tartalmazza (KABOLDY 1999). A tényleges és a lehetséges napsütéses órák számának különbségét a felhőzet okozza.

1. táblázat Budapesten havonta lehetséges és tényleges napsütéses órák száma és aránya

Hónap	Lehetséges, óra/hó	Tényleges, óra/hó	%
január	278	58	20
február	289	85	29
március	371	140	38
április	411	196	47
május	470	250	53
június	477	275	57
július	480	309	64
augusztus	440	283	64
szeptember	376	213	56
október	336	145	43
november	280	60	21
december	264	43	16
Év összesen:	4472	2057	46

A Budapesten vízszintes felületen mért napsugárzás intenzitás értékek alapján számított 1 m^2 felületre eső átlagos napi és összes havi besugárzás összegeit tartalmazza a 2. táblázat (KABOLDY 1999).

2. táblázat Budapesten vízszintes felületre naponta és havonta érkező átlagos napsugárzás

Hónap	Átlagos besugárzás, kWh/m^2 nap	Összes besugárzás, kWh/m^2 hó
január	0,7756	24
február	1,468	41
március	2,733	85
április	4,13	124
május	5,171	160
június	5,75	172
július	5,807	180
augusztus	4,988	155
szeptember	3,82	115
október	2,184	68
november	0,826	25
december	0,533	15
évi összes:	3,2	1166

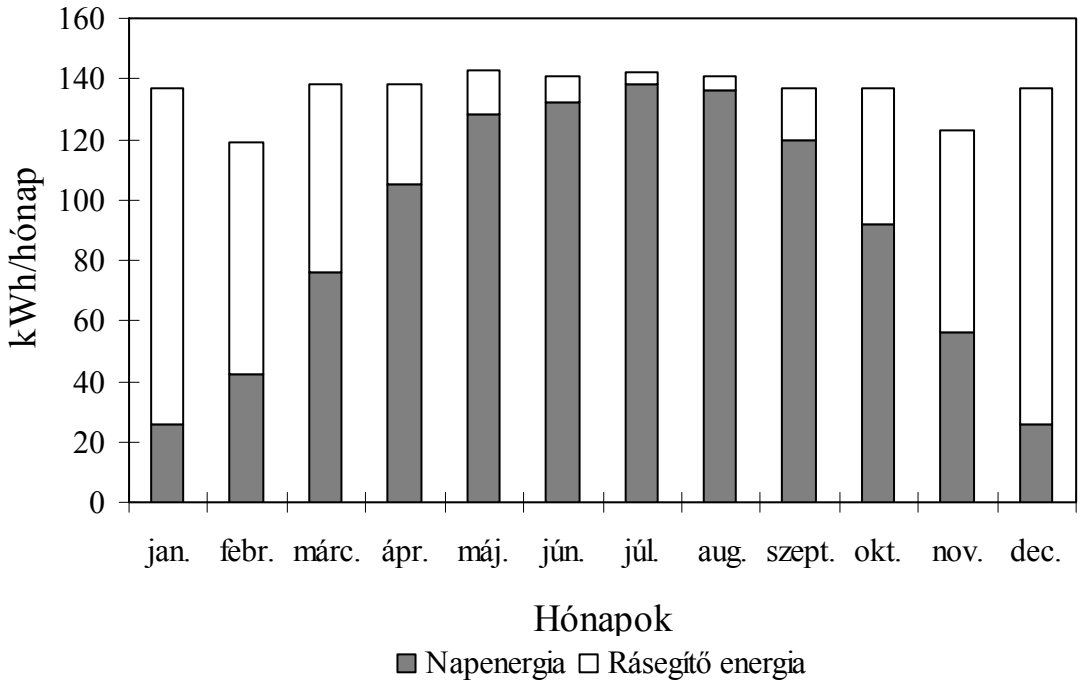
A napsugárzás alapvetően kétféle módon hasznosítható, közvetett és közvetlen módon. Közvetett hasznosítás például a fotoszintézis, hullám, szél és víz energiájának hasznosítása.

A közvetlen hasznosítás módszerei a sugárzás elnyelő berendezések alkalmazásán alapulnak. A termikus hasznosításra aktív és passzív elemeket alkalmaznak, míg a fotovillamos elven működő napelemekkel villamos áram állítható elő.

A napenergia közvetlen hasznosítására szolgáló passzív rendszereket főleg az építészetben alkalmazzák. A hagyományos épületekhez képest a megfelelő tájolású, belső térelrendezésű, megfelelően megválasztott szerkezeti anyagokkal kialakított épület, az un. naptér, alkalmazása a jelentős fűtési energia megtakarítás mellett, a természetes megvilágítás és a komfortosabb klimatikus feltételek miatt is előnyös.

A napenergia közvetlen hasznosítására szolgáló aktív rendszerek legfontosabb eleme a napenergia összegyűjtésére szolgáló szerkezet, amit napkollektornak neveznek. A kollektorok hőhordozó közege levegő és folyadék lehet.

Az Európai Unióban telepített napkollektoros rendszerek döntő többségét a háztartási használati melegvíz készítésben alkalmazzák. A rendszereket úgy méretezik, hogy a nyári hónapokban a használati melegvíz készítés közel teljes energia igényét a napenergia fedezze. Az ily módon méretezett rendszerek az éves használati melegvíz készítési energiaigény megközelítőleg 30-50%-át biztosítják. A 3. ábra a napenergia részesedését mutatja egy háztartás használati melegvíz ellátásában (KING et al. 1995).



3. ábra A napenergia részesedése a használati melegvíz előállításban

A megújuló energiaforrások növekvő mértékű felhasználásával kapcsolatos hazai fejlesztési koncepciók és stratégiai megfontolások megalapozása számára a Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottságának Megújuló Energetikai Albizottsága elvégezte Magyarország megújuló energetikai potenciáljának reális technikai felmérését (IMRE 2004).

A közvetlen napenergia hasznosítás vizsgálatát – felhasználási területenként: építészeti, épületgépészeti hőhasznosítás, fotovillamos hasznosítás, mezőgazdasági célú hasznosítás, valamint a közvetett napenergia-hasznosítás (biomassza, szélenergia, vízenergia) hazai potenciáljának technikai számbavételét az Albizottság szakmai csoportjai végezték. Mindezek mellett a geotermikus energia hazai technikai potenciáljának felmérése is megtörtént.

A dolgozat témájában, az aktív termikus napenergia hasznosítás szempontjából a vizsgált felhasználási területek közül az épületgépészeti hőhasznosítás, és a mezőgazdasági célú hasznosítás a legfontosabb.

Az épületgépészeti termikus napenergia hasznosítási potenciál megítélése jelenleg csak becsléseken és tapasztalatokon alapul. A hasznosítási potenciál döntő része az épületekhez, azok hasznosítható tetőfelületéhez kapcsolható. 2010-ben – a jelenleg becsült működő 40 ezer m^2-el együtt – összesen kb. 450.000 – 500.000 m^2 napkollektor működése prognosztizálható, ha a szükséges támogatások, pályázati lehetőségek és egyéb ösztönzők rendelkezésre állnak. Az ország aktív termikus napenergia hasznosítási potenciálja ennél nagyságrendekkel nagyobb: csak a lakóépület állomány hasznosítható felületét figyelembe véve összesen kb. 32 millió m^2 napkollektor helyezhető el, amely kb. 48 PJ/év nagyságrendű hőenergia kapacitást jelenthet (KABOLDY 2005).

A termikus napenergia hasznosítás mezőgazdasági alkalmazása a leginkább energiaigényes területekhez, a technológiai melegvíz-készítéshez, a szárításhoz és a növényházak fűtéséhez kapcsolódik. Az elvégzett számítások és becslések alapján a technológiai melegvíz-készítésnél 1,010 PJ/év, a szárításnál 1,402 PJ/év a növényházi fűtésnél pedig 0,206 PJ/év a rendelkezésre álló termikus napenergia potenciál nagysága (FARKAS 2005).

2.2. A termikus napenergia hasznosítás energiapolitikája és támogatási rendszere

Egy ország energiapolitikájának bármilyen társadalmi keretek között is történik az ország irányítása, mindig csak azonosak lehetnek a fő célkitűzései: az ország energiaellátása minél biztonságosabban, minél kisebb költségekkel, vagyis minél hatékonyabban történjen. Cél a környezet terhelésének mérséklése, a társadalom egészségének védelme (BOHOCZKY 1999).

A kormányzat elsőként 1995-ben deklarálta szándékát a megújuló energiaforrások hazai alkalmazásának támogatására. A kormány hosszú egyeztetés után a 2399/1995. sz. határozatával elfogadta az Országos Energiatakarékossági, illetve Energiahatékonyság-növekedést Elősegítő Cselekvési Programot. Az ebben felsorolt feladatok között szerepelt a megújuló energiaforrások hasznosításának bővítése témakör is (BOHOCZKY 1997). A határozat végrehajtásához azonban nem intézkedtek a pénzügyi források rendelkezésre bocsátásáról. Ezen a helyzeten változtatott a kormány 1107/1999. (X.8.) Korm. határozata. A 1107/1999. (X.8.) Korm. határozat a 2010-ig terjedő energiatakarékossági és energiahatékonyság-növelési stratégiáról rendelkezik (Magyar Közlöny 1999), amely 7 fejezetből áll, ill. a hozzácsatolt melléklet 14 pontban foglalja össze a cselekvési programot.

A kormány az energiaellátás biztonságának a növelése, az importfüggőség mérséklése, a fenntartható fejlődés biztosítása, a környezetvédelmi követelmények teljesítése, a korlátozottan rendelkezésre álló hagyományos (fosszilis) energiaforrásokkal való takarékosság érdekében 2010-ig a következő - energiatakarékossággal és hatékonyság-növeléssel kapcsolatos - főbb célokat tűzi ki:

- a gazdaság fejlődését reprezentáló hazai össztermék (GDP) hosszabb távú, mintegy 5% évi átlagos növekedési ütemének a biztosításához a gazdaság összes energiaigényének (az egységnyi GDP előállításához szükséges energiamennyiségnek) évi 3,5%-kal kell mérséklődnie. Az energiaigény ilyen mértékű javulása szükséges ahhoz, hogy az energiafelhasználás éves átlagos növekedési üteme ne haladja meg az 1,5%-ot,
- e követelmény elősegítéseként el kell érni, hogy a részben államilag támogatott energiamegtakarítási tevékenységek révén 2010-re mintegy 75 PJ/év hőértékű (1,8 Mt kőolajjal egyenértékű) energiahordozó megtakarításra, illetve hazai megújuló energiahordozókkal kiváltásra kerüljön. E megtakarítások révén a kéndioxid-kibocsátás 50 kt/év, a széndioxid-kibocsátás 5 Mt/év mértékben mérséklődjön,
- a hagyományos energiahordozókkal való takarékoskodás, valamint a környezeti ártalmak mérséklése érdekében a megújuló energiahordozók jelenlegi 28 PJ/év felhasználását 2010-ig 50 PJ/évre kell növelni;

A melléklet 2. pontja kitér az energiatakarékos szemléletre, folyamatos ismeretterjesztésre. A társadalom egészében szükséges az energiatakarékossági szemléletre történő nevelés és ismeretterjesztés. E tevékenységet már az oktatás keretében kell megkezdeni. Az energiatakarékossággal és a környezet óvásával kapcsolatos ismeretek széles körű elterjesztése érdekében támogatni kell a szaktanácsadó hálózatok, fogyasztói irodák szervezését és működését. Az energiatakarékosság fontosságát és módszereit széles körben meg kell ismertetni (reklám, média, fogyasztói brosúra stb.), nagy jelentősége van az

energiahatékonysági címke minél szélesebb körű rendszeresítésének. Az energiatakarékossági szemlélet kialakításával, a folyamatos ismeretterjesztéssel 2010-ig 10 PJ/év energiahordozó megtakarítás elérése a cél.

A 3. pont ismerteti az energiatakarékossággal és a megújuló energiahordozók bővítésével kapcsolatos K+F tevékenységet. Kiemelt feladat az energiatakarékosság és a megújuló energiaforrások bővítésének az érvényesítése a K+F programokban (Nemzeti Környezeti Műszaki Fejlesztési Pályázat, Országos Környezettudományi és Természetvédelmi Kutatási Pályázat stb.). Ezzel is elő kell segíteni, hogy a már ismert és külföldön alkalmazott technológiák Magyarországon is minél nagyobb mértékben kerüljenek bevezetésre, a magyar kutatók bekapcsolódjanak a külföldi kutatásokba, illetve a hazai technológiafejlesztéseknél előnyben részesüljenek az energiatakarékos és a környezetvédelem szempontjából is kedvező eljárások (pl. referenciaüzemek létesítése). A K+F tevékenységen belül az energiatakarékosság előtérbe helyezését elsősorban jogi eszközökkel lehet biztosítani, de lehetőséget kell biztosítani kedvezményes hitelek felvételére is.

A megújuló energiaforrások hasznosításának bővítéséről a 14. pont szól. A környezetvédelmi követelmények teljesítése érdekében a megújuló energiaforrások hasznosításának növelésére programot kell kidolgozni. Fel kell mérni az e célra számításba vehető külföldi pénzügyi forrásokat, valamint támogatási formákat. A megújuló energiaforrásokkal előállított villamosenergia-termelő kapacitások létesítését, a hőenergia termelést és az energetikai növénytermesztést az Energiatakarékossági Program keretéből vissza nem térítendő támogatásokkal, illetve kedvezményes hitelekkel kell támogatni. Az Energiatakarékossági Programon belül 2000-2001. években évente 100 M Ft-ot, a környezetterhelési díjból történő intenzifikálást követően évente e célra legalább 400-500 M Ft ráfordítást terveztek. Célkitűzés volt, hogy a megújuló energiahordozó felhasználás 2010-ig 20 PJ/évvel növekedjen.

A 14/a alatt, a megújuló energiahordozók felhasználás növelési programján belül a biomassza, a geotermikus hőenergia és szerves hulladékok hasznosítás bővítésének kiemelt támogatását; 14. b) alatt pedig "20000 napkollektoros tető 2010" programját vállalja a kormány, amely a nap energiájának fokozottabb hasznosítása érdekében a megújuló energiahordozókon belül szükséges a hő és melegvíz napkollektorokkal történő előállításának növelését tartalmazza. 2010-ig legalább 20000 intézménynél és lakóépületnél célszerű e hő-előállítási módot megvalósítani. A lakásonkénti szükséges beruházási összeg 20-30%-át vissza nem térítendő támogatás formájában kell biztosítani az Energiatakarékossági Program keretéből.

Az Energiatakarékossági Program pályázati rendszer 2001-ben és 2002-ben a Széchenyi Terv részeként működött, 2003-tól pedig a Nemzeti Energiatakarékossági Program (NEP) keretein belül. Ezen pályázati rendszerek

jelentős, de nem kizárólagos eszközei a 1107/1999. (X. 8.) Korm. határozattal elfogadott hosszú távú, 2010-ig szóló energiatakarékossági és energiahatékonyság-növelési program és a hozzá kapcsolódó Cselekvési Program megvalósításának. A további eszközök közé tartozik például az Energiatakarékossági Hitel Alap (korábbi "német szénsegély"), a Phare Energiahatékonysági Vegyes Finanszírozású Forgó Alap, a Környezetvédelmi Alap Célelőirányzat (KAC), illetve több helyi, vagy regionális kezdeményezésű program is (Energia Központ Kht. 2005).

A Nemzeti Energia Takarékossági program keretében, a megújuló energiaforrások felhasználásának bővítésére, 2000 – 2004. években folyamatosan működött a pályázati rendszer. Ezen pályázati programban, 2002-től 2005-ig a megújulók támogatása folyamatosan csökkent. 2002-ben 380 millió Ft, 2003-ban 320 millió Ft, 2004-ben pedig már csak 200 millió Ft volt a kiíráskor tervezett támogatási keret. A 2005. február 15-i állapot szerit a megújulókra vonatkozó NEP-2004-05 és NEP-2004-06 pályázattípus 2004-es együttes, mintegy 200 millió Ft-os támogatási keretéből forráshiány miatt csak 64,85 millió Ft-ot ítéltek meg, ami a tervezett támogatási keretnek mintegy 32,4%-a volt (Energia Központ Kht. 2005). A Nemzeti Energia Takarékossági program pályázatait 2005-ben forráshiányra hivatkozva nem írták ki. Az ismétlődő forráshiány miatt 2006-ban pályázatot csak 11 napig, március 31. és április 10. között fogadtak be. A pályázat meghirdetésekor a támogatási keretösszeg 183 millió Ft volt. A támogatás mértéke: a beruházási költség maximum 1/3-a, amely napkollektoros rendszer esetén nem haladhatta meg az 300 ezer Ft-ot (Gazdasági és Közlekedési Minisztérium 2006). A 2007-es kiírás lényegesen különbözött a korábbi években meghirdetett pályázatoktól. A vissza nem térítendő támogatás arányát csökkentették és elindítottak egy hitelprogramot. A kiírás szerint a vissza nem térítendő támogatás mértéke a beruházási költség legfeljebb 15%-a, de lakásonként legfeljebb 265.000,-Ft. A pályázat alapján a pályázó jogosulttá vált a "Sikeres Magyarországért" Lakossági Energia-takarékossági Hitelprogram keretében a beruházás maximum 85%-ára kedvezményes, ~6,4%-os kamatú hiteligényelésre (Gazdasági és Közlekedési Minisztérium 2007a). A kedvezőtlenebb támogatási intenzitás következtében a 2007-ben megújuló energiaforrás hasznosításra benyújtott pályázatok támogatási összeg igénye mindössze 126 millió Ft-volt. A 2008-as pályázatnál a kiíráskor a vissza nem térítendő támogatás mértéke a beruházási költség legfeljebb 25%-a, de lakásonként legfeljebb 1 millió Ft. A felvehető kedvezményes hitel nagysága a támogatás igénybevétele mellett 0-75%, maximum 3 millió forint. Támogatás igénybevétele nélkül (csak hitel): 0-100%, maximum 4 millió forint (Gazdasági és Közlekedési Minisztérium 2008). A minisztérium jogutódja 2008. augusztus 15-ei fordulónappal visszamenőleges hatállyal módosította a Nemzeti Energiatakarékossági Program pályázati konstrukciót. Az eddig rendelkezésre álló 1,6 milliárd

forintos keretet a Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium további 1 milliárd Ft keretösszeggel növelte meg. A tárca emellett megemelte a támogatási intenzitást, valamint a támogatás maximális mértékét is. Megújuló energiaforrás hasznosítás esetén a 25%-os támogatási intenzitást 30%-ra növelte, a vissza nem térítendő támogatás eddigi maximális 1 millió Ft-os összegét 1,2 millió Ft-ra emelte (Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium 2008).

Magyarország EU csatlakozását követően megnyíltak a Strukturális Alapok, amelyekben a Környezetvédelem és Infrastruktúra Operatív Program (KIOP) keretében 2004-ben pályázatot hirdettek az „Energiagazdálkodás környezetbarát fejlesztése" címmel. A pályázat célja:

- A hazai megújuló energiaforrások felhasználásának növelése, széndioxid kibocsátás csökkentés, ezáltal a vidéki régiók gazdasági fejlődésének előmozdítása különös tekintettel a villamos energia megújuló energiaforrásokból való előállításának növelésére.
- A tudatos és ésszerű energiafelhasználás elősegítése az energiahatékonyság növelése és a légszennyező kibocsátások csökkentése.

A pályázat meghirdetésekor a támogatásra rendelkezésre álló keretösszeg 2004-ben 400 millió Ft, 2005-ben 1,7 Mrd Ft, 2006-ban 2,3 Mrd Ft. A pályázat feltételrendszere 2005-ben módosult. Az energiahatékonysági, illetve megújuló energiaforrás hasznosítási projektek támogatásának maximális mértéke 300 millió Ft. A villamos energiatermelést biztosító, megújuló energiaforrás hasznosítás támogatásának maximális mértéke nem volt korlátozva. A pályázati feltételrendszer módosításának célja az volt, hogy Magyarország az Operatív Programban meghatározott, az Európai Unió felé vállalt kötelezettségeit hatékonyan teljesíteni tudja (Energia Központ Kht. 2005).

A hazai energiapolitika részeként az alternatív és megújuló energiahordozók elterjesztésével kapcsolatos jogi szabályozás elkészítésére kérte fel a kormányt az országgyűlés 63/2005. (VI. 28.) OGY határozata az alternatív és megújuló energiahordozók elterjesztésének hatékonyabbá tételéről (Magyar Közlöny 2005).

A határozat szerint a villamos energia előállításához használt alternatív és megújuló energetikai beruházásokkal kapcsolatban a kötelező áram-átvételt törvényben kell szabályozni. Megjelöli továbbá: az egyszerűsített környezetvédelmi engedélyezési eljárás létrehozását, a termál kincs jobb hasznosítását elősegítő törvényi szabályozást, a mezőgazdasági alapanyagokból előállított folyékony energiahordozók kötelező üzemanyagokba keverését, a nagyobb arányú biogáz előállítás érdekében a gáztörvény módosítását, az energetikai növény és egyéb mezőgazdasági melléktermékek támogatási rendszerének kialakítását, továbbá az energetikai ültetvények területének növelése érdekében az erdőtörvény módosítását. A határozat a kormány

számára külön nem jelöl meg konkrét feladatot a napenergia aktív termikus hasznosításának elősegítése tekintetében.

Az Országgyűlés 2008. április 14-i ülésnapján fogadta el a 40/2008. OGY. határozatot a 2008-2020 közötti időszakra vonatkozó energiapolitikáról. A határozat az ellátásbiztonságot, a versenyképességet és a fenntarthatóságot jelöli meg hosszútávra szóló elsődleges célként. A célok megvalósulásának elősegítése érdekében többek között a megújuló energiaforrásokból nyert energia arányának növelését, a környezet- és természetbarát technológiák fokozatos bevezetését jelöli meg, amelyet az állami támogatási politikával és az Európai Uniós forrásokkal is ösztönözni kell. A határozat felkéri a kormányt többek között a megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére vonatkozó stratégia kidolgozására (Magyar Közlöny 2008).

A kormányzat előkészítette a "Magyarország megújuló energiaforrás felhasználás növelésének stratégiája 2007-2020" anyagot (Gazdasági és Közlekedési Minisztérium 2007b), amelyet 2007. júliusában társadalmi egyeztetésre bocsátottak. A munkaanyag az egyeztetés tapasztalatai és a 2008-ban megjelent Európai Uniós szabályozás, valamint a fenti 40/2008. OGY. határozat következtében vélhetően átdolgozásra fog kerülni.

Az Európai Unióban, 2005-ben az Európai Szolár Termikus Ipari Egyesülés (angolul: European Solar Thermal Industry Federation - ESTIF) és az Európai Megújuló Energia Tanács (angolul: European Renewable Energy Council - EREC) kampányt indított egy olyan európai irányelv létrehozásáért, ami támogatná a megújuló energiákkal történő fűtés és hűtés megvalósítását, főként napenergia, biomassza és a geotermikus energiaforrások felhasználásával (JONES 2005). Az irányelv megalkotását célzó felhívást 2005. áprilisában tették közzé, amihez augusztusig több mint 40 szervezet csatlakozott. A felhívásban megfogalmazottak szerint az Európai Unió fűtési és hűtési igényéből a megújulók 25%-os részesedésének elérése a cél. Mindehhez a felhívás nem javasol Európa szerte bevezetendő támogatási rendszert, de javasolja az egyes tagállamok részéről a cél eléréséhez szükséges, megfelelő súlyú intézkedések bevezetését.

Az Európai Unió 2008. január 23-án adta ki a megújuló forrásokból termelt energia használatának elterjesztését célzó irányelvét (Európai Közösségek Bizottsága 2008). Az irányelv közös keretet hoz létre a megújuló forrásokból előállított energia támogatására. Megállapítja a megújuló forrásokból előállított energiának az energiafogyasztásban betöltendő összarányára és a megújuló energiának a közlekedésben felhasználandó részarányára vonatkozó kötelező célkitűzéseket. Lefekteti a származási garanciákra, a közigazgatási eljárásokra és a villamos energia hálózatba való bekapcsolásra vonatkozó a megújuló forrásokból előállított energiával kapcsolatos szabályokat. Megállapítja a környezeti fenntarthatóság kritériumait a bioüzemanyagok és egyéb folyékony

bio-energiahordozók számára. A várhatóan 2010-ben hatályba lépő irányelv szerint a napenergia hasznosítás esetében a tagállamoknak a legalább 35%-os konverziós hatékonyságot elérő berendezéseket és rendszereket kell támogatniuk. A tagállamoknak képesítési rendszereket kell kidolgozniuk többek között a termikus napenergia rendszerek üzembe helyezői számára is. A minősítő rendszernek az irányelv negyedik mellékletében meghatározott kritériumokra kell épülni.

Az Európai Unió által megalkotott, a megújuló forrásokból előállított energia támogatását célzó irányelv az első olyan törvényi szabályozás, amelynek egyértelmű célja valamennyi megújuló energiaforrás támogatása, beleértve a napenergiás fűtést és hűtést is, nyilatkozta az Európai Szolár Termikus Ipari Egyesülés elnöke (EU MAPS OUT 2008). Az irányelv 2020-ig elérendő célként jelöli meg a megújuló energiaforrások részesedésének 20%-ra növelését a teljes energia felhasználáson belül. Ennek elérése érdekében a bizottság az egyes tagországokra vonatkozóan előírja az elérendő részesedést. Magyarországnak 2020-ig a teljes energia felhasználáson belül 13%-os részesedést kell elérnie a megújuló energiaforrásokból előállított energiának.

2.3. Napenergiás használati melegvízkészítő berendezések elemei

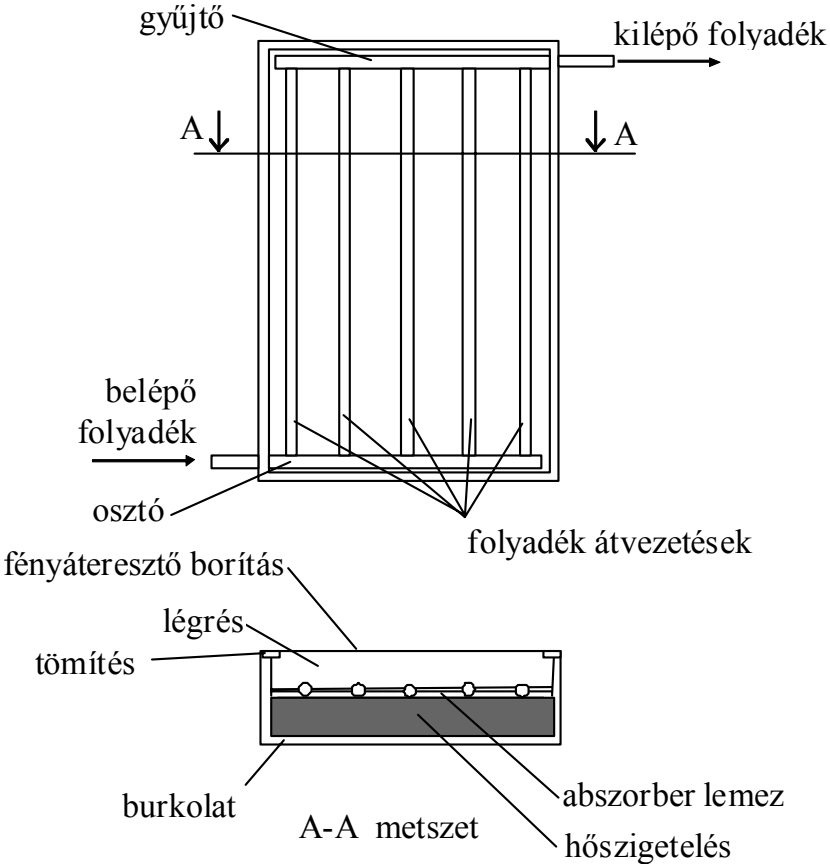
Melegvízkészítés esetén 30 °C-ot meghaladó hőmérsékletemelésre van szükség. Erre a feladatra elsősorban a jó minőségű szelektív sík-kollektorok vehetők számításba.

A szoláris melegvízkészítő rendszerek általában az alábbi főbb részekből épülnek fel:

- Napkollektorok, amelyek elnyelik és hővé alakítják a napsugárzás energiáját.
- Tárolók, melyek a napkollektorokkal termelt hőt melegvíz formájában tárolják a felhasználás időszakára.
- Hőcserélők, melyek a különböző hőszállító közegek közötti hőátadást biztosítják.
- Működtető, szabályzó, biztonsági és ellenőrző berendezések, szerelvények. Ide tartoznak a különböző gépészeti berendezések úm. keringető szivattyú, tágulási tartály, biztonsági szelep, nyomásmérő, vezérlő automatika, hőmérők és egyéb szerelvények.
- Csővezeték rendszer, vagy szolár kör a kollektor és a hőtároló összekötésére.

2.3.1. Napkollektor

Többféle kialakítású kollektor létezik, de a leggyakrabban az ún. sík-kollektorokat alkalmazzák. Európában a telepített kollektor felületről készített statisztikák alapján egyértelműen megállapítható, hogy a gyakorlatban döntő többségében üvegezett, folyadék munkaközegű, sík-kollektorokat alkalmaznak. Ez a trend a magyarországi telepítések esetén is fenn áll. Ezért a dolgozatban ezt a kollektor típust mutatom be részletesen. A 4. ábra egy folyadék munkaközegű sík-kollektor főbb részegységeit és felépítését szemlélteti.



4. ábra A sík-kollektor felépítése

A kollektor legfontosabb részegysége az abszorber vagy elnyelőlemez, amely elnyeli a ráeső sugárzást, majd azt hővé alakítja és átadja az elnyelőlemezben kialakított folyadék járatokban áramló hőszállító közegnek.

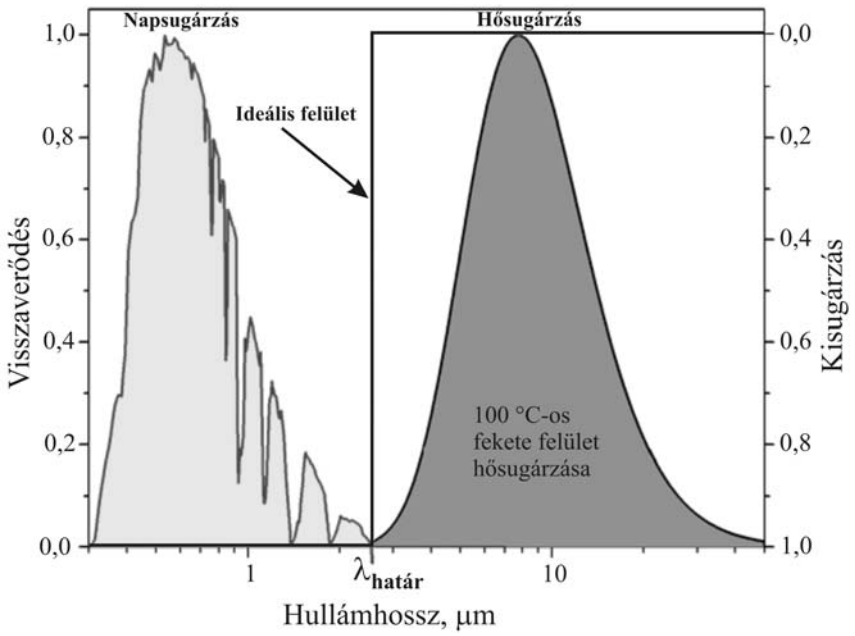
Az abszorberlemezek és csövek általában jó hővezetési tulajdonságú anyagokból, rézből és alumíniumból készülnek, hogy minél jobb hatásfokkal adják át a hőt a munkaközegnek, mialatt az áthalad az abszorberlemezekben kialakított járatokon. A fényáteresztő fedéssel és szelektív bevonatú elnyelőlemezzel épített kollektorok esetén az üresjárási, vagy stagnációs hőmérséklet - amikor a hőhordozó közeg nem áramlik - elérheti a 150-200 °C-t is. Ezért is célszerű fém abszorberlemezt alkalmazni, továbbá olyan konstrukció szükséges, ami az üzemi hőmérséklet hatására a kollektor alkotó

elemeinél kialakuló hőtágulást és összehúzódást károsodás nélkül lehetővé teszi.

Rossz hővezetési tulajdonságú abszorber esetén az elnyelő felület hőmérséklete jelentősen magasabb, mint a hőhordozó közegé. Ebben az esetben növekszik a sugárzási és a konvektív veszteség a hatásfok pedig csökken. Az abszorberlemez és a hőhordozó közeg közti hőátadás hatásfokára több más tényező is hatással van, így az abszorberlemez és a csövek vastagsága, a csövek osztása, az abszorberlemez és a csövek közötti kötés termikus ellenállása, valamint a cső és a folyadék közötti felületi hőátadási tényező, ami döntően a hőszállító folyadék tulajdonságaitól függ.

A csőjáratok kialakítása lehet párhuzamos csövezésű (osztó-gyűjtős), mint ahogy azt a 4. ábra szemlélteti, vagy csőkígyós. A csőkígyós kollektor csak szivattyús rendszerben, a párhuzamos csövezésű gravitációs rendszerben is alkalmazható.

Az *abszorberlemez bevonat*nak kettős követelményt kell teljesíteni: egyrészt a napsugárzás hullámhossz tartományában (0-2,5 μm) a beérkező teljes sugárzási spektrumot el kell nyelnie, másrészt az abszorber saját hőmérsékletéhez tartozó infravörös hullámhossz tartományban (2,5 μm fölött) a visszasugárzás a lehető legkisebb legyen. Az ideális szelektív bevonattal rendelkező abszorber a 2,5 μm alatti hullámhossz tartományban nem ver vissza sugárzást (vagyis mindent elnyel), míg a 2,5 μm fölötti hullámhossz tartományhoz tartozó sugárzást teljes egészében visszaveri, vagyis nem bocsát ki hőmérsékleti sugárzást. A szelektív bevonattal ellátott felületnek képesnek kell lenni "szelektálni" az ún. határ hullámhossz ($\lambda_{\text{határ}}$=2,5 μm) alatti és a fölötti hullámhosszak között. Az 5. ábra az ideális abszorber felület sugárzás visszaverési spektrumát szemlélteti (TINOX 2008).



5. ábra Az ideális szelektív elnyelő felület spektrális elnyelési és visszasugárzási jellemzői

Az abszorber felület napsugárzás elnyelési tulajdonságát az ún. abszorpciós együtthatóval (α) jellemzik, míg a visszasugárzási veszteség a kisugárzási együtthatóval (ε) adható meg.

A jobb napsugárzás elnyelés elérése érdekében a termikus napenergia hasznosítás kezdeti időszakában az abszorber lemezt speciális (szelektív tulajdonsággal nem rendelkező) festékkel feketére festették. A fekete festés hátránya, hogy jelentős (50 %) az infravörös tartományban a hőkibocsátása. Ezt a veszteséget mérsékelte a szelektív tulajdonságokkal rendelkező festék kifejlesztése. Az abszorber saját visszasugárzásának hatékonyabb csökkentése érdekében különböző típusú szelektív bevonatokat fejlesztettek ki.

A 80-as években alkalmazott néhány abszorber bevonat:

- szolár festékek (nem szelektív),
- nikkelszínezésű alumínium oxid, alumínium lemezen (szelektív),
- fekete króm, nikkel szendvics réteggel, réz lemezen (szelektív),
- fekete króm közvetlenül réz lemezen (szelektív),
- kobalt szulfid / oxid acéllemezen (szelektív),
- szelektívként viselkedő lakk acéllemezen.

Egész évben üzemeltetett rendszerek esetén inkább a szelektív bevonattal rendelkező kollektorokat célszerű alkalmazni, míg a nyári félévben szelektív bevonat nélküli elnyelők is alkalmazhatók.

Példaként két európai gyártó, a TeknoTerm és a Wagner & Co szelektív bevonatú abszorberének főbb műszaki jellemzőit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat Szelektív bevonatú abszorberek főbb műszaki paraméterei (SOLSTRIP É.n., TeknoTerm É.n.)

Gyártó	TeknoTerm Energi AB	Wagner & Co
Típus	TeknoTerm SunStrip®	SOLSTRIP-Solarabsorber
Napsugárzás elnyelés, α	0,95 (±0,02)	0,95
Hő kibocsátás, ε	0,15 (±0,02)	0,12
Abszorber szélessége, [mm]	143	120
Hőszállító közeg áramlási keresztmetszete, [mm^2]	60	38

A 2002-ben gyártásban lévő abszorberek főbb jellemzőit foglalja össze az M3 melléklet táblázata (PEUSER et al. 2002).

A táblázat alapján látható, hogy a napsugárzás tartományában valamennyi ma gyártásban lévő szelektív abszorber bevonat abszorpciós együtthatója legalább 0,94, de az esetek többségében ezt meghaladó érték. A nem szelektív bevonatok esetén, mint a szolár festékek az abszorpciós tényező 0,9 és 0,95 közötti érték. A táblázatban felsorolt szelektív bevonatok kisugárzási együtthatója 0,18 és 0,03 között változik.

A sík-kollektorok fedése, a fedés fényáteresztő és hőszigetelő képessége jelentősen befolyásolja a sík-kollektorok hatásosságát. Fedés nélkül az abszorberlemez hőveszteségе, különösen szeles körülmények esetén jelentős mértékű lenne és lehetetlenné válna magas hőmérséklet elérése. A fényáteresztő fedés reflexiója és abszorbciója okozta, kismértékű napsugárzás csökkenés árán, a kollektor hőveszteségе jelentősen csökkenthető.

Plusz költségráfordítással, a második fedőréteg alkalmazásával az elérhető hőmérséklet tovább növelhető. A második fedőréteg alkalmazása úgy válik egyre gazdaságosabbá, ahogy a kívánt melegvíz- és a környezeti levegő hőmérséklete közötti különbség növekszik. A kettősfedésű kollektorok magas hőmérsékletű alkalmazások és hidegebb klimatikus viszonyok esetén vehetők számításba. A gyakorlatban azonban többrétegű fedéssel nem gyártanak sík-kollektorokat. Azon alkalmazások esetén, ahol nincs szükség nagy hőmérsékletemelésre fedés nélküli abszorberek is alkalmazhatók. Ilyenek a csőjáratos gumi, vagy műanyag szőnyeg kollektorok, amelyek uszodák, szabadtéri medencék nyári fűtésére használhatók (BUZÁS J., KICSINY R. 2007).

A fedőanyagoknak a következő kívánalmaknak kell megfelelni:
- jó napsugárzás áteresztés,
- alacsony hősugárzás átbocsátás,

- jó ellenállás a napsugárzás és a légszennyező anyagok károsító hatásával szemben,
- megfelelő ellenállás jégverés, hó, szél, ütés, szállítás és az üzemeltetés során fellépő feszültségekkel szemben.

A gyakorlatban kollektor fedéshez általában alacsony vastartalmú edzett biztonsági üveget alkalmaznak. Az üveg előnye a jó fényáteresztő képesség és a megbízható, hosszú élettartam.

A kollektor hőszigetelése, az abszorberlemezek mögött, a kollektor hátoldalán és a szélek mentén a hőveszteség csökkentése érdekében hőszigetelést alkalmaznak. Hőszigetelésre 40-80 mm vastagságban szálas ásvány- vagy üveggyapot lemezt alkalmaznak. Ha a kollektort az épület tetőszerkezetébe integráltan építik be, akkor a kollektor termikus ellenállása az épületből kifelé irányuló hőveszteség esetében nem lehet kisebb a környező tetőszerkezeténél.

A kollektor dobozszerkezete. A doboz feladata a kollektor alkatészeinek, a fedés, a tömítés, az abszorber és a hőszigetelés összefogása, zárt egységben tartása, a nedvesség bejutásának megakadályozása. Mindezek mellett a befoglaló szerkezet kivitele időjárás álló és a telepítés és üzemeltetés során jelentkező terhelésekkel szemben ellenálló legyen. A jó minőségű, szelektív bevonatú kollektorok dobozszerkezetét korrózióálló kivitelben, általában alumínium lemezből mélyhúzott, vagy hajlított kivitelben, alumínium sajtolt profilból szegecselve, vagy csavarozva készítik. Egyszerű kivitelű kollektorok esetén a ház készülhet fából vagy műanyagból is.

A kollektor hatásfoka. A hatásfok a kollektor által hasznosított hőmennyiség, és a kollektor hasznos felületére napsugárzás útján érkező hőmennyiség hányadosa. Értékét az alábbi két veszteség típus befolyásolja:
- optikai veszteségek, melyeket a lefedés visszaverő- és áteresztő-képessége, valamint az elnyelőlemez abszorpciós képessége határoz meg. Az optikai veszteségek nem függnek a kollektor hőmérsékletétől,
- hőveszteség, amelynek nagysága a kollektor és a környezet közötti hőmérséklet különbségtől függ.

A napkollektorok hatásfoka a nemzetközileg elfogadott hatásfokképlet alapján adható meg (IMRE L., VARGA P. 1997):

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot X - k_2 \cdot I_c \cdot X^2$$

ahol:

η - a kollektor hatásfoka,

η_0 - a zérus hőmérsékletkülönbség melletti-, vagy optikai hatásfok, ahol $\eta_0 = \alpha \tau F'$,

α - az abszorber napsugárzás elnyelési tényezője,

τ - a kollektor lefedés fényátbocsátó képessége,

F' - a kollektor abszorber hőszállítási (hatásfok) tényezője,

k_1 [W m^{-2} K] - lineáris hőátadási tényező (méréssel meghatározott állandó),
k_2 [W m^{-2} K^2] - négyzetes hőátadási tényező (méréssel meghatározott állandó),
$X=(T_{cav}-T_{ca})/I_c$ [K m^2 W^{-1}] - a hatásfok összefüggés független változója,
I_c [W m^{-2}] - a kollektor felületre érkező globálsugárzás,
T_{cav} [°C] - a kollektorban áramló hőszállító folyadék közepes hőmérséklet,
T_{ca} [°C] - kollektor környezeti levegő hőmérséklet.

