

# DIPLOMADOLGOZAT

Vida Szabolcs

Gödöllő  
2024



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**  
**Műszaki Intézet**  
**Gépészmérnök mesterképzési szak**

**Termikus napenergia hasznosító rendszerek szabályozása**

**Belső konzulens:** Prof. Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, DSc  
Tóth János  
egyetemi tanársegéd, PhD

**Belső konzulens  
intézete/tanszéke:** Műszaki Intézet

**Külső konzulens:** Dr. Háber István  
Renergy Consulting Kft.  
ügyvezető igazgató

**Készítette:** Vida Szabolcs

**Gödöllő**  
**2024**

## Tartalomjegyzék

1	Bevezető, célkitűzések .....	3
2	Irodalmi áttekintés .....	4
2.1.	Napsugárzási viszonyok .....	4
2.1.1.	Napsugárzás Magyarországon.....	7
2.2.	A napenergia felhasználása .....	7
2.2.1.	Passzív napenergia hasznosító rendszerek .....	8
2.2.2.	Aktív napenergia hasznosító rendszerek .....	10
2.3.	Napkollektoros rendszerek .....	12
2.3.1.	Napkollektorok.....	13
2.3.2.	Síkkollektor .....	14
2.3.3.	Vákuumcsöves kollektor .....	15
2.3.4.	Napkollektorok határfoka .....	16
2.3.5.	Hőtárolók.....	18
2.4.	Irányítási módszerek.....	19
2.4.1.	Irányítás .....	19
2.4.2.	Vezérlés és szabályozás .....	21
2.4.3.	Szabályozási stratégiák .....	22
3	Anyag és módszer .....	27
3.1.	Blokkorientált modellezés .....	27
3.2.	Napkollektoros rendszer és működése .....	29
3.2.1.	A rendszer felépítése .....	29
3.2.2.	A rendszer működése .....	32
3.3.	Alkalmazott matematikai modellek.....	34
3.3.1.	Időjárás modellek .....	34
3.3.2.	Napkollektor modell.....	36
3.3.3.	Tároló modell .....	38
3.3.4.	Keverőszelep modell .....	39
4	Eredmények.....	42
4.1.	Időjárási adatok.....	42
4.2.	Napkollektor szimulációja .....	42
4.2.1.	Hőmérsékleteloszlás egy napkollektor esetében .....	43
4.2.2.	Hőmérsékleteloszlás napkollektorok soros kötése esetén .....	44
4.2.3.	Hőmérsékleteloszlás napkollektorok párhuzamos kötése esetén .....	45
4.3.	Tárolók szimulációja .....	47

---

4.3.1.	Fogyasztás figyelembevétele.....	47
4.3.2.	Szolár tárolók .....	48
4.3.3.	Gázkazánnal fűtött tároló .....	49
4.4.	Keverőszelep szimulációja .....	51
4.5.	Teljes rendszer szimulációja.....	53
4.6.	Szabályozó optimalizálása.....	53
5	Következtetések, javaslatok .....	55
6	Összefoglaló .....	56
	Irodalomjegyzék.....	57
	Ábrajegyzék.....	59
	Hallgatói nyilatkozat .....	61
	Konzulensi nyilatkozat .....	62
	Köszönetnyilvánítás .....	63

---

## 1 Bevezető, célkitűzések

Az egyre növekvő energiaárak, a napjainkban uralkodó bizonytalan politikai helyzet és a környezetünk megóvására fektetett, egyre nagyobb hangsúly következtében az energiaigények kielégítésében mind nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások. Az Európai Parlament 2021-ben az Irány az 55% intézkedéscsomag keretében a megújuló energiák részarányát 2030-ig 40%-ra szeretne volna növelni. Az Oroszország Ukrajna ellen indított agresszióját követően 2022-ben a REPowerEU terv keretében ezt a célkitűzést 45%-ra emelte. Az energiafelhasználás jelentős része az épületek energiaellátásának biztosítását szolgálja. A Nemzetközi Energiaügynökség (International Energy Agency, IEA) szerint az épületek üzemeltetése felelős a globális energiafelhasználás 30%-áért, és az energiával kapcsolatos károsanyag kibocsátás 26%-áért. Emiatt az épületek energiaellátásában is egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a megújuló energiák, mint például a napenergia.

Munkám során épületgépészeti kivitelezések projektelőkészítésével foglalkozom. A kivitelezések során napkollektoros vízmelegítő rendszereket is telepítünk. Ezek a gyakran komplex rendszerek az elvárásoknak megfelelő működés érdekében szabályozást igényelnek. A napkollektoros rendszerek elemeinek leírására léteznek a szakirodalomban validált matematikai modellek.

A dolgozatomban bemutatok egy komplex, több napkollektorból és tárolóból álló napkollektoros melegvízkészítő rendszert és annak működését. A dolgozat célja, hogy ismertessem az alkalmazott matematikai modelleket, valamint, hogy blokkorientált modellezés és a dolgozatban ismertetett modellek segítségével szimuláljam a rendszer működését. Megvizsgáljam, hogy a részmodellek alkalmazhatók-e blokkokként nagyobb, komplexebb rendszerek szimulációja esetén. A szimulált rendszerben kiválasszam a szabályozni kívánt jellemzőket és hogy kiválasszam a szabályozási stratégiát. Továbbá, hogy a szimulált rendszer segítségével a szabályozó optimalizálását elvégezzem.

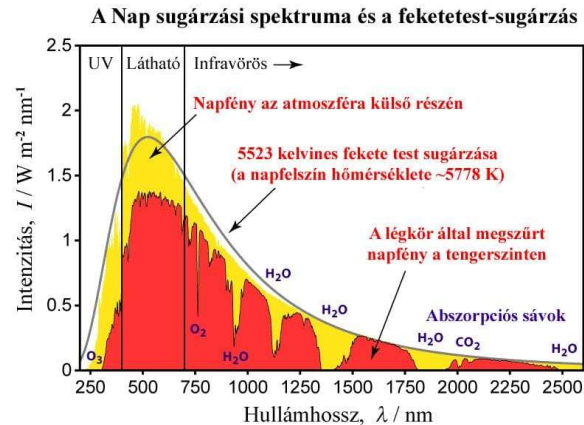
## 2 Irodalmi áttekintés

A dolgozat ezen fejezetben a témához kapcsolódó szakirodalom kerül áttekintésre. Szó lesz a napsugárzásról általában. Említésre kerülnek az aktív és passzív napenergia hasznosító rendszerek, a napkollektorok, hőtárolók és a termikus napenergia hasznosító rendszerek további elemei. Továbbá írok a szabályozásról általában és a különböző szabályozási stratégiákról.

### 2.1. Napsugárzási viszonyok

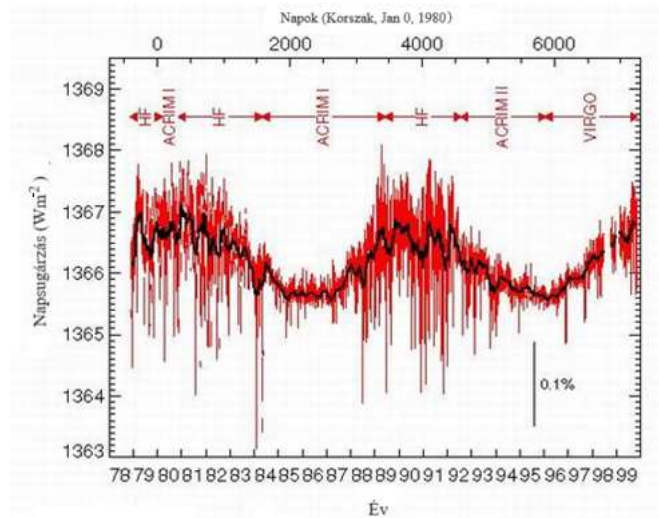
A Naprendszerünk központi csillaga a Nap. Egy 1,4 millió kilométer átmérőjű, plazma halmazállapotban lévő gömb alakú gáztömeg, amelynek felszíni hőmérséklete 5800 K és amely a Naprendszer anyagának 99,87 %-át teszi ki. A Nap belsejében hidrogén-hélium magfúzióval termonukleáris hőtermelés zajlik, melynek során másodpercenként  $3,78 \cdot 10^{26}$  J energia szabadul fel (Fatalin & Fatalin, 2014).

A Napból az energia elektromágneses sugárzás formájában távozik a felszínén keresztül. Ezeknek egy része túl rövid hullámhosszú ahhoz, hogy szabad szemmel lássuk (ultraibolya sugárzás) egy másik része pedig túl hosszú (infravörös sugárzás), a maradék pedig a látható fény tartományába esik (Sen, 2008). A napsugárzás spektrális eloszlását az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: Napsugárzás spektruma ([www.NVsolar.hu](http://www.NVsolar.hu))

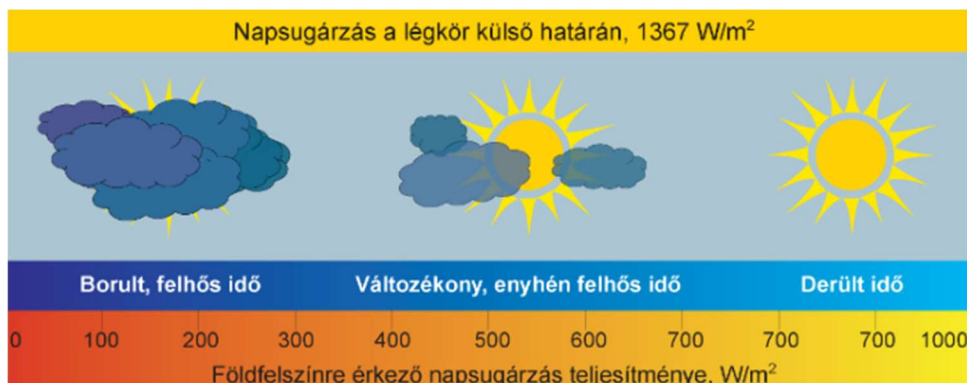
A Föld légkörére merőlegesen beeső négyzetméterenkénti sugárzási teljesítmény átlaga a napállandó. Pontos értékére vonatkozó adatokat több évtizeden át tartó műholdas méréseknek köszönhetően ismerünk (2. ábra). A napállandó értéke  $1,37 \text{ kW/m}^2$ . Pontos értékét a Föld keringése  $\pm 3,3\%$  -ban, a naptevékenységek pedig  $4\%$  -ben befolyásolják (Fatalin & Fatalin, 2014).



2. ábra: Napállandó alakulása ([www.csillagaszat.hu](http://www.csillagaszat.hu))

A napsugarakat a légkörön áthaladva visszaverik vagy elnyelik a levegő- és vízmolekulák, felhők, por és más szennyezőanyagok. A Nap sugarai így közvetlen (direkt) és szórt (diffúz) formában érik el a Föld felszínét. A kettő összegét globálsugárzásnak hívjuk.

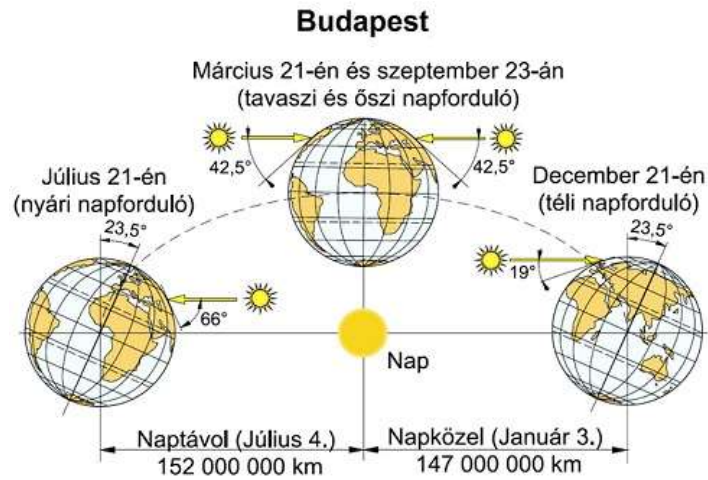
A Föld felszínét elérő sugárzási teljesítmény legfeljebb  $900-1000 \text{ W/m}^2$  és ez az érték is csak derült, napos, nyári időre vonatkozik. A napsugárzás intenzitását legjelentősebben a felhősödés befolyásolja. A felhők jelentős mértékben csökkentik, illetve megszüntetik a felszínre érkező direkt napsugárzást. Átlagos, gyengén felhős időben ez körülbelül  $400-700 \text{ W/m}^2$ -t jelent, míg erősen felhős idő esetén akár  $0-300 \text{ W/m}^2$ -re is csökkenhet (3. ábra).



3. ábra: A Föld felszínére érkező napsugárzás teljesítménye ([www.naplopo.hu](http://www.naplopo.hu))

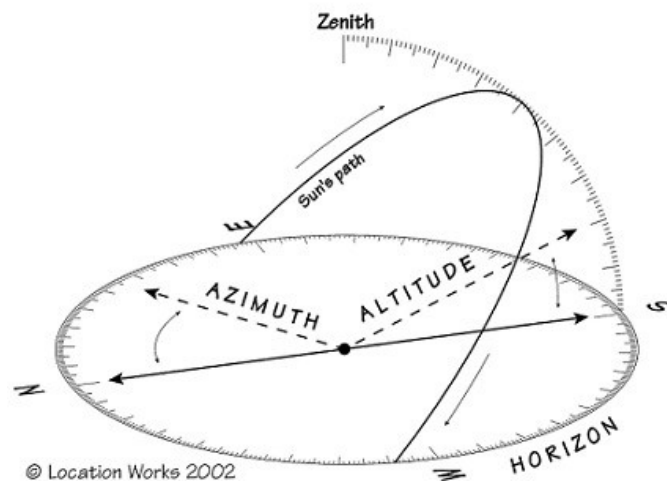
A napsugárzás hasznosítható teljesítményét tovább befolyásolja a Föld és a Nap egymáshoz viszonyított helyzete. A Föld forgástengelye a Nap körüli keringési pályához képest  $23,5^\circ$ -os szöveget zár be. Emiatt a napmagasság az év során folyamatosan változik. Magyarországon a

napmagasság maximális értéke (délben) a téli napfordulón  $19^\circ$  míg a nyári napforduló esetében  $66^\circ$  (4. ábra).



4. ábra: A Föld Nap körüli pályája ([www.napelemesek.hu](http://www.napelemesek.hu))

A Föld eközben saját tengelye körül is forog, ezért a Nap pontos helyzetének meghatározásához a napmagasság mellett az azimutszöget alkalmazzuk. Az azimutszög az a szög, amelyet a napsugárzás irányának vízszintes vetülete az északi iránnyal bezár. A napmagasság ( $\alpha$ ) és az azimutszög ( $\psi$ ) segítségével pontosan meghatározható a Nap helyzete (5. ábra).

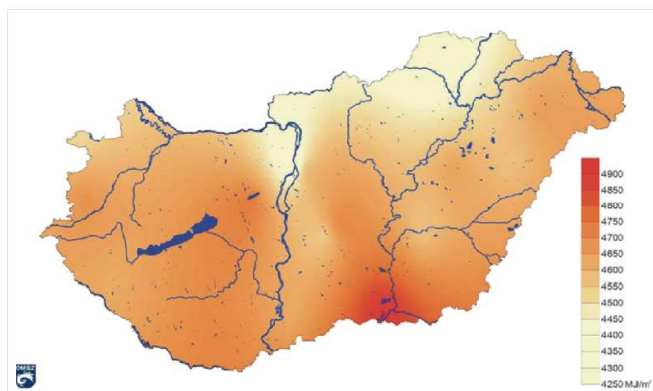


5. ábra: A Nap helyzete ([www.napelemesek.hu](http://www.napelemesek.hu))



### 2.1.1. Napsugárzás Magyarországon

Magyarországon a globálsugárzás mértékére vonatkozóan az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései szolgáltatnak adatot számunkra. A 6. ábrán látható a magyarországi éves és havi átlagos globálsugárzás.



a) A globálsugárzás (MJ/m<sup>2</sup>) átlagos évi összege Magyarországon (2000-2009)



b) A globálsugárzás átlagos havi értékei Magyarországon az 1998-2009 közötti időszak alapján

6. ábra: Globálsugárzás értékei Magyarországon ([www.met.hu](http://www.met.hu))

A besugárzott energiamennyiség mellett azt is tudnunk kell, hogy milyen hosszú időn át áll rendelkezésünkre ez az energia. Magyarországon átlagosan 2100 napos óra van évente (Horánszky, 2005).

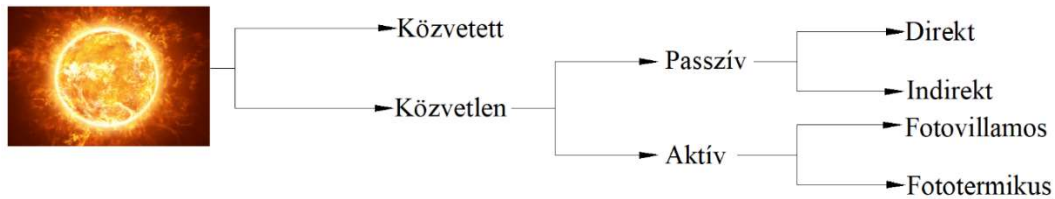
## 2.2. A napenergia felhasználása

A napenergia hasznosításának módját tekintve két fő csoportot különböztetünk meg: közvetett, illetve közvetlen napenergia hasznosítást (7. ábra).

Közvetett napenergia hasznosítás alatt olyan erőforrások használatát értjük, melyek a Nap energiájának hatására jönnek létre. Valamilyen természeti jelenség hatására a napsugarak energiája átalakul vagy raktározódik. Közvetett hasznosításhoz sorolhatók:

- *szélenergia*: A Nap hatására felmelegedett levegő felfelé áramlik, a helyébe hűvösebb levegő érkezik, amelynek mozgási energiája szélturbinák alkalmazásával villamos energiává alakítható
- *vízenergia*: A Nap által felmelegedett víz elpárolog és eső formájában lecsapódik. A víz a folyókon keresztül a tengerbe áramlik, a keletkezett mozgási energiát vízerőművekkel villamos energiává alakítjuk.
- *biomassza*: A növények napfény, széndioxid és víz felhasználásával fotoszintézist végeznek. A fotoszintézis hatására keletkezett szerves anyagok elégetésével hőenergia szabadul fel, amelyet hasznosíthatunk.

- *talajhő*: A napsugárzás energiája a talaj felső rétegeiben hő formájában raktározódik. Az így tárolt hő alacsony energiabefektetéssel hőszivattyúk segítségével kinyerhető és hasznosítható.



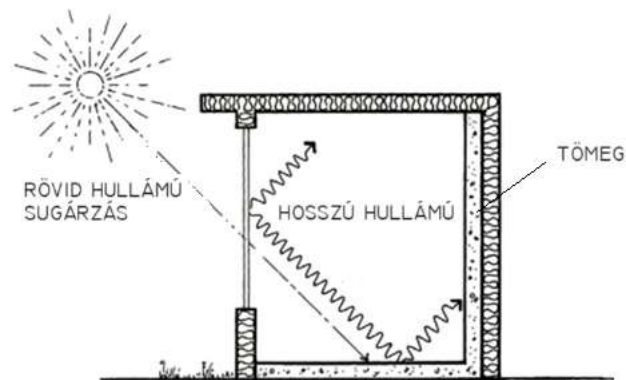
7. ábra: Napsugárzás hasznosításának módjai

Közvetlen napenergia hasznosítás alatt értendő a napsugárzás energiájának tudatos felhasználása különböző építészeti és épületgépészeti rendszerek segítségével. A közvetlen napenergia hasznosító rendszereket feloszthatjuk aktív és passzív rendszerekre.

### 2.2.1. Passzív napenergia hasznosító rendszerek

Ha a napenergiát kiegészítő berendezések nélkül hasznosítjuk, abban az esetben *passzív* rendszerekről beszélünk. A passzív rendszerek elemei részei az épületeknek, ezért már az épület tervezésekor gondos odafigyelést igényel a kialakításuk (Ahearn). A napenergia hasznosító rendszerek fő funkciói az energia begyűjtése és tárolása.

*Direkt* rendszerek esetében ezeket a funkciók azonos térben látja el a rendszer (8. ábra).

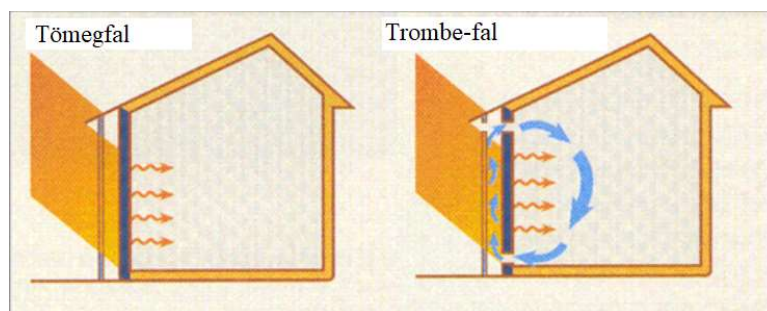


8. ábra: Direkt rendszer az üvegházhatás elvén (Lechner, 2015)

*Indirekt* rendszerek esetében a fent említett funkciók a térben elválasztva történnek. Ilyenek rendszerek például a tömegfalak és Trombe-falak, a transzparens szigetelések vagy a napterek.

