



SZENT ISTVÁN EGYETEM

Épületszerkezeti elemekbe integrálható héjszerkezetű napkollektorok

Doktori (PhD) értekezés

Fekete István

Gödöllő
2015

**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

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE	5
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	7
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	8
1.1. A választott témakör időszerűsége, jelentősége	8
1.2. Célkitűzések	9
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
2.1. Napenergia hasznosítás elmélete	10
2.1.1. <i>A napsugárzás spektrális eloszlása</i>	11
2.1.2. <i>A magyarországi sugárzási viszonyok</i>	12
2.2. Napenergia hasznosítása	14
2.2.1. <i>A napenergia felhasználás rövid története</i>	14
2.2.2. <i>A napenergia aktív hasznosítási lehetőségei</i>	16
2.3. Napsugárzási energia befogása	17
2.3.1. <i>Anyagok, anyagfelületek hatása</i>	17
2.3.2. <i>Fedés nélküli abszorberelnyelők</i>	19
2.3.3. <i>Síkkollektor</i>	20
2.3.4. <i>Vákuumcsöves kollektorok</i>	20
2.3.5. <i>Koncentráló ernyővel ellátott kollektorok</i>	21
2.3.6. <i>Szolár hőszivattyús rendszer</i>	22
2.4. Hagyományos síkkollektorok hőhasznosítása, veszteségei	23
2.5. Kollektorok hatásfoka	24
2.6. Városi hősziget-hatás	26
2.7. A napkollektorok gazdaságossága	28
2.8. Megújuló energiák és az energiatörvény	28
2.9. Szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése	32
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	34
3.1. Modellezés, szimuláció módszerei	34
3.1.1. <i>Hősugárzás leíró egyenletei</i>	34
3.1.2. <i>Hővezetés leíró egyenletei</i>	37
3.1.3. <i>Hőátadás leíró egyenletei</i>	43
3.2. Épületelem kollektor matematikai modellezése	44
3.3. Próbatétel kísérletek módszere	46
3.4. A mérőrendszer kialakítása	47
3.5. Kollektor hatásfok meghatározás módszere	49
3.6. Adatfeldolgozó rendszer és eljárás	51
4. EREDMÉNYEK	54
4.1. Épületelem kollektor modellezése	54
4.2. Épületelem kollektor szerkezeti optimalása	61
4.3. Cserépelem kollektor hőtani vizsgálata	63
4.4. Kollektor hatásfok görbe meghatározás	69
4.5. Eljárás a kollektor hatásfok görbe pontossági minősítéséhez	80

4.6. Eljárás a kollektorok gazdaságossági számításához	84
4.7. Új tudományos eredmények	95
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	98
6. ÖSSZEFOGLALÁS	99
7. SUMMARY	100
8. MELLÉKLETEK	101
M1: Irodalomjegyzék	101
M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó saját publikációk listája	104
M3: Mérési táblázatok	107
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	111

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Jelölések

a	visszaverődési tényező [-]
A	felület [m ²]
c	fajhő [J/kgK]
d	átmérő [m]
e	sugárzókéesség [-]
E	teljesítmény [W/m ²]
G	globális sugárzási teljesítmény [W/m ²]
I	sugárzási teljesítmény [W/m ²]
k	hőátbocsátási tényező [W/m ² K]
m	tömeg [kg]
\dot{m}	tömegáram [kg/s]
T	hőmérséklet [K]
V	térfogat [m ³]
w, h, l	geometriai adatok [szélesség, vastagság, hossz] [m]

Görög betűk

α	elnyelőkéesség tényező
β	hővesztési tényező üvegfelületnél
η	hatásfok
ρ	sűrűség [kg/m ³]
τ	fényátbocsátó tényező

Indexek

a	környezet
c	hővezetési tényező
co	beton
g	globális
gl	üveg
in	belépő
l	vesztés
m	átlagos
out	kilépő
t	cserép

w munkaközeg (víz)

0 optikai

Görög betűk

Δ elemi különbség

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

CPC: Compound Parabolic Concentrator – Koncentrátor

ECU: European Currency Unit - Európai valutaegység

EMH: Elektromagnetic Radiation - Elektromágneses hullám

FPSC: Flat Plate Solar Collector - Síkkollektor

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change - Éghajlat-változási Kormányközi Testület

MATLAB: Matrix Laboratory - Speciális programrendszer, programozási nyelv

SRCC: The Solar Rating & Certification Corporation – Független napkollektor minősítő intézet

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Ebben a fejezetben a választott témakör aktualitását és a dolgozat célkitűzéseit fogalmazom meg.

1.1. A választott témakör időszerűsége, jelentősége

A napenergia hasznosítás olyan, mint egy hősköltevény: hősök jönnek, győznek, majd elbuknak, aztán új hősök lépnek a helyükre. A tudománytörténetnek talán ez a fejezete a legtragikusabb, itt volt a legtöbb kudarc és bukás. A civilizáció története során volt már néhány energiaválság, ilyenkor szinte mindig a napenergia jelentette a kiutat. Aztán mindig jött valamilyen új, olcsó energiaforrás és a napenergia nyomban "gazdaságtalanná" vált, az érdeklődés elfordult tőle. Az újabb válság újabb hősöket szólított elő, akik újra kezdték a küzdelmet az elődök eredményei nyomán, azokat továbbfejlesztve, mert a fejlődés a napenergia-hasznosítás 2500 éves története során töretlen ívet ír le (Butti és Perlin, 1980).

A Nap sugárzásából származó energia közvetlen felhasználása már régóta ismert az emberiség számára. A hasadási energia kivételével az összes megújuló és fosszilis energiaforrás végső soron a Földünkre sugárzott napenergiából ered. Földünkön jelenleg az ún. fosszilis energiaforrások felhasználása bír döntő jelentőséggel. Ezek a „gazdaságosan” kitermelhető energiahordozó készletek azonban rohamosan csökkennek, de az igazi veszélyt a felhasználásuk során a környezetbe kerülő szennyező anyagok jelentik (Gyurcsovics, 1987).

Jól ismert jelenség az ún. üvegházhatás, amely a túlzott széndioxid-keletkezéssel függ össze. A kialakult szennyezőburok miatt a Föld hosszúhullámú kisugárzása jelentősen lecsökken, és ennek következtében a Föld átlaghőmérséklete káros mértékben megnövekedik. Ebben a növekedésében a legfontosabb szerepe a széndioxidnak van, amely a tüzelésekből nagy mennyiségben jut a légkörbe, és a becslések szerint a növekmény üvegházhatás 50...60%-áért tehető felelőssé. További emberi tevékenységből származó, fontosabb üvegházhatású gázok a metán, a dinitrogén-oxid és a freonok (Krecz, 1999).

A fenti okok miatt egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások: a napenergia, a folyóvizek és a tengerek energiája, a szélenergia, a geotermális energia és a biomassa. A megújuló energiaforrások hazai hasznosításához forrásaink, tapasztalatunk és technológiai hátterünk megvan, nagyobb méretű, gyors elterjedését azonban gátolja a korszerű berendezések magas ára, az üzembeállításukhoz hiányzó állami támogatás és a jogi szabályozás problémái.

A szoláris rendszerek modellezéseinek és irányítási problémáinak vizsgálata a Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén nemzetközi együttműködés keretében több éve folyik. A tervezett kutatás hátterét a témavezető irányításával illetve részvételével jelenleg is folyó hazai és nemzetközi projektek, illetve EU Keretprogram, ALTENER, bilaterális, OTKA, és egyéb pályázatok szolgáltatják.

A fenti tények többszörösen is indokolják az új technológiák alkalmazását. A többi megújuló energiaforrás mellett a napenergiának sok előnye van, nevezetesen, hogy belátható időn belül nem fogy el, nem környezetszennyező, nem kell szállítani, nem drágul.

1.2. Célkitűzések

A kutatási feladat elvégzése során célom, hogy kidolgozzam az aktív napenergia hasznosítás egyik olyan lehetséges módját, amely nem a szokásos, eddig még nem alkalmazott. Olyan típusú kollektortestek kialakítása a célom, amelyek integrálhatók az építészeti formákba.

A napkollektorok kiválasztásánál, beépítésénél, sokszor az esztétika is jelentős tényező, elhelyezésük leggyakrabban házak, épületek tetőszerkezete, ezért olyan kialakítást tervezek, mely az épületek megjelenési formáját nem alakítja át, mégis lehetőség van a napenergia aktív hasznosítására.

Az épületszerkezeti elemekbe integrálható kollektorok eléréséhez a következő feladatok elvégzése szükséges.

1. Matematikai modell kialakítása az anyagok felületére érkező napsugárzási energia elnyelődési és a mélyebb rétegekbe történő hővezetési folyamatának vizsgálatára, az elméleti folyamatok szimulációjának végzése a valóságos kísérleti elemek előzetes kialakításához szükséges adatok pontosításához.
2. Próbatetek kialakítása különböző felületi bevonatokkal és réteg elrendezésekkel, melyek segítségével vizsgálom a valós környezetben lévő elemek napsugárzás elnyelődési, visszaverődési, hőegyensúlyi folyamatait. A célom a beérkező energia minél nagyobb fokú abszorbeálása mellett a kisugárzás csökkentése.
3. Kollektor testek kialakítása az elméleti számítások, a szimulációs eredmények és a próbatetekeken végzett mérések alapján, melyek egyben épületszerkezeti elemként is funkcionálnak.
4. Vizsgáló berendezés létrehozása, mely alkalmas a napsugárzás elnyelődését befolyásoló tényezők változásait követni. Alkalmas a mérendő kollektortestek különböző tájolások és beesési szögekhez beállított hőtechnikai, ill. összehasonlító méréseinek elvégzésére.
5. Módszer kidolgozása a napkollektorok hatásfok számításának üzemi körülmények közötti módjára. A mérések pontos megtervezésével, megfelelő matematikai módszerek segítségével a szokásos laboratóriumi minősítések kiváltását vizsgálom.
6. Vizsgálom a hőmérséklet mérő műszerek pontosságának hatását a kollektor hatásfok görbe meghatározására, az aránytalanul költséges minősítési eljárások kiszűrése érdekében.
7. Gazdaságossági számítások értékelő elemzése. A közgazdasági, pénzügyi megtérülési eljárások kibővítése műszaki jellemzőkkel, a napkollektorok gazdaságos alkalmazhatóságára a melegvíz ellátás és a fűtéstámasztás területén.

Az elméleti modell kialakítás módszere és a matematikai szimulációk végzése segíti a további, épületelemként alkalmazható kollektor elemek kidolgozását. Az alkalmazott módszerek segítségével kialakíthatók a megfelelő minőségű és hőtechnikailag optimális szerkezetek.

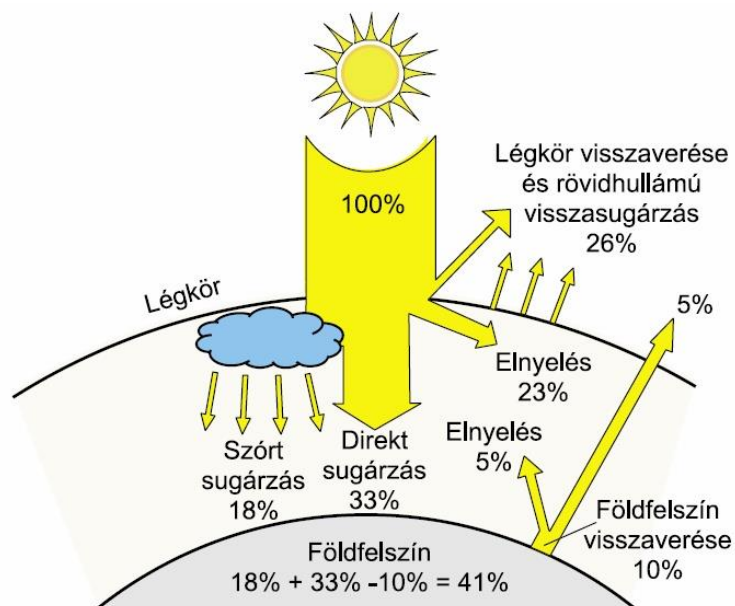
Az elvégzendő feladatok alapján bizonyítani kívánom, hogy a szerkezetiileg jól kialakított új típusú elemek kiválthatják, kiegészíthetik a hagyományos napkollektorok alkalmazási lehetőségeit.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Ebben a fejezetben a témához kapcsolódó szakirodalmat tekintetem át megadva az összefoglaló értékelését is.

2.1. Napenergia hasznosítás elmélete

A Naptól légkörünk külső határára egyetlen négyzetméterre, a sugárzás terjedési irányára merőleges egységnyi felületre, időegység alatt érkező napsugárzásnak a teljes hullámhossz tartományra integrált energiája átlagos Nap-Föld távolságban 1366 W/m^2 értékű a NASA mérései alapján, más irodalmak 1353 W/m^2 értéket adnak meg (Barótfi, 2003). Ezt nevezi a szakirodalom napállandónak, ez neve ellenére nem állandó érték 1321 W/m^2 és 1413 W/m^2 között változik. Ennek több oka van, a napsiklusok, a napfoltok, stb.. Ezért újabban a "teljes szoláris besugárzás" (Total Solar Irradiance – TSI) elnevezést is használják. Ismert, hogy a Föld elliptikus pályán kering, aminek egyik gyújtópontjában van a Nap, azonban a pálya excentricitása nem jelentős, gyakorlatilag körpályának tekinthető. A Nap-Föld távolság csak kb. 1,7%-ban ingadozik (Imre és tsai., 2009). Az energetikai célú napsugárzás hasznosítási feladatoknál azonban nyugodtan számolhatunk a napállandóval, és mind a napállandó ingadozást, mind a Nap-Föld távolság változásából fakadó teljesítmény-ingadozásokat elhanyagolhatjuk.



2.1. ábra A Földre érkező napsugárzás

(http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05.html)

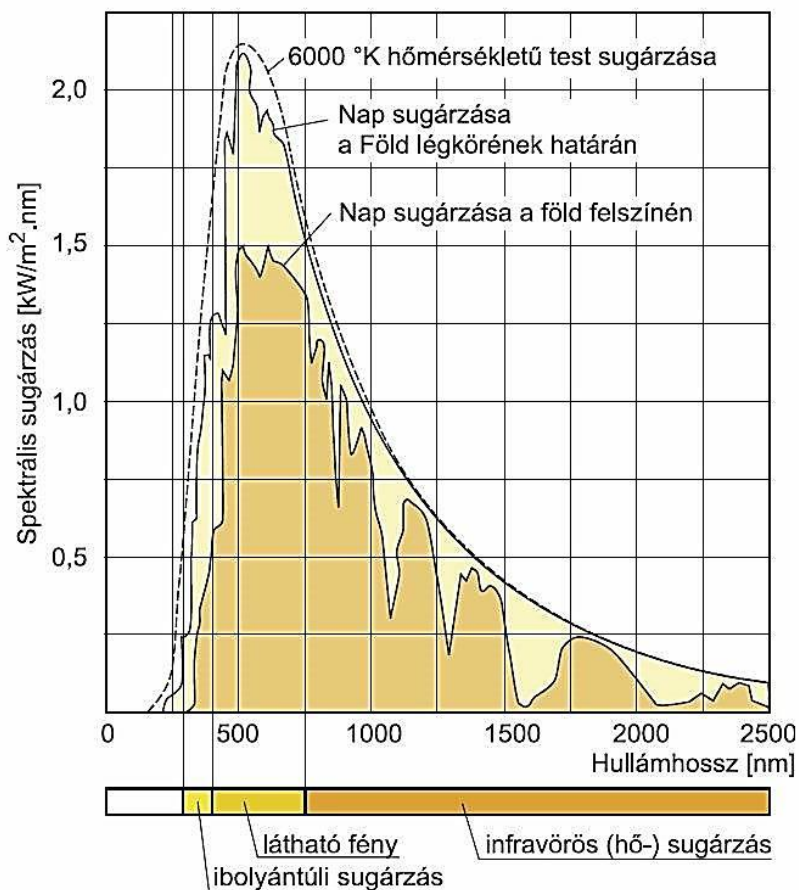
Az idézett adatokat a műholdak napállandó méréseiből, néhány ezreléknyi pontossággal ismerjük. A besugárzott napenergiából az egész Föld-légkör-rendszer (a felszín, az óceánok, a felhőtakaró stb.) összesen ~30%-ot ver vissza. Ezek az adatok is eléggé pontosak, nagyjában 1% a bizonytalanság. A régebbi szakirodalmi leírások a levegőt egyszerűen átlátszónak vélték. Az utóbbi idők elméleti számításai még mindig azzal számoltak, hogy mintegy 24%-ot nyel el a légkör, s a többi 46% eljut a földfelszínig. Ez az energia részben, elég nagy részarányban, vizet párologtat el, egy része felmelegíti a talajt, s hősugárzásként, kisebb része hővezetéssel távozik. Napjainkban a sugárzásmérő műholdak mérései azt mutatják, hogy nem 24% marad a légkörben,

hanem 28–29%, vagyis 41–42% jut a felszínnek. A földünkre érkező sugárzás elméleti modellje látható az 2.1. ábrán (Horváth, 2011).

A Föld termikus egyensúlyban van a környezetével, azaz akkora energiát kell kisugároznia a világűrbe, mint amit onnan abszorbeál, és amit önmaga fejleszt (belső forrás). A földhőt elhanyagolhatjuk a számításoknál, mert a földi hőtermelést a beérkező napsugárzás energiájának csak néhány század százaléka, a beérkező sugárzás abszorbeált energiájából kiszámolható, mekkora a Föld felület hőmérséklete csillagászatilag (Gelencsér és tsai., 2012).

2.1.1. A napsugárzás spektrális eloszlása

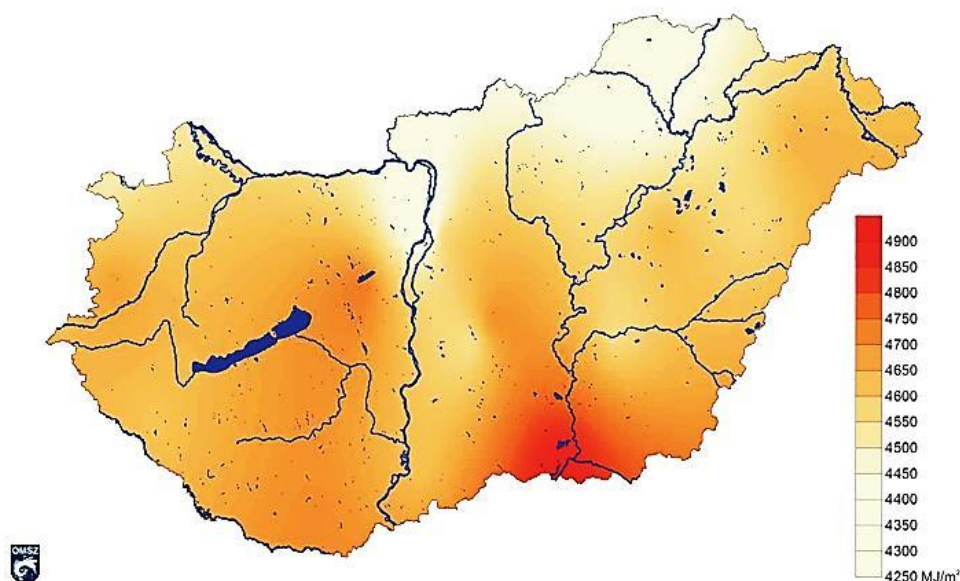
A Planck-féle sugárzási törvény alapján a frekvencia-tartomány tetszőleges sűrűséggel kijelölt pontjaira számítható függvény. A Nap széles spektrumú hőt és fényt nyújtó energiaforrás. A földfelszínre érő sugárzás 4 százaléka a közeli ultraibolya tartományban (300–400 nm), körülbelül 45 százaléka a látható (400–760 nm), megmaradó fele a közeli infravörös és az infravörös fölötti (760–1.400 nm) hullámhosszak tartományába esik. A spektrum látható és közeli ultraibolya része, nagy energiataartalmánál fogva fotokémiai, az infravörös sáv hőforrásként alkalmas felhasználásra (www.hol-napinvest.hu, 2015).



2.2. ábra A napsugárzás spektrális megoszlása
(<http://www.hol-napinvest.hu/site/napelemekrol>)

A 0,3 mikrontól 4 mikronig terjedő sávban benne van a teljes sugárzási energiának több mint a 99 százaléka. Az ultraibolya rész elenyésző, ezt az ózon kiszűri. A látható tartományban az egésznek mintegy a felét kapjuk, a többit – hőszugárzásként – a közeli és a távoli infravörösben, a rádiósugárzás részaránya szintén elhanyagolható, ez látható a 2.2. ábrán.

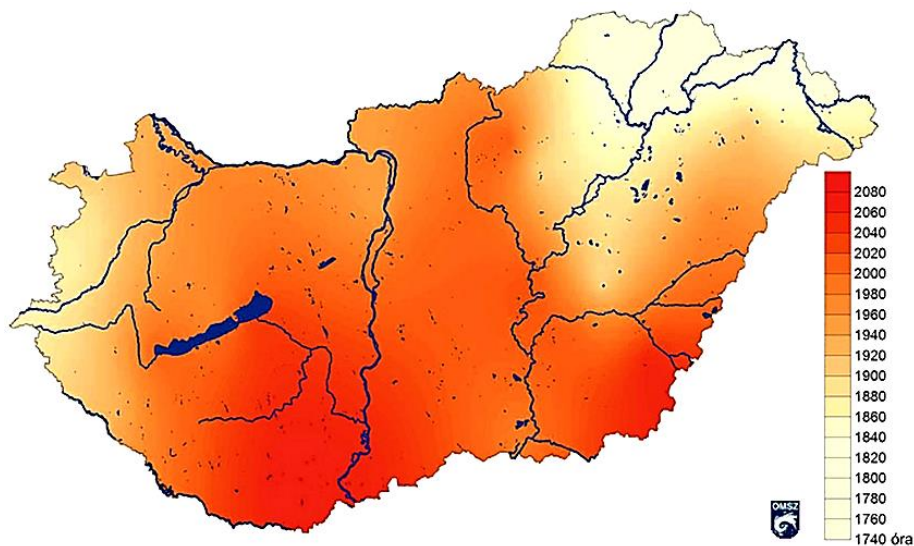
2.1.2. A magyarországi sugárzási viszonyok



2.3. ábra A globálsugárzás átlagos évi összege Magyarországon (2000-2009)

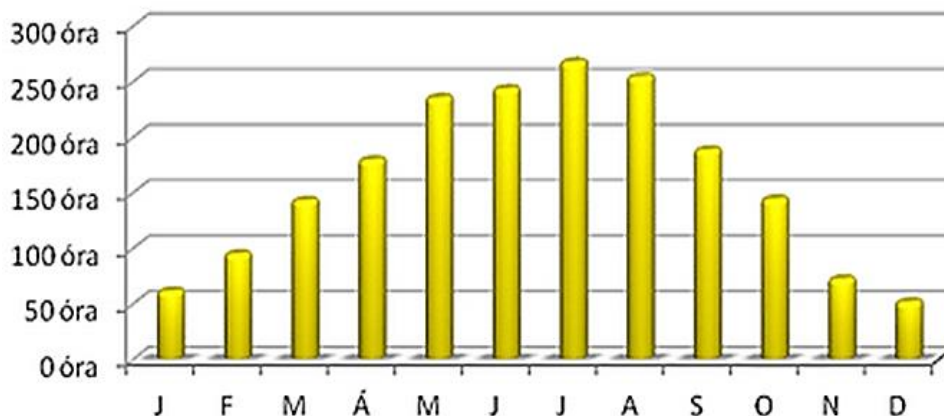
(http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/)

Globálsugárzás alatt a Napból érkező közvetlen sugárzás valamint az égbolt minden részéről érkező szórt sugárzás összegét értjük. Magyarországon a legtöbb besugárzás a Tiszántúl déli területein tapasztalható, Szeged környékén ez az érték eléri a 4800-4900 MJ/m² értéket is. Emellett a globálsugárzás nagy területeken meghaladja a 4500 MJ/m²-t. Legkevesebb besugárzásban az Északi-középhegység térsége részesül, itt helyenként 4300 MJ/m² alatti globálsugárzás összegek is előfordulnak (2.3. ábra).

2.4. ábra Az évi átlagos napfénytartam (óra) Magyarországon az 1971-2000 időszak alapján
(http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/)

Napfénytartamon azt az időtartamot értjük, ameddig a felszín közvetlen sugárzás éri. Magyarországon a legtöbb, 2000 óra fölötti évi napsütés a déli, délkeleti országrészben jellemző, míg a legkevésbé napos területek az ország északi, északkeleti részében valamint az Alpokalján jelennek meg 1800 óránál is kevesebb évi napfényösszeggel. Télen magasabb hegyvidékeink

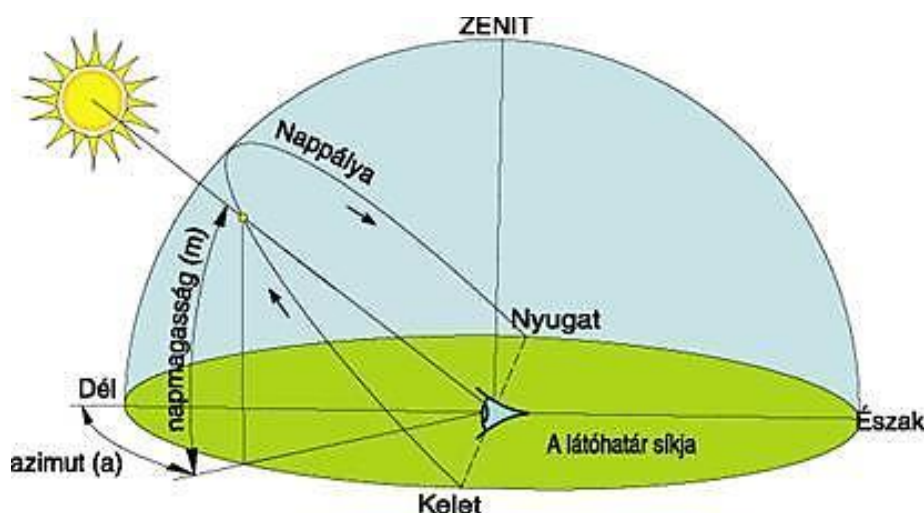
másfélszer annyi napfényes órában részesülnek, mint az alföldi területek, mivel télen gyakoriak az olyan inverziós helyzetek, amikor az alacsonyabban fekvő vidékeket megülő ködből magasabb hegyeink kiemelkednek, és zavartalan napsütésben részesülnek. Nyáron ellenben a hegységek borultabb, csapadékosabb időjárása miatt mintegy 10%-kal kevesebb a napsütéses órák száma az alacsonyabb fekvésű sík fekvésű területekhez viszonyítva (2.4. ábra).



2.5. ábra A napfénytartam átlagos havi értékei Magyarországon az 1971-2000 időszak alapján (http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/)

Magyarországon a napfényes órákban legszegényebb időszak a december, míg a maximális napfénytartam júliusban alakul ki (2.5. ábra).