Az ismertetett összefüggéssel lehetővé válik a különböző gyártók napkollektorainak összehasonlítása. Az összehasonlítandó kollektor típusokhoz rendelkezésre kell állni - valamely akkreditált kollektor vizsgáló intézet mérései által meghatározott tényezőknek. Az alábbiakban példaként három hazai cég által 2003-ban forgalmazott kollektor típust hasonlítottam össze.

Az SKV-3 típusú napkollektort a Fiorentini Hungary Kft. gyártja és forgalmazza. A napkollektor hatásfokának számításához szükséges állandók a TÜV Süddeutschland 28601231-1 számú vizsgálati jelentésből származnak (Fiorentini Hungary Kft. É.n.).

A Heliostar 202 N2L típusú, thermosolar gyártmányú napkollektor állandói egy a forgalmazó, Naplopó Kft. által készített árajánlatból származnak (Naplopó Kft. 2003a).

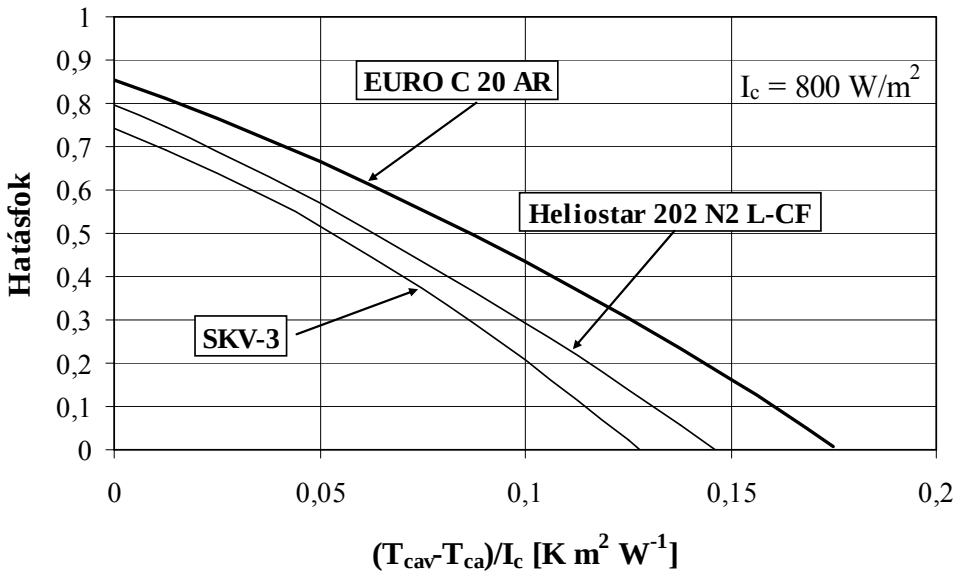
Az EURO C20 AR típusú kollektort a Wagner & Co Solartechnik GmbH gyártja, hazai forgalmazója a Wagner Solar Hungária Kft. A kollektor adatai a gyártó cég honlapján közzétett műszaki ismertetőből származnak (Wagner & Co Solartechnik 2003).

A 4. táblázat a három kollektor típus hatásfok képletének állandóit foglalja össze.

4. táblázat A különböző kollektor típusok hatásfok képletének állandói

Kollektor típus	η_0	k_1, W/m^{2}K	k_2, W/m^{2}K^2
SKV-3	0,741	3,688	0,0207
Heliostar 202 N2L	0,798	4,17	0,011
EURO C20 AR	0,854	3,37	0,0104

A 4. táblázatban megadott tényezők felhasználásával kiszámíthatók a különböző kollektor típusok hatásfok görbéi. A számításokat elvégezve a 6. ábra szerinti hatásfok diagramok adódnak, amelyek I_c = 800 W/m^2 globálsugárzás értékre vonatkoznak.



6. ábra Különböző kollektor típusok hatásfok görbéinek összehasonlítása

A hatásfok diagramok alapján meghatározható a kollektorok közötti sorrend. Az ábra alapján egyértelműen megállapítható, hogy a legjobb hatásfokkal az EURO C20 AR típusú kollektor rendelkezik. Ezt követi a Heliostar 202 N2L típusú napkollektor, végül az SKV-3 típusú napkollektor következik.

2.3.2. Napenergiás használati melegvíztárolók

A napenergia időszakos energiaforrás. A napenergia felhasználhatósága függ az évszakok változásától a nappalok és éjszakák hosszának arányától és az adott időjárási feltételektől (felhősödés, eső, hó, stb.).

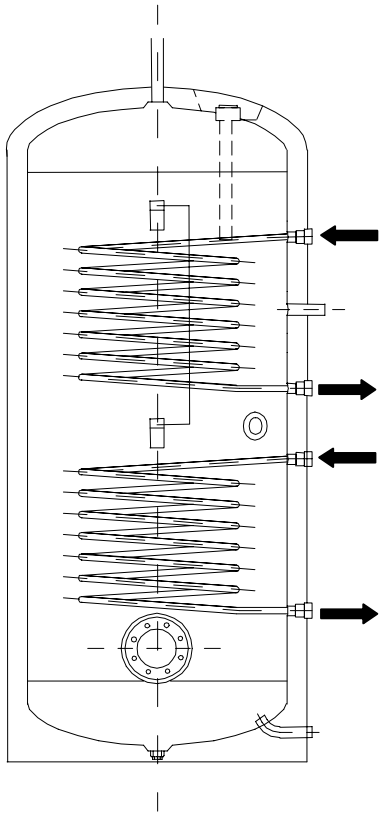
A felhasználást tovább komplikálja az a tény, hogy a napenergia más időszakban áll rendelkezésre, mint a felhasználói igények. A két fő alkalmazási területnél nevezetesen a használati melegvízkészítésnél és a fűtésnél ez úgy jelentkezik, hogy amíg nappal lehet nagy mennyiségben vizet melegíteni, addig a melegvíz iránti igény főleg este és kora reggel jelentkezik, fűtési célú felhasználásnál pedig a nagy nyári nyereség áll szemben a téli nagy igénnyel és kis nyereséggel. Ezért szükség van valamilyen tároló eszközre.

A napenergiás használati melegvízkészítő rendszerekben alkalmazott tárolók két szempontból különböznek az épületgépészetben általában szokásos tárolóktól, nevezetesen a fajlagos méretük nagyobb, valamint kialakításuk alapján alkalmasak egy, vagy több belső hőcserélő csőkígyó, vagy villamos fűtőpatron egyidejű beépítésére.

A kisebb méretű, elsősorban háztartásokban alkalmazott tárolókat belső hőcserélő csőkígyóval látják el, amelyeken a kollektorban felmelegedett hőszállító közeg áramlik. A hőcserélőnek a kis hőmérséklet különbségek miatt megfelelően nagy felülettel kell rendelkeznie, különben a kollektorban

felmelegedett hőszállító közeg nem tudja átadni hőenergiáját a tároló vizének. Ekkor a kollektorba visszatérő hőszállító közeg hőmérséklete magasabb lesz, ezzel csökkentve a kollektor hatásfokát.

A tárolók kialakításuk szerint több félék lehetnek. Készülhetnek a tartályba hegesztett hőcserélő csőkígyóval, ezt a megoldást szemlélteti a 7. ábra, de a hőcserélő csőkígyó beépíthető karimán keresztül is, vagy a tároló körülvehető fűtőköpennyel is. A napkollektorok hőcserélő csőkígyója mindig alul, míg a kiegészítő fűtés csőkígyója, vagy a villamos fűtőpatron felül helyezkedik el. Ez a konstrukció a tárolóban lévő víz hőmérséklet különbség hatására kialakuló rétegződése miatt fontos, így a rásegítő fűtés elsősorban a vízelvételhez közeli felső térfogatot melegíti.



7. ábra Napenergiás melegvíztároló tartály beépített hőcserélőkkel

A tároló tartályok tervezésének két fő szempontja van. Az első a tároló méretének meghatározása a mennyiségi és minőségi igények alapján, tehát, hogy milyen hőmérsékletű vizet milyen mennyiségben akarunk biztosítani. A második a geometriai méretek meghatározása. Erre a hőmérsékletrétegződés miatt van nagy szükség, mivel a rossz átmérő és magasságarány megválasztása kedvezőtlenül befolyásolja a tárolóban kialakuló termikus rétegződést.

2.3.3. Hőcserélők

A hőcserélők feladata a rajtuk áthaladó, egymástól elkülönítetten áramló, eltérő tulajdonságú hőszállító közegek közötti hőátadás megvalósítása. A napenergiás

használati melegvízkészítő rendszer esetén például a hőcserélőnek kell biztosítania a kollektor körben hőszállító közegként alkalmazott desztillált víz - propilénglikol fagyálló folyadék és a felhasználói oldalon, a tároló körben keringtetett víz közötti hőátadást.

A hőcserélőnek a következő tulajdonságokkal kell rendelkezni:

- a hőszállító közegekkel szemben kémiailag semleges legyen,
- a csatlakozó áramlási körökben alkalmazott anyagokkal kompatibilis legyen,
- az üzemeltetés során kialakuló hőmérséklet tartományra érzéketlen legyen,
- jó hőátadási és hővezetési jellemzők,
- a hőcserélő falak mentén kis hőmérséklet különbség legyen,
- alacsony nyomásveszteség.

A felsorolt jellemzők alapján a választott hőcserélők anyaga általában rozsdamentes acél vagy réz.

Az egész évben üzemelő napenergiás használati melegvízkészítő rendszereket - a leggyakrabban alkalmazott konstrukciójukat tekintve - belső hőcserélővel vagy külső hőcserélővel alakítják ki.

A családi házaknál telepített napkollektoros rendszerek többségénél az ivóvíz hálózatra csatlakozó szolár tároló belső, beépített hőcserélővel rendelkezik. Ezek a hőcserélők sima vagy bordázott rézcsővel, sima rozsdamentes acél csővel, vagy korrózióálló bevonattal ellátott acélcsővel készülnek. A meleg hőszállító közeg kényszerkeringtetéssel áramlik keresztül a hőcserélő csövekben. A hőcserélő csövek külső oldalán a tárolóban lévő vizet a hőmérséklet különbség hatására kialakuló konvekciós áramlás hozza mozgásba.

A simacsöves hőcserélők esetén a hő az igen jó hővezető képességű csőfelületen keresztül adódik át. A cső felülete viszonylag kicsi, ezért megfelelő hosszúságú csövekre van szükség. Sima csövű hőcserélőknél 10 °C-os logaritmikus átlaghőmérséklet különbség esetén 1 m^2 kollektor felülethez megközelítőleg 0,2 m^2 hőcserélő csőfelület szükséges.

Bordáscsöves hőcserélőknél a hőátadásra rendelkezésre álló, egységnyi csőhosszra eső felületet nagymértékben növeli a bordázat. Ugyanakkor a csővezetékben áramló forró hőszállító közegtől a bordák hegye felé haladva jelentős hőmérséklet gradiens alakul ki. Ennek következtében a hőátadás nem növekszik olyan mértékben, mint ahogyan a hőátadó felület (ellentétben a simacsöves hőcserélőkkel). Bordázott csöves hőcserélőknél 10 °C-os logaritmikus átlaghőmérséklet különbség esetén 1 m^2 kollektor felülethez megközelítőleg 0,3-0,4 m^2 hőcserélő csőfelület szükséges.

Egy négyzetméter felületű simacsöves hőcserélő némileg jobb hőátszármaztatási tulajdonságot mutat, mint az ugyancsak egy négyzetméter felületű bordáscsöves hőcserélő.

Termoszifonos napkollektoros rendszerekhez gyakran alkalmaznak fűtőköpenyes tárolókat. A tárolót egy hengeres fűtőköpeny veszi körül. A kollektor körből a hőszállító folyadék a fűtőköpeny és a tároló fala közötti térbe áramlik, ahol a hőátadás a tároló külsőfalán át megy végbe. A tároló és a fűtőköpeny gyakran alacsony minőségű acélból készül, amennyiben a tároló ivóvízhálózathoz csatlakozik, akkor a tároló belső felülete zománcozott vagy galvanizált.

Nagyobb kollektor felülettel kialakított rendszerekhez megfelelően méretezett hőcserélők szükségesek. Ha a napenergia-hasznosító berendezést több egymástól függetlenül működő szolár tárolóval alakítják ki, akkor minden egyes tárolóban a teljes hőátszármaztatási teljesítményre méretezett hőcserélő beépítése szükséges. Ebben az esetben a tárolónkkénti belső hőcserélők használata igen költséges lehet. Tekintettel erre, a legtöbb nagyméretű rendszernél rendszerint külső hőcserélőket alkalmaznak.

A külső hőcserélőkben mindkét hőszállító közeg kényszerkeringtetéssel, egymással szemben áramlik az őket elválasztó fém felület mentén. Napkollektoros rendszerekben két gyakori típusuk a csőköteges és a lemezes hőcserélő.

A csőköteges hőcserélőknek a viszonylagosan nagy áramlási keresztmetszet miatt kisebb nyomásveszteségük van és kevésbé hajlamosak a szennyeződésre. Rozsdamentes acélból, rézből és acélból készülnek. Ezt a kivitelt gyakran alkalmazzák napkollektoros uszodavízfűtésre, mivel a forrasztott lemezes hőcserélők a klóros víz korróziós hatása miatt nem használhatók.

A lemezes hőcserélők csavarozott vagy forrasztott kivitelben készülnek. A lemezes hőcserélők dombornyomott lemezeit vagy összeforrasztják, vagy a lemezek közötti vízzáró tömítéssel összeillesztve csavarozással rögzítik. A forrasztott kivitelű hőcserélőket rendszerint csak megadott méretekben gyártják. Az alacsonyabb teljesítmény kategóriában a forrasztott kivitelűek a csavarozott változattól olcsóbbak.

Napkollektoros rendszerekhez, leggyakrabban ellenáramú lemezes hőcserélőket alkalmaznak. A hőcserélőket általában a gyártók által rendelkezésre bocsátott számítógépes programokkal lehet méretezni. A méretezésnél arra kell törekedni, hogy a kollektor kör a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten üzemeljen. A kisebb hőmérséklet különbséghez elegendően nagy hőcserélőt kell választani. A hőcserélő kiválasztásánál mind a kollektor, mind a tároló oldalon lévő szivattyú meghatároz egy térfogatáramot, ami jól használható a hőcserélő tervezéséhez. 5 °C-os logaritmikus átlaghőmérséklet különbség esetén egy m^2 kollektor felületre vonatkoztatva a hőcserélő szükséges átlagos fajlagos hőátadási teljesítménye kb. 100 W/°C/m^2 legyen. A hőcserélő nyomásvesztesége lehetőleg minél kisebb legyen, de ne haladja meg a 100 kPa-t.

2.3.4. Napenergiás használati melegvízkészítő berendezések irányítása

A használati melegvízkészítő napkollektoros rendszerek irányításának célja a kollektor és a tároló, valamint a tároló és a fogyasztó közötti energia áram szabályozása. Az irányító rendszer összetevői lehetnek:

- a kollektor elnyelő felületére eső napsugárzás optimális hasznosítását, hővé alakítását és annak a napenergiás tárolóba juttatását irányító berendezés,
- a napenergiás tárolóban eltárolt hő fogyasztók általi optimális felhasználását lehetővé tevő irányító berendezés (ha a hő felhasználás egyébként nem automatikusan a tárolóból történő elvétellel megy végbe).

Kis méretű napenergiás rendszerek esetén, ahol ugyan arra az egyetlen tárolóra dolgozik a napkollektor és a hagyományos fűtőberendezés is nincs szükség a tárolóban eltárolt hő fogyasztók általi optimális felhasználását irányító berendezésre.

A kollektorok által termelt hő tárolása kettős irányítási feladatot jelent. E feladat egyrészt a kollektor kör irányításából, másrészt a kollektor köri hőcserélő és a tároló közötti hőszállítás irányításából tevődik össze. A kollektor kör irányítása kis- és nagyméretű rendszerek esetén hasonló lehet, bár a tároló hőellátásában lehetnek különbségek. A kollektor kör és a tároló közötti hőcsere a tárolóba beépített, ún. belső hőcserélővel, vagy a tárolón kívül telepített, külső hőcserélővel valósítható meg.

A hőhasznosítás irányítása belső hőcserélős tároló esetén a hőmérséklet különbség alapján történhet. Ekkor a kollektor köri keringtető szivattyú akkor kapcsol be, ha a kollektorból kilépő hőszállító közeg és a tároló aljában lévő víz közötti hőmérsékletkülönbség nagyobb, mint a szabályozón beállított érték. A szivattyú kikapcsol, ha a hőmérsékletkülönbség a meghatározott kapcsolási érték alá csökken. A szokásos beállítási értékek:

- bekapcsolási hőmérséklet különbség: 6-10 °C,
- kikapcsolási hőmérséklet különbség: 3-4 °C.

Az előzőekben ismertetett, kizárólag hőmérséklet különbségmérésen alapuló szabályozás kombinálható a kollektor felületre érkező nap-sugárzásméréssel. Ekkor a kollektor köri keringtető szivattyú akkor kapcsol be, ha a kollektor síkjába telepített sugárzásmérő által érzékelt napsugárzás túllépi a beállított értéket (pl. 200-250 W/m^2).

Abban az esetben, ha a szabályozás a tároló aljában mért hőmérsékletet nem veszi figyelembe, hanem csak a napsugárzási küszöb értéket figyeli, a keringtető szivattyú túl korai bekapcsolása is előfordulhat. Ekkor a kollektor körben a tárolónál lévő hőcserélő megkerülésére szükséges egy átkötő ág kialakítása. Közvetlenül az átkötő vezetékszakasz és a hőcserélőhöz menő csővezeték elágazása előtt elhelyezett hőmérsékletérzékelővel és a tároló

aljában lévő hőmérséklet szenzorral mért hőmérséklet különbség alapján vezérelhető egy háromjáratú szelep. A szelep csak akkor irányítja a kollektor köri hőszállító közeget a hőcserélőbe, ha a kollektor köri és a tároló alsó részében mért hőmérséklet különbség meghaladja a szabályozón beállított bekapcsolási értéket. Mialatt a megkerülő ág zárva van, vagyis a hőszállító közeg a hőcserélőn keresztül áramlik a napsugárzás mérő érzékelő jele deaktiválódik. A keringtető szivattyút a szabályozó akkor kapcsolja ki, ha a kollektor körből a hőcserélőbe belépő és a tároló aljában mért hőmérséklet különbség a beállított kikapcsolási érték alá csökken.

A hőhasznosítás irányítása külső hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer esetén a kollektor köri és a tároló köri szabályozásból tevődik össze. A tárolón kívül elhelyezkedő hőcserélőhöz egy további áramlási kört kell kialakítani, amiben egy keringtető szivattyú áramoltatja a tároló vizét a hőcserélőn keresztül. Ezen kialakításnál a kollektor köri és a tároló köri keringtető szivattyú irányítása egymástól eltér.

A kollektor kör szabályozása gyakorlatilag azonos a beépített hőcserélővel kialakított rendszereknél ismertetett változatokkal. A tároló köri keringtető szivattyú kettős feltétel teljesülése esetén akkor kapcsol be, ha egyrészt a kollektor körben a hőcserélő előtt és a tároló alsó részében mért hőmérséklet különbség meghaladja a szabályozón beállított bekapcsolási értéket, másrészt a kollektor köri szivattyú már bekapcsolt állapotban van. A tároló köri szivattyú a kollektor köri keringtető szivattyú kikapcsolásáig marad bekapcsolt állapotban.

Külső hőcserélővel rendelkező rendszerek esetén a hőcserélőnél kialakított megkerülő ág elsődleges feladata a hőcserélő vízzel feltöltött szekunder oldalának fagyvédelme. Hideg téli éjszakán a kültéri csővezetékben lévő hőszállító közeg -18 °C-ra is lehűlhet. A reggeli nap a kollektorokat felfűtheti, míg a kültéri csővezetékekben a fagyálló folyadék továbbra is hideg marad. A kollektor köri keringtetés bekapcsolásakor a lehűlt folyadék a hőcserélőbe áramolhat. Ha a csővezetékrendszer beltéri része igen rövid, akkor a belső csővezeték csak keveset melegít a lehűlt folyadékáramon, például -13 °C. Ha ez a hideg folyadékáram belép a hőcserélőbe, a szekunder oldalon lévő víz azonnal megfagy a hőcserélőben, így a hőcserélő még szét is repedhet. Németországi tapasztalatok alapján ilyen jellegű meghibásodások a gyakorlatban is előfordultak (PEUSER et al. 2002). Ezért a hőcserélőt megkerülő ág mindig nyitott, amikor a kollektor kör hőcserélő előtti szakaszán mért hőmérséklet kisebb, mint 4 °C, e fölötti hőmérséklet esetén pedig zárva van.

Az előzőekben ismertetett rendszer- és irányítási változatoknál a tároló hőmérsékletének bizonyos határok közötti befolyásolására csak a térfogatáram változtatásra alkalmas, szállított mennyiség szabályozással rendelkező

szivattyúk használhatók. Külső hőcserélővel kialakított rendszereknél mindkét szivattyút ennek megfelelően kell szabályozni.

A meghatározott minimum hőmérséklet eléréséhez, a kollektor körben a hőszállító közeg áramoltatását kis sebességgel kell megkezdeni, a tervezett legalacsonyabb üzemi hőmérséklet eléréséig. Azután a térfogatáram fokozatosan növelhető, így nincs, vagy csak csekély mértékű lesz a hőmérsékletemelkedés.

Ez a koncepció magas hőmérséklet igényű alkalmazások esetén előnyös, ilyen például a szoláris épületfűtés és a technológiai hőtermelés. A módszer szintén előnyös a rásegítő energia felhasználás minimalizálásában is.

A napenergiás tárolók felfűtésénél a hőmérsékletkülönbség hatására létrejövő rétegződés kialakulása háromféle módon is elősegíthető:

- a rétegződés aktív módon, szelepekkel és szivattyúkkal segíthető elő, a felmelegített folyadékáram a tároló belsejében, különböző magasságokban elhelyezett hőcserélőkhöz vagy betáplálási pontokhoz irányítható,
- több sorba kapcsolt tároló esetén a felmelegített folyadékáram, szabályozhatóan a megfelelő tárolóba irányítható,
- a rétegződés a tárolóba beépített passzív elemekkel is elősegíthető, melyekkel a felmelegített folyadékáram a sűrűségkülönbség elve alapján a megfelelő hőmérsékletű rétegbe áramoltatható.

Az aktív módon segített rétegződésnél kettő, maximum három betáplálási szintet célszerű alkalmazni. Ebben az esetben a csövezés és a szabályozás további költségei még elfogadhatóak maradnak.

Sorba kapcsolt tárolók esetén szintén kettő, vagy három tároló vagy tároló csoport kialakítása célszerű.

Több hőmérsékleti szintű, aktív módon segített rétegződés megvalósításához kifinomult szabályozási rendszer szükséges.

2.3.5. A kollektor kör és főbb jellemzői

Egész évben üzemelő, kétkörös, fagyálló folyadékkal feltöltött, keringtető szivattyúval ellátott napkollektoros rendszerek esetén a kollektor kör az alábbi elemeket tartalmazhatja:

- kollektorok,
- hőcserélő,
- szivattyú,
- tágulási tartály,
- nyomáshatároló biztonsági szelep,
- szelepek (elzáró, visszacsapó, légtelenítő és háromjáratú),
- csővezeték a kollektorok, a hőcserélő és a gépészeti komponensek összekötésére,

- csőszigetelés,
- nem mérgező, fagyálló hőszállító folyadék a kollektorokban, a hőcserélő kollektorhoz csatlakozó primer oldalán és a kollektort és hőcserélőt összekötő csővezetékben,
- felfogó tartály a biztonsági nyomáshatároló szelep nyitásakor túlfolyó hőszállító folyadék számára,
- feltöltő szivattyú,
- szűrő,
- buborékleválasztó,
- nyomásmérő óra,
- hőmérő,
- térfogatáram, vagy hőmennyiségmérő.

A felsorolt elemeket a kollektor körben előforduló hőmérséklethez és nyomáshoz kell megválasztani. Az üzemeltetés során a nyári időszakban, intenzív napsugárzás és magas hőmérséklet melletti stagnáció a legkritikusabb. Keringtető szivattyúval szerelt rendszerek esetén, stagnáció több okból is kialakulhat. Ilyen lehet például a villamos hálózat rendszeres, éves karbantartás miatti lekapcsolása, a szabályozó vagy a szivattyú meghibásodása. Intenzív napsugárzásnál a stagnáció során sík-kollektorokban 200 °C, míg vákuumcsöves kollektorokban a 300 °C-ot is elérheti a hőmérséklet.

Ezek a hőmérsékleti csúcsok rendszerint csak a kollektorokban és a közvetlenül csatlakozó csővezetékekben jelentkezhetnek. Ha azonban a stagnációt követően újra indul a szivattyú, akkor a kollektorból kilépő, a hőcserélőig áramló folyadék, akár 160 °C-os hőmérsékleti csúcsot is okozhat a kollektortól előremenő csővezeték szakaszban. Az, hogy a hőmérsékleti front milyen messzire képes terjedni, igen erőteljesen függ a kollektortól, a tároló hőmérséklettől és a csővezetékrendszer geometriájától. Legrosszabb esetben, ha a hőcserélőbe belépő hőszállító közeg hőmérséklete 150 °C, akkor az abból kilépő, a kollektorhoz visszatérő csővezetéken végighaladó folyadékáram hőmérséklet a 120 °C-ot is elérheti.

Az ilyen típusú hőterhelések megelőzésére a kollektor kör stagnáció utáni szabályozással látható el, ami addig nem indítja a szivattyút, amíg a kollektor le nem hűl a beállított, például 140 °C-os hőmérsékletre.

A szerelvények megválasztásánál a kollektor körben kialakuló nyomást is figyelembe kell venni. A napkollektoros rendszerekben alkalmazott szerelvények nyomáshatára általában 1000 kPa-ig terjed. A kollektorok többségét erre a nyomásra tervezik, bár vannak konstrukciók, ahol ez az érték csak 600 kPa. Az egyes szerelvények közötti nyomás gradiens az egymáshoz képesti relatív magasságtól függ. Tetőn telepített kollektorok és az alagsorban elhelyezett tároló és hőcserélő primer oldalán, valamint a csatlakozó

csővezetékekben a nyomás sokkal nagyobb is lehet, mint a kollektoroknál. A csővezeték rendszerben 10 m vízoszlop magasság megközelítőleg 100 kPa nyomásnövekedést jelent, amit feltétlenül figyelembe kell venni a nyomáshatároló biztonsági szelep megválasztásánál.

A kollektornál el kell kerülni az alacsony nyomású üzemelést, ami levegő beszivárgást is okozhat a kollektor körbe, továbbá az esetlegesen stagnáló hőszállító folyadék elpárolgása is alacsonyabb hőmérsékleten következik be. Ennek elkerülésére, a kollektor kör kialakításától függően, a légköri nyomáshoz képesti túlnyomást a 0 kPa-nál kissé nagyobb és 300 kPa-ig terjedő határok között célszerű tartani.

A kollektor körben hőszállító folyadékként rendszerint 50-50% vagy 60-40% keverési arányban víz és fagyálló folyadék keverékét alkalmazzák. Ilyen keverési aránynál a stagnációnál kialakuló hőmérséklet növekedés hatására bekövetkező elpárolgás elleni védelem 1000 kPa, vagy azt meghaladó kollektor köri nyomást kíván. Ebben az esetben a rendszer alacsonyabban lévő szerelvényei, a folyadékoszlop magasságtól függően, még nagyobb nyomásnak vannak kitéve. A nagyobb nyomás állóságú szerelvények és rendszer kialakítása költségesebb, ami miatt ezt a megoldást nem alkalmazzák.

Elméletileg magasabb elpárolgási hőmérsékletű keverék is használható lenne, de ennek a lehetőségnek technikai, ökológiai és költség korlátai vannak.

Nagy napenergiás részesedésre tervezett napkollektoros rendszerekben nagyméretű, drága tárolóra van szükség, vagy ennek hiányában gyakori és hosszú ideig tartó stagnáció alakul ki. Így csak a magas üzemi nyomás nyújthat védelmet az elpárolgással szemben. Például a 60-40% víz-fagyálló folyadék keverék elpárolgása 500 kPa nyomáson, 160 °C-nál indul meg. Alacsonyabb hőmérsékleten, vagy nagyobb nyomáson a keverék elpárolgása nem indul meg. Ilyen üzemi körülmények mellett kialakuló stagnáció esetén a teljes kollektor kör hosszú ideig tartó termikus igénybevételnek van kitéve. Ennek hatására a hőszállító folyadék gyorsabban öregszik, vegyi összetétele, minősége kedvezőtlenül változhat. Más szempontból pedig, a túlhevült kollektorban a hőszállító közeg kis mennyiségének elpárolgása jelentősen mérsékli a folyadék töltet fennmaradó részének a termikus igénybevételét. Ekkor csak a kollektorban lévő kis mennyiségű folyadék van kitéve a nagymértékű hőmérsékletnövekedés okozta igénybevételnek. Ezért rendszeresen hosszú stagnációval üzemelő rendszerek esetén a relatív alacsonyabb üzemi nyomást célszerű előnyben részesíteni, ezzel megengedve a mérsékelt elpárolgást. Üzem meleg, légtelenített kollektornál megfelelő nyomás érték lehet a 300 kPa, így megközelítőleg 140 °C-nál megengedve az elpárolgást.

A napkollektoros rendszerek döntő többségében a hőszállító közeg keringtetésére szivattyúkat alkalmaznak. A szivattyúkat a napkollektoros rendszerek kollektor körében – a kisebb termikus igénybevétel miatt – a

kollektorhoz visszatérő csővezetékbe kell beépíteni. A kollektor körben a hőszállító közeg áramlásának leállásakor a kollektorban stagnáló folyadék hőmérséklete megemelkedhet, így a kollektortól a hőcserélő vagy a tároló felé előremenő vezetékben időlegesen akár 130 °C-os hőmérsékleti csúcsok is kialakulhatnak. Jól méretezett rendszer esetén ez csak ritkán, és néhány másodpercre jelentkezik. Nagyobb hőmérsékleti csúcsok megelőzhetők például olyan szabályozóval, ami nem indítja a szivattyút addig, amíg a kollektor kilépő hőmérséklet 130 °C alá nem csökken. A szivattyút a kollektor kör üzemi hőmérséklete szerint kell megválasztani, úgy, hogy az ne befolyásolja annak működését. A szivattyút a szükséges térfogatáram és a teljes csővezeték rendszerre számított nyomásveszteség alapján kell kiválasztani. A kiválasztásnál figyelembe kell venni, hogy a szivattyúk jelleggörbéit a gyártók általában vízre adják meg. Ha a kollektor körben a keringtetett hőszállító közeg propilénglikol és víz keveréke, melynek viszkozitása a vízénél nagyobb, akkor a szivattyú kiválasztásánál korrekciót kell alkalmazni. A propilénglikol oldat víznél nagyobb viszkozitása a térfogatáram kb. 20%-os, illetve a szállítómagasság kb. 10%-os csökkenését eredményezi (Naplopó Kft. 2006). A szivattyút úgy kell megválasztani, hogy a szerkezeti elemek (pl. tömítés, járókerék) ellen álljon a propilénglikolnak. A használati melegvíz vezetékbe beépített szivattyúknak meg kell felelniük az ivóvízvezetékre előírt követelményeknek.

A napkollektoros rendszerek tartozékai, úm. hőmérők, nyomásmérők, szűrők, elzáró-, visszacsapó és vezérelt szelepek meg kell, feleljenek az üzemi körülményeknek. Nevezetesen, 130 – 150 °C-ig terjedő üzemi hőmérséklet tartomány, kompatibilisek legyenek a rendszerben alkalmazott más anyagokkal és a hőszállító közeggel, a napkollektoros rendszer üzemi nyomásának feleljenek meg.

2.3.6. Hőszállító folyadék

Napkollektoros rendszerek hőszállító folyadékaként kezdetben nagyon gyakran a gépjárművek hűtőfolyadékát az etilénglikolt alkalmazták. Mérgező tulajdonsága miatt, azonban ma már az ivóvízhálózatra kapcsolódó melegvíz készítő napkollektoros rendszerek hőszállító folyadékaként kizárólag propilénglikolt használnak, amely az élelmiszerbiztonsági szempontoknak is megfelel.

Egyedi esetekben, nagy hőállóságú (termikus naperőművekhez kifejlesztett) olajat is alkalmaztak családi házaknál telepített napkollektoros rendszerekben, de a szivattyúval, tágulási tartállyal, szelepekkel és tömítésekkel szemben támasztott fokozott követelmények miatt ma már nem alkalmazzák.

Tehát az egész év során üzemeltetett kétkörös napkollektoros rendszerek kollektor körében hőszállító közegként célszerűen desztillált vízzel hígított

propilénglikolt alkalmaznak, amely jól megfelel – a következőkben felsorolt – a hőszállító folyadékkal szemben támasztott követelményeknek:

- hőállóképesség a kollektor stagnáció során kialakuló hőmérséklet mellett,
- fagyálló tulajdonság,
- korrózióvédelemi jellemző,
- a kollektor körben alkalmazott anyagokkal szembeni semleges viselkedés,
- nagy hőkapacitás és jó hővezető képesség,
- nem mérgező és környezetbarát tulajdonságok,
- alacsony viszkozitás,
- alacsony költség és könnyű hozzáférhetőség.

Víz és propilénglikol keverék, mint hőszállító folyadék használatánál a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- Fagyvédelem esetén a telepítési hely klimatikus jellemzőitől függően a 40%-os vagy az alatti glikol koncentráció is megfelelő, ami -24 °C-ig biztosítja a működést. Ennél alacsonyabb hőmérsékleten viszkózus jégkása képződik, de az nem károsítja a csővezeték rendszert. A glikol tartalom 50% fölé emelését, a viszkozitás növekedése és a hőkapacitás csökkenése miatt el kell kerülni.
- A propilénglikol – a vízzel összehasonlítva sokkal hajlamosabb a szivárgásra. Ezért a kollektor kör tömítettsége nehezebben biztosítható, mint víz esetén. A kollektor körben a legkisebb szivárgást is nagyon gondosan ellenőrizni kell.
- A propilénglikol és a cink együtt nem használható. Ezért a kollektor körbe belső felületen cinkkel horganyzott csövek nem építhetők be. A propilénglikol más anyagokkal is kölcsönhatásba léphet pl. tömítések, ezért a kollektor körben csak olyan anyagok alkalmazhatók, amelyek tanúsítottan használhatók víz-propilénglikol keverék esetén. A legtöbb szerelvény és anyag ebből a szempontból nem problémás.
- A megengedhető felső hőmérsékleti határ 150-160 °C körül van. Mindamellett a különböző gyártók által megadott értékek ellentmondóak lehetnek.

A biztonságos üzemeltetéshez csak olyan víz-propilénglikol keverék használható, ami tanúsítottan napkollektoros rendszerekhez alkalmazható.

A napkollektoros rendszerek kollektor körében alkalmazható munkaközeg főbb fizikai jellemzőit a következőkben a német Tyforop Chemie GmbH által előállított, Tyfocor L jelzésű, propilénglikol alapú hőszállító folyadékon mutatom be.

Napkollektoros rendszereknél, korrózió védelmi szempontok alapján a Tyfocor L gyártó által ajánlott keverési arány tartománya 40-től 75 térfogatszázalékig terjed. A hőszállító folyadék jellemzőit az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat A Tyfocor L propilénglikol alapú hőszállító folyadék jellemzői (Tyforop Chemie GmbH 2007)

Tulajdonság	Érték	Szabvány szerint
Megjelenés	tiszta, színtelen folyadék	
Forráspont	> 150 °C	ASTM D 1120
Dermedéspont	< -50 °C	DIN ISO 3016
Sűrűség (20 °C)	1,054 – 1,058 g/cm^3	DIN 51 757 / ASTM D 4052
Törésmutató nD20	1,435 – 1,437	DIN 51 423
Viszkozitás (20 °C)	68 – 72 mm^2/s	DIN 51 562
pH, koncentrátum	6,5 – 8,0	ASTM D 1287
pH, 1:2 arányban semleges desztillált vízzel hígítva	7,5 – 8,5	ASTM D 1287
Lobbanáspont	> 100 °C	DIN 51 758
Víztartalom	< 4%	DIN 51 777 / ASTM D 1123

A Tyfocor L vízzel bármilyen arányban – attól nem elkülönülően - elegyíthető. Vizes keveréke a koncentrációtól függően akár -50 °C-ig is fagyálló. A korrózió gátló adalékok a napkollektoros rendszerekben rendszerint alkalmazott valamennyi fém alkatrészt megbízhatóan védik a korróziótól, öregedéstől, eltömődéstől és lerakódástól.

Magas hőmérsékleten kiemelkedő stabilitást mutatva, a forró fém felületeken nagy teljesítménysűrűségnél (k.b. 40 W/cm^2-ig) mintegy 200 °C-ig megakadályozza a káros lerakódások képződését. Így segít elkerülni a hőátadó felületek túlmelegedését és az áramlási körben a lerakódások kialakulását. Valamennyi kereskedelmi forgalomban kapható propilénglikol alapú hőszállító folyadékkal keverhető.

A 6. táblázat a sűrűség, a törésmutató, a fagyáspont és a kinematikai viszkozitás értékeit foglalja össze különböző Tyfocor L koncentrációnál.

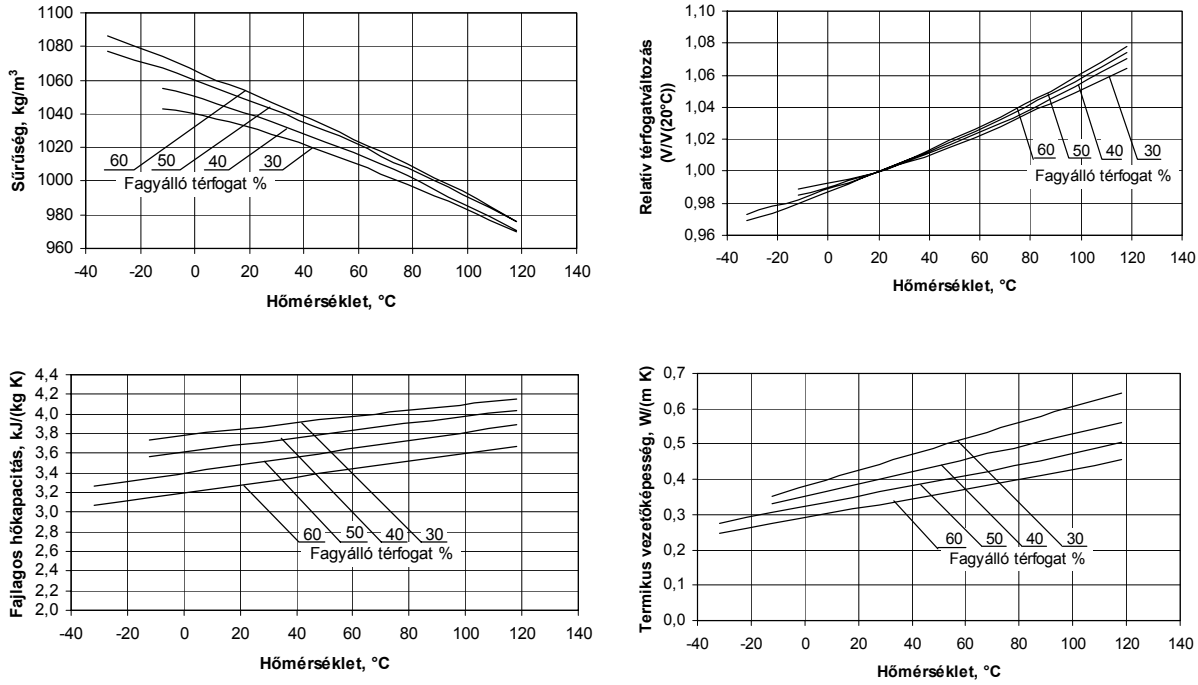
6. táblázat A Tyfocor L propilénglikol és víz keverékének jellemzői különböző koncentrációknál (Tyforop Chemie GmbH 2007)

% vol. Tyfocor L	Sűrűség 20 °C-on, kg/m^3	Törésmutató, nD20	Fagyáspont, °C	Kinematikai viszkozitás 20 °C-on, mm^2/s
25	1023	1,3627	-10	2,56
30	1029	1,3690	-14	3,09
35	1033	1,3747	-17	3,67
40	1037	1,3801	-21	4,34
45	1042	1,3855	-26	5,17
50	1045	1,3910	-32	6,21
55	1048	1,3966	-40	7,48

A 6. táblázat alapján megállapítható, hogy a propilénglikol koncentráció 25 térfogatszázalékról 50%-ra növelésével a kinematikai viszkozitás 2,56 mm^2/s értékről 6,21 mm^2/s értékre, több mint 2,4 szeresére növekszik. A víz kinematikai viszkozitása 20 °C-on 1 mm^2/s (Tyforop Chemie GmbH 2007). HEGYI K., FARKAS I. (2002) mérései szerint az 50%-os propilénglikol-víz oldat dinamikai viszkozitását a víz dinamikai viszkozitásához viszonyítva a hőmérséklet függvényében megállapította, hogy a napkollektoros rendszer normál üzemi hőmérséklet tartományában a propilénglikol 50%-os vizes oldata megközelítőleg négyszer viszkózusabb a víznél. A viszkozitás növekedése a kollektor köri szivattyú térfogatáramának és szállítómagasságának csökkenését eredményezi. A folyadékok viszkozitása a hőmérséklet növekedésével exponenciálisan csökken.

