

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Napkollektoros rendszer energetikai alapú
szabályozása

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Kicsiny Richárd

Gödöllő
2012

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki tudományok

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

témavezető: Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|--|-----------|
| JELÖLÉSJEGYZÉK..... | 4 |
| 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK..... | 6 |
| 2. ANYAG ÉS MÓDSZER..... | 7 |
| 2.1. Az optimalizált hagyományos és az energetikai alapú szabályozások..... | 7 |
| <i>Az optimalizált hagyományos szabályozás.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Az energetikai alapú szabályozás.....</i> | <i>8</i> |
| <i>A szabályozások váltószeleppel való kiegészítése.....</i> | <i>9</i> |
| 2.2. A vizsgálatokhoz felhasznált eszközök..... | 9 |
| <i>A fizikai alapú modell.....</i> | <i>9</i> |
| <i>A kibővített napkollektoros rendszer.....</i> | <i>10</i> |
| 2.3. A szabályozások és a modell identifikálása..... | 10 |
| 3. EREDMÉNYEK..... | 12 |
| 3.1. A modellel végzett vizsgálatok..... | 12 |
| <i>A vizsgálatok beállításai.....</i> | <i>12</i> |
| <i>A vizsgálatok eredményei.....</i> | <i>12</i> |
| 3.2. Mérési eredmények..... | 15 |
| 3.3. Eredmények értékelése..... | 16 |
| 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK..... | 20 |
| 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK..... | 23 |
| 6. ÖSSZEFOGLALÁS..... | 24 |
| 7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK..... | 25 |

JELÖLÉSJEGYZÉK

- $A_{cső,koll}$: a kollektorköri cső belső keresztmetszetének területe (m^2),
- $A_{cső,t}$: a tárolóköri cső belső keresztmetszetének területe (m^2),
- c_{koll} : a kollektorfolyadék fajhője ($J/(kgK)$),
- c_v : a víz fajhője ($J/(kgK)$),
- I_g : globális napsugárzási teljesítmény a kollektorok felületén (W/m^2),
- $k_{cső,koll}$: a kollektorkör csöveinek hőveszteség tényezője ($W/(mK)$),
- $k_{cső,t}$: a tárolókör csöveinek hőveszteség tényezője ($W/(mK)$),
- K_g : a gázenergia költsége (Ft/MJ),
- K_v : a villamos energia költsége (Ft/MJ),
- P_{sz} : a kollektor- és a tárolóköri szivattyúk együttes villamos fogyasztása (W),
- $P_{sz,koll}$: a kollektorköri szivattyú villamos fogyasztása (W),
- $P_{sz,t}$: a tárolóköri szivattyú villamos fogyasztása (W),
- $t_{cső,koll}$: áramlási idő a kollektor és a hőcserélő között (egy irányban) (s),
- $t_{cső,t}$: a folyadék áramlási ideje a hőcserélő és a tároló között (egy irányban) (s),
- $T_{föld,felt}$: feltételezett talajhőmérséklet ($^{\circ}C$),
- $T_{koll,ki}$: a kollektormező kilépő hőmérséklete ($^{\circ}C$),
- $T_{koll,ki,m}$: a kollektormező mért kilépő hőmérséklete ($^{\circ}C$),
- $T_{koll,körny}$: a kollektor környezetének hőmérséklete ($^{\circ}C$),
- $T_{koll,körny,felt}$: a kollektor feltételezett környezeti hőmérséklete ($^{\circ}C$),
- $T_{koll,körny,m}$: a kollektor környezetének mért hőmérséklete ($^{\circ}C$),
- T_t : szolár tároló hőmérséklet (a tároló megfelelő részén) ($^{\circ}C$),
- $T_{t,á}$: a szolár tároló geometriai értelemben vett átlagos hőmérséklete ($^{\circ}C$),
- $T_{t,felt}$: feltételezett tároló hőmérséklet ($^{\circ}C$),

$T_{t,körny}$: a tároló környezetének hőmérséklete (°C),

$T_{t,m}$: a szolár tároló mért hőmérséklete (°C),

$T_{t,t,be}$: a szolár tárolóba belépő, tárolóköri hőmérséklet (°C),

$T_{t,t,be,m}$: a szolár tárolóba belépő, tárolóköri mért hőmérséklet (°C),

\dot{V}_{fogy} : használatimelegvíz-fogyasztás (m³/s),

\dot{V}_{koll} : kollektorköri térfogatáram (m³/s),

\dot{V}_t : tárolóköri térfogatáram (m³/s),

$\Delta T_{be,en,a}$: bekapcsolási hőmérséklet-különbség az energetikai alapú szabályozás a/ eljárásában (°C),

$\Delta T_{be,en,b}$: bekapcsolási hőmérséklet-különbség az energetikai alapú szabályozás b/ eljárásában (°C),

$\Delta T_{be,hagy}$: bekapcsolási hőmérséklet-különbség az optimalizált hagyományos szabályozásban (°C),

$\Delta T_{en,a}$: kikapcsolási hőmérséklet-különbség az energetikai alapú szabályozás a/ eljárásában, a szivattyúk villamos fogyasztásának elhanyagolásával (°C),

ΔT_{hagy} : kikapcsolási hőmérséklet-különbség az optimalizált hagyományos szabályozásban, a szivattyúk villamos fogyasztásának elhanyagolásával (°C),

ΔT_{hiszt} : hisztérezis az optimalizált hagyományos szabályozásban és az energetikai alapú szabályozás a/ eljárásában (°C),

$\Delta T_{hiszt,en,b}$: hisztérezis az energetikai alapú szabályozás b/ eljárásában (°C),

$\Delta T_{ki,en,a}$: kikapcsolási hőmérséklet-különbség az energetikai alapú szabályozás a/ eljárásában (°C),

$\Delta T_{ki,en,b}$: kikapcsolási hőmérséklet-különbség az energetikai alapú szabályozás b/ eljárásában (°C),

$\Delta T_{ki,hagy}$: kikapcsolási hőmérséklet-különbség az optimalizált hagyományos szabályozásban (°C),

Φ : a hőcserélő Bošnjakovič-tényezője (-),

ρ_{koll} : a kollektorköri folyadék sűrűsége (kg/m³),

ρ_v : a víz sűrűsége (kg/m³).

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A megújuló energiaforrások minél jobb hatásfokkal történő kihasználása társadalmunk energiaproblémáinak megoldásában kulcsjelentőségű, a fosszilis készletek fogyása és az általuk okozott környezetszennyezés miatt.

Ezen törekvés része az aktív napkollektoros vízmelegítő rendszerek (munkámban röviden napkollektoros rendszerek) szabályozási hatékonyságának javítása.

Munkám célkitűzései pontokba szedve az alábbiak.

1. A vizsgált napkollektoros rendszertípus fizikai alapú matematikai modelljének kidolgozása, a szakterületen általánosan elfogadott és alkalmazott számítógépes környezetben.
2. A matematikai modell illesztése a rendelkezésre álló SZIE-rendszerhez. A modell mérési adatokon alapuló validálása.
3. Új, energetikai alapú szabályozás kifejlesztése, amely a napkollektoros berendezések rendszer-kihasználtsági fokának növeléséhez járul hozzá.
4. A gyakorlatban általánosan alkalmazott hagyományos szabályozás, amely előre rögzített ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségekkel dolgozik, rendszer-kihasználtsági fokának maximalizálása, a ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségek minimalizálásával.
5. A SZIE-rendszer meglévő mérő-szabályozó rendszerének olyan bővítése, amely segítségével a kidolgozott energetikai alapú és, a fenti pont szerint optimalizált, hagyományos szabályozásokat alkalmazni, hatékonyságukat pedig mérni lehet.
6. Az energetikai alapú szabályozás hatékonyságának összehasonlítása az optimalizált hagyományos szabályozásával. Az összehasonlítás mind modellel szimulált, mind mérési adatokon alapuljon.
7. A hagyományos és az energetikai alapú szabályozások hatékonyságának modellel alapuló vizsgálata tároló előtti váltószeleppel kiegészített rendszer esetén. A vizsgálatok eredményeinek összevetése a már vizsgált, váltószelep nélküli eredményekkel.