A napkollektorok illetve napelemek által begyűjthető energia mennyisége nagyban függ a berendezések tájolásától és dőlésszögének beállításától. Tájolás tekintetében természetesen, hogy a déli beállítás a legkedvezőbb. A dőlésszög optimális értéke az üzemeltetés időszakától függ. Általában 30-60°-os dőlésszöget szokás alkalmazni (2.6. ábra).



2.6. ábra A beesési szögek értelmezése

http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-0019_Epuletenergetika/ch02.html

A Föld forgástengelye és a Nap körüli keringés tengelye közötti 23,5°-os eltérés miatt a Nap látszólagos pályája az égbolton az év minden napján más és más. Télen a Nap alacsonyabb, nyáron magasabb pályát ír le. A Nap pillanatnyi helyzetét az égbolton a napmagassággal (m) és

az azimuttal (α) jellemezhetjük. Napmagasságnak a Nap vízszintes, horizontsíkra vonatkozó beesési szögét nevezzük. Magyarországon a Nap delelési magassága legnagyobb június 21-én, ekkor a napmagasság 66° , legkisebb pedig december 21-én, ekkor a napmagasság 19° . Azimutnak a Nap horizontsíkra vetített helyzetének egy meghatározott iránytól való eltérését nevezzük. A csillagászok nulla azimutnak az északi irányt tekintik. Napenergia-hasznosítás területén célszerűbb nulla azimutnak a déli irányt felvenni, ekkor a keleti naphelyzetet negatív, a nyugati naphelyzetet pozitív előjellel vesszük figyelembe (Barótfi, 2011.).

2.2. Napenergia hasznosítása

Az energetikai célú napenergia felhasználás technológiáit két csoportra osztjuk:

- a passzív napenergia hasznosító eljárások, módszerek és
- az aktív napenergia hasznosító eljárások, módszerek.

Passzív hasznosítás, amikor külön kiegészítő eszköz, berendezés nélkül tudjuk a napenergiát, megfelelő tájolás, célszerű üvegezés, hatékony szigetelés és alkalmas szerkezeti anyagok megválasztásával, az épületek fűtésére felhasználni. A másik megoldás az aktív hasznosítás, amikor valamilyen, külön erre a célra készített eszköz (kollektor, napelem) segítségével alakítjuk át a Nap sugárzási energiáját hővé vagy villamos energiává (Fülöp, 2005).

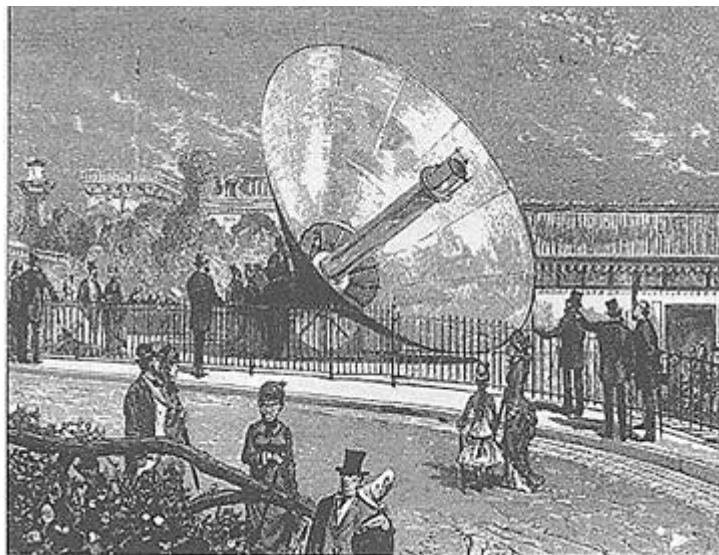
2.2.1. A napenergia felhasználás rövid története

Archimedes (i.e. 287-212) görög tudós, bölcselettulajdoníja a technikatörténelem az első tudatos napenergia-hasznosítás tényét. Állítólag i.e. 212-ben, amikor Siracusát a rómaiak hajóhadakkal támadták, Archimedes egy tükörrel - más források szerint a védők pajzsaival – a Nap sugárzásának koncentrálásával a hajókat lángra lobbantotta. Pontos adatok Plutarchos és Livius krónikájában hiányoznak, csak Galens „De Temperamentis”-ében található utalás erre a sajtószerű hadicselre. Plutarchos azonban arról ad hírt, hogy a Vesták Numa Pompilius idejében (i. e. 714-671) a szent tüzet a nap segítségével fém poharakkal koncentráva gyújtották be. Az inkák napsugárzás visszaverő felületeket használtak a „szent ételek” elkészítéséhez.

Athanasius Kircher (1601-1680) rekonstruálta Archimedes kísérletét, bár nem hajóhadat gyújtott fel, hanem azt vizsgálta, hogy egy farakást milyen távrolól tud kigyújtani. Ezt számos tükör és lencsekísérlet követte, melyet a krónika feljegyzett. A firenzei Averani és Targioni 1694-ben gyémánton, a német matematikus, Ehrenfried Walter von Tschirnhaus (1651-1708) kerámián, Leibharzt Honberg 1699-ben aranyon és ezüstön, majd néhány évvel később Geoffroy vason, cinken, rézen, higanyon végzett sikeres kísérletet napenergia segítségével. Georges Leclerc Buffon (1707-1788), francia természettudós 1747-ben egy 360 siktükröt tartalmazó berendezést épített. Egy kisebb berendezéssel, mely 168 db 15×15 cm siktükröt tartalmazott, Buffon a királyi kertben 60 m-ről meggyújtott egy farakást. Ugyanezzel a berendezéssel 39 m-ről ólmot és 18 m-ről ezüstöt olvasztott meg.

A francia fizikus, Claude Servais Pouillet (1791-1868) mérte először a földre érkező sugárzást. A svájci tudós, Nicholas de Saussure (1740-1799) konstruálta 1770-ben az első hőgyújtó dobozt, a mai termikus kollektorok elődjét. A francia tudós, Laurent Lavoiser (1743-1794), a kémia tudományának atyja, egyik első munkájában a napenergia segítségével vizsgálta a levegő összetételét és az oxigént. Lencsékkel felszerelt, napirányba forgatható berendezésével sikerült 1773°C -on a platinát megolvasztania.

Lavoisier volt, aki elsőként hívta fel a figyelmet arra, hogy a hagyományos tüzelő anyagok egyszer elfognak a Földön, és hogy a napsugárzással működő berendezések milyen előnnyel rendelkeznek. A tiszta energiaforrás mellett ő állt ki először. Sir Henry Bessemer (1813-1898), az ismert angol acélgyártó 1868-ban egy 100 szegmensből álló, 3 m átmérőjű tükörrel napkohót készített. Réz és horgany olvasztására használták. Augustin Mouchot (1825-1911), francia fizikatanár az 1878-as párizsi világkiállításra olyan nyomdagépet készített, amelyet "napmotor", azaz napüzemű gőzgép hajtott (2.7. ábra).



2.7. ábra Mouchot napenergiával fűtött kazánja az 1878. évi párizsi világkiállításon
(<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0303/ujfal0303.html>)

1872-74-ben Észak-Chilében Las Salinasban kb. 5000 m² felületen Carlos Wilson napi 22 500 l teljesítményű napenergiás vízdesztilláló berendezést épített. 1902-1908 között H.E.Willsie és John Boy Kaliforniában 4 napenergiával működő motort épített. 1913-ban Kairó közelében az egyiptomi F. Shuman és C.V Boys 35 kW-nál nagyobb teljesítményű napenergiával működő gőzmotort készített vízszivattyúzási céllal. Ebben az időben végezték az első energiatárolási kísérleteket is. JA. Harrington Új Mexikóban napenergiával működő gőzmotort készített, mellyel 6 m magasságra egy kb. 20 m³ tartályba pumpálta vizet, amelyből folyamatosan működtetett egy vízturbinát, mely villamos generátort hajtott, és egy kis bánya világítását biztosította. A következő 30 évben C.G. Abott motor- és hőtároló kísérleteitől eltekintve nem volt lényeges új eredmény.

A második világháborút követően egy felkészülésnek nevezhető időszak következett, számos nemzetközi szimpózium, konferencia tűzte témájául a napenergia hasznosítást. 1954-ben Chapin elkészítette az első fotovillamos elemeket, napelemeket. Közben egyre növekedett a napenergiás vízmelegítő berendezések száma, mind használati melegvíz előállításra, mind uszodavíz hasznosítási céllal (Butti és Perlin, 1980).

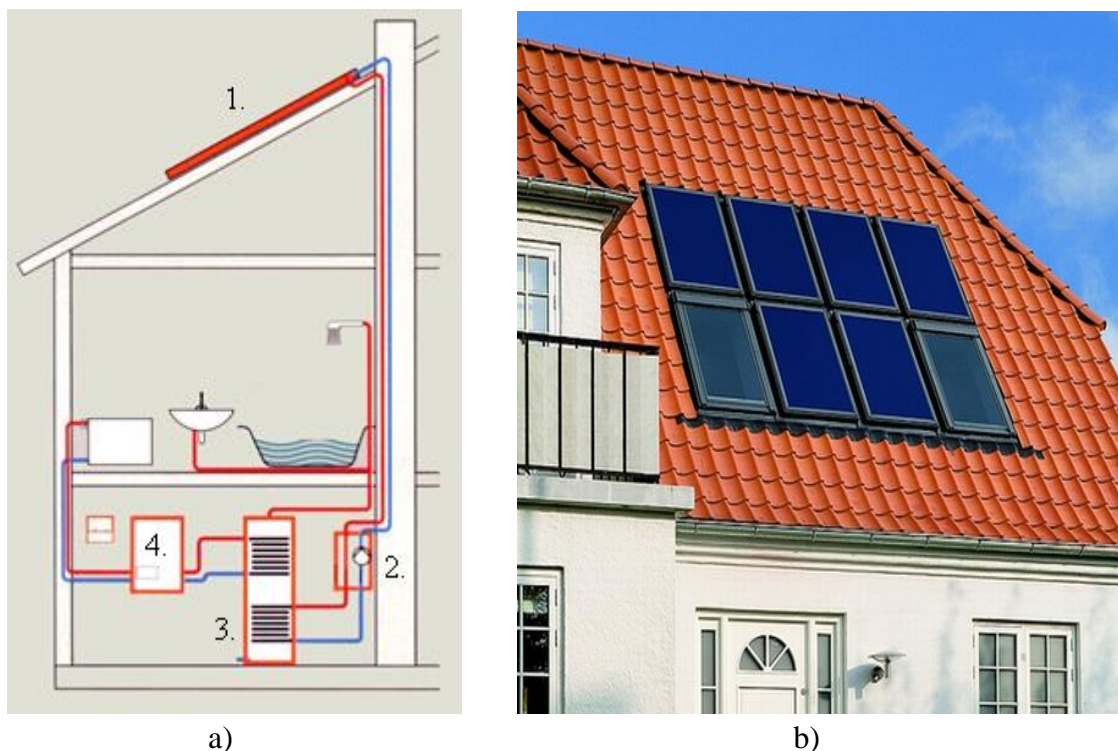
1972 az ún. olajválság éve volt, tulajdonképpen a fordulat éve, amikor a világ figyelmét újból a napenergia felé fordította. A kutatási aktivitás megélnéskült, néhány év alatt pl. százszorosára nőtt az Egyesült Államokban is a napenergia hasznosításának kutatására fordított összeg, és megindult a legkülönbözőbb napenergia hasznosító berendezések elterjedése. Sokan azt

mondják, hogy egy új korszak indult, a megújuló természeti energiaforrások korszaka, mely közvetlenül vagy közvetve a napenergia korszaka (Barótfi, 2003).

2.2.2. A napenergia aktív hasznosítási lehetőségei

A napenergia aktív hasznosítása, alapvetően fototermikus vagy fotovillamos módon mehet végbe. A fototermikus megoldás azt jelenti, hogy egy alkalmas eszközön (napkollektoron) folyadékot vagy levegőt áramoltatunk keresztül úgy, hogy közben minimálisra csökkentjük az áramló közeg által felfogott energiának visszasugárzás vagy hővezetés általi eltávozását a készülékből (Móczár és Farkas, 1999).

A felmelegített folyadékot leggyakrabban meleg víz előállítására használjuk fel, de természetesen egyéb megoldások is előfordulnak a gyakorlatban. A fotovillamos megoldás során napelem segítségével alakítjuk át a napenergiát közvetlenül villamos energiává. Az ily módon kapott 12 vagy 24V-os egyenfeszültséggel közvetlenül lehet fogyasztókat (pl. világítás, szellőztetés) működtetni. Mindkét esetben problémát jelent a begyűjtött hő- ill. villamos energia tárolása. A tárolásra a napsugárzási energia kínálata és a fűtőtéljesítmény iránti igény közötti időbeli eltérése miatt van szükség (nappal/éjszaka, derült/borult égbolt). Általában napi ciklusú energiátárolásról van szó, különleges megoldásokkal hosszabb távú, szélsőséges esetben szezonális tárolás is megvalósítható. A folyadékkal működő kollektoros hasznosítás esetén a leggyakoribb megoldás egy megfelelő méretű szigetelt tartály alkalmazása. A napelemek által szolgáltatott villamos energiát legegyszerűbben akkumulátorokban tárolhatjuk (Kacz és Neményi, 1998). A hagyományos felépítésű napkollektoros rendszer látható a 2.8. ábrán.



2.8. ábra Hagyományos napkollektoros rendszer kialakítása a) és külső megjelenése b), (1. napkollektor (napenergia-átalakító), 2. keringtető- és szabályozó rendszer, 3. melegvíz tároló, 4. utófűtő kazán).

A Nap energiáját egy berendezésben közvetítő közeg segítségével hőenergiává alakítjuk át, amelyet épületgépészeti eszközökkel hasznosítunk, ezek az ún. napkollektoros rendszerek. A

napenergia összegyűjtésre szolgáló berendezések működési hőmérséklete a felhasználási céltól függően különböző lehet: 20 és 180 °C között változik. A napenergia-hasznosító berendezések alkalmazására azok a területek a legelőnyösebbek, ahol alacsony hőmérsékletű levegőre vagy vízre van szükség. Ilyen terület például az uszodák hő ellátása, ahol a használat időszaka szerencsésen egybeesik azzal az évszakkal, amelyben a Nap sugaraival a legtöbb energia érkezik a Föld felületére (Móczár és Farkas, 1999).

2.3. Napsugárzási energia befogása

Különböző anyagok, ill. felületek napsugárzás-elnyelő képessége és sugárzóképesége, adott hőmérsékleteken, változó. Az elnyelt sugárzás hővé alakul. A hőtermeléshez csak annyit kell tennünk, hogy a sugárzás útjába olyan anyagot állítunk, amelyen nem tud áthatolni (Barótfi, 2011).

2.3.1. Anyagok, anyagfelületek hatása

Az elnyelőszerkezetet úgy kell kialakítanunk, hogy az

- a legjobb elnyelőképeségű legyen és
- működése során kicsi legyen a hővesztesége.

2.1. táblázat Anyagok elnyelő-, és sugárzó képessége

Anyagok, ill. felületek	Elnyelőképesség (α)	Sugárzóképeség (ϵ)
Alumínium		
• polírozott	0,30	0,07
• eloxált	0,16	0,90
• nyers	0,63	
Acéllemez		
• nyers	0,92	
• horganyzott	0,94	
Azbesztcement		
• új	0,42	
• öreg	0,71	
Betonfelület	0,60	0,88
Fedéllemez	0,90	0,92
Fa	0,35	0,86
Fehér csempe	0,18	0,96
Égetett agyagtégla	0,56	0,92
Tetőcserép	0,43	
Fehér lakkfesték	0,38	0,96
Fekete lakkfesték	0,89	0,76

Ezért a legjobb elnyelőanyagok az átlátszatlan, szilárd felületek. Az átlátszatlanság mellett az is lényeges, hogy a felület visszaverőképessége csekély legyen. Az elnyelőszerkezethez tehát a matt, fekete felületű anyag a megfelelő. A gázok elnyelőképesége hullámhossz szerint változik, ezért a földi légkör energiamérlege függ a légkörben előforduló gázok mennyiségétől.

Az elnyelőképeség az elnyelő felületképzésétől függ. A legegyszerűbb megoldás a matt fekete festés. Készítenek alumínium elnyelőfelületet sötétlila színű, eloxált bevonattal és fekete színű nikkelbevonattal is. Az 2.1. táblázatban különféle anyagok napsugárzásra vonatkoztatott elnyelő

képességét mutatom be. A második oszlop a kb. 300 K (+27 °C) földi hőmérséklet mellett adódó sugárzóképeséget (emisszió = e) tartalmazza (Barótfi, 2003).

Sok anyagnál az elnyelőképeség egyenlő a sugárzóképeséggel, például az ideális fekete és szürke felületeknél. A sugárzás hasznosításánál előnyös, ha az elnyelés nagy és a visszasugárzás kicsi, mert így több lesz hasznos teljesítmény. Egyes felületek napsugárzásra vonatkoztatott elnyelőképeségét és a földi hőmérsékletekre érvényes sugárzóképeségét mutatja a 2.9. ábra (<http://www.zonbak.com/knowledge/passive%20solar%20design/passivesolar2.html>).

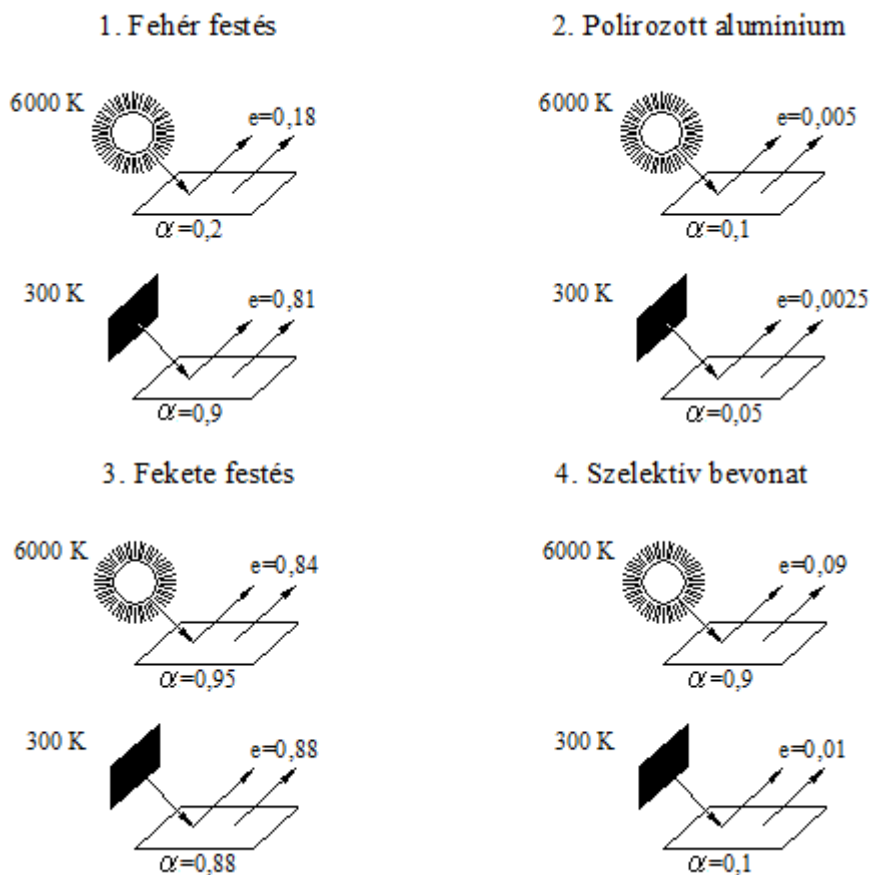
A négy jellegzetes felületképzés a következő:

1. Fehérre festett felület a nap sugárzásból 20%-ot elnyel és mindjárt $e = 18\%$ -ot vissza is sugároz. Ugyanezek az értékek 300 K hőmérsékletű földi sugárzásra: 90% elnyelés, de 81% visszasugárzás. A fehérre festett felületek hőmérséklete kisebb mértékben növekszik a napsugárzás hatására, mint például a 2. pontban lévő anyagnál.

2. Polírozott alumíniumfelület, melynek kisebb ugyan az elnyelése, de lényegesen kisebb a visszasugárzása is. A jelenséget mérésekkel bizonyították: a polírozott alumínium felületi hőmérséklete több fokkal nagyobb, mint a fehérre festett felületé.

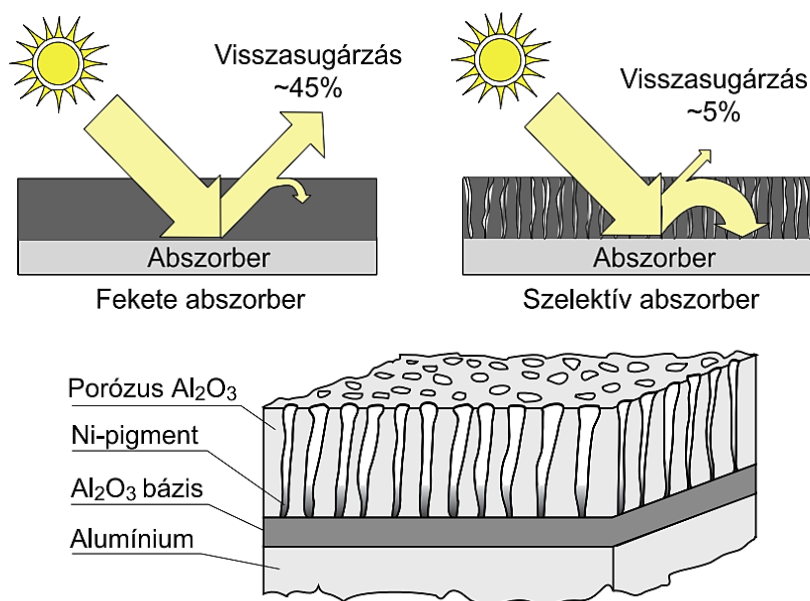
3. A fekete felület minden sugárzásra arányosan reagál.

Egyszerű napenergia-hasznosító berendezésekben ezen csoportba tartozó felületeket alkalmazzuk, mert az elérhető 95%-os elnyelőképeség tökéletesen megfelel és a visszasugárzást korlátozni tudjuk.



2.9. ábra A különféle anyagok elnyelő-, visszasugárzási tényezői

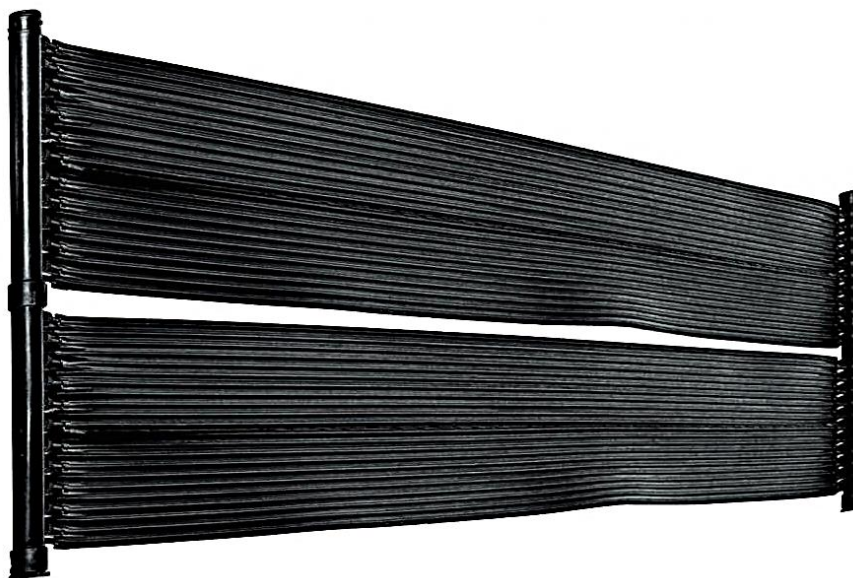
4. A szelektív elnyelők többrétegű bevonattal készülnek. A felső rétegen a napsugárzás áthatol és jó hatásfokkal nyelődik el a következő rétegben. Ennek visszasugárzását viszont gátolja a felső réteg (2.10. ábra).



2.10. ábra A szelektív bevonat jellemzői
(<http://www.naplopo.hu/letoltes/naplopo-tervezesi-segedlet.pdf>)

2.3.2. Fedés nélküli abszorberelnyelők

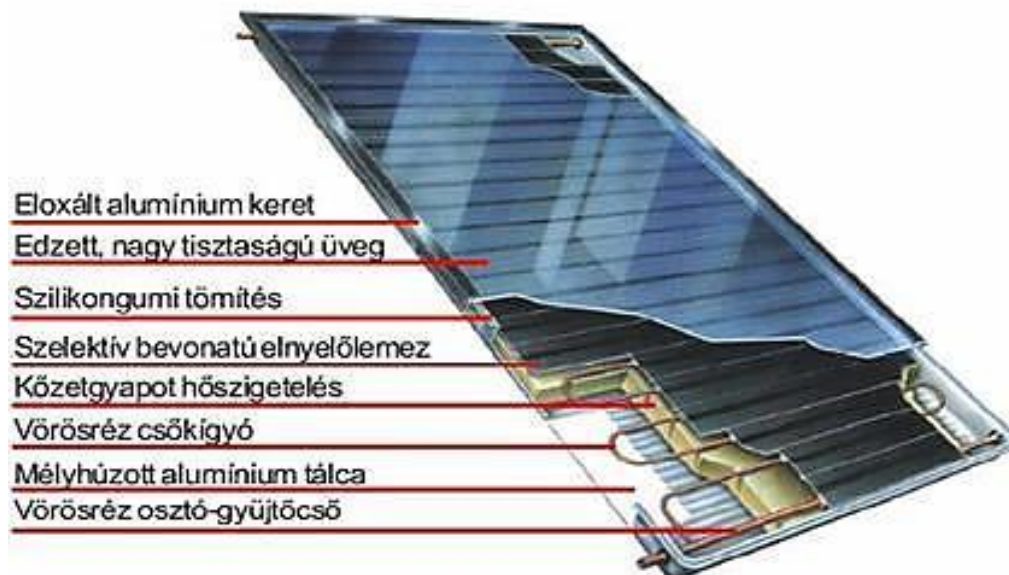
A napenergia hasznosítás legegyszerűbb kialakítású szerkezetei. A burkolat nélküli hőelnyelők fekete felületű műanyagból vagy fémből készülnek, megjelenési formájuk lehet lemez, paplan, szőnyeg, cső vagy tömlő, tipikus kialakítás a 2.11. ábrán látható. Ezek az olcsóbb berendezések legfeljebb 40 °C-ig alkalmasak a napenergia hasznosítására, és csak a nyári időszakban működőképesek. Igen jól használhatók például uszodavíz melegítésére, vagy hőszivattyúk energiagyűjtőjeként. A hőszigetelés mellőzése a hőterhelés csökkentése miatt szükséges, így viszont nagy a hővesztésük, ezért főleg uszodák vízének fűtésére, vagy hőszivattyúk elpárologtatójaként használják (<http://sun-pool-heating.com/>).