A 6. táblázat a különböző propilénglikol koncentrációkhoz tartalmazza a törésmutató értékeket is. Napkollektoros rendszerek üzemeltetése során fontos ismerni a kollektor körben lévő hőátadó folyadék fizikai jellemzőit, amelyek a hígítási aránytól és a hőmérséklettől függenek. Az üzemeltetés során, főként a több éve üzemelő rendszereknél problémát okozhat a hígítási arány meghatározása. Ezen feladat célszerűen a törésmutató mérésével oldható meg, amelyet HEGYI K. (2003) az Abbe-féle refraktométerrel végezve igazolt. A törésmutató a propilénglikol koncentráció növekedésével megközelítőleg lineárisan nő.

A 8. ábra a Tyfocor L propilénglikol és víz, különböző koncentrációjú keverékének sűrűségét, relatív térfogatváltozását, fajlagos hőkapacitását és termikus vezetőképességének alakulását szemlélteti a hőmérséklet függvényében.



8. ábra Tyfocor L propilénglikol és víz keverékének sűrűsége, relatív térfogatváltozása, fajlagos hőkapacitása és termikus vezetőképességének alakulása a hőmérséklet függvényében különböző koncentrációknál

A propilénglikol koncentráció emelkedése a vízzel alkotott keverék sűrűségét növeli. Az alacsony (30%) és magas (60%) koncentráció által közbezárt sűrűség intervallum, a hőmérséklet csökkenésével nyílik, vagyis alacsony hőmérséklet tartományban (0, -20 °C) a sűrűség szélesebb, míg magasabb hőmérsékleten (80, 100 °C) a sűrűség szűkebb intervallumban változik. A hőmérséklet növekedésével a sűrűség csökken.

A propilénglikol - víz keverék relatív térfogatváltozása a propilénglikol koncentráció emelkedésével, a 20 °C hoz tartozó értékhez viszonyítva, 20 °C fölött a hőmérséklet növekedésével együtt növekszik.

A propilénglikol koncentráció emelkedésével, a vízzel alkotott keverék fajlagos hőkapacitása csökken. Például a propilénglikol koncentráció 30 térfogatszázalékról 60%-ra növelésével a fajlagos hőkapacitás 38 °C-on 3,91 kJ/(kg K)-ről 0,56 kJ/(kg K)-el 3,35 kJ/(kg K)-re csökken. A víz állandó nyomásra vonatkozó fajlagos hőkapacitása 1 bar nyomáson, 38 °C-on 4,17 kJ/(kg K) (SPANG 2002). A propilénglikol vízzel alkotott keverékének fajlagos hőkapacitása a hőmérséklet növekedésével növekszik. Napkollektoros rendszerek hőszállító folyadékaként a nagyobb propilénglikol koncentráció okozta fajlagos hőkapacitás csökkenés nem előnyös, mivel rontja a munkaközeg hőszállító kapacitását. Ezért lehetőség szerint, napkollektoros rendszerek esetén a fagyállóság miatt feltétlenül szükséges, legkisebb propilénglikol koncentrációt célszerű alkalmazni.

A propilénglikol - víz keverék termikus vezetőképessége a propilénglikol koncentráció emelkedésével csökken. Például 25 °C-on, 30 térfogatszázalék propilénglikol koncentráció esetén a termikus vezetőképesség 0,436 W/(m K), a koncentrációt 60%-ra emelve a termikus vezetőképesség 0,325 W/(m K)-re csökken. A víz termikus vezetőképessége 0,1 MPa nyomáson és 25 °C-on 0,610 W/(m K) (IAPWS 2008). A hőmérséklet növekedésével az alacsony (30%) és magas (60%) koncentráció által közbezárt vezetőképesség intervallum nyílik. Ennek megfelelően, alacsonyabb hőmérsékleten (8 °C) a vezetőképesség 0,398 – 0,302 W/(m K) között, szűkebb 0,096 W/(m K) intervallumban változik, míg magasabb hőmérsékleten (78 °C) a vezetőképesség 0,556 – 0,398 W/(m K) között, szélesebb 0,158 W/(m K) intervallumban változik. A propilénglikol vízzel alkotott keverékének termikus vezetőképessége a hőmérséklet növekedésével megközelítőleg lineárisan növekszik. Napkollektoros rendszerek esetén a nagyobb propilénglikol koncentráció okozta termikus vezetőképesség csökkenés hátrányos. Ennek hatására például a kollektor abszorber csőjárataiban áramló hőszállító közeg rosszabb hatásfokkal képes elszállítani a hőt.

2.4. Napkollektoros rendszerek ellenőrzési eljárásai, vizsgálati szabványai

A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) keretében 1983-tól működő ISO/TC 180 "Napenergia" nemzetközi szabványosító műszaki bizottság titkársági feladatait Ausztrália látja el. A bizottság 2008. augusztusában 16 nemzetközi szabványt jegyzett. Legutóbb 2007-ben adtak ki szabványt. A műszaki bizottság programjában jelenleg egy szabvány kidolgozása szerepel. Magyarország megfigyelőként tagja a műszaki bizottságnak (International Organization for Standardization 2008).

Európában az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) 312 "Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és részegységeik" szabványosító műszaki bizottság dolgozza ki a termikus napenergia-hasznosító berendezések európai szabványait. A műszaki bizottság titkárságát Görögország irányítja. Az Európai Bizottság megbízása alapján 2001-ig nyolc szabványt dolgozott ki, amelyek közül 2006-ban négyet felülvizsgált. Egy további 2001-es szabványt a felülvizsgálatot követően 2008-ban fogadtak el. 2008 augusztusában két további 2001-es szabvány felülvizsgálata és két új szabvány van elfogadás alatt. (European Committee for Standardization 2008).

A napenergia hasznosítás szakterületéhez tartozó szabványok a "Szabványok Nemzetközi Osztályozási Rendszere" (ICS) szerint a 27-es Energetika és hőátvitel osztályon belül a 27.160 szakcsoportba tartoznak. Magyarország EU csatlakozásával a Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) teljes jogú taggá vált az Európai Szabványügyi Bizottságban (CEN). A CEN tagság naprakész tájékozottságot biztosít az uniós szabványosítási ügyekben. Az új európai

szabványok általában a megjelenéstől számított fél éven belül magyar nemzeti szabvánnyá is válnak azáltal, hogy az MSZT az EU tagság feltételeként vállalt kötelezettségét teljesítve kihirdeti azokat (VASZIL 2002).

A napenergia szakcsoport – 2008. augusztusi állapot szerint 39 szabványt tartalmazott, amelyekből 36 db angol nyelvű. A 39 szabványból 7 közvetlenül a napenergia termikus hasznosításhoz kapcsolódik, a fotovillamos hasznosításhoz 30 szabvány tartozik, míg egy szabvány a napi napsugárzási görbe analitikai meghatározásával, egy másik pedig az úgynevezett "Napenergia szakszótár" a szakkifejezések gyűjteményét tartalmazza. A termikus napenergia hasznosítás szabványai közül 2006-ban négy 2001-es szabvány felülvizsgálat miatt visszavonásra került, amelyek közül kettő magyar nyelvű volt. A helyettük újonnan kihirdetett szabványok angol nyelvűek. A 2008. augusztusi állapot szerint már csak egy magyarnyelvű szabvány van, ami helyébe az Európai Szabványügyi Bizottságnál folyamatban lévő felülvizsgálat miatt hamarosan az újonnan kihirdetendő angol nyelvű szabvány lép. A termikus napenergia-hasznosító rendszerekre vonatkozó az MSZT által kihirdetett szabványokat a 7. táblázat foglalja össze (Magyar Szabványügyi Testület 2008).

7. táblázat Bevezetett magyar (európai) szabványok a termikus napenergia-hasznosításban

Hivatkozási szám	Szabványcím
MSZ EN 12975-1:2006 (angol nyelvű)	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Napkollektorok. 1. rész: Általános követelmények
MSZ EN 12975-2:2006 (angol nyelvű)	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Napkollektorok. 2. rész: Vizsgálati módszerek
MSZ EN 12976-1:2006 (angol nyelvű)	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Előre gyártott rendszerek. 1. rész: Általános követelmények
MSZ EN 12976-2:2006 (angol nyelvű)	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Előre gyártott rendszerek. 2. rész: Vizsgálati módszerek
MSZ ENV 12977-1:2001	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Egyedi kivitelezésű rendszerek. 1. rész: Általános követelmények
MSZ ENV 12977-2:2001 (angol nyelvű)	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és részegységeik. Egyedi kivitelezésű rendszerek. 2. rész: Vizsgálati módszerek
MSZ ENV 12977-3:2001 (angol nyelvű)	Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és részegységeik. Egyedi kivitelezésű rendszerek. 3. rész: A napenergia-hasznosító rendszerek tárolóedényei műszaki adatainak meghatározása

A napkollektoros rendszerek európai vizsgálati szabványai 2001-től állnak rendelkezésre. Az európai szabványok alapján, Magyarországon is életbelépett

rendszervizsgálati szabványok két csoportba sorolhatók, az előre gyártott ún. gyárilag előállított rendszerekre az MSZ EN 12976 (MSZ EN 12976:2006), míg az ún. egyedi kialakítású rendszerekre az MSZ ENV 12977 (MSZ ENV 12977:2001) vonatkozik. Az ENV jelölés előzetes szabványt jelent, így annak az érvényessége kezdetben három évre korlátozott.

Az előre gyártott rendszerek, egy kereskedelmi név alatt forgalmazott tömeg termékek, amelyek előre meghatározott telepítési utasítással rendelkező, komplett telepítésre kész építési készletnek tekinthetők. Az egyedi kivitelű rendszerek vagy egyedi gyártásúak, vagy a termék skálából egyedileg kiválasztott elemeket tartalmaznak.

Az viszonylag könnyen eldönthető, hogy mikor melyik szabványt kell alkalmazni, ha például a napkollektor közvetlenül egybeintegrált a tárolóval (termoszifonos rendszerek esetén gyakori kivitel), akkor az MSZ EN 12976, az egyedileg tervezett, többnyire nagyméretű rendszerek esetén pedig az MSZ ENV 12977. A kisméretű, kényszerkeringtetésű használati melegvíz készítő rendszerek gyakran mindkét szabvány szerint vizsgálhatók.

Az MSZ EN 12976 és az MSZ ENV 12977 szabvány első része követelményeket határoz meg a tartósság, a megbízhatóság és a napkollektoros rendszertelepítések biztonságával kapcsolatban. A második rész leírja a megfelelő vizsgálati eljárásokat. Továbbá az MSZ ENV 12977-3 meghatározza a melegvíztárolók technikai értékelésének vizsgálati eljárásait. Ezen felül a telepített napkollektoros rendszerek biztonság technikája és hatásfoka szintén vizsgálandó körülmény.

Az előre gyártott rendszerek esetén a szabvány megkülönböztet kiegészítő fűtéssel és a nélkül kialakított rendszereket. Kiegészítő fűtés esetén a teljes rendszer teljesítmény vizsgálata az úgynevezett CSTG eljárás szerinti. Ha nincs kiegészítő fűtés, akkor a vizsgálat az úgynevezett DST eljárás szerinti. Mindkét eljárással a rendszer hosszú időre vonatkozó teljesítmény becslése, teljesítmény előrejelzése végezhető el.

A CSTG eljárást az 1980-as években a Joint Research Centre of Ispra vezetésével a Napkollektor és Rendszervizsgáló Csoport (CSTG: Solar Collector and System Testing Group) dolgozta ki (CARVALHO M.J., NARON D.J. 2000). A vizsgálati eljárást az ISO 9459-2 szabvány második része (ISO 9459-2:1995 A napenergia termikus hasznosítása. Használati melegvíz-termelő rendszerek. 2. rész: A csak a napenergiát hasznosító rendszerek teljesítményének jellemzésére és éves teljesítményének meghatározására épületen kívül végzett vizsgálatok módszerei) írja le. A DST eljárást (DST: Dynamic System Testing) Dinamikus Rendszervizsgálat módszert az ISO 9459 szabvány ötödik része (ISO 9459-5:2007 Solar heating – Domestic water heating systems – Part 5: System performance characterization by means of

whole-system tests and computer simulation) írja le. A szabvány 2007-ben jelent meg.

Egyedi kialakítású rendszerek esetén a hatásfokot nem kell megmérni. Mindazonáltal szabadon választható mérési eljárásként az MSZ EN 12977-2 szabvány leírja az úgynevezett CTSS eljárást (CTSS: Component Testing, System Simulation) Összetevő Vizsgálat, Rendszer Szimuláció. Ebben az esetben az egyes elemek jellemző paramétereit elkülönítetten kell meghatározni: kollektor esetén az MSZ EN 12975-2, tároló esetén az MSZ EN 12977-3 és a szabályozó rendszer esetén az MSZ EN 12977-2 szerint. A kialakított teljes rendszer viselkedése az előzőek szerint meghatározott jellemző paraméterek felhasználásával, szimulációval számítható.

A tervezett hőigény biztosításához szükséges pótlólagos hőszükséglet meghatározható úgy is, mint egyfajta teljesítménymutató. A kiegészítő fűtésnélküli rendszerekre számítható egy napenergia részesedési mutató. A szivattyúk, szabályozó rendszerek stb. segédenergia szükséglete egy további teljesítménymutató.

A rendszer teljesítmény vizsgálatnak előnye van, a fentiekben ismertetett, tisztán kollektor vizsgálaton alapuló hozamszámításokkal szemben. Ebben az esetben az esetleges aktuális hozamcsökkenést okozó gyengepontok jobban felfedezhetők. Az egyes nem túl rég bevezetett rendszer vizsgálati szabványokkal kapcsolatban az évek során szerzett tapasztalatokat a vizsgáló intézetek összegyűjtik. Ennek megfelelően a szabványosítás nem áll le, a jövőben folyamatos szabvány felülvizsgálat, pontosítás várható.

2.5. Napkollektoros rendszerek szimulációs szoftverei

A napenergiás használati melegvízkészítő rendszerek telepítését megelőzően az igények, a helyszíni adottságok és a tervezett rendszer technikai paramétereinek ismeretében végzett modellezéssel meghatározható a berendezés teljesítménye. A rendszer működésének szimulációjához szükséges az egyes alkotórészek, úgymint kollektor, hőcserélő és a tároló energia-egyensúlyát leíró fizikai alapú modellek kialakítása. A számítógépes szimuláció eredményeként előre jelezhető a berendezés teljesítménye, valamint méretezhető a megépítendő berendezés kollektor felülete és tárolókapacitása. A következőkben öt számítógépes program kerül bemutatásra, melyek alkalmasak az előzőekben leírtak elvégzésére, és melyek közül a dolgozatbeli szimulációs feladatok elvégzésére a Matlab szoftver került kiválasztásra.

2.5.1. Polysun programcsomag

A Polysun 4 grafikus felhasználói felülete megkönnyíti és gyorsítja a program használatot. A megfelelő moduláris egységekből felépülő program könnyen kezelhető, menürendszere lehetővé teszi a különböző termikus napenergiás

rendszerkomponensek kombinációját és paraméterezését. A program mintasablon gyűjteményt tartalmaz, amely széles választékban rendszerkomponenseket is magában foglal.

A Polysun 4 főbb jellemzői:

- rugalmas tervezési környezet a termikus napenergiás rendszerekhez,
- rendszerkomponens katalógusok gyakorlati paraméterekkel,
- a szimulációk grafikus ábrákkal és riportokkal támogatott elemzése, kiértékelése,
- dinamikus épület szimuláció az épületgeometria, a szigetelés és az üvegezés figyelembevételével,
- gyártói mintasablonok részletes rendszer specifikációval,
- meteorológiai adatbázis 6300 helyszínnel és új helyszínek megadásának lehetőségével.

A rendezett hozzáférést valamennyi lényeges paraméter esetén a széleskörű rendszerkomponens gyűjteményt tartalmazó katalógusok biztosítják. A katalógusokat a rendszerkomponens és rendszergyártókkal együttműködésben rendszeresen frissítik. A katalógusok funkcionalitására és megbízhatóságára az Insitut für Solartechnik SPF, Svájc vizsgálati, tanúsítási tevékenysége a garancia.

A Polysun 4 katalógusai:

- tárolók,
- kollektorok,
- csövek,
- kazánok,
- szivattyúk,
- lemezes hőcserélők,
- épületek,
- medencék,
- fotovillamos modulok és inverterek.

A tároló tartály katalógusban például a különböző tároló kialakítások nyolc különböző karima pozíciót, hat különböző hőcserélő csőkígyó pozíciót, négy különböző rétegződést biztosító cső pozíciót, három belső fűtést valamint a "tároló a tárolóban" rendszert foglalja magában. Ez utóbbi további három csoportra oszlik, ezzel újabb variációkat lehetővé téve. Elméletileg több mint nyolcvanezer különböző tároló kialakítás definiálható.

Az időjárási adatoknál a közvetlen sugárzás mellett a program a szórt sugárzással és annak eloszlásával, a légköri sugárzással (égbolt hőmérséklet) és a helyi szélsebességgel és légnedvességgel számol. A számításokhoz használt időjárási adatokat 6300 különböző meteorológiai mérőállomás szolgáltatta. A hely specifikus meteorológiai adatokat egy algoritmus a meteorológiai

adatbázisból interpolálással számítja. A program alternatívaként lehetővé teszi új helyszínek mérési adatainak a megadását is.

A programmal végzett egy évre kiterjedő dinamikus szimuláció jó alapot biztosít a rendszer munkapontjának kiválasztásához. A program, különböző típusú riportokat szolgáltat az energiatermeléssel és az amortizációs periódussal kapcsolatban.

A Polysun 4 három felhasználói szinthez készül. A "Light" verzió otthoni használatra egyszerű kialakítású rendszerek vizsgálatára készült. A változattal különböző termikus napenergia hasznosító rendszerek hasonlíthatók össze, de a rendszerparaméterek változtatásának lehetősége igen korlátozott. A "Professional" változat teljes hozzáférést tesz lehetővé valamennyi rendszerparaméterhez és komponenshez. Ennek következtében alkalmas a termikus napenergia hasznosító rendszerek teljesítményének optimalizálására. A legfejlettebb "Designer" változat lehetővé teszi a rendszer hidraulikájának a változtatását is. Ez az opció lehetőséget ad a gyártók részére új rendszerkoncepciók kifejlesztésére, az energetikai szaktanácsadók pedig fogyasztó specifikus megoldásokat alakíthatnak ki. (SPF 2008, Vela Solaris 2008). A program fejlesztője az Insitut für Solartechnik SPF és a Vela Solaris, Svájc.

2.5.2. TRNSYS programcsomag

A racionális energiafelhasználási koncepciók és aktív-passzív napenergia hasznosító rendszerek értékeléséhez a tervezési fázisban dinamikus szimulációs programokat alkalmaznak.

A TRNSYS egy széles körben elterjedt dinamikus szimulációs program, amit 1974-ben, az USA-ban, a wisconsin-i egyetemen dolgoztak ki, és azóta is folyamatosan fejlesztik. A 16-os verziót 2004. októberében adták ki, a legutóbbi frissítés 2007. májusában jelent meg. A TRNSYS szoftvercsomagot alkotó programok a TRNSYS Simulation Studio, amely a fő grafikus felhasználói környezet, a TRNBuild a több zónás épületmodell paramétereinek bevitelére szolgáló felhasználói felület és a TRNEdit egy speciális szerkesztő, amely szöveg tartalmú TRNSYS bemeneti fájlok létrehozására és módosítására használható.

A TRNSYS az alábbi területeken alkalmazható:

- napenergiás rendszerek (termikus és fotovillamos),
- alacsony energiájú épületek, fűtő, szellőztető és légkondicionáló rendszerek,
- megújuló energetikai rendszerek,
- kapcsolt energiatermelés, tüzelőanyag cellák.

Ahhoz, hogy egy energetikai rendszer, mint például egy napkollektoros használati vízmelegítő berendezés, a TRNSYS-szal szimulálható legyen, megfelelő komponensekből kell felépíteni, mint napkollektor, tárolók, stb. A szükséges alkotóelemek a programba integrált széleskörű komponens könyvtárban találhatók. A program moduláris felépítése és nyitott forráskódja lehetővé teszi a felhasználó számára a meglévő komponensek igény szerinti módosítását, vagy új, saját összetevők rendszerbe integrálását is.

A vizsgálandó energetikai rendszer a TRNSYS-ban a Simulation Studio grafikus felhasználói környezetében realizálható. A szükséges komponensek összeválogatásával, összekötésével és a szimuláció paramétereinek beállításával. Ugyan csak itt adhatók meg a szimuláció kimeneti változói, valamint lehetőség van a szimuláció végrehajtási folyamatának és az esetlegesen jelentkező hibák részletes tanulmányozására is.

A programhoz időjárási adatfájlokat, az USA-ban hivatalos teszt referencia időjárási fájlt (TMY2), valamint a Meteonorm programmal előállított több száz időjárási adatállományt mellékelnek. Továbbá a program képes beolvasni az internetről letölthető, vagy mérésekből származó szabványos formátumú időjárási adatfájlokat is (Solar Energy Laboratory 2004, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH 2008).

A program lehetőséget ad a különböző új energetikai koncepciók részletes modellezésére és értékelésére, tekintettel a különböző kritériumokra.

2.5.3. T-SOL programcsomag

A T-SOL programcsomagot kizárólag napkollektoros, termikus napenergia hasznosító rendszerek vizsgálatára, szimulációjára, tervezésére dolgozták ki. A programcsomag három változatban készül.

A *T-SOL express* a használati melegvízkészítő és épületfűtésre alkalmazható napkollektoros rendszerek gyors tervezéséhez és a szükséges számítások elvégzéséhez készült. A programfelhasználók célcsoportja a termikus napkollektoros rendszerek értékesítői és a technikusok. A T-SOL express a szimulációhoz öt különböző kialakítású előre definiált rendszert ajánl fel. Használati melegvízkészítéshez három rendszert ajánl egy termoszifonos rendszert, egy kettő beépített hőcserélő csőkígyóval ellátott tárolóval rendelkező rendszert, és egy két-hőtárolós rendszer, ahol az egyik tárolót csak a napkollektor fűti, míg a második tárolóhoz egy kazán kapcsolódik. Épületfűtéshez két előre definiált rendszert tartalmaz a program, az egyik egy kombinált tárolóval kialakított rendszer, míg a másik két tárolóval kialakított rendszer.

A *T-SOL Professional* a termikus napkollektoros rendszerek professzionális tervezéséhez készült. Az alapmodul a használati melegvízkészítéshez és az

épületfűtéshez összesen 23 különböző rendszer konfigurációt tartalmaz. Ezt a program változatot, a használatot megkönnyítő úgynevezett tervezési asszisztenssel mérnökök, tervezők, tetőfedők és épületgépész technikusok számára fejlesztették.

A programban a telepítési helyre és a fogyasztásra jellemző néhány paraméter bevitelét követően kiválasztható a rendszer konfigurációk egyike és a kollektor(ok) valamint a tároló(k) méretezhetők. A rendszerváltozatok automatikus számítása a felhasználó számára lehetővé teszi az optimális rendszer konfiguráció kiválasztását.

A rendszer szimuláció percben mért, változó idő lépésközzel kerül végrehajtásra. A szimuláció során a rendszer hőmérsékleti viszonyai figyelemmel kísérhetők, vagy is a rendszer dinamikája lépésről lépésre megfigyelhető. A szimuláció eredményei, a hőmérsékletek, az energia értékek, a hatásfok és a napenergiás részesedés fájlba menthetők a későbbi elemzéshez.

A T-SOL alkalmas gazdasági hatékonysági számítások végzésére is. A napenergiás hőtermelés költségére és az amortizációs időszakra vonatkozó számítási eredmények egy külön riportba kerülnek. A beruházásnál az esetleges kölcsönt és támogatást a számítások figyelembe veszik.

A programmal együtt egy éves időtartamra vonatkozó időjárási adatállományokat is biztosítanak, amelyek az órás sugárzási és levegőhőmérsékleti adatokat tartalmazzák. Az adatbázis körülbelül 470 európai és 150 németországi, továbbá világszerte 275 helyszín adatait tartalmazza. A programba a Német Meteorológiai Szolgálat által használt teszt referencia év formátumú időjárási adatfájlok importálhatók. A programban egy pótlólagos MeteoSyn modul alkalmazható globális meteorológiai adatok előállítására.

A programnak több mint 480 sík- és vákuumcsöves kollektor teljes adatbázisa is tartozéka. Lehetőség van fényvisszaverővel rendelkező és a nélküli vákuumcsöves kollektorok szimulációjára is. A programban a szükséges paraméterek megadásával bármilyen kollektor reprodukálható.

A T-SOL Professional-hoz két pótlólagos programmodult fejlesztettek, nevezetesen az úszómedence modult (angolul: Swimming Pool Module) és a nagyméretű rendszerekhez alkalmazható modult (angolul: SysCat Module). Az úszómedence modul lehetővé teszi beltéri vagy kültéri medence napkollektoros körbe integrálását. A modul tizenegy különböző rendszerkonfigurációt tartalmaz. A nagyméretű rendszerekhez fejlesztett SysCat modul nagyméretű puffer-tárolókat, külsőhőcserélőket és a légionella elleni védelemi opciót tartalmazza. A modul tizennégy különböző rendszerkonfigurációt foglal magában.

A rendszer szimuláció eredményei ábrán jeleníthetők meg, az energiamérleg, a hatásfok, a napenergiás részesedés, a kiváltott tüzelőanyag megtakarítás és az elkerült CO_2 kibocsátás.

A *T-SOL Expert* változatot szakértők részére fejlesztették a termikus napenergia hasznosító rendszerek fizikai állapotában bekövetkező változások vizsgálatára. Ezzel a kutatást, tudományos célokat, szakértő tervezőket, fejlesztőket és szaktanácsadókat szolgálva a rendszerek, a rendszerkomponensek monitorozásában és optimalizálásában.

A T-SOL Profssional program valamennyi képességén túl a T-SOL Expert számos speciális és hasznos pótlólagos funkcióval rendelkezik.

A paraméter variáció, mint további funkció a felhasználót képessé teszi automatikus paraméter variációs számítás futtatására, így a szimuláció során megfigyelhető és meghatározható a különböző paraméterek hatása a napenergiás hányad, a hatásfok és a segédenergia célértékeire. Ezen a módon lehetőség van egy komponens egyes paramétereinek optimalizálására (pl. tároló érzékelők pozíciója) a napenergia hasznosító rendszer különböző módokon való üzemeltetése céljából.

A monitoring funkció segítségével, az adat importáláson keresztül mérési adatok dolgozhatók fel, értékelhetők és T-SOL formátumba konvertálhatók. Ez az aktuális rendszer adatok felhasználásával, napkollektoros rendszerek szimulációját teszi lehetővé így összehasonlítva a szimuláció eredményeit a rendszer aktuális kimenetével.

Az energiamérleg funkció meghatározza a rendszer valamennyi energiaáramát, ami táblázatos formában vagy folyamatábrában jeleníthető meg. Ennek következtében lehetőség van az egyes komponensek veszteségének részletes bemutatására.

A "Meteosynthesis" funkcióval a T-SOL Expert a havi átlagokból a napkollektoros rendszer szimulációjához szükséges órás napsugárázás és hőmérséklet adatokat állítja elő. A funkció a felhasználók számára lehetővé teszi aktuális időjárási adatok vagy saját maguk által előállított adatok bevitelét is. Továbbá a programmal együtt szállított adatbázis világszerte majdnem 2000 helyszín napsugárzás és hőmérséklet adatait tartalmazza.

A T-SOL Expert-hez pótlólagos programmodulként ugyanazok a T-SOL Professional-nál már ismertetett modulok (úszómedence modul és a nagyméretű rendszerekhez fejlesztet modul) alkalmazhatók. Ezeken kívül, csak a T-SOL Expert-hez kifejlesztetek egy távfűtő modult is (angolul: Solar Local District Heating Module).

A távfűtő modul lehetővé teszi napkollektoros rendszerrel összekapcsolt távfűtési rendszerek szimulációját és tervezését. A modulban maximum hat kollektor mező adható meg, amelyek tetszés szerint kialakítható csőhálózaton

keresztül szabadon köthetők össze a kazánházzal. A kazánház egy puffer tárolót és egy kazánt tartalmaz három változatban. A tetszés szerint megadható helyi távfűtő hálózaton keresztül a kazánház maximum hat hőközponttal köthető össze, amelyből három alaptípus található a modulban. Mindegyik hőközpont magába foglalja a központi fűtési rendszer ellátását. A modul validáláshoz a napkollektoros rendszerek TRNSYS-ban végzett szimulációs eredményeit használták.

A T-SOL Expert szimuláció eredményeinél valamennyi a rendszer állapotát jellemző és a szimuláció során számított adat perces felbontásban jeleníthető meg. Ennek következtében az eredmények részletes és pontos alapjául szolgálnak a tervezés és monitorozás során az egyedi komponensek és a rendszer optimalizálásához (Valentin Energy Software 2008).

2.5.4. Naplopó programcsomag

A Naplopó nevű programcsomag Windows operációs rendszer alatt futtatható, napkollektoros hőtermelő rendszerek méretezésére szolgáló program, melyet a Naplopó Kft. fejlesztett ki. A program alkalmas használati-melegvíz készítő, medence fűtő, és ezek kombinációjával létrehozható rendszerek méretezésére. A program a Magyarországra érvényes meteorológia adatokat tárolja (napsugárzási értékek, külső hőmérsékletek, szélsebesség, páratartalom, talajhőmérséklet, időjárási valószínűségek), és ezek segítségével szimulálja a várható időjárást. A tetszőleges dőlésszögű és tájolású kollektorok felületére érkező napsugárzást a program a Nap mozgásának geometriai összefüggései alapján számolja.

Pontosan definiálható a napkollektorok hatásfoka, dőlésszöge, tájolása, a kollektoros rendszer egyéb vesztesége, a napkollektor automatika kapcsolási hőmérséklete. Melegvíz készítés esetén napi vagy heti fogyasztási jelleggörbe adható meg, beállítható a melegvíz tárolók mérete, száma, cirkulációs vesztesége, a tárolókat a kollektorok mellett fűtő hagyományos hőtermelők teljesítménye, kapcsolási hőmérséklete, üzemideje napi vagy heti program szerint. A méretezendő medence lehet szabadtéri vagy fedett, a fedés lehet átlátszó vagy átlátszatlan, a medencetér fűtött vagy fűtés nélküli, illetve éjszakai fóliatakarás adható meg. A beállítások könnyen kezelhető, szemléletes, grafikus megjelenítő felületeken végezhetők el. A beállított értékek szokásos módon fájlokba menthetők.

Számítási ciklus választásával végezhető napi, havi, éves vagy tetszőlegesen megadott időszakra vonatkozó számítás. A program a valóságos viszonyokat szimulálva kiszámítja, hogy az adott számítási ciklusban mekkora volt a hőigény, és ezt milyen részarányban fedezték a napkollektorok, illetve a hagyományos hőtermelők, hogyan alakult a tárolók vagy a medence hőmérséklete. Az eredmények grafikusan és táblázatosan is láthatók, és

természetesen ki is nyomtathatók. A program az utolsó tíz számítás eredményeit tárolja, így a különböző beállítási értékekkel végzett számítások könnyedén összehasonlíthatók (Naplopó Kft. 2003b).

2.5.5. MATLAB

A MATLAB (a név az angol MATrix LABoratory = mátrix-laboratórium kifejezésből ered) egy interaktív, tudományos és műszaki számítások céljára kifejlesztett mátrixalapú programrendszer, mely oktatási célokra is rendkívül alkalmasnak bizonyult. Összetett numerikus problémák is megoldhatók vele anélkül, hogy bonyolult programokat kellene írni. A programrendszert eredetileg Cleve Moler írta Fortran nyelven hosszú évekig tartó fejlesztés eredményeképpen. A hátteret adó mátrixalgoritmusok a Linpack és Eispack projektekből származnak. Az új MATLAB-ot már C-ben készítette el a The MathWorks Inc.

A MATLAB matematikai programrendszer, mely különösen alkalmas vektorokkal és mátrixokkal kapcsolatos számításokra. A hasonló célú rendszerek közül a rendkívül természetes és egyszerű használatával, áttekinthető programozhatóságával tűnik ki.

A MATLAB végre tudja hajtani állományban tárolt utasítások sorozatát is. Az ilyen állományokat M-állományoknak nevezik, mivel azok .m kiterjesztésűek. A tipikus MATLAB-munka nagyrészt M-állományok írásából, javításából áll. Kétféle M-állomány van: program- és függvény-állomány.

Az első egyszerűen MATLAB-utasítások sorozata, a benne szereplő változók globális változók, a végrehajtás megváltoztatja a környezetet. Program-állományok gyakran használhatók nagy mátrixok feltöltésére, ilyen állományban az esetleg elkövetett hiba könnyen kijavítható. Függvény-állományokkal saját függvények írhatók, amelyek ugyanolyan jogállásúak, mint a beépített függvények. A változók lokálisak.

A Control System Toolbox (CST) MATLAB függvények gyűjteménye, mely véges dimenziójú, lineáris és idővariáns rendszerek analíziséhez nyújt segítséget. Vizsgálhatók folytonos és diszkrét idejű rendszerek, adott szakasz vagy szabályozási kör idő és frekvenciatartománybeli tulajdonságai. Időtartományban adott szakasz lényeges tulajdonságairól speciális gerjesztő vizsgálójelekkel nyerhető információ. A CST egyes függvényei a szakasz válaszát számítják ki ilyen vizsgálójelek esetén. Laplace vagy frekvenciatartományban elsősorban a Nyquist- illetve Bode-diagramok fontosak. A programcsomag támogatja még a pólus és zérus helyek meghatározását, valamint a gyökhelygörbe kiszámítását.

A rendszermodellezést és szimulációt a Simulink blokkorientált nyelv támogatja. A különböző szakterületek jelfeldolgozási és tervezési feladatait

számos MATLAB-ra épülő toolbox segíti, amelyek közül néhány fontosabb: Control System, Signal Processing, Optimization, System Idetification, Fuzzy Logic, Neural Network.

A Simulink a blokkokból felépített dinamikus (differenciál, vagy algebrai egyenletekkel leírható) rendszerek szimulációjára alkalmas program. A Simulink két lépésben használható fel, a modell-alkotásban és a modell-analízisben. A modell blokkokból építhető fel, amelyek különböző típusosztályokba vannak szervezve (pl.: források, lineáris rendszerekhez tartozó blokkok, kijelzők, stb.). A blokkdiagram bevitele értelemszerű, a standard grafikus programokéhoz hasonló. A modell szimulálásakor több paraméter beállítása szükséges, melyek közül legfontosabb a szimuláció időtartománya, az alkalmazott numerikus integrálási módszer, a lépésköz nagysága és az elvárt pontosság (HUJTER M. 1994).

A MATLAB Simulink programkörnyezethez a Solar Institute Juelich egy CARNOT (angol neve: Conventional And Renewable eNergy Optimization Toolbox) nevű alprogramot fejlesztett ki, mely a hagyományos és megújuló energiák optimalizáló eszköze. A szoláris termikus rendszerek szimulációjához a program egyesíti a Simulink könnyen használható grafikus környezetét a MATLAB nagy teljesítményű algoritmus és differenciálegyenlet megoldó tulajdonságával. A kereskedelemben kapható programokkal szemben előnyt jelent a változtatható idő lépésköz, mely lehetővé teszi a hosszú ideig tartó szimulációt. Ezen kívül csökkenteni lehet az időlépésközt másodperces időtartományba, mely a fejlett dinamikus rendszereknél elengedhetetlen. A CARNOT elve hasonló a Simulinkhez. A modellek alkönyvtárakba vannak szervezve, melyek tartalmazzák a hagyományos és megújuló energiával működő fűtési rendszerek összetevőit. A program egyidejűleg elvégzi a hidraulikai és hőátadási számításokat is. Kizárólag az egér használatával teljesen új rendszerkonfigurációkat lehet létrehozni, csak át kell húzni a megfelelő blokkokat a könyvtárakból. A blokkok vonalakkal köthetők össze, melyek révén a ki- és bemenetek közötti paraméterátadás valósítható meg (WEMHOENER C. 2000).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A napenergiás melegvízkészítő berendezések telepítését megelőzően fontos feladat az energiaigények és a telepítési adottságok ismeretében és azok figyelembevételével a megépítendő rendszer működésének modellezése, szimulációja. Ezzel a módszerrel, megfelelő alapadatok és ellenőrzött modellek felhasználásával a rendszer éves energiatermelése pontosan kiszámítható, előre jelezhető. Ezen információk megkönnyítik a rendszer fő elemeinek (napkollektor, tárolótartály) méretezését, a szükséges kollektorfelület és tárolótérfogat kiválasztását. Megfelelő számítógépes modellezési eljárás kialakításával a fogyasztó egész évi energia szükségletének ismeretében, valamint az alapján, hogy ennek az energiaigénynek mekkora hányadát kívánja napenergiából fedezni, meghatározható a kiépítendő napenergiás rendszer szükséges teljesítménye, illetve mérete. Ez a fejezet a napkollektor és a hozzá kapcsolt hőtárolók modellezését, valamint a kutató munka során az ellenőrző mérések elvégzésére rendelkezésre álló napkollektoros rendszereket ismerteti.

3.1. A sík-kollektor modellje

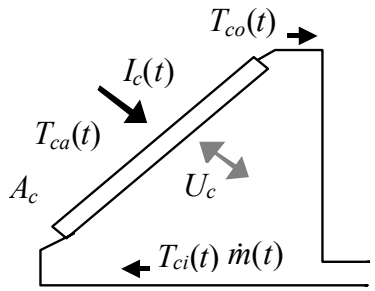
A statisztikák alapján (lásd: M2 melléklet táblázata) egyértelműen megállapítható, hogy Európában a napenergiás melegvízkészítő rendszereket a gyakorlatban döntő többségében üvegezett, folyadék munkaközegű, sík-kollektorokkal telepítik. Ez a tendencia a hazai telepítések esetére is igaz. Ezért a dolgozatban ennek a kollektor típusnak a modellezésével foglalkozom.

A modellezésnél különböző megközelítési módok lehetségesek, a szakirodalomban megtalálhatók többek között a mesterséges intelligencia módszerek, így például a neurális hálók alkalmazása (FARKAS I. GÉCZY-VÍG P. 2003, SOTERIS A. KALOGIROU 2006). A neurális hálózat jelentősége elsősorban alakfelismerési, szétválogatási problémáknál van, azonban esetenként fizikai rendszerek modellezésére is használható (BIRÓ A. 1998). A neurális háló fizikai rendszerek modellezésére akkor alkalmazható, ha nem lényeges a modellparaméterek fizikai tartalma, illetve nem szükséges a rendszerben végbemenő folyamatokat leíró konkrét függvények ismerete. Sok fizikai paraméterrel jellemezhető rendszer esetén a modellezést egyszerűsíti, megkönnyíti ez a megközelítés. A neurális háló azon feladatok megoldására nem alkalmazható, ahol az egyes paraméterek fizikai tartalmától nem lehet eltekinteni. Ilyen például a fizikai tartalmú paraméterek rendszer működésére gyakorolt hatásának vizsgálata, vagy az egyes bemeneti változók rendszer kimenetre gyakorolt hatását szabatosan leíró függvények meghatározásának szükségessége. A dolgozatban 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.

3.1.1. A sík-kollektor fizikai alapú modellje

Feltételezve a 9. ábra által vázolt sík-kollektort, ahol a környezeti levegő hőmérséklete $T_{ca}(t)$, a kollektorba belépő folyadék hőmérséklete $T_{ci}(t)$, a kollektorból kilépő hőszállító közeg hőmérséklete $T_{co}(t)$, a kollektor abszorber felülete A_c, a kollektor felületére érkező sugárzás $I_c(t)$, a kollektoron átáramló folyadék tömegárama $\dot{m}(t)$ és a kollektor hőátadási tényezője a környezete felé U_c.



9. ábra A napkollektor vázlata

A felépíteni kívánt modell a kollektorból távozó folyadék hőmérsékletét ($T_{co}(t)$) írja le a már említett paraméterek és változók függvényében.

A kollektor energiaegyensúlya a következők szerint írható le (BUZÁS J. STRATEN G. 1996, STEPHANOPOULOS G. 1984):

$$\frac{[akkumulált\ energia]}{idő} = \frac{[beérkező\ energia]}{idő} - \frac{[távozó\ energia]}{idő}. \qquad (1)$$

A napkollektorban végbemenő hőátviteli folyamat az energiaegyensúllyal írható le. A teljes energia a következők szerint bontható szét:

$$E = U^* + K + P, \qquad (2)$$

ahol U^* [J] a belső energia, K [J] a kinetikus energia és P [J] a helyzeti energia. Mivel a kollektor nem mozog: $dK/dt=0$ és $dP/dt=0$, így $dE/dt=dU^*/dt$. Szilárd és folyékony rendszerek esetén a belső energia megváltozása a rendszer entalpiájának a megváltozásával azonosnak tekinthető $dU^*/dt \approx dEntalpia/dt$.

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

A napsugárzásból a kollektor abszorberére érkező hőáram $Q_{abs}(t)$ a következő összefüggéssel számítható:

$$Q_{abs}(t) = I_c(t) A_c \tau\alpha . \qquad (3)$$

Ahol τ a kollektor lefedés fényáteresztő képessége, α pedig az abszorber felület sugárzáselnyelő tulajdonsága. Mindkét paraméter dimenziónélküli szám, értékük úgy csökken, ahogy a napsugárzás beesési szöge növekszik.

A kollektor és a környezet közötti hőveszteség hatására kialakuló hőáram $Q_{cl}(t)$ számítása:

$$Q_{cl}(t) = U_c A_c \left(T_{abs}(t) - T_{ca}(t)\right), \tag{4}$$

ahol $T_{abs}(t)$ a kollektor abszorberének a hőmérséklete. A hőcsere a kollektor és környezet között az alsó és felső határoló lapok valamint az oldalak mentén megy végbe. Gyakorlati tapasztalatok és mérések alapján olyan kollektorok esetén, amelyekben az abszorber alatt szigetelő réteg található a hőveszteséget alapvetően a kollektor fedőlapjának hővesztesége befolyásolja.