### Tömegfalak és Trombe-falak

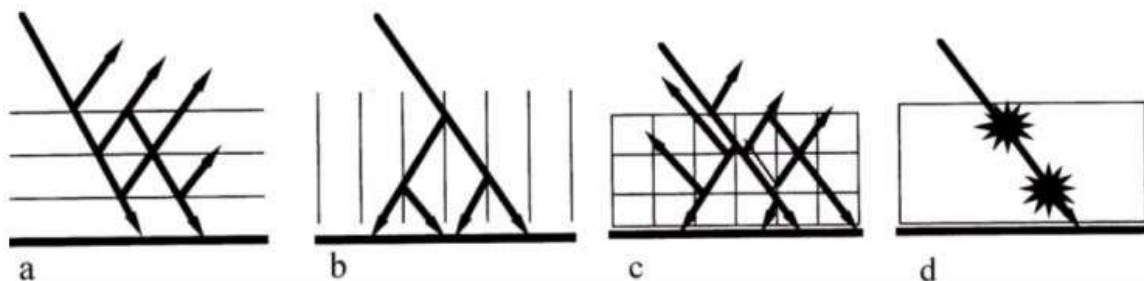
A tömegfalak és a Trombe-falak szerkezeti kialakításban nagyon hasonlóak egymáshoz. Fő elemük egy déli tájolású masszív fal, amely jó hőtárolási képességű és jól vezeti a hőt és amelynek a külső felületét egy szelektív abszorber réteggel fedik be. Az abszorber elnyeli a napsugárzás jelentős részét, amelyet fokozatosan lead az épület helyiségének. A fal elé egy jó fényáteresztő képességű üveg felületet helyeznek. A Trombe-falba ezen kívül szellőző csappantyúkat építenek, hogy az üveg és a fal között levegőt keringetve az ott rekedt hőt is hasznosítani tudjuk (9. ábra).



9. ábra: Tömegfal (balra) és Trombe-fal (jobbra) ([www.artimon.hu](http://www.artimon.hu))

### Transzparens szigetelések

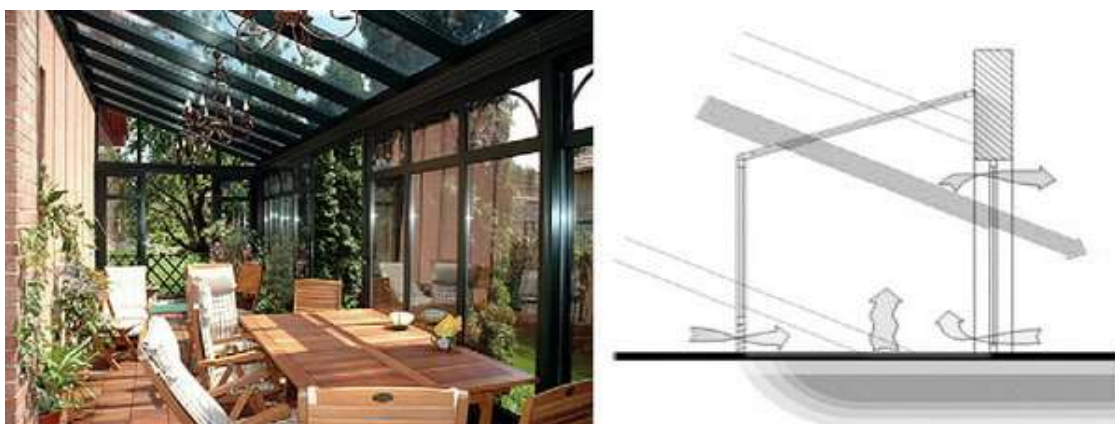
A transzparens szigetelések olyan hőszigetelések áttetsző, melyek a napfényt átértesztik. Ily módon a Nap sugarai felmelegítik a fal hőelnyelő abszorberrel bevont felületét a hőszigetelés mögött és a hő a kisebb ellenállás irányába, azaz az épület helyisége felé áramlik. A transzparens hőszigetelések esetében gondoskodni kell a túlzott felmelegedés elleni védelemről, mivel az kárt tehet a szigetelés anyagában. Ezt árnyékolással vagy valamilyen hőre, illetve fényre sötétedő üvegezéssel oldhatjuk meg. A transzparens szigeteléseket strukturális felépítésük alapján négy csoportra oszthatjuk (10. ábra).



10. ábra: Transzparens szigetelések strukturái (Szűcs, 2005)

### Napterek

A napterek az épületek részét képező, átlátszó üvegfelületekkel határolt, mesterséges fűtés nélküli helyiségek. Az üvegfelületek által áteresztett napsugarak hatására kialakul egy köztes hőmérsékletű tér a fűtött helyiség és a külső környezet között, ami segít csökkenteni a hőveszteségeket (11. ábra).



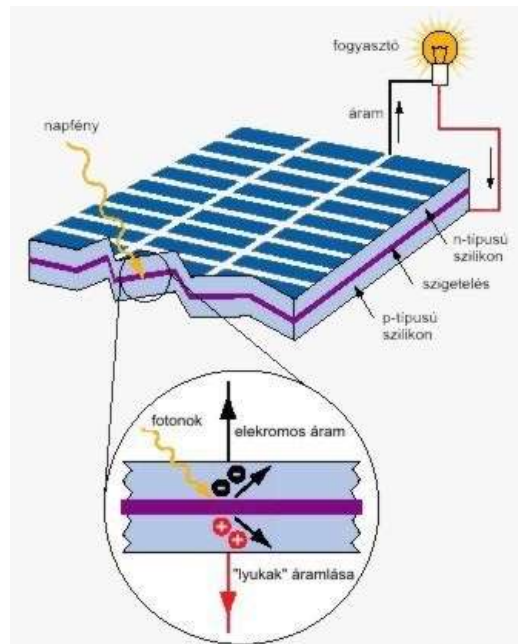
11. ábra: Naptér vagy másnéven üvegház ([www.energiaoldal.hu](http://www.energiaoldal.hu))

### 2.2.2. Aktív napenergia hasznosító rendszerek

Az *aktív* szoláris rendszerek jellemzője, hogy erre a célra létrehozott épületgépészeti vagy elektromos berendezéseket alkalmazunk a napenergia begyűjtésére, amelyet azután hő formájában vagy elektromos árammá alakítva továbbítanak a felhasználók felé (Khaligh & Onar, 2010). Attól függően, hogy a begyűjtött sugárzási energiát hő vagy elektromos áram formájában használjuk fel, megkülönböztetünk fotovillamos (napelemek) és fototermikus (napkollektorok) rendszereket.

#### Napelemek

A napelemek olyan berendezések, melyek a fotovillamos jelenségnek köszönhetően a Nap sugarait közvetlenül egyenárammá alakítják. Felépítésüket tekintve két félvezető rétegből és a köztük lévő szigetelésből állnak. Félvezető anyagként szilíciumot alkalmaznak. Az egyik réteget n-típusú félvezetőnek nevezzük, míg a másikat p-típusú félvezetőnek. A napfény fotonjainak hatására az n-rétegben negatív töltéshordozók jelentkeznek, a p-rétegben pedig pozitív töltéshordozók. A töltéshordozók egy külső áramkörön keresztül vezetve semlegesítődnek és ezáltal feszültséget hoznak létre (12. ábra).

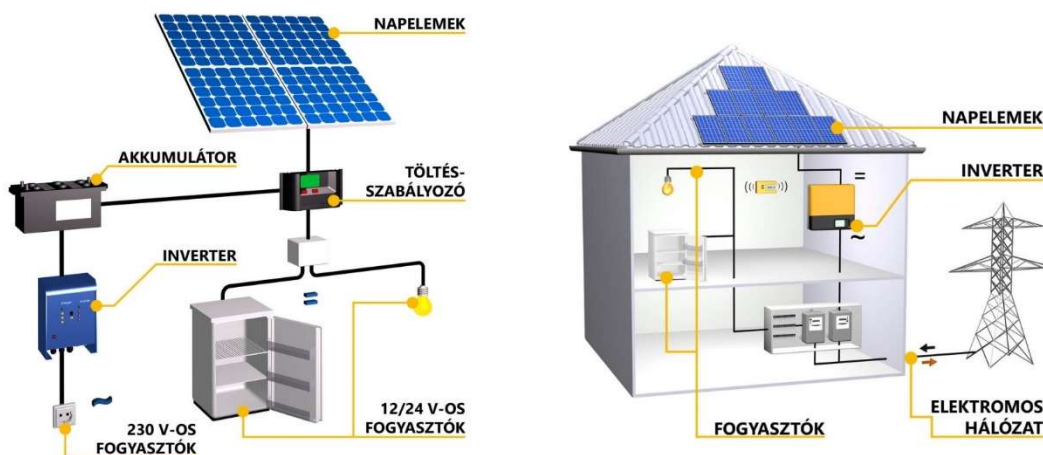


12. ábra: Napelem működési elve ([www.e-villamos.hu](http://www.e-villamos.hu))

A napelemeknek három fő típusát különböztetjük meg:

- amorf szilícium napelem
- monokristályos napelem
- polikristályos napelem.

Az energiatárolás szempontjából a napelemes rendszereket feloszthatjuk szigetüzemű rendszerekre és hálózatra visszatápláló rendszereket (13. ábra)



13. ábra: a) szigetüzemű napelemes rendszer; b) hálózatra visszatápláló napelemes rendszer ([www.wagnersolar.hu](http://www.wagnersolar.hu))



### 2.3. Napkollektoros rendszerek

A napkollektoros rendszerek, azaz termikus napenergiahasznosító rendszerek a Nap sugárzását a kollektorok segítségével elnyelik, majd hővé alakítják. A keletkezett hőenergiát valamilyen hordozóközeg segítségével továbbítják és felhasználás előtt tárolják. A tárolt hőenergia felhasználható:

- használati melegvíz készítésre
- helyiségek fűtésére vagy akár hűtésére
- medencevíz fűtésére
- különböző ipari folyamatokhoz (pl. szárítás, lepárlás)

A diplomamunka további részében a használati melegvíz célú felhasználás kerül feldolgozásra. A rendszert többféleképpen feloszthatjuk. A hőhordozó körök száma szerint megkülönböztetünk egy és kétkörös rendszereket (14. ábra). Egy körös rendszer esetén a felhasználásra kerülő vizet közvetlenül a kollektorban melegítjük. Az egy körös rendszerek hatékonyak és egyszerű felépítésük miatt kevésbé költségesek, azonban a vízkő és a korrózió miatt a rendszer élettartama rövidebb. Továbbá csakis fagymentes környezetben alkalmazható. Kétkörös rendszer esetén megkülönböztetünk kollektor-kört és tároló-kört. A kollektor oldali körben zárt rendszerben víz és fagyálló keveréke kering, amely hőcserélőn keresztül adja át a tároló oldali körnek (felhasznált melegvíz) a begyűjtött energiát. Nem érzékeny a vízkövesedésre és jól alkalmazható hosszabb idejű fagynak kitett környezetben is. Felépítése bonyolultabb, nagyobbak a beruházási költségei, viszont hosszabb az élettartama.

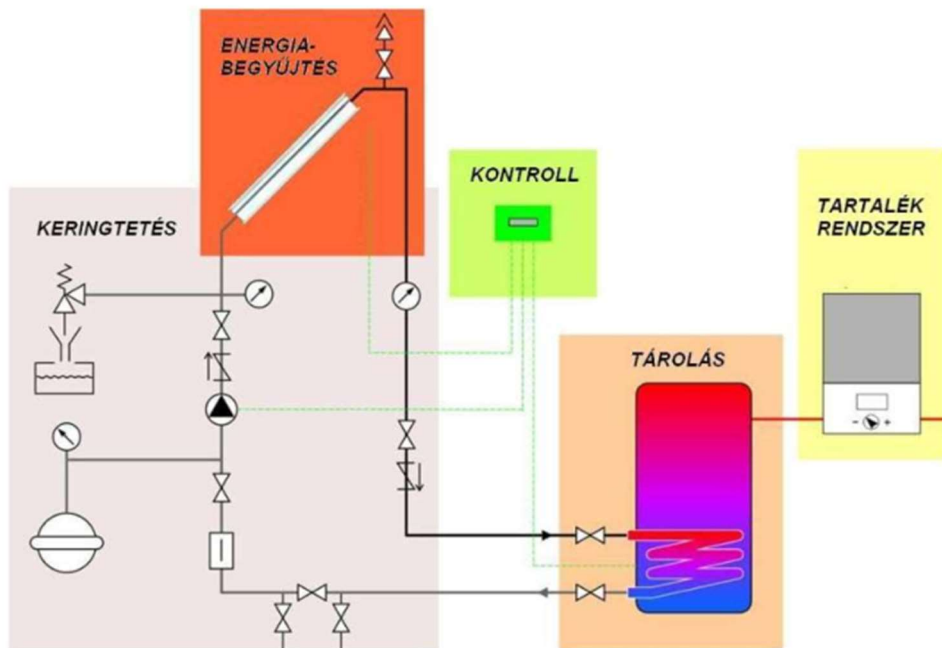


14. ábra: a) egykörös szolár rendszer; b) kétkörös szolár rendszer (Patel, et al., 2012)

A hőhordozó közeg keringetése szempontjából megkülönböztetünk gravitációs és szivattyús keringetésű rendszert. Gravitációs rendszer esetén a folyadék keringése a gravitáció és a sűrűségkülönbség okozta felhajtóerő következménye. A tárolónak minden esetben a napkollektor felett kell elhelyezkednie. Kialakítása egyszerű, nem igényel karbantartást és költséghatékony, viszont elhelyezés szempontjából kötött. Szivattyús keringetés esetén a

munkaközeg áramoltatását keringető szivattyúk segítségével végezzük. A szivattyúknak köszönhetően a rendszer elemei térben bárhol elhelyezhetők, azonban a beruházási és az üzemeltetési költségei magasabbak.

Egy kétkörös szivattyús rendszer általános felépítését a 15. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy a rendszer az egyes elemek funkciói szerint elkülöníthető.



15. ábra: Kétkörös szivattyús keringetésű napkollektoros rendszer általános felépítése (Horánszky, 2005)

A rendszer az alábbi egységekre tagolódik:

- Napkollektor, amely a napenergia begyűjtéséért felel
- Tároló tartály, amelyben a felmelegített vizet tároljuk a felhasználásig
- Keringető hálózat, amelybe a szivattyún és a csővezetéken kívül beletartoznak a további épületgépészeti elemek: biztonsági szelep, légtelenítő szelep, elzárók, töltő-ürítő csap, visszacsapó szelepek, tágulási tartály stb.
- Tartalék rendszer, amely kiegészítő fűtésként szolgál a völgyidőszakokban. Lehet gázkazán vagy elektromos fűtőbetét.
- Az egész rendszer felügyeletét biztosító szabályozórendszer.

### 2.3.1. Napkollektorok

A napkollektorok olyan berendezések melyek a Nap által sugárzott energiát elnyelik, hővé alakítják és átadják a hőhordozó közegnek. Alkalmazhatók kis, közepes és magas hőmérsékletű rendszerekben. Használati melegvíz előállítás részére kis és közepes hőmérsékletű rendszereket

alkalmaznak. Szerkezeti kialakítás alapján többféle napkollektor létezik. Két fő csoportját különböztetjük meg: a sík kollektort és a vákuumcsöves kollektort.

A két csoportot tovább oszthatjuk az alábbiak szerint:

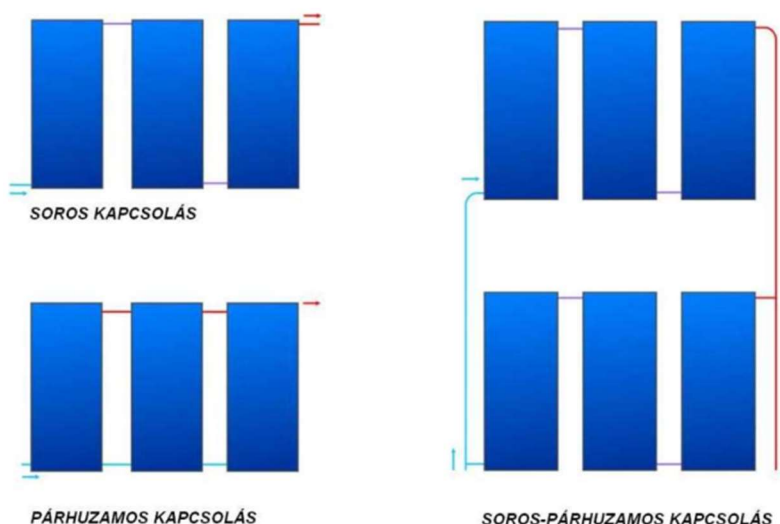
*Síkkollektor:*

- Nem szelektív bevonatos
- Szelektív bevonatos
- Vákuumos síkkollektor

*Vákuumcsöves kollektor:*

- Hócsöves (Heat Pipe)
- Cső a csőben
- U-csöves.

Nagyobb mennyiségű melegvíz igény esetén szükség lehet több napkollektor összekapcsolására. Ezáltal a hőigények figyelembevételével kialakíthatók az úgynevezett kollektor mezők. Összekapcsolásnál szükséges odafigyelni a megfelelő áramlástartani kialakításra. A kollektorok összekapcsolhatók soros, párhuzamos vagy vegyes (soros-párhuzamos) módon (16. ábra). A folyadék oldali összekapcsolásnál figyelembe kell venni az egyes kollektorok ellenállását (Horánszky, 2005).

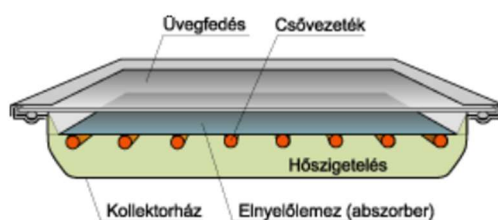


16. ábra: Kollektorok kapcsolási módjai (Horánszky, 2005)

### 2.3.2. Síkkollektor

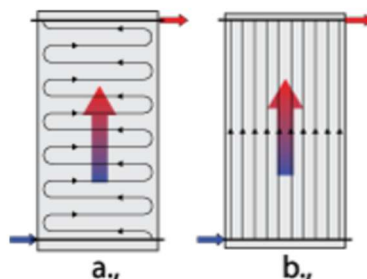
A használati melegvíz rendszerek esetében a leggyakrabban síkkollektorokat alkalmaznak. Legelterjedtebb a szelektív bevonatos síkkollektor. Szerkezeti felépítését a 17. ábra szemlélteti.





17. ábra: Síkkollektor szerkezeti felépítése ([www.naplopo.hu](http://www.naplopo.hu))

Az abszorber egy jellemzően fémből készült lemez, melynek feladata, hogy az elnyelt napsugárzást hővé alakítsa és átadja a ráerősített csővezetékben keringő munkaközegnek. Az abszorberen leggyakrabban valamilyen szelektív bevonatot alkalmaznak, amely elnyeli a Nap rövid hullámosszú sugarait, de megakadályozza az abszorber hosszú hullámosszú visszasugárzását. Az üvegfedés feladata, hogy a legkisebb lehetséges veszteséggel átértesse a Nap sugarait és egyúttal hőszigetelést biztosítson az abszorber és a környezet között. Általában edzett biztonsági üvegből készül, ritkábban, de alkalmaznak polikarbonát fedést is. A hőszigetelt kollektorház merevséget biztosít és csökkenti a kollektor hátoldali hőveszteségeit. A szigetelés általában üveg- vagy ásványgyapot. Csővezetéként rézcsöveket használnak, melyek elrendezés szerint lehetnek csőkígyós vagy párhuzamos, azaz osztó-gyűjtős (18. ábra)

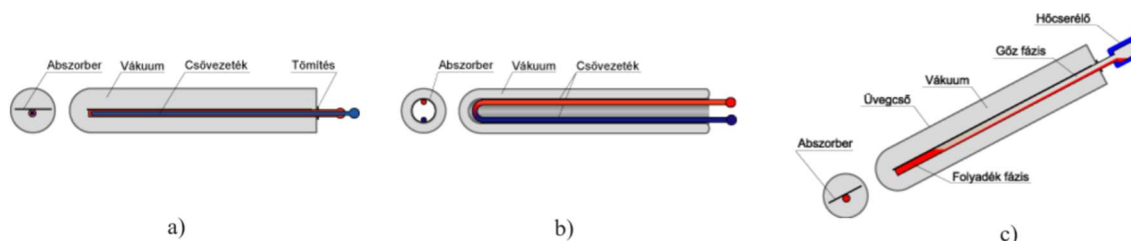


18. ábra: Napkollektor csővezeték elrendezése a) csőkígyós; b) párhuzamos ([www.naplopo.hu](http://www.naplopo.hu))

### 2.3.3. Vákuumcsöves kollektor

A vákuumcsöves napkollektorok szerkezeti kialakításuk szerint több egymással párhuzamos átlátszó üvegcsőből állnak. A csőben a levegő eltávolításával  $10^{-3}$  mbar körüli vákuumot hoznak létre (Foster, et al., 2009). A vákuum segít csökkenteni a konvektív és sugárzási hőveszteségeket. Kétféle vákuumcső megoldás létezik: a szimpla falú üvegcső és a dupla falú üvegcső. Szimpla csöves megoldás esetén a csőkivezetésnél gondoskodni kell a megfelelő tömítésről. A dupla csöves megoldás két koncentrikus üvegcsőből áll melyek közül a gyártás során eltávolítják a levegőt és lezárják.