2.11. ábra Szolár "szőnyeg" kialakítása

2.3.3. Síkkollektor

A síkkollektorok (FPSC), nem-koncentráló típusú egységek, a napkollektorok legelterjedtebb, legismertebb változata. A sík napkollektor felépítése egyszerű. Többek között ebben rejlik magas fokú megbízhatósága is. A síkkollektor elől üvegezett, oldalt és hátul hőszigetelt lapos dobozszerkezetből épül fel, melyben belül egy jó napsugárzás elnyelő képességű lemezre (ún. abszorberre) erősített rézcsőkiégő található (Tóth, 2011).



2.12. ábra Síkkollektor szerkezete

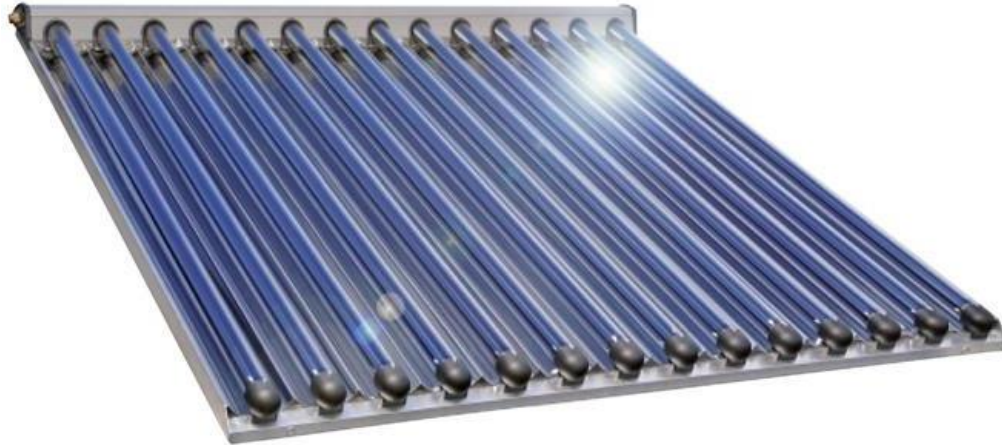
(<http://www.solartrade.hu/napkollektor/napkollektor-tipusok/>)

A kollektordoboz teszi lehetővé az alkatrészek szilárd összeépítését, védi a hátoldali hőszigetelést, biztosítja az elnyelő és a fedés közötti légrést, valamint megbízhatóan és vízhatlanul rögzíti a kollektort fedő üveglemezt. Környezeti hatásoknak ellenálló anyagból készül, évtizedekig kell garantálni a kollektor belső elemeinek biztonságát. Az abszorber egység garantálja a maximális napenergia hasznosítást. Az abszorber és a hőszállító cső között hegesztett összekötés biztosítja a legjobb hővezető képességet, és ellenáll a legmagasabb üzemszüneti hőmérsékletnek is. Az üvegfedés fő feladata az előoldali hővesztés csökkentése, miközben csak minimális mennyiségű napenergiát tart vissza. Anyaga többnyire alacsony vastartalmú, edzett biztonsági üveg, de terjednek a különböző műanyagok is. Ezek korszerű típusai viszont még elég drágák. Különleges szigetelés, üvegtakaró keret, síktömítésű kimenet, hátfalszigetelés, automatikus szellőztető. Ezek az elemek biztosítják a tömítettséget, az időjárás állóságot, csökkentik a már befogott energia elvesztését (2.12. ábra). A levegő-hőhordozóval működő kollektor csak az elnyelő tábla kialakításában különbözik a folyadékostól, hőtechnikai tulajdonságai miatt teljesítménye és hatásfoka csak kb. fele a folyadékosnak (http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Telepules_energetika).

2.3.4. Vákuumcsöves kollektorok

A vákuumcsövek hatékonyan csökkentik a napkollektorok hővesztését, a vákuum jó hőszigetelése miatt télen is jó hatásfokkal működnek. A hőátadó közeg közvetlenül a vákuumcsövekben melegszik fel, direkt áramlással, hőcserélő nélkül. A vákuumcsövek két-, a végeinél zárt, koncentrikus üvegcsőből állnak, hasonlóan a háztartási termoszhoz. A belső

üvegcső teljes felülete szelektív hőelnyelő anyaggal bevont abszorber. A hengeres abszorber felület és a CPC koncentrátor (Compound Parabolic Concentrator) a mindenkori napálláshoz és sugárzási viszonyokhoz optimális helyzetet biztosít. Kevésbé irány érzékeny, így ferde tetők mellett lapos tetőkre és homlokzatokra is felszerelhető (Tóth, 2011). Nagy üzembiztonság és hosszú élettartam jellemzi az alkalmazott nemes anyagok és a korszerű technológia miatt (2.13. ábra).



2.13. ábra Vákuumcsöves kollektor
(http://www.gws-technology.hu/vakuumcsoves_napkollektor.html)

2.3.5. Koncentráló ernyővel ellátott kollektorok

Egyszerűbb esetekben síklapokból, vagy gömbtükörből állítják elő, a nagy koncentráció képességű elnyelőket viszont parabola ill. paraboloid tükörrel készítik (2.14. ábra). A fókuszpontban elhelyezett elnyelő mérete jóval kisebb mint a síkkollektore, hőmérséklete viszont sokkal magasabb. Nagy méretekben ezért vákuum-szigetelésű elnyelőt alkalmaznak. Fontos tulajdonsága, hogy csak a direkt sugárzást lehet vele koncentrálni, ezért csak a páramentes, tiszta időszakokban vagy helyeken használható kellő teljesítménnyel (Tóth, 2011).

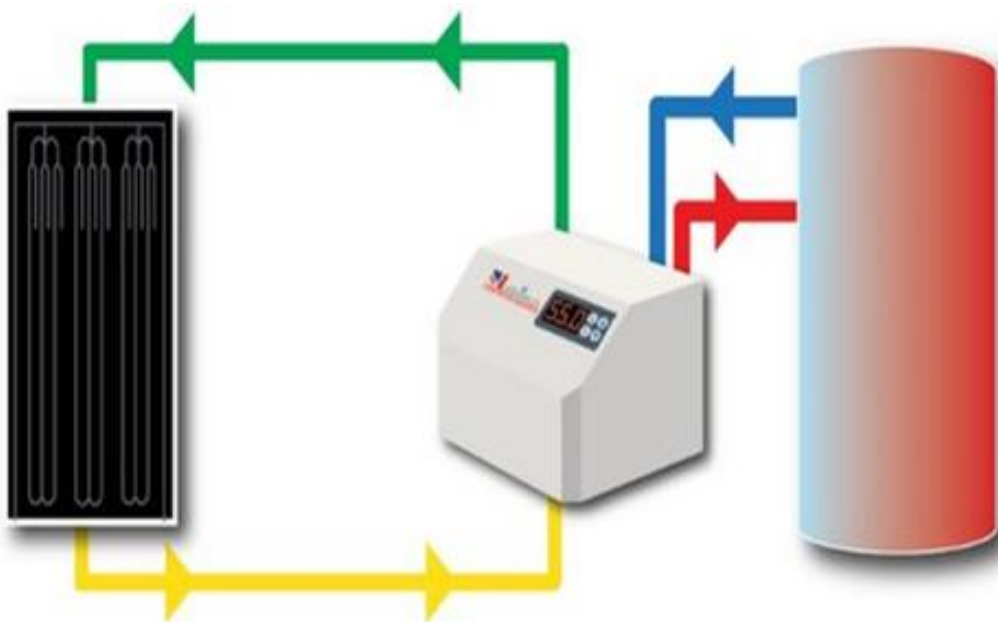


2.14. ábra Koncentrátoros kollektor
(http://www.ucsusa.org/clean_energy/)

A Nap pályájának követése első ránézésre bonyolult és költséges berendezéseket igényel, de születtek már egyszerűsítő és nagyon ötletes módszerek is. A nagy naperőművekben azonban a precíz megoldásokat érdemes használni. A fentiek, valamint a hazai éghajlati és technológiai viszonyok figyelembe vételével nem véletlen, hogy hazánkban inkább a síkkollektorokat és néhány esetben az abszorberelnyelőket alkalmazzák, és a szolártechnikával foglalkozó cégek kínálatában is főleg ezek a berendezések szerepelnek (<http://napenergia.fw.hu/>).

2.3.6. Szolár hőszivattyús rendszer

A szolár hőszivattyús rendszer (Solar Heatpump) a legmodernebb szolár technika. Működése eltér a vákuumcsöves napkollektor rendszerektől. Akkor is működik ha nincs napsütés csak kisebb teljesítménnyel. Előnyös lehet, ha nem áll rendelkezésre megfelelő irányú és méretű tetőfelület, mivel a panelek akár oldalfalra is felszerelhetőek anélkül, hogy azok teljesítménye csökkenne.



2.15. ábra Szolár hőszivattyús rendszer

<http://www.right2improve.co.uk/little-magic-thermodynamic-box.php>

A rendszer abszorberből, hőszigetelt tartályból és egy termoblokkból áll, amiben a kompresszor, az expanziós szelep és a vezérlés foglal helyet. Egy hagyományos kollektorhoz képest jóval kisebb felületre van szükség, és ez a generáció jóval kevésbé érzékeny a helyes tájolásra, mint elődei (2.15. ábra). Működése ugyanúgy a Carnot-körfolyamaton alapul, mint egy hőszivattyúé. A keringő hőátadó folyadék az abszorberbe (napkollektorba) lépve elpárolog és hőt von el a környezetéből. Ezt a közeget elszívja a kompresszor, és megemeli a hőmérsékletét valamint nyomását. A megemelkedett hőmérsékletű folyadék átadja hőjét a melegvíz tárolóban található használati meleg víznek, majd visszatér az abszorberbe. Közvetlenül hasznosítja minden környezeti elem hőtartalmát, így a pára lecsapódás hőjét és a víz fagyáshőjét is. Nincsenek fagyási és túlmelegedési problémák, nincsenek törékeny részek a paneleken, és alacsonyabb hőmérsékleten működhetnek, mint a hagyományos napkollektoros rendszerek. A rendszer könnyen telepíthető, akár tetőre, akár az épület oldalfalára, kis tömege nem igényli a tetőszerkezet megerősítését (<http://www.solar-napkollektor.hu/>).

A vákuumcsöves napkollektor és a szolár hőszivattyús rendszer közötti különbség:

- A vákuumcsöves napkollektor csak napsütésben dolgozik, több éves átlag adatok szerint évi 40-45% kihasználtsággal. A hőszivattyús szolár $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dolgozik napsütés nélkül is. Magyarországon éves szinten 80-85%-ban $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölött van a hőmérséklet.
- A nap nem mindig süt. A hideg téli napokon gyakran csak néhány órát, amely behatárolja a hagyományos sík és vákuumcsöves napkollektorok működését. A hőszivattyús rendszer ezt a határt lépi át azáltal, hogy nemcsak a nap, hanem a környezet energiáját is elnyeli és hővé alakítja (2.16. ábra).

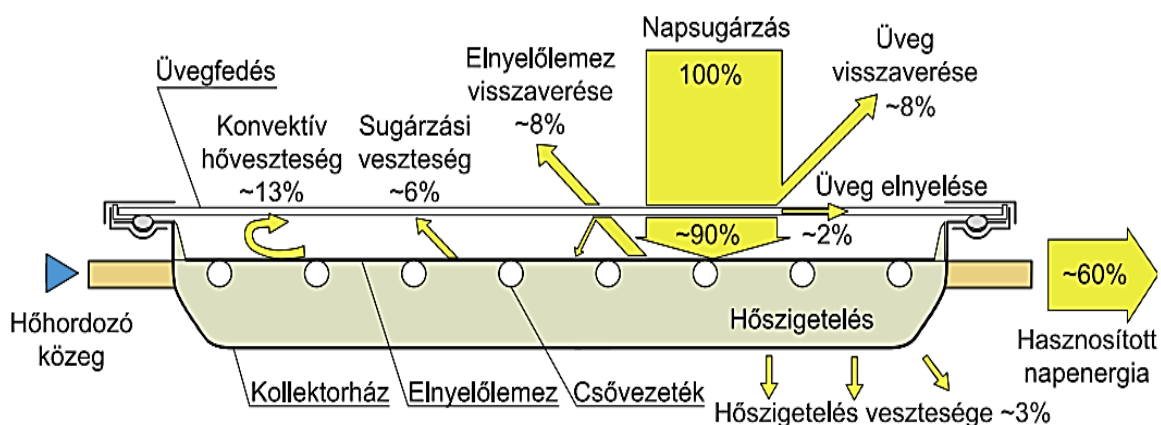


2.16. ábra Szolár hőszivattyús rendszer

https://www.heatmyhome.co.uk/learn-about-thermodynamic-solar-panels.php#.VPcGpHyG_To

2.4. A hagyományos síkkollektorok hőhasznosítása, veszteségei

A napkollektorok a felületükre érkező napsugárzást csak bizonyos veszteségekkel tudják átalakítani hasznos hőenergiává (2.17. ábra). A veszteségek optikai- és hőveszteségekre oszthatók.



2.17. ábra A hagyományos kialakítású rendszer hőegyensúlya
(<http://www.naplopo.hu/letoltes/naplopo-tervezesi-segedlet.pdf>)

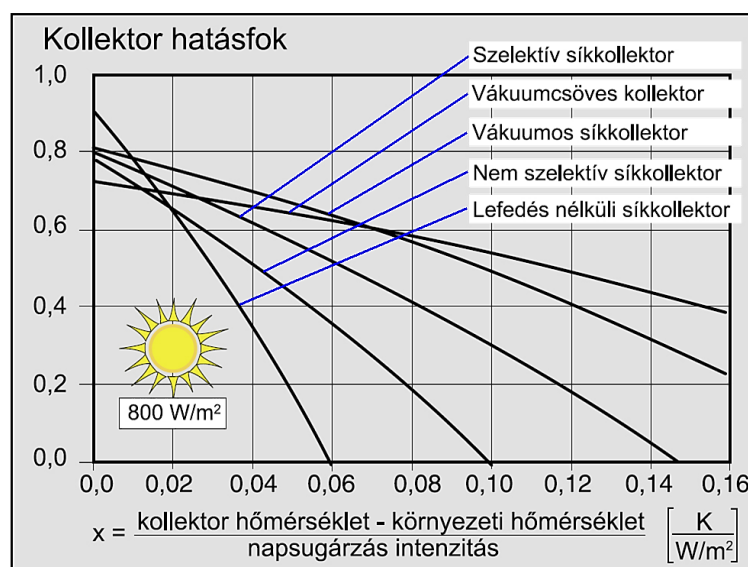
Az optikai veszteség - ami nem függ a kollektorok hőmérsékletétől - az üvegfelület visszaverése és elnyelése, valamint az abszorber felület visszaverése. A hőveszteség - ami erősen függ a kollektor és a környezeti levegő közötti hőmérséklet-különbségétől - a napsugárzás hatására felmelegedett abszorber lemez sugárzás, konvekció és hőátadás útján létrejövő vesztesége. Sok vizsgálatot végeztek, hogy megértsék a kollektorok termikus viselkedését, melyek hatékonysága függ, a napsugárzás beeső értékétől és a kollektor egység hőveszteségétől (Mekhilef et al., 2011, Vestlund et al., 2012, Sookdeo és Siddiquinek, 2010, Zambolin és Del, 2010). A szakvélemények szerint, a termikus veszteségek fő forrása a kollektor üvegezett oldala, mely 10% és 35% közötti értéket is elér.

További méréseket és technikai fejlesztéseket végeztek, hogy csökkentsék a kollektorok hőveszteségét, módosították az üvegezés, az elnyelő réteg jellemzőit, formáját (Slaman és Griessen, 2009, Varol és Oztop, 2008). Az összes ilyen vizsgálat a síkkollektorok (FPSC) termikus viselkedésének javítására koncentrált, a gazdasági szempontokat azonban ritkán vették figyelembe. Jó hőtechnikai tulajdonsággal rendelkező kollektorokat alakítottak ki, de a felhasznált anyagok drágák voltak és így az előállítási költségek is magasak lettek.

A szakirodalomban kevés vizsgálat foglalkozik a fedés nélküli napkollektorokkal, abszorberekkel (Martinopoulos et al., 2010, Mintsá Do Ango et al., 2013). A vizsgálatok és fejlesztések segítségével csökkentették a súlyt, kevesebb, mint felére a klasszikus kollektorokhoz képest, hasonló hő teljesítmény adatok mellett. Ezek az olcsó műanyag, UV-álló, PVC kollektor elemek, melyek fűtés- és víz előmelegítő rendszereknél vehetők főleg figyelembe.

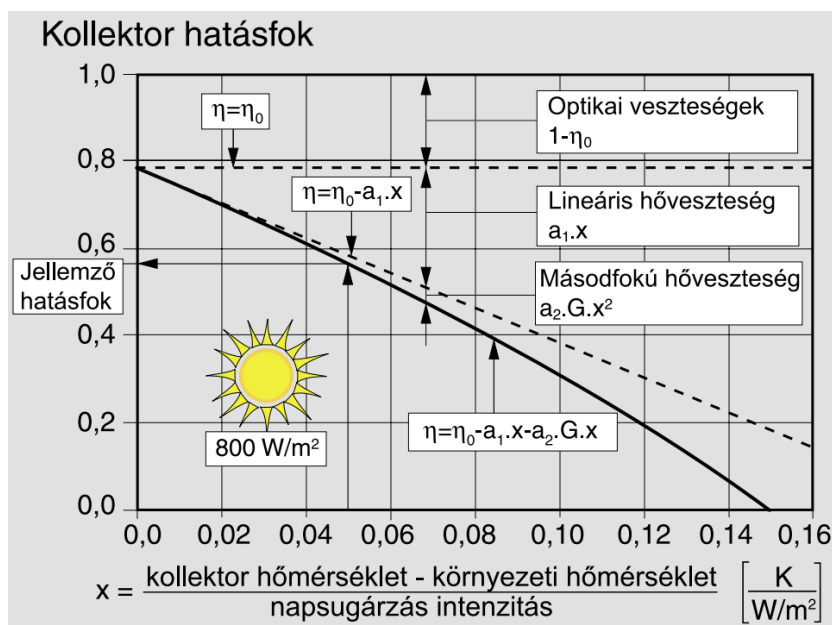
2.5. Kollektorok hatásfoka

Hőtermelő berendezések esetében a hatásfok a hasznosított és a bevitt hőmennyiség arányát fejezi ki. A napkollektorok "tüzelőanyaga" a Nap elektromágneses sugárzása. Ezért napkollektorok esetében a hatásfok a kollektorral hasznosított hőenergia és a napkollektorok felületére érkező napsugárzás energiájának arányát fejezi ki. A hatásfok tehát azt mutatja meg, hogy a napkollektorok a felületükre érkező napsugárzást mekkora veszteséggel tudják átalakítani hasznos hőenergiává.



2.18. ábra Különböző típusú kollektorok hatásfok görbéje
(<http://www.naplopo.hu/letoltes/naplopo-tervezesi-segedlet.pdf>)

A napkollektor veszteségeit és így a hatásfokát is jelentősen befolyásolják a pillanatnyi hőmérséklet és napsugárzási viszonyok. Ha megváltozik a külső hőmérséklet, vagy a napsugárzás erőssége, akkor a kollektorok hatásfoka is módosul, vagyis a hatásfokot nem lehet egy számmal kifejezni, mert az állandóan változik egy maximális érték és a nulla között. Ezért a kollektorok hatásfokát egzaktul csak grafikonnal, vagy matematikai egyenlettel lehet megadni (2.18.-2.19. ábra).



2.19. ábra Kollektor hatásfok görbe összetevői
(<http://www.naplopo.hu/letoltes/naplopo-tervezesi-segedlet.pdf>)

A napkollektor minősítő vizsgálatok célja, a sík és vákuum csöves kollektorokon, hogy megfelelnek-e az EN 12975 európai szabványnak és az SRCC 100 szabványnak. Ezek a vizsgálatok minősített laborokban történnek, jelentős idő és költség ráfordítás mellett (2.20. ábra).



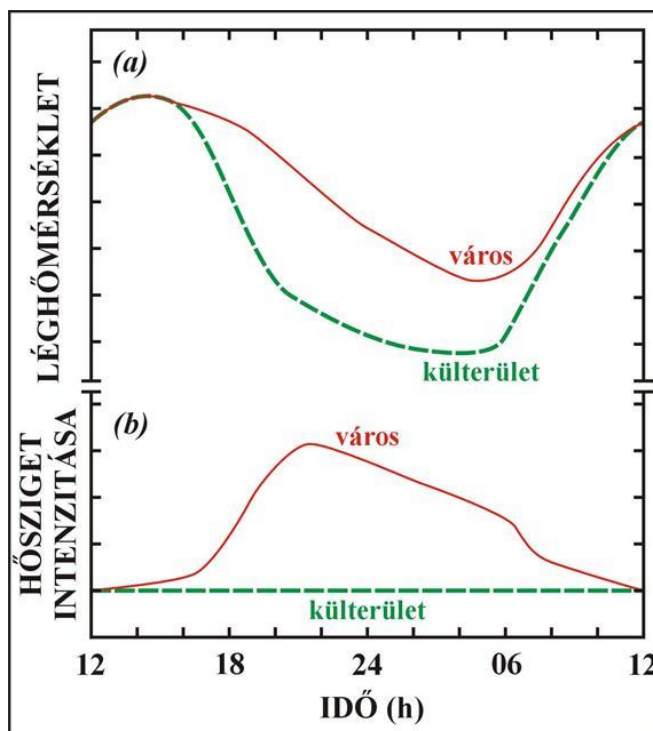
2.20. ábra Kollektorok vizsgáló állomás
(<http://www.ise.fraunhofer.de/de/servicebereiche/testlab-solar-thermal-systems>)

A technikai fejlesztések további célja, hogy csökkentsék a kollektorok hőveszteségét. Módosították az üvegezés fizikai jellemzőit, növelték az átteresztő képességet, a szennyező anyagokat csökkentése segítségével (Slaman és Griessen, 2009; Varol és Oztop, 2008).

2.6. Városi hősziget-hatás

A városi hősziget kialakulásának okai régóta ismertek. A mesterséges beépítés sötétebb felületei, a szellőzés kiegyenlítő hatásának mechanikai korlátozása, a csatornázottság miatt lecsökkent párolgás, mint hőleadási forma, valamint télen a fűtés, nyáron a hűtés által a légtérbe kerülő hőtöbblet emeli a belváros hőmérsékletét a külterületekhez képest. E különbség a derült, szélcsendes napok kora esti óráiban a legerősebb. Maximális mértéke jól közelíthető a házak magasságából és az utcák szélességéből képzett hányados logaritmusával. A léghőmérséklet a főváros belterületén is több fokkal magasabb a természetes értéknél. Az épületek kisugárzása késő estig nyújtja a melegedést (Mika, 2011).

A felszín közeli légtérben tapasztalható hősziget erőssége, jellegzetes napi menetet és a városon belül meglehetősen eltérő mértéket mutat. A hőmérséklet napi menetének sémája a városban és a külterületen Budapesten (2001-2004), (Bartholy et al., 2005), (2.21. ábra). A napi menet legfőbb jellemzője, hogy a késő délutáni és az esti mérsékelt lehűlés miatt a hajnali minimumhőmérséklet sem olyan alacsony, mint a külső területeken. Ugyanakkor napkelte után a város légtere lassabban melegszik fel. Ezek eredőjeként a hősziget intenzitása napnyugta után gyorsan növekszik és kb. 3-5 órával később éri el a maximumát. Az éjszaka hátralévő részében lassan, de egyenletesen csökken a különbség a hőmérsékletek között, majd a csökkenés napkeltekor felerősödik.



2.21. ábra A város és a külterület eltérő viselkedése ideális, derült időben (http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0038_foldrajz_MikaJanos-eghajlat-HU/ch01s10.html)

A városi hősziget jelenségét a távérzékelési technikák elterjedésével kellő térbeli felbontással tudjuk bemutatni. Ez a mérési mód a felszín kisugárzási hőmérsékletét (más kifejezéssel kinetikus hőmérsékletét) teszi megismerhetővé, mégpedig csak és kizárólag a derült napokon. Az ELTE Meteorológiai Tanszék munkatársai meghatározták a nagyvárosok belterületi hőmérsékleti többletének éves menetét (Pongrácz et al., 2010).

A hőmérséklet horizontális változása a város szerkezetétől, övezeteitől függ. A hőmérséklet a külterülethez képest a külvárosi résztől a centrum felé haladva először hirtelen, majd kisebb mértékben növekszik. Sajátos ezzel kapcsolatban a csapadék nagyváros körüli alakulása. A belváros függélyes emelő hatása folytán több felhő keletkezik, amely azonban a csapadékát csak a város szél mögötti oldalán, attól bizonyos távolságra adja le.

A hősziget kifejlődésének mértékére az időjárási tényezők (különösen a szél és a felhőzet) is jelentősen befolyással bírnak, s kialakulásukra kedvezőek a magas nyomású (anticiklonális) helyzetek, amikor általában derült az ég és közel szélségszerű van. Szegeden az 1978–1980 között végzett vizsgálatok szerint az anticiklonális helyzetekben erősebb a hősziget intenzitása, mint a ciklonális helyzetekben. A geográfus közelítés szerint a városi klíma kialakulása a földrajzi elhelyezkedéstől kezdve a szennyező anyagok kibocsátásán keresztül a népesség számától függ, a mérnöki közelítés viszont sokkal lényegre törőbb. A városhatás logaritmikusan függ a lakosság számától. A beépítettség jellege is fontos szerepet játszik, ugyanis az épületek magasságának és az épületek közötti távolságnak (utcaszélességnek) arányával együtt nő a város hőmérséklet-növelő hatása. Az időjárási tényezők (különösen a szél és a felhőzet) is jelentősen befolyással bírnak a hősziget kifejlődésének mértékére. Kialakulásának kedveznek az anticiklon helyzetek, amikor derült az ég és közel szélségszerű van. Szeged példájából merítve: anticiklonális helyzetben közelítőleg kétszer erősebb a hősziget intenzitása, mint ciklonális helyzetben. Ez az a pont, ahol a globális klímaváltozás találkozik a városi hőszigettel: az anticiklonok számának várható növekedésével tovább erősödik a városhatás anélkül, hogy a beépítettség fokozódna (Pongrácz et al., 2010).

A hosszabb távú, tartós alkalmazkodásnak több módja is van. A várostervezésben az utcai és beltéri hőstressz csökkentése a cél, zöld és tágas nyílt terek, a légáramlás alakításával, fák ültetésével, az albedó és az antropogén hőtermelés csökkentésével. Az épülettervezés is fontos szerepet kap: a beltéri hőstressz csökkentése érdekében növelni kell az épületek hőkapacitását, s a lakhelyek megfelelő tájolásával a hatékony besugárzást szükséges szabályozni. A zöld növényekkel borított tető csökkenti a nappali felmelegedést, és kissé az éjszakai lehűlést is. Ez a megoldás drágább ugyan, de előnye az időtállóság, ami a hőhártás és a vízhártás kiegyensúlyozottságában fontos szerepet játszik. Az ilyen típusú tetők albedója nagyobb, több fényt vernek vissza és a szokásos tetőzettel ellentétben a víz lassabban zúdul az utcára és folyik el a csatornába (Kolokotroni és Giridharan, 2008).