A kollektoron átáramló folyadék által felvett és elszállított hőmennyiség $Q_{cf}(t)$ számítása:

$$Q_{cf}(t) = \dot{m}(t) c_c \left(T_{co}(t) - T_{ci}(t)\right), \tag{5}$$

ahol c_c a kollektoron átáramló folyadék fajlagos hőkapacitása.

A feladat egyszerűsítése érdekében a kollektorban a folyadékot teljesen kevertnek feltételezve az energia egyensúly az előző egyenletek (3-5) alapján a következők szerint adható meg:

$$\frac{d[\rho_c c_c V_c T_{co}(t)]}{dt} = I_c(t) A_c \tau\alpha - U_c A_c \left(T_{abs}(t) - T_{ca}(t)\right) + \dot{v}_c(t) \rho_{ci} c_{ci} T_{ci}(t) - \\ - \dot{v}_c(t) \rho_{co} c_{co} T_{co}(t) \tag{6}$$

ahol $\dot{v}_c(t)$ a kollektoron átáramló folyadék térfogatárama, ρ_{ci} a kollektorba belépő, ρ_{co} a kollektorból kilépő folyadék sűrűsége, c_{ci} a kollektorba belépő, c_{co} a kollektorból kilépő folyadék fajlagos hőkapacitása, V_c a kollektor folyadék átvezető járatainak a térfogata. Megjegyzés: $\dot{m}_c(t) = \dot{v}_c(t)\ \rho_c$.

Továbbiakban a következő egyszerűsítéseket alkalmazva:

$\rho_c \neq \rho_c(T)$ a vizsgált tartományban,

$c_c \neq c_c(T)$ a vizsgált tartományban,

$\rho_{ci} = \rho_{co} = \rho_c$,

$c_{ci} = c_{co} = c_c$,

V_c állandó.

Az egyszerűsítések bevezetésével a (6) egyenlet az alábbiak szerint írható:

$$\rho_c c_c V_c \frac{dT_{co}(t)}{dt} = I_c(t) A_c \tau\alpha - U_c A_c \left(T_{abs}(t) - T_{ca}(t)\right) + \dot{m}_c(t) c_c \left(T_{ci}(t) - T_{co}(t)\right). \tag{7}$$

A kollektor abszorber hőmérsékletének mérése a gyakorlatban nehezen kivitelezhető, ezért a hőveszteség számításánál általában az átlagos kollektor hőmérséklettel $T_{cav}(t)$ számolnak, ami a kollektor be- és a kilépő folyadékáram hőmérsékletéből számítható:

$$T_{cav}(t) = \frac{T_{ci}(t) + T_{co}(t)}{2}. \tag{8}$$

Az abszorber és a hőszállító folyadék között egy úgynevezett termikus ellenállás van, amikor a rendszer üzemel a kollektor abszorber felületének hőmérséklete nagyobb, mint a csőben áramló folyadék hőmérséklete. Ez az abszorber esetén nagyobb sugárzási és konvektív hőveszteséget okoz, mintha annak hőmérséklete a csőben áramló folyadék hőmérsékletével azonos lenne. Ez a hatás az F', hőszállítási vagy hőelviteli korrekciós tényezővel vehető figyelembe, ami az abszorberfelület és a hőszállító folyadék közötti hőátadás hatásfokát jellemzi. Jól tervezett rendszerek esetén a hőáramlási ellenállás az abszorber és a hőszállító folyadék között alacsony, az F' értéke közel egy. Ezt a tényezőt a (7) egyenletbe helyettesítve az alábbi egyenlet írható fel:

$$\rho_c c_c V_c \frac{dT_{co}(t)}{dt} = I_c(t) A_c F' \tau\alpha - U_c A_c F' \left(T_{cav}(t) - T_{ca}\right) + \dot{m}_c(t) c_c \left(T_{ci}(t) - T_{co}(t)\right). \tag{9}$$

Kollektor teljesítmény vizsgálatok és mérések esetén az $F'\tau\alpha$ és $F'U_c$ szorzatokat alkalmazzák (KING et al. 1995). Az $F'\tau\alpha$ szorzatot optikai hatásfoknak nevezik és η_0 –al jelölik, míg az $F'U_c$ szorzatot a szakirodalomban a kollektor teljes hőveszteségi tényezőjének hívják és az alkalmazott jelölés U_L. A paraméterek értékei elméleti analízissel vagy méréssel határozhatók meg. A bevezetett jelölésekkel a kollektor hőmérlegét leíró egyenlet:

$$\rho_c c_c V_c \frac{dT_{co}(t)}{dt} = I_c(t) A_c \eta_0 - U_L A_c \left(T_{cav}(t) - T_{ca}(t)\right) + \dot{m}_c(t) c_c \left(T_{ci}(t) - T_{co}(t)\right). \tag{10}$$

A 8. táblázat tartalmaz néhány η_0 és U_L értéket különböző típusú kollektorok esetén.

8. táblázat Az optikai hatásfok η_0 és a teljes hőveszteség tényező U_L tipikus értékei különböző kialakítású kollektorok esetén (BOURGES 1991)

Kollektor kialakítás	Hőmérséklet tartomány, °C	η_0	U_L, W m^{-2} °C^{-1}
Üvegezetlen	10-40	0,90	15-25
Egyrétegű üvegezéssel	10-60	0,80	7
Dupla üvegezéssel	10-80	0,65	5
Egyrétegű üvegezés, szelektív	10-80	0,80	5
Vákuumcsöves	10-130	0,70	2

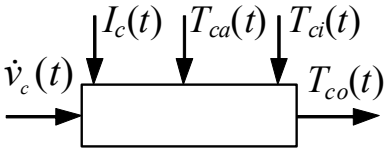
Végül a kollektor állapotegyenlete a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet időszerinti elsőrendű differenciálhányadosára rendezve (BUZÁS et al. 1998):

$$\frac{dT_{co}(t)}{dt} = \frac{A_c \eta_0}{C_c} I_c(t) - \frac{U_L A_c}{C_c}\left(T_{cav}(t) - T_{ca}(t)\right) + \frac{\dot{v}_c(t)}{V_c}\left(T_{ci}(t) - T_{co}(t)\right), \tag{11}$$

ahol $C_c = \rho_c c_c V_c$ a kollektorban lévő folyadék hőkapacitása.

A kollektor modell (11) egyenlet változóinak irányítási szempont szerinti csoportosítását a 10. ábra szemlélteti. Ezek a következők:

Állapotváltozó: $T_{co}(t)$
Irányított jellemző: $T_{co}(t)$
Bemenő jellemzők:
Módosított jellemző: $\dot{v}_c(t)$
Zavaró jellemzők: $I_c(t)$, $T_{ca}(t)$, $T_{ci}(t)$
Paraméterek: A_c, ρ_c, c_c, V_c, U_L, η_0



10. ábra A napkollektor blokkvázlata

3.1.2. A kollektor modell analízise állandósult állapotban

Ebben az esetben a feltételezés az, hogy a kollektor állandósult állapotban van. Így az energia akkumuláció (az energia tartalom megváltozása) nullává tehető, más szavakkal a (11) egyenlet baloldala nulla. Az állandósult állapot vizsgálata során a kollektor és környezete közötti hőcserétől eltekintve a (11) egyenletből a hőveszteséget leíró tag elhagyásával:

$$0 = \frac{A_c \eta_0}{C_c} I_{c,s} + \frac{\dot{v}_{c,s}}{V_c}\left(T_{ci,s} - T_{co,s}\right). \tag{12}$$

Az egyenletben az s alsóindex a változók értékének állandósult állapotát jelöli. (Ha egy, vagy több bemenő változó értéke megváltozik, a rendszer energia egyensúlya felborul.) A (12) egyenletet a kollektorból kilépő folyadék állandósult állapotbeli hőmérsékletére rendezve:

$$T_{co,s} = \frac{V_c}{\dot{v}_{c,s}} \frac{A_c \eta_0}{C_c} I_{c,s} + T_{ci,s}\,. \tag{13}$$

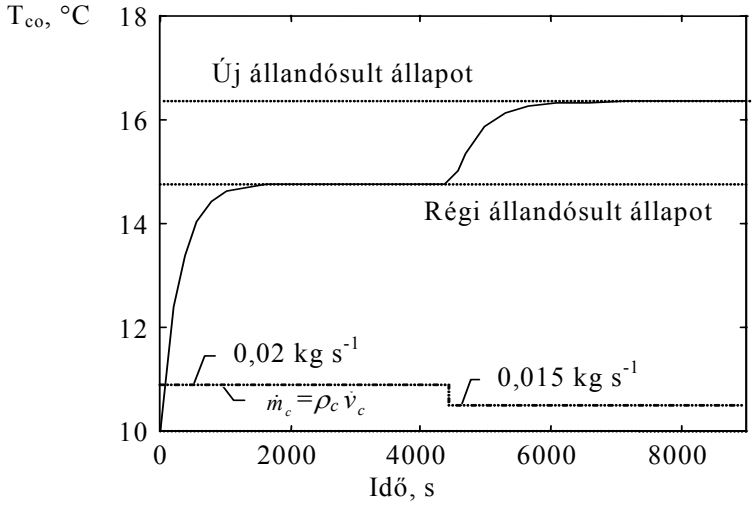
A következő paramétereket feltételezve: V_c=0,006 m^3, A_c = 2 m^2, η_0=1, $I_{c,s}$= 200 W m^{-2}, $T_{ci,s}$= 10 °C, ρ_c=1000 kg m^{-3}, $\dot{m}_c$= 0,02 kg s^{-1}, $\dot{v}_{c,s} = \dot{m}_c/\rho_c$=0,02/1000=2·10^{-5} m^3 s^{-1}, c_c= 4200 J kg^{-1} K^{-1}, $C_c=\rho_c\, c_c\, V_c$=1000·4200·0,006=25200 J K^{-1}. A paraméterek értékeit a (13) egyenletbe behelyettesítve, az állandósult állapotbeli kilépő folyadék hőmérséklet számítható:

$$T_{co,s} = \frac{0{,}006 \cdot 2}{2 \cdot 10^{-5} \cdot 25200} \cdot 200 + 10 = 14{,}76\ °\mathrm{C}.$$

Ha egy bemenő jellemző értéke, például a kollektoron átáramló folyadék tömegárama egy adott időpillanatban ugrás függvény szerint 0,005 kg s^{-1}-os értékkel csökken, akkor a tranziens jelenség lejátszódását követően egy új állandósult állapot alakul ki:

$$T_{co,s} = \frac{0{,}006 \cdot 2}{1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 25200} \cdot 200 + 10 = 16{,}34\ °\mathrm{C}.$$

A fentiekben ismertetett paraméterek mellett, a kollektorból kilépő folyadék hőmérsékletében a tömegáram változás hatására kialakuló tranziens jelenséget a 11. ábra mutatja.



11. ábra A kilépő kollektor hőmérséklet válasza a tömegáram megváltozására

A 11. ábra a megválasztott paraméterek mellett a kollektor statikus és dinamikus viselkedését mutatja. Egy idő intervallum eltelte után a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet újra elér egy új állandósult állapotot és a továbbiakban ezen az értéken marad.

3.1.3. A kollektor modell analitikus megoldása

A kollektor hőegyensúlyi egyenletének analitikus megoldásához az átáramló folyadék tömegáram $\dot{m}_c$ = állandó. A kollektorban lévő folyadéktérfogat és az átáramló folyadék térfogatáram alapján definiálható egy úgynevezett tartási idő (angolul: residence time) $\tau_{cr} = V_c/\dot{v}_c$, ami az előző feltétel miatt szintén állandó. Az analitikus megoldás során a kollektor és környezete közötti hőcserétől eltekintve a (11) egyenletből a hőveszteséget leíró tag elhagyható. Az egyenlet kimenő változóit tartalmazó tagokat a baloldalra, és minden más tagot a jobb oldalra csoportosítva a (11) differenciálegyenlet az alábbi alakban írható fel:

g(kimenő változók)= f(bemenő változók)

$$\frac{dT_{co}(t)}{dt} + \frac{1}{\tau_{cr}} T_{co}(t) = \frac{A_c \eta_0}{C_c} I_c(t) + \frac{1}{\tau_{cr}} T_{ci}(t) \tag{14}$$

A (14) egyenlet egy állandó együtthatós, elsőrendű, lineáris differenciálegyenlet, ami analitikusan megoldható.

$$T_{co}(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} + e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} \int_0^t \left(\frac{A_c \eta_0}{C_c} I_c(t') + \frac{1}{\tau_{cr}} T_{ci}(t') \right) e^{\frac{t'}{\tau_{cr}}} dt' \tag{15}$$

Az integrál analitikusan csak abban az esetben oldható meg, ha a bemenő változók időfüggvényei $T_{ci}(t)$, $I_c(t)$ egyszerű alakúak. Például, ha $I_c(t)=I_c$, és

$T_{ci}(t)=T_{ci}$, vagyis a bemeneti függvényeket t=0-tól időben állandónak tekintve a következő kifejezés írható fel:

$$T_{co}(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} + e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}\left(\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c + \frac{1}{\tau_{cr}}T_{ci}\right)\int_0^t e^{\frac{t'}{\tau_{cr}}}dt' =$$

$$T_{co}(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} + e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}\left(\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c + \frac{1}{\tau_{cr}}T_{ci}\right)\tau_{cr}\left(e^{\frac{t}{\tau_{cr}}} - 1\right) =$$

$$T_{co}(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} + \left(\frac{\tau_{cr}A_c\eta_0}{C_c}I_c + T_{ci}\right)\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}\right) \tag{16}$$

Az ismeretlen integrálási állandó C meghatározásához szükség van a kezdeti feltételre. Látható, hogy t=0 esetén a (16) egyenlet jobb oldalának második része nulla (e^0=1) $T_{co}(t)=T_{co}(0)$. Így $T_{co}(0)=C$.

Ezek után a kollektor hőegyensúlyi egyenletének analitikus megoldása:

$$T_{co}(t) = T_{co}(0)e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} + \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}\right)\left(\frac{\tau_{cr}A_c\eta_0}{C_c}I_c + T_{ci}\right) \tag{17}$$

Az egyenlet első része a kezdeti feltételre adott válaszfüggvényt szemlélteti, a második tag a napsugárzásra I_c, mint ugrásfüggvényre, az utolsó tag pedig a belépő folyadék hőmérsékletre T_{ci}, mint ugrásfüggvényre adott válaszfüggvényt szemlélteti.

Meg kell jegyezni, hogy az eredményül kapott függvény - időben állandó bemeneti jelek I_c és T_{ci} esetén - a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet tranziens válaszfüggvénye a kezdeti értéktől $T_{co}(0)$, az állandósult állapotbeli értékig $T_{co}(\infty)$.

Ellenőrzés: $t \rightarrow \infty$ esetén a kollektor modell állandósult állapotbeli vizsgálatánál kapott eredménnyel azonos, állandósult állapotra érvényes megoldást kell kapni.

$$T_{co}(\infty) = \frac{\tau_{cr}A_c\eta_0}{C_c}I_c + T_{ci}$$

Ami tényleg azonos a (13) egyenlettel.

3.1.4. A kollektor modell megoldása Laplace transzformációval

A (14) egyenlet egy elsőrendű lineáris differenciálegyenlet, amely Laplace transzformáció alkalmazásával megoldható. Kijelölve a Laplace transzformációt az egyenlet mind két oldalán:

$$\mathcal{L}\left[\frac{dT_{co}(t)}{dt}\right] + \frac{1}{\tau_{cr}}\mathcal{L}\left[T_{co}(t)\right] = \frac{A_c\eta_0}{C_c}\mathcal{L}\left[I_c(t)\right] + \frac{1}{\tau_{cr}}\mathcal{L}\left[T_{ci}(t)\right] \tag{18}$$

Elvégezve a transzformációt és az operátor tartományban a változók Laplace transzformáltjait felül vonással jelölve:

$$\left(s\overline{T}_{co}(s)-T_{co}(0)\right)+\frac{1}{\tau_{cr}}\overline{T}_{co}(s)=\frac{A_c\eta_0}{C_c}\overline{I}_c(s)+\frac{1}{\tau_{cr}}\overline{T}_{ci}(s) \tag{19}$$

Minden állapotváltozót a baloldalra gyűjtve:

$$\overline{T}_{co}(s)\left(s+\frac{1}{\tau_{cr}}\right)=T_{co}(0)+\frac{A_c\eta_0}{C_c}\overline{I}_c(s)+\frac{1}{\tau_{cr}}\overline{T}_{ci}(s) \tag{20}$$

$$\overline{T}_{co}(s)=\frac{1}{\left(s+\frac{1}{\tau_{cr}}\right)}T_{co}(0)+\frac{1}{\left(s+\frac{1}{\tau_{cr}}\right)}\frac{A_c\eta_0}{C_c}\overline{I}_c(s)+\frac{1}{\left(s+\frac{1}{\tau_{cr}}\right)}\frac{1}{\tau_{cr}}\overline{T}_{ci}(s)$$

vagy

$$\overline{T}_{co}(s)=\frac{\tau_{cr}}{\tau_{cr}s+1}T_{co}(0)+\frac{\frac{\tau_{cr}A_c\eta_0}{C_c}}{\tau_{cr}s+1}\overline{I}_c(s)+\frac{1}{\tau_{cr}s+1}\overline{T}_{ci}(s) \tag{21}$$

A bemeneti változókat, a napsugárzást $\overline{I}_c(s)$ és a kollektorba belépő folyadék hőmérsékletet $\overline{T}_{ci}(s)$ ugrás függvényeknek tekintve. A Laplace transzformáltjuk I_c/s és T_{ci}/s formában adható meg. Ekkor a (21) egyenlet:

$$\overline{T}_{co}(s)=\frac{\tau_{cr}}{\tau_{cr}s+1}T_{co}(0)+\frac{1}{s(\tau_{cr}s+1)}\left(\frac{\tau_{cr}A_c\eta_0}{C_c}I_c+T_{ci}\right) \tag{22}$$

A (22) egyenlet a kollektor hőegyensúlyát leíró differenciálegyenlet analitikus megoldásaként kapott időtartománybeli függvénynek az operátor tartománybeli megfelelője. Vagyis a (22) egyenlet ugyanaz s-tartományban, mint a (17) egyenlet időtartományban. Inverz Laplace transzformációt alkalmazva operátor tartományból visszatérve időtartományba:

$$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{\tau_{cr}}{\tau_{cr}s+1}\right]=e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}} \quad \text{és} \quad \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s(\tau_{cr}s+1)}\right]=1-e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}$$

Az időtartománybeli ugrásfüggvényekre adott válaszfüggvények szintén vizsgálhatók, mind a kezdeti feltétel, mind pedig a bemenő változók I_c és T_{ci} tekintetében.

A kollektorból kilépő folyadék hőmérsékletének a kezdeti feltételre adott válaszfüggvénye:

$$T_{co}(t)=T_{co}(0)e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}.$$

A kollektorból kilépő folyadék hőmérsékletének a napsugárzásra I_c, mint időtartománybeli ugrásfüggvényre adott válaszfüggvénye:

$$I_c(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ I_c, & t \geq 0 \end{cases}$$

$$\mathcal{L}\left[I_c(t)\right] = \bar{I}_c(s) = \frac{I_c}{s}$$

$$T_{co}(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{(\tau_{cr} A_c \eta_0)/C_c}{\tau_{cr} s + 1} \frac{I_c}{s}\right] = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}\right) \frac{\tau_{cr} A_c \eta_0}{C_c} I_c$$

A kollektorból kilépő folyadék hőmérsékletének a kollektorba belépő folyadék hőmérsékletére T_{ci}, mint időtartománybeli ugrásfüggvényre adott válaszfüggvénye:

$$T_{ci}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ T_{ci}, & t \geq 0 \end{cases}$$

$$\mathcal{L}\left[T_{ci}(t)\right] = \bar{T}_{ci}(s) = \frac{T_{ci}}{s}$$

$$T_{co}(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{\tau_{cr} s + 1} \frac{T_{ci}}{s}\right] = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{cr}}}\right) T_{ci}$$

A kapott eredmény megerősíti a korábban analitikus úton előállított megoldást. Meg kell azonban jegyezni, hogy az időtartománybeli megoldás abban az esetben különböző lesz, ha a napsugárzás $I_c(t)$ és a belépő folyadék hőmérséklet $T_{ci}(t)$ nem ugrás-, hanem más típusú függvények.

3.2. Napenergiás használati melegvíztároló modellje

A használati melegvíztárolók modellezésére számos, a szakirodalomban felelhető, egymástól igen eltérő módszer alkalmazható. A koncentrált paraméterű modell termikusan teljesen kevert tárolóra alkalmazható. 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. Ezt a modellt a szakirodalomban termikus szempontból teljesen kevert modellnek hívják. Az ilyen típusú matematikai modell a tároló termikus rétegződéséről semmilyen információt nem ad.

A hőtárolók termikus rétegződésének leírására koncentrált paraméterű modellek is léteznek. Erre a célra több különféle modellt fejlesztettek ki, amelyek két fő csoportba sorolhatók (DUFFIE. J. A., BECKMAN W. A. 1980). Az egyik módszernél a tárolóban kialakuló függőleges termikus rétegződés az egymás fölött elhelyezkedő rétegekre külön-külön felírt energiaegyensúlyi egyenlettel írható le. Ennél a módszernél a rétegek számával egyező számú közönséges differenciálegyenlet alkotta egyenletrendszerrel írható le a tároló

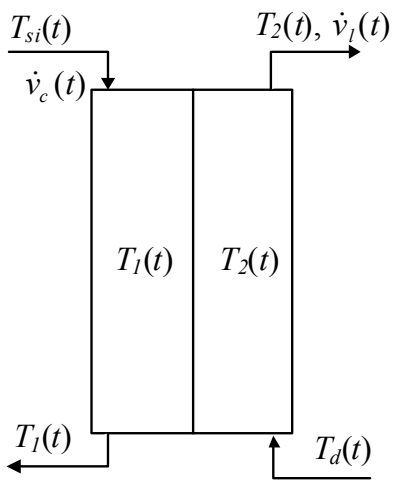
függőleges termikus rétegződése, ahol a keresett változók az egyes réteghőmérsékletek az idő függvényében. A másik csoportba az olyan konstrukciójú modellek tartoznak, amelyeknél a tároló töltése során az egyes eltérő hőmérsékletű rétegek a tároló alsó részének irányába mozognak.

A termikus rétegződés jellemzésére, az egy- és kétdimenziós folytonos hőmérséklet eloszlás leírására alkalmas matematikai modellek már nem közönséges, hanem parciális differenciálegyenlettel adhatók meg. A hőmérséklet eloszlás leírására az egyes modellek csak korlátozottan, adott feltételek mellett képesek. A tárolóban a hőmérséklet térbeli eloszlásáról és a kialakuló áramlási képről is információt szolgáltató modellek lényegesen összetettebbek. A sebességmező és a hőmérséklet eloszlás térbeli leírására víz esetén az impulzus-transzportegyenletek inkompresszibilis alakja alkalmazható, a hőtranszportfolyamat pedig egy konvekció-diffuzió egyenlettel számítható (ZACHÁR A. 2003). Ezen matematikai modell alkalmas a tárolóban elhelyezett különböző kialakítású áramlásterelők rétegződésre gyakorolt hatásának vizsgálatára is (ZACHÁR et al. 2003). Az egyes numerikus megoldási módszerek a korrekt eredmények realizálásához a diszkretizálási, rácsozási, perem és kezdeti feltétel megadási feladatok gondos kezelését igénylik. A megfelelően finom rácsfelosztás melletti három térdimenziós számítások elvégzése igen jelentős számítási kapacitást igényel.

A fentiekben röviden ismertetett modellezési módszerek közül a dolgozatban termikusan teljesen kevert tárolót feltételezve a tároló hőmérsékletének időbeli változását leíró koncentrált paraméterű modellt alkalmaztam.

3.2.1. Osztott melegvíztároló modellje

A tároló osztott tartályként feltételezett, ahol a hőátadás a két tároló részt elválasztó fal felületén keresztül megy végbe. A tároló vázlatát a 12. ábra szemlélteti. A tároló szekciók egyező mérete 0,400 m x 0,200 m x 0,937 m, térfogatuk pedig 0,075 m^3.



12. ábra Osztott melegvíztároló tartály vázlata

A kollektorból érkező, az egyes tároló szekcióba belépő folyadék hőmérséklet $T_{si}(t)$. Az egyes tároló félből kilépő, a kollektorba visszaáramló folyadék hőmérséklet $T_1(t)$. A kollektor és az egyes tároló szekció között áramló folyadék térfogatáram $\dot{v}_c(t)$. A kettes tároló szekcióba a hidegvízhálózatból belépő víz hőmérséklet $T_d(t)$. A kettes tároló szekcióból elvitt melegvíz hőmérséklet $T_2(t)$, valamint a melegvíz elvétel térfogatárama $\dot{v}_l(t)$. Mindkét tároló szekcióban, térben homogén hőmérséklet eloszlást, vagyis termikusan tökéletesen kevert tárolót feltételezve, továbbá a kettes tároló félbe belépő hálózati tápvíz hőmérséklete $T_d(t)=T_d$ állandó. A modell nem veszi figyelembe a tároló hőveszteségét a környezet felé.

Fentiek alapján az energia egyensúlyi egyenlet a tároló tartály két szekciójára a következők szerint írható fel:

$$\frac{d\left(\rho_1 c_1 V_1 T_1(t)\right)}{dt} = \dot{v}_c(t)\rho_{1i} c_{1i} T_{si}(t) - \dot{v}_c \rho_{1o} c_{1o} T_1(t) - UA(T_1(t) - T_2(t)) \tag{23}$$

$$\frac{d\left(\rho_2 c_2 V_2 T_2(t)\right)}{dt} = \dot{v}_l(t)\rho_{2i} c_{2i} T_d - \dot{v}_l(t)\rho_{2o} c_{2o} T_2(t) + UA(T_1(t) - T_2(t)), \tag{24}$$

ahol ρ a folyadék sűrűsége, c a folyadék fajhője, V_1, V_2 a tároló tartály szekciók térfogata, U a tárolótartály szekcióit elválasztó fal hőátadási együtthatója, A a tárolótartály szekciók közötti hőátadó felület.

Továbbá a következő feltételek érvényesek:

$\rho_1 = \rho_2 = \rho$ és $\rho \neq \rho(T)$ a vizsgált tartományban,

$c_1 = c_2 = c$ és $c \neq c(T)$ a vizsgált tartományban,

$\rho_{1i} = \rho_{1o} = \rho$,

$c_{1i} = c_{1o} = c$,

$V_1 = V_2 = V$ konstans.

Ezek után:

$$\rho c V \frac{dT_1(t)}{dt} = \dot{v}_c(t)\rho c T_{si}(t) - \dot{v}_c(t)\rho c T_1(t) - UA(T_1(t) - T_2(t)) \tag{25}$$

és

$$\rho c V \frac{dT_2(t)}{dt} = \dot{v}_l(t)\rho c T_d - \dot{v}_l(t)\rho c T_2(t) + UA(T_1(t) - T_2(t)). \tag{26}$$

A modell állapotváltozói $T_1(t)$ és $T_2(t)$ egyben a kimeneti változók is. A bemenő változók $\dot{v}_c(t)$, $\dot{v}_l(t)$, $T_{si}(t)$ és T_d, és fizikai paraméterek a ρ, c, U, a tervezési paraméterek pedig V és A.

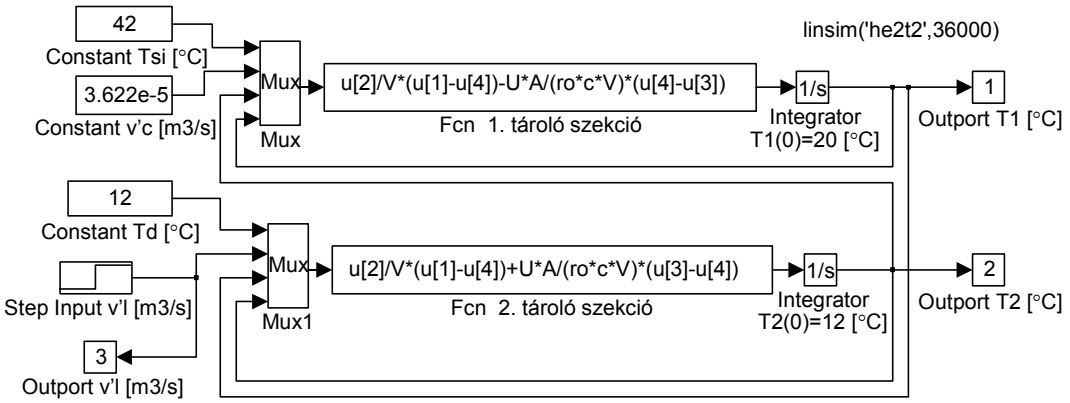
Az osztott tároló modell numerikus megoldásához a blokkorientált szimulációs technikát alkalmazva a (25) és a (26) egyenletet a keresett kimeneti változók idő szerinti legmagasabb rendű differenciálhányadosára rendezve:

$$\frac{dT_1(t)}{dt} = \frac{\dot{v}_c(t)}{V}(T_{si}(t) - T_1(t)) - \frac{UA}{\rho c V}(T_1(t) - T_2(t)) \tag{27}$$

és

$$\frac{dT_2(t)}{dt} = \frac{\dot{v}_l(t)}{V}(T_d - T_2(t)) + \frac{UA}{\rho c V}(T_1(t) - T_2(t)). \tag{28}$$

A 13. ábra a (27) és (28) egyenletek alapján az osztott tároló Matlab+Simulink-ben elkészített szimulációs modelljét szemlélteti.

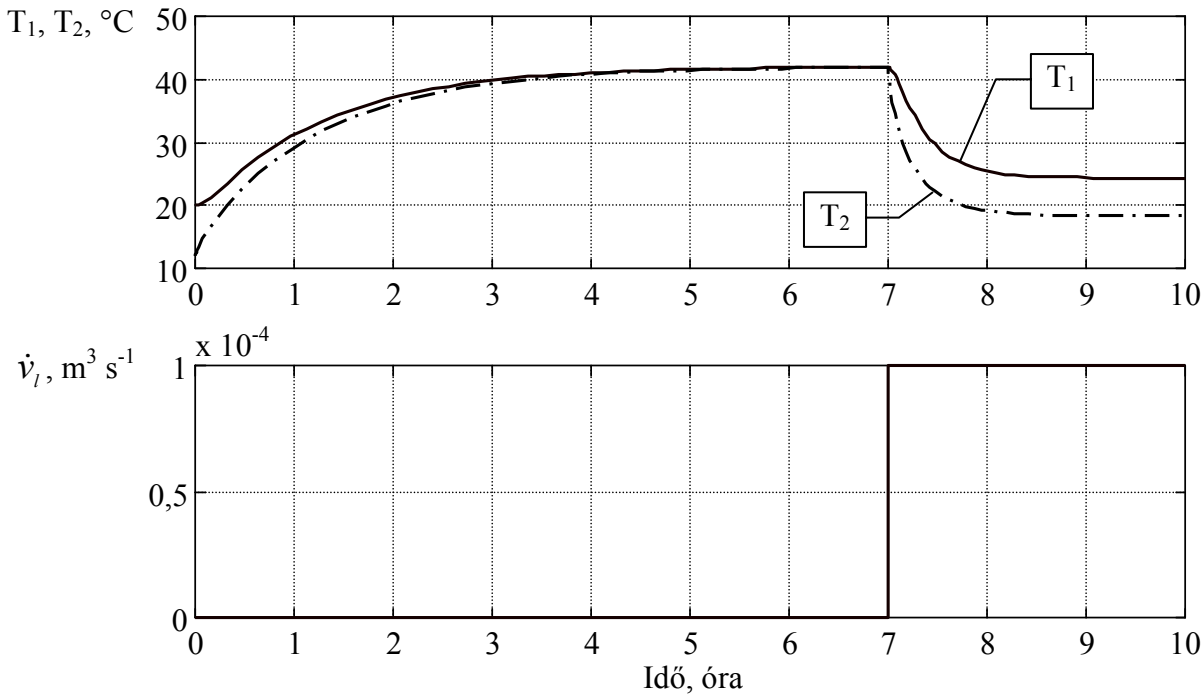


13. ábra Osztott hőtároló Matlab+Simulink modellje

A szimuláció a következőkben megadott időben állandó bemeneti változó értékekkel lett végrehajtva: T_{si} = 42 °C, $\dot{v}_c$ = 3,622·10^{-5} m^3 s^{-1}, T_d = 12 °C. A paraméterek értékei V_1=V_2=0,075 m^3, U=1200 W m^{-2} °C^{-1}, A=0,375 m^2, ρ=1000 kg m^{-3}, c=4200 J kg^{-1} °C^{-1} voltak. A kettes tároló szekcióból a melegvíz elvétel térfogatáramát az alábbi ugrásfüggvény adja meg:

$$\dot{v}_l(t) = \begin{cases} 0\ \mathrm{m^3/s}, & \mathrm{t} < 2{,}52 \cdot 10^4\,\mathrm{s} \\ 1 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3/s}, & \mathrm{t} \geq 2{,}52 \cdot 10^4\,\mathrm{s}. \end{cases}$$

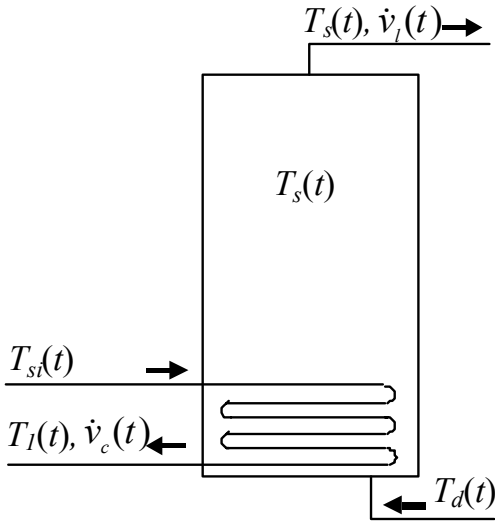
A kezdeti feltételek $T_1(0)$ = 20 °C és $T_2(0)$ = 12 °C voltak. A szimuláció futtatási végideje 3,6·10^4 s vagy is 10 óra volt. A szimuláció eredményét a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra Az osztott tároló szekció hőmérsékleteinek alakulása a melegvíz elvételben bekövetkező térfogatáram változás hatására

3.2.2. Belső hőcserélővel ellátott melegvíztároló modellje

A gyakorlatban telepített, kisebb méretű napkollektoros rendszerekben, az alacsonyabb tároló térfogat tartományban, 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 (15. ábra) halad keresztül. A tárolókba beépített hőcserélő csőkígyók különböző kialakításúak lehetnek. A tartályba hegesztett hőcserélő csőkígyókat nagyobb átmérővel, függőleges hossztengellyel, álló helyzetben építik be a tárolóba (lásd: 7. ábra), míg a karimán keresztül beépített hőcserélő csőkígyók átmérője kisebb és fekvő hossztengellyel helyezkednek el a tárolóban.



15. ábra Beépített hőcserélő csőkígyóval kialakított tároló tartály vázlata

A kollektorból érkező, a beépített hőcserélő csőkígyóba belépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_{si}(t)$. A tárolóba beépített hőcserélő csőkígyóból kilépő, a kollektorba visszatérő folyadék hőmérséklet $T_1(t)$. A kollektoron és a hőcserélő csőkígyón áthaladó hőszállító közeg térfogatáram $\dot{v}_c(t)$. A hidegvízhálózatból a tárolóba belépő tápvíz hőmérséklet $T_d(t)$. A tárolóból elvitt melegvíz hőmérséklet $T_s(t)$ és a vízelvétel térfogatárama $\dot{v}_l(t)$. 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 melegvíztároló energia egyensúlyi egyenlete a következő:

$$\frac{d\left(\rho_1 c_1 V_s T_s(t)\right)}{dt} = \dot{v}_l(t)\rho_1 c_1 (T_d - T_s(t)) + \dot{v}_c(t)\rho_2 c_2 (T_{si}(t) - T_1(t)). \qquad (29)$$

Ez az egyenlet azt feltételezi, hogy a hőcserélő csőkígyóban a hőtárolás nem változik. A hőcserélő csőkígyóból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_1(t)$ meghatározásához további egyenletre van szükség. Mivel a hőcserélő csőkígyóban tárolt hő mennyisége nem változik, ezért feltételezhető, hogy a hőcserélő állandósult állapotban van. Erre az esetre a hőszállítással foglalkozó kézikönyvekből a következő egyenlet áll rendelkezésre:

$$\dot{v}_c(t)\rho_2 c_2 \left(T_{si}(t) - T_1(t)\right) = UA \frac{\Delta T_{si}(t) - \Delta T_1(t)}{\ln \dfrac{\Delta T_{si}(t)}{\Delta T_1(t)}}, \qquad (30)$$

ahol $\Delta T_{si}(t)=T_{si}(t)-T_s(t)$ és $\Delta T_1(t)=T_1(t)-T_s(t)$, ρ a folyadék sűrűsége, c a folyadék fajhője, V_s a tároló térfogata, U a hőcserélő csőkígyó hőátadási tényezője a tárolóban, A a hőcserélő csőkígyó felülete. A (30) egyenlet jobb oldala a hőcserélő csőkígyóra állandósult állapotban felírható parciális differenciálegyenletből levezethető.

Feltételezzük továbbá, hogy:

$\rho_1 = \rho_2 = \rho$ és $\rho \neq \rho(T)$ a vizsgált tartományban,

$c_1 = c_2 = c$ és $c \neq c(T)$ a vizsgált tartományban,

V_s állandó.

Ezek alapján:

$$\rho c V_s \frac{dT_s(t)}{dt} = \dot{v}_l(t)\rho c(T_d - T_s(t)) + \dot{v}_c(t)\rho c(T_{si}(t) - T_1(t)) \tag{31}$$

$$\dot{v}_c(t)\rho c\big(T_{si}(t) - T_1(t)\big) = UA\frac{\Delta T_{si}(t) - \Delta T_1(t)}{\ln\dfrac{\Delta T_{si}(t)}{\Delta T_1(t)}}. \tag{32}$$

A (32) egyenletből a hőcserélő csőkígyóból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_1(t)$ kifejezhető a tárolóban lévő melegvíz hőmérséklet $T_s(t)$, mint állapotváltozó és a hőcserélő csőkígyóba belépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_{si}(t)$, valamint a hőcserélő csőkígyón áthaladó hőszállítóközeg térfogatáram $\dot{v}_c(t)$, mint bemeneti változók függvényeként:

$$\left[\ln\frac{T_{si}(t) - T_s(t)}{T_1(t) - T_s(t)}\right]\dot{v}_c(t)\rho c\big(T_{si}(t) - T_1(t)\big) = UA\big(T_{si}(t) - T_1(t)\big),$$

$$\left[\ln\frac{T_{si}(t) - T_s(t)}{T_1(t) - T_s(t)}\right]\dot{v}_c(t)\rho c = UA,$$

$$\left[\ln\frac{T_{si}(t) - T_s(t)}{T_1(t) - T_s(t)}\right] = \frac{UA}{\dot{v}_c(t)\rho c},$$

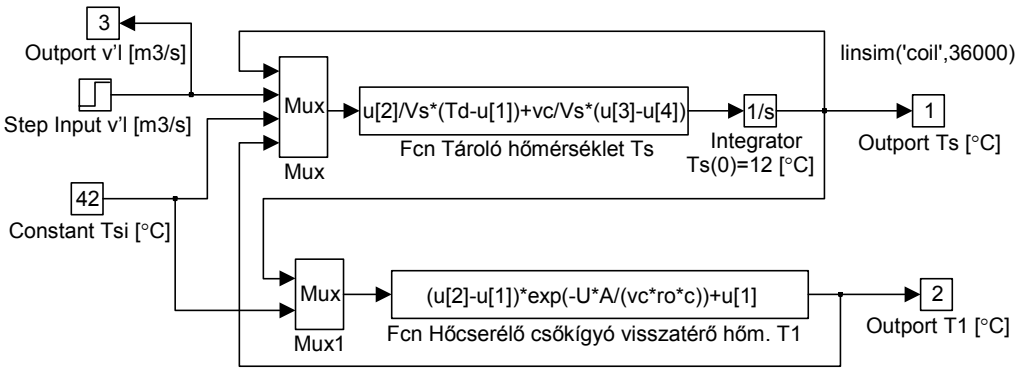
$$e^{\frac{UA}{\dot{v}_c(t)\rho c}} = \frac{T_{si}(t) - T_s(t)}{T_1(t) - T_s(t)},$$

$$T_1(t) = \big(T_{si}(t) - T_s(t)\big)e^{-\frac{UA}{\dot{v}_c(t)\rho c}} + T_s(t). \tag{33}$$

Ez a kifejezés közvetlenül felhasználható a beépített hőcserélő csőkígyóval kialakított tároló blokkorientált szimulációjához. Ehhez a (31) differenciálegyenletet a tárolóban lévő melegvíz hőmérséklet $T_s(t)$, mint kimeneti változó idő szerinti elsőrendű differenciálhányadosára rendezve:

$$\frac{dT_s(t)}{dt} = \frac{\dot{v}_l(t)}{V_s}(T_d - T_s(t)) + \frac{\dot{v}_c(t)}{V_s}(T_{si}(t) - T_1(t)) \tag{34}$$

A 16. ábra a (33) és (34) egyenletek alapján a beépített hőcserélő csőkígyóval rendelkező tároló Matlab+Simulink-ben elkészített szimulációs modelljét szemlélteti.