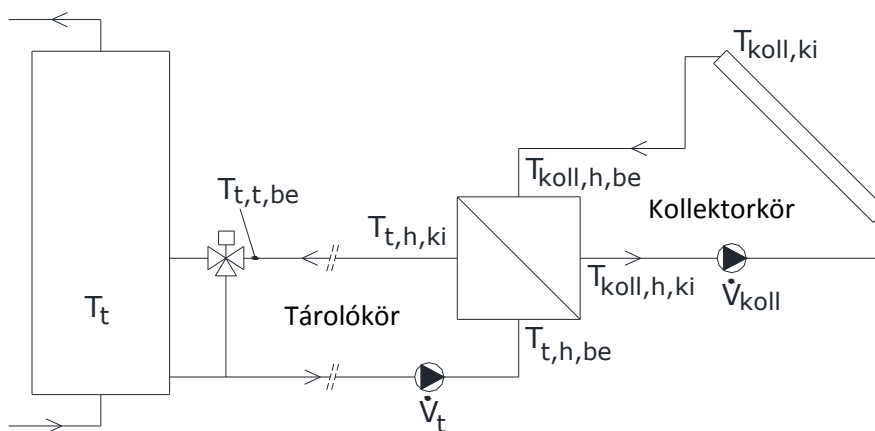
A rendszer-kihasználtsági fok a következő hányados: fogyasztó számára hasznosított napenergia/kollektorfelületre besugárzott teljes napenergia.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a pontban bemutatom a napkollektoros rendszerekhez optimalizált hagyományos szabályozást és az új, energetikai alapú szabályozást. Bemutatom a szabályozások vizsgálatához felhasznált szoftver- és hardvereszközöket.

2.1. Az optimalizált hagyományos és az energetikai alapú szabályozások

Vizsgálataim a 2.1. ábrának megfelelő rendszerekre vonatkoznak, de az eredmények könnyen adaptálhatóak egyéb esetekre is. Munkám ki-bekapcsolásos szabályozásokra vonatkozik.



2.1. ábra: A napkollektoros rendszer egyszerűsített folyamatábrája

Megjegyzendő, hogy a vizsgált rendszer tárolókori csövei a talajban találhatóak.

A hagyományos szabályozásban a napkollektor és a szolár tároló hőmérsékletét mérjük, és állandó ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségekkel dolgozunk. A kollektor és a tároló hőmérsékleteinek a különbsége határozza meg, hogy a szivattyúk mikor legyenek be-, illetve kikapcsolva.

Az energetikai alapú szabályozás változó ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségekkel dolgozik, hogy a rendelkezésre álló napenergiát minél nagyobb, a hagyományos szabályozás által kinyerhető meghaladó mértékben kiaknázzuk.

Elvégeztem a hagyományos szabályozás optimalizálását, azaz úgy határozom meg a rögzített ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségeket, hogy ezzel a szabályozással is a lehető legtöbb napenergiát aknázzuk ki.

A hagyományos és az energetikai alapú szabályozások hatékonyságának összehasonlításakor az optimalizált hagyományos szabályozásra vonatkozó eredményeket használok fel.

Amennyiben figyelembe vesszük a szivattyúk által felhasznált villamos energiát, úgy a következő feltételeknek teljesülniük kell ahhoz, hogy a rendszer működése mind energetikai, mind költséghatékonysági szempontból gazdaságos legyen.

Ha a szivattyúk járnak, a melegítendő közegnek (a tárolóbeli víznek) időegységenként több hőenergiát kell átadni, mint amennyi villamos energiát a szivattyúk felhasználnak.

Továbbá a melegítendő közeg napenergiával történő melegítése során időegységenként megtakarított kiegészítő fűtési (gáz) energia ára szintén több kell legyen, mint a szivattyúzás villamos fogyasztásának költsége.

Számítógépes szimulációk felhasználásával váltószelep nélküli és váltószelepes esetet is megvizsgáltam, a szabályozások hatékonyságának összehasonlításával.

A szabályozások kidolgozása során feltételeztem, hogy a tároló hőmérsékletváltozása elhanyagolható azon időtartam alatt, míg a kollektorból, illetve a tárolóból kilépő folyadék, járó szivattyúk mellett, a hőcserélőhöz ér.

Az optimalizált hagyományos szabályozás

A hagyományos szabályozás nem számítja a rendszer hőveszteségét, csupán egy rögzített, pozitív kikapcsolási hőmérséklet-különbséget használ, így biztosítandó, hogy a szivattyúk ténylegesen csak akkor járjanak, ha ezzel hőbevitelt idézünk elő a szolár tároló számára. Mindazonáltal ennek az értéknek a lehető legkisebbnek kell lennie, hogy a szoláris potenciál minél nagyobb hányadát kihasználjuk.

Hogy a fenti célból az előforduló legnagyobb, de még reális hőveszteségeket vegyük figyelembe a rendszerben, számoljunk 55 °C-kal a teljes tároló körben, $T_{föld,felt} = 10$ °C-os talajhőmérséklettel és $T_{koll,körny,felt} = -5$ °C-os környezeti hőmérséklettel! (A viszonylag magas rendszerbeli hőmérsékletek és alacsony környezeti hőmérsékletek mellett jellemzőek a legnagyobb hőveszteségek.)

E feltételezett értékek mellett, járó szivattyúkat feltételezve, a csövekben és a hőcserélőkben áramló folyadéokra vonatkozó energiamegmaradási egyenletek segítségével kiszámítható $T_{koll,ki}$ azon minimális értéke, amely mellett $T_{t,t,be} \geq T_{t,felt}$. $T_{koll,ki}$ ezen minimális értékének és a $T_{t,felt}$ értéknek a különbségét jelölje ΔT_{hagy} .

A szabályozás célja dinamikus optimálási feladatként fogalmazható meg:

$$\int_{egy\ nap} \dot{T}_{t,a} dt \rightarrow \max. \quad (2.1)$$

A feladat megoldása előre rögzített hiszterézis (ΔT_{hiszt}) alkalmazásával lehetséges, a szabályozás lengésének kivédése érdekében, feltételezve, hogy reális üzemszerű esetekben az aktuális $T_{koll,ki}$ és a hozzátartozó $T_{t,t,be}$ különbsége mindig kisebb vagy egyenlő, mint a fentebb részletezett, legnagyobb hőveszteséggel járó esetben.

Az energetikai alapú szabályozás

a/ eljárás

A kikapcsolási hőmérséklet-különbség nem állandó, azt a rendelkezésre álló mérések időközeli szerint újraszámítjuk. $T_{koll,körny,m}$, $T_{t,m}$ és $T_{föld,felt}$ alapján, járó

szivattyúkat feltételezve, a csövekben és a hőcserélőkben áramló folyadékra vonatkozó energiamegmaradási egyenletek segítségével kiszámítható $T_{koll,ki}$ azon minimális értéke, amely mellett $T_{t,t,be} \geq T_{t,m}$. $T_{koll,ki}$ ezen minimális értékének és a $T_{t,m}$ értéknek a különbségét jelölje $\Delta T_{en,a}$, ami tehát időben változó mennyiség.

A szabályozási cél itt is (2.1) szerinti. A feladat megoldása előre rögzített hiszterézis (ΔT_{hiszt}) alkalmazásával lehetséges, a szabályozás lengésének kivédése érdekében.

b/ eljárás

Ebben az eljárásban a tárolóba belépő hőmérsékletet közvetlenül mérjük. A $T_{t,t,be,m} - T_{t,m}$ hőmérséklet-különbség értéke alapján döntjük el, hogy a tárolókörü szivattyú mikor járjon.

A szabályozás célja itt is (2.1) szerinti. A gyakorlatban itt is hiszterézist ($\Delta T_{hiszt,en,b}$) kell alkalmazni, továbbá a kikapcsolási hőmérséklet-különbséget (kis) pozitív értéknek kell választani, hogy a tároló visszahűtését biztosan elkerüljük.

A kollektorkörü szivattyú az a/ eljárás szerint működik. A tárolókörü szivattyú az a/ és b/ eljárások közötti logikai VAGY kapcsolat szerint működik, azaz ha legalább az egyik eljárás a szivattyú bekapcsolt állapotát írja elő, a tárolókörü szivattyú jár.

A hagyományos szabályozásban a szivattyúk mindig egyszerre járnak, az energetikai alapú szabályozás esetén a tárolókörü szivattyú külön is járhat.

A szabályozások váltószeleppel való kiegészítése

A szolár tároló visszahűtésének kizárása céljából, a tároló előtt egy váltószelep modellezését is megvalósítottam. A $T_{t,t,be,m}$ (váltószelep előtti) és a $T_{t,m}$ hőmérsékletek különbsége alapján a váltószelep be- illetve kikapcsolja a tárolót a hidraulikai áramlásból. A ki-/bekapcsolási hőmérséklet-különbségek a modellben akár 0/0 °C-nak is vehetők (egyfajta energetikai optimum). A gyakorlatban azonban – a mérési pontatlanságok miatt – 0 °C-nál nagyobb kikapcsolási hőmérséklet-különbséget és 0 °C-nál nagyobb hiszterézisértéket kell alkalmazni.