Számos vizsgálat mutat rá, hogy a városi terület és a környező elővárosi és vidéki területeken a hőmérsékletek között fennálló különbség 5 °C is lehet. Ennek az emelkedésnek közel 40 százaléka a sötét tetők, sötét színű járdák miatt van. A hősziget hatás ellensúlyozható fehér vagy fényvisszaverő anyagok használatával, ilyen jellegű anyagokból kell építeni a tetőket, járdákat, utakat, így növelve a város teljes albedóját. Több napkollektor felszerelése is csökkentheti ezt a hatást (Bougiatioti et al., 2009, Karlessia et al., 2009, Kolokotsaa et al., 2012).

2.7. A napkollektorok gazdaságossága

A szakirodalomban a napkollektorok alkalmazásának gazdaságossági kérdései, megtérülési idejének számítása hosszú ideje képezi viták tárgyát. Leggyakrabban azonban az fordul elő, hogy keverednek a gazdaságossági szempontok a környezetvédelem, a jövőért érzett felelősség szempontjaival. Más esetekben nem veszik figyelembe a számítási módszerek alkalmazhatósági korlátait.

A műszaki - gazdasági értékelések célja általában a beruházások, ezen belül az energiatakarékosságot szolgáló intézkedések gazdaságosságának megállapítása, azok megfelelő rangsorolása. Ezek a számítási lehetőségek olyan értékelési módszereket is tartalmaznak, amelyek akkor alkalmazhatók, ha a beruházás következtében az üzemeltetés költségei megváltoznak. A probléma lényege az, hogy egy egyszeri ráfordítást egy majdan, hosszabb idő alatt jelentkező megtakarítással kell összevetni. A gazdasági paraméterek pontos meghatározása fontos, mivel az eredményekre nagyobb hatással van, mint alkalmazott módszer kiválasztása. Az előzetes pénzügyi elemzések a napkollektoros rendszerek kedvezőtlen, hosszú idejű megtérülését jelzik, a tényleges energia árak emelkedése azonban jelentősen lerövidítik ezt (Farkas, 2003).

A fosszilis energiaárak az utóbbi években ingadozást mutatnak hazánkban, előreláthatóan azonban az elkövetkező időszakban is növekedni fognak, ezért a termikus napenergia rendszerek versenyképesek lesznek. Ezt támasztja alá az is, hogy a napkollektoros rendszerek ára csökken a kollektor gyártás fejlődésével. Elemzések alapján a kollektorok termelési költségének csökkenése következett be a termikus napenergia piac növekedésével Európában. A napkollektor csak az egyik összetevője a szolár rendszernek, további fontos részegységek a melegvíz-tároló tartály, a szabályzó, a szivattyú állomás, a csövek, stb. Mivel az összes beruházási költség ezekről is függ és a fejlesztések, gyártási eljárások hatékonysága folyamatosan fejlődik, így ezek árának csökkenése is megfigyelhető. A termelési költségek mellett, a telepítési költségeket is figyelembe kell venni. Egyes európai országokban, ahol a munkaerő költségek magasak, a telepítés költsége (kis tárolós rendszerek) eléri a beruházás 50%-át is. A kutatás és az ipar egyre nagyobb figyelmet szentel a rendszerintegrációra, ezáltal várható, hogy a rendszerek telepítési költsége is csökkenni fog az elkövetkező években (<http://decarboni.se/publications/strategic-research-and-innovation-agenda-renewable-heating-cooling/>).

Fontos felismerni, hogy a termikus napenergia hő költségek garantáltan állandó költség a rendszer teljes élettartama alatt. Nem lehet ezt megállapítani, ha a hasznos hő, a villamos energia vagy a földgáz árak alapján kerül kiszámításra. A változó gazdasági helyzet, a támogatási rendszer ciklikussága a pénzügyi számítások kiindulási értékeinek megállapítását bizonytalanná teszik, várhatóan a későbbiekben is ellentmondásosak lesznek az eredmények.

2.8. Megújuló energiák és az energiatörvény

Az Európai Bizottság 1996. novemberében elfogadta a Megújuló Energiaforrások című Zöld Könyvet, amely megállapította, hogy a megújuló energiaforrások minél kiterjedtebb alkalmazása az EU-15 tagországok közös fenntartható fejlesztésének egyik legfontosabb eleme, mert növeli az Unió energiaellátásának biztonságát, megalapozza a környezetvédelmi követelmények megvalósítását, és elősegíti a kis- és középvállalkozások, valamint a vidéki térségek fejlesztését. A stratégiai fejlesztési programot részleteiben az 1997. novemberében kiadott Energia a Jövőért: Megújuló Energiaforrások c. Fehér Könyv tervezete tartalmazza. A stratégiai program fő célkitűzése, hogy 2010-ig a megújuló energiaforrások részaránya a teljes primer

energiafelhasználáson belül elérje a 12%-ot, aminek feltétele, hogy az egyes megújuló technológiák fejlesztését illetően teljesüljenek a korábbi fejlesztési koncepciókban rögzített műszaki célkitűzések. Ennek érdekében az Unió az 5. KF keretprogramon belül, valamint a piaci bevezetés támogatásában kiemelt pénzügyi támogatást biztosít a racionálisnak megítélt fejlesztési programok teljesítéséhez és a korábban megfogalmazott műszaki, gazdasági és egyéb akadályok elhárítására (<http://elib.kkf.hu/edip>).

A stratégiai program fontos célkitűzése, hogy az EU-15 országokban az évenkénti CO₂ kibocsátás 1997-2010 között évi 402 millió t/év értékkel csökkenjen, ami megfelel ugyanezen időszakon belül a megújuló energiaforrások felhasználási részarányának kétszeresére – 6%-ról 12%-ra való – növelésének. Az EU-15 országokban a megújuló energiahordozó felhasználás 1990-1995 között átlagosan 5.0%-ról 5.3%-ra emelkedett, amelynek értéke az egyes tagországokban tág határok között (0.7% és 25.4% között) változik (2.2. táblázat).

Az egyes megújuló energiaforrások növelésére vonatkozó főbb tendenciákat és összefoglaló adatokat a 3. táblázat tartalmazza. A táblázatból kitűnik, hogy a stratégiai fejlesztési program szerint az EU-15 tagországokban a megújuló energiaforrások összes energiafelhasználáson belüli, 1995-ben 5.44%-os részarányának 2010-ig 11.5%-ra való növelése a jelenlegi mintegy 74.3 millió tOE évi megújuló energiafelhasználásnak mintegy 182.0 millió tOE-re való növelését jelenti. Ezen feszített program megvalósításában döntő szerepet játszik a biomassza energetikai hasznosítása, amely a jelenlegi mintegy 44.8 millió tOE-ről 2010-ig mintegy 135.0 millió tOE-re növelendő. Nagyságrendekkel kisebb mértékű, de jelentősnek mondható a folyami és helyi törpe vízerőművek, valamint a szélenergiák (6.5 millió tOE) és a napenergia, főleg a passzív szoláris (35.0 millió tOE), a napkollektorok és fotoelektromos alkalmazások szerepe (Csehó, 2008).

2.2. táblázat A megújuló energiaforrások részaránya az összes energiafelhasználáson belül

Ország	Megújuló energia részaránya		Ország	Megújuló energia részaránya	
	1995	2010		1995	2010
	%	%		%	%
Svédország	24.7	25.4	Olaszország	5.3	5.5
Ausztria	22.1	24.3	Németország	1.7	1.8
Finnország	18.9	21.3	Írország	1.6	2.0
Portugália	17.6	15.7	Hollandia	1.3	1.4
Görögország	7.1	7.3	Luxemburg	1.3	1.4
Dánia	6.4	7.3	Belgium	1.0	1.0
Franciaország	6.4	7.1	Egyesült Királyság	0.5	0.7
Spanyolország	6.7	5.7	EU-15átlaga	5.0	5.3

A gazdaságilag fejlett országok energiapolitikájába szorosan beépült a megújuló energiaforrások mind szélesebb körben való felhasználása. A kitűzött célokhoz az eszközrendszert is biztosították. (2.3. táblázat)

2.3. táblázat A megújuló energiaforrások támogatására tett intézkedések néhány fejlett ipari országban

Ország	Adóösztönzők
Ausztria	Termelési adó visszatérítés a napelemekre.
Dánia	15% vagyoadó a szélenergiára, 4,2 cent kW óránkénti termelési hitel. a szélenergiára
Franciaország	Adóhitelek a napelemekre és a szélenergiára.
Németország	50-60 % tőkehitel a napelemekre.
Japán	50-60 % tőkehitel a napelemekre.
Hollandia	11,5 % energiaadó-kedvezmény.
Svédország	1,2 cent kWóránkénti termelési hitel.
USA	1,5 cent kWóránkénti termelési hitel a szél és bio-, 10 % befektetési hitel a napelemekre és a geotermikus energiára.

1997-ben Az Európai Parlament határozatot hozott arról, hogy a megújuló energiák részesedése 2010-re érje el 12%-ot az Európai Unióban . Az EU Bizottság 5. K+F keretprogram-javaslatára 1999-2003 közötti időszakra 14 milliárd ECU-t szán kutatásra és technológiafejlesztésre, ebből az energia, környezet és fenntarthatóság programra 2,048 milliárd ECU-t juttat.

Hazánk Kyotóban, 1997 decemberében 6%-os csökkenést vállalt az üvegházhatású gázok kibocsátásában 2008-2012 közötti időszakra - az 1985-87 bázisidőszakhoz képest. Az Országgyűlés által 1995-ben elfogadott és jelenleg átdolgozás alatt álló energiapolitika alapelvei között szerepel: az energiatakarékosság és a környezetvédelem integrált megvalósítása. Az energiapolitika tervei szerint az ezredfordulót követően, Magyarországon 5-6 százalék körülnek kell lennie a megújuló energiaforrások részesedése a teljes energiafelhasználáson belül (Horánszky, 2004).

Hazánk földrajzi fekvésénél fogva kedvező helyzetben van akár a nap vagy a szélenergia kiaknázására. A megújuló energiaforrások jelentős szerepet játszhatnak az ország energia-szükségletének biztonságosabb ellátására. A 2.4. táblázat bemutatja a megújuló energiaforrásokat, ezen belül a keletkező vagy rendelkezésre álló, a potenciálisan felhasználható, valamint a jelenleg hasznosított mennyiségeket (<http://www.kovet.hu/tudasbazis/tanulmanyok-cikkek>).

2.4. táblázat A megújuló energiaforrások hasznosítás lehetőségei Magyarországon

Megújuló energia	Keletkező vagy rendelkezésre álló energia (GJ)	Potenciálisan használható energia (PJ)	Hasznosított energia (PJ)
Napenergia	450x10 ⁵	4	0,04
Szélenergia	Nincs adat	0.003	0,0003
Víz energia	1000	50-500	37,5
Geotermikus energia	460x10 ⁵	50	3,4
Biomassza tűzifával	290	58	27,5

Az IPCC becslése szerint a fosszilis tüzelőanyagok gazdaságilag versenyképes alternatíváinak erőteljes fejlesztése révén kétharmadával kisebb költséggel lehetne csökkenteni a széndioxid kibocsátást, az 1990-es szint alá.

Az ország 1994. évi légszennyezési adataiból és az energia mérlegéből kiszámítható, hogy minden PJ energia-megtakarításával 61360 tonna CO₂, 743 tonna CO, 711 tonna SO₂, 180 tonna NOx és 149 tonna por nem kerül a légkörbe és mentesíti azt a további szennyezéstől.

A fosszilis tüzelőanyagok ára a korábbi keleti blokk országokban változott a legnagyobb mértékben. Egy átlagos magyar állampolgár évente 3 tonna kőolajnak megfelelő energiamennyiséget fogyaszt. Az Európai Unió csatlakozással az eddig államilag szabályozott energiaárak részleges felszabadítása kezdődött el. Ez azt jelenti, hogy az EU 1996/92 és az 1998/30 direktívának megfelelően az ország energiapiacát 30-33%-ban meg kellett nyitni a külföldi szolgáltatók előtt. A területi megosztottságból származó monopól helyzet megszűnt, az energiapiacra is megjelent a szabad verseny. Ez pedig fogyasztói szempontból konkrétan azt jelenti, hogy a választásra nem jogosult fogyasztó az energia árak ugrásszerű emelkedésére számíthat (Krecz, 1999).

Magyarország településeinek erős légszennyezettsége, a fosszilis tüzelőanyagok árának várható, folyamatos emelkedése egyaránt hatékonyabb energia-felhasználást követel meg mind az ország vezetőitől, mind a lakosságtól (<http://www.kovet.hu/tudasbazis/tanulmanyok-cikkek/>).

A fenti tények kétszeresen is indokolják az új technológiák alkalmazását, melyek elterjedésének egyik akadálya a viszonylag nagy beruházási költség és a hosszú megtérülési idő. Ezért a gyártók többnyire kombináltan alkalmazzák a hagyományos technológiát az új technológiával (Barótfi, 2008).

Egyre több ház épül energiatudatos építészeti elvek szerint. A napenergia passzív hasznosítása révén, az épület megfelelő tájolásával, a falak és nyílás-zárók hőszigetelésével az épületbe jutó hőenergia megtartásával jelentős energia-megtakarítás realizálható. Ha erre még aktív napenergia hasznosítással (pl. sík-kollektorral) is rásegítünk és megfelelő méretű hőtároló kapacitást létesítünk, úgy jelentősen csökkenhet pl. a gázfogyasztásunk. Amennyiben azt vizsgáljuk, hogy mennyi lehet a megújuló energiaforrások használatából és a lakossági közvetlen energiatakarékoságból adódó megtakarítás, kiszámítható, hogy a Kiotóban vállalt széndioxid csökkenés 50 % - a realizálható. És akkor még nem vettük figyelembe azt a követelményt, hogy 2010-re Magyarországnak - az Európai Unió csatlakozást követően - a megújuló energiaforrások felhasználásának mértékét a primer energiaforrásokon belül 12%-ra kellett növelnie (Krecz, 1999).

Napjainkban a Kiotói Jegyzőkönyv második kötelezettségvállalási időszaka tart, mely 2013. január 1-jén kezdődött és 2020-ig tart. Ebben 38 fejlett ország, köztük az EU és annak 28 tagállama vesz részt. A második időszakra a dohai módosító jegyzőkönyv is vonatkozik, amelynek értelmében a részt vevő országok az 1990-es szinthez képest legalább 18%-os kibocsátáscsökkentést vállalnak. Az EU azt vállalta, hogy az említett időszakban az 1990-es szinthez képest 20%-al csökkenti a kibocsátásokat (<http://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/international-agreements-climate-action>).

A Kiotói Jegyzőkönyv fő gyenge pontja, hogy csak a fejlett országoknak ír elő kibocsátáscsökkentési lépéseket. Az Egyesült Államok nem írta alá a Kiotói Jegyzőkönyvet,

Kanada még az első kötelezettségvállalási időszak vége előtt felmondta az egyezséget, Oroszország, Japán és Új-Zéland pedig nem vesz részt a második kötelezettségvállalási időszakban, így a jegyzőkönyv most már csak a világ kibocsátásának mindössze 14%-ára vonatkozik. Ugyanakkor több mint 70 fejlődő és fejlett ország tett különféle jogilag nem kötelező erejű vállalásokat az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére.

Az új egyezmény célja, hogy mind a fejlett, mind a fejlődő országok esetében olyan szintre csökkenjen a kibocsátás, amelynek eredményeként a globális felmelegedést 2 °C alá lehetne szorítani. Ennek érdekében egyetlen, egységes keretbe foglalná a most érvényben lévő különféle, jogilag kötelező és nem kötelező erejű egyezményeket. Az új egyezményt a tervek szerint 2015 végén, a párizsi éghajlat-változási konferencián fogadják majd el. Az egyezmény a tervek szerint 2015 végére ölt végleges formát, végrehajtása pedig 2020-tól kezdődik.

Megújuló energiaforrások és az externális költségek

A megújuló energiaforrások alkalmazása a meglévő energiakészleteinkkel való takarékoskodás és a környezet terhelés - mindenekelőtt az üvegházhatás - csökkentése szempontjából szükségesség (Pál és Huba, 2004). A nem megújuló energiák ára erősen támogatott, mert nem tartalmazzák az egészségi és környezeti károk költségeit, illetve a nem megújuló energiaforrásoknak a jövő nemzedékek számlájára történő pazarlásának költségét. Ha ezeket a tényezőket figyelembe vesszük, a megújuló energiaforrások viszonylagos költségei sokkal kedvezőbbek, mint amit a jelenlegi piaci árak mutatnak. A külső, ún. extenzív vagy társadalmi kiadások számításba vételével a megújuló energiaforrások ökonómiai megítélése is megváltozhat, és ez elősegítheti ezek elterjedését. Sajnos az externális költségek konkrét meghatározására mind ez ideig nem született eredmény sehol a világban (<http://www.energiamedia.hu/upmenu/tud/tud005.html>).

2.9. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A kutatási munkához szükséges elméleti ismeretek szakirodalomra támaszkodó áttekintésekor kiemelten fókuszáltam a napenergia termikus hasznosításának irodalmára, ezen belül is a kollektorok kialakítására, hőtechnikai egyensúlyát befolyásoló tényezőkre. A széleskörű irodalomból röviden összefoglalom a szükséges természettudományi ismereteket, törvényeket, technológiai megoldásokat, értékelem a dolgozat szempontjából fontos szakirodalmi megállapításokat, rámutatok azokra a területekre, melyeknél új tudományos megállapítások, módszer kidolgozások szükségesek.

A napenergia történetét áttekintve az olcsó tüzelőanyagok miatt jellemzően nem voltak versenyképesek a napenergiás berendezések. Kivételt képez a napenergiás melegvíz előállítás. Vízmelegítő berendezések számos fajtája készült és terjedt el a szoláris övezet fejlettebb országaiban.

A szakirodalmat széleskörűen áttekintve, elemzéseket végezve arra a következtetésre jutottam, hogy nemzetközi szinten az elsődleges cél a nagy hatásfokú napkollektorok létrehozása. A nap sugárzási energiáját, lehetőleg a teljes spektrumtartományában, technológiailag optimalizálva, az elnyelő réteg jellemzőit, formáját alakítva, befogják és hőenergiává alakítva, hasznosítják.

Ezek a kollektor fejlesztések a termikus viselkedés javítására koncentráltak, a gazdasági szempontok azonban háttérbe szorultak. Jó minőségű, magas hatékonyságú kollektorokat alakítottak ki, de a felhasznált anyagok drágák voltak és így az előállítási költségek is magasak

lettek. Az emberek megítélése kettős ezeknek a berendezéseknek a látványa kapcsán, egyrészt környezettudatosságot látnak, másrészt státuszszimbólumként értékelik. A közvéleményben a mai napig él az a vélekedés, hogy a környezetvédelmet, a megújuló energiák hasznosítását a gazdagok engedhetik meg maguknak.

A kollektorok minősítés vizsgálatával foglalkozó szakirodalmi rész áttekintése is azt mutatja, hogy a kollektorok építéskor a magas minőség és hatásfok elérése a követendő cél. Bonyolult és költséges vizsgálatok szükségesek egy új típusú kollektor műszaki jellemzőinek bevizsgálásához, hatásfok görbéjének megállapításához.

A szakirodalomban kevés elemzés foglalkozik a fedés nélküli napkollektorokkal, abszorberekkel. A fejlesztések segítségével csökkentették a súlyt a hagyományos kollektorokhoz képest, megközelítve azok teljesítmény adatait. Olcsó műanyag, UV-álló, PVC kollektor felületeket, elemek alakítottak ki. Jellemzően fűtés- és víz előmelegítő rendszereknél vették főleg figyelembe, de alkalmazásra kerültek hőszivattyúk primer köreinek kialakításakor is.

A napkollektor elhelyezése leggyakrabban házak, épületek tetőszerkezete, tetővel párhuzamos állvány, tetőből kiemelt szerkezet, lapos tetőn kiemelt állvány, tetőhomlokzat, épület melletti állvány szerkezet. A szakirodalom elemzése során felmerültek a napkollektorok elhelyezésének láthatósági kifogásai. Az emberek bizonyos hányada megérti a napenergia felhasználás fontosságát, de esztétikai okok miatt nem telepíti ezeket a rendszereket.

További kérdés a kollektorok gazdaságos üzemidejének kiterjesztési lehetősége. A kollektorok működési kezdetének és leállításának időpontjai nagymértékben függenek a kollektor típusától és a hasznosító, keringetési rendszer egyéb elemeinek megfelelő összehangolásától. Az elméleti modellből kiindulva vizsgálható a nem víz alapú szolár folyadékok üzemidőre és a gazdaságos működtetésre vonatkozó hatása. Felmerül a kombinált rendszerek alkalmazási előnye, mely működési határainak jó behatárolása, ajánlott méretezési módszerrel, lépés lehet a gazdaságosan működő kollektoros rendszerek még fokozottabb elterjedésére.

Fontos a megújuló energiaformák befogására és hasznosítására irányuló kutató-fejlesztő tevékenység, mely az utóbbi két évtizedben gyakorlati értékű technológiák születéséhez és ezeket alkalmazó berendezések, rendszerek kereskedelmi forgalomban való megjelenéséhez vezetett. A megújuló energiaformák fokozatos alkalmazása több szempontból is kívánatos, azonban ne feledjük ésszerűen, gazdaságosan és kombináltan alkalmazni ezeket a lehetőségeket.

Lehetőséget kell keresni a napkollektorok beépítése, elhelyezése során annak az ellentétnek a feloldására, melynél az épület esztétikum és a napenergia hasznosító berendezések jelentenek.

A napkollektorok esetén a megtérülő beruházást jelentősen befolyásolja a készülékekbe beépített, igaz jó hatásfokot adó, de drága anyagok használata. Töreksem olyan lehetőséget mutatni, mikor általánosan használt építészeti anyagokból kialakítható a napsugárzás energiáját hasznosító felületelem. A készülékeket fontos mindig a lehető legjobb hatásfokkal üzemeltetni, ill. olyan szabályozott körülményeket teremteni, mikor ez teljesül. Ezért is fontos a hatásfokot üzemi körülmények között is tudni alapadatokból jól kiszámítani.

A felsorolt hiányok részbeni pótlása, valamint a matematikai és szimulációs módszerek hatékonyabb felhasználásának erősítése vezetett a dolgozatom megírása és a tézisek megfogalmazása során.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben mutatom be azokat az eszközöket és módszereket, amelyek segítségével az új típusú, épületszerkezeti elemként is hasznosítható, héjszerkezetű, napkollektor kialakítására, fejlesztésére, vizsgálatára sor került. A kutatási munkához a modell alkotás során a műszaki hőtan hőátadási, hővezetési egyenleteit, a napenergia termikus hasznosításánál, a határfok számítási egyenleteket és az optimalizációs folyamathoz szükséges egyenleteket használom.

3.1. Modellezés, szimuláció módszerei

A folyadék munkaközegű, épületszerkezeti elemként is használható kollektortestek termikus viszonyait, a hőátviteli folyamatainak modellezése és szimulációja segítségével elemzem. A feladat a fedés nélküli kollektortest hőtechnikai modellezése. A modell matematikai modelljéhez szükséges a hőtani egyenletek kollektor testekre való alkalmazásának feltételeit vizsgálom és a megfelelőség alapján választom ki a további számításokhoz.

3.1.1. Hősugárzás leíró egyenletei

A *hősugárzás (a radiáció)* olyan energiaátadási mód, amikor az energia az egyik testről a másikra elektromágneses hullámok (EMH-ok) formájában kerül át. Planck igazolt feltevése, hogy a részecskék rezgőmozgása, során is érvényes az energia kvantáltsága, azaz a részecskék alkotta, különböző frekvenciákon rezgő egyes oszcillátorok csak a rájuk jellemző frekvenciának megfelelő:

$$E = h \nu, \text{ [J]}, \quad (3.1)$$

energia egységekben vehetik fel, illetve adhatják le az energiát (Simonyi, 2011). A (3.1) egyenletben h a Planck-állandó ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$), ν az egyes oszcillátorok rezgési frekvenciája [$1/\text{s}$]. Ez alapján, statisztikai úton, a Boltzmann-eloszlást felhasználva, Planck levezette egy adott hőmérsékletű test által kibocsátott sugárzás teljes energiáját, illetve meghatározta, hogy egy adott hőmérsékleten az egyes frekvenciákhoz, frekvenciatartományokhoz mekkora kibocsátott energia tartozik. Ez a Planck-féle sugárzási törvény:

$$E(\nu) = \frac{8 \pi h \nu^3}{c^3} \frac{d\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \text{ [J]} \quad (3.2)$$

ahol, k a Boltzmann-állandó ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$), c a fénysebesség [m/s] (Atkins, 1993, Liszi, 1993).

A környezetben elhelyezkedő testek termikus sugárzása miatt (nem abszolút 0 fokon vannak), minden egyes testet folyamatosan EMH-ok érnek. A testre érkező EMH-ok egy része a felületről visszaverődik (reflexió), más része elnyelődik a testben (abszorpció), illetve áthalad a testen (transzmisszió). Tehát a testre érkező teljes elektromágneses sugárzásra E az alábbi mérlegegyenlet írható fel:

$$E = E^r + E^a + E^t, \quad (3.3)$$

ahol, az E^r a visszavert (reflektált), az E^a az elnyelt (abszorbeált), E^t pedig az áteresztett (transzmissziós) elektromágneses sugárzás. Az abszolút fekete test az összes ráeső sugárzást elnyeli, az abszolút fehér test vagy nevezhetjük abszolút tükröző testnek is, a sugárzást teljes egészében visszaveri, a diatermikus anyag pedig a hősugárzást teljes egészében átengedi. A valós szilárd testek többnyire átlátszatlanok, a sugárzás egy részét elnyelik, másik részét pedig visszaverik (http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2013/Arpad_Istvan_dissertation.pdf).

Nemcsak érkeznek a testekre EMH-ok, hanem a testek, egyidejűleg energiát is kisugároznak (emittálnak) szintén EMH-ok formájában, hiszen nem csak a környező testek, de ezek sem abszolút 0 fokon vannak. A test által egyidejűleg kisugárzott energia, illetve abszorbeált energia közötti különbség megadja, hogy ez a folyamat a testre nézve energia leadással vagy felvétellel jár-e. Ha a test hőmérséklete állandó és az EMH-ok emisszióján és abszorpcióján kívül más energiaátadási mód nem lép fel, felírható, hogy

$$E^e = E^a, \quad (3.4)$$

ahol, E^e a kibocsátott (emittált) elektromágneses sugárzás.