16. ábra Hőcserélős tároló Matlab+Simulink modellje

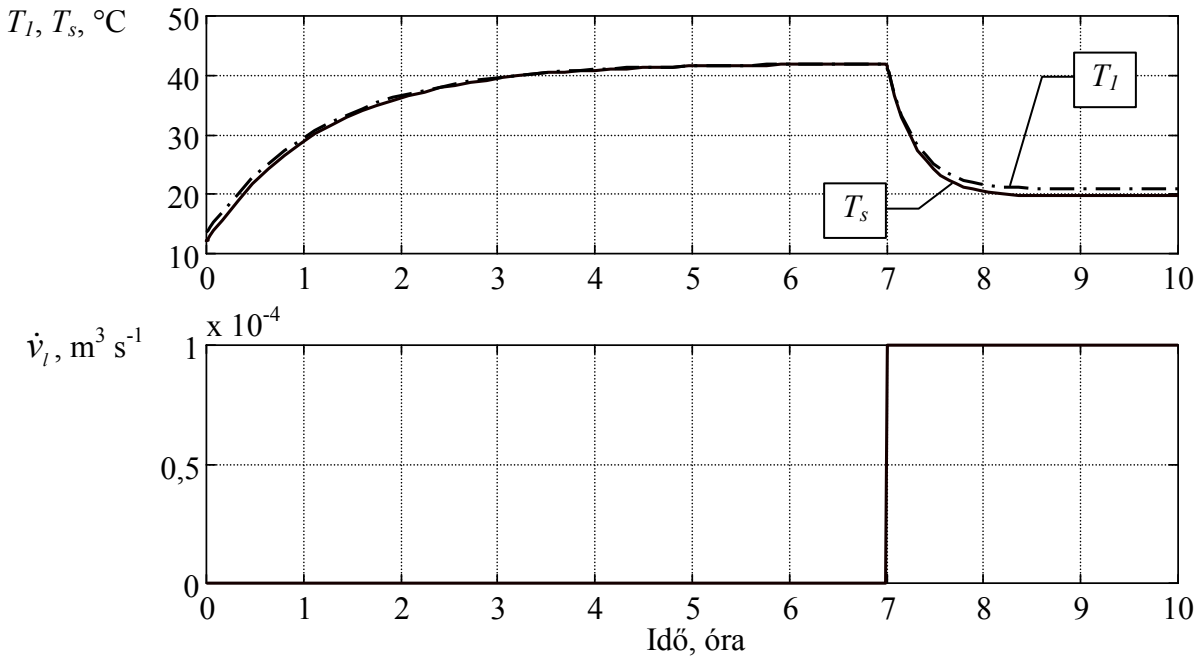
A szimulációhoz alkalmazott bementi változó és paraméter értékek, azonosak az osztott tároló esetén használt értékekkel. A szimuláció időben állandó bemeneti változó értékekkel lett végrehajtva: T_{si} = 42 °C, $\dot{v}_c$ = 3,622·10^{-5} m^3 s^{-1}, T_d = 12 °C. A paraméterek értékei V_s=0,15 m^3 (a tároló térfogat az osztott tároló V_1 és V_2 tároló szekció térfogatainak összege), U=1200 W m^{-2} °C^{-1}, A=0,375 m^2, ρ=1000 kg m^{-3}, c=4200 J kg^{-1} °C^{-1} voltak. A tárolóból a melegvíz elvétel térfogatáramát az alábbi ugrásfüggvény adja meg:

$$\dot{v}_l(t) = \begin{cases} 0\ \mathrm{m^3/s}, & \mathrm{t} < 2{,}52 \cdot 10^4\,\mathrm{s} \\ 1 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3/s}, & \mathrm{t} \geq 2{,}52 \cdot 10^4\,\mathrm{s}. \end{cases}$$

A kezdeti feltételek $T_s(0)$=12 °C és a hőcserélő csőkígyóból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet kezdeti értéke $T_1(0)$ a (33) egyenlet alapján a paraméterek értékéből számítható:

$$T_1(0) = (42 - 12)e^{-\frac{1200 \cdot 0{,}375}{3{,}622 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 4200}} + 12 = 13{,}55\,°\mathrm{C}.$$

A szimuláció futtatási végideje 3,6·10^4 s vagy is 10 óra volt. A szimuláció eredményét a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra A belső hőcserélővel rendelkező tároló hőmérsékletének T_s és a hőcserélő csőkígyó kilépő hőmérsékletének T_1 alakulása a melegvíz elvételben bekövetkező térfogatáram változás hatására

A szimuláció eredményét összevetve az osztott tárolónál kapott hőmérséklet lefutással (14. ábra), láthatóan a két tárolóban a hőmérséklet alakulása hasonló dinamikus tulajdonságokat mutat.

3.3. Napenergiás melegvízkészítő és tároló rendszerek kialakítása és vizsgálata

Munkám során közreműködtem több napkollektoros rendszer kialakításában és a berendezésekhez kapcsolódó mérés-, adatgyűjtő rendszerek tervezésében, kivitelezésében és üzemeltetésében. A megvalósított rendszerek mérési adatai alapján értékelhető az energiatermelésük, valamint az adatok felhasználhatók modellezési és szimulációs célra is. A következő rész a kialakított rendszereket mutatja be, amelyeknek a mérési adatait jelen dolgozatban felhasználtam.

3.3.1. Napkollektoros használati melegvízkészítő és tároló rendszer

A Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén, a PHARE Megújuló Energia Projekt, valamint más programok támogatásával megépült egy integrált energetikai-technológiai rendszer a napenergia mezőgazdasági célú alkalmazásainak bemutatására (FARKAS et al. 1998). Ezen rendszer része a napenergiás használati melegvízkészítő rendszer, valamint a berendezés szabályozására, üzemi- és meteorológiai paramétereinek monitorozására szolgáló adatgyűjtő rendszer is. Kutató munkám során részt vettem a berendezés kialakításában. Az üzemeltetési tapasztalatok alapján elvégeztem a

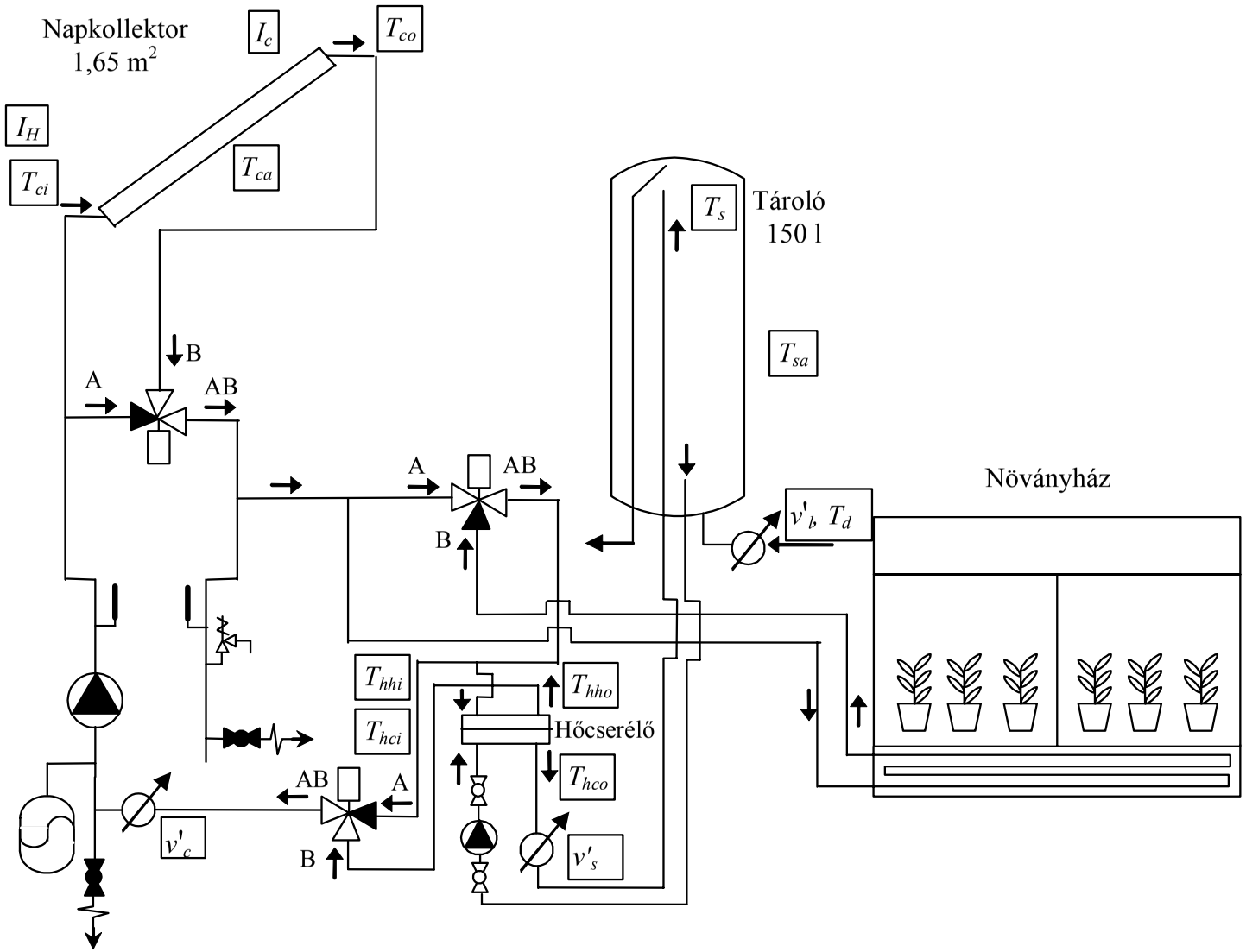
szükséges átalakítások tervezését, továbbá közreműködtem a rendszerhez kapcsolódó mérő-, adatgyűjtő rendszer kialakításában, megvalósításában.

3.3.1.1. A rendszer felépítése és műszaki jellemzői

A rendszer fő elemei a napkollektor és a begyűjtött hő tárolására szolgáló tartály, továbbá a rendszerhez kapcsolódik egy laboratóriumi növényház modell fűtőegysége is. A berendezés a három útváltó szelep megfelelő kapcsolásával többféle módon üzemeltethető, ahogy azt a 18. ábra szemlélteti:

- A kollektorral összegyűjtött hő a primer vagy kollektor körben szivattyúval keringtetett hőszállító közeg áthalad egy lemezes hőcserélőn, amelynek szekunder oldalán található a hőtárolásra szolgáló tartály. A szekunder körben működő szivattyú a tároló alján elhelyezett csőcsonkon keresztül vizet áramoltat a hőcserélőn keresztül, majd a felmelegedett víz a tartály felső részében levő csonkon jut vissza a tartályba.
- Az útváltó szelepek átkapcsolásával a kollektor által termelt hő közvetlenül használható a növényház fűtésére is.
- Éjszaka vagy kedvezőtlen napsugárzási feltételek esetén a tároló tartályban begyűjtött hő a növényház fűtésére felhasználható.

A hőtermelést végző SKV típusú napkollektor 1,65 m^2, sík, szelektív bevonatú hőelnyelő felülettel készült. A hőtárolásra egy 150 l-es bojler szolgál. A tartályba, vertikálisan 5 db LM 335 típusú integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő került elhelyezésre a tárolt víz réteghőmérsékleteinek mérésére. A tartályból elhasznált melegvíz, valamint a primer (kollektor) körben és a szekunder (tároló) körben keringtetett folyadék mennyisége vízmérő órák segítségével mérhető. A rendszer jellemző paramétereinek mérése, valamint a szivattyúk és útváltó szelepek vezérlése számítógéppel történik.

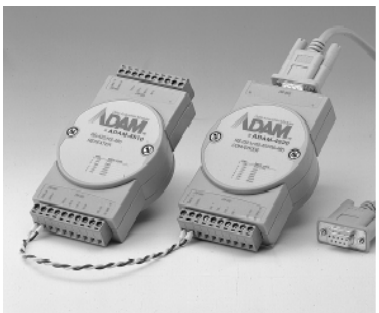


18. ábra A napenergiás melegvízkészítő berendezés felépítése

3.3.1.2. A berendezés monitorozó és szabályozó rendszerének felépítése

A kiépített adatgyűjtő, monitorozó és szabályozó egységgel valamennyi napenergia-hasznosító berendezés, így a napkollektoros rendszer működési és környezeti paramétereinek folyamatos mérése és a mérési adatok tárolása is megvalósítható.

A különböző berendezések nagyszámú, többnyire analóg jellegű mért paramétereinek értékét viszonylag távolra kell a központi adatgyűjtő számítógéphez a zavarérzékenységet kiküszöbölve továbbítani. Erre a célra az Advantech ADAM 4000-es sorozatú egy-chipes mikrokontrollerekre épülő adatgyűjtő és kommunikációs moduljai jól alkalmazhatók (19. ábra).

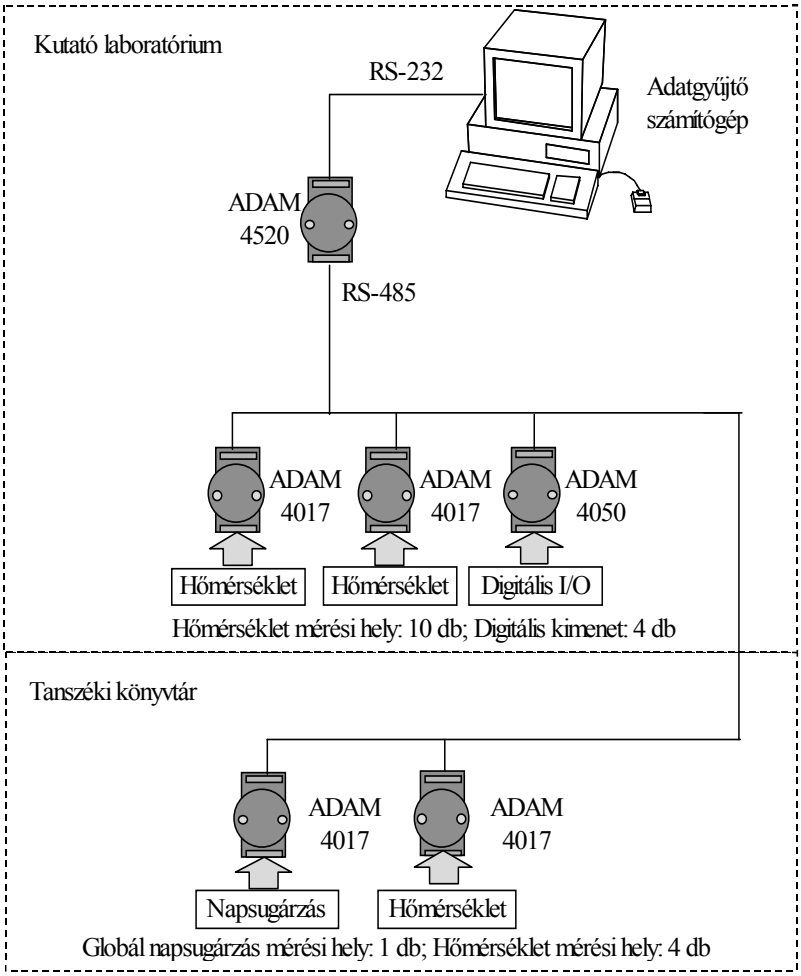


19. ábra ADAM modul

Az ADAM modulok között a kommunikáció az ipari szabványnak megfelelő RS-485 szabványú soros vonalon történik, ami egy sodrott vezetékpárt jelent, melyen az adatok maximum 19200 bit/s sebességgel továbbíthatók. Mivel az adatgyűjtő modulok között a soros vonali szabvány az RS-485-ös, ezért szükség van egy konverter modulra, mely a számítógép által is használt RS-232-re és visszakonvertálja az adatforgalom jelszintjeit és protokollját. A 20. ábra az adatgyűjtő-, szabályozó rendszer azon részének felépítését mutatja, ami a napkollektoros berendezéshez kapcsolódik.

A napkollektoros rendszer tárolója, hőcserélője, keringtető szivattyúi, az útváltó szelepek és az egyéb gépészeti berendezések egy kutató laboratóriumban vannak telepítve, a napkollektor azonban a tárolótól távol helyezkedik el. Ennek megfelelően a berendezés működésére jellemző paraméterek mérésére szolgáló adatgyűjtő modulok is két egymástól távol lévő helyiségben helyezkednek el, ahogy azt a 20. ábra mutatja.

A napkollektoros rendszerben fellépő hőmérsékleteket és a környezeti hőmérsékletet az LM 335 integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő méri. Az érzékelő letörési feszültsége egyenesen arányos az abszolút hőmérséklettel +10 mV/K-nél. Kevesebb, mint 1 Ω dinamikus impedancia mellett az érzékelő üzemi tartománya 400 μA-tól 5 mA-ig terjed. Az LM 335 érzékelőt 25 °C-on kalibrálva 100 °C-os hőmérséklet tartományon a mérési hiba kisebb, mint 1 °C. Más érzékelőktől eltérően az LM 335-nek lineáris kimenete van. Hőmérséklet mérési tartománya –40 °C-tól +100 °C-ig terjed, átmeneti hőmérsékletemelkedést 125 °C-ig képes mérni. A mérő érzékelő TO-46 típusú hermetikus fém tranzisztortokozással, vagy TO-92 típusú műanyag tranzisztortokozással készül (National Semiconductor, 2000). A telepített hőmérsékletérzékelők kimenő feszültség jeleit ADAM-4017 típusú 8-csatornás analóg bemenet modulok mérik.



20. ábra Az adatgyűjtő-, szabályozó rendszer napkollektoros berendezéshez kapcsolódó részének felépítése

A napkollektoros rendszer kollektor és tároló körében áramló folyadékáramok, valamint a tárolóba belépő hidegvíz mérésére vízmérő órák vannak beépítve. Kialakításuk egysugaras, szárnykerekes vízmérő hideg és melegvíz (90 °C-ig) mérésére. Névleges térfogatáram 1,5 m^3/h, legkisebb térfogatáram 30 l/h, indulási térfogatáram 10 l/h. Pontossága vízszintes beépítés esetén EEC/ISO szabvány szerint B osztályú. 8 számjegyes kijelzőjéből 5 számjegy a m^3-t, 3 számjegy a tört értékeket jeleníti meg (Actaris 2003). A mérőórák távadóval nem rendelkeznek, így a kiépített számítógépes adatgyűjtő rendszerhez nem csatlakoznak.

A napkollektoros rendszerek teljesítményének (szabvány szerinti ISO 9806-1 és -2) meghatározásához, a kollektor hatásfok, és más kutatási célú vizsgálatokhoz szükséges a beérkező napsugárzás pontos mérése is. A napsugárzás mérésére elterjedten alkalmazzák a hőelemes piranométereket, ezek érzékenysége tökéletesen megfelel a napkollektorok érzékenységének. Tudományos kutatásokhoz nemzetközileg de facto a Kipp & Zonen CM 11 típusú sugárzás mérő alkalmazását tekintik szabványnak, mivel dőlési hibája nincs, továbbá napkollektorok teljesítmény tesztjéhez a Nemzetközi Energia

Ügynökség (angolul: International Energy Agency - IEA) is ezt ajánlja. A méréshez alkalmazott globál sugárzás mérő főbb műszaki jellemzőit a 9. táblázat tartalmazza (Kipp & Zonen 2003).

9. táblázat Kipp & Zonen CM 11 típusú piranométer főbb műszaki adatai

Spektrum tartomány	305 - 2800 nm
Érzékenység (μV/W/m^2)	4 - 6
Reakció idő (95 %)	15 másodperc
Nulla pont eltolódási hőmérsékletváltozás (5 K/ óra)	± 2 W/m^2
Nulla pont eltolódási hőmérsékleti sugárzás (200 W/m^2)	± 7 W/m^2
Irány hiba (80°–nál 1000 W/m^2 sugárzás mellett)	± 10 W/m^2
Linearitási hiba (0 - 1000 W/m^2)	± 0,6%
Stabilitási hiba (változás/év)	± 0,5%
Érzékenység hőmérséklet függése	± 1% (-10 től + 40 °C-ig)
Dőlési reakció (1000 W/m^2-nél)	± 0,2%

A napkollektor felületére érkező globál sugárzás mérésére a kollektor síkjába telepített CM 11 piranométer feszültség jelét egy ADAM-4017 típusú 8-csatornás analóg bemenet modul méri.

A napkollektoros rendszerben a hőszállító közeg keringtetésének vezérlése a kollektor kilépő csonkján, valamint a tároló alsó részében mért hőmérsékletkülönbség alapján történt. A kollektor- és a tároló körbe beépített keringtető szivattyúk egyidejű kapcsolását a számítógépen beállított kapcsolási hőmérséklet különbség alapján egy ADAM-4050 típusú digitális be/ki modul végzi.

A napkollektoros rendszerben mért jellemzőket a 10. táblázat foglalja össze. A táblázatban feltüntetett jellemzők mérési helyeit a 18. ábra mutatja.

10. táblázat Mért paraméterek és a használt érzékelők leírása

Paraméter	Érzékelő típusa	Mért jellemző
I_H	Eppley, Model 8-48 sugárzásmérő	Napsugárzás vízszintes felületen
I_c	Kipp & Zonen, CM-11 sugárzásmérő	Globál sugárzás a kollektor síkjában
T_{ca}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Kollektor környezeti hőmérséklet
T_{ci}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Kollektor belépő hőmérséklet
T_{co}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Kollektor kilépő hőmérséklet
v'_c	Schlumberger, Unimag DN vízóra Q_n=1,5 m^3/h, EEC/ISO Class B	Kollektor kör térfogatáram
T_{hhi}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Hőcserélő melegoldali belépő hőmérséklet
T_{hho}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Hőcserélő melegoldali kilépő hőmérséklet
T_{hci}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Hőcserélő hidegoldali kilépő hőmérséklet
T_{hco}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Hőcserélő hidegoldali kilépő hőmérséklet
v'_s	Schlumberger, Unimag DN vízóra Q_n=1,5 m^3/h, EEC/ISO Class B	Tároló kör térfogatáram
T_{sa}	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Tároló és hőcserélő környezeti hőmérséklet
T_s	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Tárolóból felhasznált melegvíz hőmérséklet
v'_l	Schlumberger, Unimag DN vízóra Q_n=1,5 m^3/h, EEC/ISO Class B	Tárolóból felhasznált melegvíz térfogatáram
T_d	LM335 integrált áramkörös hőmérsékletérzékelő	Tárolóba beáramló hidegvíz hőmérséklet

3.3.2. Használati melegvízkészítő és úszómedence vízfűtő napkollektoros rendszer

A Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, valamint Gödöllő Város Önkormányzatának együttes támogatásával a Szent István Egyetem gödöllői campusán található strand területén 2000-ben megépült egy kombinált napenergiás vízmelegítő rendszer. A rendszer az úszómedence üzemeltetésének időszakában a nyitott medence vizének fűtését segíti, amit korábban kizárólag földgázüzemű kazán biztosított. A strand üzemeltetési időszakán kívül a rendszer a szomszédban található óvoda használati melegvizének előfűtését végzi (FARKAS et al. 2001). A 21. ábra a medence mellett telepített kollektor mezőt mutatja. A kutatómunka során részt vettem a napenergia-hasznosító berendezés mérési-, adatgyűjtő rendszerének tervezésében és kivitelezésében. Az üzembe helyezéstől kezdve az adatgyűjtő rendszer felügyeletét, üzemeltetését, meghibásodás esetén javítását folyamatosan végzem.

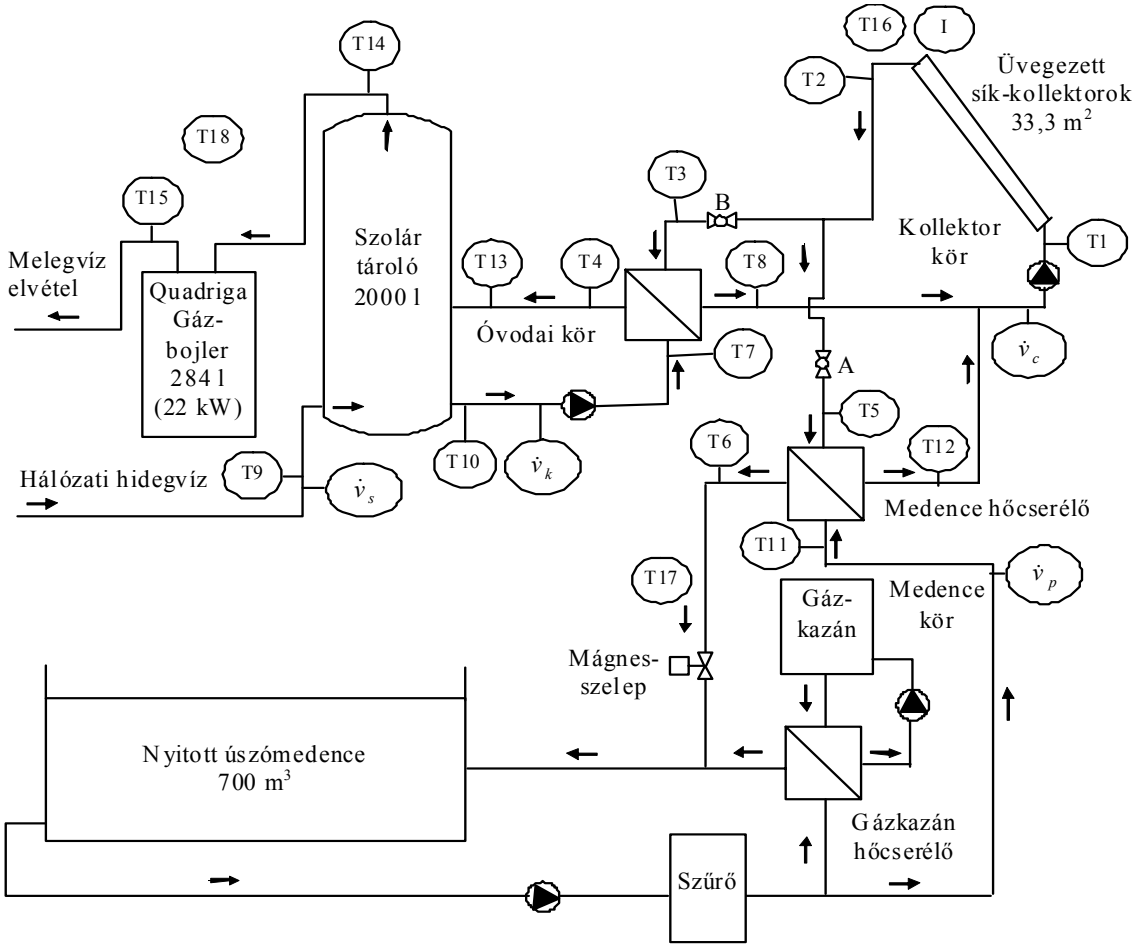
21. ábra Az úszómedence mellett telepített kollektor mező

3.3.2.1. A rendszer felépítése és műszaki jellemzői

A napkollektoros rendszer három, egymástól elválasztott áramlási körből áll (Fiorentini Hungary Kft. 2000), mint ahogy azt a 22. ábra egyszerűsített rendszervázlata szemlélteti.

A kollektor körben áramoltatott szolár folyadék a kollektor mező által összegyűjtött hőt a hőcserélőkhöz szállítja. A napenergiás rendszernek két lemezes hőcserélője van 40-40 kW névleges teljesítménnyel. Az egyik az úszómedence fűtéshez 1 m^2 hőátadó felülettel, a másik pedig az óvodai használati melegvíz előfűtéséhez 2 m^2 hőátadó felülettel.

A medence kör a medencei hőcserélő és a 700 m^3-es úszómedence között, míg az óvodai kör az óvodai hőcserélő és a 2000 l-es szolár tároló között működik. A szolár tároló sorba van kötve a 284 l-es gázbojlerrel, így a kollektorok által előfűtött hálózati hidegvíz jut a gázbojlerbe. A földgáz üzemű gázbojler fűtési teljesítménye 22 kW. A napkollektoros rendszer tárolója az óvoda kazánházában van elhelyezve, míg a tároló szoláris fűtését ellátó hőcserélő az úszómedence gépházában van beépítve. Az óvoda kazánházát és az úszómedence gépházát kb. 100 m hosszan a földbe fektetett, hőszigetelt csővezeték köti össze.



22. ábra A napenergiás vízmelegítő rendszer felépítése

Az egészéves folyamatos üzemeltetés miatt, valamint az időnként fellépő magas nyomás, vízkövesedés és fagyveszély miatt a kollektor körben vezetékes ivóvíz használata nem megengedett. Ezért az alkalmazott hőszállító közeg 1:1-es koncentrációjú propilénglikol és desztillált víz keveréke. A másik két áramlási körben a szivattyúk a medence vizét, valamint a vezetékes ivóvízhálózat vizét keringtetik. A hőveszteség csökkentése érdekében a napkollektoros rendszer valamennyi csővezetéke hőszigeteléssel van ellátva. A sík-kollektorok 45°-os dőlésszögű, déli tájolású tartószerkezetre vannak szerelve. A 18 db üvegezett kollektor együttes abszorber felülete 33,3 m^2, ami az IEA SHC (2004) ajánlás szerit 23,31 kW_{th} termikus teljesítménynek felel meg. A kollektor kör térfogatárama egy áramlás szabályozó szelep segítségével állítható.

3.3.2.2. A rendszer szabályozó berendezésének kialakítása, működése

A korábban már leírt áramlási körökben (kollektor, medence, óvoda) található szivattyúk és a mágnesszelep működtetését két egymástól elkülönített állásos differenciál szabályozó berendezés végzi. A két egymástól elkülönülő működési mód kézzel állítható. A nyári időszakban, amikor a medence üzemel

a 22. ábra *A*-val jelölt csapja nyitott, míg a *B*-vel jelölt csap zárt pozícióban van. A beállítás szerint, ebben az esetben a medence kör szabályzó automatikája akkor kapcsolja be a kollektor köri keringtető szivattyút és nyitja a mágnesszelepet, ha a kollektormező kilépő hőmérséklete *(T2)* legalább 5 °C-kal meghaladja a medence vizének hőmérsékletét. Közben a vízforgató berendezés az úszómedence vizét folyamatosan keringteti egy szűrőn keresztül. A medence-köri keringtetés leállásának feltétele, hogy a kollektormező kilépő hőmérséklete *(T2)* kevesebb, mint 2 °C-kal haladja meg a medence vizének hőmérsékletét.

A nyitott úszómedence üzemeltetési időszakán kívül a 22. ábra *A*-val jelölt csapja zárt, míg a *B*-vel jelölt nyitott pozícióban van. A szabályozási feltételek itt is hasonlóak a medence-környél leírtakhoz. Ez azt jelenti, hogy az óvodai kör szabályozó automatikája akkor kapcsolja be a kollektor kör és az óvodai kör keringtető szivattyúit, amikor a kollektormező kilépő hőmérséklete *(T2)* legalább 5 °C-kal meghaladja az óvodában található szolár tároló vizének hőmérsékletét. Az automatika kikapcsolja a szivattyúkat, ha a kollektor mező kilépő hőmérséklete kevesebb, mint 2 °C-kal haladja meg a szolár tároló vizének hőmérsékletét.

Az óvodai körben a hőszállító közeg a vezetékes ivóvízhálózatból a napkollektoros rendszer tárolójába belépő hálózati hidegvíz. Az úszómedence gépházában a téli időszakban nincs fűtés. Az óvodai kör fagyvédelme érdekében beépítésre került egy fagyvédelmi termosztát, ami az óvodai kör keringtető szivattyúját 0 °C közeli környezeti levegő hőmérséklet esetén bekapcsolja.

3.3.2.3. A berendezés monitorozó rendszerének felépítése

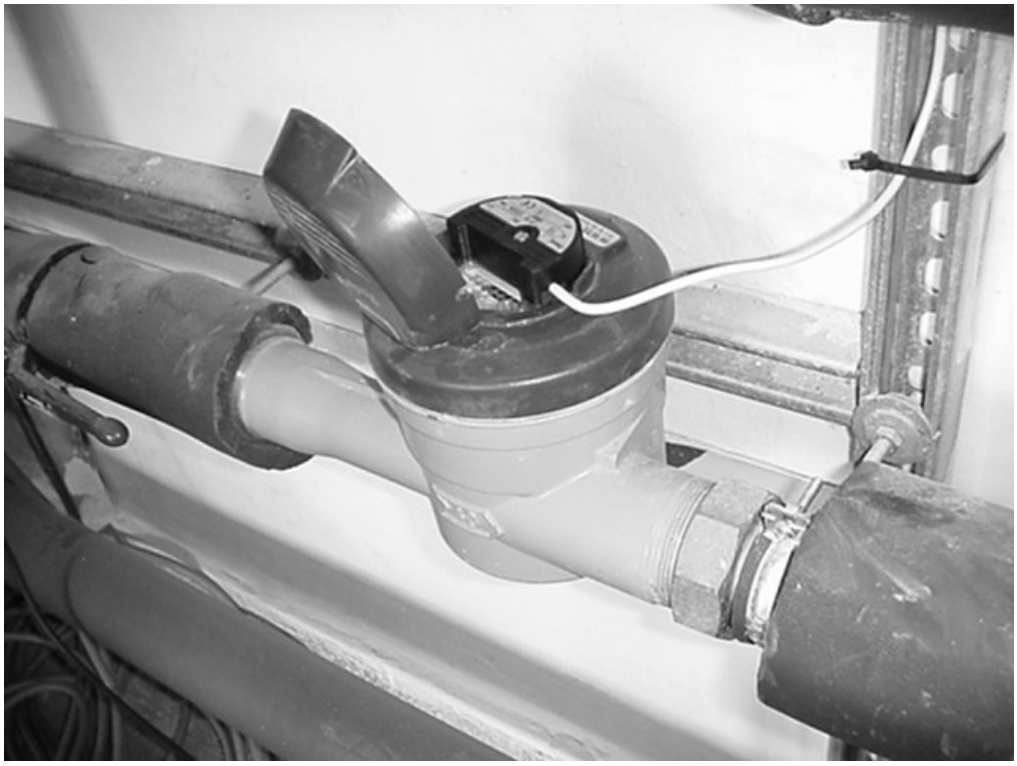
A kombinált napenergia-hasznosító rendszer működésének ellenőrzése céljából, valamint a rendszer hőtermelésének nyomon követésére egy adatgyűjtő, monitorozó rendszert építettünk ki (FARKAS et al. 2000). Az M4 melléklet táblázata a mért jellemzőket tartalmazza. A mérési helyeket a 22. ábra segítségével ismertetem.

A napsugárzás méréshez Kipp & Zonen CM 11 típusú piranométert, a hőmérsékletméréshez LM335 integrált áramkörös érzékelőket telepítettünk. Ezek az érzékelők azonosak a korábban bemutatott rendszernél alkalmazott és leírt érzékelőkkel.

A napenergia-hasznosító berendezésben áramló hőszállító közeg térfogatáramának mérésére a berendezés négy pontján, a csővezeték rendszerbe vízmérő órák kerültek beépítésre. Térfogatáram mérésre a kollektor körben, a tároló körben, a medence körben és a szolár tárolóból felhasznált használati melegvíz körben van szükség.

A térfogatáram mérés a kollektor körben, a szolár tároló körben és a medence körben azonos, Schlumberger gyártmányú, FLOSTAR-M NA-40 típusú, 6/4"-os vízszintes beépítésű vízmérő órával történik. A 23. ábra a kollektor körbe beépített vízmérőt mutatja.

A mérőóra pontossága vízszintes beépítés esetén meghaladja az EEC/ISO C osztályra vonatkozó szabvány előírásokat.



23. ábra A kollektor körbe beépített FLOSTAR-M típusú áramlásmérő a távadóval

A vízmérő fontosabb műszaki adatai:

- indulási térfogatáram: 30 l/h,
- névleges térfogatáram Qn: 10 m^3/h,
- maximális térfogatáram Qmax: 20 m^3/h,
- pontosság 45 l/h-tól : ± 5%,
- pontosság 65 l/h-tól: ± 2%.

A FLOSTAR-M típusú áramlásmérők CYBLE típusú távadókkal vannak felszerelve, ahogy az a 23. ábra látható. A távadók 1 l/impulzus jelet adnak. Az impulzusok az adatgyűjtő rendszer ADAM-4080 2-csatornás 32 bites számláló/frekvenciamérő modulok segítségével számlálhatók és a központi számítógépen tárolhatók.

A használati melegvízfogyasztás mérésére az előzőekben ismertetett áramlásmérőtől kisebb teljesítményű, SPANNER-POLLUX gyártmányú, QN 2,5 típusú, 3/4"-os, vízszintes beépítésű vízmérő óra van felszerelve. Az óra az

óvoda gépészeti helyiségében található szolár tároló hálózati hidegvíz csatlakozó csonkja elé van beépítve, mint azt a 24. ábra mutatja.

A mérőóra vízszintes beépítés esetén az EEC/ISO besorolás szerint B pontossági osztályú. Az áramlásmérő fontosabb műszaki adatai:

- indulási térfogatáram: 5 l/h,
- névleges térfogatáram Qn: 2,5 m^3/h,
- maximális térfogatáram Qmax: 5 m^3/h,
- pontosság 20 l/h-tól: ± 5%,
- pontosság 120 l/h fölött: ± 2%.

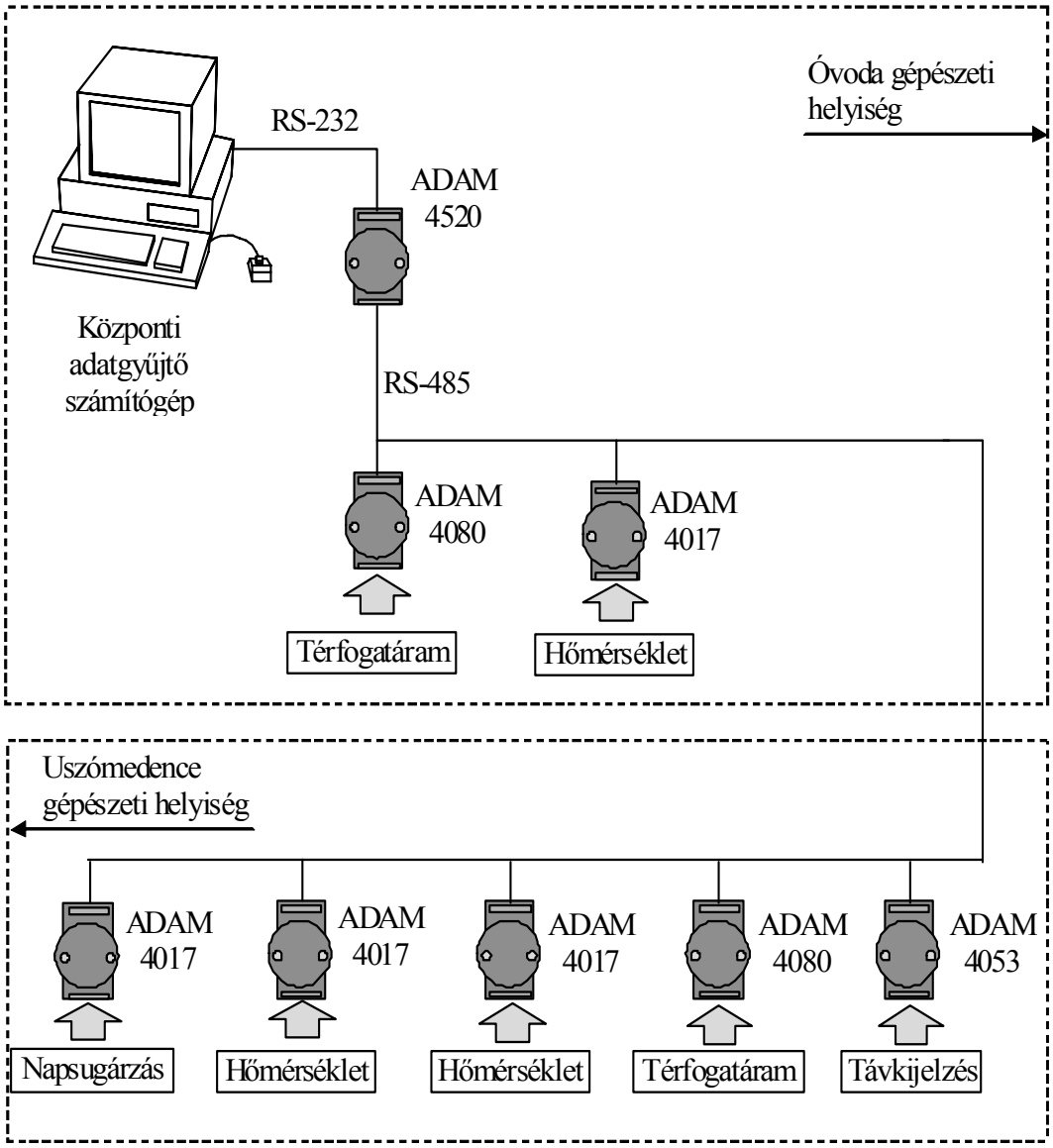
Az áramlásmérő távadóval van felszerelve. A távadó 10 l/impulzus jelet ad.

24. ábra Használati melegvízfogyasztást mérő SPANNER-POLLUX QN 2,5 típusú áramlásmérő a távadóval

A napenergia-hasznosító rendszer elemei az óvoda kazánházában, az úszómedence gépházában és az úszómedence mellett fekvő területen, szabadtéren vannak telepítve. A napenergia-hasznosító berendezés működési paramétereinek és a meteorológiai jellemzők mérésére kialakított adatgyűjtő rendszer fő részegységei az egymástól kb. 100 m távolságban lévő óvoda kazánházában és az úszómedence gépházában vannak elhelyezve.