Az abszorberlemez és a ráerősített csővezeték szerkezeti kialakítása szempontjából három megoldást különböztetünk meg (19. ábra)



19. ábra: Vákuumcsöves napkollektor abszorber és csővezeték kialakításai a) U-csöves; b) cső a csőben; c) hőcsöves  
([www.naplopo.hu](http://www.naplopo.hu))

**U-csöves:** Az abszorber lemezen U-alakban van meghajlítva, ebben áramlik a hőhordozó közeg. Két vége a kollektor felső részében kialakított osztó-gyűjtő egységhez csatlakozik.

**Cső a csőben:** Kialakítása abban különbözik az U-csöves megoldástól, hogy itt két egymásba helyezett koncentrikus cső van az abszorberre erősítve. A két cső hasonló módon az osztó-gyűjtő egységhez rögzített.

**Hőcsöves:** Az abszorber lemezre egy zárt rézcsövet helyeznek, amelyben szintén vákuum van. A cső belsejébe egy alacsony forráspontú folyadékot töltenek, amely a cső aljában felmelegedve elpárolog. A pára a cső felső felébe áramlik, ahol az ott kialakított keresztáramú hőcserélőn keresztül leadja a hőt a munkaközegnek és újra folyadék halmazállapotúvá válik, majd lecsurog a cső aljába. Ez a folyamat ciklikusan ismétlődik. A hőcsöves kollektor vízszintesen nem helyezhető el.

A vákuumcsöves napkollektorok jobb hatásfokkal működnek, mint a síkkollektorok. Jól alkalmazhatók olyan helyeken, ahol tartósan felhős idő van. A síkkollektoroknál magasabb hőmérséklettartományban alkalmazhatók, akár 77-170 °C-ig (Foster, et al., 2009).

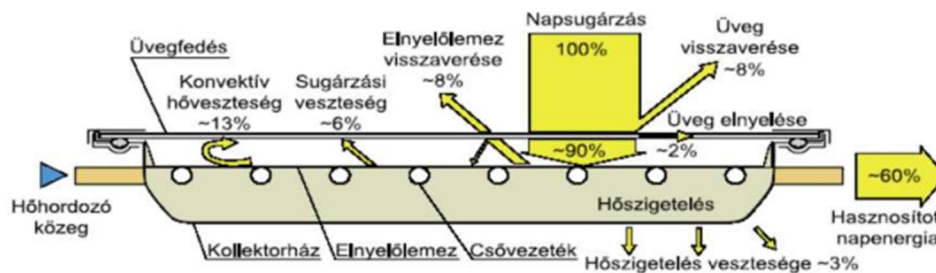
### 2.3.4. Napkollektorok hatásfoka

A gyakorlatban a kollektor felületére érkező sugárzás nem hasznosítható teljes egészében. A napkollektorok esetében is fellépnek veszteségek (20. ábra). A kollektorok leggyakoribb veszteségei az alábbiak (Véghely, 2021):

- a sugárzás begyűjtésével kapcsolatos veszteségek
- tájolási veszteségek
- reflexiók veszteségek
- szigetelési veszteségek

- vezetési veszteségek
- sugárzási veszteségek
- egyéb veszteségek

Tulajdonképpen elmondható, hogy a hatásfok a napkollektor által hasznosítható és a Napból érkező hőmennyiség aránya.



20. ábra: Napkollektor veszteségei (Horánszky, 2005)

A hatásfokot az alábbi egyenlettel írhatjuk le (Rodríguez-Hidalgo, et al., 2012):

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_m - T_a)}{G_T} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G_T} \quad (2.1)$$

ahol:

$\eta_0$  – a kollektor optikai hatásfoka

$a_1$  – elsőfokú hővesztési együttható

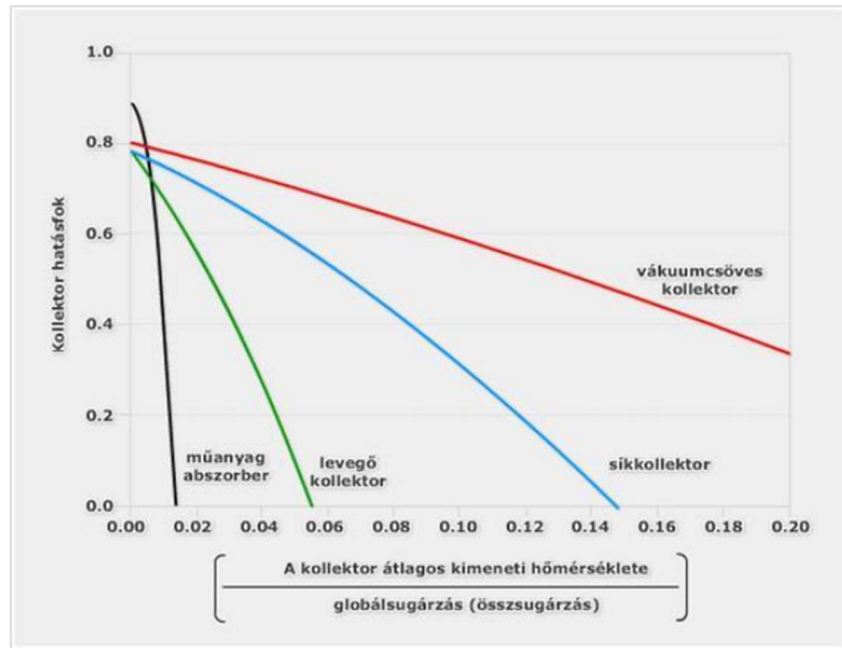
$a_2$  – másodfokú hővesztési együttható

$T_m$  – a kollektor felületének középhőmérséklete

$T_a$  – környezeti levegő hőmérséklete

$G_T$  – a kollektorfelületre érkező globálsugárzás

Az optikai hatásfokot, valamint az első- és másodfokú hővesztési együtthatókat a napkollektor gyártók adják meg a kollektor adatlapján. Értéküket nemzetközi szabványok által előírt tesztek alapján határozzák meg. A másodfokú tag a gyakorlatban nincs nagy hatással az eredményre, ezért elhanyagolható (Rodríguez-Hidalgo, et al., 2012) (Foster, et al., 2009). A kollektor felületének középhőmérsékletét nehéz mérni, így ahelyett a hőhordozó közeg átlagos kimeneti hőmérsékletét alkalmazhatjuk. Néhány napkollektor típus hatásfok görbáját a 21. ábrán láthatjuk.



21. ábra: Napkollektorok hatásfok görbéje (Tóth, 2020)

### 2.3.5. Hőtárolók

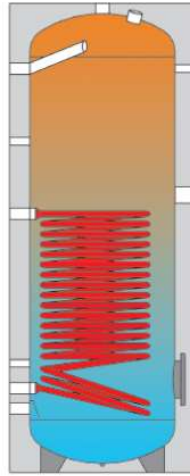
A termikus napenergia hasznosító rendszerek egy másik kulcsfontosságú eleme a begyűjtött energia tárolása, mivel a fogyasztás nem esik egy időbe a napsugárzás idejével. Továbbá a felhősödés miatt sugárzási völgyidőszak jöhet létre, valamint a pillanatnyi felhasználási igény nagyobb lehet az egyidejű termelési kapacitásnál. A kollektorok által begyűjtött energiát szoláris hőtárolókban tároljuk. A tárolókban felhasznált töltet lehet:

- folyadék
- szilárd anyag
- kémiai töltet

A gyakorlatban leginkább folyadékot, pontosabban vizet használunk, mivel nagy a fajhője, egyszerű a hőtárolás és a hasznosítás. Ráadásul maguk a fogyasztók is melegvizet igényelnek. A kollektor által begyűjtött energiát egy szigetelt víztartályban tároljuk. Szerkezeti kialakítás szerint megkülönböztetünk:

- *nyomás nélküli egykörös tároló*: túlnyomás nem léphet fel benne, csak fagymentes környezetben alkalmazható, gravitációsan keringtetjük.
- *nyomás nélküli kétkörös tároló*: a használati melegvizet a tárolóban lévő hőcserélővel fűtjük. A kollektor-körben is a tároló töltet áramlik
- *nyomás alatti egykörös tároló*: csak a nyomásállóságában különbözik a nyomás nélküli egykörös tárolótól.

- 
- *nyomás alatti kétkörös tároló*: hasonló a nyomás nélküli kétkörös tárolóhoz. A kollektor-körben fagyálló folyadék kering.



22. ábra: Kétkörös hőtároló keresztmetszeti ábrája ([www.ivarcs.hu](http://www.ivarcs.hu))

Kétkörös tárolókban (22. ábra) hőmérsékleti rétegződést alakíthatunk ki a hőcserélő megfelelő elhelyezésével. Ezáltal biztosítható a legmelegebb helyről történő vízelvétel.

Az időtartam alapján feloszthatjuk a tárolókat:

- 24 órára hatásosság - rövid idejű tároló
- egy-négy hetes hatásosság - közepes időtartamú tároló
- egész idényre hatásos - hosszú idejű tároló.

A tipikus használat és a költségek miatt a legtöbb esetben rövid idejű tárolókat alkalmaznak. A tároló térfogatát a napi melegvíz igény alapján határozhatjuk meg. A tároló beruházási költségei közel azonosak a kollektormező költségeivel, emiatt a tároló méretének optimális megválasztása jelentősen befolyásolhatja a rendszer költségeit.

## 2.4. Irányítási módszerek

A termikus napenergia hasznosító rendszerek optimális működésének biztosítása érdekében a rendszer irányítására, azon belül szabályozására van szükség.

### 2.4.1. Irányítás

A folyamatokat irányítani kell, annak érdekében, hogy a bennük zajló anyag- és energiaátalakulások a követelményeknek megfelelően alakuljanak, jöjjenek létre, szűnjenek meg. Az irányítás során a folyamatba beavatkozás történik, annak érdekében, hogy azt megállítsuk, elindítsuk, megváltoztassuk vagy a kimeneti jellemzőit a megfelelő értékek között tartsuk.

Az irányítástechnika olyan tudományág, amely ezen műveletek műszaki megvalósításával és törvényszerűségeivel foglalkozik.

Az irányítási művelet főbb funkciói, vagy részműveletei az alábbiakból állnak (Farkas, 2017) (Mizsey, 2012):

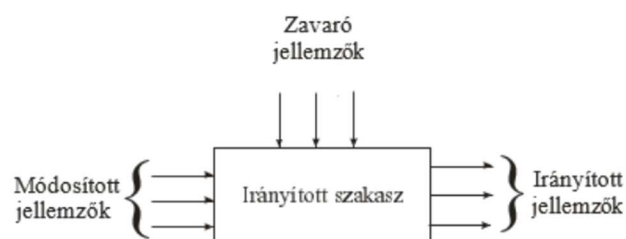
- érzékelés (E), információszerzés az irányítani kívánt feladról, vagy annak zavaró körülményeiről
- ítéletalkotás (I), döntéshozatal a szerzett információk alapján a rendelkezés szükségességéről és annak mértékéről
- rendelkezés (R), utasítás a beavatkozásra az ítéletalkotás alapján
- beavatkozás (B), az irányított folyamat bizonyos jellemzőjének módosítása a folyamat működésének befolyásolására.

Amennyiben az irányítási feladat műveleteit kezelőszemély, vagyis ember végzi, kézi irányításról beszélünk. Önműködő, azaz automatikus irányítás esetén a műveleteket teljes egészében gép végzi, az ember beavatkozása nélkül.

Az irányítási rendszer két fő elemből épül fel:

- irányított berendezés (irányított szakasz)
- irányító berendezés.

*Irányított berendezés* a rendszernek azon része, amelynek egy vagy több jellemzőjét változtatva megvalósítjuk az irányítás célt (Mizsey, 2012). Az irányított berendezés egyszerűsített vázlatát a 23. ábra mutatja.



23. ábra: Irányított berendezés (irányított szakasz) (Nemes, 2012)

Az irányított szakaszban zajló folyamatokról az ábrán látható mennyiségek segítségével kapunk tájékoztatást. Ezek a következők:

- **irányított jellemzők** – olyan célirányosan kiválasztott jellemző(k), amely(ek) által az irányítási feladatot megvalósíthatjuk
- **módosított jellemzők** – azon jellemző(k) amely(ek)et módosítunk az irányított szakasz a kívánt módon történő befolyásolása érdekében

- **zavaró jellemzők** – olyan fizikai mennyiségek, amelyeket nem tudunk vagy nem akarunk a módosításnál figyelembe venni (Nemes, 2012). A zavaró jellemzők az irányított szakasz viselkedését nem kívánatos módon befolyásolják (Farkas, 2017).

*Irányító berendezésnek* nevezzük mindazon eszközök és berendezések összességét, amelyeket annak érdekében alkalmazunk, hogy az irányított szakaszt a számunkra megfelelő módon befolyásoljuk. Főbb elemei:

- érzékelő szervek
- irányító berendezés
- beavatkozó szervek.

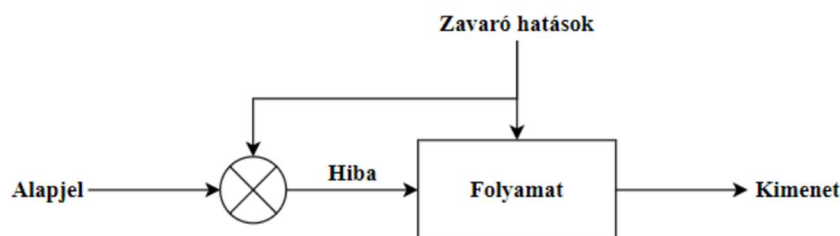
#### 2.4.2. Vezérlés és szabályozás

Az irányítási művelet megoldásának alapvetően két megközelítése létezik, a vezérlés és a szabályozás. Irányítástechnikai szempontból mindkettő ugyanazokból az elemekből épül fel. Különbség csupán a kapcsolásukban található. Mindkét esetben az ellenőrzőjelnek az alapjeltől való eltérését, azaz a hibát mérjük:

$$\varepsilon(\tau) = a(\tau) - e(\tau) \quad (2.2)$$

A hiba mértéke alapján változtatjuk a módosított jellemző értékét, beavatkozva ezzel a folyamatba, annak megváltoztatása érdekében.

*Vezérlés* esetén a zavarást mérjük, és annak az irányított jellemzőre gyakorolt nemkívánatos hatását ellensúlyozzuk. A zavaró jel az ellenőrző jel. Mivel az irányított jellemzőről nincs visszacsatolásunk ezért a vezérlés egy nyílt hatásláncú irányítás. Alkalmazása abban az esetben javasolt, ha pontosan ismerjük a mért zavarás és az irányított jellemző közötti kapcsolatot (Farkas, 2017). A vezérlés hatásvázlata a 24. ábrán látható.



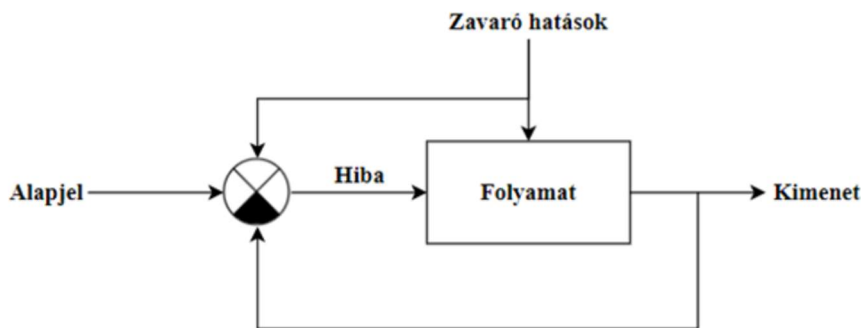
24. ábra: Vezérlés hatásvázlata (Tóth, 2020)

*Szabályozás* esetén az irányított jellemzőt akarjuk egy adott értéken tartani, így ahhoz rendelünk egy kívánt alapértéket. Az irányított jellemző értéke az ellenőrző jel. A hiba az alapjel és az irányított jellemző közötti különbség. Szabályozás során folyamatos visszacsatolásunk

van az irányított jellemzőről, ezért a szabályozás egy zárt hatásláncú irányítás. A szabályozás legfőbb feladatai a következők (Mizsey, 2012):

- értékadó szabályozás – az irányított jellemzőt egy előírt állandó értéken kell tartani
- követő szabályozás – az irányított jellemzőt az idő függvényében változtatjuk egy előírt függvény szerint
- korlátozó feltételek kielégítése
- vészjelzés és riasztás kiadása.

A szabályozás hatásvázlatát a 25. ábra szemlélteti.



25. ábra: Szabályozás hatásvázlata (Tóth, 2020)

### 2.4.3. Szabályozási stratégiák

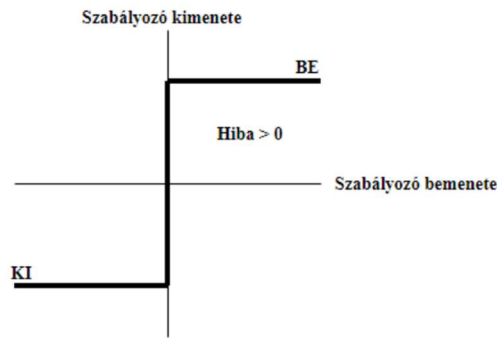
#### Állásos szabályozás

A legegyszerűbben megvalósítható szabályozás. Egyszerű szerkezeti felépítés és költséghatékony kivitelezés jellemzi. Nem folytonos működésű, ami azt jelenti, hogy a beavatkozó jel csak néhány rögzített értéket képes felvenni. Jellemzően csak kettőt: a be- és a kikapcsolás. Emiatt szokás kétállású vagy on-off szabályozásnak is nevezni. A szabályozó karakterisztikáját tekintve belátható, hogy időben gyorsan változó folyamatok esetén a szabályozó folyton ki-be kapcsol. A kétállású szabályozót az alábbi egyenlettel írhatjuk le:

$$u(\tau) = \begin{cases} 1, & \varepsilon(\tau) > 0 \\ 0, & \varepsilon(\tau) \leq 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

A szabályozó működését a 26. ábra szemlélteti.





26. ábra: Kétállású szabályozó működése (Tóth, 2020)

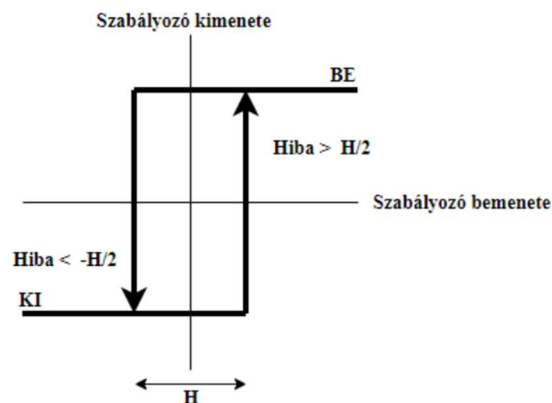
### Állásos szabályozás hiszterézissel

A gyakorlatban a be- és kikapcsolás értékét eltolják, így azok nem esnek egybe. A bekapcsolás az alapértéknél kisebb, a kikapcsolás pedig nagyobb értéken történik. Ezt kapcsolási pontok közötti különbséget hiszterézisnek hívjuk. A szabályozót leíró egyenletek az alábbiakban láthatók. Az egyenletben egy belső állapotváltozót ( $s$ ) használunk a kimeneti jel meghatározásához (Tóth, 2020).

$$u(\tau) = \begin{cases} 1, & s = 1 \\ 0, & s = 0 \end{cases} \quad (2.4a)$$

$$s = \begin{cases} 1, & s = 0 & \varepsilon(\tau) < -\frac{H}{2} \\ 0, & s = 1 & \varepsilon(\tau) > \frac{H}{2} \\ s, & \text{egyébként} \end{cases} \quad (2.4b)$$

A szabályozó működése a 27. ábrán látható.



27. ábra: Állásos szabályozó hiszterézissel (Tóth, 2020)

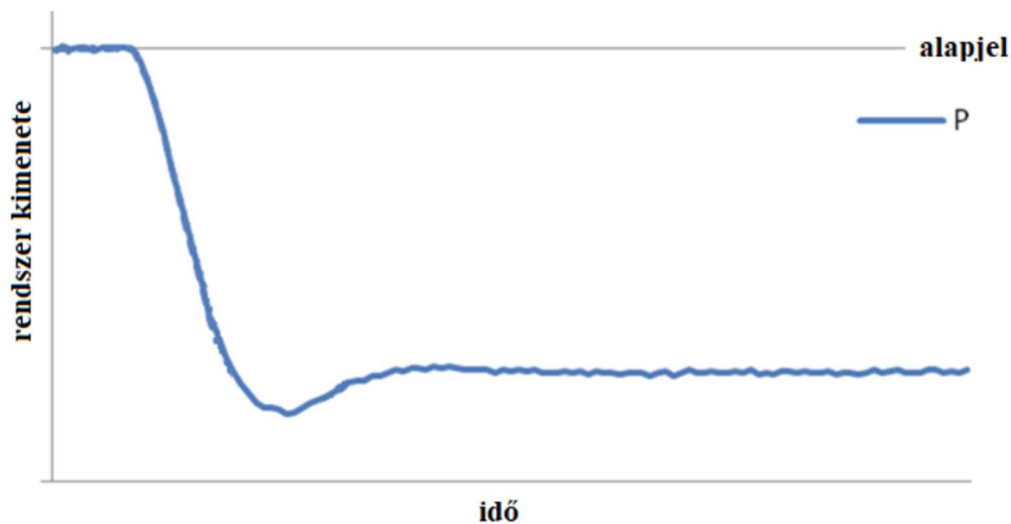
### Arányos szabályozás

Az arányos szabályozás azaz P szabályozás nevét az angol Proportional Control-ból kapta. Egy folytonos szabályozási algoritmról van szó. A jel a szabályzó kimenetén mindig arányos a hibajellel:

$$u(\tau) = K_p \cdot \varepsilon(\tau) \quad (2.5)$$

Arányos szabályozás esetén egy stabilis működés mindig beállítható. Az állandósult állapotban azonban az ellenőrző jel nem egyezik az alapjellel. Ebben az esetben a hiba értéke nulla lenne és nem történne szabályozás. Az alapjel és az ellenőrző jel közötti különbséget maradó eltérésnek nevezzük.