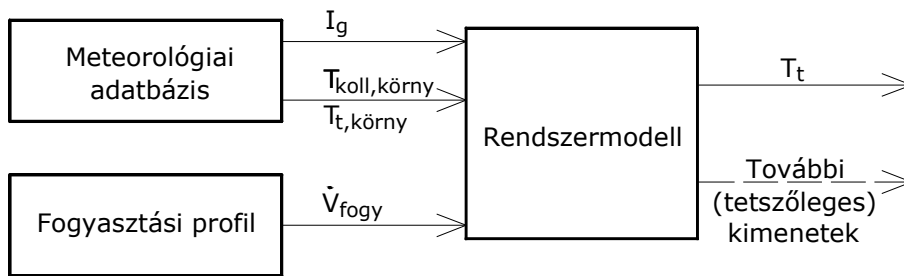
2.2. A vizsgálatokhoz felhasznált eszközök

A fizikai alapú modell

A 2.1. ábrán látható napkollektoros rendszer fizikai alapú modelljének kidolgozását a 2.2. ábrának megfelelően, a TRNSYS programcsomag segítségével valósítottam meg. (Az ábrán T_i számított értéket jelent.)

A főbb rendszerelemeket külön részmodellekben adtam meg. Ilyenek a kollektor, a hőcserélő, a szolár tároló, a szivattyúk, a csőszakaszok, a hagyományos szabályozás és az energetikai alapú szabályozás részmodelljei.

A modell mérésekből, vagy meteorológiai modelltől és mintafogyasztásból származó bemenő adatokkal futtatható. A továbbiakban az utóbbi esetről lesz szó.



2.2. ábra: A napkollektoros rendszer modelljének hatásvázlata

A kibővített napkollektoros rendszer

A méréses vizsgálataimban felhasznált, a Szent István Egyetem campusán telepített, napkollektoros rendszer (SZIE-rendszer) nyáron teljes egészében egy úszómedencét fűt, egyéb időszakokban pedig egy óvodai szolár tárolót. Vizsgálataim ez utóbbi esetre vonatkoznak.

A szolár tároló 2000 literes, a napkollektorok részben soros, részben párhuzamos kapcsolásúak. A rendszer modellezése során a déli tájolású, 45° -ban döntött kollektormezőt egy ekvivalens, $33,3 \text{ m}^2$ -es, napkollektorral vettem figyelembe. A kollektorok és a hőcserélő közötti csövek hossza 80 m (mindkét irányban), a tároló és a hőcserélő között pedig 115 m . A csövek átmérője $6/4''$.

A rendszeren napsugárzási intenzitás, hőmérsékletek és térfogatáramok mérése történik. A napkollektoros rendszer mérőeszközeinek nagy része rendelkezésre állt már a munkám kezdetekor, beleértve a mérőhálózatot is. Doktori munkám részeként további mérő- és szabályozóeszközökkel bővítettem a rendszert az új feladatoknak megfelelően.

Ipari számítógépen keresztül biztosítottam a rendszer szabályozásának lehetőségét mind a hagyományos, mind az energetikai alapú szabályozásokkal. A mért fizikai jellemzők percenkénti rögzítését adtam meg.

Méréses vizsgálataim mindig a tároló felé nyitott motoros szeleppel történtek.

2.3. A szabályozások és a modell identifikálása

Kellően pontos előzetes információk hiányában a talajhőmérsékletet becsültem, a $k_{cső,koll}$, $k_{cső,t}$ és Φ értékeket mérési adatok felhasználásával határoztam meg.

A $k_{cső,koll}$, $k_{cső,t}$ és Φ paraméterértékeket félempirikus identifikációval, eltérő mérési adatok alapján vettem fel a szabályozások be- és kikapcsolási hőmérséklet-különbségeinek megadása és a fizikai alapú modell identifikálása során.

A szabályozások szempontjából a paraméterértékeket nem a számos adatból származtatott átlagos értékeként vettem fel, hanem azon mérési eredményekkel számoltam, amelyekkel reális, de a napkollektoros rendszer hővesztesége

2. Anyag és módszer

szempontjából kedvezőtlen értékek adódnak. Így biztosítottam, hogy a szivattyúk folyamatosan bekapcsolt állapota mellett, a szolár tároló visszahűtését elkerüljük. Ez a biztonságra való törekvés összhangban áll az általános mérnöki gyakorlattal, továbbá egyformán érinti az energetikai alapú és a hagyományos szabályozásokat, tehát azok mérvadó összehasonlítása lehetséges marad.

Az identifikálás eredménye: $k_{cső,koll}=0,45$ W/(mK), $k_{cső,t}=0,25$ W/(mK), $\Phi=0,56$.

A fizikai alapú TRNSYS modell identifikálása során a cél nem a biztonságra törekvés, hanem az, hogy a modell minél jobban megfeleljen a valós rendszer viselkedésének. Ezért a paraméterértékek meghatározásánál több mérési adaton alapuló, átlagos értékeket vettem figyelembe.

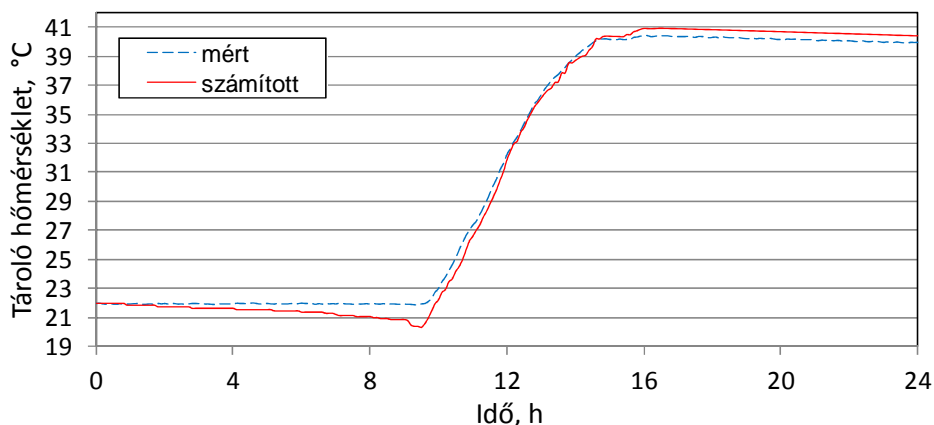
Az identifikálás eredménye: $k_{cső,koll}=0,22$ W/(mK), $k_{cső,t}=0,16$ W/(mK), $\Phi=0,89$.

A modell identifikálásához szükséges további paraméterértékek a rendszer műszaki dokumentációjában elérhetőek, vagy ismert fizikai mennyiségek.

A validálás 2011. május 13. adatai alapján történt. A globális napsugárzási intenzitás, a szivattyú térfogatáramok, a fogyasztás térfogatárama, a hálózati hidegvíz és a környezeti hőmérsékletek mért értékeit tápláltam a modellbe, mint bemenő adatokat, kivéve a talajhőmérsékletet, amelyet (mérések hiányában) becsültem, konstansnak, 15 °C-nak feltételezve.

A rétegezett szolár tároló részmodellben, tekintettel a hengeres tároló viszonylag nagy, 2,5 m-es magasságára, 14 réteget állítottam be.

A tároló felső harmadának mért és modellel számított hőmérsékletértékeit mutatja a 2.3. ábra.



2.3. ábra: A tároló mért és számított hőmérséklete a vizsgált napon

A számított és a mért értékek átlagos abszolút eltérése 0,5 °C, illetve a tároló napi maximális abszolút hőmérsékletváltozására vonatkoztatva 2,7%.

3. EREDMÉNYEK

Ebben a pontban összehasonlítom az optimalizált hagyományos és az energetikai alapú szabályozásokat mind a TRNSYS modell szimulációs adatai, mind a valós SZIE-rendszeren végzett mérések alapján.

Az összehasonlítás fő szempontjai a szolár tárolóba eljutó napenergia nagysága, a szivattyúk villamos energiafogyasztása, és be- vagy kikapcsolásaik száma.