Az adatgyűjtő rendszer a korábbiakban ismertetett rendszernél alkalmazott ADAM 4000-es sorozatú modulokból épül fel. Az intelligens modulok az érzékelők és a számítógép között létesítenek kapcsolatot a beépített processzor segítségével. Előnyük, hogy képesek RS-485-ös soros vonalon kommunikálni, amihez csak két vezetékre van szükség. Az RS-485-ös szabvány egy konverter

ADAM modul segítségével RS-232-re alakítható, ami megfelel egy közönséges személyi számítógép által használt protokollnak. A soros vonali kommunikáció a számítógép és az adatgyűjtő rendszer között kétirányú, ami azt jelenti, hogy a parancsok a központi adatgyűjtő számítógépből kiküldhetők az aktuális címmel megjelölt modulhoz, majd a címzett egység visszaküldi a kívánt adatot. Az adatátvitel digitális formában az RS-485-ös hálózaton keresztül történik. Ez lehetővé teszi az érzékelők és jelfeldolgozó egységek (ADAM modulok) egymáshoz közeli elhelyezését. Így biztosítva az alacsony kimeneti jelszinttel rendelkező érzékelők esetén is a kedvező jel/zaj viszony elérését anélkül, hogy kiegészítő távadókat kellene alkalmazni. Az így kialakított soros vonal maximális hossza szegmensenként 1200 m lehet. A kialakított adatgyűjtő rendszert a 25. ábra szemlélteti.



25. ábra A mérési adatgyűjtő rendszer felépítése

Az adatgyűjtő rendszer négy különböző típusú ADAM modult tartalmaz. Nevezetesen egy ADAM-4520-as RS-232/485-ös konverter modult, két darab

ADAM-4080-as számláló modult, négy darab ADAM-4017-es 8 csatornás analóg bemeneti modult, amelyek áram és feszültség jelek fogadására alkalmasak programozható bemeneti tartománnyal, továbbá egy ADAM-4053-as 16 csatornás digitális bemenet modult, ami digitális jelek fogadására alkalmas.

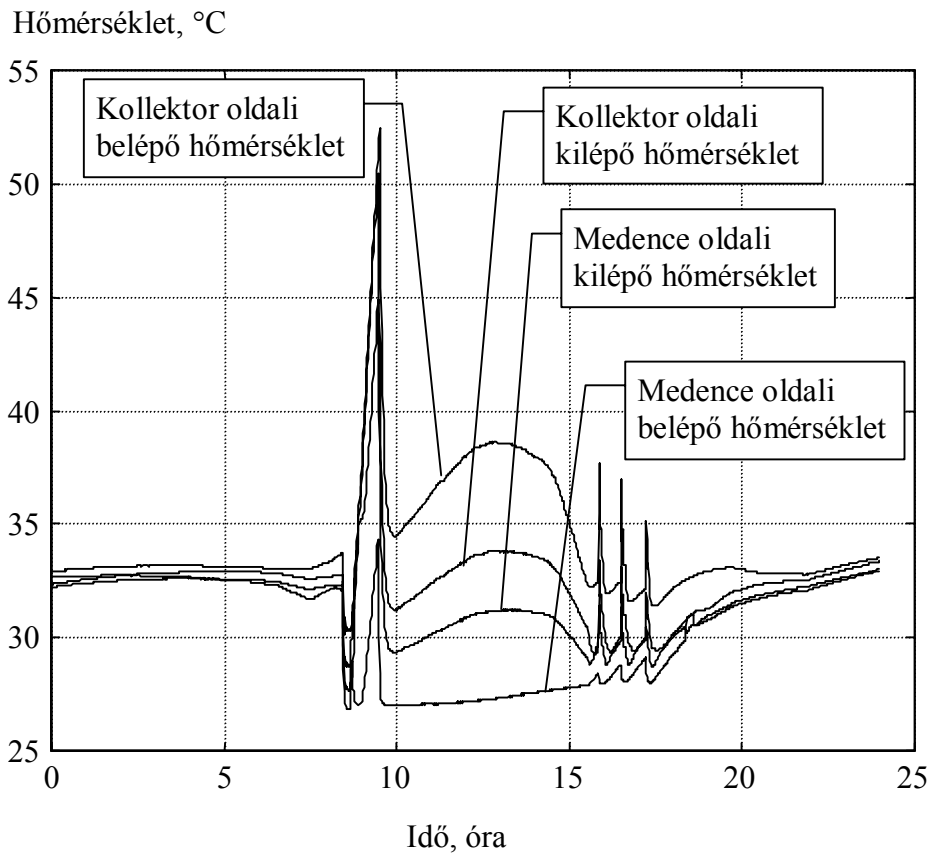
A monitorozó rendszerben alkalmazott adatgyűjtő program (BIRÓ 1998) lassú folyamatok adatainak gyűjtésére és azok szabályozására szolgál, ahol a legkisebb mintavételi idő 1 sec. A szoftver egy 32 bites alkalmazás, mely Windows 95, vagy fejlettebb operációs rendszer alatt futtatható. A program más alkalmazásokkal párhuzamosan is futtatható.

Az adatgyűjtő program az alábbi funkciókat képes ellátni:

- a bemeneti egységekre (az ADAM modulokra) kapcsolt érzékelők jeleinek beolvasása,
- szabályozási számítások végzése (jelen esetben nem alkalmazott funkció),
- adatok küldése a kimeneti modulokhoz a beavatkozó szervek működtetésére,
- a begyűjtött adatok tárolása ASCII állományban,
- a mérési adatok grafikus megjelenítése és frissítése,
- WMF alapú grafikus felület létrehozása és adatokkal történő frissítése.

A szoftver támogatja a lokális hálózati (LAN) hozzáférést, ami lehetővé teszi a mért adatok számítógépes hálózaton keresztüli lekérdezését. Az adatgyűjtő program által elvégzendő műveletek a konfigurációs állomány létrehozásával, ill. módosításával definiálhatók.

Az adatgyűjtő rendszer folyamatosan hajtja végre a méréseket. Beolvassa, majd tárolja az M4 melléklet táblázatában felsorolt paramétereket. A 26. ábra példaként a 2000. augusztus 20-án a medence köri hőcserélő ki- és belépő csonkjain mért hőmérsékletértékeket mutatja.



26. ábra A medence köri hőcserélő ki és belépő hőmérsékletei

A diagramon a 9 óra körül látható hőmérsékleti csúcsot a medence hőcserélőtől a medencébe visszatérő csővezeték zárt állapota okozta. A kollektorok által megtermelt hő a medence köri áramlás hiánya miatt a hőcserélőt 50 °C fölé fűtötte. A csővezetéket a rendszer üzemeltetői a strand területén található kisméretű gyermekmedence töltésének idejére napi rendszerességgel elzárják.

3.3.3. Növényházi fűtésrásegítő napkollektoros rendszer

A kutatómunka során részt vettem egy növényházi fűtésrásegítő napkollektoros rendszer tervezésében és kialakításában is. A napenergia-hasznosító berendezés a Gödöllői Agrárközpont Közhasznú Társaság Kertészeti Tanüzemében, Gödöllőn került telepítésre. A hasznosított napenergia az átmeneti időszakban a kertészetben található háromhajós kétrétegű PE fóliaborítású növényház fűtésrásegítését látja el (LÁGYMÁNYOSI A. BUZÁS J. 2002).

A napkollektorok a növényház melletti területen kerültek elhelyezésre, mint ahogy azt a 27. ábra mutatja. A napenergia-hasznosító rendszer többi eleme a kazánházat és a szociális helyiségeket tartalmazó épülethez csatlakozó üvegházban van telepítve.

27. ábra Növényházi fűtésrásegítő napkollektoros rendszer

3.3.3.1. A rendszer felépítése és műszaki jellemzői

A rendszer hőtermelő egységét a 12 db szelektív bevonatú abszorberrel szerelt, egyenként 1,85 m^2 felületű, SKV-3 típusú napkollektor alkotja. A kollektormező termikus teljesítménye az IEA SHC (2004) ajánlás szerit 15,54 kW_{th}. A kollektorok által összegyűjtött hő tárolására az 1500 l-es EMMETI ACCUMLO fűtési puffertároló szolgál. A rendszer négy áramlási körből épül fel. A hőtermelés a kollektor körben, a hőtárolás a tároló körben történik. A kollektor körben a keringtető szivattyú a hőszállító közeget a 22,2 m^2 felületű kollektormező és a SWEP B10 típusú kompakt lemezes hőcserélő primer oldala között áramoltatja, míg a tároló körben telepített szivattyú a fűtési puffertároló vizét áramoltatja keresztül a kollektor körbe beépített hőcserélő szekunder oldalán. A tárolt hő növényházi fűtési célú hasznosítását egy Fég-Spirec KN3 típusú spiráltekercses hőcserélőn keresztül szintén két áramlási kör teszi lehetővé. A hőcserélő primer oldalán a körbe beépített keringtető szivattyú a tárolóban lévő melegvizet áramoltatja át, míg a hőcserélő szekunder oldalán a növényházból visszatérő - lehűlt - fűtővíz áramlik keresztül.

A kollektor kör főbb elemei: napkollektorok, keringtető szivattyú, kompakt lemezes hőcserélő primer oldala, zárt tágulási tartály, biztonsági szelep, nyomásmérő, hőmérsékletmérő órák, hőmennyiségmérő, mikrobuborék leválasztó, kézi- és automatalégtelenítők, töltő-ürítő szerelvények, réz csővezetékek idomokkal és szerelvényekkel, hőszigetelés.

A tároló kör főbb elemei: hőszigetelt fűtési puffertároló, keringtető szivattyú, kompakt lemezes hőcserélő szekunder oldala, visszacsapó szelep, réz csővezeték idomokkal és szerelvényekkel, hőmérsékletmérő óra, nyomásmérő, biztonsági szelep, zárt tágulási tartály, töltő/ürítő szerelvények, hőszigetelés.

A fűtő kör primer oldal főbb elemei: hőszigetelt fűtési puffertároló, automatalégtelenítő, spiráltekercses hőcserélő primer oldala, keringtető szivattyú, hőmérsékletmérő órák, réz csővezeték idomokkal és szerelvényekkel, ürítő szerelvény, hőszigetelés.

A fűtő kör szekunder oldal főbb elemei: növényházfűtés visszatérő vezeték, spiráltekercses hőcserélő szekunder oldala, hőmérsékletmérő órák, acél csővezeték idomokkal és szerelvényekkel, ürítő szerelvény, növényházfűtés előremenő vezeték, hőszigetelés. A kialakított berendezés elvi kapcsolási vázlatát az M5 melléklet ábrája szemlélteti.

3.3.3.2. A rendszer szabályozó berendezésének kialakítása, működése

A kollektor és a tároló kör automatikus vezérlését a thermosolar DC11 elektronikus szabályozó végzi, amely a hőmérséklet érzékelői által mért értékek függvényében indítja, ill. leállítja a hőhasznosítást. A kollektor és a tároló köri szivattyú bekapcsol, ha a kollektor kilépő csonkon telepített érzékelő (TKO) és a tároló aljában elhelyezett érzékelő (TBU) közötti hőmérséklet különbség nagyobb, mint a beállított bekapcsolási hőmérséklet különbség (dTE). A szivattyúk kikapcsolnak, ha a kollektor érzékelő (TKO) és a tároló érzékelő (TBU) közötti hőmérséklet különbség kisebb, mint a beállított kikapcsolási hőmérséklet különbség (dTA).

Bekapcsolt állapotban a szivattyú fordulatszámát a szabályozó folyamatosan változtatja. Így a kollektor kilépő hőmérséklete a folyamatos üzem fenntarthatósága érdekében lehetőség szerint optimális értéken marad. Ezt az optimális kollektor hőmérsékletet a szabályozó a következő összefüggéssel határozza meg:

$$TKO = TBU + 1/2\ (dTE + dTA). \qquad (35)$$

Ha a fűtési puffertároló a beállított maximális tároló hőmérsékletet (Tma) elérte, a kollektor és a tároló köri szivattyú kikapcsol. Ha a kollektor hőmérséklete (TKO) 130 °C-nál magasabb a szivattyúk szintén kikapcsolnak.

A fűtő kör primer oldalán a hőhasznosítás automatikus vezérlését az NL-11D hőmérséklet-különbség kapcsoló végzi. A fűtési puffertároló és a fűtő köri hőcserélő primer oldalán beépített keringtető szivattyú bekapcsol, ha a tároló felső részébe beépített érzékelő és a növényházi visszatérő fűtővezeték hőmérsékletérzékelő közötti hőmérséklet különbség nagyobb, mint a beállított hőmérséklet különbség. A szivattyú kikapcsol, ha a hőmérséklet különbség a beállított érték alá csökken.

A fűtő kör szekunder oldalán a hőhasznosítás vezérlését a következőkben leírtak szerint manuálisan kell végezni.

A napenergia-hasznosító berendezés a növényházból visszatérő fűtővíz melegítését két módon végezheti. Az egyik esetben - a gázkazánok üzemen kívüli állapota mellett - a növényháztól visszatérő vezetékbe beépített az elvi kapcsolási vázlaton "A" jelű csap zárt, míg a "B" jelű csap nyitott állapota esetén a növényházból visszatérő lehűlt fűtővíz átáramlik a spiráltekercses hőcserélő szekunder oldalán majd abban felmelegedve, visszaáramlik a növényházi előremenő vezetékbe. Ebben az esetben a hőcserélő és a növényházi fűtőrendszer között a fűtővíz keringtetését a növényház egyes hajóinak vegetációs fűtőrendszerébe beépített keringtető szivattyúk végzik.

A másik esetben - a gázkazánok üzemelése mellett - a növényháztól visszatérő vezetékbe beépített az elvi kapcsolási vázlaton "A" jelű csap részlegesen zárt, míg a "B" jelű csap zárt állapota esetén a növényházból visszatérő lehűlt fűtővíz az "A" jelű csapon beállított fojtás arányában átáramlik a spiráltekercses hőcserélő szekunder oldalán majd abban felmelegedve, visszaáramlik a növényházi visszatérő vezetékbe, előmelegítve a kazánhoz visszatérő fűtővizet. Ebben az esetben a hőcserélő szekunder oldalán a fűtővíz keringtetését a kazánházban a fűtőrendszerbe beépített keringtető szivattyú végzi.

A berendezéshez a korábbi alfejezetekben bemutatott rendszereknél kialakított mérő-, adatgyűjtő rendszer nem került kialakításra.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A kollektor átviteli függvényének meghatározása

A 3.1.4. fejezetben bemutatott Laplace transzformáció módszerének alkalmazásával meghatározható a kollektor átviteli függvénye (BUZÁS J. 2007). A kollektor hőegyensúlyi egyenlet (11) jobboldalán a $T_{ci}(t)$ bemeneti és a $T_{co}(t)$ kimeneti változók és a kollektoron átáramló hőszállító közeg térfogatáram $\dot{v}_c(t)$ szorzata szerepel. A kollektort leíró rendszeregyenlet csak akkor tekinthető lineárisnak, ha az átáramló folyadék térfogatáram $\dot{v}_c(t)=$ állandó. A továbbiakban elvégzett vizsgálatok $\dot{v}_c(t)=$ állandó feltétel mellett érvényesek.

A következőkben végrehajtott átalakítások célja az egyenlet olyan alakra hozása, ahol a kimenő változókat tartalmazó tagok a baloldalra, a bemeneti változókat tartalmazó tagok pedig a jobb oldalra csoportosíthatók, így a (11) differenciálegyenlet az alábbi alakban írható fel:

g(kimenő változók)= f(bemenő változók).

A (11) egyenletben elvégezve a beszorzásokat:

$$\frac{dT_{co}(t)}{dt}=\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c(t)-\frac{U_L A_c}{C_c}T_{cav}(t)+\frac{U_L A_c}{C_c}T_{ca}(t)+\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{ci}(t)-\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{co}(t) \tag{36}$$

A (36) egyenletbe a (8) egyenletet behelyettesítve:

$$\begin{aligned}\frac{dT_{co}(t)}{dt}=\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c(t)-\frac{U_L A_c}{C_c}\left(\frac{T_{ci}(t)+T_{co}(t)}{2}\right)+\\ +\frac{U_L A_c}{C_c}T_{ca}(t)+\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{ci}(t)-\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{co}(t)\end{aligned} \tag{37}$$

A (37) egyenletben elvégezve a beszorzást:

$$\begin{aligned}\frac{dT_{co}(t)}{dt}=\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c(t)-\frac{U_L A_c}{2C_c}T_{ci}(t)-\frac{U_L A_c}{2C_c}T_{co}(t)+\\ +\frac{U_L A_c}{C_c}T_{ca}(t)+\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{ci}(t)-\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{co}(t)\end{aligned} \tag{38}$$

A kimenő változókat a baloldalra a bemenő változókat a jobboldalra csoportosítva:

$$\begin{aligned}\frac{dT_{co}(t)}{dt}+\frac{U_L A_c}{2C_c}T_{co}(t)+\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{co}(t)=\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c(t)-\\ -\frac{U_L A_c}{2C_c}T_{ci}(t)+\frac{U_L A_c}{C_c}T_{ca}(t)+\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{ci}(t)\end{aligned} \tag{39}$$

A (39) egyenlet jobboldalán $T_{ci}(t)$ kiemelése:

$$\frac{dT_{co}(t)}{dt}+\frac{U_L A_c}{2C_c}T_{co}(t)+\frac{\dot{v}_c}{V_c}T_{co}(t)=\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c(t)+\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)T_{ci}(t)+\frac{U_L A_c}{C_c}T_{ca}(t) \quad (40)$$

A (40) egyenlet baloldalán $T_{co}(t)$ kiemelése:

$$\frac{dT_{co}(t)}{dt}+\left(\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)T_{co}(t)=\frac{A_c\eta_0}{C_c}I_c(t)+\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)T_{ci}(t)+\frac{U_L A_c}{C_c}T_{ca}(t) \quad (41)$$

Az átviteli függvény meghatározásához a (41) egyenletet Laplace transzformációval időtartományból operátor tartományba kell átírni. Ehhez a Laplace transzformációt kijelölve:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}\left[\frac{dT_{co}(t)}{dt}\right]+\left(\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)\mathcal{L}\left[T_{co}(t)\right]=\frac{A_c\eta_0}{C_c}\mathcal{L}\left[I_c(t)\right]+\\ +\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)\mathcal{L}\left[T_{ci}(t)\right]+\frac{U_L A_c}{C_c}\mathcal{L}\left[T_{ca}(t)\right]\end{aligned} \quad (42)$$

A transzformációt elvégezve és az időtartománybeli változók Laplace transzformáltjait operátortartományban felülvonással jelölve:

$$\begin{aligned}s\overline{T}_{co}(s)-T_{co}(0)+\left(\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)\overline{T}_{co}(s)=\frac{A_c\eta_0}{C_c}\overline{I}_c(s)+\\ +\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)\overline{T}_{ci}(s)+\frac{U_L A_c}{C_c}\overline{T}_{ca}(s)\end{aligned} \quad (43)$$

A (43) egyenlet baloldalán a kollektor kilépő hőmérséklet Laplace transzformáltját $\overline{T}_{co}(s)$ kiemelve, valamint a kollektor kilépő hőmérsékletre vonatkozó kezdeti értéket a jobb oldalra csoportosítva:

$$\begin{aligned}\overline{T}_{co}(s)\left(s+\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)=T_{co}(0)+\frac{A_c\eta_0}{C_c}\overline{I}_c(s)+\\ +\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)\overline{T}_{ci}(s)+\frac{U_L A_c}{C_c}\overline{T}_{ca}(s)\end{aligned} \quad (44)$$

A (44) egyenletet a kollektor kilépő hőmérséklet együtthatójával leosztva:

$$\overline{T}_{co}(s)=\frac{1}{\left(s+\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)}T_{co}(0)+\frac{\frac{A_c\eta_0}{C_c}}{\left(s+\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)}\overline{I}_c(s)+$$
$$+\frac{\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)}{\left(s+\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)}\overline{T}_{ci}(s)+\frac{\frac{U_L A_c}{C_c}}{\left(s+\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}\right)}\overline{T}_{ca}(s) \tag{45}$$

A (45) egyenlet alapján definiálható a kollektor időállandója:

$$\tau_c=\frac{1}{\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{\dot{v}_c}{V_c}} \tag{46}$$

A bevezetett időállandóval a (45) egyenletet újraírva:

$$\overline{T}_{co}(s)=\frac{\tau_c}{\tau_c s+1}T_{co}(0)+\frac{\tau_c}{\tau_c s+1}\frac{A_c\eta_0}{C_c}\overline{I}_c(s)+$$
$$+\frac{\tau_c}{\tau_c s+1}\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)\overline{T}_{ci}(s)+\frac{\tau_c}{\tau_c s+1}\frac{U_L A_c}{C_c}\overline{T}_{ca}(s) \tag{47}$$

A bemeneti változókat, a napsugárzást $\overline{I}_c(s)$, a kollektorba belépő folyadék hőmérsékletet $\overline{T}_{ci}(s)$ és a környezeti hőmérsékletet $\overline{T}_{ca}(s)$ ugrás függvényeknek tekintve, a Laplace transzformáltjuk I_c/s, T_{ci}/s és T_{ca}/s formában adható meg. Ekkor a (47) egyenlet:

$$\overline{T}_{co}(s)=\frac{\tau_c}{\tau_c s+1}T_{co}(0)+\frac{1}{s(\tau_c s+1)}$$
$$\left(\frac{\tau_c A_c\eta_0}{C_c}I_c+\tau_c\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c}-\frac{U_L A_c}{2C_c}\right)T_{ci}+\frac{\tau_c U_L A_c}{C_c}T_{ca}\right) \tag{48}$$

Az átviteli függvény a kimenő jel Laplace transzformáltja osztva a bemenő jel Laplace transzformáltjával, vagyis:

$$átvitelifüggvény=\frac{\mathcal{L}[kimenő\ jel]}{\mathcal{L}[bemenő\ jel]}.$$

A (47) egyenlet alapján a vizsgált bemenő változókra vonatkozó átviteli függvények meghatározhatók. A kollektort leíró egyenlet a korábban bevezetett $\dot{v}_c(t)=$ állandó 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 átviteli függvényt W(s)-el jelölve a kollektor napsugárzásra vonatkozó átviteli függvénye:

$$W_1(s) = \frac{\overline{T}_{co}(s)}{\overline{I}_c(s)} = \frac{(\tau_c A_c \eta_0)/C_c}{\tau_c s + 1}. \tag{49}$$

A kollektorba belépő hőszállítóközeg hőmérsékletre vonatkozó átviteli függvény:

$$W_2(s) = \frac{\overline{T}_{co}(s)}{\overline{T}_{ci}(s)} = \frac{\tau_c}{\tau_c s + 1}\left(\frac{\dot{v}_c}{V_c} - \frac{U_L A_c}{2C_c}\right). \tag{50}$$

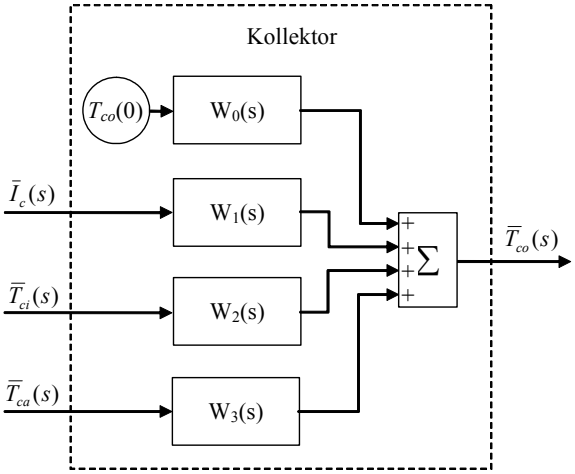
A kollektor környezeti hőmérsékletre vonatkozó átviteli függvénye:

$$W_3(s) = \frac{\overline{T}_{co}(s)}{\overline{T}_{ca}(s)} = \frac{(\tau_c U_L A_c)/C_c}{\tau_c s + 1}. \tag{51}$$

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:

$$W_0(s) = \frac{\tau_c}{\tau_c s + 1}. \tag{52}$$

A napkollektor kilépő hőszállítóközeg hőmérsékletre vonatkozó eredő átviteli függvényt a szuperpozíció elve szerint a (49-52) egyenletek által definiált átviteli függvények együttesen adják. Az egyes bemenő jelek a rájuk vonatkozó átviteli függvényeken keresztül fejtik ki a kimenetre gyakorolt hatásukat. Ezt szemlélteti a 28. ábra hatásvázlata.

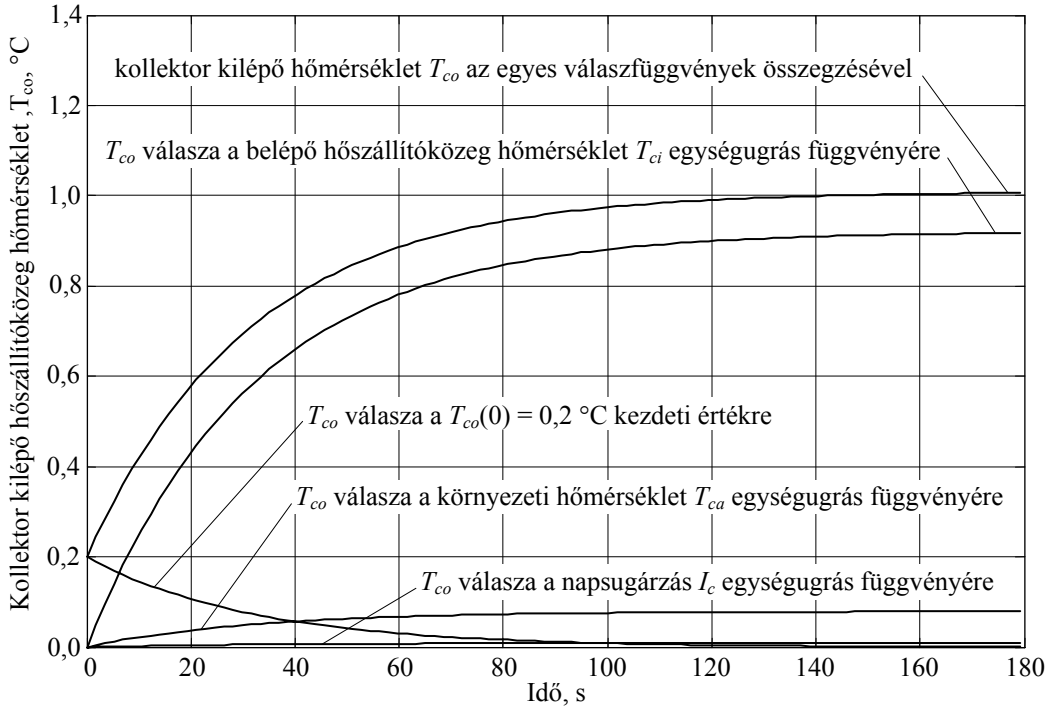


28. ábra A napkollektor jelátviteli ábrája az egyes bemenő változók átviteli függvényeivel

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

$$\overline{T}_{co}(s) = W_0(s)T_{co}(0) + W_1(s)\overline{I}_c(s) + W_2(s)\overline{T}_{ci}(s) + W_3(s)\overline{T}_{ca}(s) \qquad (53)$$

A kollektorra jellemző konkrét paraméterek ismeretében az egyes bemenő változók átviteli függvényei meghatározhatók. Az átviteli függvénnyel lehetővé válik több, az irányítástechnikában kidolgozott rendszervizsgálati módszer alkalmazása. Ezen módszerek lehetőséget adnak a rendszer jelátviteli tulajdonságainak részletes vizsgálatára, elemzésére. Az egyik legszemléletesebb vizsgálat a rendszer egyes bemenő jeleire adott időtartománybeli válaszfüggvények meghatározása. A vizsgálatot a Matlab Control System Toolbox-ával végezve, az eredményül kapott időtartománybeli válaszfüggvényeket a 29. ábra szemlélteti.



29. ábra A kollektor kilépő hőmérsékletének válasza a bementi változók egységugrás függvényeire és a kezdeti értékre $\dot{v}_c(t)$ = állandó esetén

Az elvégzett vizsgálat során a napkollektor felületére érkező napsugárzás intenzitás $I_c(t)$ = 1 W m^{-2} amplitúdójú egységugrás függvény szerinti:

$$I_c(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

növekedésére, a kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_{co}(t)$ = 9,02·10^{-3} °C-os amplitúdó növekedéssel válaszolt.

A környezeti hőmérséklet hatását vizsgálva $T_{ca}(t)$ = 1 °C-os amplitúdójú egységugrás függvényt:

$$T_{ca}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

alkalmazva, a kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_{co}(t) = 7{,}89 \cdot 10^{-2}$ °C-os amplitúdó növekedéssel reagált.

A kollektorba belépő hőszállítóközeg hőmérsékletet $T_{ci}(t) = 1$ °C-os amplitúdójú egységugrás függvény:

$$T_{ci}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

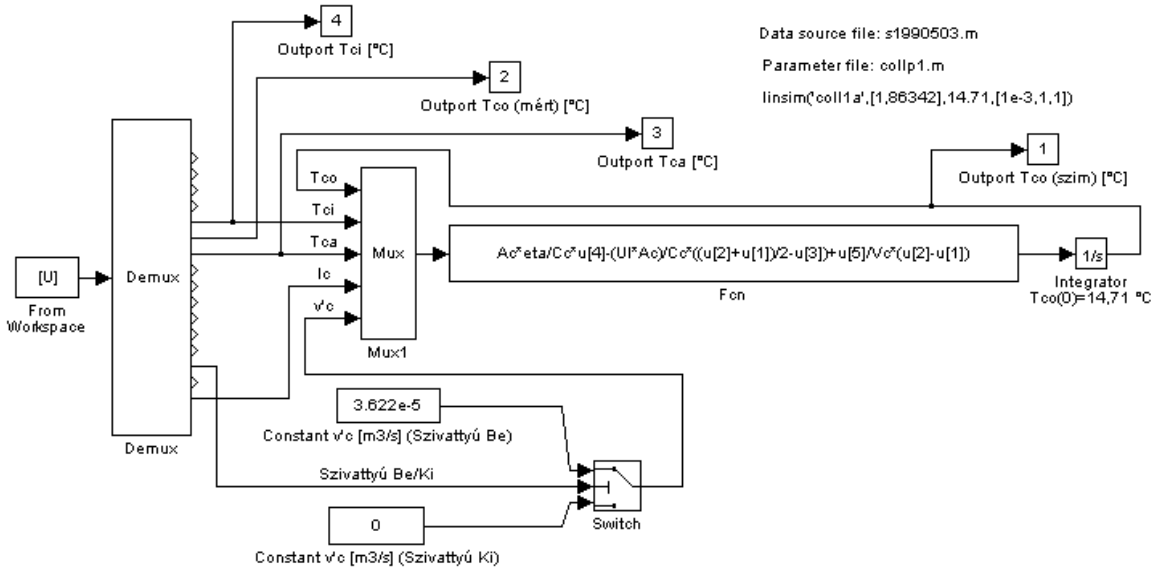
szerint növelve, a kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_{co}(t) = 9{,}17 \cdot 10^{-1}$ °C-os amplitúdó növekedést mutatott.

A kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet $T_{co}(0) = 0{,}2$ °C-os kezdeti érték esetén, a kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet a kezdeti értékről exponenciálisan csökkenve 0-hoz tart $T_{co}(t) \rightarrow 0$.

A szuperpozíció elve alapján az egyes bemeneti változókra és a kezdeti értékre kiszámított időtartománybeli válaszfüggvények összegzésével előállítható a kollektorból kilépő hőszállítóközeg hőmérséklet, mint azt a 29. ábra mutatja.

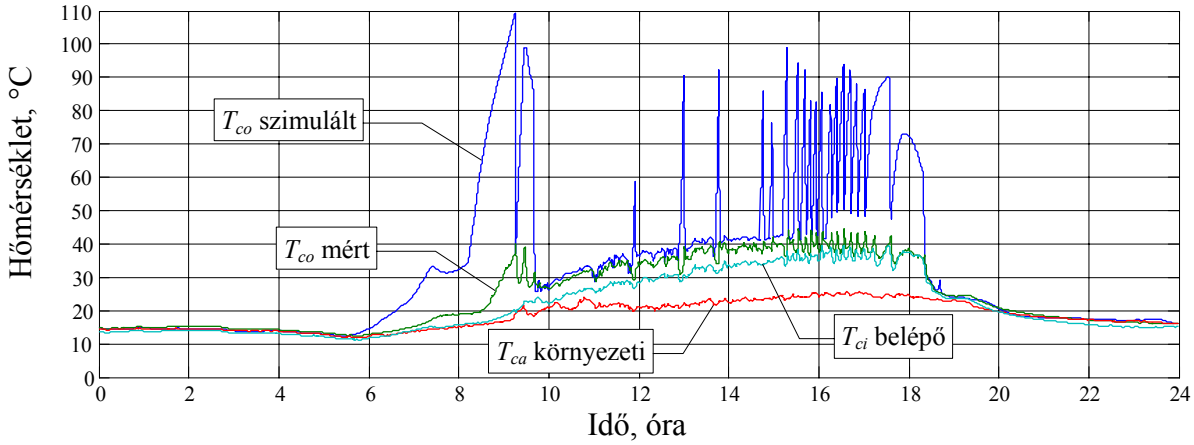
4.2. A kollektor modell megoldása blokkorientált szimulációval

A napkollektorból kilépő hőszállító közeg hőmérsékletének számításához a Matlab program, blokkorientált megoldási technikát támogató Simulink szoftver csomagja alkalmazható. A blokkrendszer a (8) és a (11) egyenletek felhasználásával konstruálható meg (30. ábra).



30. ábra A kollektor modelljének megoldása Matlab+Simulink blokkorientált szoftver segítségével.

A szimuláció során a paraméterek értékei a következők voltak A_c=1,65 m^2, ρ_c=1026,3 kg m^{-3}, c_c=3764 J kg^{-1} K^{-1}, V_c=0,0012 m^3. Az optikai hatásfok értéke η_0=0,8, a hőveszteség tényező pedig U_L=7 W m^{-2} °C^{-1} volt, amely értékek normál esetben a 8. táblázat alapján egyrétegű üvegezéssel ellátott kollektorok esetén, 10-60 °C hőmérséklet tartományban használhatók (BOURGES 1991). A szimulációhoz az 1999. május 5-én mért bemenő paraméterek $I_c(t)$, $T_{ci}(t)$, $T_{ca}(t)$, valamint a szivattyú ki- és bekapcsolási állapota került felhasználásra. A kollektoron átáramló folyadék mennyisége $\dot{v}_c(t)$ a szivattyú bekapcsolt állapotában $\dot{v}_c$=3,622·10^{-5} m^3 s^{-1} volt, egyébként pedig $\dot{v}_c$=0 m^3 s^{-1}. A kezdeti érték $T_{co}(0)$=14,71 °C. A szimuláció eredményét a 31. ábra szemlélteti.



31. ábra A vizsgált kollektor hőmérséklet eloszlásának alakulása

A kollektor mért és a modellel számított kilépő hőmérsékletének átlagos eltérése 8,6 °C, az eltérés minimuma -3,1 °C, a maximuma 72,1 °C, míg a szórás 16,4 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 (η_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.

4.3. A kollektor modell teljes hőveszteség tényezőjének identifikációja

A mért és a számított kollektor kilépő hőmérséklet értékek közötti eltérés paraméter identifikációval csökkenthető (BUZÁS et. al. 1999). 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

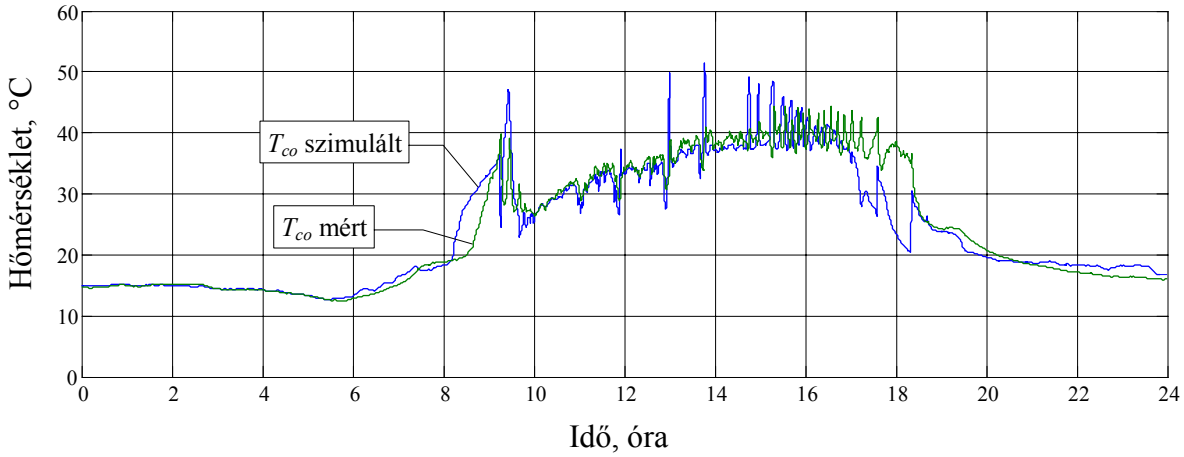
számítja. Az identifikációhoz ezt a megoldást választva a célfüggvény az (54) egyenlettel adható meg. Ily módon az identifikáció a célfüggvény minimalizálásával végezhető el.

$$J(U_L) = \sum_{i=1}^{n} (T_{co}(t_i) - \hat{T}_{co}(t_i))^2 \Rightarrow \min . \tag{54}$$

Az (54) 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 (54) egyenlet alapján az identifikáció elvégzéséhez elkészített Matlab M-függvény *ulid.m* néven mentett állománya a következő:

```
function f=ulid(x)
% A kollektor hőveszteség tényezőjének identifikációja [Wm-2°C-1]
global Ul
Ul=x(1);
[t,x,y]=linsim('coll',[1,86342],14.71,[1e-3 1 1]);
f=sum((y(:,2)-y(:,1)).^2); % A minimalizálandó célfüggvény
% y(:,1) - a kollektor számított kilépő hőmérséklete Tco [°C]
% y(:,2) - a kollektor mért kilépő hőmérséklete Tco [°C]
% Simulink állomány: coll1
% Adat állomány: s1990503.m
```

Az identifikáció eredményeként a kollektor hőveszteségi tényezője U_L=35,0 W m^{-2} °C^{-1} értékre adódott. Az ezzel az értékkel végzett szimuláció eredményeként a kollektor mért és számított kimenő hőmérséklet átlagos eltérése -0,3 °C, a minimum -15,8 °C, a maximális eltérés 14,6 °C volt, míg a szórás 3,4-re változott. A paraméter identifikációt követően végzett szimuláció során a kollektor mért és számított kimenő hőmérsékletének alakulását az idő függvényében a 32. ábra szemlélteti. Látható, hogy a számított értékek jobban közelítik a mért adatokat, ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy az identifikáció során kapott hőveszteség tényező értéke a gyakorlatban előforduló értékeknél lényegesen nagyobb. Ennek oka például a korábban már említett elhanyagolás miatt a valóságosnál kisebb hőkapacitás, a modell csak a kollektorban lévő hőszállító folyadék hőkapacitásával számol, továbbá a szakirodalom alapján megválasztott optikai hatásfok értéke sem egyezik meg az adott kollektoréval. Az adott kollektorra vonatkozó gyakorlati értékek valószínűleg jobban közelíthetők egy nem csak a hőveszteség tényezőre, hanem a hőkapacitással és az optikai hatásfokkal is kiegészített együttes identifikációval. Az identifikációt követően más, az identifikációhoz nem használt bemenő adatokkal szükséges a modell ellenőrzése.

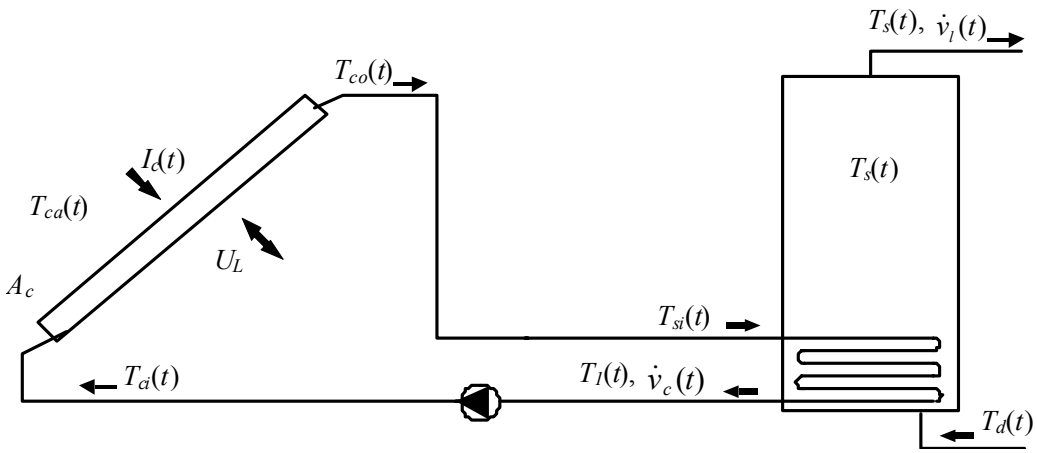


32. ábra A kollektor szimulált és mért kilépő hőmérsékletei az identifikált hőveszteség tényező alkalmazásával

4.4. Tárolóba beépített hőcserélős napkollektoros rendszer szimulációja

A gyakorlatban alkalmazott napkollektoros rendszer változatok közül a beépített hőcserélővel rendelkező tárolókkal kialakított konstrukció az egyik legelterjedtebb. Ezt a változatot elsősorban kisebb napkollektor felülettű családi házaknál telepített rendszereknél alkalmazzák. A kidolgozott és bemutatott kollektor és hőcserélő csőkígyóval ellátott melegvíztároló modell felhasználásával összeállítható egy a 33. ábra által szemléltetett napkollektoros melegvízkészítő rendszer.