Az arányos szabályozás megfigyelhető a 28. ábrán.



28. ábra: Arányos szabályozás (Tóth, 2020)

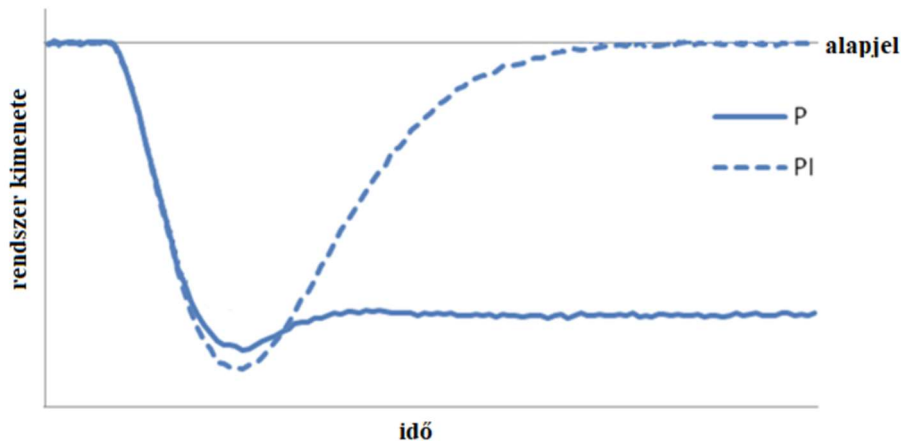
### Arányos integráló szabályozás

Az arányos integráló szabályozás angol megnevezése Proportional-Integral Control, azaz PI szabályozás szintén egy folytonos szabályozás. Megszüntethető vele a P szabályozónál említett maradó eltérés, a stabilis szabályozás biztosítása mellett. A szabályzó kimenetén megjelenő jel két komponensből áll, egyik a hibával arányos, a másik pedig a hiba idő szerinti integráljával:

$$u(\tau) = K_p \cdot \varepsilon(\tau) + K_I \cdot \int_0^{\tau} \varepsilon(t) dt \quad (2.6)$$

Arányos integráló szabályozással az idő előrehaladtával az alapjel elérhető, mivel az integráló tag kompenzálja a maradó eltérést. A PI szabályozók jól alkalmazhatók, viszont a beállási idő nem minden területhez elég alacsony.

A 29. ábrán látható az arányos integráló szabályozás és annak összehasonlítása az arányos szabályzóval.



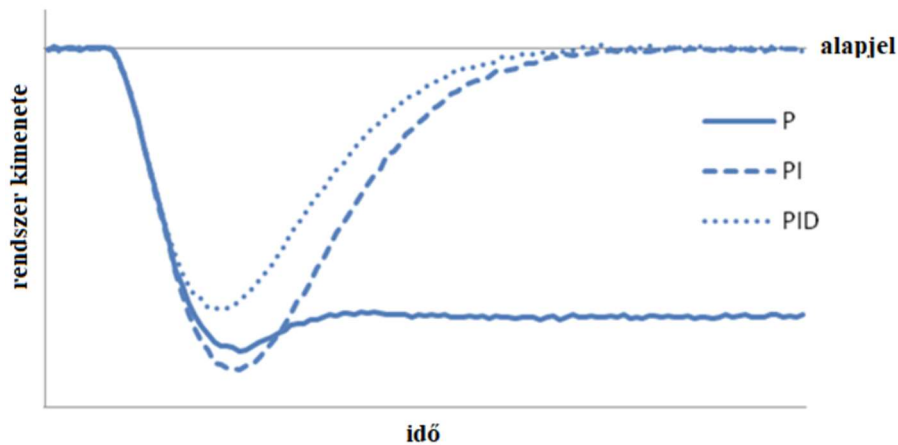
29. ábra: Arányos és arányos integráló szabályozás (Tóth, 2020)

#### Arányos integráló differenciáló szabályozás

Az arányos integráló differenciáló vagyis PID (Proportional-Integral-Derivative Control) szabályozás a legelterjedtebb (Tóth, 2020). A szabályzó kimenetén megjelenő jel három komponensből áll. Az első kettő megegyezik a PI szabályzónál látottakkal. A harmadik tag a hibajel idő szerinti deriváltjával, vagyis a hibajel változásával arányos:

$$u(\tau) = K_P \cdot \varepsilon(\tau) + K_I \cdot \int_0^{\tau} \varepsilon(t) dt + K_D \cdot \frac{d\varepsilon}{d\tau} \quad (2.7)$$

A szabályzó működése, valamint összehasonlítása a P és PI szabályzókkal a 30. ábrán látható.



30. ábra: PID, PI és P szabályozás összehasonlítása (Tóth, 2020)

---

A differenciáló tag segítségével a folyamat mellett a szabályozás sebességét is tudjuk szabályozni, mivel az a hibajel változásával arányosan avatkozik be. A PID-szabályozók a rendelkezőjelre gyorsan reagálnak, és a szabályozás során a maradó szabályozási eltérés értéke nullára csökken (Nemes, 2012). A PID szabályozók munkapont függőek. Ez azt jelenti, hogy a meghatározott  $K_P$ ,  $K_I$  és  $K_D$  együtthatók egy adott folyamat egy adott alapjelre történő beállításához használhatók (Tóth, 2020).

---

## 3 Anyag és módszer

A dolgozat ezen fejezetében bemutatásra kerül a feladat megoldásához használt módszer és szoftver, a tervezett napenergiahasznosító rendszer felépítése és működése, valamint az alkalmazott matematikai modellek.

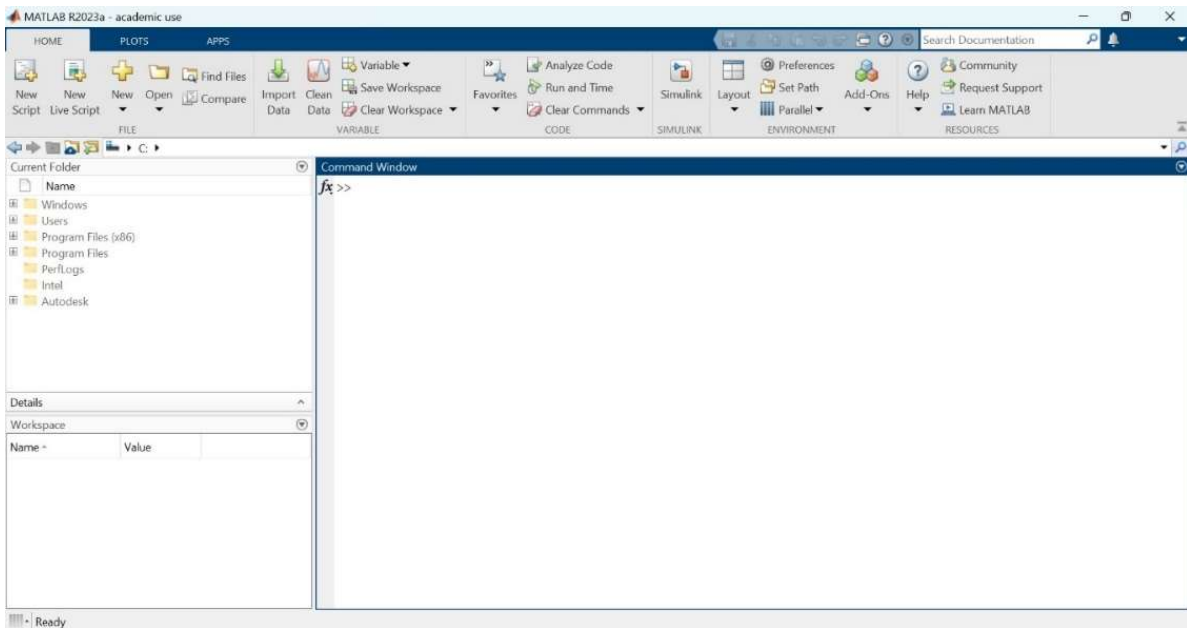
### 3.1. Blokkorientált modellezés

A blokkorientált modellezés egy olyan eljárás, amely során az adott rendszer matematikai modellje úgynevezett blokkokból van összerakva. A blokkok az analóg számítógépek esetében már ismert alaptagoknak felelnek meg, mint például összegző, szorzó, integráló tagok. A blokkok tulajdonképpen olyan be- és kimeneti változókkal rendelkező függvények, melyeknek kölcsönhatása maga a leképzett matematikai modell. A módszer egyik nagy előnye a könnyebb áttekintést biztosító, kapcsolási rajzokhoz hasonlító vizuális megjelenítés. A másik nagy előny pedig a modularitás, melynek köszönhetően, ha valamin változtatni szeretnénk a modellben, akkor csak az adott blokkokat szükséges kicserélnünk.

A számítástechnika fejlődésének köszönhetően már számos kereskedelmi forgalomban kapható szoftvercsomag létezik, amely támogatja a blokkorientált modellezési eljárást és megfelelő pontossággal képes elvégezni az adott szimulációs folyamatot. A munkám során a MATLAB + Simulink programcsomagot használtam.

A MATLAB (31. ábra) egy főként tudományos és műszaki számítások elvégzésére és az eredmények vizuális megjelenítésére kifejlesztett programozási nyelv és az azt támogató fejlesztői keretrendszer. A The MathWorks, Inc. terméke, nevét a MATrix LABoratory (mátrix laboratórium) rövidítésből kapta. Fejlesztésének kezdete az 1970-es évek elejére tehető.

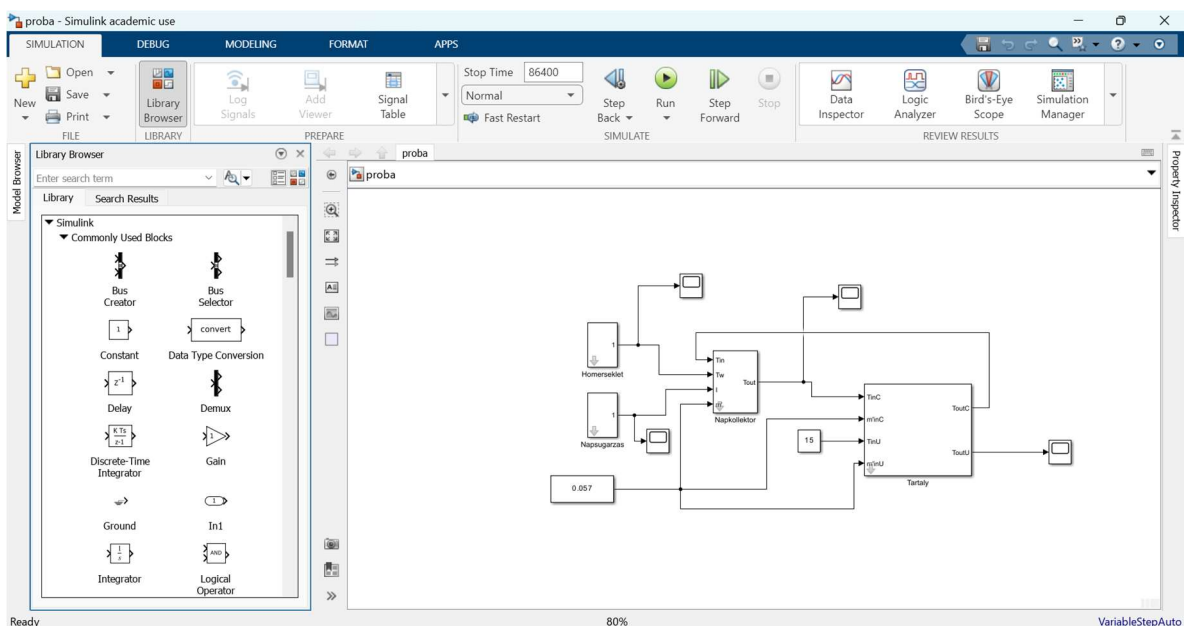
A MATLAB egy prototípusnyelv, vagyis egy algoritmus, számítás megtervezéséhez, teszteléséhez alkalmas, hiszen mind a nyelvi, mind a vizualizációt segítő eszközei megvannak, azonban ez a kényelem a sebesség rovására megy (Tóth, 2020).



31. ábra: MATLAB munkakörnyezet

A MATLAB programcsomag felhasználási köre kibővíthető a rendelkezésre álló, úgynevezett Toolboxokkal. Ilyen Toolbox a Simulink.

A Simulink (32. ábra) egy blokkorientált modellezést támogató, dinamikus rendszerek szimulációjához kifejlesztett szoftver. Tartalmazza azokat az alapvető egységeket, amelyekből egy napenergia-hasznosító rendszert leíró matematikai modellek felépíthetők, amik túlnyomó többségükben közönséges differenciálegyenletek, továbbá tartalmazza a numerikus megoldásához elterjedten alkalmazott algoritmusokat (Tóth, 2020).



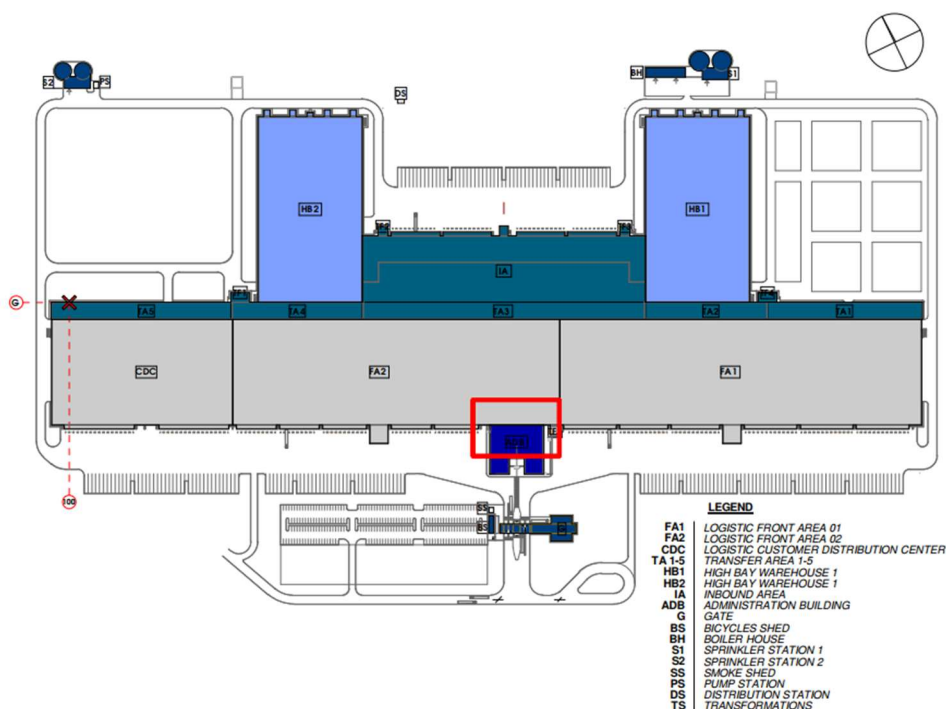
32. ábra: Simulink munkakörnyezet

## 3.2. Napkollektoros rendszer és működése

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül a tervezett napkollektoros rendszer, annak a modellezés szempontjából lényeges elemei és a rendszer működése.

### 3.2.1. A rendszer felépítése

A rendszer a Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont adminisztrációs épületének (ADB) tervezett használati melegvíz ellátó rendszere, illetve annak egy tervezett változata. Az épület átnézeti rajza a 33. ábrán látható.



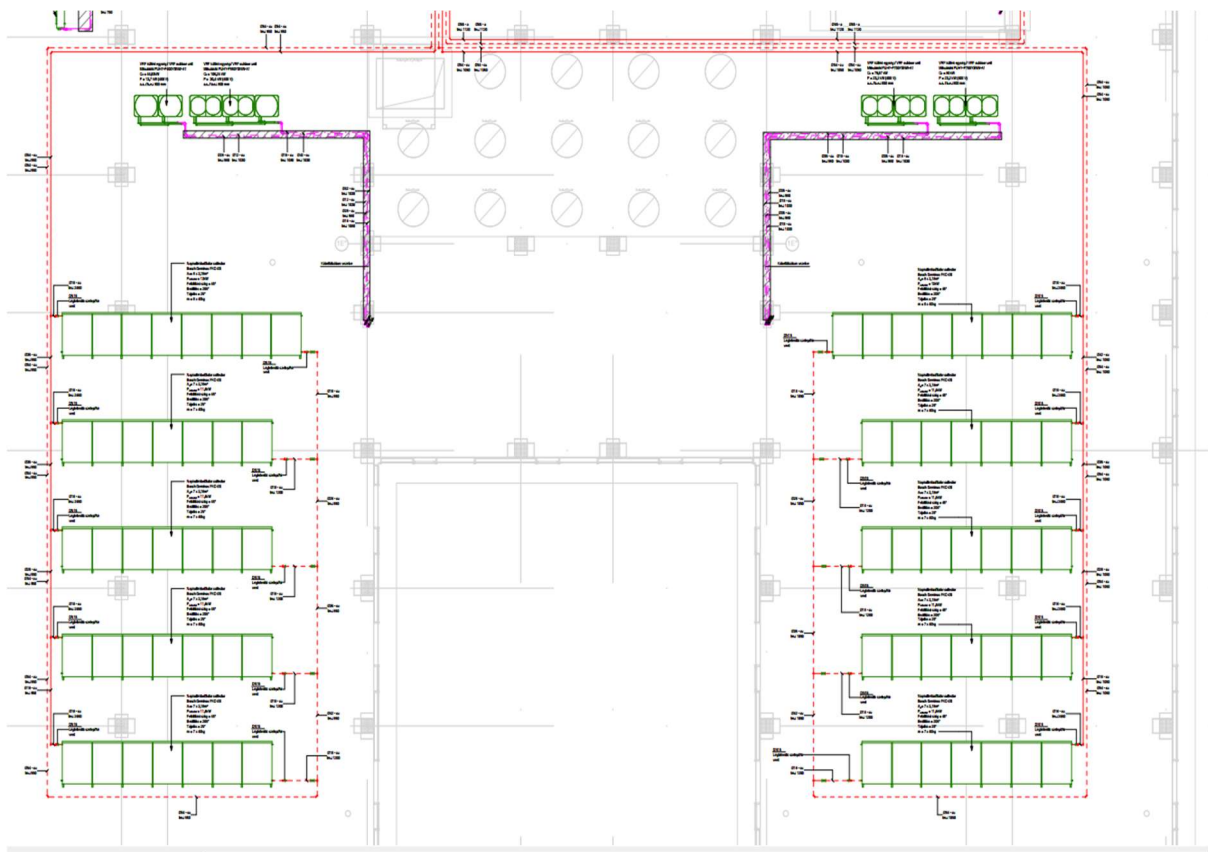
33. ábra: Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont (Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont kiviteli tervek)

Az épületrész tervezett melegvíz ellátása központi tárolókból történik. A használati melegvíz tárolási hőmérséklete 55 °C, amelyből a napi igény 15,5 m<sup>3</sup>. A melegvizet indirekt fűtésű, hőcserélős tárolóban állítjuk elő. A tárolók az épület funkciója és az azt használó személyek szokásainak statisztikai számadatai alapján kerülnek méretezésre. Műszakváltáskor 100 fő lezuhanyzására számítunk hozzávetőleg 30 perces időtartam alatt. A választott tárolóméret 2000 liter.

A melegvíz előállításához szükséges hőenergiát egy Bosch Uni Condens 8000 F 310, 283 kW teljesítményű kondenzációs állókazán biztosítja. A használati melegvíz előmelegítése céljából 120 kW névleges teljesítményű napkollektoros rendszert terveztek. A kollektorok két 2000 literes előtét tárolóban melegítik elő a használati melegvizet a kazánok által fűtött tárolóba való

belépés előtt. Az épületben cirkulációs hálózat lesz kiépítve a hőmérséklettartás miatt, amelyet a legtávolabbi fogyasztónál visszakötnek vissza a HMV vezetékre.

A kollektorok az épület tetején lesznek elhelyezve. Két kollektormező kerül kialakításra, amelyek egy-egy tárolóhoz csatlakoznak. Egy kollektormezőn 36 darab kollektor található, összesen 72. A síkkollektorok öt sorban rendeződnek el, soronként hét kollektorral, illetve nyolccal az utolsóban (34. ábra). A sorok egy közös gyűjtővezetéken keresztül vannak a tároló hőcserélőjére kötve. Fagyvédelem miatt munkaközegként 30%-os fagyálló oldatot alkalmazunk. Használati melegvíz lévén az alkalmazott fagyálló propilén-glikol, mivel más fagyállókkal ellentétben ez nem mérgező. A munkaközeg sűrűsége  $1029 \text{ kg/m}^3$ , a fajlagos hőkapacitása pedig  $3850 \text{ J/kgK}$ .