3.1. A modellel végzett vizsgálatok*A vizsgálatok beállításai*

A vizsgált, modellezett napok: április 1-5. A TRNSYS adatbázisában fellelhető földrajzi helyek közül a vizsgált gödöllői rendszerhez legközelebb esőnek a METEONORM adatait használtam fel. A megfelelő TRNSYS-beli adatfájl: CZ-Praha-115180.tm2.

A fogyasztási profil realiztikus fogyasztási modell alapján került bevitelre a modellbe öt napra vonatkozóan, napi 1990 literes fogyasztással, fürdőkád és zuhanyozó csapolók nélkül. A feltételezett igényelt használati melegvíz hőmérséklet 55 °C. Ezek az adatok jól megfelelnek a konkrét óvoda fogyasztónak.

$\dot{V}_{koll}=0$ vagy 0,98 m³/h; $\dot{V}_t=0$ vagy 0,63 m³/h (átlagosan mért adatok alapján).

$P_{sz,koll}=60$ W; $P_{sz,t}=60$ W. Ezen értékek elérése a mai korszerű, energiatakarékos szivattyúkkal a vizsgált rendszeren megvalósítható. A szivattyúktól a munkaközegeknek átadott hőt elhanyagoltam.

Kezdeti hőmérsékletek: kollektormező: 5 °C, hőcserélő: 20 °C, szolár tároló: 20 °C, a rendszer valamennyi csövében uralkodó hőmérséklet: 15 °C.

$K_g=4,1$ Ft/MJ(=14,8 Ft/kWh), $K_v=13,8$ Ft/MJ(=49,7 Ft/kWh).

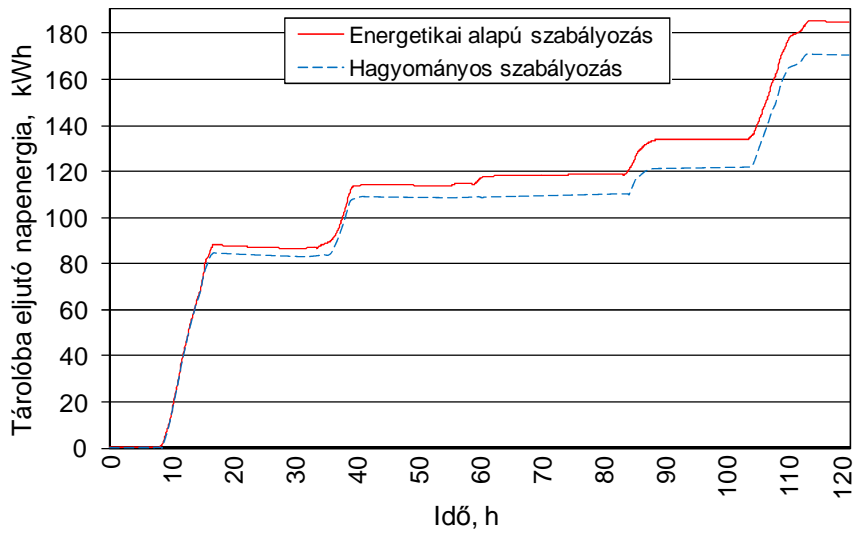
A 2.1. pontban szereplő hiszterézisértékeket a hagyományos szabályozásban és az energetikai alapú szabályozás a/ eljárásában 2 °C-nak, a b/ eljárásban 0,5 °C-nak választottam. A b/ eljárás kikapcsolási hőmérséklet-különbségét 0,3 °C-nak választottam.

A vizsgálatok eredményei

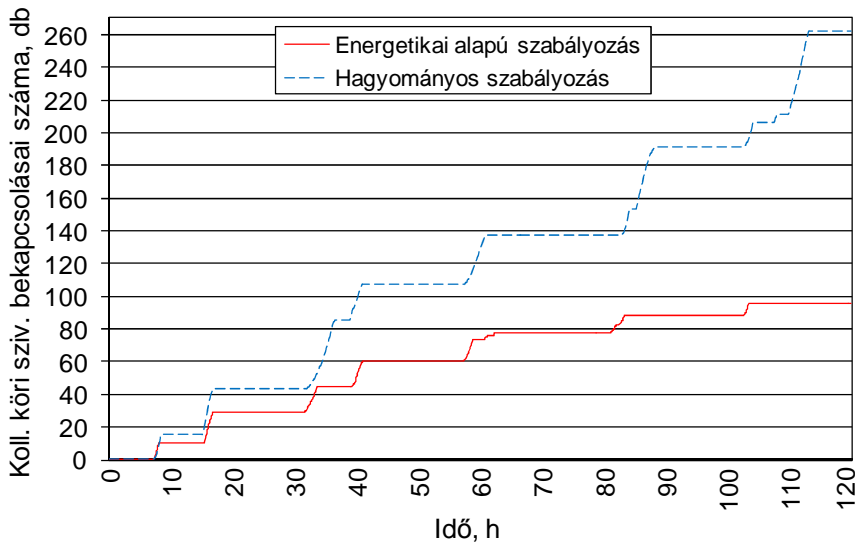
Az energetikai alapú és a hagyományos szabályozásokra vonatkozó szimulációs eredmények összehasonlítását mutatják a 3.1., 3.2., 3.3. ábrák és a 3.1. táblázat a vizsgált időszakban (április 1-5.). A szabályozások megadásánál a szivattyúk villamos fogyasztását nem vettem figyelembe.

A 3.1. ábra a szolár tárolóba eljutó napenergia, a 3.2. ábra a kollektorköri szivattyú bekapcsolásai számának, a 3.3. ábra a tárolóköri szivattyú bekapcsolásai számának időbeli alakulását mutatja. A szimulációk fontosabb eredményeinek összefoglalását tartalmazza a 3.1. táblázat.

3. Eredmények

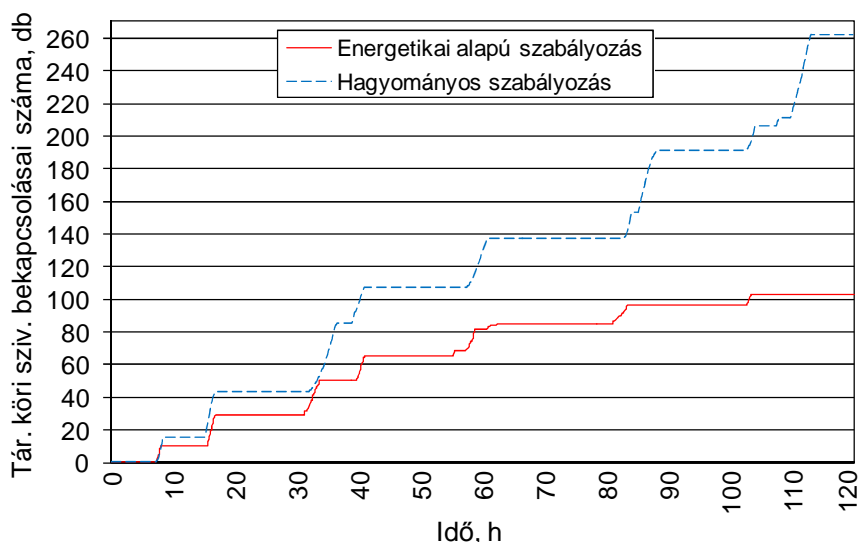


3.1. ábra: A tárolóba eljuttó napenergia az egyes szabályozásokkal, ápr. 1-5.



3.2. ábra: A kollektorköri szivattyú bekapcsolásainak száma az egyes szabályozásokkal, ápr. 1-5.

3. Eredmények



3.3. ábra: A tárolóköri szivattyú bekapcsolásainak száma az egyes szabályozásokkal, ápr. 1-5.