A (3.3) és a (3.4) egyenleteket felírhatjuk és vizsgálhatjuk az egyes frekvenciákra vagy frekvenciatartományokra is. Egy adott T hőmérsékletű, átlátszatlan szilárd testnél legyen

- E_v a ν frekvencián a felületre érkező energia,
- E_v^r a ν frekvencián visszavert energia és
- E_v^a a ν frekvencián elnyelt energia.

Ez alapján definiálható a *test spektrális abszorpcióképessége*:

$$a_\nu = \frac{E_v^a}{E_\nu}. \quad (3.5)$$

Legyen E_v^e ugyanezen a T hőmérsékleten és ugyanezen a ν frekvencián a test által kisugárzott (emittált) energia. Legyen a *test spektrális emisszió képessége* a

$$e_\nu = \frac{E_v^e}{E_\nu^0}, \quad (3.6)$$

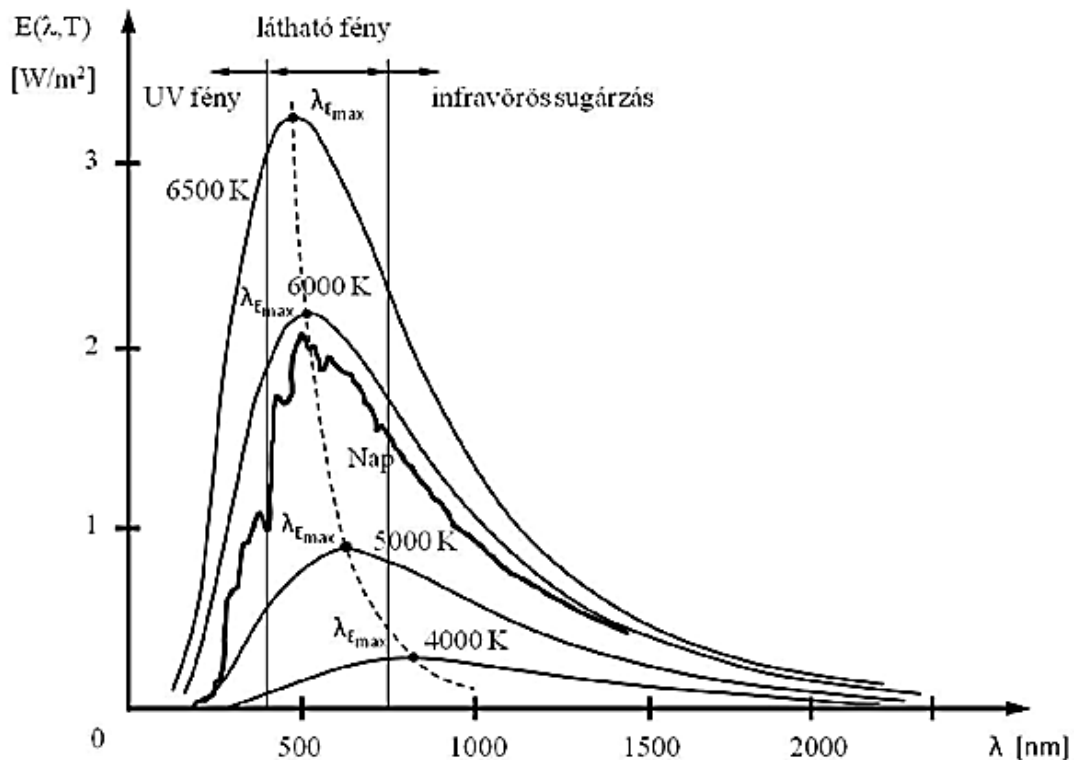
ahol, E_ν^0 az abszolút fekete test által ugyanezen a T hőmérsékleten emittált energia.

Bár a testek spektrális emisszió képessége és spektrális abszorpció képessége anyagtól függő jellemzők, hányadosuk független az anyagi minőségtől:

$$E(\nu, T) = \frac{e_\nu}{a_\nu}, \quad (3.7)$$

ahol, $E(\nu, T)$ anyagi minőségtől, felületi minőségtől független univerzális függvény, csak a hőmérséklettől és a frekvenciától függ. Ez Kirchhoff termikus sugárzással kapcsolatos törvénye. Termikus egyensúlynál tudjuk, hogy a hőmérsékletek egyenlők. A termikus egyensúlyban lévő testek az anyagi minőségüktől függetlenül, minden frekvencián is egyensúlyt mutatnak. A spektrális eloszlásgörbékük egyforma. A melegebb testek spektrális eloszlásgörbéje pedig teljes egészében és mindig magában foglalja a hidegebb test spektrális eloszlásgörbét.

Az EMH-ok formájában történő energiaátvitel szempontjából a legjelentősebb az EMH-ok látható és infravörös tartománya (3.1. ábra). Ez a sugárzási tartomány hordozza arányaiban a legtöbb energiát a fekete test által egy adott hőfokon emittált spektrumból, és ez abszorbeálódik a legnagyobb arányban a különböző anyagi halmazokban (pl. szilárd testekben), ugyanis a részecskék rezgési és forgási átmeneteinek gerjesztési energiája ebbe a sugárzási tartományba esik.



3.1. ábra Fekete test hőmérsékleti sugárzása (Phillips, 1995)

A hősugárzást a Stefan-Boltzmann törvény írja le, amely a Planck-féle sugárzási törvényből a teljes frekvenciatartományra, illetve a teljes hullámhossz tartományra való integrálással levezethető. A Stefan-Boltzmann törvény megadja az abszolút fekete test felülete által, a teljes hullámhossz tartományra vonatkozó, kibocsátott sugárzásos hőáramsűrűséget, ami a felület abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos:

$$\dot{q}_s = \sigma T^4, \quad (3.8)$$

ahol, σ a Stefan-Boltzmann féle állandó, $5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.

A valóságos testek által kibocsátott sugárzásos hőáramsűrűség kisebb, mint az elméleti, abszolút fekete testeké. Ezt a számításoknál egy fajlagos emissziós tényezővel (ϵ) vesszük figyelembe. A fajlagos emissziós tényező 1-nél kisebb szám és megadja, hogy az adott test által kisugárzott spektrális energiamennyiség hányad része egy azonos hőmérsékletű, abszolút fekete test által kibocsátott energiamennyiségnek. Ha az adott test emissziós tényezője ϵ a hullámhossztól független, szürke testnek nevezzük, ha ϵ a hullámhosszal változik, szelektív sugárzó testtel, azaz színes testtel van dolgunk. Ezek alapján a fekete testhez képest egy valós testre a felületi hőáramsűrűség és a hőmérséklet kapcsolata a Stefan-Boltzmann törvényhez képest a fajlagos emisszióval módosul:

$$\dot{q}_s = \epsilon \sigma T^4. \quad (3.9)$$

Általánosságban elmondható, hogy a világos, sima felületek jól visszaverik a hőt és rosszul sugározzák ki, míg a sötét, érdes (matt) felületek jó hőelnyelők és jól is sugároznak. Összefoglalva, a testek sugárzási hőáramát két tulajdonság befolyásolja:

- a *hőmérsékletük*, amely a negyedik hatvány miatt a hőmérséklet növekedésével egyre nagyobb mértékben növeli a sugárzási teljesítményt, valamint
- a *felületi minőség*, amelyet a fajlagos emissziós tényező (ϵ) jelenít meg.

3.1.2. Hővezetés leíró egyenletei

A hővezetés (vagy kondukciónak) az energiacsere azon formája, amikor a hőmérsékletkülönbség hatására energia jut el az anyag melegebb (magasabb hőmérsékletű) részeiből a hidegebb (alacsonyabb hőmérsékletű) részekre anélkül, hogy az anyagi részecskék az egymáshoz képest elfoglalt helyzetüket megváltoztatnák. E feltétel miatt tiszta hővezetésről általában csak szilárd testekben beszélhetünk, mert az anyagi részecskék a hőmérsékletkülönbség hatására normális körülmények között folyékony és légnemű anyagban helyükről elmozdulnak. Persze a más energiaátadási módok mellett a laminárisan áramló folyadékokban vagy nyugvó folyadékokban és nyugvó gázokban is létezik vezetési energiátadás.

Fourier szerint a vezetési (konduktív) hőáram sűrűsége [W/m^2] a hőmérséklet-gradienssel arányos:

$$\underline{\dot{q}}_v = -\lambda \text{grad } T, \quad (3.10)$$

ahol, az arányossági tényező, a λ [$\text{W}/(\text{mK})$] hővezetési tényező, anyagtól és hőmérséklettől függő érték. A vezetési hőáramsűrűség vektor a negatív irányba mutat, azaz a csökkenő hőmérséklet irányába. Ezt jelzi a (3.10) egyenletben a negatív előjel.

Állandó nyomáson a szilárd test térfogategységének időbeli entalpiaváltozása a következő formulával írható le, csak vezetési energiátadás van:

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda \text{grad } T) + G_h, \quad (3.11)$$

ahol, az egyenlet bal oldala a térfogategység entalpiájának időbeli változása, a jobb oldalának első tagja a vezetéssel végbement energiacsere mértéke, második tagja a forrás/nyelő által keletkezett/elnyelt entalpia mértéke. Az egyenletben szereplő ρ az anyag sűrűsége [kg/m^3], c_p a fajhő állandó nyomáson [$\text{J}/(\text{kgK})$], amelyeket az egyszerűség kedvéért a hőmérséklettől függetlennek veszünk, G_h a belső hőforrás [W/m^3]. Átrendezve a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{c_p \rho} \text{div}(\lambda \text{grad } T) + \frac{G_h}{c_p \rho}. \quad (3.12)$$

Az egyenlet bal oldala a hőmérséklet időbeli lokális megváltozását fejezi ki. Ha a λ hőmérséklet-függetlensége feltehető ($\lambda =$ állandó), valamint a fajhőt és a sűrűséget is konstansnak tekintjük, akkor a (3.12) differenciális energiamérleg egyenlet a következő módon alakul:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T + \frac{G_h}{c_p \rho}, \quad (3.13)$$

$$a = \frac{\lambda}{c_p \rho}, \quad (3.14)$$

ahol, az "a", a szilárd test hődiffúziós vagy hőmérséklet-vezetési tényezője [m^2/s] (Argyelán, 2009, Isachenko et al., 1977, Imre és Szabó, 1974, Jászay, 1972, Mihejev, 1987).

Ha továbbá feltételezzük azt is, hogy a rendszerben nincs energiaforrás vagy nyelő ($G_h = 0$), akkor a Fourier-féle hővezetési differenciálegyenlethez jutunk:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T. \quad (3.15)$$

A különböző geometriák esetén érvényes hővezetési egyenletekhez két úton lehet eljutni. Az egyik, hogy koordináta transzformációval olyan koordináta rendszerre térünk át, amelyben az adott eset jobban kezelhető. A másik, hogy magát a hővezetési egyenletet fogalmazzuk meg újra az adott koordináta rendszerben. A második utat követve felírható a hővezetés egyenlete gömbszimmetrikus (háromdimenziós) terjedés esetén gömbi koordináta rendszerben, kétdimenziós szimmetrikus terjedés esetén henger koordináta rendszerben és egydimenziós terjedési esetre (végtelen sík fal esete). A felírt egyenletek alapján a hővezetés általánosított egyenlete:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{n-1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (3.16)$$

ahol, T a testen belül egy adott helyen a hőmérséklet, r a test középpontjától (szimmetria pontjától, szimmetria tengelyétől) vett távolság, n pedig a dimenziót jelenti. Egydimenziós vezetési esetén $n = 1$.

A (3.13) egyenlet a hőmérséklettér időbeli változását írja le. Az analitikai megoldása még akkor is meglehetősen nehézkes, amikor a rendszer forrásmentes (3.15), hiszen végül is négy független változót (a három helykoordináta és az idő) tartalmazó parciális differenciálegyenlet megoldásáról van szó. Mivel a (3.15) illetve (3.16) differenciálegyenlet egy általános leírást ad meg, az egyes esetekre történő megoldásnál az egyértelműség miatt a megoldáshoz felhasznált valamennyi matematikai leírást meg kell adni. Ezek az egyértelműségi feltételek, a geometriai feltételek, a fizikai feltételek, a határfeltételek (peremfeltételek) és az időbeli feltételek.

A (3.15) Fourier-féle hővezetési differenciálegyenlet megoldásainál az alábbi peremfeltételeket alkalmazzák (Argyelán, 2009, Isachenko at al., 1977, Imre, 1983, Környey, 1999, Mihejev, 1987, Örvös, 2001, Sánta, 2011).

Elsőfajú peremfeltétel

Minden időpontban ismerjük a test felületén a hőmérséklet-eloszlást (csak a felületen ismerjük, nem a tér minden pontján):

$$T_w = f(x, y, z, \tau) \quad (3.17)$$

ahol, T_w a test felületi hőmérséklete [K], x, y, z a felületi helykoordináták [m], τ az idő [s].

Másodfajú peremfeltétel

Minden időpontban ismert a test felületén a hőáramsűrűség-eloszlás:

$$\dot{q}_w = f(x, y, z, \tau), \quad (3.18)$$

ahol \dot{q}_w a test felületén egy adott pontban a hőáramsűrűség [W/m^2].

Harmadfajú peremfeltétel

Ismert a test felületén a konvekciós hőcsere mértéke, amit a Newton-féle hőátadási törvény alapján az alábbi végső formában adunk meg:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_w = -\frac{\alpha}{\lambda} (T_w - T_f), \quad (3.19)$$

ahol, az egyenlet bal oldala a hőmérsékleti görbének a test felületén, a felületelem normálisával alkotott hajlásszöge, az α a hőátadási tényező, a test felülete és a környezet között [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$], a λ , a hővezetési tényező a testen belül [W/mK], T_f a testet körülvevő közeg (fluidum)

hőmérséklete [K]. A (3.19) peremfeltétel értelmében a test egységnyi felületéről időegység alatt távozó hőmennyiség megegyezik a test belsejéből hővezetéssel áramló hő mennyiségével. A hőmérsékleti görbe felületi meredekségét megadó α/λ hányadost relatív hőátadási tényezőnek nevezik [1/m], amely független a felület alakjától (Mihejev, 1987).

Negyedfajú peremfeltétel

Negyedfajú peremfeltételről akkor beszélünk, amikor a test és a környezete közötti energiacsere hővezetés útján megy végbe, feltételezve azt, hogy az érintkező felületek hőmérséklete az adott pontban azonos (ideális érintkezés):

$$\lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial \mathbf{n}} \right)_0 = \lambda_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial \mathbf{n}} \right)_0. \quad (3.20)$$

Állandósult állapotú hővezetés szilárd testekben

Állandósult hőmérséklet-eloszlás esetén igaz a

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0. \quad (3.21)$$

Így felírva a (3.15) Fourier-féle hővezetési differenciálegyenletet kapjuk a Laplace differenciálegyenletet, amely az állandósult hőmérséklet-eloszlást leíró egyenlet:

$$\Delta T = 0. \quad (3.22)$$

Hővezetés hőforrásmentes homogén síkfalon keresztül állandósult hőmérséklet-eloszlás esetén

Tegyük fel, hogy valamely δ vastagságú, homogén síkfal külső felületeit izotermikus felületeknek tekinthetjük, amelyeken $T_1 = \text{állandó}$, és $T_2 = \text{állandó}$ és $T_1 > T_2$ (elsőfajú peremfeltétel). Igen nagy kiterjedésű (végtelen) síkfalban az energia a falra merőleges irányban áramlik, hőmérséklet-változás is csak ebben az irányban lép fel. Tehát a feladat egyméretű (3.2. ábra), a Laplace-egyenlet ilyen feltételek melletti megoldása, adja a hővezetési egyenletet:

$$\dot{q}_v = -\frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2). \quad (23)$$

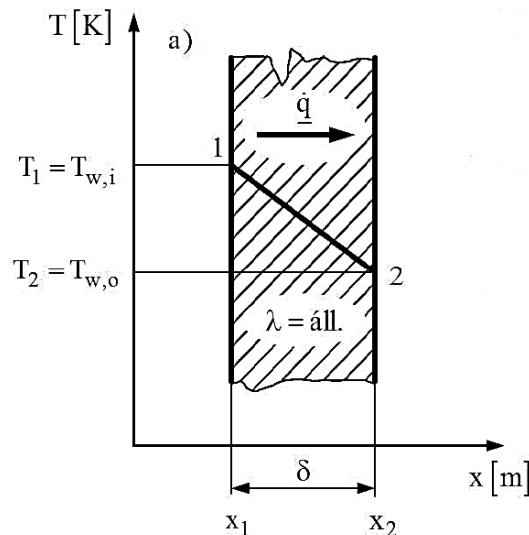
Természetesen a hőáram iránya a magasabb hőmérsékletű helytől az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé mutat (3.2. ábra).

A vezetési hőáram a fal felületén keresztül:

$$\dot{Q}_v = A \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2). \quad (3.24)$$

A fal τ idő alatt Q energiát bocsát át:

$$Q = \dot{Q}_v \tau = A \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2) \tau. \quad (3.25)$$



3.2. ábra Állandósult hőmérséklet-eloszlás hőforrásmentes sík falban

Az összefüggésekben a $\frac{\lambda}{\delta}$ kifejezést a fal hővezető képességének, a reciprokját a fal hővezetési termikus ellenállásának ($R_v = \frac{\lambda}{\delta}$) nevezik, ami az elektromosságtannal analóg kifejezés. Ezekben az esetekben, a hőmérséklet-eloszlást a falban analitikusan meghatározni már nem tudjuk, csak numerikus úton végezhetünk közelítő számításokat.

Nem állandósult állapotú hővezetés szilárd testekben

A nem állandósult (instacionárius) folyamatok a testek lehűlésével vagy felmelegedésével függenek össze. A jelenséget előidézheti az, hogy a test a saját hőmérsékletétől eltérő hőmérsékletű környezetbe kerül, vagy hőforrással/nyelővel rendelkezik. A nem állandósult (tranzien) esetben a testen belüli hőmérséklet-eloszlás az időben változik, azaz

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} \neq 0. \quad (3.26)$$

Belső hőforrás vagy nyelő nélküli esetben a tranzien hővezetés feladatának megoldásához szintén a (15) Fourier-féle hővezetési differenciálegyenletet kell megoldani, csak itt érvényes a (3.26) összefüggés is. A (3.15), illetve (3.16) differenciálegyenlet megoldására sokféle módszer található az irodalomban, amelyek 3 csoportba sorolhatóak:

- az analitikai megoldások,
- a reguláris állapot módszere és
- a közelítő numerikus megoldások (pl. végeselemes módszer).

Analitikai megoldás

Az analitikai megoldások csak leegyszerűsített, alakra, geometriára léteznek (pl. megadott vastagságú végtelen sík fal, hengeres test, gömb). Ha egy konkrét testre vagyunk kíváncsiak, akkor a leegyszerűsített geometriai alakok közül kell a vizsgált testhez leginkább hasonló geometriájú alakra vonatkozó megoldást kiválasztani és alkalmazni. A megoldáshoz egy új változót vezetnek be, az ún. túlhőmérsékletet, ami a test egy adott pontjának hőmérséklete (T) és a test környezeti hőmérséklete (T_f) közötti hőmérsékletkülönbséget mutatja meg (θ):

$$\theta = T - T_f. \quad (3.27)$$

Az irodalom (Argyelán, 2009, Isachenko at al., 1977, Mihejev, 1987), erre a változóra, a túlhőmérsékletre írja fel a (3.15) Fourier-féle hővezetési differenciálegyenletet:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \theta. \quad (3.28)$$

A differenciálegyenlet megoldásának egyértelműségi feltételei, a geometriai alak és méret, a fizikai paraméterek (λ , c_p , ρ), a harmadfajú peremfeltétel, a (3.19) egyenlet (ismerjük az α hőátadási tényezőt), az időbeli feltétel: a test hőmérséklete a kezdeti időpillanatban (a test belsejében mindenhol azonos) $\tau = 0$, $T = T_0 = f(x, y, z)$, $\theta = \theta_0 = T_0 - T_f = f(x, y, z)$.

Összesítve mind a T hőmérséklet, mind a θ túlhőmérséklet függvénye a helynek, az időnek, a hőmérséklet-vezetési tényezőnek a , a hőátadási tényezőnek α és a test geometriai jellemzőinek. A megoldások levezetését mellőzve elmondható, hogy a testek hőmérséklete minden esetben exponenciálisan változik, hűlés esetén exponenciálisan csökken, melegedés esetén exponenciálisan nő.

Reguláris állapot módszere

Vizsgáljuk a szilárd test lehűlésének/felmelegedésének folyamatát, ismert és a folyamat alatt állandó a környező közeghőmérséklet T_f és a hőátadási tényező α (harmadfajú peremfeltétel). Amikor a test a saját hőmérsékletétől eltérő hőmérsékletű környezetbe kerül, a lehűlése vagy felmelegedése 3 részfolyamatra bontható (Isachenko at al., 1977, Mihejev, 1987):

- a rendezetlen folyamat állapotára (ez a kezdeti állapot),
a test belsejében található esetleges, rendezetlen kiinduló hőmérséklet-eloszlás miatt a hőmérséklet változásának a sebessége a különböző helyeken különböző lehet. Ez az állapot szabálytalan jellegű és semmiféle kapcsolatban nincs a lehűlés/melegedés feltételeivel.
- a rendezett folyamat állapotára (ez az ún. reguláris állapot),
egy idő múlva a testen belüli, a kezdeti rendezetlen hőmérséklet eloszlásból adódó különböző hőmérséklet-változási sebességek kiegyenlítődnek és a hőmérséklet változásának sebessége a test valamennyi pontjában állandóvá válik,
- az állandósult állapotra (ez a hőegyensúly állapota),
analitikusan végtelen hosszú idő múlva pedig bekövetkezik a harmadik állapot, a hőmérséklet időbeli eloszlásának állandósága. Amikor a hőmérséklet a test valamennyi pontjában ugyanakkora és egyenlő a környező közeg hőmérsékletével, a test a hőegyensúly állapotában van.

A három állapotra egyszerre érvényes a hőmérséklet-eloszlást és ennek időbeli változását leíró a gyakorlati számításokhoz is használható általános összefüggés meghatározása a feladat bonyolultsága miatt lehetetlen. Ilyen összefüggés nem is található az irodalomban. A kutatók az egyes részfolyamatokat külön-külön vizsgálták. Testek hővesztésének megakadályozása szempontjából főleg a reguláris állapotot leíró összefüggések ismerete szükséges. Eszerint amikor bekövetkezik a második állapot, a reguláris állapot, a test tetszőleges pontjában a θ túlhőmérséklet természetes logaritmus ($\ln \theta$) az idő függvényében lineárisan változik, vagy másképp kifejezve a θ exponenciálisan csökken:

$$\ln \theta = -m \tau + C. \quad (3.29)$$

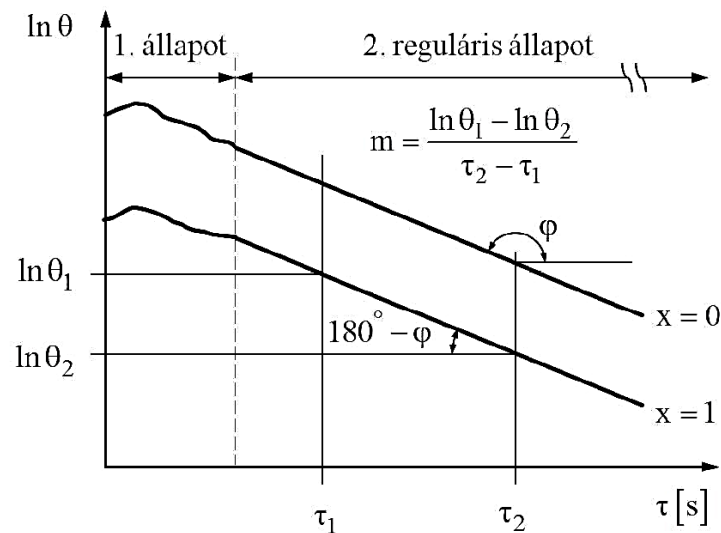
Az m mennyiség hűlés esetén pozitív szám és a test lehűlésének sebességét jellemzi. Különösen fontos jellemzője, hogy m értéke a test bármely pontjában ugyanaz, és értékét az adott test méretei és alakja, hődiffúziós tényezője (a), valamint a hőátadás jellemzői, a hőátadási tényező (α) és a környező közeg hőmérséklete (T_f) határozzák meg (Mihejev, 1987).

A (3.29) egyenletből következik, hogy a reguláris állapotban a hőmérséklet természetes alapú logaritmusának változási sebessége az időben és a térben állandó marad, az m értéke nem függ sem az időtől, sem a helytől:

$$\frac{\partial(\ln \theta)}{\partial \tau} = -m = \text{állandó}, \quad (3.30)$$

$$\frac{1}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = -m = \text{állandó}. \quad (3.31)$$

Mivel egy adott test m értéke egy adott hőátadási viszonyok mellett konstans, kísérletileg is meghatározható, ha két különböző időpontban mérjük a test hőmérsékletét, majd a 3.3. ábra szerinti egyenes meredekségét meghatározzuk.



3.3. ábra A hőmérséklet időbeli változása a test lehűlése (felmelegedése) esetén

G. M. Kondratyev kidolgozta a feladat matematikai megoldásának általános módszerét (Isachenko at al., 1977). Ez a módszer tetszőleges alakú testekre alkalmazható és lehetővé teszi, hogy kapcsolatot hozzunk létre az m állandó, a geometriai jellemzők és a lehűlés külső feltételei (α) között, ez valójában a (3.28) differenciálegyenlet után megadott egyértelműségi feltételek. Amennyiben ugyanazt a testet különböző α hőátadási tényező mellett vizsgálunk azt kapjuk, hogy minél nagyobb az α , annál nagyobb a közeg hűtőhatása, azaz annál nagyobb az m értéke. Ha $\alpha = \infty$, akkor az m értéke arányossá válik az a hőmérsékletvezetési tényezővel.