34. ábra: Kollektorok elhelyezkedése a tetőn (Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont kiviteli tervek)



### *Napkollektor*

A tervezett napkollektorok Bosch FKC-2S típusú, állókivitelű síkkollektor, rézcsöves, hárfa alakban vezetett abszorberrel, Vákuumos eljárással felvitt, magas szelektivitású PVD bevonattal és strukturált szolár biztonsági üveggel. Méretei:

- Magasság: 2017 mm
- Szélesség: 1175 mm

A kollektorok 45°-os dőlésszögben, déli tájolással a tetőn kerülnek elhelyezésre. A 35. ábrán látható a síkkollektor:



35. ábra: Bosch FKC-2S napkollektor ([www.bosch-homecomfort.com](http://www.bosch-homecomfort.com))

### Tároló

A tervezett tárolók IVAR.EURO 2000 típusú, álló kivitelű, egy hőcserélős indirekt tároló (36. ábra), 100 mm vastag VLIES elnevezésű poliészter szálból készült hőszigeteléssel. A tartály hasznos térfogata 1950 liter. A hőcserélő térfogata 26 liter, felülete 4,3 m<sup>2</sup>.



36. ábra: IVAR.EURO 2000 indirekt fűtésű tároló ([www.ivarcs.hu](http://www.ivarcs.hu))

### Keverőszelep

A hideg vagy cirkulációs vezetékről és a meleg vezetékről érkező vizet egy háromjáratú keverőszelep segítségével keverjük a megfelelő arányban. A rendszerbe egy Siemens VXG41.5001 típusú, ivóvíz használatra alkalmas, DN50 névleges átmérőjű, menetes csatlakozású keverőszelep lett betervezve, melyhez egy Siemens SAX61.03 típusú, AC/DC 24 V működtető feszültségű, DC 0 -10 V vezérlőjelű, 800 N állítóerős, elektromos szeleppállító motor tartozik (37. ábra).

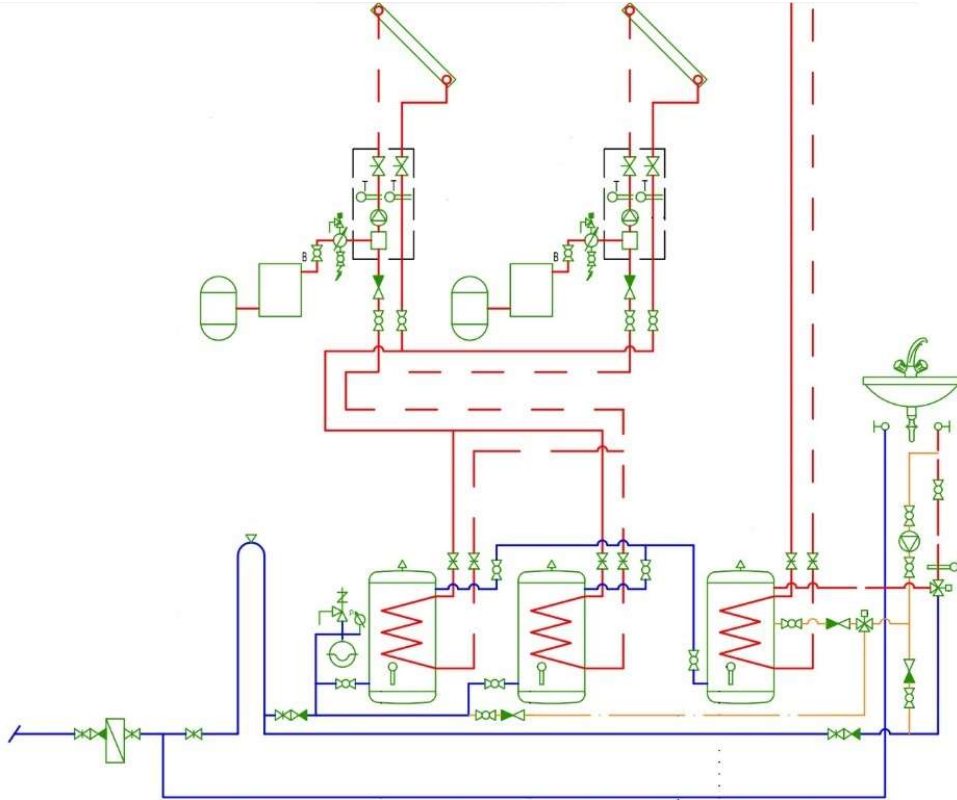


37. ábra: Siemens VXG41.5001 keverőszelep (jobbra) és Siemens SAX61.03 szeleppállító motor ([www.siemensbolt.hu](http://www.siemensbolt.hu))

### 3.2.2. A rendszer működése

A rendszer kapcsolási vázlata a 38. ábrán látható. A tetőn elhelyezett kollektorokon keresztül áramló hőhordozó munkaközeg keringtetését a kompakt hidraulikus egységek keringtető

szivattyúi végzik. A kollektormezők által elnyelt energia segítségével melegítjük a két előfűtő tartályban lévő vizet. Az itt felmelegedett vizet egy közös gyűjtővezetéken keresztül a harmadik tárolóba kötjük. A harmadik tároló melegítését a korábban említett kondenzációs gázkazán végzi, 80 °C-os fűtővízzel. Mindhárom tárolóban egy hőmérsékletérzékelő van elhelyezve.



38. ábra: Használati melegvíz rendszer kapcsolási vázlata (Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont kiviteli tervek)

A harmadik tárolóból a melegvíz egy keverőszelepen keresztül a fogyasztóhoz jut tovább. A keverőszelep másik bemenetére a hálózati hidegvizet kötjük. A keverőszelep kimenő ágán egy hőmérséklet érzékelő található. A rendszer nyomás alatt van, így benne áramlás csak abban az esetben van, ha a fogyasztóknál vízelvét történik. A hőmérséklettartás érdekében a kiépített cirkulációs hálózaton keresztül keringtetjük a vizet, amit a keverőszelep „hideg” ágán kötünk vissza a rendszerre. Vízelvét esetén, attól függően, hogy a keverőszelep kimenő ágán mennyiben tér el a hőmérséklet a kívánt 55 °C-tól, a pótlás történhet a „hideg” bemenő ágról, illetve a „meleg” bemenő ágról. Ha hőmérséklet 55 °C alá esik a keverőszelep olyan arányban nyit a „meleg” bemenő ág felé, hogy a kevert víz újra elérje a kívánt hőfokot. A szabályozni kívánt jellemző a melegvíz hőfoka a fogyasztóknál, ezért a szelepnnyitás aránya lesz a módosított jellemzőnk. Amikor a tartályokból vízelvét történik, a cirkulációs vezeték leágazásán egy váltószelepen keresztül a tartályok felé áramlik a víz.

### 3.3. Alkalmazott matematikai modellek

Ebben a fejezetben ismertetésre kerülnek azok a szakirodalomból vett validált matematikai modellek, amelyek a napkollektoros rendszer részegységeit írják le.

#### 3.3.1. Időjárás modellek

A napkollektoros rendszerek vizsgálata esetében elengedhetetlen olyan meteorológiai adatok ismerete, mint a környezeti hőmérséklet vagy a napsugárzás. Ezek az adatok kinyerhetők valós mérések eredményei alapján összeállított adatbázisokból vagy lehetnek matematikai modell által generált adatok. A mi esetünkben az utóbbit alkalmazzuk.

##### *Hőmérséklet modell*

Az alábbi validált matematikai modell (Farkas, 1999) a környezeti hőmérséklet napi eloszlását írja le egy adott napon:

$$T_w(\tau) = T_a \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12} \cdot (\tau - \tau_0)\right) + T_m \quad (3.1)$$

Az egész éves hőmérsékleteloszlást leíró modell paraméterei az alább látható további függvényekkel közelíthetők (Farkas, 1999):

$$\hat{T}_a(N_{nap}) = a_1 \cdot N_{nap}^2 + a_2 \cdot N_{nap} + a_3, \quad (3.2a)$$

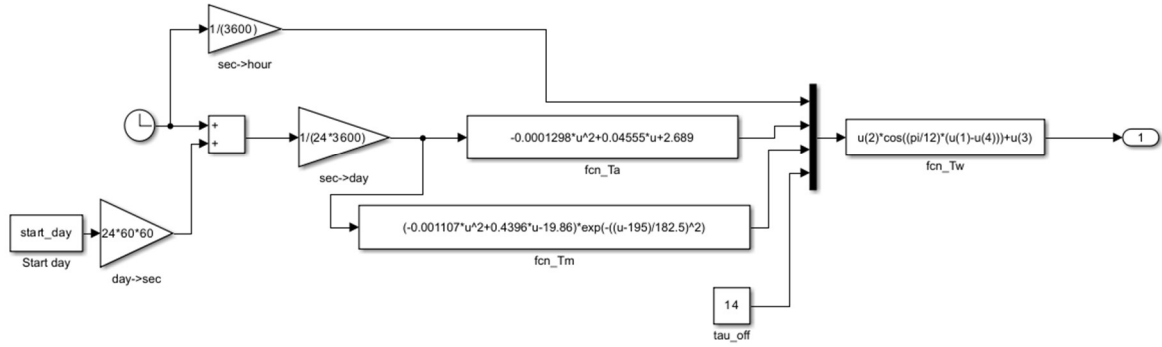
$$\hat{T}_m(N_{nap}) = (a_4 \cdot N_{nap}^2 + a_5 \cdot N_{nap} + a_6) \exp\left(-\left(\frac{N_{nap}-a_7}{182,5}\right)^2\right), \quad (3.2b)$$

$$\hat{\tau}_0 = a_8. \quad (3.2c)$$

A függvényekben található  $a$  paraméterek mérési adatok alapján lettek identifikálva, értékeik a következők:

$$\begin{aligned} a_1 &= -0,0001298, & a_2 &= 0,04555, & a_3 &= 2,689, & a_4 &= -0,001107, \\ a_5 &= 0,4396, & a_6 &= -19,86, & a_7 &= 195, & a_8 &= 14. \end{aligned}$$

A környezeti hőmérséklet modell megvalósítása Simulink környezetben a 39. ábrán látható. Paraméterként csupán a kezdeti napot szükséges beállítani.



39. ábra: Környezeti hőmérséklet modell megvalósítása Simulink környezetben

### Napsugárzás modell

Az alábbi validált matematikai modell (Farkas, 1999) segítségével leírható a napsugárzás eloszlása egy adott napon:

$$I(\tau) = \begin{cases} I_m \cos\left(\left(\frac{\pi}{2 \cdot \tau_0}\right) \cdot (\tau - \tau_0)\right) \exp\left(-\left(\frac{(\tau - \tau_0)}{\tau_h}\right)^2\right), & |\tau - \tau_0| \leq \tau_h \\ 0, & |\tau - \tau_0| > \tau_h \end{cases} \quad (3.3)$$

Az egész éves napsugárzáseloszlást leíró modell paraméterei az alább látható további függvényekkel közelíthetők (Farkas, 1999):

$$\hat{I}_m(N_{nap}) = (c_1 \cdot N_{nap}^2 + c_2 \cdot N_{nap} + c_3) \exp\left(-\left(\frac{N_{nap} - c_4}{182,5}\right)^2\right), \quad (3.4a)$$

$$\hat{\tau}_h(N_{nap}) = c_5 \cdot N_{nap}^2 + c_6 \cdot N_{nap} + c_7, \quad (3.4b)$$

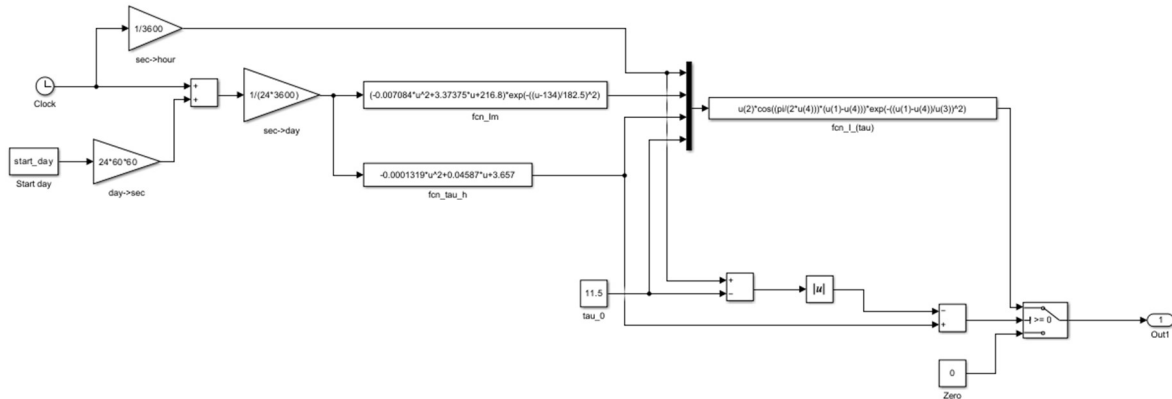
$$\hat{\tau}_0 = c_8. \quad (3.4c)$$

A függvényekben található  $c$  paraméterek mérési adatok alapján lettek identifikálva, értékeik a következők:

$$c_1 = -0,007084, \quad c_2 = 3,7375, \quad c_3 = 216,8, \quad c_4 = 134,$$

$$c_5 = -0,0001319, \quad c_6 = 0,04587, \quad c_7 = 3,657, \quad c_8 = 11,5.$$

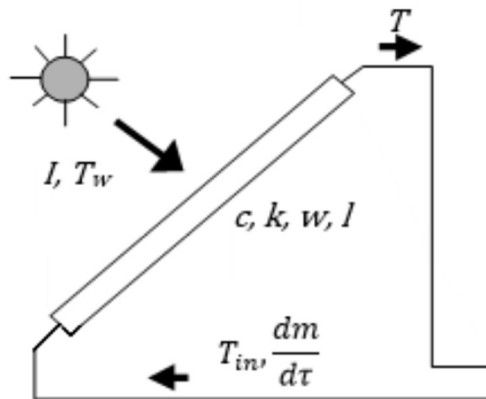
A napsugárzás modell megvalósítása Simulink környezetben a 40. ábrán látható. Paraméterként csupán a kezdeti napot szükséges beállítani.



40. ábra: Napsugárzás modell megvalósítása Simulink környezetben

### 3.3.2. Napkollektor modell

A termikus napenergia hasznosító rendszerek egyik fő eleme a napkollektor, aminek feladata a napsugárzás energiájának átalakítása hővé. A napkollektor működésének leírására több matematikai modell is létezik. Egyik ilyen a Hottel-Whiller modell, amely tulajdonképpen az áramló munkaközeg hőmérséklet-eloszlását számolja ki a kollektor hossza mentén (Farkas, 1999). A napkollektor sematikus ábrája a 41. ábrán látható.



41. ábra: Napkollektor sematikus ábrázolása

A Hottel-Whillier modellt leíró egyenlet alakja a következő:

$$T_{co}(\tau, l) = T_w(\tau) + \frac{I(\tau)}{\kappa_{aw}} + \left( T_{ci}(\tau) - T_w(\tau) - \frac{I(\tau)}{\kappa_{aw}} \right) \exp \left( - \frac{\kappa_{mw} \cdot w \cdot l}{c \cdot \frac{dm}{d\tau}} \right) \quad (3.5)$$

ahol:

$c$ - a közeg fajhője  $\left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$

$I$ - a napsugárzás mértéke  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

$\frac{dm}{d\tau}$ - a közeg tömegárama  $\left[ \frac{kg}{s} \right]$

$T_{ci}$ - a kollektorba belépő közeg hőmérséklete  $[^\circ C]$

$T_{co}$ - a kollektorból kilépő közeg hőmérséklete  $[^\circ C]$

$T_w$ - környezeti hőmérséklet  $[^\circ C]$

$l$ - a kollektor hossza  $[m]$

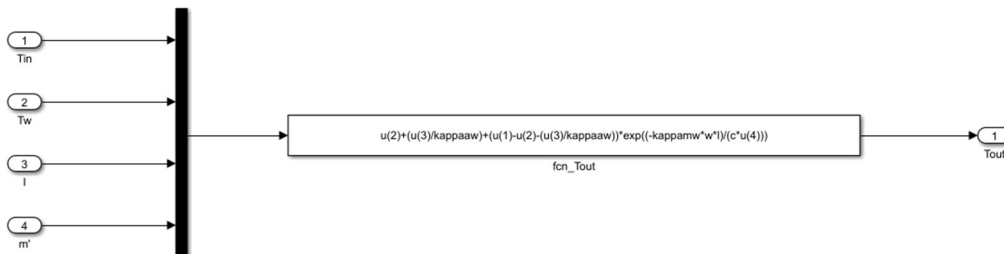
$w$ - a kollektor szélessége  $[m]$

$\tau$ - idő  $[s]$

$\kappa_{aw}$ - hőátadási tényező az abszorber és a környezet között  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$\kappa_{mw}$ - hőátadási tényező a munkaközeg és a környezet között  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

A modell megvalósítása Simulink környezetben a 42. ábrán látható. Paraméterként szükséges megadni a napkollektor méreteit (szélesség és hosszúság), a hőszállító közeg fajhőjét, a hőátviteli tényezőt a munkaközeg és a környezet között, valamint az abszorber és a környezet között és a kezdeti hőmérsékletet.

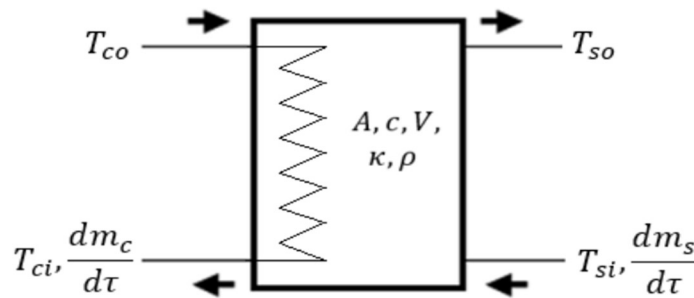


42. ábra: Hottel-Whillier modell megvalósítása Simulink környezetben

A Hottel-Whiller modell a szükséges szimulációs vizsgálatokhoz kielégítően pontos eredményt biztosít, azonban jóval kevesebb számítási kapacitást igényel más modellekkel szemben (Tóth & Farkas, 2019).

### 3.3.3. Tároló modell

A szimulált rendszerünkben a tárolók kétkörös tárolók, vagyis hőcserélővel ellátottak. A hőcserélős tárolót leíró matematikai modell (Farkas, 1999) egy két egyenletből álló egyenletrendszer. Külön van modellezve a hőcserélő és a tároló. A kettő egymásra gyakorolt hatása az egyenletekből látható. A tároló sematikus ábrázolása a 43. ábrán látható:



43. ábra: Hőcserélős tároló sematikus ábrázolása

A modellt leíró egyenletrendszer pedig a következőképpen néz ki:

$$T_{ci}(\tau) = (T_{co}(\tau) - T_{so}(\tau)) \exp\left(-\frac{\kappa \cdot A}{c_c \cdot \frac{dm_c}{d\tau}}\right) + T_{so}(\tau), \quad (3.6a)$$

$$c_s \cdot V \cdot \rho \cdot \frac{dT_{so}}{d\tau} = c_s \cdot \frac{dm_s}{d\tau} \cdot (T_{si}(\tau) - T_{so}(\tau)) + c_c \cdot \frac{dm_c}{d\tau} \cdot (T_{co}(\tau) - T_{ci}(\tau)). \quad (3.6b)$$

ahol:

$c_c$ - a munkaközeg fajhője  $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$

$c_s$ - a használati melegvíz fajhője  $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$

$\rho$ - a használati melegvíz sűrűsége  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$V$ - a tároló térfogata  $[m^3]$

$A$ - a hőcserélő hőleadó felülete  $[m^2]$

$\kappa$ - hőátadási tényező a hőtároló közeg és a környezet között  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$\frac{dm_c}{d\tau}$ - a munkaközeg tömegárama  $\left[\frac{kg}{s}\right]$



$\frac{dm_s}{dt}$ - a használati melegvíz tömegárama  $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$\tau$ - idő [s]

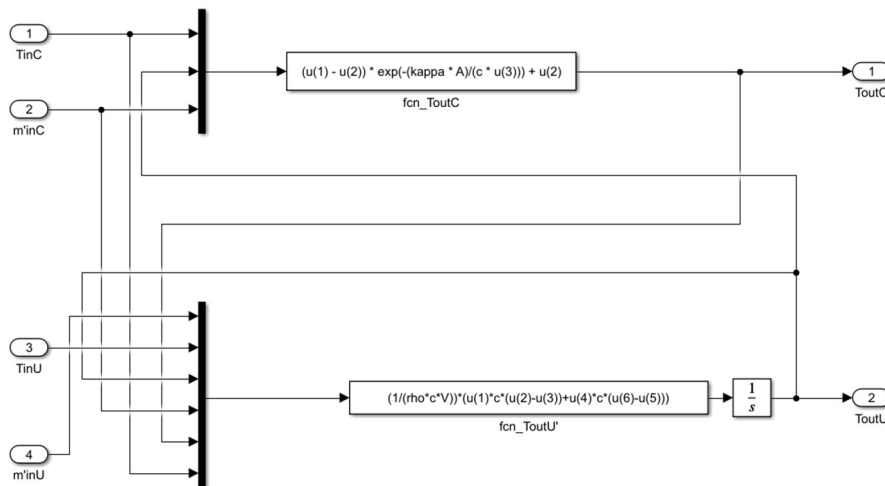
$T_{co}$ - a csőkígyóba belépő munkaközeg hőmérséklete [°C]

$T_{ci}$ - a csőkígyóból kilépő munkaközeg hőmérséklete [°C]

$T_{si}$ - a tárolóba belépő víz hőmérséklete [°C]

$T_{so}$ - a tárolóból kilépő víz hőmérséklete [°C].