3.1. táblázat: Szimulációs vizsgálatok eredményei váltószelep nélkül, a villamos energiafogyasztás elhanyagolásával

| | Hagyományos szabályozás | Energetikai alapú szabályozás |
|---|-------------------------|-------------------------------|
| A kollektormezőt érő napenergia, kWh | 548,8 | 548,8 |
| Az óvoda hőfogyasztása, kWh | 499,2 | 499,2 |
| A szolár tárolóba eljutó napenergia, kWh | 171,7 | 187,2 |
| Hasznosított szoláris energiátöbblet | - | 15,5 kWh=9% |
| Rendszer-kihasználtsági fok, % | 31,3 | 34,1 |
| A szivattyúk villamos fogyasztása, kWh | 2,5 | 4,0 |
| Villamos fogyasztástöbblet | - | 1,5 kWh=60% |
| Fajlagos villamos energiafogyasztás, Wh/kWh | 14,8 | 21,2 |
| A kollektorköri szivattyú bekapcsolásainak száma | 262 | 95 |
| A kollektorköri szivattyú bekapcsolásai számának csökkenése | - | 167=64% |
| A tárolóköri szivattyú bekapcsolásainak száma | 262 | 103 |
| A tárolóköri szivattyú bekapcsolásai számának csökkenése | - | 159=61% |

3. Eredmények

A táblázatban, a szabályozások összehasonlítását segítő, bevezetem a fogyasztóhoz (a tárolóba) eljutott napenergiára fajlagosított villamos energiafogyasztást (fajlagos villamos energiafogyasztást) (Wh/kWh), amely megmutatja, hogy 1 kWh napenergia fogyasztóhoz (tárolóba) juttatásához a szivattyúk átlagosan mennyi villamos energiát igényelnek a vizsgált időtartamban.

Hasonló szimulációs vizsgálatokat végeztem az energetikai alapú és a hagyományos szabályozásokra vonatkozóan váltószelep nélkül, villamos energiafogyasztás figyelembevételével és váltószeleppel mind villamos energiafogyasztás elhanyagolásával, mind villamos energiafogyasztás figyelembevételével. A váltószelepet működtető ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségekre vonatkozóan 0/0 °C-os és 0/0,3 °C-os esetet is vizsgáltam.

3.2. Mérési eredmények

A szimulációs beállításoknak megfelelő energetikai alapú és hagyományos szabályozásokat a valós, mért SZIE-rendszeren is alkalmaztam a 2010. november 24-től 2011. december 18-ig terjedő időszakban.

A váltószelepet nem működtettem, és a szabályozások megadásánál a szivattyúk villamos fogyasztását nem vettem figyelembe.

A két szabályozás egymást naponként felváltva működött. A véletlenszerű esetleges üzemszünetek lényegében egyformán érintették őket. Az összes mérés figyelembevételével így 119 napnyi mérési eredmény áll rendelkezésre a hagyományos és 119 napnyi az energetikai alapú szabályozásra vonatkozóan.

Tekintve a váltott működést, a kollektormezőt érő napenergia (3.2. táblázat 1. sor) és az óvodai hőfogyasztás (3.2. táblázat 2. sor) közel azonos értékét a két szabályozás ideje alatt, úgy vehetjük, hogy az egyes szabályozások hasonló környezeti és fogyasztási feltételek mellett működtek, ezért a két szabályozás összehasonlítását relevánsnak vehetjük.

A mért értékekhez hozzá kell fűzni, hogy némileg eltérő rendelkezésre álló napenergia és fogyasztás értékek mellett keletkeztek. Ennek oka, hogy a mérések nem laboratóriumban, hanem valós körülmények között történtek, tehát nem lehetett megegyező körülményeket biztosítani a hagyományos szabályozás melletti napok és az energetikai alapú szabályozás napjai esetében. Például a kollektormezőt érő napenergia 7601,0 kWh volt a hagyományos, 7744,4 kWh az energetikai alapú szabályozás esetén.

Nyilvánvaló, hogy ezek a különbségek kicsinek mondhatók, mindenesetre a fenti értékek mégsem egyformák. Ezért az eredmények nem hasonlíthatóak olyan direkt módon össze, mint a szimulációs vizsgálatok esetén.

Így is vannak közvetlenül összehasonlítható, fajlagos jellegű jellemzők. Eltérő napenergia és fogyasztás értékek mellett is közvetlenül összehasonlítható a rendszer-kihasználtsági fok és a fajlagos villamos energiafogyasztás.

A mérések fontosabb eredményeinek összefoglalását tartalmazza a 3.2. táblázat.

3. Eredmények

3.2. táblázat: Mérési eredmények a vizsgált időszakban (2010. nov. 24. – 2011. dec. 18.)

| | Hagyományos szabályozás | Energetikai alapú szabályozás |
|---|-------------------------|-------------------------------|
| A kollektormezőt érő napenergia, kWh | 7601,0 | 7744,4 |
| Az óvoda hőfogyasztása, kWh | 5892,7 | 6340,0 |
| A szolár tárolóba eljutó napenergia, kWh | 1147,7 | 1482,9 |
| Hasznosított szoláris energiatöbblet | - | 335,2 |
| Rendszer-kihasználtsági fok, % | 15,0 | 19,1 |
| A szivattyúk villamos fogyasztása, kWh | 27,6 | 37,3 |
| Villamos fogyasztástöbblet, kWh | - | 9,7 |
| Fajlagos villamos energiafogyasztás, Wh/kWh | 24,1 | 25,2 |
| A kollektorköri szivattyú bekapcsolásainak száma | 1011 | 741 |
| A kollektorköri szivattyú bekapcsolásai számának csökkenése | - | 270 |
| A tárolóköri szivattyú bekapcsolásainak száma | 1011 | 749 |
| A tárolóköri szivattyú bekapcsolásai számának csökkenése | - | 262 |

3.3. Az eredmények értékelése

Valamennyi szimulációs és mérési eredmény alapján elmondható, hogy mind váltószelepes, mind váltószelep nélküli esetekben az energetikai alapú szabályozás nagyobb rendszer-kihasználtsági fokot és a szivattyúk kevesebb kapcsolását eredményezi, viszont a szivattyúk megnövekedett villamos energiafogyasztásával jár. Az energetikai alapú szabályozást tekintve, a következő értékek születtek a legfontosabb összehasonlító jellemzők vonatkozásában, a hagyományos szabályozáshoz képest:

3.3. táblázat: Összesített eredmények

| | |
|--|----------|
| Rendszer-kihasználtsági fok növekedése | 2,5-4,1% |
| Fajlagos villamos energiafogyasztás növekedése | 5-44% |
| A szivattyúk bekapcsolásai számának csökkenése | 41-64% |

Szimulációs vizsgálatokkal kimutattam, hogy a váltószelep a hagyományos szabályozással kinyerhető napenergia mértékére kedvező hatással van. A szivattyúk fogyasztására és kapcsolásaik számára viszont lényegében nincs hatással. Mind a 0/0 °C-os, mind a 0/0,3 °C-os esetben 172,3-171,7=0,6

3. Eredmények

(kWh)=0,3% többlet jelentkezett a tárolóba jutó napenergia vonatkozásában. Az eredmény öt szimulált tavaszi napra vonatkozik, amelyet egy év 365 napjára vetítve, 43,8 kWh többletnyereséghez jutunk. A gázenergia korábban említett, 14,8 Ft/kWh-s árával számolva, így évi 648 Ft-nyi többlet megtakarításunk keletkezik. Még ha egy váltószelep teljes beüzemelését 10000 Ft-ból (a 2012. év elején) meg is tudjuk oldani, nem számolva a karbantartási költséggel és esetleg a váltószelep által fogyasztott villamos energiával, 15 év kéne a beruházás megtérüléséhez. Tehát váltószelepet alkalmazni csak esetlegesen éri meg környezetvédelmi szempontból és gyakorlatilag nem éri meg anyagi szempontból a hagyományos szabályozás mellett.

Szimulációs vizsgálatokkal kimutattam, hogy a váltószelep az energetikai alapú szabályozás által kinyerhető napenergiára kedvezőtlen hatással van, a szivattyúk kapcsolásának számára szintén kedvezőtlen hatással van, a szivattyúk villamos fogyasztására, csekély mértékben, kedvező hatással van.

Váltószelepet alkalmazni az energetikai alapú szabályozás mellett tehát még annyira sem éri meg, mint a hagyományos szabályozás esetén.

A következőkben a hagyományos és az energetikai alapú szabályozások gyakorlat szempontjából célszerű változatait hasonlítom össze különböző döntési mutatók szerint, szimulációs eredmények alapján. Ez váltószelep nélküli esetet jelent.

A döntési mutatók azt hivatottak megmutatni, hogy melyik szabályozást éri meg inkább alkalmazni.

Amennyiben a szivattyúk villamos fogyasztásától eltekintünk, a megfelelő döntési mutató a fogyasztó (tároló) számára hasznosult napenergia mértéke.

A 3.1. táblázat szerint ekkor a hagyományos szabályozással 171,7 kWh napenergia hasznosult a fogyasztó számára, az energetikai alapúval pedig 187,2 kWh. Ez 15,5 kWh=9% kiegészítő fűtőenergia-megtakarítást jelent az energetikai alapú szabályozással a hagyományoshoz képest.