A reguláris állapot elmélete alapján kiszámítható a testek felmelegedéséhez, vagy lehűléséhez szükséges idő. Az a τ idő, amelynek folyamán a hőmérséklet a test valamelyik pontjában θ' -ről θ'' -re változik, a következő képlettel számítható ki:

$$\tau = \frac{1}{m} \ln \left(\frac{\theta'}{\theta''} \right). \quad (3.32)$$

3.1.3. Hőátadás leíró egyenletei

Hőátadásról (konvekcióról) akkor beszélünk, amikor a szilárd anyag felülete és a vele érintkező fluidum (gáz vagy folyadék halmazállapotú közeg) között, hőmérséklet-különbség hatására energiacsere valósul meg. A szilárd anyag felülete és a fluidum közötti hőáramot a Newton-féle hőátadási egyenlettel tudjuk megadni:

$$\dot{Q}_a = \alpha A(T_w - T_f), \quad (3.33)$$

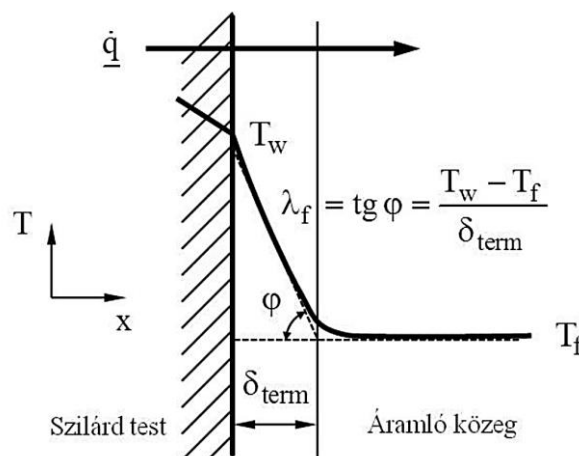
$$\underline{\dot{q}}_a = \alpha (T_w - T_f), \quad (3.34)$$

ahol, \dot{Q}_a az átadási hőáram [W], $\underline{\dot{q}}_a$ az átadási hőáramsűrűség [W/m^2], α a hőátadási tényező [$W/(m^2K)$], A a hőátadási felület [m^2], T_w a szilárd test felületi hőmérséklete [K], T_f a környező fluidum hőmérséklete [K]. A fluidum fontos tulajdonsága, hogy áramlásra képes. Az áramló közeg, a bennük található részecskék mozgásával együtt, a saját belső energiátartalmát is mozgatja, hordozza, így képes átszállítani a saját energiátartalmát az egyik térrészből a másikba. Az áramlás (anyag- és egyben energiaáramlás) létrejöhet természetes úton, vagy mesterséges kényszer hatásra (pl. keverés).

Szilárd felület mentén áramló közegnek a felülettel érintkező rétegét mindig lamináris áramlás jellemzi. E lamináris határrétegen keresztül a hő csak molekuláris vezetési mechanizmussal juthat át, így α biztosan függ a fluidum λ hővezetési tényezőjétől is. Turbulens áramlás esetén az áramlás erősödésével ez a lamináris határréteg elvékonyodik, ezért a Re-szám növekedésével, az α növekedésével és egyúttal a hőátadás javulásával kell számolnunk (Argyelán, 2009, Schlichting és Gersten, 2003). Leegyszerűsítve a hőátadást felfoghatjuk úgy is, mint a felület melletti lamináris határrétegen keresztüli hővezetést, ahol nem mindegy, hogy milyen vastag a határréteg. Az α hőátadási tényezőt az alábbi módon írhatjuk fel:

$$\alpha = \frac{\lambda_f}{\delta_{\text{term}}}, \quad (3.35)$$

ahol, λ_f a fluidum hővezető képessége, δ_{term} a termikus határréteg vastagsága (3.4. ábra).



3.4. ábra A hőátadás a lamináris áramlású termikus határrétegen keresztül

A (3.33) összefüggés csak látszólag nagyon egyszerű, mert a határréteg vastagságát, a határréteg jellemzőit és ezzel együtt az α hőátadási tényezőt egzakt analitikai módszerrel meghatározni, néhány egyszerű eset leszámítva, teljesen lehetetlen. Az α értékét befolyásolják a közeg áramlási viszonyai, a közeg hőfizikai és más anyagjellemzői, valamint a hőátadó felület geometriai kialakítása. A kutatási részben felhasznált α értékét az irodalomból vettem.

3.2. Épületelem kollektor matematikai modellezése

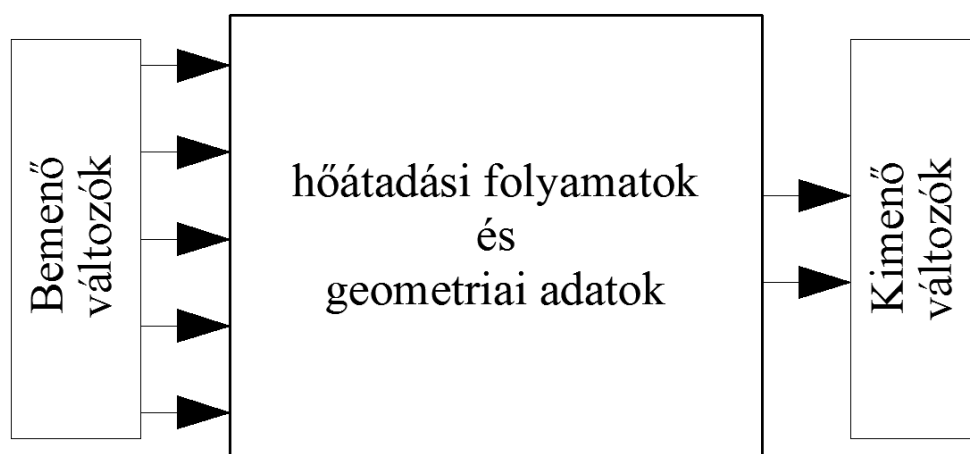
A számítógépek fejlődésével, elterjedésével nagyobb a lehetőség a numerikus módszerek alkalmazására különböző feladatok megoldásában, köztük a hőterjedés meghatározásában is. Lényege, hogy a (3.15) Fourier-féle hővezetési differenciálegyenletet differenciaegyenlettel cseréljük fel és a testet elemi térfogati részegységekre osztva egységről egységre számíthatók ki a jellemzők.

A dolgozatomban a számítások elvégzéséhez a MATLAB speciális programrendszert használom, amelyet numerikus számítások elvégzésére fejlesztettek ki és emellett egy programozási nyelv is. A The MathWorks által kifejlesztett programrendszer képes mátrix számítások elvégzésére, függvények és adatok ábrázolására, algoritmusok implementációjára és felhasználói interfészek kialakítására. Habár a szoftver kizárólag numerikus, a MuPAD csomag hozzáadásával képes matematikai kifejezéseket grafikusán is megjeleníteni.

Változókat az értékadó operátorral lehet deklarálni. A MATLAB egy dinamikus típusos nyelv, ami azt jelenti, hogy a változókat típusdeklaráció nélkül is lehet használni, kivéve, ha szimbolikus objektumnak szánjuk őket. A változók az értékeiket kaphatják konstansokból, számításokból, vagy egy függvény visszatérési értékéből is (<http://www.mathworks.com/help/>).

Az épületbe integrált kollektor elemek termikus viselkedését szimulációs módszer segítségével elemeztem. A cél az volt, hogy növeljük, illetve optimalizáljuk a termikus hatásfokot a héjszerkezetű kollektor esetén. A technológiailag maximális hatékonyság a különböző szerkezeti anyagok beépítésével, ill. a rétegszerkezet alakításával érhető el (Kendrick, 2009). A fő befolyásoló tényezők a besugárzás, a környezeti hőmérséklet, a munkaközeg átlagos hőmérséklete, a kollektorba belépő munkaközeg hőmérséklete. Fontos, hogy mérjük a munkaközeg tömegáramát és felmelegedését a kollektorok hatásfokának kiszámítása érdekében.

Az elnyelő elem felületi hőmérséklete a beeső napsugárzás intenzitásának és a felület nagyságának a függvénye (Pisello et al., 2011). Az épületelem kollektor bemeneti / kimeneti rendszer modellje 3.5. ábrán látható.



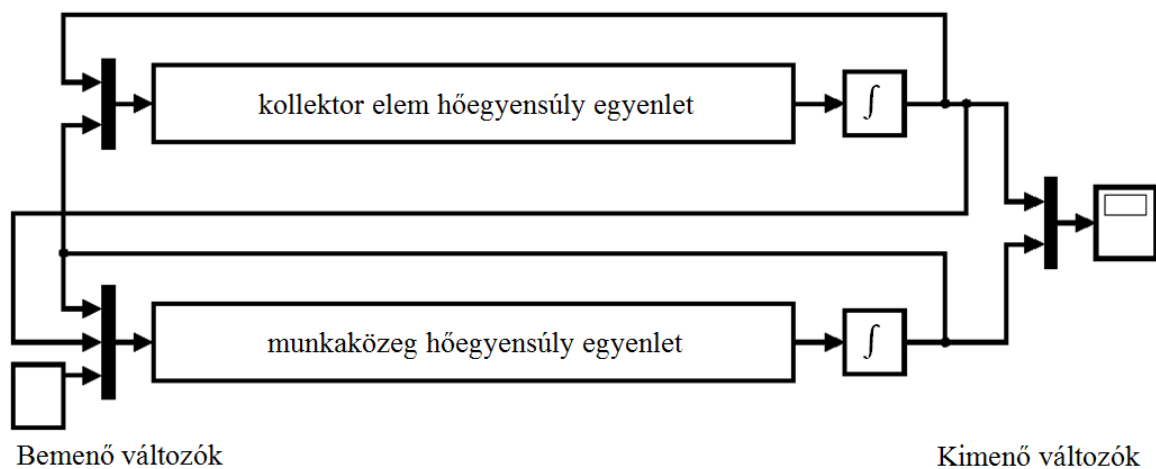
3.5. ábra A kollektor elem bemeneti / kimeneti rendszer modellje

A hővezetés differenciál egyenletét alapul véve, az egyik elem a következőnek adja át az energiát, a térrész energia egyensúlya pedig a be-, és kilépő hőközvetítő anyag térfogatáramától függően alakul ki.

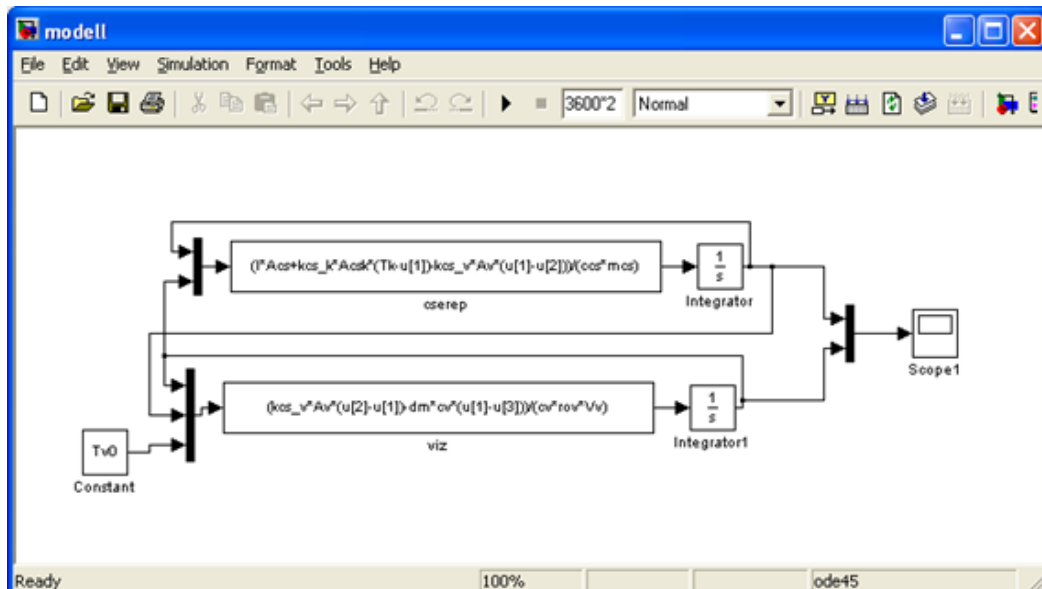
A matematikai szimuláció (Matlab) elvégzéséhez az alábbi egyenletek felírása szükséges:

- a cserépelem felülete a környezet felé,
- a cserépelem térfogata, tömege,
- a cserépelemet érő "hasznos" napsugárzás intenzitása,
- a víz és a kollektor elem közötti hőegyensúly,
- a kollektor elem és a környezet közötti hőegyensúly,
- a kollektor elemekben lévő (munkaközeg (víz) időbeli hőmennyiség változása,
- összegző egyenlet a kollektor elem hőmérsékletére,
- összegző egyenlet a munkaközeg hőmérsékletére.

A kollektor elem és a munkaközeg hőmérsékletének megállapítása az elemi részek hőegyensúlyi állapotának egymás utáni összegzésével állapítható meg. A hőtani egyenletek alapján levezetett matematikai szimulációs folyamatábra látható a 3.6. ábrán.



3.6. ábra A kollektor modell "Matlab" formátumban



3.7. ábra Az egyenletek képernyőképe (Matlab) környezetben példaként

A 3.6. ábra bal oldalán bemenő változók fogadása, az ábra jobb oldalán a kimenő változók láthatók. Az egyes lépésekben számolt értékeket visszacsatolva kapjuk meg, az idő függvényében, a hőtani folyamatok értékeit, diagramjait. A 3.7. ábrán a Matlab

programkörnyezetben lévő egyenletek példakénti elrendezési képernyőképe látható az egyenletek megoldásához a megfelelő visszacsatolások kialakításával.

3.3. Próbatétel kísérletek módszere

A modell és szimulációs eredmények ellenőrzése céljából mérési és modellhelyességi feladatok végzésére került sor. Így érhető el a műszakilag jó minőségű, megfelelő hatásfokú, kollektortestek kialakítása. A kollektortestek formai és anyagszerkezeti kialakításának változtatásával lehetőséget látok a hőtechnikailag elérhető maximális hatásfok megközelítésére.

Az épületeknél használt anyagok napsugárzással kapcsolatos viselkedés szakirodalmi adatainak pontossága a dolgozatomhoz nem megfelelő. Általánosságban végeztek kísérleteket ezekkel az anyagokkal, ill. és jellemzően a "hősziget" hatással kapcsolatos tudományos cikkekben, az anyagok, felületek napsugárzás visszaverő képességének növelése a fő cél.

A dolgozatomhoz szükséges volt vizsgálni az épületszerkezeti elemként is funkcionáló anyagok napsugárzás elnyelő képességét és a felületi hőmérsékletek alakulását, annak időbeli dinamikáját.

Épületszerkezeteknél, a vizsgálataim fő iránya, a tetőkialakításnál használt anyagokra irányult. A tetőfedés kialakításánál használatos anyagok közül kizártam a hőtanilag rossz hővezető tulajdonsággal rendelkezőket, mivel a felületen hőenergiává alakuló napsugárzás energiájának befogása, elvezetése a céltom. Az anyag kiválasztás során arra is figyelmet fordítottam, hogy az ne legyen speciális, bonyolult gyártású, hőtechnikailag nehezen modellezhető. Fontos szempont volt a felhasznált anyag ára és az is, hogy kollektor felületté való alakítása ne emelje meg túlzottan a költségeket.

A mérésekhez szükséges próbatétel alakjának, felületi formájának kialakításánál első lépésben nem volt szükséges a tetőfedésnél jellemző különböző hullámos, hajlított formák követése. Összességében a fenti szempontok alapján kereskedelmi forgalomban kapható beton anyagú, 30x30x5 cm nagyságú elemeket választottam.

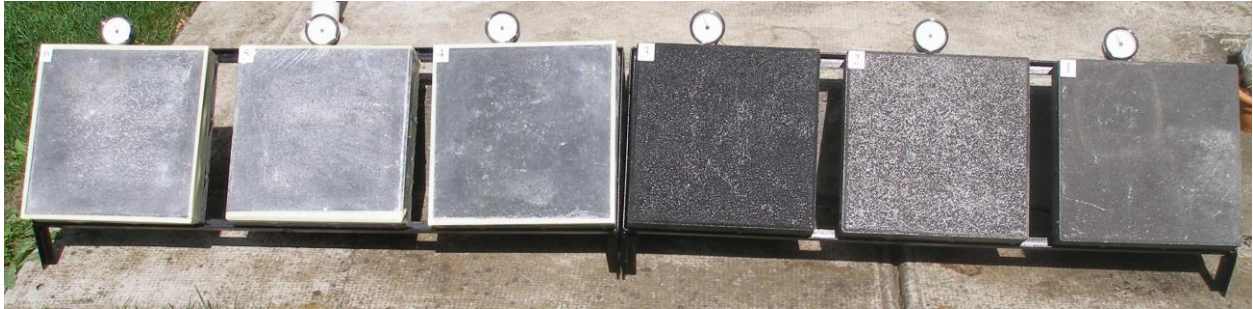
3.1. táblázat Épületszerkezeti anyagok hőtechnikai értékei

Anyag 20 °C	Sűrűség	Fajlagos hőkapacitás	Hővezetési tényező	Hőmérséklet-vezetési tényező
Mértékegység	10 ³ kg/m ³	kJ/kg,K	W/m,K	10 ⁻⁶ m ² /s
Aszfalt	2,12	0,92	0,70	0,36
Beton	2,1	0,88	1,0	0,54
Ablaküveg	2,48	0,70	0,87	0,50
Márvány	2,6	0,80	2,8	1,35
Vakolat	1,9	0,80	0,93	0,61
Tégla	1,6...1,8	0,84	0,38...0,52	0,28...0,34

A 3.1. táblázatban összehasonlításként bemutatom a szokásos épületszerkezeti anyagok hőtechnikai jellemzőit, szürke színnel kiemelve a beton anyag jellemzőit. A hővezetési tényező, mint anyagi jellemző stacioner (időben állandósult) viszonyok között jellemzi a hőáramlási viszonyokat. A ciklikus hőmérsékletváltozások tér- és időbeli tovaterjedését – mint amilyen

például a kültéri nappali és éjszakai hőmérsékletingadozás hatása a lakótérben – a hőmérséklet-vezetési tényezővel jellemezhetjük (http://hu.wikipedia.org/Hőmérséklet-vezetési_tényező).

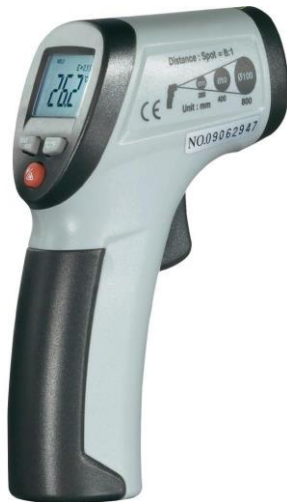
A méréseket különböző kialakítású felületekkel végeztem, a tényleges napsugárzási energia elnyelődésének megállapítására. A 3.8. ábrán látható a próbatestek méréshez való előkészítése.



3.8. ábra Felületi hőmérséklet mérés elrendezés

A kísérletek mérési eszközei

A felületek hőmérsékletének mérésére infra hőmérőt használtam (3.9a ábra).



a)



b)

3.9. ábra Hőmérséklet mérők

Az infra hőmérés elvéből adódóan a tárgyak hőmérséklete ellenőrizhető. A mérés után a mért érték a LCD-kijelzőn a kikapcsolásig megmarad, segítve a leolvasást. A mérési felület pontos behatárolását a ki / bekapcsolható lézerjelölés segíti. A pontos méréshez figyelembe kell venni és be kell állítani az emissziós tényezőt, valamint ügyelni kell, hogy a mért tárgyfelület nagyobb legyen, mint az optika által látott felület. Hőmérséklet mérési tartomány $-30, +260\text{ °C}$, hőmérséklet felbontás 0.1 °C , pontosság $\pm 2\% \pm 2\text{ °C}$.

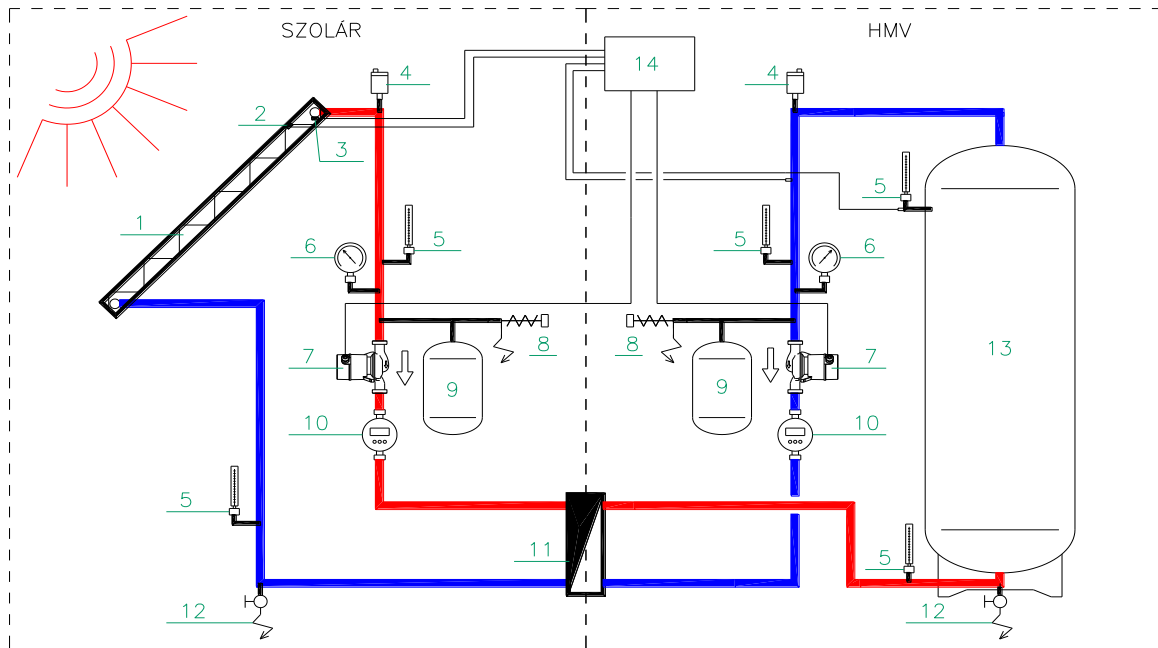
A hőmérsékleteket mértem a felület alatt is, 10 mm mélységben, megállapítására kapilláris csöves hőmérő órákat alkalmaztam, skála beosztása 1 °C fok, így a leolvasás pontossága $\pm 0,5\text{ °C}$ (3.9b ábra).

3.4. A mérőrendszer kialakítása

Az elméleti számítások igazolásához szükséges vizsgálatokat saját tervezésű és kivitelezésű kísérleti berendezésen végeztem. A mérések elvégzéséhez szükséges mérőhely kialakítását úgy

terveztem, hogy az rendelkezzen az időjárás megfelelő paramétereinek rögzíthetőségén kívül, a különböző típusú újonnan kialakított kollektortestek egyedi és a már használatban lévő kollektorok összehasonlító mérési lehetőségeivel is.

A besugárzás szöge évszakonként és napszakonként változó, ezért a kollektor optimális energia felvétele szempontjából fontos, hogy az a napsugárzás irányába álljon. A megvalósított berendezésnél a kollektort tartó állvány hajlásszöge (30° - 45°) és oldalszöge (0° - 360°) állítható. A rendszer kapcsolási vázlata a 3.10. ábrán látható a fontosabb szerkezeti elemek megnevezésével együtt.



3.10. ábra A rendszer felépítésének elvi vázlata

1. Kollektor 2. Szolár érzékelő 3. Kollektor hőmérséklet érzékelő 4. Légtelenítő 5. Hőmérő 6. Nyomásmérő 7. Szivattyú 8. Biztonsági szelep 9. Tágulási tartály 10. Mérőóra 11. Hőcserélő 12. Töltő-űritő csap 13. Puffer tároló 14. Szabályzó elektronika

Két körös (Szolár és HMV) kiépítés biztosítja a megfelelő szétválasztást és a jobb szabályozhatóságot. A két kör közötti kapcsolatot külső hőcserélő biztosítja. A keringetés három fokozatú szivattyúk segítségével történik. Az összekötéseket rézcsövek segítségével valósítottuk meg, a rendszer összeszerelt állapotban a 3.11. ábrán látható.

A rendszer hőtechnikai összehangolását a speciálisan napkollektorokhoz ajánlott szabályzóegység biztosítja. A szabályzó 10 db. érzékelő bemenettel és 5 db. vezérelt kimenettel rendelkezik, üzemállapot, üzemzavar és programmód kijelzéssel. A befogott hőenergia tárolását 300 literes puffertároló végzi, mely biztosítja a további felhasználási lehetőségeket is. A biztonságos üzemvitelt a szokásosan beépített műszerek és biztonsági szerelvények segítik. A berendezés további fejlesztési elképzeléseket is tud szolgálni, ekkor azonban vizsgálni kell, szükség van-e bizonyos átalakítására, a pontosabb mérések elvégzéséhez, a más típusú kollektortestek vizsgálatánál.



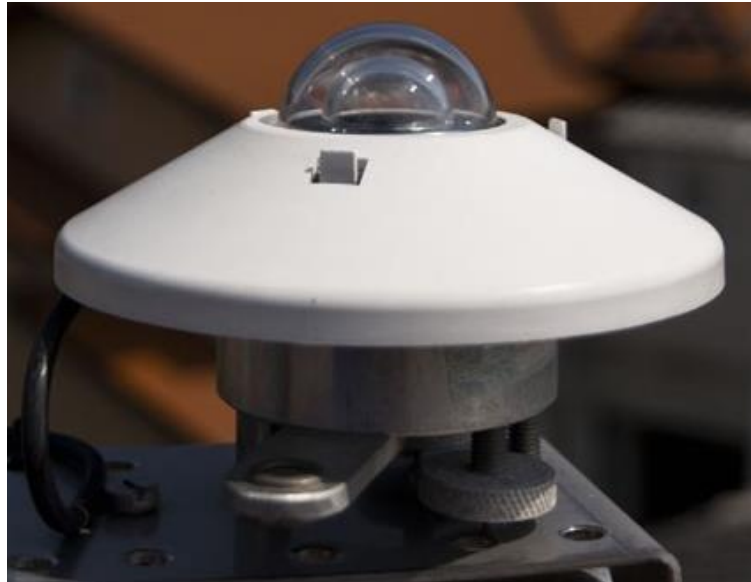
3.11. ábra A rendszer tényleges felépítése

3.5. Kollektor hatásfok meghatározás módszere

A kollektorban lévő folyadék melegedését szükséges mérni a napsugárzás intenzitásának és a kollektorban áramló folyadék térfogatáramának a függvényében. Összefüggés keresek a napkollektor felületére eső globális sugárzás nagysága és a kollektor termikus hatásfoka között.

A jelenséget leíró vizsgálati paraméter a hatásfok (η), mely a kollektor termikus hatásfok változását írja le. A vizsgálati paraméterre ható faktorok: a napsugárzás intenzitása (I_g), a kollektor körüli levegő hőmérséklete (T_a), a kollektorban áramló hőelvezető folyadék közepes hőfoka (T_m), a kollektorba belépő folyadék hőmérséklete (T_{in}), a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklete (T_{out}), és a kollektor közepes hőfok és környezeti hőmérséklet különbsége ($T_m - T_a$). A felsorolt faktorok mértékegységgel rendelkező tényezők, míg maga a hatásfok mértékegység nélküli mennyiség. Ennek a kísérleti tervnek a kapcsán a fentiekben felsorolt vizsgálati paraméterek közül a sugárzás és a hőfokváltozás hatását fogom kísérlettel meghatározni a hatásfokra.