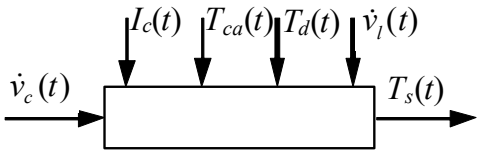
A napkollektort és a tárolóba beépített hőcserélőt tartalmazó rendszer szimulációja a korábban bemutatott részmodellek segítségével, blokkorientált szimulációval elvégezhető. A szimulációhoz méréssel meghatározott bemenő változók a kollektor kör térfogatárama $\dot{v}_c(t)$, a kollektor felületére érkező 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 modellezett rendszer műszaki paramétereinek meghatározását és a szimulációhoz szükséges méréseket a 3.3.1. fejezetben bemutatott, a Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén kialakított napkollektoros rendszeren végeztem.



33. ábra Napkollektoros melegvízkészítő rendszer vázlata tárolóba beépített hőcserélővel

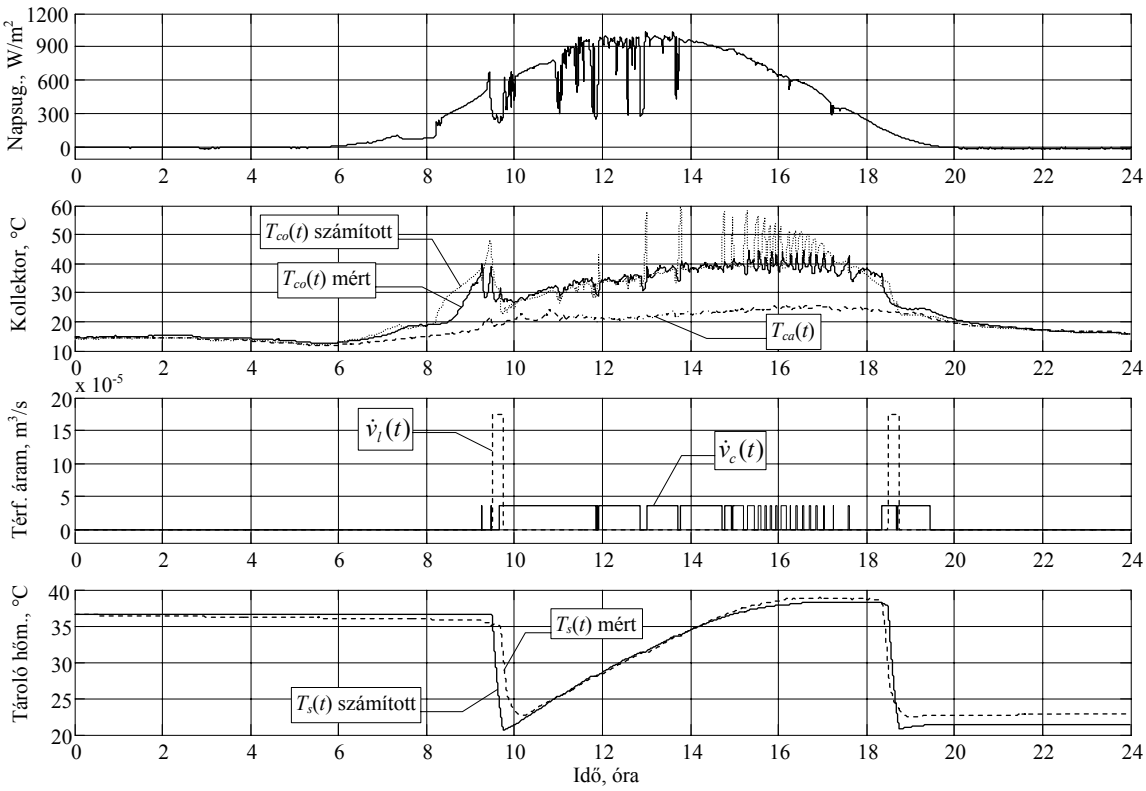
A napkollektoros rendszer változói irányítási szempontból az alábbiak szerint csoportosíthatók:

Állapotváltozó: $T_s(t)$
Irányított jellemző: $T_s(t)$
Bemenő jellemzők:
Módosított jellemző: $\dot{v}_c(t)$
Zavaró jellemzők: $I_c(t)$, $T_{ca}(t)$, $T_d(t)$, $\dot{v}_l(t)$
Paraméterek:
Általános: ρ, c
Kollektor: A_c, V_c, U_L, η_0
Tároló: A, U, V_s.



34. ábra A napkollektoros melegvízkészítő rendszer, mint irányított szakasz hatásvázlata

A korábban kidolgozott részmodellek felhasználásával összeállított rendszermodell segítségével a szimuláció során a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet $T_{co}(t)$ és a tároló hőmérséklet $T_s(t)$ időbeli alakulása számítható. A 35. ábra a kollektor felületére érkező napsugárzást $I_c(t)$, a kollektor mért és számított kilépő hőmérsékletét, a kollektor környezeti hőmérsékletét $T_{ca}(t)$, a kollektor köri térfogatáramot $\dot{v}_c(t)$, a tárolóból felhasznált használati melegvíz $\dot{v}_l(t)$ térfogatáramát, valamint a tároló mért és számított hőmérsékletének időbeli változását mutatja. A szimulációt időben állandó tárolóba belépő hálózati hidegvíz hőmérséklettel T_d = 12 ºC végeztem. A 150 l-es tárolóból a nap folyamán két alkalommal, 9 óra 30 perckor és 18 óra 30 perckor mind a 150 l melegvíz kivételre került. A melgvíz kivétel mindkét alkalommal $\dot{v}_l$=1,7401·10^{-4} m^3/s időben állandó térfogatárammal történt. A kollektor köri szivattyú térfogatáramát a szivattyú bekapcsolt állapotában mért értékkel $\dot{v}_c$= 3,622·10^{-5} m^3/s időben állandónak tekintettem.



35. ábra Tárolóba beépített hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer kollektorára érkező napsugárzás, a kollektor mért és számított kilépő- és környezeti hőmérséklete, a kollektor kör és a tároló melegvízelvételének térfogatárama, valamint a tároló mért és számított hőmérsékletének alakulása

A 35. ábra alsó ábráján a mért és a számított tároló hőmérsékletben látható eltérés két tényezőre vezethetők vissza. Egyrészt az előző napon az éjszakára felmelegített tárolóban – a kollektor üzemen kívüli szakaszában - a modellel számított tároló hőmérséklet állandó értéken maradt, míg a mért hőmérséklet egyenletes csökkenést mutatott. Ezt az eltérést az okozta, hogy az alkalmazott tároló modell nem számolt a tároló és a környezet között kialakuló hőveszteséggel. A másik eltérés a mért és a számított hőmérséklet között a teljes tároló térfogatnyi melegvíz kivételekkor volt tapasztalható. Ekkor mindkét vízkivétel végén a 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.

4.5. Külső hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer szimulációja

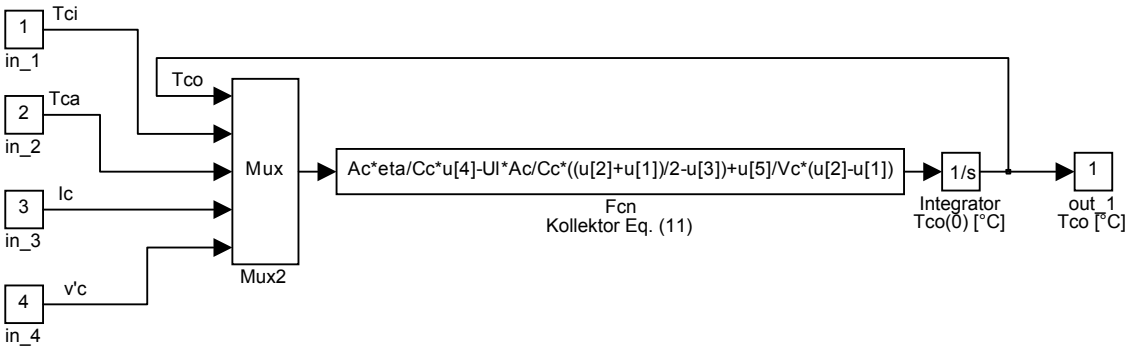
Az előző fejezetben ismertetett beépített hőcserélővel rendelkező tárolóval kialakított napkollektoros rendszerváltozat mellet, a gyakorlatban a másik leggyakrabban alkalmazott napkollektoros rendszer konstrukció a külső

hőcserélővel kialakított rendszer. Ezt a változatot főként nagyobb kollektor felülettel, nagyméretű- vagy több tárolóval kialakított rendszerhez alkalmazzák.

A külső hőcserélővel kialakított napkollektoros rendszer szimulációjához a blokkorientált rendszermodellt a 3.3.1.1. számú alfejezetben a 18. ábra által bemutatott, a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítás Tanszékén található napkollektoros rendszer felépítésének figyelembevételével készítettem el (BUZÁS J., FARKAS I. 2000). A szimuláció bemenő paramétereiként a mérő-, adatgyűjtő rendszer által rögzített környezeti jellemzőket használtam, illetve a szimuláció során a számított jellemzőket a rendszeren mért adatokkal hasonlítottam össze.

A kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet számításához a (8) és (11) egyenleteket használtam. A kollektor modell, méréssel meghatározott bemenő paraméterei voltak a kollektor felületre érkező napsugárzás intenzitás $I_c(t)$, a kollektor környezeti hőmérséklete $T_{ca}(t)$, és a kollektoron áthaladó folyadék térfogatárama $\dot{v}_c(t)$.

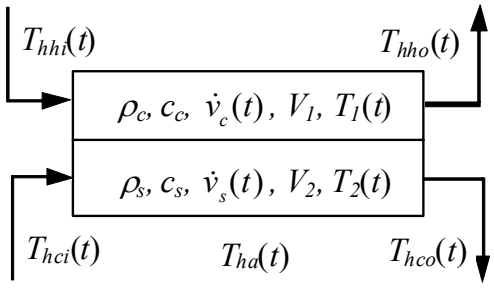
A kollektor Simulink modelljét a 36. ábra mutatja. A modell kimenő változója a kollektor kilépő hőmérséklet $T_{co}(t)$ volt.



36. ábra A kollektor blokkorientált modellje a (8) és (11) egyenletek alapján

Mivel a modellezett rendszer külső hőcserélős kivitelű, és ez a konstrukció a napkollektoros rendszerek esetén a gyakorlatban, főként nagyobb méretű rendszerek esetén igen gyakran alkalmazott megoldás. Ezért kidolgoztam a külső hőcserélő modelljét. A hőcserélő vázlatát a 37. ábra mutatja. A hőcserélő kollektor köri, vagy primer oldali változói és paraméterei: a kollektor felől a hőcserélő primer oldali belépő hőmérséklete $T_{hhi}(t)$, a hőcserélő primer oldali kilépő, a kollektorhoz visszatérő hőmérséklete $T_{hho}(t)$, 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 tároló felől a hőcserélő szekunder oldali belépő hőmérséklete $T_{hci}(t)$, a hőcserélő szekunder oldali kilépő, a tárolóba visszatérő hőmérséklete $T_{hco}(t)$, 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 $\dot{v}_s(t)$. $T_{ha}(t)$ pedig a hőcserélő környezeti levegő hőmérséklet.



37. ábra A tárolón kívül elhelyezett külső hőcserélő vázlata

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:

$$\frac{dT_{hho}(t)}{dt} = \frac{\rho_c c_c \dot{v}_c(t)}{C_{h1} + \rho_c c_c V}(T_{hhi}(t) - T_{hho}(t)) - \frac{A\,k}{C_{h1} + \rho_c c_c V}(T_{hho}(t) - T_{hco}(t)) - \\ - \frac{A_a k_a / 2}{C_{h1} + \rho_c c_c V}(T_{hav}(t) - T_{ha}(t)). \tag{55}$$

A hőcserélő szekunder oldali energia mérlegét leíró egyenlet:

$$\frac{dT_{hco}(t)}{dt} = \frac{\rho_s c_s \dot{v}_s(t)}{C_{h2} + \rho_s c_s V}(T_{hci}(t) - T_{hco}(t)) + \frac{A\,k}{C_{h2} + \rho_s c_s V}(T_{hho}(t) - T_{hco}(t)) - \\ - \frac{A_a k_a / 2}{C_{h2} + \rho_s c_s V}(T_{hav}(t) - T_{ha}(t)). \tag{56}$$

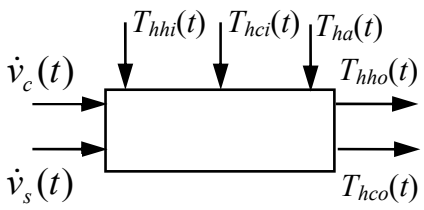
Az átlagos hőcserélő hőmérséklet számításra a következő összefüggést bevezetve:

$$T_{hav}(t) = \frac{T_{hho}(t) + T_{hco}(t)}{2}. \tag{57}$$

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.

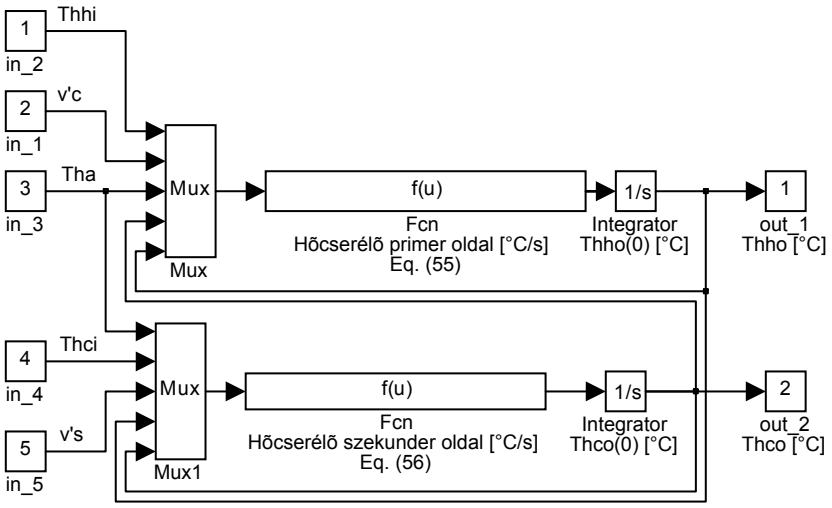
A hőcserélő modell változóinak irányítási szempontból történő csoportosítása a következőkben látható, míg a rendszer, mint irányított szakasz hatásvázlatát a 38. ábra mutatja.

Állapotváltozók: $T_{hho}(t)$, $T_{hco}(t)$
Irányított jellemzők: $T_{hho}(t)$, $T_{hco}(t)$
Bemenő változók:
Módosított jellemzők: $\dot{v}_c(t)$, $\dot{v}_s(t)$
Zavaró jellemzők: $T_{hhi}(t)$, $T_{hci}(t)$, $T_{ha}(t)$
Paraméterek:
Hőcserélő: A, A_a, c_h, k, k_a, m_h, V
Primer oldali folyadék: c_c, ρ_c
Szekunder oldali folyadék: c_s, ρ_s.



38. ábra A hőcserélő, mint irányított szakasz hatásvázlata

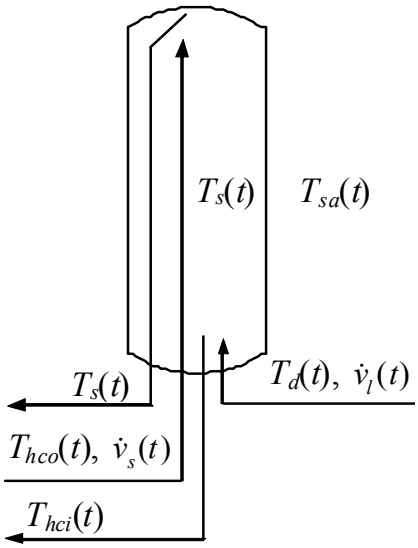
A hőcserélő primer és szekunder oldalára felírt (55) és (56) egyenletek blokkorientált megoldását a 39. ábra mutatja. A modell a hőcserélő primer és szekunder oldali kilépő hőmérsékleteit számítja ($T_{hho}(t)$, $T_{hco}(t)$).



39. ábra Blokkorientált hőcsrélő modell

A napkollektoros rendszerbe hőcserélő nélküli tároló volt beépítve, így elkészítettem a tároló modelljét. A tároló modelljének vázlatát a 40. ábra mutatja. A tároló modell változói: a tároló vizének hőmérséklete $T_s(t)$, a tároló környezeti hőmérséklete $T_{sa}(t)$, a tárolóba belépő hálózati hidegvíz hőmérséklete $T_d(t)$, a tárolóból elvett melegvíz térfogatárama $\dot{v}_l(t)$, a tárolót a külső hőcserélővel összekötő kör térfogatárama $\dot{v}_s(t)$. Paraméterek: V_s a tároló térfogata, A_s a tároló külső határoló felülete, amelyen keresztül a környezet felé a hőátadás végbemegy, k_s a tároló hőveszteségi tényezője.

A tároló energia egyensúlyi egyenletének felírása során homogén hőmérsékletterű tárolót feltételezve és $T_{hci}(t)=T_s(t)$.



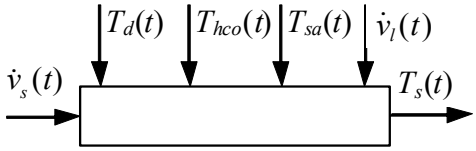
40. ábra A hőcserélő nélküli tároló vázlata

A tároló állapotegyenlete:

$$\frac{dT_s(t)}{dt} = \frac{\dot{v}_l(t)}{V_s}(T_d(t) - T_s(t)) + \frac{\dot{v}_s(t)}{V_s}(T_{hco}(t) - T_s(t)) - \frac{A_s k_s}{\rho_s c_s V_s}(T_s(t) - T_{sa}(t)) . \quad (58)$$

A tároló modell nem veszi figyelembe a tároló tartály anyagából adódó hőkapacitást. A tároló, mint irányított szakasz hatásvázlatát a 41. ábra mutatja. A tároló változóinak irányítási szempont szerinti csoportosítása a következő:

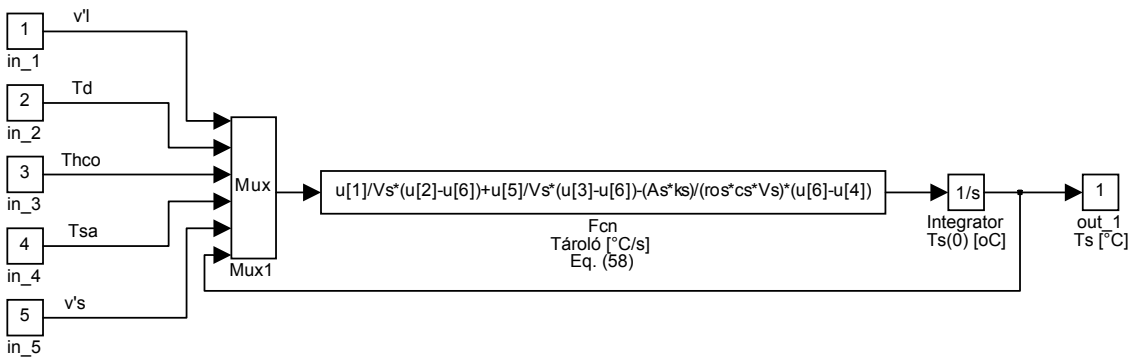
Állapotváltozó: $T_s(t)$
Irányított jellemző: $T_s(t)$
Bemenő változók:
Módosított jellemző: $\dot{v}_s(t)$
Zavaró jellemzők: $T_d(t)$, $T_{hco}(t)$, $T_{sa}(t)$, $\dot{v}_l(t)$
Paraméterek:
Tároló: A_s, k_s, V_s
Tárolt folyadék: c_s, ρ_s.



41. ábra A tároló, mint irányított szakasz hatásvázlata

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 (58) blokkorientált megoldását a 42. ábra mutatja. A tároló modell a tárolóban lévő víz hőmérsékletét $T_s(t)$ számítja.



42. ábra Blokkorientált tároló modell az (58) egyenlet alapján

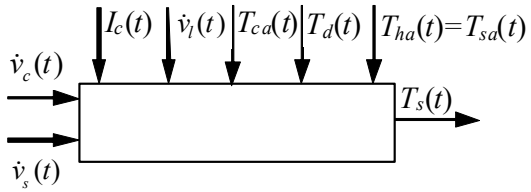
Az elkészített alrendszer modellek egyesítésével létrehoztam a külső hőcserélővel kialakított teljes napkollektoros rendszer modelljét. A napkollektoros rendszer, mint irányított szakasz hatásvázlatát a 43. ábra mutatja, ahol a változók irányítási szempontból a következő csoportokba sorolhatók:

Irányított jellemző: $T_s(t)$

Bemenő változók:

Módosított jellemzők: $\dot{v}_c(t)$, $\dot{v}_s(t)$

Zavaró jellemzők: $I_c(t)$, $T_{ca}(t)$, $T_d(t)$, $T_{ha}(t)=T_{sa}(t)$, $\dot{v}_l(t)$.



43. ábra A külső hőcserélős napkollektoros rendszer hatásvázlata

A blokkorientált szimulációs technika felhasználásával az alrendszerekből összeépített komplett rendszer szimulációs modelljét a 44. ábra mutatja.

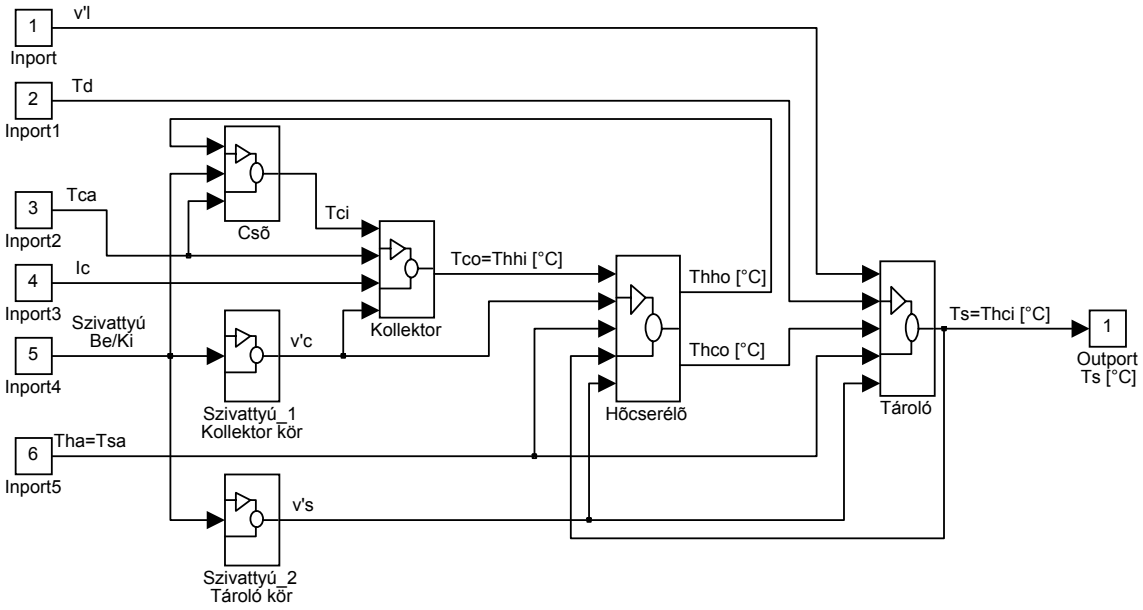
A szimuláció során a keringtető szivattyúk működésének modellezéséhez a mérő rendszer által monitorozott, a szivattyúk ki- és bekapcsolt állapota került felhasználásra mind a kollektor, mind pedig a tároló körben. A mérések során a kollektor és a tároló körben a keringtető szivattyúk kapcsolása a kollektor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

A kollektor köri térfogatáram szabályozás az alábbiak szerint működött:

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

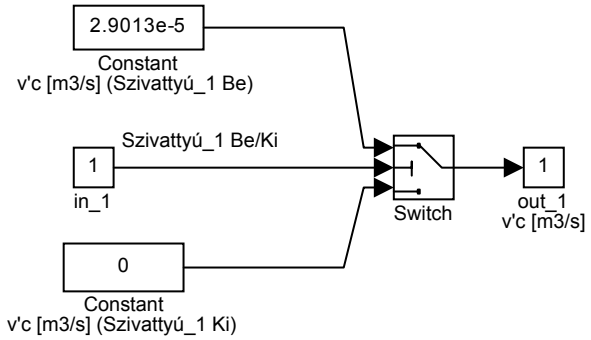
A tároló köri térfogatáram szabályozás működése:

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

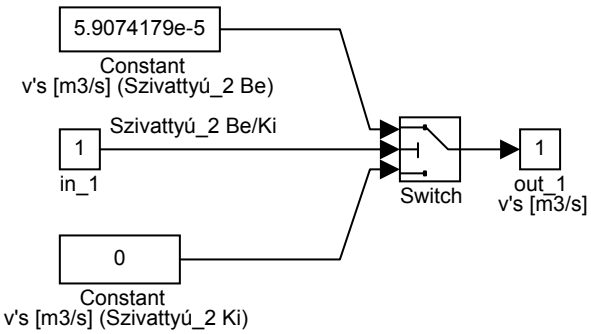


44. ábra A külső hőcserélős napkollektoros rendszer blokkorientált modellje

A kollektor köri és a tároló köri térfogatáram szimulációhoz készített Simulink modelleket a 45. ábra és a 46. ábra mutatja.

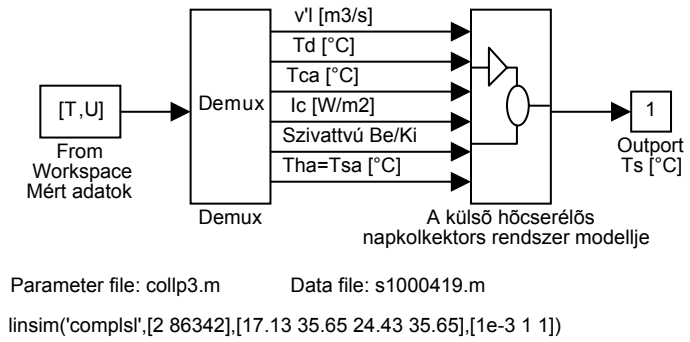


45. ábra A kollektor köri térfogatáram szimuláció modellje



46. ábra A térfogatáram szimuláció modellje a tároló körben

A rendszer szimulációhoz a mérési adatok beolvasása adatfájlból történt egy demultiplexer blokkon keresztül, ahogy azt a 47. ábra mutatja.



47. ábra A külső hőcserélős napkollektoros rendszer szimulációs modellje az adatbeolvasó blokkokkal

A mért jellemzők két csoportra, meteorológiai vagy környezeti, illetve a rendszer üzemi paramétereire oszthatók fel.

A szimuláció egyes paramétereinek megválasztása a kollektor esetén irodalmi adatok alapján történt. Ilyen paraméter volt a kollektor optikai hatásfoka η_0=0,8 (BOURGES 1991). A kollektor teljes hőveszteségi tényezője U_L=35 $Wm^{-2}K^{-1}$ volt, amely értéket mérési adatok alapján a 4.3. alfejezetben identifikációval határoztam meg, egyrétegű üvegezésű sík-kollektorra.

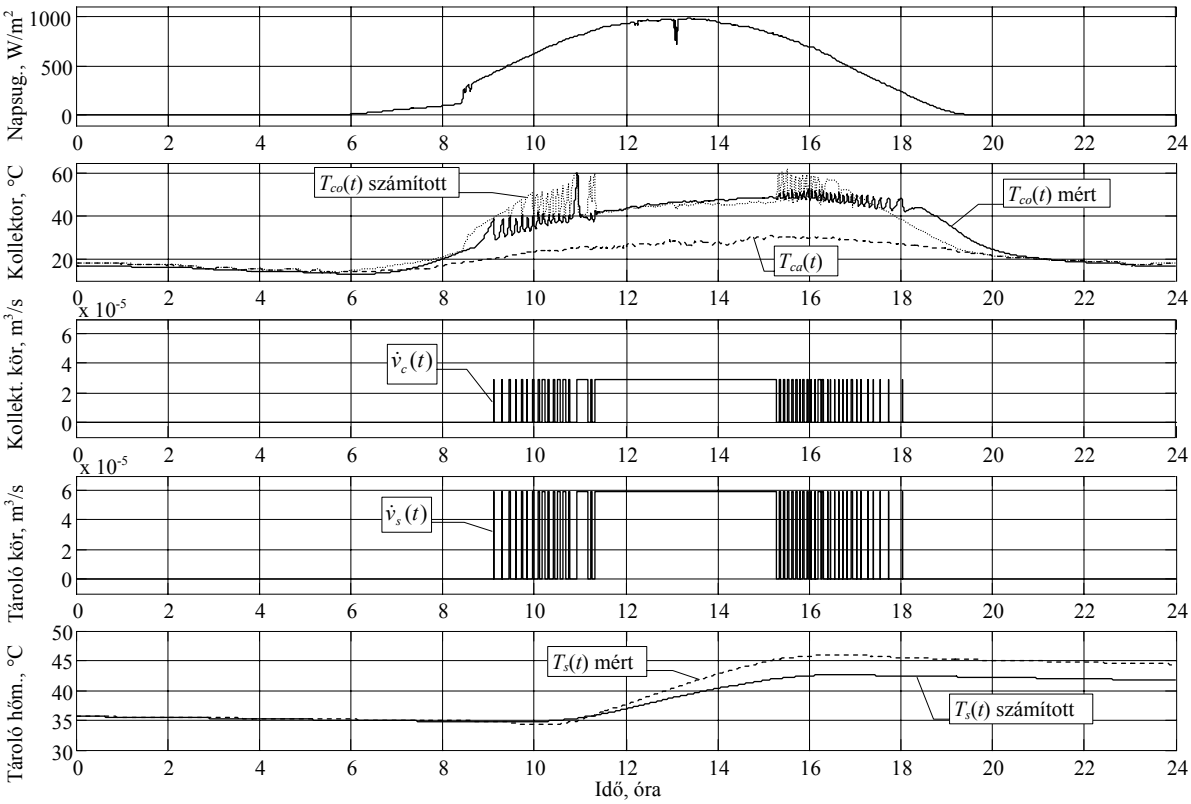
A hőcserélő esetén a primer és a szekunder oldali hőátadási tényező értékét a gyártó szolgáltatta, értéke k = 1509 $Wm^{-2}K^{-1}$ volt. A hőcserélő és a környezet közötti kőveszteségi tényező értéke k_a = 2 $Wm^{-2}K^{-1}$ volt, amit mérési adatok alapján határoztam meg. A tároló és a környezet közötti hőveszteségi tényező értéke k_s = 1 $Wm^{-2}K^{-1}$ volt.

A nap során a tárolóból használati melegvízelvétel nem történt $\dot{v}_l(t)$ =0.

A mért és a számított változók napi alakulását a 48. ábra mutatja. Az ábra a kollektor felületére érkező napsugárzást $I_c(t)$, a kollektor környezeti hőmérsékletét $T_{ca}(t)$, a kollektor mért- és számított kilépő hőmérsékletét $T_{co}(t)$, a külső hőcserélőhöz kapcsolódó kollektor kör $\dot{v}_c(t)$ és a tároló kör $\dot{v}_s(t)$ térfogatáramát, valamint a tároló mért- és számított hőmérsékletét $T_s(t)$ mutatja.

Mind a mért, mind a számított kollektor kilépő hőmérsékletben, a növekvő és a csökkenő napsugárzás intenzitású időszakban lengések alakulnak ki. A lengések kialakulására döntő hatást gyakorolt a technikailag megvalósítható szabályozás minősége. A hőmérsékletkülönbség alapján végzett állásos szabályozás, azonos be- és kikapcsolási hőmérséklet különbséggel elősegítette a lengések kialakulását. Ez jól látható a 48. ábra kollektor és tároló köri térfogatáram görbék és a kollektor kilépő hőmérséklet összevetésén. A számított kollektor kilépő hőmérsékletben kialakult lengések amplitúdója nagyobb volt, mint a mért hőmérsékletben. Ez alapvetően annak az eredménye, hogy a kollektor modell csak a kollektorban lévő folyadékmennyiség

hőkapacitását veszi figyelembe, míg a kollektor szerkezeti kialakításból adódó, tényleges termikus tárolási képessége nagyobb.



48. ábra A mért és számított kollektor kilépő-, és tároló hőmérséklet, valamint a mért kollektor környezeti hőmérséklet (T_{ca})

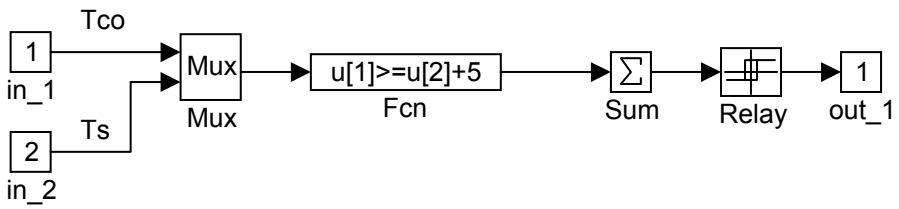
A mért és a számított tároló hőmérséklet különbség maximuma 0,7 °C, minimuma -3,3 °C, az abszolút eltérés átlaga 1,4 °C volt. A számított tároló hőmérséklet időbeni alakulása a tároló felfűtésének időszakában, döntően végig a mért érték alatt maradt.

4.6. Napkollektoros rendszerek szabályozó modelljei

Ebben a fejezetben a napkollektoros rendszerek kollektor köri keringtető szivattyúit működtető, három különböző típusú, a gyakorlatban megvalósított napkollektoros rendszereknél alkalmazott szabályozó berendezés blokkorientált modelljének kidolgozását mutatom be. A három kiválasztott szabályozó típus a 3.3. fejezetben ismertetett három különböző kialakítású napkollektoros rendszer szabályozója.

Elsőként a 3.3.1. alfejezetben bemutatott, a Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén működő napkollektoros rendszer szabályozásának modellezésére alkalmas, azonos be- és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő állásos szabályozó modelljének kidolgozását mutatom be. Ebben az esetben a szabályozó a kollektor kilépő csonkján $T_{co}(t)$ és a tárolóban elhelyezett érzékelőtől $T_s(t)$ érkező hőmérséklet jel különbségét

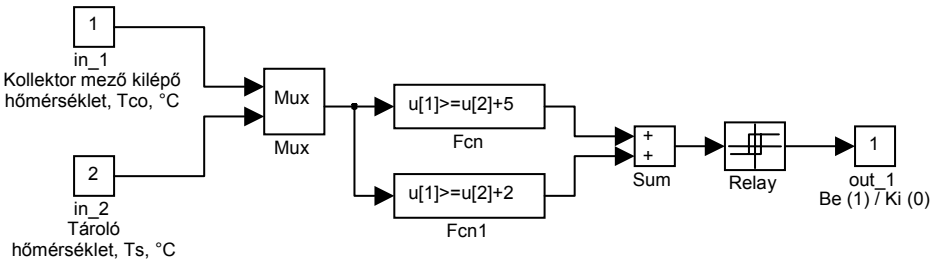
figyeli, mint ahogy azt a 49. ábra mutatja. Ha a kollektor kilépő csonkjának hőmérséklete a szabályozóban beállított hőmérséklet különbséggel – a 49. ábra által szemléltetett modell esetén 5 °C-kal - meghaladja a tároló tartályban lévő folyadék hőmérsékletét, a szivattyú bekapcsol, és megkezdődik a folyadékszállítás. A szabályozó Simulink modelljének a bemenetei a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet és a tároló tartályban lévő folyadék hőmérséklet. Az *Fcn* jelű függvényblokkban adható meg a be- és a kikapcsolási hőmérséklet-különbség. Ez jelen esetben 5 °C. A *Sum* összegző blokk vizsgálja, hogy igaz-e a függvényblokkban megadott feltétel. A *Relay* blokkban lehet beállítani, hogy igaz feltétel esetén a kimenet egy vagy nulla legyen, tehát a szivattyú ki- vagy bekapcsoló jelet kapjon. Ha igaz a feltétel, tehát a kollektor kilépő hőmérséklete 5 °C-kal meghaladja a tároló hőmérsékletét, akkor a szabályozó modell kimenetén a szivattyú felé a bekapcsoló jel például 1 jelenik meg, nem teljesülő feltétel esetén a kimenetre a kikapcsoló jel (0) kerül kiküldésre.



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

A 3.3.2. alfejezetben részletesen ismertetett úszómedence vízfűtő és használati melegvízkészítő napkollektoros rendszer, szabályozó berendezésének működését alapul véve, a rendszer szimulációhoz kidolgoztam egy állásos szabályozó modellt (BUZÁS et. al. 2002), ami alkalmas különböző be-, és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő szabályozás megvalósítására.

A napkollektoros rendszer állásos szabályozó berendezésének működését szimuláló blokkorientált rész-modellt a következőkben mutatom be. A szabályozó modell bemenő változói a kollektormező kilépő hőmérséklete $T_{co}(t)$ és a szolár tároló hőmérséklete $T_s(t)$. A beállítási paraméterek a szabályozó kapcsolási hőmérsékletkülönbségei. A modellnek két kimenő jelszintje van. Ha a kollektor-mező kilépő hőmérséklete +5 °C-al meghaladja a tároló hőmérsékletét, akkor a kimenő jel 1, vagyis a szabályozó bekapcsolja a szivattyúkat. Ha az érzékelt különbség +2 °C-ra, vagy annál kissebre csökken, akkor a szabályozó modell kimenete 0. Ebben az esetben a hőhordozó közeg keringtetése leáll. A szabályozó blokkorientált modelljét az 50. ábra mutatja.



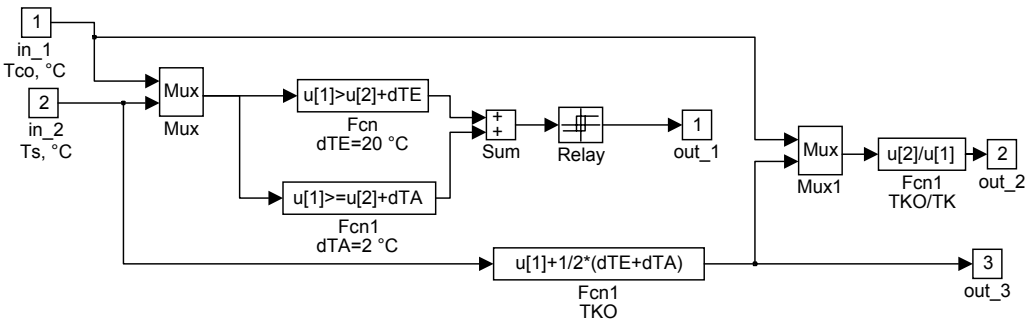
50. ábra Eltérő be-, és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő állásos szabályozó modelljének realizálása SIMULINK-ben

A harmadik kidolgozott szabályozási modell típus a szivattyú ki- és bekapcsolásán kívül alkalmas a kollektor köri szivattyú térfogatáramának működés közbeni változtatására is. Ilyen szabályozó végzi a 3.3.3. alfejezetben bemutatott napkollektoros rendszer kollektor köri szivattyújának a szabályozását. Ez a szabályozás annyiban hasonlít az előzőleg ismertetett típushoz, hogy a szivattyú akkor kapcsol be, ha a kollektor kilépő csonkján a hőszállító közeg hőmérséklete $T_{co}(t)$ a beállított értékkel (dTE) – jelen esetben 20 °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 köri 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, ami az (53) egyenlet alapján:

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

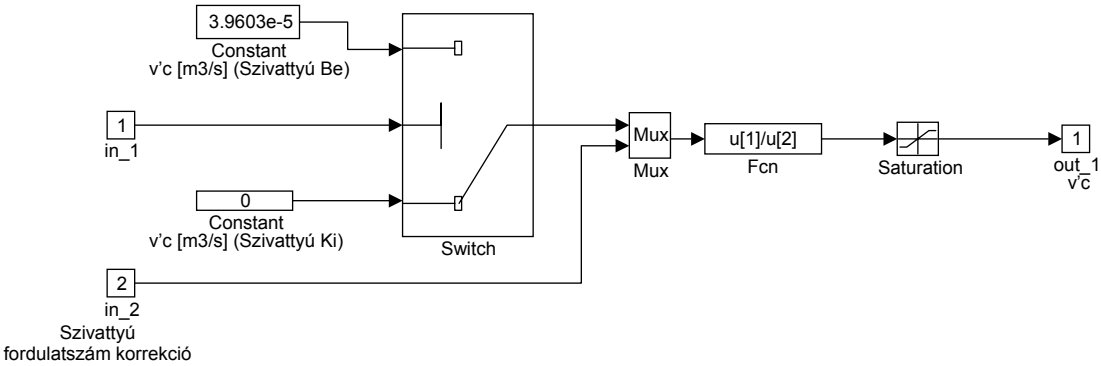
ahol TKO az optimális kollektor kilépő hőmérséklet.

A szabályozó Simulink modelljének a bemeneti változói a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklet $T_{co}(t)$ és a tároló tartályban lévő folyadék hőmérséklet $T_s(t)$. A modell felépítése a bemenetektől az *out_1* jelű 1-es számú *Outport*-ig megegyezik az előzőleg bemutatott szabályozó modelljével. Az *in_2* jelű 2-es számú bemenetről a multiplexer (*Mux*) blokk előtt leágazó tároló hőmérséklet alapján, az *Fcn1* jelű függvényblokk kiszámolja a már említett optimális kollektor hőmérsékletet. A kollektor köri szivattyú térfogatáramának szabályozása az optimális hőmérséklet és a valós kollektor kilépő hőmérséklet közötti különbségen alapul. A közvetlenül az *out_2* jelű 2-es számú kimenet előtt található függvényblokk a korrekciós tényezőt számolja, mellyel a szivattyú térfogatárama működésközben folyamatosan változtatható. Ezt a tényezőt a függvényblokk úgy számítja, hogy az optimális kollektor hőmérsékletet elosztja a valós kollektor hőmérséklettel. Tehát a 2-es számú kimeneten ez a tényező jelenik meg (51. ábra).