Azon szimulációs vizsgálataim során, amikor a szivattyúk villamos fogyasztását figyelembe vettem, a hagyományos szabályozással 169,0 kWh napenergia hasznosult a fogyasztó számára, az energetikai alapúval pedig 184,0 kWh. A szivattyúk villamos fogyasztása a hagyományos szabályozással 2,4 kWh, az energetikai alapúval 3,4 kWh.

Ha a kiegészítő fűtés villamos energia felhasználásával történik, a szabályozások összehasonlítása a következő mutató szerinti.

$$\frac{\text{hasznosított napenergia}}{\text{közvetlen hőbetáplálási hatások}} - \text{szivattyúzási energiafelhasználás} \quad (3.1)$$

95%-os közvetlen hőbetáplálási hatásfokot feltételezve a fenti mutató értéke a hagyományos szabályozásra $169,0/0,95-2,4=175,5$ (kWh), az energetikai alapú szabályozásra $184,0/0,95-3,4=190,3$ (kWh), vagyis energetikai alapú szabályozással 14,8 kWh=8% többlet nyereség valósult meg a hagyományos szabályozáshoz képest.

3. Eredmények

Amennyiben a kiegészítő fűtés közvetlenül, a szivattyúzási munka pedig közvetve, hőerőmű közbeiktatásával fosszilis energiát (gázt) használ fel forrásként, úgy környezetvédelmi szempontból figyelembe kell venni az egyes felhasználások eredő hatásfokát. Ekkor a következő mutatót kell összehasonlítani az egyes szabályozásoknál.

$$\frac{\text{hasznosított napenergia}}{\text{közvetlen hőbetáplálási hatásfok}} - \frac{\text{szivattyúzási energiafelhasználás}}{\text{elektromos felhasználási hatásfok}} \quad (3.2)$$

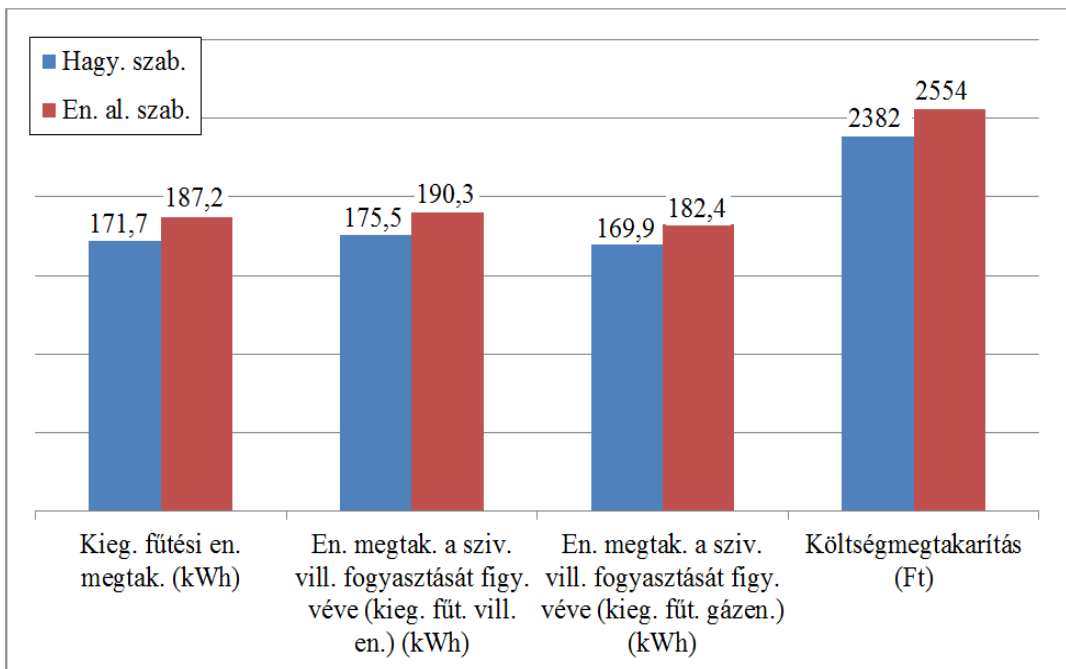
A közvetlen hőbetáplálás hatásfokát 95%-nak, a villamos felhasználás eredő hatásfokát (az erőművi betáplálástól a fogyasztói felhasználásig) 30%-nak feltételezve a vizsgált mutató értéke a hagyományos szabályozásra $169,0/0,95-2,4/0,3=169,9$ (kWh), az energetikai alapú szabályozásra pedig $184,0/0,95-3,4/0,3=182,4$ (kWh). Ez $12,5 \text{ kWh}=7\%$ többletnyereséget jelent az energetikai alapú szabályozással a hagyományoshoz képest.

Költséghatékonysági szempontból a következő értéket kell vizsgálni.

$$\text{hasznosított napenergia ára} - \text{szivattyúzási energiafelhasználás költsége} \quad (3.3)$$

A mutató értéke, $K_g=14,8$ Ft/kWh-s és $K_v=49,7$ Ft/kWh-s értékek mellett, a hagyományos szabályozással $169,0 \times 14,8 - 2,4 \times 49,7 = 2382$ (Ft), az energetikai alapú szabályozással $184,0 \times 14,8 - 3,4 \times 49,7 = 2554$ (Ft). Ez $172 \text{ Ft}=7\%$ többlet megtakarítást jelent az energetikai alapú szabályozással a hagyományos szabályozáshoz képest.

A fenti négy döntési mutató alapján az energetikai alapú szabályozás alkalmazása kedvezőbb. Az eredmények összefoglalását mutatja a 3.4. ábra.



3.4. ábra: A szabályozások összehasonlítása négy döntési mutató alapján

3. Eredmények

(3.3)-mal becslés tehető az energetikai alapú szabályozás hagyományos szabályozáshoz képest jelentkező többletköltségének megtérülési idejére.

Az energetikai alapú szabályozás olyan programozható szabályozóegységet igényel a hagyományossal szemben, amely kettő helyett négy hőmérsékletérzékelő jelét kezeli. A kollektor kilépő hőmérsékletén és a tároló alsó harmadának hőmérsékletén kívül ugyanis még két hőmérsékletet kell mérni: a kollektor környezetének és a tárolóba közvetlenül belépő víznek a hőmérsékletét.

A (3.3) mutató szerinti értéket egy évre vetítve, a szabályozóegységek árait figyelembe véve, a plusz beruházás várhatóan kevesebb mint 2,5 év alatt megtérül.

Az eredmények alapján elmondható, hogy az energetikai alapú szabályozás minden szempontból többletmegtakarítást jelent a hagyományos szabályozáshoz képest. A többletmegtakarítás mértéke a különböző mutatók szerint 7-9%.

Meg kell jegyezni, hogy a fenti eredmények meglehetősen hosszú csőszakaszokkal rendelkező napkollektoros rendszer esetén adódtak, ami kedvez az energetikai alapú szabályozásnak, hiszen az energetikai alapú szabályozás éppen a csövekben jelenlévő, hasznosítható hőnek a mindenkori fogyasztóhoz juttatását célozza meg.

Ebből következően az energetikai alapú szabályozás mindig hatékonyabb a napenergia hasznosításában, mint a hagyományos szabályozás a napkollektoros rendszerek széles körére (nemcsak a külső hőcserélős rendszerekre) vonatkozóan.

Amennyiben a csőszakaszok rövidebbek, a fogyasztó számára hasznosított szoláris energiatöbblet az energetikai alapú szabályozás javára kisebb, viszont a villamos fogyasztástöbblet is csökken. Tehát továbbra is érdemes lehet, a fenti mutatók szerint, az energetikai alapú szabályozást alkalmazni, a megtérülési idő szempontjából viszont romlik a helyzet.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A kutatómunkám során a vizsgált napkollektoros rendszertípusra, közvetlenül külső hőcserélős napkollektoros rendszerekre vonatkozóan elért új tudományos eredmények a következők:

1. Módszert dolgoztam ki a gyakorlatban általánosan alkalmazott, rögzített ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségekkel dolgozó, hagyományos szabályozás optimalizálására, a ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségek minimális értékeinek megadásával. Ezzel a hagyományos szabályozás rendszer-kihasználtsági fokát maximalizáltam.