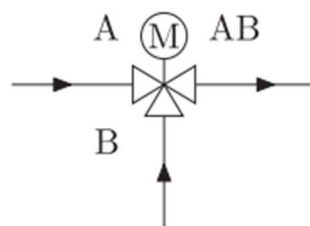
A 44. ábrán látható a modell Simulink környezetben megvalósítva. Paraméterként az alábbiakat szükséges megadni: a munkaközeg fajhője, a használati melegvíz fajhője, a használati melegvíz sűrűsége, a hőcserélő hőleadó felülete, a tároló térfogata, a hőátadási tényező és a kezdeti hőmérséklet.



44. ábra: Hőcserélős hőtároló modell megvalósítása Simulink környezetben

### 3.3.4. Keverőszelep modell

Az alábbiakban a 45. ábra szemlélteti a termosttikus keverőszelep működését. Az A és a B bemeneten beáramló folyadékok keveréke az AB kimeneten kiáramlik. A célunk, hogy az AB kimeneten a szabályozás segítségével az A és a B beáramló folyadékok megfelelő arányban keveredjenek, ahhoz, hogy a kívánt hőmérsékletet tartani tudjuk az AB kimeneten.



45. ábra: Termosttikus keverőszelep szemléltetése (Füster, et al., 2020)

A működést leíró matematikai modell (Fürst, et al., 2020) a következőképpen néz ki:

$$V \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{dT_{AB}(\tau)}{d\tau} = c \cdot \frac{dm_A}{d\tau} \cdot T_A(\tau) + c \cdot \frac{dm_B}{d\tau} \cdot T_B(\tau) - c \cdot \frac{dm_{AB}}{d\tau} \cdot T_{AB}(\tau) \quad (3.7)$$

ahol:

$V$ - a keverőszelep térfogata [ $m^3$ ]

$\rho$ - a víz sűrűsége [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$c$ - a víz fajhője [ $\frac{J}{kg \cdot K}$ ]

$\frac{dm_A}{d\tau}$ - az A bemenet tömegárama [ $\frac{kg}{s}$ ]

$\frac{dm_B}{d\tau}$ - a B bemenet tömegárama [ $\frac{kg}{s}$ ]

$\frac{dm_{AB}}{d\tau}$ - az AB kimenet tömegárama [ $\frac{kg}{s}$ ]

$T_A$ - az A bemenet hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ]

$T_B$ - a B bemenet hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ]

$T_{AB}$ - az AB kimenet hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ].

Ahhoz, hogy a keverőszelep kimeneti hőmérsékletét megfelelő értéken tudjuk tartani, szabályoznunk kell, hogy az A és a B bemeneten beáramló folyadékok milyen arányban keveredjenek. Annak érdekében, hogy ezt meg tudjuk tenni, a modellt az alábbi formában módosítjuk:

$$V\rho c \frac{dT_{AB}(\tau)}{d\tau} = \left(\frac{dm_A}{d\tau}\right)' T_A(\tau) + c \left(\frac{dm_B}{d\tau}\right)' T_B(\tau) - c \left(\frac{dm_{AB}}{d\tau}\right)' T_{AB}(\tau) \quad (3.8a)$$

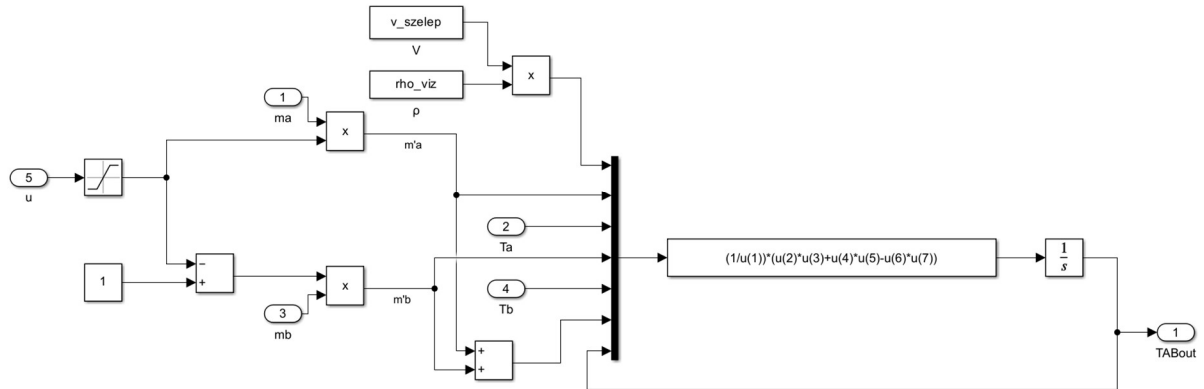
$$\left(\frac{dm_{AB}}{d\tau}\right)' = \left(\frac{dm_A}{d\tau}\right)' + \left(\frac{dm_B}{d\tau}\right)' \quad (3.8b)$$

$$\left(\frac{dm_A}{d\tau}\right)' = u \cdot \frac{dm_A}{d\tau} \quad (3.8c)$$

$$\left(\frac{dm_B}{d\tau}\right)' = (1 - u) \cdot \frac{dm_B}{d\tau} \quad (3.8d)$$

A bevezetett  $u$  együttható segítségével tudjuk a beáramló mennyiségek keverési arányát szabályozni a kívánt kimeneti hőmérséklet elérése és tartása érdekében. Az  $u$  együttható az alábbi értékeket veheti fel:  $u \in [0,1]$ .

A szabályozható keverőszelep modelljének Simulink környezetben történt megvalósítását a 46. ábra szemlélteti.



46. ábra: Keverőszelep megvalósítása Simulink környezetben

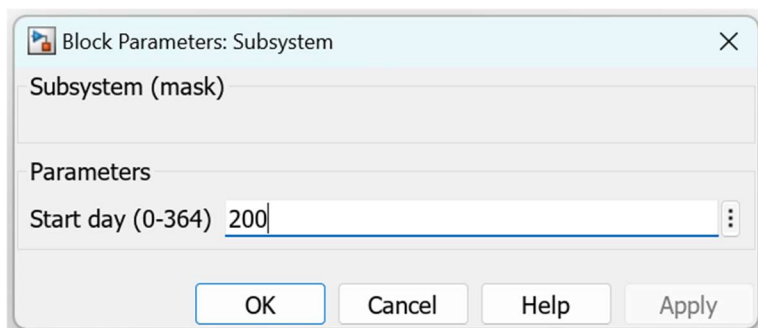
A modellben paraméterként a keverőszelep térfogatát és a víz sűrűségét kell megadnunk.

## 4 Eredmények

Ebben a fejezetben bemutatom az alkalmazott matematikai modellek Simulink blokkokból összerakott modelljét, az ezekből a modellekből összerakott termikus napenergiahasznosító rendszert és ezek szimulált működését, a szimulációk eredményeit, a kiválasztott szabályozási stratégia megvalósítását, és a szabályozás eredményét.

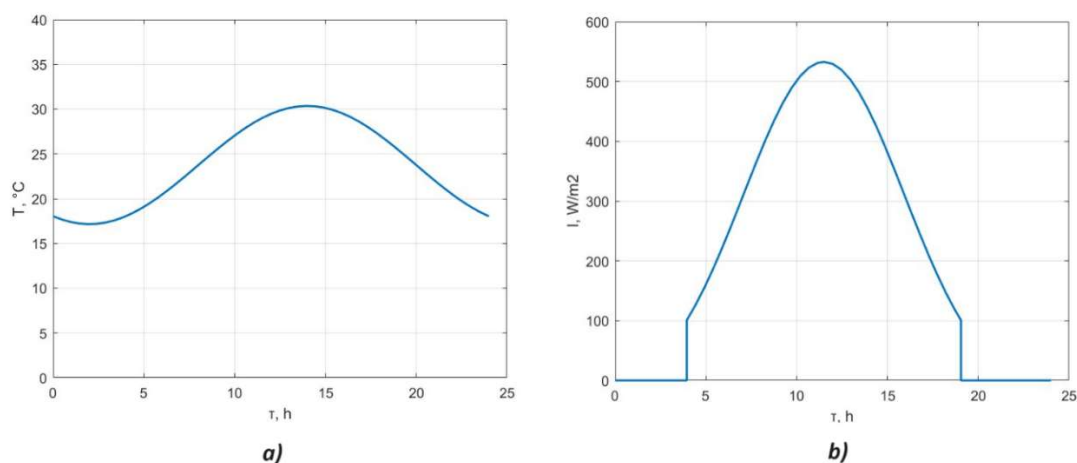
### 4.1. Időjárási adatok

A 3.3.1-es fejezetben bemutatott időjárási modellek alapján megtekintjük, hogy egy kiválasztott napon hogyan néz ki a napi hőmérséklet- és napsugárzás eloszlás. A szimulációhoz egy átlagos nyári napot, mégpedig július 19.-ét választottam, ami az év 200. napja (47. ábra).



47. ábra: Időjárás blokkok beállítása

A kiválasztott napra a 48. ábrán látható a hőmérsékleteloszlás (a) és a napsugárzáseloszlás (b).



48. ábra: a) hőmérsékleteloszlás és b) napsugárzáseloszlás július 19.-én

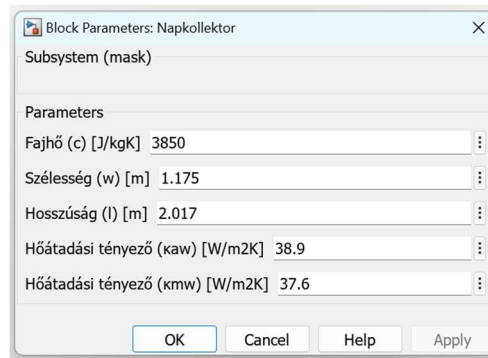
### 4.2. Napkollektor szimulációja

A következőkben megvizsgáltam, hogy hogyan alakul a napkollektorból kilépő munkaközeg hőmérséklete. Először egy napkollektor esetében, majd a sorba kötött kollektorokra, végül pedig a teljes kollektormezőre.

#### 4.2.1. Hőmérsékleteloszlás egy napkollektor esetében

Először megvizsgáltam, hogy egy napkollektor esetében, a kiválasztott napon hogyan alakul a hőmérsékleteloszlás az alábbi beállításokkal (49. ábra):

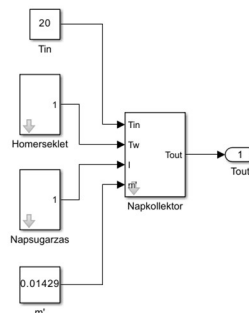
- kezdeti hőmérséklet: 20 °C,
- fajhő: 3850 J/kgK,
- szélesség: 1,175 m,
- hosszúság 2,017 m,
- hőátadási tényező az abszorber és a környezet között: 38,9 W/m<sup>2</sup>K,
- hőátadási tényező a munkaközeg és a környezet között: 37,6 W/m<sup>2</sup>K,
- tömegáram: 0,01429 kg/s.



49. ábra: Napkollektor blokk beállítása

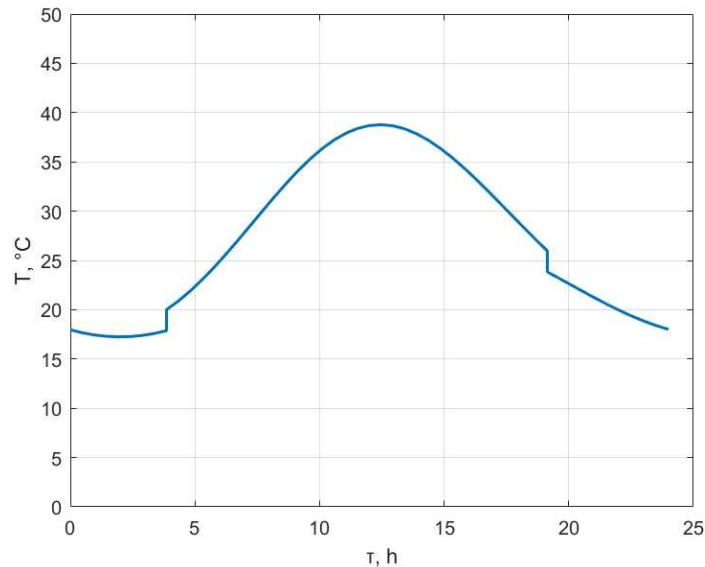
A tömegáramot a napkollektor katalógus adatai alapján határoztam meg az egy napkollektorra vonatkozó névleges tömegáramra. A  $\kappa_{aw}$  és  $\kappa_{mw}$  pontos meghatározásához paraméteridentifikációra volna szükség az adott napkollektorra, amihez mérések szükségesek. Sajnos a munkám elkészítése során nem volt alkalmam ilyen méréseket elvégezni, így a szakirodalomból (Tóth & Farkas, 2019) átvett adatokkal dolgoztam.

A szimulációhoz összerakott részmodell a 50. ábrán látható:



50. ábra: Napkollektor modell szimulációja

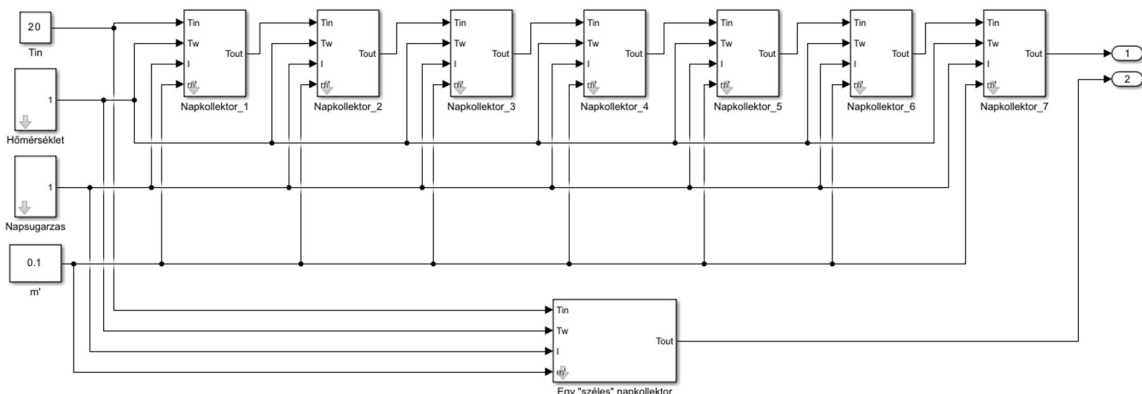
A szimuláció alapján a napkollektor napi hőmérsékleteloszlása a 51. ábrán látható:



51. ábra: Napkollektor napi hőmérsékleteloszlása

#### 4.2.2. Hőmérsékleteloszlás napkollektorok soros kötése esetén

A kollektormezők kialakítása esetében (34. ábra) a sorba kötött napkollektorok modellezése esetén két lehetséges módot vizsgáltam meg. Az egyik szerint a kollektorokat úgy kötöttem sorba, hogy az egyik kollektor kilépő hőmérsékletét a következő kollektor bemenő hőmérsékletére kötöttem. A másik megközelítés szerint a sorokra úgy tekintettem, mint egy-egy „széles” kollektorra és a bemenő paraméterek esetén a kollektorok összeadott szélességét adtam meg (52. ábra).

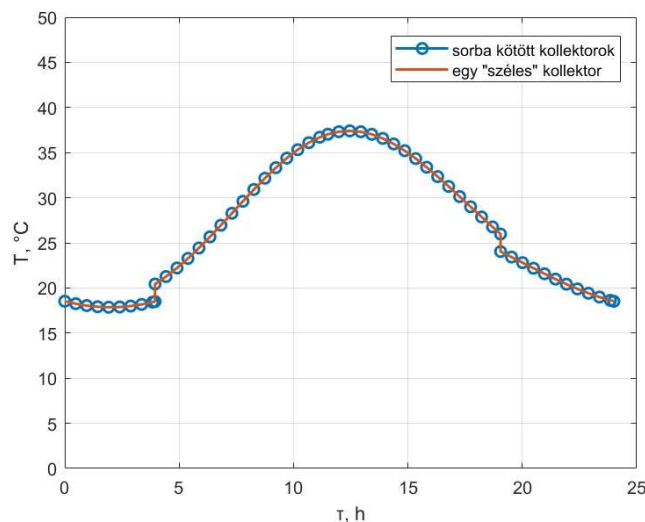


52. ábra: Sorba kötött napkollektorok szimulációja

A szimulációt az alábbi paraméterekkel futtattam le:

- kezdeti hőmérséklet: 20 °C
- egy kollektor hosszúsága: 2,017 m
- egy kollektor szélessége: 1,175 m
- fajhő: 3850 J/kgK,
- hőátadási tényező az abszorber és a környezet között: 38,9 W/m<sup>2</sup>K,
- hőátadási tényező a munkaközeg és a környezet között: 37,6 W/m<sup>2</sup>K,
- tömegáram: 0,1 kg/s.

A szimuláció eredménye mutatja, hogy a két megközelítéssel egymással megegyező eredményt kapunk (53. ábra). Emiatt a továbbiakban, a szükséges számítási kapacitás csökkentése érdekében a második megközelítést alkalmaztam.



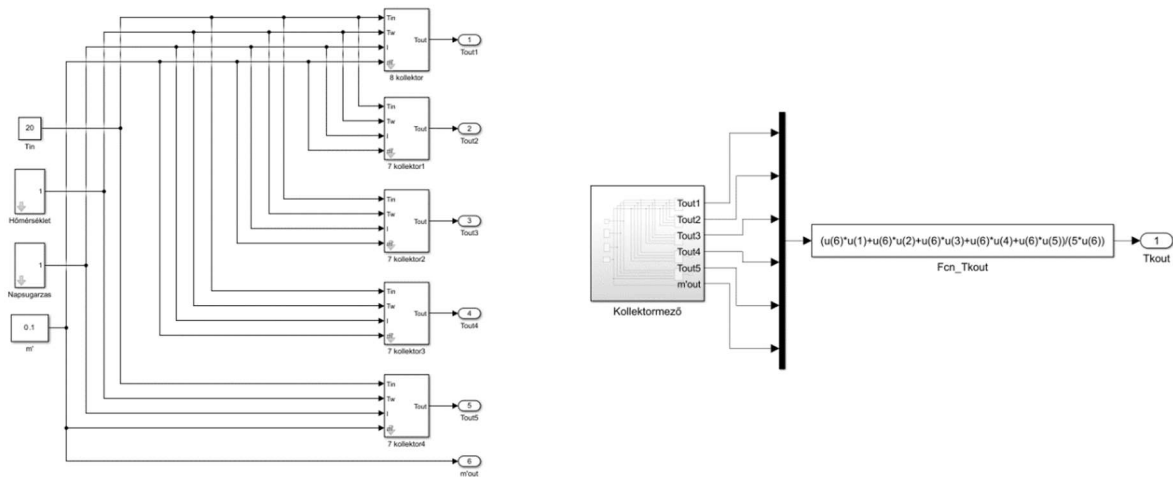
53. ábra: Sorba kötött napkollektorok szimulációjának eredménye

#### 4.2.3. Hőmérsékleteloszlás napkollektorok párhuzamos kötése esetén

A kollektorsorok egy közös gyűjtővezetékre csatlakoznak mely vezeték azután az egyik tároló hőcserélőjének bemenetére csatlakozik. A közös gyűjtővezetékben áramló munkaközeg hőmérsékletét a modellezés során úgy tekintetem, mint a kollektorsorok kimeneti hőmérsékletének keverékét, amelyet az alábbi egyenlettel vettem figyelembe (Gausz & Sánta, 2011):

$$T_k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{dm_i}{d\tau} \cdot c_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n \frac{dm_i}{d\tau} \cdot c_i} \quad (4.1)$$

Az esetünkben, mivel a fajhőt és a tömegáramot állandónak tekintjük ez tulajdonképpen a kollektorsorok kimenő hőmérsékletének az átlagát jelenti. A kollektormező Simulink környezetben történő megoldása az 54. ábrán látható.



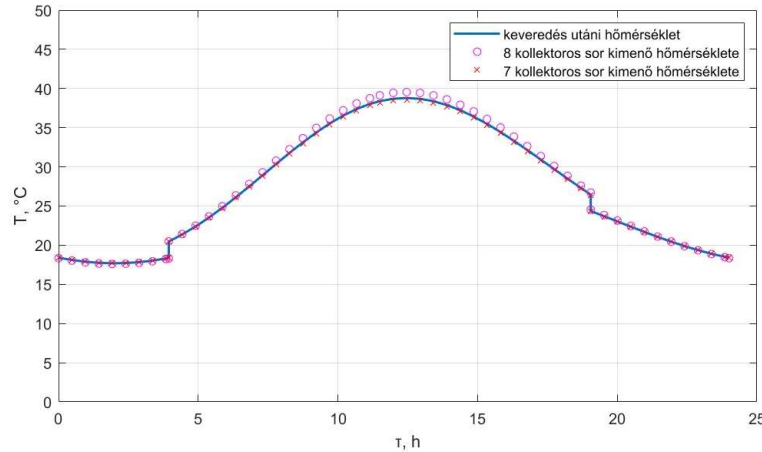
54. ábra: a) kollektormező; b) közös gyűjtővezetékre csatlakozás szimulációja

A szimulációt az alábbi paraméterekkel futtattam le:

- kezdeti hőmérséklet: 20 °C
- egy kollektor hosszúsága: 2,017 m
- egy kollektor szélessége: 1,175 m
- fajhő: 3850 J/kgK,
- hőátadási tényező az abszorber és a környezet között: 38,9 W/m<sup>2</sup>K,
- hőátadási tényező a munkaközeg és a környezet között: 37,6 W/m<sup>2</sup>K,
- tömegáram: 0,1 kg/s.