A napsugárzást déli tájolású és 45° -os dőlésszögű felületen mérem egy Kipp & Zonen gyártmányú, CM-5 típusú, szellőztetett piranométerrel. A készülék pontossága 2%-on belüli. A piranométer a globális (teljes) napsugárzást méri, $0,3 - 2,5 \mu\text{m}$ közötti hullámhosszúság tartományban (3.12. ábra). A mért adatokat egy saját fejlesztésű HC-260 típusú adatgyűjtő dolgozza fel és továbbítja a számítógép számára, az adattárolás is itt történik.



3.12. ábra Napsugárzás mérő

A kollektoron átáramló közeg mennyiségét melegvízes mérőóra segítségével határozom meg. A mérő pontossága ± 0.1 liter.

A megmért adataim kiértékelésére a faktoriális kísérleti módszert alkalmazom. Ez a módszer általánosan használható, a szakirodalmi kutatásaim szerint azonban napkollektor hatásfok függvény meghatározására nem használták korábban. Nagy előnyt látok a módszer alkalmazásában, mivel nem kell laboratóriumi körülmények közötti méréseket végezni, hanem valós körülmények közötti mérési adatok kiértékelésével tudok megállapításokat tenni. Ez gazdaságilag jóval olcsóbb minősítési eljárást tesz lehetővé napkollektorok hatásfok görbéjének megállapítására.

Faktoriális kísérlet esetén bizonyos rendszer szerint több faktort egyszerre változtatunk meg és így hozzuk létre az ún. kísérleti beállításokat. A módszer lényege, hogy egy-egy faktornak csupán két értékénél mérünk és a mérési pontokra a legkisebb négyzetek elve alapján faktorokban lineáris függvényt illesztünk. Ennek megfelelően egy faktor esetében 2, két faktor esetében 2×2 , három faktor esetében $2 \times 2 \times 2$, k számú faktor esetén $N=2^k$ kísérleti beállítás mellett végezzük a méréseket.

Esetünkben az egyik, és itt hangsúlyozott értékelése lehet a kísérletnek, hogy a közelítő függvény együtthatóit meghatározzuk. Az optimalás folyamatát jól segítve tudjuk a mérési eredmények használhatóságát elemezni:

- a közelítő függvény hibahatárát,
- a szórásnégyzetek egyezésének vizsgálatát,
- az együtthatók szignifikanciájának elemzését,
- a választott matematikai modell helyességének elemzését,
- hibás feltételezések esetén szükségessé váló javítások, korrekciók, megismételt mérések végzését.

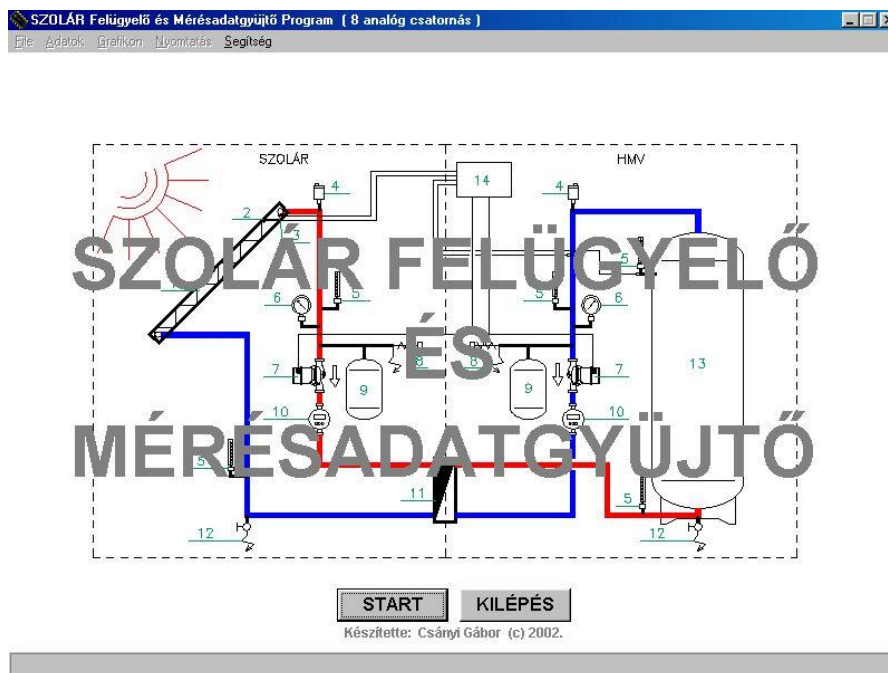
Az alkalmazással a céljaim a következők:

- a fent felsorolt faktoroknak a napkollektor hatásfok megváltozására gyakorolt hatásának vizsgálata, valamint az elhanyagolható faktorok elhagyása,

- (η), mint vizsgált jelenség szélsőértékét meghatározó faktorértékek megállapítása,
- adott értelmezési tartományban a hatásfok megváltozása és a vizsgált faktorok (G , ΔT) függvénykapcsolatának meghatározása.

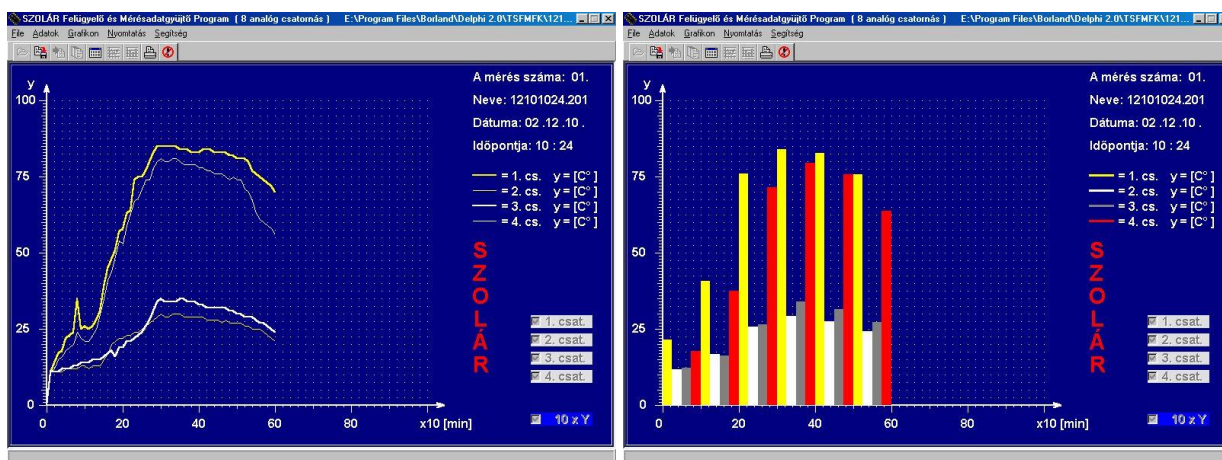
3.6. Adatfeldolgozó rendszer és eljárás

Mérési adatfeldolgozás során a nagy mennyiségű adat rögzítését, kiértékelését számítógéppel segített módszerekkel kívánjuk elérni, melyek így alkalmasak lesznek későbbi elemzések készítéséhez is. Elkészítettünk egy mérés adatgyűjtő és kiértékelő szoftvert amely segíti a további munka végzését (3.13. ábra).



3.13. ábra Az adatgyűjtő szoftver kezdő képernyőképe

Az adatgyűjtés mellett az adatok valós idejű grafikus ábrázolására is van lehetőség. Ezeket a táblázatokat más iroda programok segítségével is lehet szerkeszteni, adatelemzéseket, kimutatásokat készíteni. Lehetőség van a mérési csatornák külön-külön megjelenítésére, ill. a szükséges mérési csatornák egyidejű megjelenítésére, ezek kombinálására is.



3.14. ábra Mérési csatornák képernyőképe

A napkollektor önmagában nem garantálja a napenergiával működő berendezés optimális működését, lényegesen több múlik a teljes rendszer megoldáson, az új számítógépes program segítségével megoldható az ellenőrzés és a szabályozás is.

Hőmérséklet eloszlás mérése, értékelése

A kollektor felületek hőmérséklet eloszlása nehezen mérhető hagyományos hőmérsékletmérő eszközök segítségével. Ezért a hőmérsékletek észlelésére és a modellezett, számított értékek igazolására infra kamerás felvételeket alkalmaztam.

A diagnosztikai gyakorlatban használt nagy érzékenységű infrakamerák szobahőmérsékleten jellemzően 0,2 °C felbontásúak, és az alsó mérési tartományuk általában -15 – -20 °C-nál kezdődik, illetve egyes típusok felső mérési tartománya eléri a +800 – +2000 °C értéket is (3.15. ábra).



3.15. ábra Méréseknél használt infra kamera

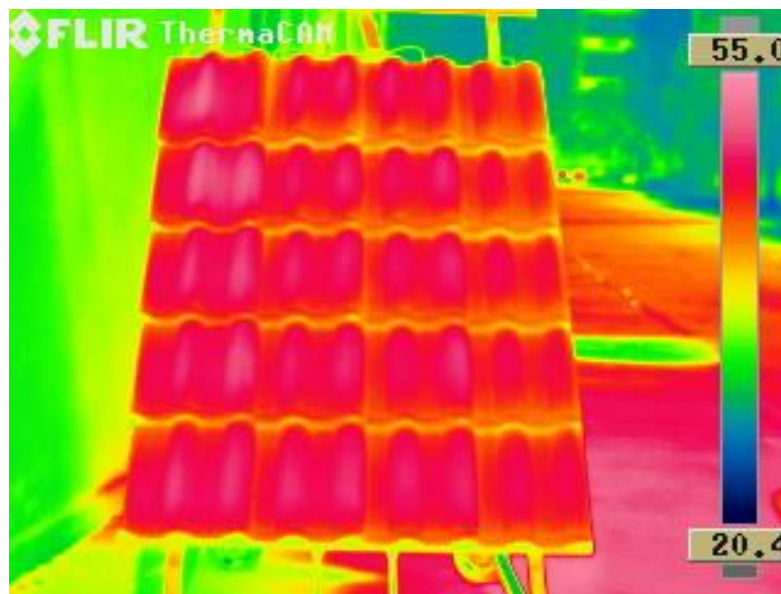
A felületi hőmérséklet eloszlás, egy jellegzetes felvétele látható a 3.16. ábrán. A felvételeken lévő hőmérséklet jelző színes skála mutatja az aktuális értékeket. Az infra kamerás felvételek pontossága szoftveresen ± 0.1 °C.



3.16. ábra Betoncserép tetőfelület hőmérséklet eloszlása

A tárgyak felületük hőmérsékletével arányos intenzitású sugárzást bocsátanak ki, ami összefüggésben áll a belső hőmérsékletükkel is. A sugárzás intenzitása több paramétertől is függ. Az első és legfontosabb a hőmérséklet, amely abszolút nulla foktól mért skála negyedik hatványával arányos. A második az emissziós tényező, más néven feketeségi fok, amely mint szorzótényező nulla és egy közötti értékű lehet. Ez egy a tárgy felületének sugárzási tulajdonságait megadó anyagi jellemző. Nincs szoros összhangban a fizikailag azonosítható színnel, annak ellenére, hogy általában a sötétebb színű tárgyak emissziós tényezője magasabb. Az infrasugárzás harmadik jellegzetessége az, hogy értéke a felületre merőlegesen azonosítható, és a ferde, valamely szögben való megfigyelése során az változik. Ezt leíró összefüggést első közelítésben koszinusz függvényvel helyettesíthetjük, amely a merőlegetől a 30° értékig igen jól közelíti a valóságos karakterisztikát.

Az összeépített felületelemek hőmérséklet eloszlását is infrakamera segítségével vizsgálom, a 3.17. ábra mutatja a felvétel jellegét.



3.17. ábra Mért elemek felületi hőmérséklet eloszlása

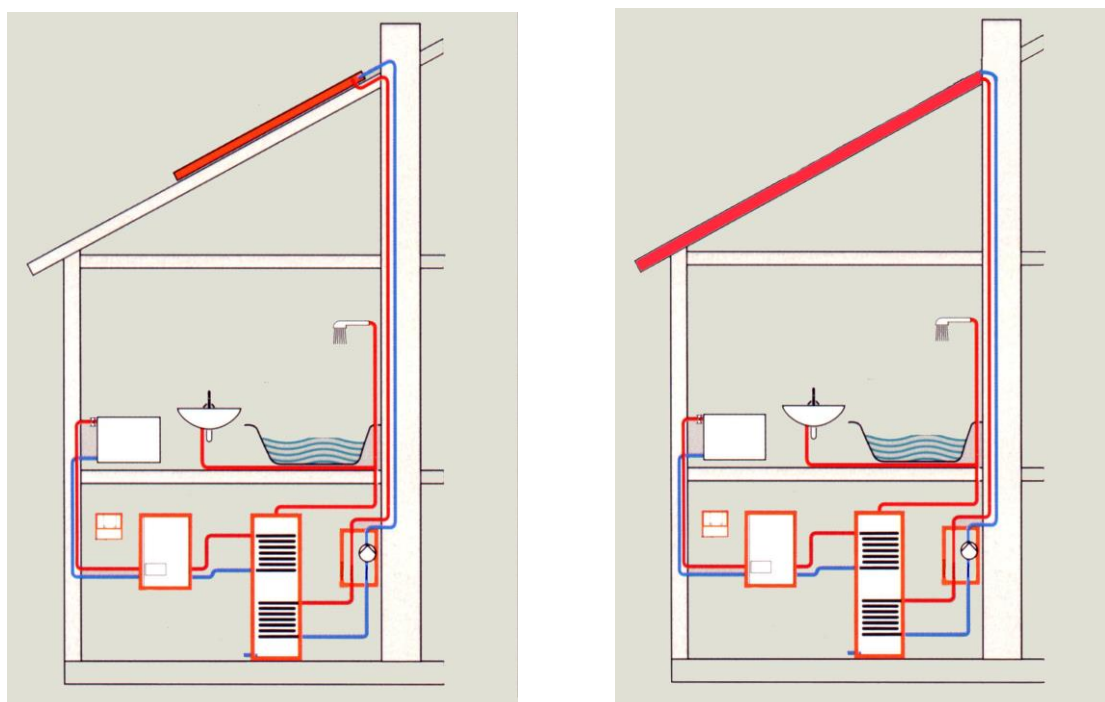
A hőképek értékelése során nem hőmérsékleteket azonosítunk, hanem sugárzás intenzitás szinteket, amelynek két paramétere van, a fekete szint és az átfogás. Mindkettő egymástól függetlenül állítható. A fekete szint az az érték, amely fölötti intenzitású képelemeket kívánjuk megjeleníteni, az átfogás, ugyanakkor a mérési, vizsgálati tartomány nagyságát jelenti. A korszerű infrakamerákban a beállítás szabadon megválasztható, de vannak az észleléshez ajánlott megszokott beállítások (színskálák) is, színskálára példa a 3.17. ábra jobb oldala.

4. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben bemutatom azokat új tudományos eredményeket, módszereket, eljárásokat és ezek alkalmazhatósági korlátaira közlök megállapításokat, melyekkel olyan új típusú kollektortestek kialakítása történik, melyek az építészeti elemekbe integrálhatók, esztétikailag nem rontják az épületek megjelenését, mégis rendelkezik a napkollektor abszorberek kedvező tulajdonságaival.

4.1. Épületelem kollektor modellezése

Fontos a megújuló energiaformák befogására és hasznosítására irányuló kutató-fejlesztő tevékenység, amely az utóbbi két évtizedben gyakorlati értékű technológiák születéséhez és ezeket alkalmazó berendezések, rendszerek kereskedelmi forgalomban való megjelenéséhez vezetett.



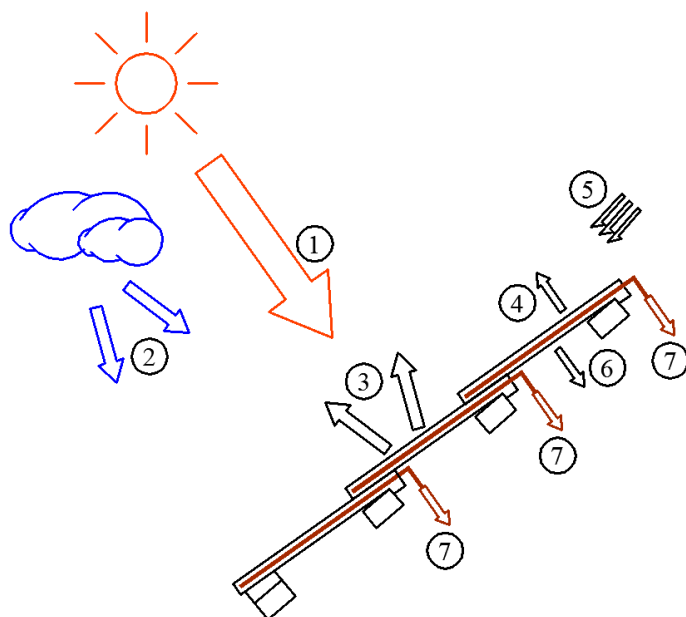
4.1. ábra A hagyományos és az új kialakítású rendszer

A szakirodalmi áttekintés igazolja, hogy az emberek a napenergia hasznosító kollektorokat nemcsak hasznosságuk alapján, hanem esztétikai szempontok szerint is értékelik. A kutatási munkám erre az alapgondolatra épült fel. A hagyományos kollektorok mellett megvizsgálni ezt a területet, mennyire van létjogosultsága egy olyan megoldásnak, mikor az épületszerkezeti elemek a napenergia befogására is alkalmasak. Energetikai szempontból tekintve, „dolgozzon” egy esetleg kisebb hatásfokú, de nagyobb rendelkezésre álló felület. A napenergia aktív hasznosításának lehetőségei közül, az épület tetőszerkezetébe integrálható kollektortestekkel végeztem el a méréseket (4.1. ábra).

Az épületelem kollektor hőhasznosítása, veszteségei

A napkollektorok a felületükre érkező napsugárzást csak bizonyos veszteségekkel tudják átalakítani hasznos hőenergiává. A veszteségek optikai- és hőveszteségekre oszthatók. Az optikai veszteség - ami nem függ a kollektorok hőmérsékletétől - az üvegfelület visszaverése és elnyelése, valamint az abszorberfelület visszaverése. A hőveszteség - ami erősen függ a kollektor és a környezeti levegő

közötti hőmérséklet-különbségétől - a napsugárzás hatására felmelegedett abszorberlemez sugárzás, konvekció és hőátadás útján létrejövő vesztesége (4.2. ábra).



A főbb energiátényezők:

1. Közvetlen napsugárzás
2. Szórt napsugárzás
3. Visszaverődés
4. Konvekció általi veszteségek
5. Szél, eső, hó, konvekció
6. Vezetési veszteségek
7. Hasznos teljesítmény

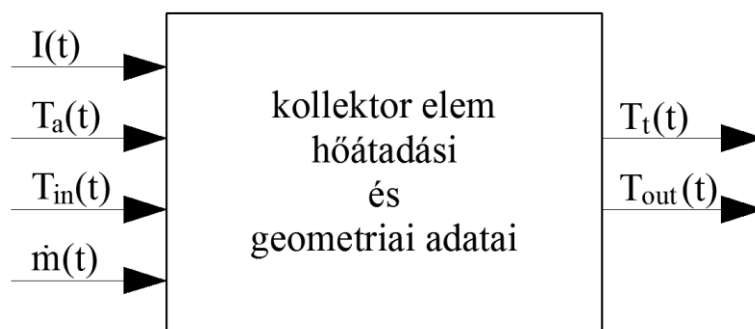
4.2. ábra Épületelem kollektor kialakítású rendszer hőegyensúlya

Hőtermelő berendezések esetében a hatásfok a hasznosított és a bevitt hőmennyiség arányát fejezi ki. A napkollektorok "tüzelőanyaga" a Nap elektromágneses sugárzása (EMS). Ezért napkollektorok esetében a hatásfok a kollektorral hasznosított hőenergia és a napkollektorok felületére érkező napsugárzás energiájának arányát fejezi ki. A hatásfok tehát azt mutatja meg, hogy a napkollektorok a felületükre érkező napsugárzást mekkora veszteséggel tudják átalakítani hasznos hőenergiává. A napkollektor veszteségeit és így a hatásfokát is jelentősen befolyásolják a pillanatnyi hőmérséklet és napsugárzási viszonyok. Ha megváltozik a külső hőmérséklet, vagy a napsugárzás erőssége, akkor a kollektorok hatásfoka is módosul, vagyis a hatásfokot nem lehet egy számmal kifejezni, mert az állandóan változik egy maximális érték és a nulla között. Ezért a kollektorok hatásfokát egzaktul csak grafikonnal, vagy matematikai egyenlettel lehet megadni.

A napsugárzási energia elnyelődési, hővezetési folyamatának matematikai modellje és szimulációja

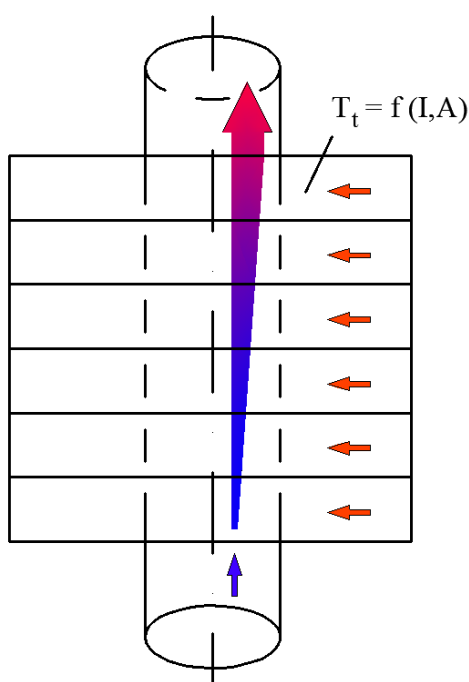
Az épületbe integrált kollektor elemek termikus viselkedését szimulációs módszer segítségével elemeztem. A cél az volt, hogy növeljem, illetve optimaljam a termikus hatásfokot a héjszerkezetű kollektor esetén. A technológiailag maximális hatékonyság a különböző szerkezeti anyagok beépítésével, ill. a rétegszerkezet alakításával érhető el (Kendrick, 2009). A fő befolyásoló tényezők a besugárzás (I), a környezeti hőmérséklet (T_a), a munkaközeg átlagos hőmérséklete (T_m), a kollektorba belépő munkaközeg hőmérséklete (T_{in}). Fontos, hogy mérjük a munkaközeg tömegáramát (\dot{m}) és felmelegedését a kollektorok hatásfokának kiszámítása érdekében.

Az elnyelő elem felületi hőmérséklete (T_f) a beeső napsugárzás intenzitásának és a felület nagyságának a függvénye (Pisello et al., 2011). A épütelelem kollektor bemeneti / kimeneti rendszer modellje 4.3. ábrán látható.



4.3. ábra A kollektor elem bemeneti / kimeneti rendszer modellje

A hővezetés differenciál egyenletét alapul véve, az egyik elem a következőnek adja át az energiát, a térrész energia egyensúlya pedig a be-, és kilépő hőközvetítő anyag térfogatáramától függően alakul ki (4.4. ábra).



4.4. ábra Az elnyelő elem felosztása

A hővezetés differenciál egyenletének alapján, az épületelem kollektor hőtechnikai modelljének kialakításához, szükséges megadni a környezeti változókon kívül a geometriai kialakítás adatait, a felhasznált anyag fizikai jellemzőit. A modell kialakításnál törekedtem annak a lehető legegyszerűbb megadási formájára. Az 4.5. ábra a hőelnyelő "elemi egység" szerkezeti kialakítását mutatja a hőegyensúlyt befolyásoló változókkal.

A matematikai szimuláció (Matlab) elvégzéséhez szükséges egyenletek részletezve a következők:

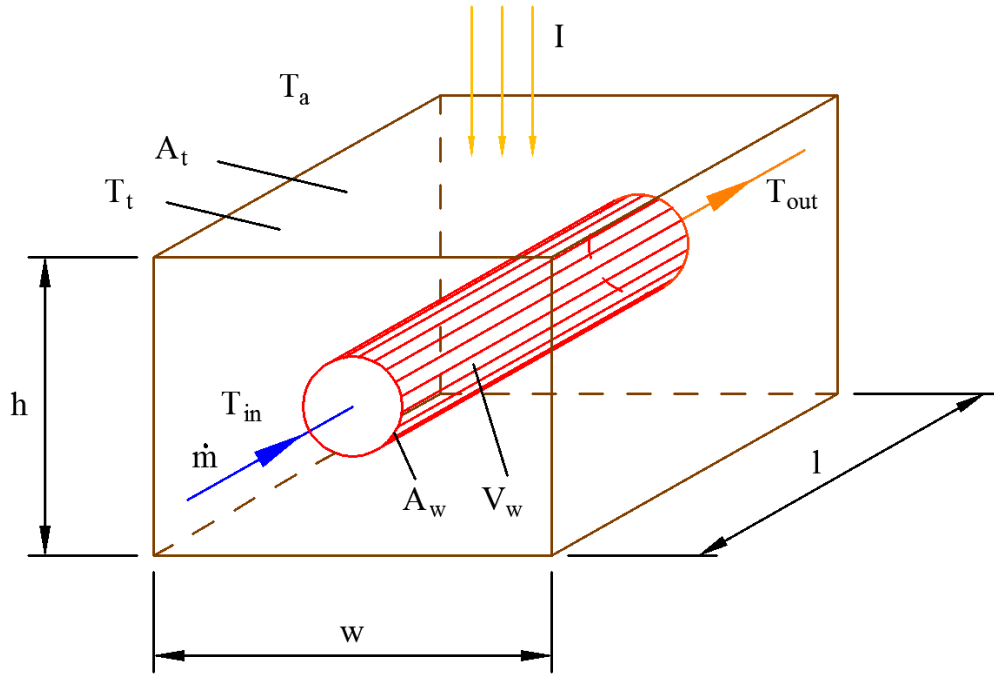
A cserépelem felülete a környezet felé:

$$A_{ta} = 2A_t + 21h. \quad (4.1)$$

Az épületelem térfogata, tömege:

$$V_t = h w l, \quad (4.2)$$

$$m_t = V_t \rho_t. \quad (4.3)$$



4.5. ábra Az elnyelő elem elemi kialakítása, termikus egyensúlya

Az épületelemet érő napsugárzás intenzitása:

$$I = I_g - I_l \quad (4.4)$$

A víz és az épütelelem közötti hőegyensúly:

$$c_w m_w \Delta T_w = k_{wt} A_w (T_t - T_w) \quad (4.5)$$

A épütelelem és a környezet közötti hőegyensúly:

$$c_t m_t \Delta T_t = I A_t + k_{ta} A_t (T_a - T_t) - k_{wt} A_w (T_t - T_{out}) \quad (4.6)$$

A épütelemben lévő víz időbeli hőmennyiség változása:

$$c_w \rho_w V_w \Delta T_{out} = k_{wt} A_w (T_t - T_{out}) - \dot{m} c_w (T_{out} - T_{in}) \quad (4.7)$$

Az 4.4-4.7 egyenletek alapján a matematikai szimuláció futtatáshoz szükséges egyenletek:

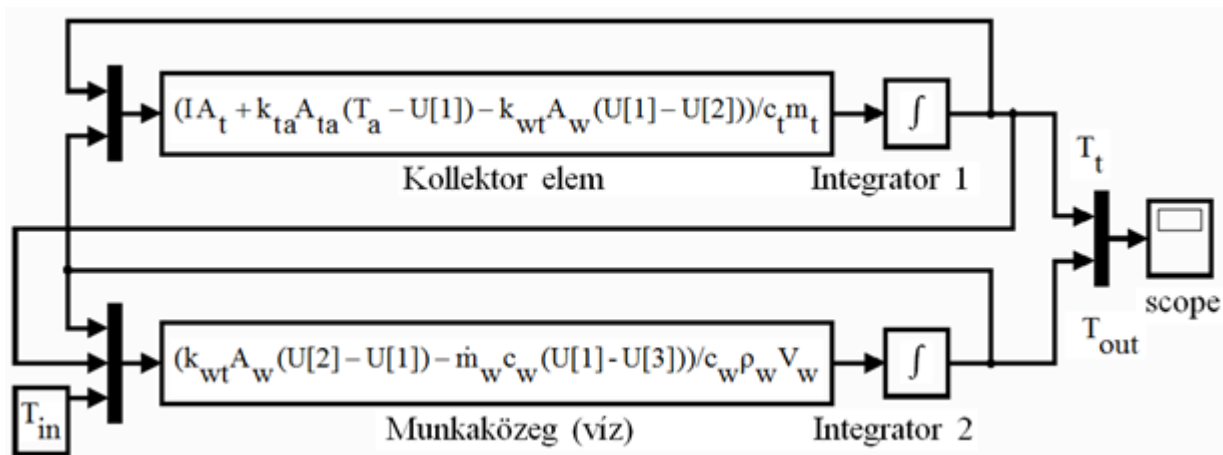
$$\dot{T}_t = \frac{I A_t + k_{ta} A_t (T_a - T_t) - k_{wt} A_w (T_t - T_{out})}{c_t m_t} \quad (4.8)$$

$$\dot{T}_{out} = \frac{k_{wt} A_w (T_t - T_{out}) - \dot{m} c_w (T_{out} - T_{in})}{c_w \rho_w V_w} \quad (4.9)$$

A kollektorból kilépő munkaközeg hőmérsékletének megállapítása az elemi részek hőegyensúlyi állapotának egymás utáni összegzése alapján állapítható meg.