Az optimalizált hagyományos szabályozás működési algoritmusát a következőképpen adtam meg:

$$a \text{ szivattyúk járnak, ha } \begin{cases} T_{koll,ki,m} - T_{t,m} > \Delta T_{be,hagy}, \text{ vagy} \\ T_{koll,ki,m} - T_{t,m} > \Delta T_{ki,hagy} \text{ és a szivattyúk járnak,} \end{cases}$$

$$a \text{ szivattyúk ne járnak, ha } \begin{cases} T_{koll,ki,m} - T_{t,m} \leq \Delta T_{be,hagy} \text{ és a szivattyúk nem járnak, vagy} \\ T_{koll,ki,m} - T_{t,m} \leq \Delta T_{ki,hagy}. \end{cases}$$

$$\Delta T_{ki,hagy} = \Delta T_{hagy} + \max\left(\frac{P_{sz}}{c_v \dot{V}_t \rho_v}, \frac{P_{sz} K_v}{c_v \dot{V}_t \rho_v K_g}\right), \quad \text{ha a szivattyúk villamos}$$

fogyasztását figyelembe vesszük, $\Delta T_{ki,hagy} = \Delta T_{hagy}$, ha a szivattyúk villamos fogyasztását nem vesszük figyelembe. $\Delta T_{be,hagy} = \Delta T_{ki,hagy} + \Delta T_{hiszt}$.

$$\Delta T_{hagy} = \left(T_{t,felt} + (T_{t,felt} - T_{föld,felt}) \left(1 - \exp\left(\frac{-k_{cső,t} t_{cső,t}}{\rho_v c_v A_{cső,t}}\right) \right) \right) \left(\frac{1}{\Phi} - 1 \right) + \frac{1}{\Phi} (T_{t,felt} - T_{föld,felt}) \cdot$$

$$\cdot \left(\exp\left(\frac{k_{cső,t} t_{cső,t}}{\rho_v c_v A_{cső,t}}\right) - 1 \right) - T_{koll,körny,felt} \exp\left(\frac{k_{cső,koll} t_{cső,koll}}{\rho_{koll} c_{koll} A_{cső,koll}}\right) - T_{t,felt} + T_{koll,körny,felt} \cdot$$

2. Kidolgoztam egy új, modell- és energetikai alapú szabályozást, amely a napkollektoros rendszerrel hasznosítható és abból kinyerhető hőt juttatja el mindenkor a fogyasztóhoz. Ez a szabályozás jobb rendszer-kihasználtsági fokkal bír, mint a hagyományos szabályozás, beleértve ez utóbbi optimalizált változatát is.

Az energetikai alapú szabályozást két eljárás, a/ és b/, megadásával definiáltam. Az energetikai alapú szabályozás működési algoritmusát a következőképpen adtam meg:

4. Új tudományos eredmények

a/ eljárás

a szivattyúk járjanak, ha $\begin{cases} T_{koll,ki,m} - T_{t,m} > \Delta T_{be,en,a}, \text{ vagy} \\ T_{koll,ki,m} - T_{t,m} > \Delta T_{ki,en,a} \text{ és a szivattyúk járnak,} \end{cases}$

a szivattyúk ne járjanak, ha $\begin{cases} T_{koll,ki,m} - T_{t,m} \leq \Delta T_{be,en,a} \text{ és a szivattyúk nem járnak, vagy} \\ T_{koll,ki,m} - T_{t,m} \leq \Delta T_{ki,en,a}. \end{cases}$

$\Delta T_{ki,en,a} = \Delta T_{en,a} + \max\left(\frac{P_{sz}}{c_v \dot{V}_t \rho_v}, \frac{P_{sz} K_v}{c_v \dot{V}_t \rho_v K_g}\right)$, ha a szivattyúk villamos fogyasztását figyelembe vesszük, $\Delta T_{ki,en,a} = \Delta T_{en,a}$, ha a szivattyúk villamos fogyasztását nem vesszük figyelembe. $\Delta T_{be,en,a} = \Delta T_{ki,en,a} + \Delta T_{hiszt}$.

$$\Delta T_{en,a} = \left(T_{t,m} + (T_{t,m} - T_{föld,felt}) \left(1 - \exp\left(\frac{-k_{cső,t} t_{cső,t}}{\rho_v c_v A_{cső,t}} \right) \right) \left(\frac{1}{\Phi} - 1 \right) + \frac{1}{\Phi} (T_{t,m} - T_{föld,felt}) \right) \cdot \left(\exp\left(\frac{k_{cső,t} t_{cső,t}}{\rho_v c_v A_{cső,t}} \right) - 1 \right) - T_{koll,körny,m} \exp\left(\frac{k_{cső,koll} t_{cső,koll}}{\rho_{koll} c_{koll} A_{cső,koll}} \right) - T_{t,m} + T_{koll,körny,m}$$

b/ eljárás

a szivattyúk járjanak, ha $\begin{cases} T_{t,t,be,m} - T_{t,m} > \Delta T_{be,en,b}, \text{ vagy} \\ T_{t,t,be,m} - T_{t,m} > \Delta T_{ki,en,b} \text{ és a szivattyúk járnak,} \end{cases}$

a szivattyúk ne járjanak, ha $\begin{cases} T_{t,t,be,m} - T_{t,m} \leq \Delta T_{be,en,b} \text{ és a szivattyúk nem járnak, vagy} \\ T_{t,t,be,m} - T_{t,m} \leq \Delta T_{ki,en,b}. \end{cases}$

$$\Delta T_{be,en,b} = \Delta T_{ki,en,b} + \Delta T_{hiszt,en,b}$$

A kollektorköri szivattyú az *a/* eljárás szerint működik. A tárolóköri szivattyú az *a/* és *b/* eljárások közötti logikai VAGY kapcsolat szerint működik.

- Kidolgoztam egy fizikai alapú matematikai modellt, amely közvetlenül felhasználható külső hőcserélős napkollektoros rendszerek termikus folyamatainak modellezésére. A modellt a napkollektoros rendszer részegységeinek hő- és anyagtranszport-folyamatait leíró differenciálegyenletek összekapcsolásával állítottam elő. A modellt valódi, mért napkollektoros rendszer felhasználásával validáltam. Megállapítottam, hogy a modellel a szolár tároló hőmérsékletére vonatkozóan mintegy 0,5 °C-os becslési pontosság, a tároló napi maximális abszolút hőmérsékletváltozására vonatkozóan mintegy

4. Új tudományos eredmények

2,7%-os becslési pontosság érhető el. Ez megfelelő pontosság kutatási, fejlesztési célokra és az általános mérnöki gyakorlat számára.

4. Félempirikus identifikációt dolgoztam ki a $k_{cső,koll}$, $k_{cső,t}$ és a Φ paraméterek mért adatok szerinti meghatározására. A módszert alkalmaztam mind a kidolgozott szabályozási algoritmusok, mind a fizikai alapú modell identifikálására. Bevezettem a fogyasztóhoz (a szolár tárolóba) eljuttatott napenergiára fajlagosított villamos energiafogyasztást (röviden fajlagos villamos energiafogyasztást) (Wh/kWh), mint olyan jellemzőt, amely megmutatja, hogy 1 kWh napenergia fogyasztóhoz (a szolár tárolóba) juttatásához a szivattyúknak átlagosan mennyi villamos energiára van szüksége.
5. Szimulációs és mérési eredmények alapján igazoltam, hogy az energetikai alapú szabályozással, azonos napsugárzási és fogyasztási feltételek mellett a hagyományos szabályozáshoz képest több hasznosított szoláris energia, azaz nagyobb rendszer-kihasználtsági fok és a szivattyúk kevesebb kapcsolása érhető el. Mindez a szivattyúk megnövekedett üzemidejével, azaz megnövekedett villamos fogyasztásával és a fajlagos villamos energiafogyasztás megnövekedett értékével jár.

A vizsgált külső hőcserélős napkollektoros rendszertípussal különböző üzemviszonyok esetén az energetikai alapú szabályozásra vonatkozóan, a következő számszerű értékeket mutattam ki az optimalizált hagyományos szabályozáshoz képest:

| | |
|--|----------|
| Rendszer-kihasználtsági fok növekedése | 2,5-4,1% |
| Fajlagos villamos energiafogyasztás növekedése | 5-44% |
| A szivattyúk bekapcsolásai számának csökkenése | 41-64% |

6. Igazoltam, hogy sem a hagyományos sem az energetikai alapú szabályozás esetén nem érdemes váltószelepet alkalmazni sem környezetvédelmi, sem költségmegtakarítási szempontból, még hosszú csőszakaszokkal rendelkező rendszerek esetén sem. A validált modell felhasználásával ugyanis kimutattam, hogy a váltószelep a hagyományos szabályozás mellett oly kicsiny mértékben növeli meg a rendszer-kihasználtsági fokot, hogy beruházási költségének megtérüléséhez túlságosan hosszú (a jelenlegi árviszonyok mellett mintegy 15 évnyi) időtartam szükséges. Az energetikai alapú szabályozás mellett a váltószelep kifejezetten csökkenti a rendszer-kihasználtsági fokot.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az energetikai alapú szabályozás a napkollektoros rendszerek kedvezőbb üzemét teszi lehetővé a rendszer-kihasználtsági fok és a szivattyúk kapcsolási száma szempontjából, viszont a szivattyúk üzemidejét és villamos fogyasztását megnöveli az általánosan alkalmazott hagyományos szabályozás esetéhez képest.