A szimuláció eredménye a 55. ábrán látható. Összehasonlításuként az ábrán szerepel egy nyolc kollektorból és egy hét kollektorból álló kollektorsor is.



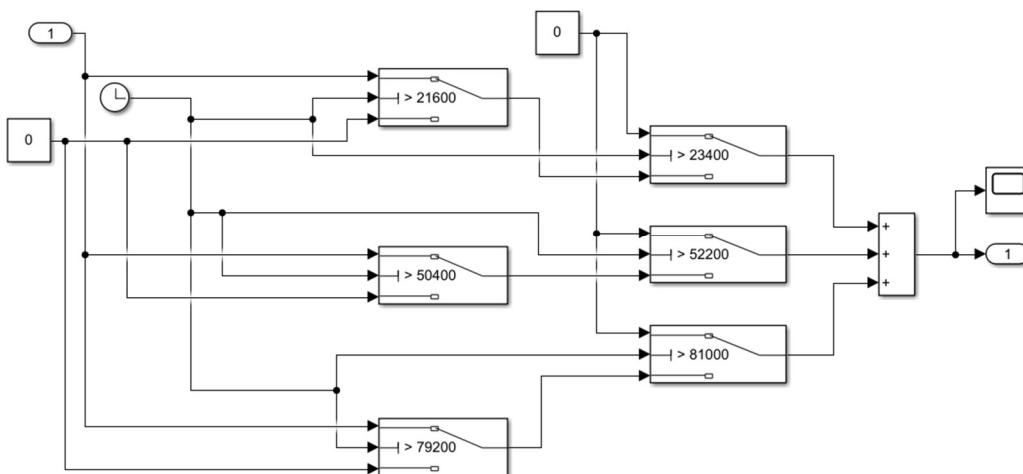
55. ábra: Kollektorsorokból kiáramló és a közös gyűjtővezetéken áramló munkaközeg hőmérsékleteloszlása

### 4.3. Tárolók szimulációja

A továbbiakban megvizsgáltam a szolár tárolók és a gázkazánnal fűtött tároló hőmérsékleteloszlását egy napra vetítve.

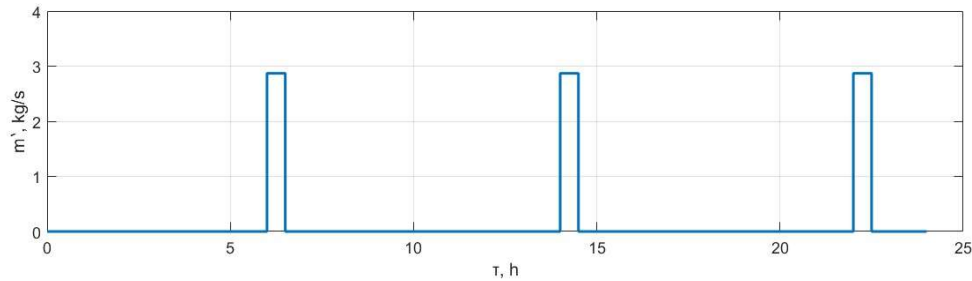
#### 4.3.1. Fogyasztás figyelembevétele

A napi melegvízfogyasztás pontos alakulásáról nincsenek adataink, ezért a tervezés során megadott adatok alapján dolgoztam. A 3.2.1. fejezetben leírtak szerint műszakváltásonként 30 percen keresztül van szükség melegvízre, összesen 15,5 m<sup>3</sup>-re naponta. Ezek alapján a számított tömegáram 2,87 kg/s. A fogyasztás időszakos jellegét az 56. ábrán látható modell segítségével vettem figyelembe.



56. ábra: Melegvízfogyasztás időszakos jellegének szimulációja

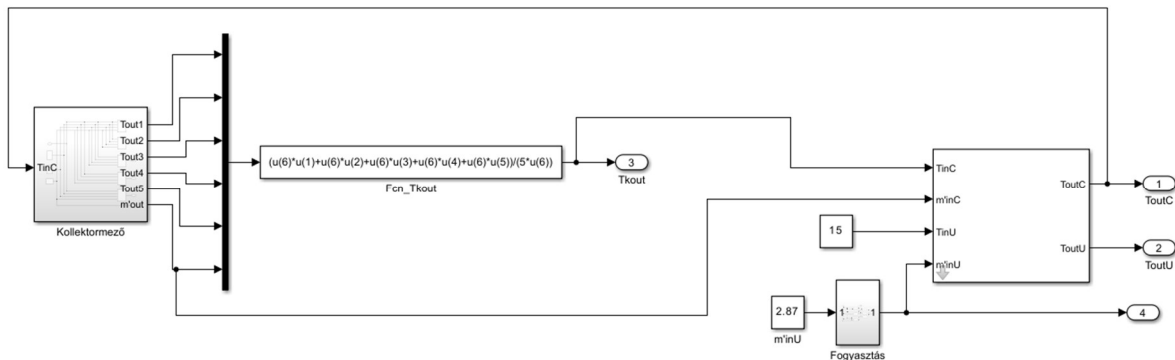
A szimuláció eredménye a 57. ábrán látható, ahol észrevehető, hogy a tömegáram ugrásszerűen jelenik meg és van jelen a megadott időpontokban.



57. ábra: Melegvízfogyasztás eloszlása egy napra

#### 4.3.2. Szolár tárolók

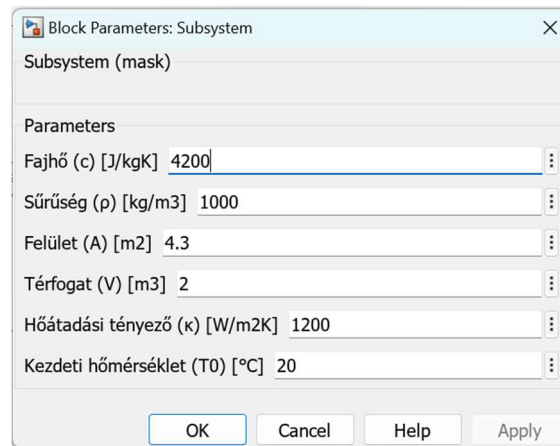
A szolár tárolók hőmérsékleteloszlását a kollektorokkal összeállított modellben vizsgáltam. A kollektorokat a korábbi beállításokkal a tartállyal egy rendszerbe kapcsolatom a 58. ábrán látható modell szerint.



58. ábra: Szolár tárolók szimulációja

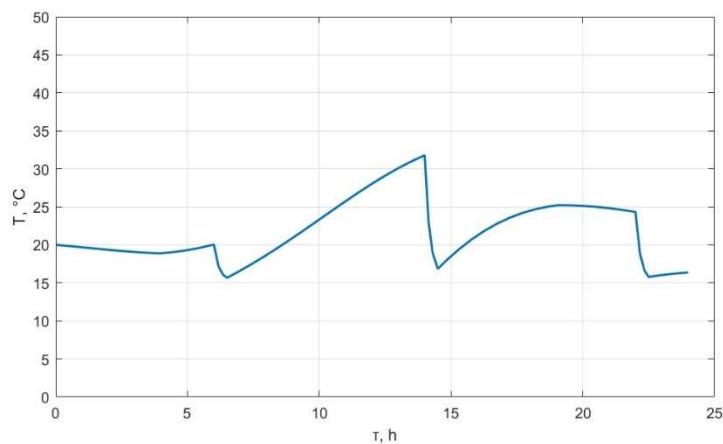
A szimulációt a tároló modelljének az alábbi beállításával végeztem el (59. ábra):

- fajhő: 4200 J/kgK
- sűrűség: 1000 kg/m<sup>3</sup>
- hőcserélő felülete: 4,3 m<sup>2</sup>
- tároló térfogata: 2 m<sup>3</sup>
- hőátadási tényező: 1200 W/m<sup>2</sup>K
- kezdeti hőmérséklet: 20 °C



59. ábra: Tároló blokk beállítása

A  $\kappa$  hőátadási tényezőre vonatkozó adatot a szakirodalomból vettem át (Tóth & Farkas, 2019). A szimuláció eredménye a 60. ábrán látható.

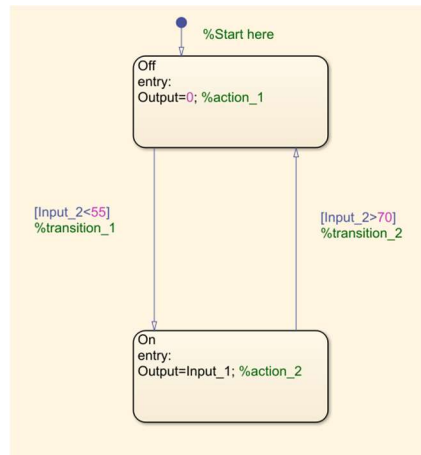


60. ábra: Szolár tárolók hőmérsékleteloszlása

### 4.3.3. Gázkazánnal fűtött tároló

A két napkollektorokkal fűtött tárolóból a víz egy harmadik kiegészítő fűtéssel ellátott tárolóba áramlik. Esetünkben a kiegészítő fűtés egy kondenzációs gázkazánról történik, melynek előremenő hőmérséklete 80 °C, tömegárama pedig 3,3889 kg/s. A szimulációhoz a szolár tárolóknál is alkalmazott modellt alkalmaztam azzal a különbséggel, hogy a hőcserélő oldalról az állandó bemenő hőmérsékletet állítottam be.

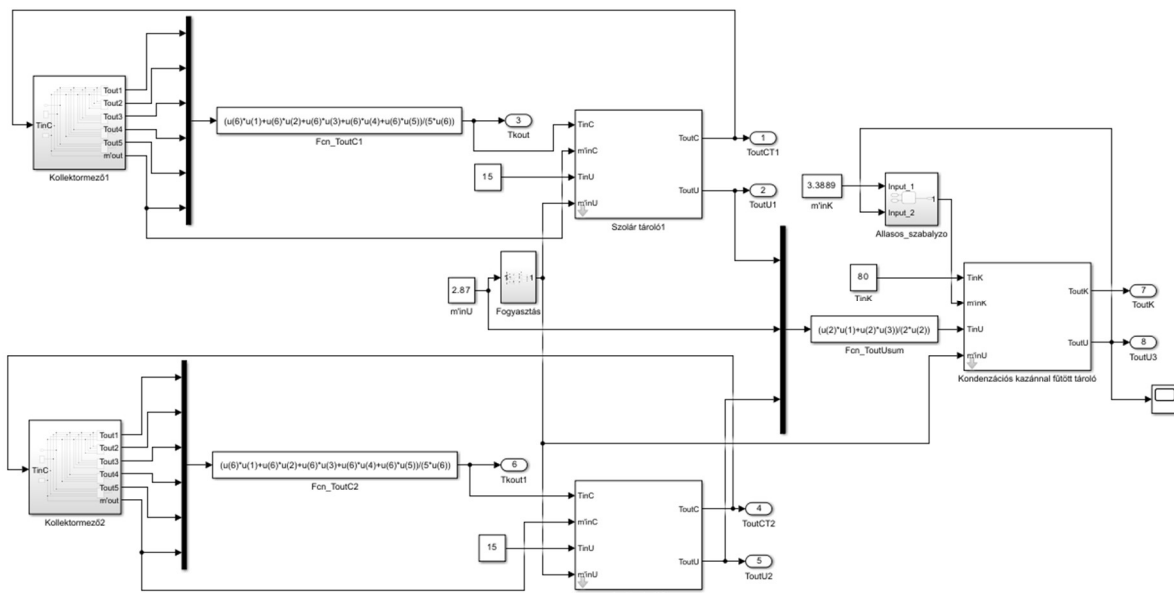
A kazán szivattyúját egy állásos szabályzóval szabályoztam, 55 és 70 °C között. A szabályozás modellezését a Simulink Chart nevű blokkjával valósítottam meg (61. ábra).



61. ábra: Állásos szabályzó implementációja

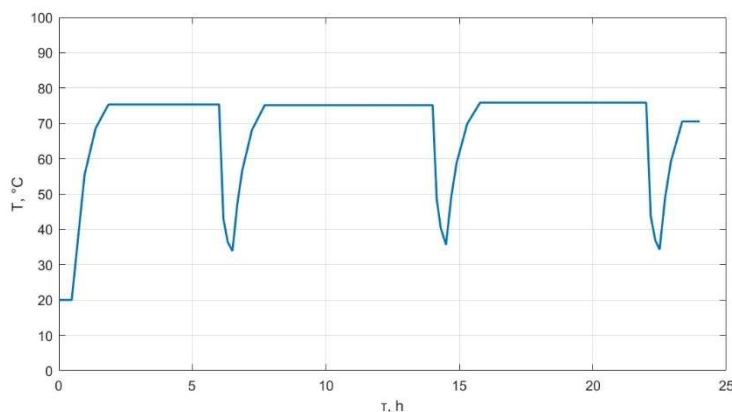
A tároló modelljének beállításakor kezdeti hőmérsékletként a szolár tárolókból érkező hőmérsékletet adtam meg. Ezt úgy oldottam meg, hogy a tároló modelljének integrátor blokkjában a bemenő hőmérsékletet adtam meg kezdeti feltételként.

A tárolót a szolár tárolókkal és a kollektormezőkkel egy rendszerbe kapcsolva végeztem el a szimulációt (62. ábra).



62. ábra: Kondenzációs gázkazánal fűtött tároló szimulációja

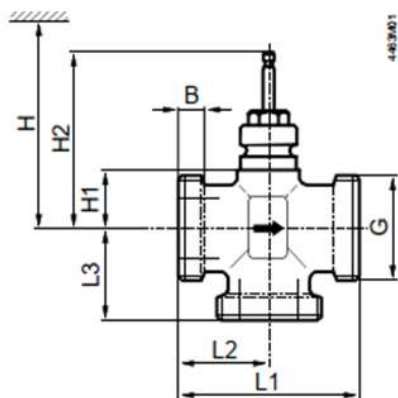
A tároló további paramétereinek beállítása 4.3.2.-es fejezetben leírt értékekkel történt. A szimuláció eredménye a 63. ábrán látható.



63. ábra: Kondenzációs gázkazánnal fűtött tároló hőmérsékleteloszlása

#### 4.4. Keverőszelep szimulációja

A keverőszelep esetében két paramétert kell megadnunk, az áramló közeg sűrűségét és a szelep térfogatát. Az áramló közeg víz, a sűrűsége  $1000 \text{ kg/m}^3$ . A térfogat meghatározásához a szelep méreteire van szükségünk, amik katalógusadatok (64. ábra). A szelep pontos térfogatát nehéz kiszámítani, azonban a hozzávetőleges értéke:  $V = 0,0004 \text{ m}^3$ . Számunkra ez a pontosság most megfelel.

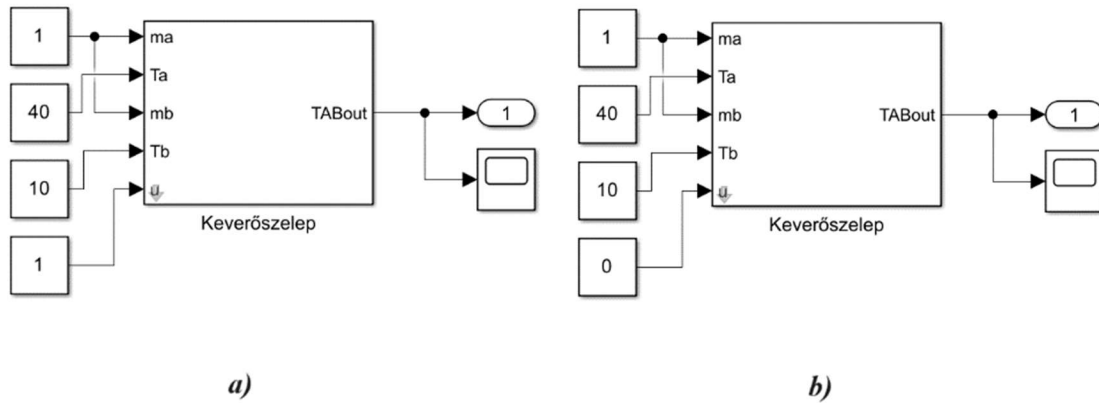


- DN = Névleges méret
- H = A hajtómű teljes magassága plusz a faltól vagy a mennyezettől való minimális távolság a felszereléshez: csatlakoztatáshoz, üzemeltetéshez, szervizeléshez stb
- H1 = Méret a cső közepétől a hajtómű felszereléséhez (felső él)
- H2 = A "zárt" helyzetben lévő szelep azt jelenti, hogy a szelepszár teljesen ki van húzva

Típus	DN	B [mm]	G [hüvelyk]	L1 [mm]	L2 [mm]	L3 [mm]	H1 [mm]	H2 [mm]	H			$\frac{V}{kg}$
									SAX..	SKD..	SKB..	
VXG41.1301	15	10	G1B	100	50	50	26	122.5	> 468	> 526	> 601	1.30
VXG41.1401												
VXG41.15 VXG41.1501	20	10	G1¼B	100	50	50	26	122.5	> 468	> 526	> 601	1.42
VXG41.20 VXG41.2001												
VXG41.25 VXG41.2501	25	14	G1½B	105	52.5	52.5	34	130.5	> 476	> 534	> 609	1.65
VXG41.32 VXG41.3201	32		G2B									2.10
VXG41.40 VXG41.4001	40	15	G2¼B	130	65	65	46	142.5	> 488	> 546	> 621	2.80
VXG41.50 VXG41.5001	50	16	G2¾B	150	75	75						3.90

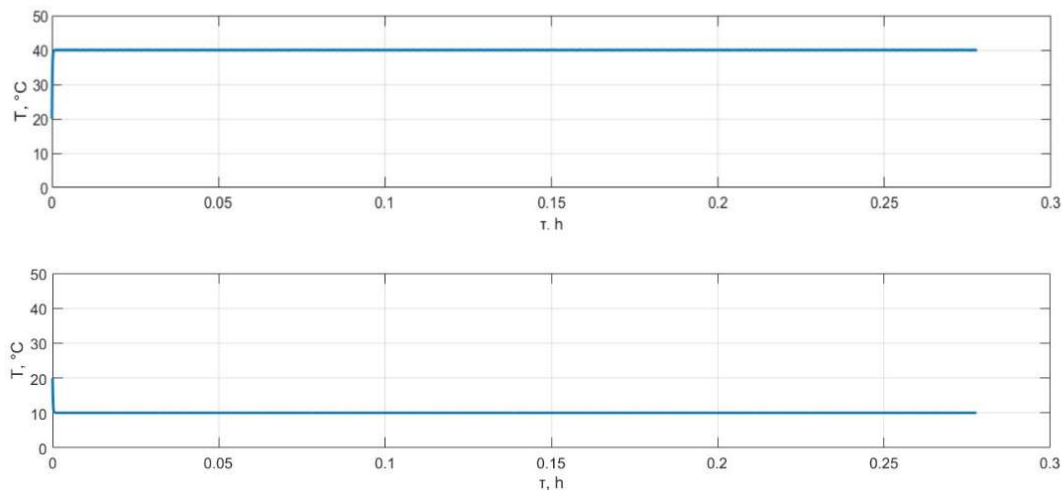
64. ábra: Keverőszelep méretei

A szelep modelljének működését az alábbiak szerint teszteltem: felvettem két tetszőleges hőmérsékletet.  $T_a = 40\text{ °C}$  és  $T_b = 10\text{ °C}$ , a tömegáram pedig  $1\text{ kg/s}$ . Az  $u$  együttható értékét egyik esetben egyre állítottam (teljes nyitás az  $A$  irányba), azután pedig nullára (teljes nyitás a  $B$  irányba) (65. ábra).



65. ábra: Keverőszelep működésének szimulációja: a) teljes nyitás  $A$  irányba; b) teljes nyitás  $B$  irányba

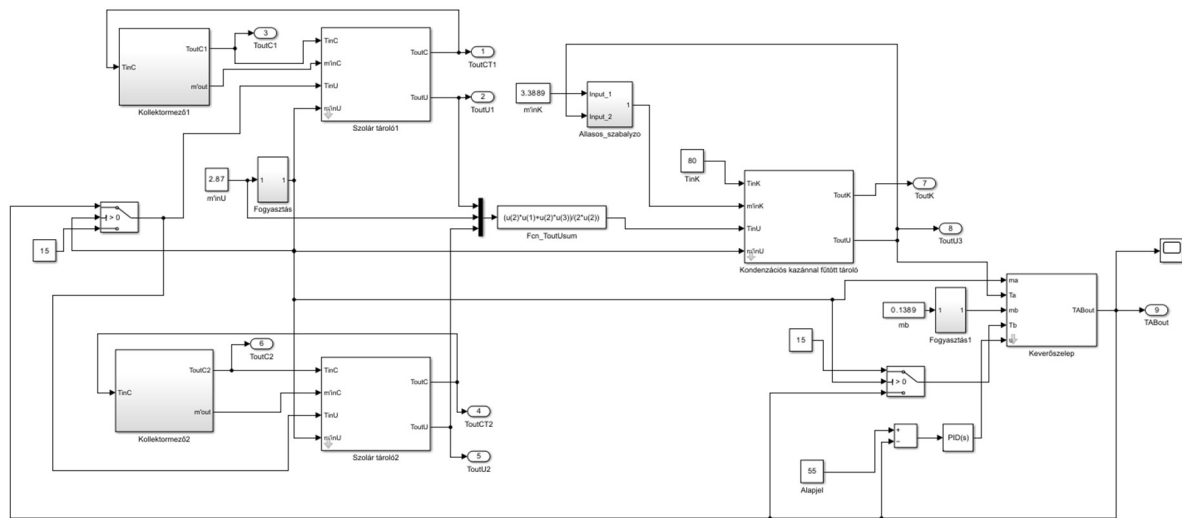
A szimuláció eredményét a 66. ábra mutatja. Jól látszik, hogy a szelep az elvárt módon viselkedik.