51. ábra Változó térfogatáramú szivattyúvezérlést végző szabályozó Simulink modellje

Ez a korrekciós tényező az 52. ábra által szemléltetett kollektor köri szivattyú modell *in_2* jelű 2-es számú bemenetére kerül. A szivattyú modell az *in_1* jelű 1-es számú bemeneten megkapja az indítási, vagy kikapcsolási jelet. Ha bekapcsol, akkor továbbítja a beállított $3{,}96 \cdot 10^{-5}$ m^3/s térfogatáramot a Multiplexer blokkba, melybe szintén csatlakozik a szabályzó modell által kiszámított korrekciós tényező. Az ezt követő függvényblokk a konstans térfogatáramot elosztja a korrekciós tényezővel, ami a telítődési (*Saturation*) blokkba kerül. Ebben a blokkban kell beállítani az adott rendszerre jellemző maximális és minimális térfogatáram értéket, mivel a kiszámított érték meghaladhatja a szivattyú által maximálisan szállítható térfogatáramot, ami valós körülmények között természetesen lehetetlen. A szállított térfogatáram végül megjelenik a kimeneten.



52. ábra A változtatható térfogatáramú kollektor köri szivattyú Simulink modellje

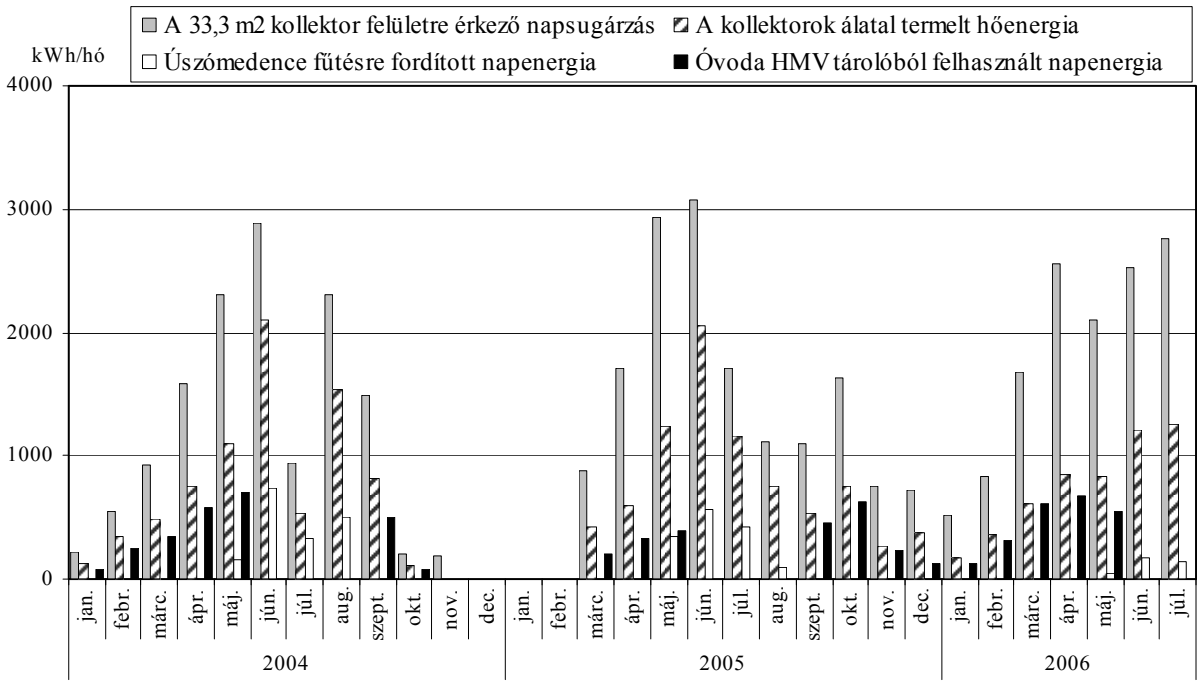
A bemutatott térfogatáram szabályozásra alkalmas szabályozó modellel és a változtatható folyadékszállítású szivattyúmodellel a napkollektoros rendszerek kollektor körében a szivattyú bekapcsolt állapotában változó térfogatáramú szivattyú üzemet lehet létrehozni. A szivattyú térfogatáram szerinti szabályozására a számított optimális és valós kollektor kilépő hőmérséklet aránya megfelelően alkalmazható. Ez a szabályozási mód az azonos, vagy eltérő be- és kikapcsolási hőmérséklet különbség alapján végzett állásos szabályozással összevetve előnyösebb. Alkalmazásával a napkollektoros

rendszerek üzemeltetésénél a napi sugárzás intenzitásváltozás során, főként a növekvő és a csökkenő sugárzásintenzitású időszakokban jelentkező tranziens ki- és bekapcsolások száma mérsékelhető, a hőszállító közeg áramoltatása a kollektor körben egyenletesebbé tehető. Továbbá az alacsonyabb napsugárzás intenzitáshoz igazodva, ugyan kisebb kollektor köri térfogatáram mellett, de folyamatosabb hőhasznosítás valósítható meg.

4.7. Az uszodai napkollektoros rendszer monitorozása és szimulációja

A kutatómunka során a 3.3.2. alfejezetben részletesen ismertetett 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 az 53. ábra mutatja havonkénti bontásban.



53. 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^2 nap volt.

Meg kell jegyezni, hogy a vizsgált időszakban a rendszer működését meghibásodások zavarták, így az 53. ábra és az adatok nem a normál üzemi körülményekre jellemző állapotot mutatják. Az adatgyűjtő rendszer

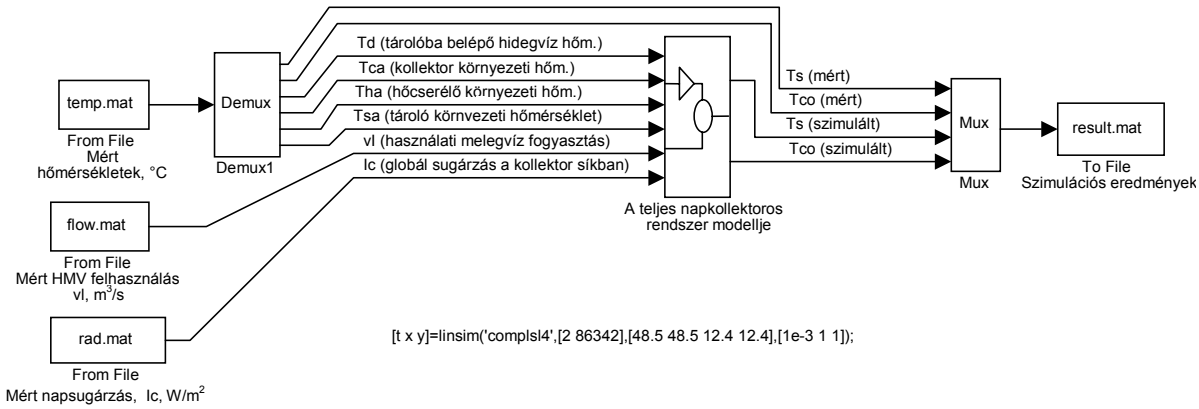
tápegységének tönkremenetele következtében 2004. október 14-től 2005. február végéig a monitorozás szünetelt, így ezen időszakról mérési adatok nem állnak rendelkezésre. Továbbá 2005. január 17-én először került észlelésre a napkollektoros rendszer óvoda üzeméhez telepített szabályozó berendezés meghibásodása. Ennek következtében a kollektor körben és az óvoda körben a keringtető szivattyúk vezérlése nem megfelelően történt. A hiba elhárítására 2005. május 2-án került sor.

A napkollektoros rendszerben külső hőcserélők vannak telepítve, mind az úszómedence, mind a használati melegvíztároló fűtőkörében. E szerint a rendszermodell felépítéséhez a korábban kidolgozott megfelelő típusú részmodelleket alkalmaztam, kiegészítve a 4.6. alfejezetben ismertetett különböző be-, és kikapcsolási hőmérsékletkülönbséggel üzemelő állásos szabályozó modelljével.

Az 54. ábra a napenergia-hasznosító berendezés blokkorientált modelljét mutatja a szimuláció futtatásához szükséges adatbeolvasó és eredményfogadó blokkokkal.

A szimuláció során a modell bemenő változói voltak:

- globál sugárzás a déli tájolású és 45°-os dőlésszögű kollektormezőn,
- a kollektormező, a hőcserélők és a szolár tároló környezeti hőmérséklete,
- a szolár tárolóba belépő hálózati hidegvíz hőmérséklete,
- a szolár tárolóból elvett használati melegvíz mennyisége,
- szabályozási paraméterek (a kapcsolási hőmérséklet különbségek).

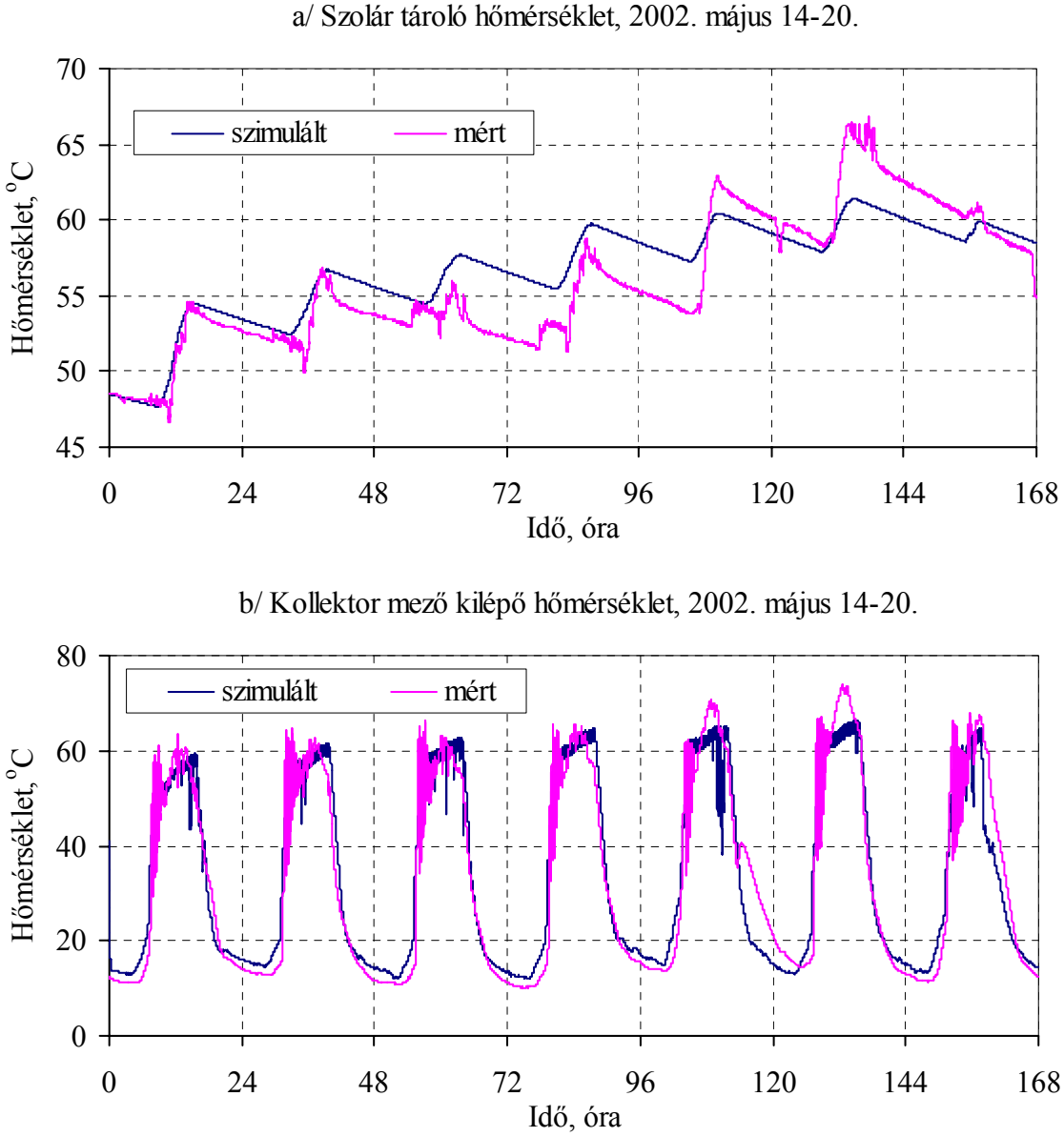


54. ábra A napenergia-hasznosító berendezés blokkorientált modellje

A modellel végzett szimuláció (BUZÁS et. al. 2002), valamint a mért és a számított hőmérsékletek összehasonlítása 2002. május 14-20. közötti hét napos időszakban mért adatok alapján történt. A mért és a számított kollektor kilépő és szolár tároló hőmérséklet lefutásokat az 55. ábra mutatja.

A kollektor kilépő hőmérséklet esetén a mért és a számított értékek közötti eltérés átlaga 4,26 °C, az eltérés minimuma -25,79 °C, az eltérés maximuma

36,1 °C, a szórás pedig 5,74 °C volt. A szolár tároló hőmérséklete esetén az eltérés átlaga 1,91 °C, az eltérés minimuma -5,87 °C, az eltérés maximuma 5,38 °C, a szórás pedig 2,20 °C volt.



55. ábra A mért és számított hőmérsékletek összehasonlítása

A számított eltérések, és az ábra alapján is belátható, hogy a napsugárzás hirtelen változásaiból adódóan a számított kollektor kilépő hőmérsékletben esetenként nagy lengések is kialakulnak.

A kollektor kilépő hőmérséklet esetén a mért és a számított értékek közötti átlagos eltérés 4,26 °C volt, míg a szolár tároló hőmérséklete átlagosan 1,91 °C-al tért el. A modell javítása érdekében további méréseket kell végezni, így az adatok alapján az egyes komponensek paraméterei, a hőátadási tényezők

pontosabban meghatározhatók, ezzel várhatóan a szimuláció pontossága növelhető.

4.8. Új tudományos eredmények

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 sík-kollektorra, a hőcserélőre és a tárolóra fizikai alapú megközelítést alkalmazva, koncentrált paraméterű, közönséges 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 sík-kollektorok bemeneti változói közül a napsugárzás intenzitásra, a belépő folyadékhőmérsékletre, a környezeti levegőhőmérsékletre 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 sík-kollektorra jellemző konstrukciós paraméterek hatása. A sík-kollektorok eredő átviteli függvényét az egyes bemeneti változókra vonatkozó átviteli függvények lineáris szuperpozíciójaként definiáltam.
3. Sík-kollektorok 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 sík-kollektorok 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 kollektor köri 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 hőveszteséget. 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 beállítása. 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 e 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 sík-kollektorokban 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. Sík-kollektorok 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 energiatárolási 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 áttekintettem a magyarországi napsugárzás energiaviszonyait és a napkollektoros berendezések telepítését befolyásoló támogatási rendszert. Feldolgoztam a napkollektoros használati melegvízkészítő berendezések főbb elemeire vonatkozó szakirodalmat. Áttekintettem 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 sík-kollektorok fizikai alapú modellezését. Kialakításra került egy fizikai alapú modell, ami leírja a kollektorban végbemenő hőtranszport folyamatokat. A sík-kollektorok 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 végezetem, aminek eredményeként meghatároztam, hogy a megtermelt energia milyen arányban hasznosul úszómedencevíz fűtésre, illetve használati melegvízkészítésre.

7. SUMMARY

In the course of the research a related literature survey was carried out concerning to the Hungarian solar radiation energy distribution and the subvention policy influencing the installation of solar thermal systems. The literature dealing with the main components of solar domestic hot water systems has been processed. A review was made on the standards connected with the tests procedures of solar thermal systems. Information was collected on different simulation software for modeling of solar thermal systems.

In the chapter of materials and methods – based on the literature – a detailed introduction was given on the physically based modeling of flat plate solar collectors operating with fluid working medium and most frequently used in solar thermal systems. A physically based model was developed which describes the heat transfer processes in the collector. The transfer functions concerning to the outlet heat transfer fluid temperature of the flat plate solar collector was determined for different input variables of the collector as solar radiation intensity, inlet working medium temperature, ambient temperature and the initial response of the outlet heat transfer fluid temperature.

Models were developed for the solar storage tank as another main component of the solar thermal systems. The different model versions can be used to describe divided storage tank, storage tank with built in heat exchanger coil and storage tank without heat exchanger.

For the one of the mostly used construction of the solar thermal systems a model with external heat exchanger was elaborated allowing to calculate the heat transfer between the collector loop and the storage loop.

To carry out of system simulations different block-oriented control models were developed. The control models can be parameterized on different ways and they are operated on the temperature difference between the collector outlet temperature and the storage tank temperature, as well.

A simulation was carried out using the block-oriented simulation technique with the integration of the developed subsystem models for different solar thermal constructions. In the course of the study the most frequently used two constructions were taken into account. One type of the system is installed a storage tank with built in heat exchanger coil, while the other one built with external heat exchanger. For the latter type, the simulation was carried out for two different size of solar thermal system.

Monitoring tasks of a solar thermal swimming pool heating system was carried out and, the utilized energy ratio between swimming pool water heating and hot water heating was also determined.

8. MELLÉKLETEK

M1 melléklet: Irodalomjegyzék

Actaris [2003]: Unimag, http://www.actaris.com/water/unimag.shtml

BELLA SZ., MAJOR GY., NAGY Z. (2006): Napenergia, mint megújuló energiaforrás – magyarországi lehetőségek, 127-134. p. In: DOBI I. (Szerk.): *Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei*, Budapest: Országos Meteorológiai Szolgálat, 148 p.

BIRÓ A. (1998): Növényházak számítógépes irányítási rendszere, Doktori értekezés, Gödöllői Agrártudományi Egyetem, 160 p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

BOHOCZKY F. (1997): Energiatakarékosság és környezetvédelem, 2. Magyar Szárítási Szimpózium, Gödöllő, 6-7. p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

BOHOCZKY F. (1999): Megújuló energiaforrások hasznosításának lehetőségei az önkormányzatoknál, *Energiagazdálkodás*, 40 (7) 15-16. p.

BOURGES B. (1991): European simplified methods for active solar system design, Kluwer Academic Publishers for CEC.

BUZÁS J. (2007): Napkollektor átviteli függvényének meghatározása, MTA Agrárműszaki Bizottság, XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 3. kötet, 85-89. p.

BUZÁS J., FARKAS I. (2000): Solar domestic hot water system simulation using block-oriented software, The 3rd ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2000), Copenhagen, Denmark, June 19-22, 1

CD-ROM Proceedings, pp. 9.

BUZÁS J., FARKAS I., BIRÓ A., NÉMETH R. (1998): Modelling and simulation aspects of a solar hot water system, *Mathematics and Computers in Simulation*, 48, 33-46. p.

BUZÁS J., FARKAS I., JEDRISKO ,C. (1999): Simulation of a solar domestic hot water system, Energy and Agriculture towards the Third Millennium, Athens, Greece, 2-5 June 1999 Proceedings, Volume 1, 500-507. p.

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, CD-ROM Proceedings, pp. 7.

BUZÁS J., KICSINY R. (2007): Solar thermal heating of outdoor swimming-pools, Home High Tech Symposium, Agigea, Romania, August 27-28, 2007, p. 3.

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, 31 p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

CARVALHO M.J., NARON D.J. (2000): Comparison of test methods for evaluation of thermal performance of preheat and solar-only factory made system, The 3rd ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2000), Copenhagen, Denmark, June 19-22, 2000, CD-ROM Proceedings pp. 10. [CD:\22 SDHW Systems\22_Maria_Joao_Carvalho_Comparison_of_ test_methods_for evaluat.pdf]

DUFFIE J.A., BECKMAN W.A. (1980): Solar engineering of thermal processes, Whilley, New York, 665 p.

Energia Központ Kht. [2005]: http://www.energycentre.hu

EU maps out low-carbon energy path with proposals for renewables directive (2008): *Renewable Energy World*, 11 (1) 10 p.

European Committee for Standardization [2008]: http://www.cenorm.be

European Solar Thermal Industry Federation (2007): Solar thermal markets in Europe (Trends and market statistics 2006), 8 p. http://www.estif.org

European Solar Thermal Industry Federation (2008): Solar thermal markets in Europe (Trends and market statistics 2007), 8 p. http://www.estif.org

Európai Közösségek Bizottsága (2008): Javaslat: az Európai Parlament és a Tanács irányelve a megújuló forrásokból előállított energia támogatásáról, 68 p.

FARKAS I. (2005): Termikus napenergia potenciál a magyar mezőgazdaságban, *Energiagazdálkodás*, 46 (1) 3-7. p.

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 (3) 17-24. p.

FARKAS I., BUZÁS J., KALMÁR I., LÁGYMÁNYOSI A., NAGY L., SZEPESVÁRY L. (2000): Úszómedence vízmelegítő és óvoda használati melegvízkészítő napenergia-hasznosító berendezés mérési adatgyűjtő rendszere, Jelentés, SZIE, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 17, Gödöllő, 50 p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

FARKAS I., BUZÁS J., LÁGYMÁNYOSI A., KALMÁR I. (2001): Napenergiás uszodai vízmelegítő rendszer, *Magyar Energetika*, IX (3) 17-20. p.

FARKAS I., GÉCZY-VÍG P. (2003): Neural network modelling of flat-plate solar collectors, *Computers and Electronics in Agriculture*, 40 (1-3), 87-102. p.

Fiorentini Hungary Kft. (É.n.): SKV-3 napkollektor vizsgálata, Kivonat a TÜV Süddeutchland 28601231-1 számú vizsgálati jelentéséből 1 p.

Fiorentini Hungary Kft. (2000): Úszómedence vízmelegítő és óvoda használati melegvízkészítő napenergia-hasznosító berendezés Gödöllő, Dokumentáció, 64. p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

Gazdasági és Közlekedési Minisztérium [2006]: Pályázati felhívás a megújuló energiaforrások felhasználásának a bővítése magánszemélyek számára, NEP-2006-2

Gazdasági és Közlekedési Minisztérium [2007a]: Pályázati felhívás A Nemzeti Energiatakarékossági Programból és a "Sikeres Magyarországért" Lakossági Energia-takarékossági Hitelprogramból megvalósuló, lakossági energiamegtakarítást és megújuló energiafelhasználást eredményező beruházások támogatásához, NEP-2007

Gazdasági és Közlekedési Minisztérium [2007b]: Magyarország megújuló energiaforrás felhasználás növelésének stratégiája 2007-2020, 82 p.

Gazdasági és Közlekedési Minisztérium [2008]: Pályázati felhívás A Nemzeti Energia-takarékossági Programból és a "Sikeres Magyarországért" Lakossági Energiatakarékossági Hitelprogramból megvalósuló, lakossági megújuló energiafelhasználást eredményező beruházások támogatásához, NEP-2008-5

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.

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.

HUJTER M. (1994): Betekintés a MATLAB programrendszerbe, 3. fejezet, ÉGERT J., GALÁNTAI A. (Szerk.) Matematikai szoftverek, Egyetemi jegyzet, Egyetemi Kiadó, Miskolci Egyetem, Miskolc-Egyetemváros, 41-60. p.

IAPWS (2008): Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance, Berlin, 23 p., http://www.iapws.org

IMRE L. (2004): Az emberiség jövőbeni energiaellátása, *Energiagazdálkodás*, 45 (6) 3-6 p.

IMRE L., VARGA P. (1997): Napenergia aktív hőhasznosítás, Oktatási segédlet és gyakorlati útmutató, Magyar Napenergia Társaság, 44. p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme (2004): Recommendation: Converting solar thermal collector area into installed capacity (m^2 to kW_{th}), 3 p. http://www.iea-shc.org

International Organization for Standardization [2008]: http://www.iso.org

JONES J. (2005): Getting warmer, Solar thermal systems on the up, *Renewable Energy World*, 8 (4) 124-133 p.

KABOLDY E. [1999]: Vízmelegítés napenergiával, Energia Központ Kht., Budapest, (Csináljuk jól, 5. szám) 15 p.

KABOLDY E. (2005): A napenergia aktív hőhasznosításának hazai potenciálja, *Energiagazdálkodás*, 46 (1) 19-23. p.

KING C., OWEN LEWIS J., GOULDING J. [1995]: Solar Water Heating, European Commission Directorate-General XII for Science, Research and Development, 26 p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

Kipp & Zonen [2003]: CM11 Pyranometer, http://www.kippzonen.com

Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium [2008]: Megemelt támogatási keret és megemelt támogatás a KHEM 2008. évi Nemzeti Energiatakarékossági Program pályázataihoz, 4. p.

LÁGYMÁNYOSI A., BUZÁS J. (2002): Növényházi fűtést kiegészítő napenergia-hasznosító berendezés, Jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 27, Gödöllő, 15 p. Hozzáférhető a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.

Magyar Közlöny (1999): 89. szám: A Kormány 1107/1999. (X.8.) Korm. határozata a 2010-ig terjedő energiatakarékossági és energiahatékonyság-növelési stratégiáról, 5683-5687. p.

Magyar Közlöny (2005): 88. szám, I. kötet, 63/2005. (VI. 28.) OGY h. Az alternatív és megújuló energiahordozók elterjesztésének hatékonyabbá tételéről, 4648-4649. p.

Magyar Közlöny (2008): 62. szám, 40/2008. (IV. 17.) OGY h. a 2008-2020 közötti időszakra vonatkozó energiapolitikáról, 3276-3278 p.

Magyar Szabványügyi Testület [2008]: http://www.mszt.hu

MSZ EN 12976-1:2006; Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Előre gyártott rendszerek. 1. rész: Általános követelmények; MSZT, Budapest

MSZ EN 12976-2:2006; Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és részegységeik. Gyárilag előállított rendszerek. 2. rész: Vizsgálati módszerek; MSZT, Budapest

MSZ ENV 12977-1:2001; Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és szerkezeti részeik. Egyedi kivitelezésű rendszerek. 1. rész: Általános követelmények; MSZT, Budapest

MSZ ENV 12977-2:2001; Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és részegységeik. Egyedi kivitelezésű rendszerek. 2. rész: Vizsgálati módszerek; MSZT, Budapest

MSZ ENV 12977-3:2001; Termikus napenergia-hasznosító rendszerek és részegységeik. Egyedi kivitelezésű rendszerek. 3. rész: A napenergia-hasznosító rendszerek tárolóedényei műszaki adatainak meghatározása; MSZT Budapest

Naplopó Kft. (2003a): Árajánlat, Kékduna Welness Hotel Napenergia-hasznosító rendszerének megvalósítására, Budapest, 23 p.

Naplopó Kft. (2003b): Naplopó 1.0, Számítógépes méretezési program napkollektoros hőhasznosító rendszerekhez, Budapest, 17 p.

Naplopó Kft. (2006): Napenergia hasznosítás, tervezési segédlet, Budapest, 39 p.

National Semiconductor (2000): LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision temperature sensors, http://www.national.com

PEUSER F. A., REMMERS K-H., SCHNAUSS M. (2002): Solar Thermal Systems, Successful Planning and Construction, Solarpraxis, Berlin, 364 p.

Solar Energy Laboratory [2004]: TRNSYS 16 Update description, 22 p., http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/trnsys16-new-features-2004-06.pdf

SOLSTRIP-Solarabsorber (É.n.): Termék ismertető, Wagner & Co, 2 p.

SOTERIS A. KALOGIROU (2006): Prediction of flat-plate collector performance using artificial neural networks, *Solar Energy*, 80 (3), 248-259. p.

SPANG B. (2002): Water97_v13.xla – Excel Add-In for Properties of Water and Steam in SI-Units, http://www.cheresources.com/iapwsif97.shtml

SPF [2008]: Polysun 4, The new dimension in planning and design of solar thermal systems, http://www.spf.ch

STEPHANOPOULOS G. (1984): Chemical process control, An introduction to theory and practice, London: Prentice Hall International 696 p.

TeknoTerm SunStrip (É.n.): Termék ismertető, TeknoTerm Energi AB, 2 p.

Tyforop Chemie GmbH (2007): Tyfocor L, Technical Information, Concentrate for long-term antifreeze and corrosion protection of heating and cooling circuits, solar and heat pump systems, Heat-transfer fluid - free of nitrites, Glycol-based medium especially for the food and beverage industry, Tyforop Chemie GmbH, Hamburg, 16 p., http://www.tyfo.de

TINOX [2008]: The ideal selective absorber, http://www.tinox.com, Technology\Absorber Coating\Selectivity

TRANSSOLAR Energietechnik GmbH [2008]: TRNSYS 16 a TRaNsient SYstem Simulation program, Short description, 16 p., http://www.transsolar.com/__software/downloads/en/trnsys_shortinfo_en.pdf

Valentin Energy Software [2008]: Software for Solar Thermal Systems, T-SOL express, T-SOL Professional, T-SOL Expert, http://www.valentin.de

VASZIL L. (2002): Szabványügy: EU-tagság jövőre, *Világgazdaság*, 2002. szeptember 4.

Vela Solaris [2008]: Polysun 4, Solar thermal simulation, http://www.velasolaris.com

Wagner & Co Solartechnik (2003): EURO-C20 HTF/AR Sonnenkollektor, 2 p. http://www.wagner-solartechnik.de

WEISS W., BERGMANN I., FANINGER G. (2008): Solar heat worldwide, Markets and contribution to the energy supply 2006, International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme, 46 p. http://www.iea-shc.org

WEMHOENER C. (2000): Simulation of solar thermal systems with CARNOT blockset in the environment Matlab Simulink, The 3rd ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2000), Copenhagen, Denmark, June 19-22, 2000, CD-ROM Proceedings, 6 p.

ZACHÁR A. (2003): Termikus rétegződés használati melegvíztárolókban, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 106 p.

ZACHÁR A., FAKAS I., SZLIVKA F. (2003): Numerical analyses of the impact of plates for thermal stratification inside a storage tank with upper and lower inlet flows, *Solar Energy*, 74 (4) 287-302. p.

M2 melléklet: Telepített kollektor felület az Európai Unió 27 országában

Ország	Üzemben 2007 Üvegezett összes, m^2	Újonnan telepített					Növekedés 2007/2006
		2005 Üvegezett összes, m^2	2006 Üvegezett összes, m^2	2007			
				Üvegezett összes, m^2	Síkkollektor, m^2	Vákuumos kollektor m^2	Üvegezet összes, %
A	2.892.627	233.470	292.669	281.000	277.600	3.400	-4%
B	146.118	20.234	35.636	42.000	37.000	5.000	18%
BG	25.100	2.000	2.200	2.500	-	-	14%
CH	508.980	39.132	51.863	65.432	62.878	2.554	26%
CY	625.200	50.000	60.000	65.000	-	-	8%
CZ	131.730	15.550	22.030	25.000	18.900	6.100	13%
D	8.994.000	950.000	1.500.000	940.000	840.000	100.000	-37%
DK	385.280	21.250	25.300	23.000	22.000	1.000	-9%
EST	1.470	250	300	350	-	-	17%
E	964.166	106.800	175.000	262.000	251.000	11.000	50%
FIN	20.493	2.383	3.200	4.000	3.000	1.000	25%
F	870.600	121.500	220.000	255.000	243.000	12.000	16%
GR	3.570.200	220.500	240.000	283.000	279.000	4.000	18%
H	14.250	1.000	1.000	8.000	6.000	2.000	700%
IRL	30.790	3.500	5.000	15.000	10.000	5.000	200%
I	1.100.230	127.059	186.000	245.000	210.000	35.000	32%
LT	3.450	500	600	700	-	-	17%
L	18.900	1.900	2.500	3.000	-	-	20%
LV	5.350	1.000	1.200	1.500	-	-	25%
M	29.360	4.000	4.500	5.500	-	-	22%
NL	338.341	20.248	14.685	19.900	17.900	2.000	36%
PL	234.897	27.700	41.400	67.000	44.000	23.000	62%
P	205.950	16.000	20.000	25.000	22.000	3.000	25%
RO	69.600	400	400	500	-	-	25%
S	262.394	22.621	28.539	25.465	15.554	9.911	-11%
SLO	121.300	4.800	6.900	12.000	10.300	1.700	74%
SK	81.750	7.500	8.500	9.000	7.740	1.260	6%
GB	304.920	28.000	54.000	54.000	27.000	27.000	0%
∑	21.957.446	2.049.297	3.003.422	2.739.847	-	-	-9%

M3 melléklet: A 2002-ben gyártásban lévő abszorberek főbb jellemzői

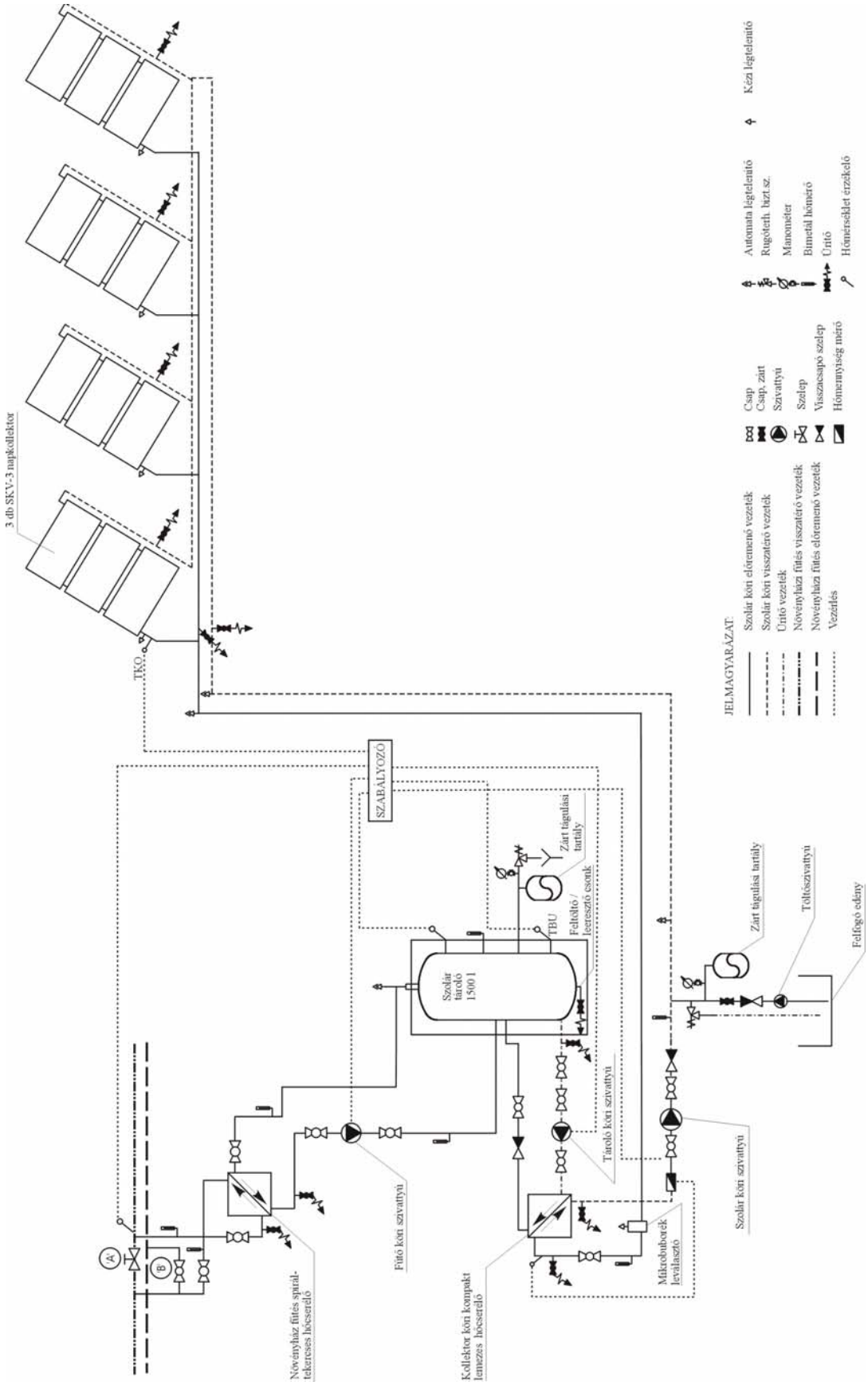
Cég	Termék	α	ε	Bevonat típusa	Bevonási eljárás	Abszorber anyaga	Hozzá-férhető
Tekno Term	SunStrip	0,95± 0,02	0,15± 0,02	Ni oxidált alumíniumon	elektro-kémiai	alumínium	igen
MTI	Black Chrome	0,95± 0,02	0,12± 0,02	Fekete króm nikkelen	elektrolitikus	réz	igen
Batec	Batec	0,95± 0,02	0,12± 0,02	Fekete króm nikkelen	elektrolitikus	réz	igen
GIBO	GIBO	0,95± 0,02	0,12± 0,02	Fekete króm nikkelen	elektrolitikus	réz	igen
INCO Alloys	Maxorb	0,97± 0,02	0,11± 0,01	Fekete nikkel	ragasztott fólia	alumínium	igen
Energie Solaire	Solar Absorber	0,94± 0,02	0,18± 0,04	Fekete króm nikkelen	elektrolitikus	rozsdamen-tes acél	igen
Ther-mafin	Black Crystal	≥0,95	≤0,1	Nikkel	elektrolitikus kristályo-sítással	réz	igen
Tinox	Tinox	0,95	0,05	Tinox	Fizikai elpá-rologtatás és lecsapatás	réz	igen
Tinox	ecoselect	0,92	0,05	Tinox	Fizikai elpá-rologtatás és lecsapatás	réz	igen
Inter-pane	Sun-select	0,95	0,05	Anyag keverék	Argon ionos kezelés	réz	igen
Tekno Term	Sun Strip új	0,95	0,1	Nikkel	Argon ionos kezelés	alumínium	igen
Ikarus Solar	Absorber 2000	0,95	0,1	Fém	Kémiai elpá-rologtatás	réz	bizony-talan
Solel (Luz)	Solel	0,98	0,08	nincs adat	nincs adat	réz	bizony-talan
Shiroki	Sydney-Absorber	0,96	0,03	nincs adat	nincs adat	üveg	igen
Schott	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat	Kémiai elpá-rologtatás	üveg	igen
div. provider		0,9± 0,02	0,2± 0,05	festék	festés	alumínium/ réz	igen

M4 melléklet: Használati melegvízkészítő és úszómedence vízfűtő napkollektoros rendszer mért jellemzői

A mért jellemzők és a méréshez alkalmazott érzékelők

Paraméter	Érzékelő típusa	A mért jellemző megnevezése
I	CM 11 Piranométer	Globál sugárzás a kollektor síkjában
T1	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Első kollektormező belépő hőmérséklet
T2	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Első kollektormező kilépő hőmérséklet
T3	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Óvodai hőcserélő kollektor oldali belépő hőmérséklet
T4	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Óvodai hőcserélő tároló oldali kilépő hőmérséklet
T5	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Medence hőcserélő kollektor oldali belépő hőmérséklet
T6	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Medence hőcserélő medence oldali kilépő hőmérséklet
T7	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Óvodai hőcserélő tároló oldali belépő hőmérséklet
T8	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Óvodai hőcserélő kollektor oldali kilépő hőmérséklet
T9	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Szolár tárolóba belépő hálózati hidegvíz hőmérséklet
T10	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Szolár tárolóból az óvodai hőcserélő felé kilépő hőmérséklet
T11	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Medence hőcserélő medence oldali belépő hőmérséklet
T12	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Medence hőcserélő kollektor oldali kilépő hőmérséklet
T13	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Óvodai hőcserélő felől a szolár tárolóba belépő hőmérséklet
T14	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Szolár tárolóból a gázbojler felé kilépő hőmérséklet
T15	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Gázbojlerből kilépő melegvíz hőmérséklet
T16	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Kollektor környezeti levegő hőmérséklet
T17	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Úszómedence gépház levegő hőmérséklet
T18	LM335 Integrált áramkörű hőmérsékletérzékelő	Óvoda kazánház levegő hőmérséklet
$\dot{v}_c$	Vízmérő, Schlumberger, FLOSTAR-M 40 Q_n=10 m^3/h, EEC/ISO Class C	Kollektor köri térfogatáram
$\dot{v}_k$	Vízmérő, Schlumberger, FLOSTAR-M 40 Q_n=10 m^3/h, EEC/ISO Class C	Óvoda köri térfogatáram
$\dot{v}_p$	Vízmérő, Schlumberger, FLOSTAR-M 40 Q_n=10 m^3/h, EEC/ISO Class C	Medence köri térfogatáram
$\dot{v}_s$	Vízmérő, Spanner-Pollux Q_n=2,5 m^3/h, EEC/ISO Class B	A szolár tárolóból elvett melegvíz térfogatárama

M5 melléklet: Növényházi fűtésrásegítő napkollektoros berendezés elvi kapcsolási vázlata



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm mindazoknak, akik segítségükkel, támogatásukkal és biztatásukkal hozzájárultak a dolgozat elkészüléséhez.

Köszönet témavezetőmnek Dr. Farkas István professzornak a kutatómunka végzéséhez szükséges feltételek és a hazai és nemzetközi publikálási lehetőségek biztosításáért.

Köszönöm a Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék valamennyi jelenlegi és korábbi munkatársának segítő együttműködését.

Köszönöm mindazon szervezetek, alapítványok támogatását, akik anyagilag is segítették a dolgozathoz kapcsolódó kutatási infrastruktúra létrehozását a kutatómunka végzését: Európai Unió Phare Programja, Európai Unió Tempus Programja, Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok, Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Gödöllő Város Önkormányzata, Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, Szent István Egyetem Tudományos Továbbképzési Intézet, Agrár Nemzetközi Kapcsolatok Alapítvány.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm Családom kitartó türelmét.

Gödöllő, 2009. április

Buzás János