Az energetikai alapú szabályozás programozható szabályozóegységet és négy hőmérsékletérzékelőt igényel a hagyományos szabályozás egyszerűbb szabályozóegységével és két hőmérsékletérzékelőjével szemben. Ez némileg megnövekedett beruházási költséget jelent.

A vizsgált napkollektoros rendszer esetében a nagyobb villamos fogyasztás és a nagyobb beruházási költség ellenére is egyértelműen megtérül, ha az energetikai alapú szabályozás mellett döntünk mind a 3.3. pontban bemutatott döntési mutatók, mind a beruházási költség megtérülési idejének szempontjából.

Mindezek alapján egyedi, konkrét napkollektoros rendszerek esetén javaslok a 3.1. pontban bemutatott vizsgálatok (szimulációk) elvégzését és az eredmények 3.3. szerinti értékelését az adott rendszer céljainak/költségtényezőinek megfelelően. Az eredményektől függően javaslok az energetikai alapú szabályozás alkalmazását.

A vizsgálatok azt is megmutatták, hogy környezetvédelmi és anyagi szempontból sem érdemes a tároló visszahűtésének elkerülésére váltószelepet alkalmazni, még meglehetősen hosszú csőszakaszokkal rendelkező rendszereknél sem.

Eszerint a tároló elé beépített váltószelep alkalmazását alapvetően nem javaslok sem a hagyományos szabályozás, sem az energetikai alapú szabályozás esetén.

Mivel a gázenergia ára a jövőben a fosszilis készletek csökkenése és az üvegházhatás erősödése miatt várhatóan nőni fog a villamos energia árához képest, továbbá a megújuló energiaforrások terjedése miatt az energetikai alapú szabályozás létjogosultsága egyre több rendszernél nőni fog. Megújuló energiaforrásokkal (nap, szél) működő szivattyúkkal ugyanis a napkollektoros rendszer villamos fogyasztási költsége csökken, ami az energetikai alapú szabályozás esetében a villamos fogyasztástöbblet csökkenését vonja maga után a hagyományoshoz képest. A gáz árának növekedése pedig növeli az energetikai alapú szabályozással a kiegészítő fűtési energia költségében elérhető megtakarítást. Ez az energetikai alapú szabályozás némi többletberuházási költségének megtérülési idejét is csökkenti.

A többletberuházási költség várhatóan azért is csökkenni fog, mert a több hőmérsékletérzékelőt fogadó, programozható szabályozóegységek és az érzékelők ára növekvő elterjedésüknek köszönhetően a jövőben várhatóan csökken.

A szükséges hőmérsékletérzékelők számának csökkentése érdekében érdemes a napkollektoros rendszer matematikai modelljét felhasználó, ún. állapotmegfigyelők alkalmazhatóságát megvizsgálni a nem mért hőmérsékletek becslésére.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A globális környezetszennyezés problémája szükségessé teszi a megújuló energiaforrások, például a napenergia mind jobb kiaknázását. Ennek része az aktív napkollektoros vízmelegítő rendszerek szabályozási hatékonyságának javítása.

Munkám fő eredménye egy új, modell- és energetikai alapú szabályozás kidolgozása a rendszer-kihasználtsági fok maximalizálására.

A gyakorlatban általánosan alkalmazott, rögzített ki- és bekapcsolási hőmérséklet-különbségekkel dolgozó, hagyományos szabályozás optimalizálását, rendszer-kihasználtsági fokának maximalizálását is elvégeztem a rögzített kapcsolási hőmérséklet-különbségek minimális, de a szolár tároló visszahűtését még elkerülő értékének megadásával.

A változó kapcsolási hőmérséklet-különbségekkel dolgozó energetikai alapú szabályozás működési elvéből adódóan nagyobb rendszer-kihasználtsági fokot eredményez, mint a(z optimalizált) hagyományos szabályozás.

Létrehoztam egy, külső hőcserélős napkollektoros rendszerekhez közvetlenül illeszthető, fizikai alapú TRNSYS modellt, amelyet a SZIE területén található, mért napkollektoros rendszer szerint identifikáltam és validáltam. Az optimalizált hagyományos szabályozást és az energetikai alapú szabályozást betápláltam a modellbe a tároló elé, a tároló visszahűtésének elkerülésére beépített váltószelep működtetése mellett és a nélkül. A szabályozásokat váltószelepmentes üzemben a SZIE-rendszeren is alkalmaztam.

A szabályozásokat a modellben és a valós rendszer mérései alapján összehasonlítva a következők adódtak. Igazolódott az energetikai alapú szabályozás nagyobb rendszer-kihasználtsági foka, vagyis hogy ez a szabályozás, megegyező napsugárzás mellett a napenergia nagyobb részét hasznosítja a fogyasztó (a szolár tároló) számára, mint a hagyományos szabályozás. Az energetikai alapú szabályozással a szivattyúk kevesebbszer kapcsolnak, ami szintén előnyt jelent, azok kíméletesebb üzeme miatt. Hátrány viszont a szivattyúk megnövekedett üzemideje és villamos fogyasztása. Az e miatti növekmény az üzemi költségben, megújuló energiát használó szivattyúkkal, nagymértékben csökkenthető. Némileg nagyobb beruházási költséget jelent, hogy az energetikai alapú szabályozás programozható szabályozóegységet és négy hőmérsékletérzékelőt igényel, a hagyományos szabályozás szabályozóegységével és két hőmérsékletérzékelőjével szemben.

A vizsgált rendszerre vonatkozó eredmények szerint mind a környezetvédelem, mind az üzemi és beruházási költségek szempontjából érdemes az energetikai alapú szabályozást alkalmazni a hagyományos helyett, nem érdemes viszont váltószelepet működtetni egyik szabályozás mellett sem.

Mindezek alapján egyedi napkollektoros rendszereknél – a fenti szempontok szerinti mérlegelés függvényében – javaslom az energetikai alapú szabályozás alkalmazását. A tároló visszahűtésének elkerülésére viszont, váltószelep beépítését alapvetően nem javaslom egyik szabályozás esetében sem.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven

1. **Kicsiny R.**, Farkas I. (2007): Combined solar swimming pool heating and hot water supply, Hungarian Agricultural Engineering, No. 20/2007, Gödöllő, pp. 30-31.
2. **Kicsiny R.** (2009): Development of an energetically-based control for solar thermal heating systems, Review of Faculty of Engineering, Analecta Technica Szegediensia, Szeged, pp. 50-57.
3. **Kicsiny R.** (2009): Energetically-based control for solar heating systems, Scientific Bulletin of the “Politechnica” University of Timișoara, Romania, Transactions on Mechanics, 54(68), 2, pp. 55-62.
4. **Kicsiny R.**, Farkas I. (2012): Energetically-based control for solar heating systems, Solar Energy (under review)
5. **Kicsiny R.**, Varga Z. (2012): Real-time state observer design for solar thermal heating systems, Applied Mathematics and Computation (accepted, in press, DOI: 10.1016/j.amc.2012.05.040)
6. **Kicsiny R.**, Varga Z. (2012): Real-time global state observer design for solar heating systems, Nonlinear Analysis: Real World Applications (under review)

Lektorált cikk magyar nyelven

7. **Kicsiny R.**, Farkas I. (2008): Kombinált napkollektoros rendszerek fizikai alapú modellezése, GÉP, LIX. évf., 12. sz., 21-24. o.
8. **Kicsiny R.**, Buzás J., Farkas I. (2009): Napkollektoros rendszer fizikai alapú modellje TRNSYS szimulációs környezetben, GÉP, LX. évf., 8. sz., 26-31. o.
9. **Kicsiny R.**, Farkas I. (2011): Napkollektoros rendszer energetikai alapú szabályozása, Magyar Energetika, XVIII. évf., 5. sz., 14-17. o.