66. ábra: Keverőszelep működése: felül – teljes nyitás  $A$  irányba; alul – teljes nyitás  $B$  irányba

## 4.5. Teljes rendszer szimulációja

Ezek után egy rendszerben kapcsoltam az egyes elemeket. A váltószelepet, amely vízlevét esetén a cirkulációs vezetékben áramló vizet a tárolók felé irányítja, a tárolók bemenő hőmérséklete előtti Switch blokkokkal vettem figyelembe. A szelep szabályozására egy arányos szabályozást választottam. Ehhez a Simulink beépített PID szabályozóját használtam, amelyben a  $K_I$  és  $K_D$  együtthatók értékeként nullát adtam meg. A rendszerbe kapcsolt elemek a 67. ábrán láthatók.



67. ábra: Napkollektoros rendszer Simulink implementációja

## 4.6. Szabályozó optimalizálása

A rendszer szimulációjának célja az arányos szabályozó megfelelő  $K_P$  értékének beállítása. A szimulációhoz a korábban leírt paramétereket alkalmaztam. A  $K_P$  értékének meghatározásához minimumkeresést alkalmaztam, melynek a célfüggvénye az alábbiakban látható

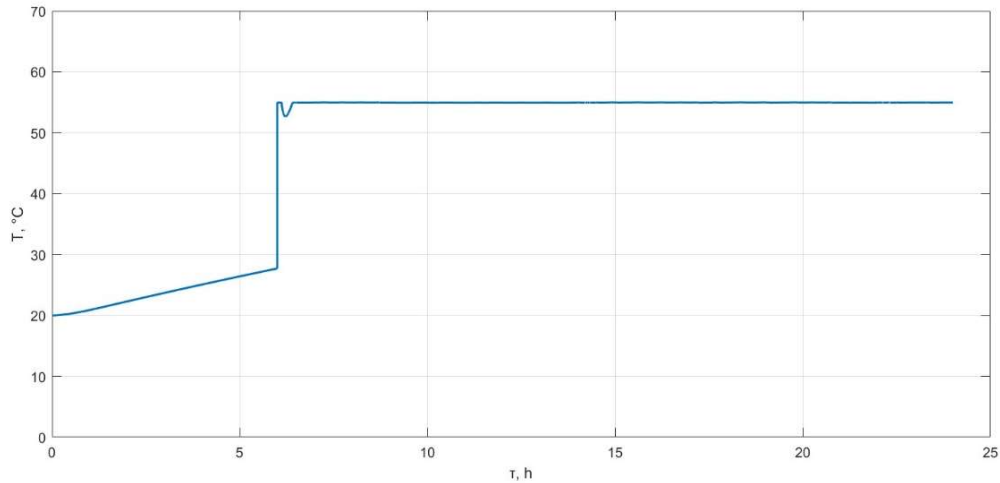
$$J_P(P) = \int_0^{86400} (a - \hat{y}(\tau, P))^2 d\tau \quad (4.2)$$

ahol:

$a$ - az alapjel

$\hat{y}$ - a szabályozott modell szimulációs eredménye

Az alapjelet 55 °C-ra állítottam be. A  $K_P$  kezdőértékére ötöt állítottam be, majd a kapott eredménnyel újra lefuttattam a minimumkeresést. A kapott eredmény:  $K_P= 18,1991$ . Az ezzel az értékkel beállított szabályozó a 68. ábrán látható eredményt adta.



68. ábra: Szimulált arányos szabályozás eredménye

Látható, hogy az első műszak végén jelentkező melegvíz igény idejére beállt a hőmérséklet az 55 °C közeli értékre és azt a továbbiakban is tartja.



---

## 5 Következtetések, javaslatok

A dolgozatomban a bemutatott napkollektoros rendszer működését, az alkalmazott matematikai modellek segítségével, blokkorientált környezetben szimuláltam. A matematikai modellek használhatók részmodellekként vagy ha úgy tetszik blokkoként a nagyobb, komplexebb rendszerek szimulációja esetén.

A kollektormezők kialakításakor megvizsgáltam, hogy a sorban kötött napkollektorok esetén alkalmazható-e oly módon, hogy a sor teljes szélességét adjuk meg paraméterként. Az eredmény azonos volt, mint a sorban kötött napkollektorok esetében. A párhuzamos kötés esetén a munkaközegek gyűjtővezetékben való keveredését figyelembe vevő részmodell hasonló eredmény mutatott, mint a sorok kimenő hőmérséklete. A pontosabb eredmény érdekében, egy arra alkalmas modellel figyelembe lehetne venni a kollektorok dőlésszögét is. A kollektorok szivattyúinak térfogatát állandónak tekintettem. Érdeemes volna megvizsgálni a rendszer viselkedését, abban az esetben, ha ezeket is szabályozzuk.

A használati melegvíz készítő rendszerek esetében nincs folyamatos vízelvétel. A fogyasztás időszakos. A dolgozatban ezt az időszakos jelleget a tervezési adatok során feltételezett fogyasztás alapján a műszakok végén ugrásszerűen megjelenő jellel vettem figyelembe. Amennyiben rendelkezésre állnak mért adatok hasonló méretű rendszerek és hasonló jellegű épületek melegvízfogyasztásról, azok felhasználásával élethűbben szimulálhatnánk azt.

A harmadik kiegészítő fűtéssel ellátott tároló esetében a szolár tárolók modellje alkalmazható volt, azzal a különbséggel, hogy a hőcserélő oldaláról állandó bemenő hőmérsékletet állítottam be. A tárolóban lévő víz hőmérsékletének szabályozására egy hiszterézises állásos szabályozó alkalmazható.

A keverőszelep működésének vizsgálatakor, látható, hogy a modell az általunk elvárt módon viselkedik. Amikor a szelep teljesen nyit az egyik bemenő ág felé, a kimenő hőmérséklete megegyezik az adott bemeneti hőmérséklettel.

A szabályozott jellemző a keverőszelep kimeneti hőmérséklete, amely a fogyasztóknál megjelenő melegvíz hőmérséklete. Módosított jellemzőként a szelepnnyitás arányát volt célszerű választani. A szabályozást egy arányos szabályzóval oldottam meg, amely az optimalizáció után megfelelően pontosan tudta tartani a beállított alapértéknek megfelelő hőmérsékletet. Érdeemes volna próbálkozni más szabályozási stratégiákkal is, például egy PID szabályzóval.

---

## 6 Összefoglaló

Az energiaigények kielégítésében egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások, mint például a napenergia. Az energiafelhasználás körül-belül egyharmadát az épületek üzemeltetése teszi ki. Az épületek energiaellátásában is nagyobb arányban fordulnak elő napenergia hasznosító rendszerek. Ezek egyike a termikus napenergia hasznosító rendszerek. Egyik tipikus alkalmazása a használati melegvízkészítés. A napkollektoros vízmelegítő rendszerek megfelelő működése érdekében, azokat szabályozni kell. A szabályozók optimalizálását a rendszer szimulációjának segítségével is elvégezhetjük. A dolgozatban bemutatásra kerül egy nagy, komplex napkollektoros vízmelegítő rendszer. Ismertetem a szakirodalomban fellelhető, a rendszer egyes elemeinek működését leíró matematikai modelleket. A modelleket alkalmazva blokkorientált környezetben összeállítottam a bemutatott melegvízkészítő rendszert. Kiválasztottam a szabályozni kívánt jellemzőt. Meghatároztam a módosított jellemzőt. A szabályozáshoz egy arányos szabályozót alkalmaztam. A szabályozó optimalizálását a rendszer működésének szimulációja segítségével végeztem el.

---

## Irodalomjegyzék

- Ahearn, J. A., . *Passive Solar Handbook - Introduction to passive solar concepts*. hely nélkül.:United States Air Force. Letöltés dátuma: 2022.06.28. forrás: [https://onebuilding.org/historical/AirForcePassiveSolarHandbook/pshbk\\_v1.pdf](https://onebuilding.org/historical/AirForcePassiveSolarHandbook/pshbk_v1.pdf)
- Farkas, I., 1999. *Számítógépes szimuláció*. Gödöllő: Gödöllői Agrártudományi Egyetem Mezőgazdasági Gépészmérnöki kar. Egyetemi jegyzet
- Farkas, I., 2017. *Folyamatirányítás I.* 1. javított kiadás szerk. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó. Egyetemi jegyzet
- Fatalin, D. & Fatalin, L., 2014. Számoljunk a szoláris energiával!-A napsugárzás intenzitása. *BOLYAI SZEMLE 2014/4 pp.*, pp. 19-38. Letöltés dátuma: 2022.06.05. forrás: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/13907/Sz%C3%A1moljunk%20a%20szol%C3%A1ris%20energi%C3%A1val!.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Foster, R., Ghassemi, M. & Cota, A., 2009. *Solar Energy: renewable energy and the environment*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.DOI: 10.1201/9781420075670 <https://doi.org/10.1201/9781420075670>
- Fürst, Y., Brandt, S. & Kriegel, M., 2020. Thermal modelling of three-way mixing valves using Bézier curves for parameter estimation applications. *Journal of Process Control*, 90( ), pp. 56-62. DOI:10.1016/j.jprocont.2020.04.004
- Gausz, T. & Sánta, I., 2011. *Hő- és Áramlástan I.* Budapest: Typotex Kiadó. Letöltés dátuma: 2024.04.16. forrás: [https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/62/38/dd/1/Gausz\\_Santa\\_Ho\\_es\\_aramlastan\\_I.pdf](https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/62/38/dd/1/Gausz_Santa_Ho_es_aramlastan_I.pdf)
- Horánszky, B., 2005. *A termikus napenergia-felhasználás alkalmazási lehetőségei*, Miskolc: OTKA T-046224. Letöltés dátuma: 2022.06.06 forrás: [https://real.mtak.hu/1343/1/46224\\_ZJ1.pdf](https://real.mtak.hu/1343/1/46224_ZJ1.pdf)
- Khaligh, A. & Onar, O. C., 2010. *Energy Harvesting - Solar, Wind and Ocean Energy Conversion*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group. Letöltés dátuma: 2022.06.08. forrás: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5089989/mod\\_resource/content/1/Solar\\_wind\\_ocean\\_energy.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5089989/mod_resource/content/1/Solar_wind_ocean_energy.pdf)
- Lechner, N., 2015. *Heating, Cooling, Lighting - Sustainable Design Methods for Architects*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.. ISBN: 0471241431
- Mizsey, P., 2012. *Folyamatirányítási rendszerek*. 2. javított kiadás szerk. Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Letöltés dátuma: 2024.10.02. forrás: [https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/44/dd/1/Folyamatir-rendszerek\\_videok\\_nelkul.pdf](https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/44/dd/1/Folyamatir-rendszerek_videok_nelkul.pdf)
- Nemes, J., 2012. *Irányítástechnika*. Sopron: Nyugat Magyarországi Egyetem. Egyetemi jegyzet. Letöltés dátuma: 2022.08.31. forrás: <https://9dok.org/document/zx5n3nnn-ir%C3%A1ny%C3%ADt%C3%A1stechnika.html>

---

Patel, K., Patel, P. & Patel, J., 2012. Review of solar water heating systems. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, pp. 146-149. E-ISSN 0976-3945. Letöltés dátuma: 2023.09.24. forrás: [https://www.researchgate.net/profile/Md-Islam-142/post/what\\_is\\_the\\_maximum\\_temperature\\_that\\_solar\\_water\\_heater\\_reached/attachment/59d6342479197b8077991d5e/AS%3A378142289088513%401467167555418/download/Article+34+Vol+III+issue+IV+2012.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Md-Islam-142/post/what_is_the_maximum_temperature_that_solar_water_heater_reached/attachment/59d6342479197b8077991d5e/AS%3A378142289088513%401467167555418/download/Article+34+Vol+III+issue+IV+2012.pdf)

Rodríguez-Hidalgo, M. és mtsai., 2012. Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. *Applied Energy* 97, pp. 897-906. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.088>

Sen, Z., 2008. *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. London: Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-134-3>

Szücs, M., 2005. *Transzparens hőszigetelések alkalmazása passzív szoláris rendszerekben, [PhD Értekezés]*, Gödöllő: Szent István Egyetem.

Tóth, J., 2020. *Termikus napenergia-hasznosító rendszerek modellalapú szabályozása - [PhD értekezés]* Gödöllő: Szent István Egyetem. DOI: 10.54598/000250

Tóth, J. & Farkas, I., 2019. Mathematical Modelling of Solar Thermal Collectors and Storages. *Acta Technologica Agriculturae*, 22(4), pp. 128-133. DOI: 10.2478/ata-2019-0023

Véghely, T., 2021. *Napenergia hasznosító berendezések (rendszerek)*. Budapest: Edutus Főiskola. Egyetemi jegyzet. Letöltés dátuma: 2023.10.01. forrás: [https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/11906/2010-0017\\_09\\_napenergia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/11906/2010-0017_09_napenergia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Ábrajegyzék

1. ábra: Napsugárzás spektruma ( <a href="http://www.NVsolar.hu">www.NVsolar.hu</a> ).....	4
2. ábra: Napállandó alakulása ( <a href="http://www.csillagaszat.hu">www.csillagaszat.hu</a> ).....	5
3. ábra: A Föld felszínére érkező napsugárzás teljesítménye ( <a href="http://www.naplopo.hu">www.naplopo.hu</a> ) .....	5
4. ábra: A Föld Nap körüli pályája ( <a href="http://www.napelemesek.hu">www.napelemesek.hu</a> ).....	6
5. ábra: A Nap helyzete ( <a href="http://www.napelemesek.hu">www.napelemesek.hu</a> ).....	6
6. ábra: Globálsugárzás értékei Magyarországon ( <a href="http://www.met.hu">www.met.hu</a> ) .....	7
7. ábra: Napsugárzás hasznosításának módjai.....	8
8. ábra: Direkt rendszer az üvegházhatás elvén (Lechner, 2015).....	8
9. ábra: Tömegfal (balra) és Trombe-fal (jobbra) ( <a href="http://www.artimon.hu">www.artimon.hu</a> ) .....	9
10. ábra: Transzparens szigetelések struktúrái (Szűcs, 2005).....	9
11. ábra: Naptér vagy másnéven üvegház ( <a href="http://www.energiaoldal.hu">www.energiaoldal.hu</a> ).....	10
12. ábra: Napelem működési elve ( <a href="http://www.e-villamos.hu">www.e-villamos.hu</a> ).....	11
13. ábra: a) szigetüzemű napelemes rendszer; b) hálózatra visszatápláló napelemes rendszer ( <a href="http://www.wagnersolar.hu">www.wagnersolar.hu</a> ) .....	11
14. ábra: a) egykörös szolár rendszer; b) kétkörös szolár rendszer (Patel, et al., 2012) .....	12
15. ábra: Kétkörös szivattyús keringetésű napkollektoros rendszer általános felépítése (Horánszky, 2005).....	13
16. ábra: Kollektorok kapcsolási módjai (Horánszky, 2005).....	14
17. ábra: Síkkollektor szerkezeti felépítése ( <a href="http://www.naplopo.hu">www.naplopo.hu</a> ).....	15
18. ábra: Napkollektor csővezeték elrendezése a) csőkígyós; b) párhuzamos ( <a href="http://www.naplopo.hu">www.naplopo.hu</a> ).....	15
19. ábra: Vákuumcsöves napkollektor abszorber és csővezeték kialakításai a) U-csőves; b) cső a csőben; c) hőcsöves ( <a href="http://www.naplopo.hu">www.naplopo.hu</a> ).....	16
20. ábra: Napkollektor veszteségei (Horánszky, 2005).....	17
21. ábra: Napkollektorok hatásfok görbéje (Tóth, 2020).....	18
22. ábra: Kétkörös hőtároló keresztmetszeti ábrája ( <a href="http://www.ivarcs.hu">www.ivarcs.hu</a> ).....	19
23. ábra: Irányított berendezés (irányított szakasz) (Nemes, 2012).....	20
24. ábra: Vezérlés hatásvázlata (Tóth, 2020) .....	21
25. ábra: Szabályozás hatásvázlata (Tóth, 2020) .....	22
26. ábra: Kétállású szabályozó működése (Tóth, 2020).....	23
27. ábra: Állásos szabályzó hiszterézissel (Tóth, 2020).....	23
28. ábra: Arányos szabályozás (Tóth, 2020) .....	24
29. ábra: Arányos és arányos integráló szabályozás (Tóth, 2020).....	25
30. ábra: PID, PI és P szabályozás összehasonlítása (Tóth, 2020).....	25
31. ábra: MATLAB munkakörnyezet .....	28
32. ábra: Simulink munkakörnyezet.....	28
33. ábra: Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont (Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont kiviteli tervek) .....	29
34. ábra: Kollektorok elhelyezkedése a tetőn (Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont kiviteli tervek) .....	30
35. ábra: Bosch FKC-2S napkollektor ( <a href="http://www.bosch-homecomfort.com">www.bosch-homecomfort.com</a> ).....	31
36. ábra: IVAR.EURO 2000 indirekt fűtésű tároló ( <a href="http://www.ivarcs.hu">www.ivarcs.hu</a> ).....	32
37. ábra: Siemens VXG41.5001 keverőszelep (jobbra) és Siemens SAX61.03 szelepállító motor ( <a href="http://www.siemensbolt.hu">www.siemensbolt.hu</a> ).....	32
38. ábra: Használati melegvíz rendszer kapcsolási vázlata (Jysk DCE Logisztikai és Elosztóközpont kiviteli tervek) .....	33
39. ábra: Környezeti hőmérséklet modell megvalósítása Simulink környezetben.....	35

40. ábra: Napsugárzás modell megvalósítása Simulink környezetben .....	36
41. ábra: Napkollektor sematikus ábrázolása .....	36
42. ábra: Hottel-Whiller modell megvalósítása Simulink környezetben .....	37
43. ábra: Hőcserélős tároló sematikus ábrázolása .....	38
44. ábra: Hőcserélős hőtároló modell megvalósítása Simulink környezetben.....	39
45. ábra: Termosztatikus keverőszelep sematikus ábrázolása (Fürst, et al., 2020).....	39
46. ábra: Keverőszelep megvalósítása Simulink környezetben .....	41
47. ábra: Időjárás blokkok beállítása.....	42
48. ábra: a) hőmérsékleteloszlás és b) napsugárzáseloszlás július 19.-én.....	42
49. ábra: Napkollektor blokk beállítása.....	43
50. ábra: Napkollektor modell szimulációja .....	43
51. ábra: Napkollektor napi hőmérsékleteloszlása .....	44
52. Ábra: Sorba kötött napkollektorok szimulációja.....	44
53. ábra: Sorba kötött napkollektorok szimulációjának eredménye .....	45
54. ábra: a) kollektormező; b) közös gyűjtővezetékre csatlakozás szimulációja.....	46
55. ábra: Kollektorsorokból kiáramló és a közös gyűjtővezetéken áramló munkaközeg hőmérsékleteloszlása .....	47
56. ábra: Melegvízfogyasztás időszakos jellegének szimulációja .....	47
57. ábra: Melegvízfogyasztás eloszlása egy napra.....	48
58. ábra: Szolár tárolók szimulációja .....	48
59. ábra: Tároló blokk beállítása .....	49
60. ábra: Szolár tárolók hőmérsékleteloszlása .....	49
61. ábra: Állásos szabályzó implementációja .....	50
62. ábra: Kondenzációs gázkazánnal fűtött tároló szimulációja .....	50
63. ábra: Kondenzációs gázkazánnal fűtött tároló hőmérsékleteloszlása .....	51
64. ábra: Keverőszelep méretei .....	51
65. ábra: Keverőszelep működésének szimulációja: a) teljes nyitás A irányba; b) teljes nyitás B irányba .....	52
66. ábra: Keverőszelep működése: felül – teljes nyitás A irányba; alul – teljes nyitás B irányba .....	52
67. ábra: Napkollektoros rendszer Simulink implementációja .....	53
68. ábra: Szimulált arányos szabályozás eredménye .....	54

## NYILATKOZAT

### a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Vida Szabolcs
A Hallgató Neptun kódja:	IO9WVV
A dolgozat címe:	Termikus napenergia hasznosító rendszerek szabályozása
A megjelenés éve:	2024
A konzulens intézetének neve:	Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Mechatronika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2024. év 04. hó 24. nap



Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Vida Szabolcs (hallgató Neptun azonosítója: IO9WVV) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: 2024 év 04 hó 24 nap

  
belső konzulens

  
belső konzulens

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.



## **Köszönetnyilvánítás**

Köszönetet mondok Dr. Farkas Istvánnak, Dr. Háber Istvánnak és Tóth Jánosnak, hogy lehetőséget és segítséget nyújtottak a dolgozatom megírásához.

Továbbá köszönetet mondok a családom minden tagjának és a barátaimnak a dolgozat megírása során nyújtott támogatásért.