A 4.8 – 4.9 egyenletek alapján levezetett matematikai szimulációs folyamatára látható a 4.6. ábrán az alábbi változók bevezetésével:

$$U[1] = \dot{T}_t ; U[2] = \dot{T}_{out} ; U[3] = T_{in} \quad (4.10)$$



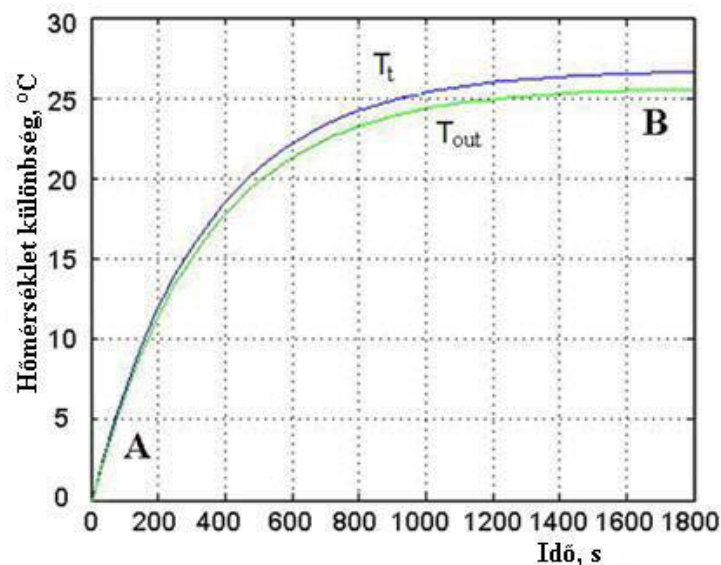
4.6. ábra Épületelem kollektor szimulációs ábrája

Az 4.1. táblázatban látható a matematikai szimuláció (Matlab) futtatásánál használt változók és értékeik felsorolása.

4.1. táblázat a szimulációhoz használt értékek és jelölések

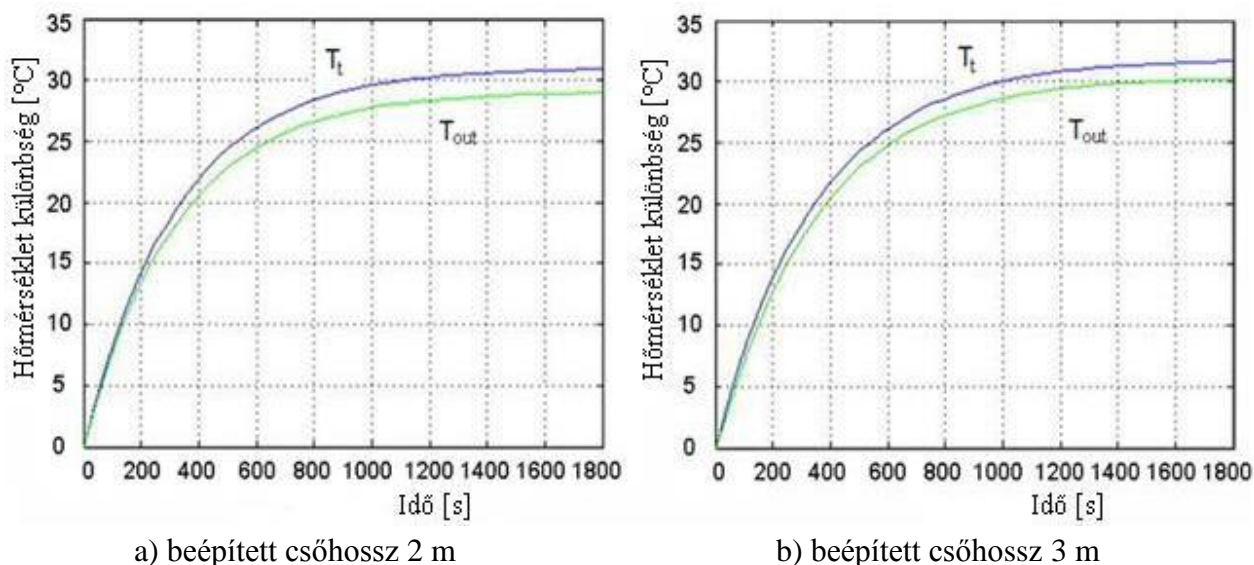
Változó	Érték	Változó	Érték	Változó	Érték
l	2.5 m	c_t	900 J/kgK	\dot{m}	0.01 kg/s
d_w	0.005 m	c_w	4196 J/kgK	ρ_w	1000 kg/m ³
ρ_t	2000 kg/m ³	w	0.02 m	T_a	20 °C
h	0.015 m	I	600 W/m ²	T_{in}	18 °C
k_{te}	20 W/m ² K	k_{wt}	150 W/m ² K		

A 4.7. ábra példaként mutatja egy adott értékekkel lefutott matematikai szimuláció eredményét. A szimulációs idő alatt a hőmérséklet különbség állandósult állapotot vesz fel. A fenti paraméterek alapján a felület hőmérséklete (ΔT_t) közel 27 °C felmelegedést mutat a környezet hőmérsékletéhez képest. A kilépő munkaközeg hőmérséklet változása (ΔT_{out}), 25 °C körüli érték, 18 °C belépő hőmérséklet (T_{in}) esetén.



4.7. ábra Számított hőmérséklet különbség értékek a felületre és a kilépő közegre

A 4.8. a-b ábrán látható kísérleti eredményeknél a napsugárzás 1000 W/m^2 értékű, a beépített csőhosszúság 2 m és 3 m volt. A levegő hőmérséklete $20 \text{ }^\circ\text{C}$, a belépő, állandó térfogatáramú munkaközeg, kezdeti hőmérséklete $18 \text{ }^\circ\text{C}$.



4.8. ábra Szimulációs eredmények a beépített csőhossz változtatása esetén

A 4.8. ábrán az állandósult hőmérsékleti állapot eléréséig látható a matematikai szimulációs folyamat. A beépített csőhossz növelése esetén látható, hogy a hőmérséklet különbség maximuma növekszik mind a kollektor felületének, mind a kilépő közeg hőmérsékletének, de csökken a görbék közötti távolság, ami a hőátadási folyamat időtartam szükségletét támasztja alá. A 2 m-es beépített csőhossz esetén a felület hőmérséklet különbsége (ΔT_t), $30 \text{ }^\circ\text{C}$ körül van, a kilépő munkaközeg hőmérséklet különbsége (ΔT_{out}), $28 \text{ }^\circ\text{C}$ körüli érték. A 3 m-es csőhossz esetén ezek az értékek rendre, $32 \text{ }^\circ\text{C}$ és $30 \text{ }^\circ\text{C}$. A csőhossz növelése addig gazdaságos míg a kivehető energia mennyiségnek elérjük a maximumát, elérjük a kollektor maximális hőleadó teljesítő képességét.

A változók érzékenységi vizsgálata

A szimuláció segítségével előzetesen optimalizálható a kollektor modell, az épületelem geometriai kialakítása, de a matematikai szimulációs számítása során a szerkezet kialakítási változók eltérő hatással vannak a vizsgálat eredményére. Ezért szükséges vizsgálni, melyek azok a változók amelyek legfőképpen befolyásolják a végső, műszakilag és gazdaságilag is helyes szerkezeti kialakítást.

A 4.2. táblázatban látható a változók felsorolása és a hozzájuk tartozó érzékenységi terület. Az eredmények a szükséges kísérleti elemek elkészítésének optimalizálásához adnak segítséget (hőcserélő cső átmérő, hossz, hőközvetítő közeg térfogatáramának meghatározása).

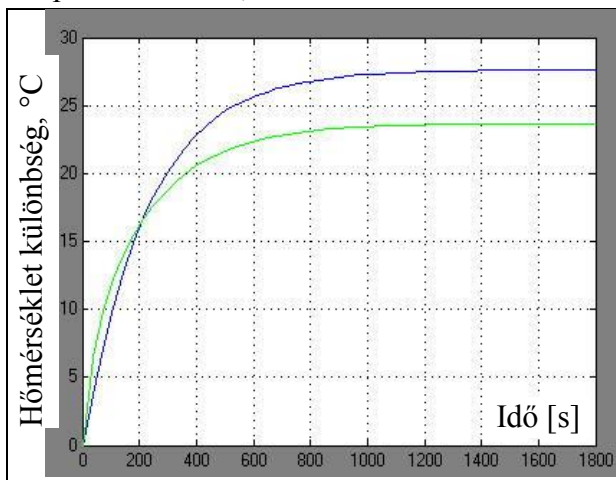
4.2. táblázat A befolyásoló tényezők (változó tényezők szürkével kiemelve)

Változó	Leírás
beépített csőhossz (l):	a hőátadás optimalizálása, elemek sorba kötési száma
cső átmérő (d_w):	átmérő optimalizálás, $d_w < h$, w ; $d_w < w$ szilárdságilag, $d_{wmax} \sim h/2$, $w/2$

munkaközeg térfogat áram (\dot{m}):	a közeg áramlási sebessége, szivattyú kiválasztás
cső térfogat (V_w):	hőátadásra van hatással
cső felület (A_w):	hőátadásra van hatással
munkaközeg fajhő (c_w):	eltérő munkaközégek vizsgálata
munkaközeg sűrűség (ρ_w):	eltérő munkaközégek vizsgálata

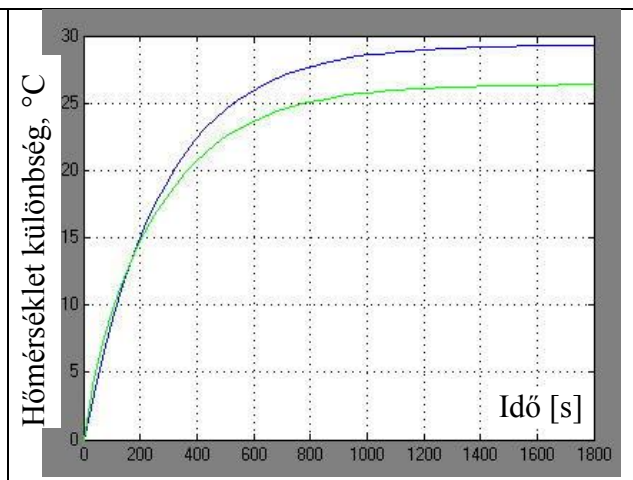
A hőcserélőként működő beépített csőhossz változtatására (4.9. ábra) az alábbi matematikai szimulációs program futási eredményeket kapjuk ($I=1000 \text{ W/m}^2$, $T_a=20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{in}=18 \text{ }^\circ\text{C}$).

beépített csőhossz, $l = 0.5\text{m}$,



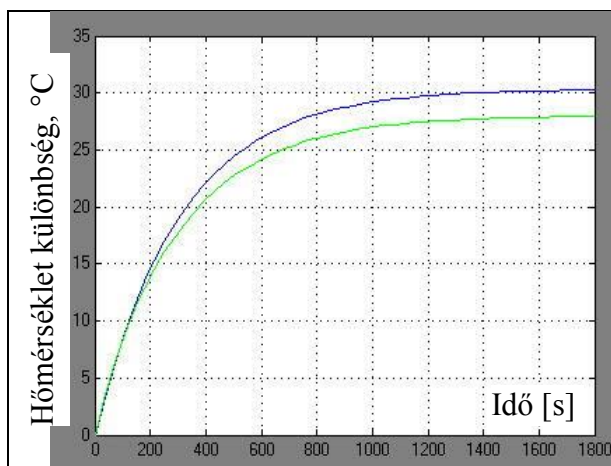
a)

$l = 1\text{m}$



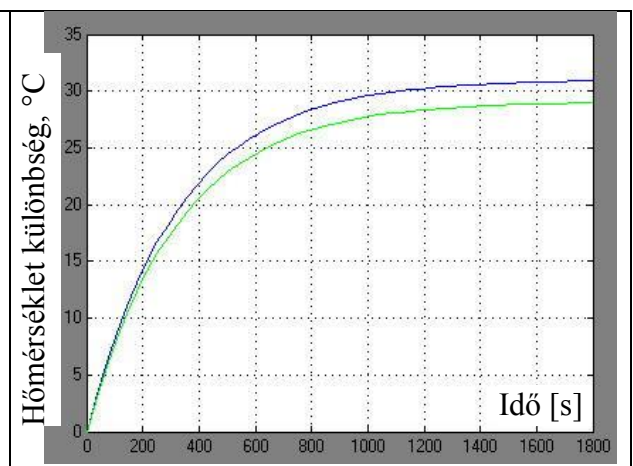
b)

$l = 1.5\text{m}$

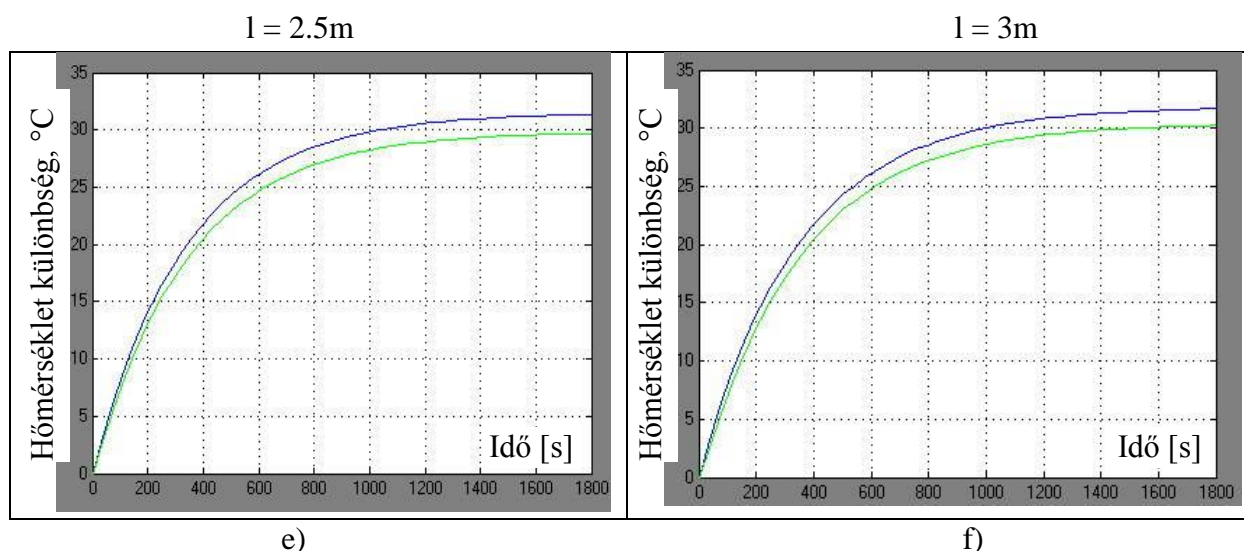


c)

$l = 2\text{m}$



d)



4.9. ábra Szimulációs eredmények változó beépített csőhosszak esetén

A diagramokon a hőátadási folyamat időbeli lefolyása látható, a vízszintes tengelyen a szimuláció ideje, a függőleges tengelyen a kialakuló hőmérséklet különbségek értékei figyelhetők meg. A szimuláció során az állandósult állapotok elérésének vizsgálata során, az adatok alapján elégségesnek bizonyult a ~ 1800 [s] időtartam, ezért látható a diagramok vízszintes tengelyén ez a legnagyobb érték.

4.2. Épületelem kollektor szerkezeti optimalása

A napsugárzási energia elnyelődés mérései

A tervezéshez és a legyártáshoz, vizsgáltam az épületszerkezeti elemként is funkcionáló kollektortestek sugárzás és hőelnyelő képességét. Méréseket végeztem különböző kialakítású felületekkel, a tényleges napsugárzási energia elnyelődésének megállapítására (4.10. ábra).

Az elnyelt sugárzási energia a sugárzást elnyelő anyagban az anyag más részére hővezetéssel kerül el, és egyik része a sugárzás útján a környezetbe kerül (E_{11}), illetve a másik része pedig konvekció útján "melegíti" a környezetet (E_{12}). A lesugárzás mértéke az emisszió, a környezet és a sugárzó anyag hőmérsékletkülönbségétől függ, és annál nagyobb, minél nagyobb a hőmérsékletkülönbség (Kendrick, 2009).

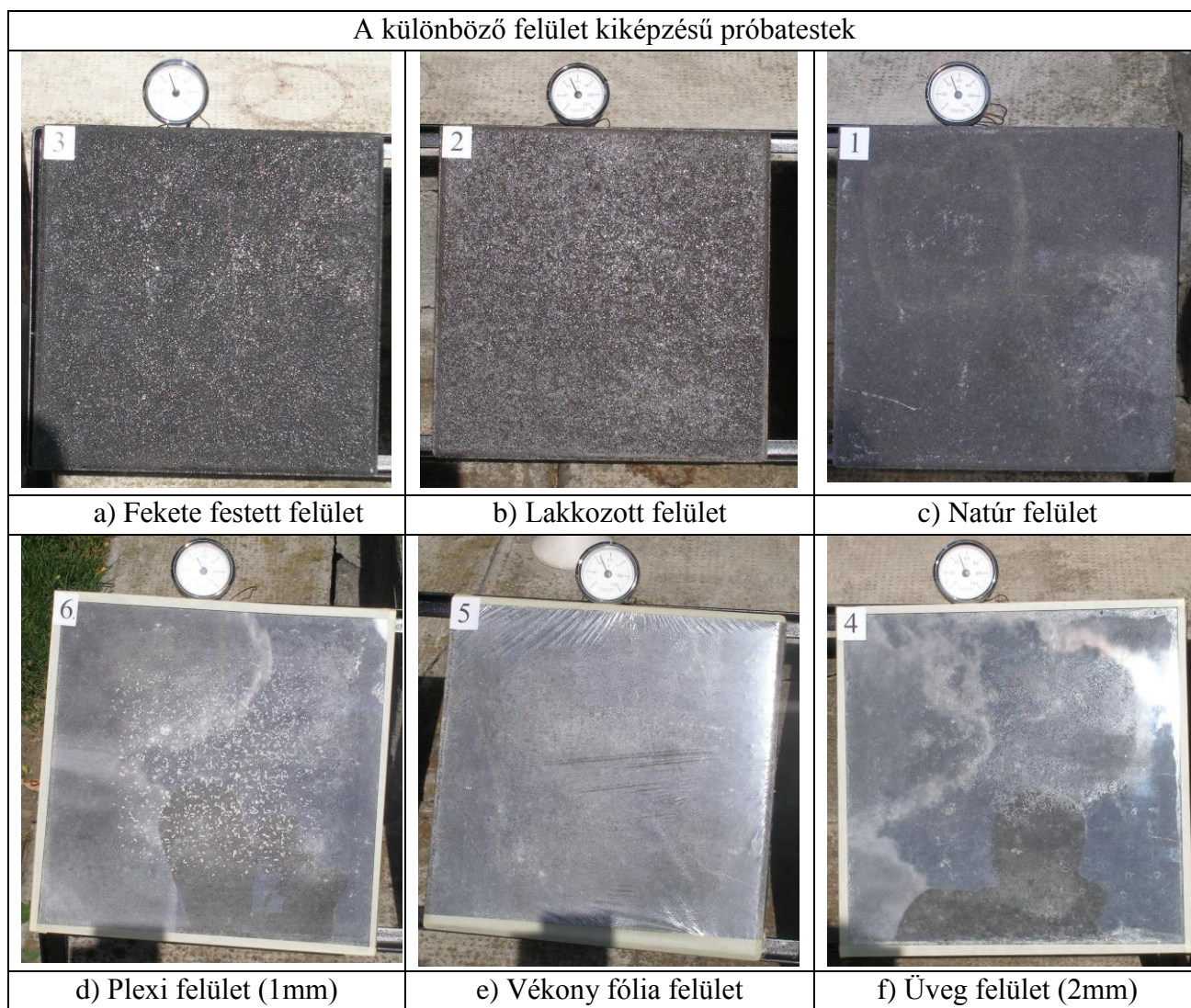
Amennyiben időegység alatt a felületegységre érkező I_g sugárzási energiából hővé alakult energia megegyezik a felületegységről eltávozó hőenergiával, akkor egyensúly áll be, és az elnyelő anyagban egy T_t állandósult hőmérséklet alakul ki:

$$I_g \alpha = E_{11} + E_{12} \cong f (T_t - T_a), \quad (4.11)$$

ahol, f - arányossági tényező. Az f arányossági tényező függ az elnyelő felület anyagától, kialakításától, minőségétől, a környező tárgyak távolságától, hőmérsékletétől, valamint a légáramlástól.

Így pl. $I_g = 600 \text{ W/m}^2$ -es bejövő sugárzásnál, $T_a = 20 \text{ °C}$ környezeti hőmérsékleten a durva, szürke színű beton felület (4.11. ábra) várható hőmérséklete (1 m/s szélesség esetén: $f = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_{conc} = 0,60$):

$$T_t \cong \frac{I_g \alpha_{conc}}{f} + T_a = \frac{600 \cdot 0,6}{20} + 20 = 38 \text{ °C}.$$



4.10. ábra Különböző felület kialakítású próbatetek

Ha a napsugárzást elnyelő abszorber felületet egy átlátszó réteggel lefedjük, a hőveszteség lecsökken, és a test hőmérséklete azonos I_g bejövő sugárzásnál megnövekszik. A fedés ugyanakkor a test konvekciós veszteségét is csökkenti. Az üveg viszonylag jól átengedi a nap sugárzását. Egy 2–3 mm vastag ablaküveg transzparenciája ($a=0,8$), kétrétegű üvegé pedig kb. 0,75, ami azt jelenti, hogy a napsugárzásnak ekkora részét engedi át. Az üvegrétegek hatását a veszteségi tényezővel közelíthetjük, melyet jelöljünk β -val, és egyrétegű üvegnél $5 \text{ W/m}^2\text{K}$, a kétrétegű üvegnél $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, ami azt fejezi ki, hogy az üveg két oldalán lévő hőmérsékletkülönbség hatására felületegységenként mennyi energia áramlik (vész el) időegység alatt. Így az E_l veszteség kifejezhető, mint:

$$E_l = \beta (T_t - T_a). \quad (4.12)$$

Így a betonból készült elnyelő felület hőmérséklete, ha egyrétegű üveg mögött van és környezetétől ideálisan el van szigetelve, akkor $E_g = 600 \text{ W/m}^2$ -es bejövő sugárzásnál $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ környezeti hőmérsékleten ($\alpha_{\text{conc}} = 0,6$, $\beta = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $a_{\text{gl}} = 0,8$):

$$T_t = \frac{I_g a_{\text{gl}} \alpha_{\text{conc}}}{\beta} + T_a = \frac{600 \cdot 0,8 \cdot 0,6}{5} + 20 \cong 77,6^\circ\text{C}$$

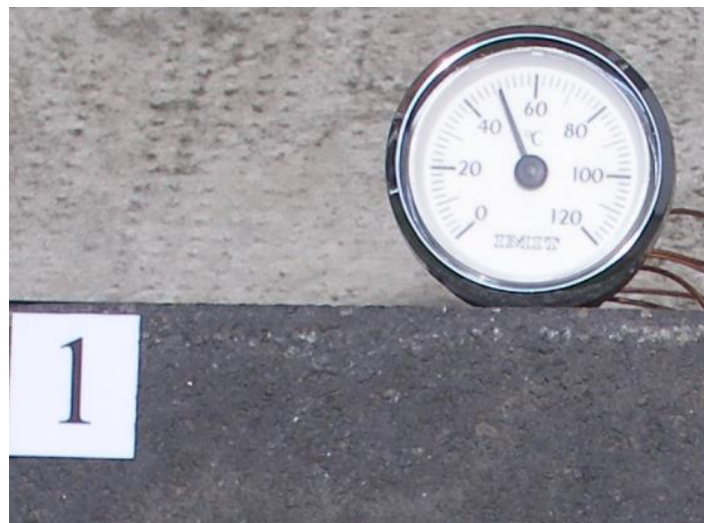
Ha az elnyelő felületről felületegységenként E_c teljesítményt elvezetünk, hasznosítunk, akkor az egyensúlyi egyenlet a következőképpen alakul:

$$I_g a_{gl} \alpha_{conc} = E_c + E_l = E_c + \beta (T_t - T_a). \quad (4.13)$$

Ha az E_c hasznosított teljesítmény 200 W/m^2 , akkor egyrétegű üvegezés mögött az elnyelő felület hőmérséklete 200 W/m^2 -es hőteljesítmény elvezetése esetén:

$$T_t = \frac{I_g a_{gl} \alpha_{co} - E_c}{\beta} + T_a = \frac{600 \cdot 0.8 \cdot 0.6 - 200}{5} + 20 \cong 37.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A keletkezett energia áramló folyadék vagy gáz (levegő) közeg segítségével vezethető el, hasznosítható.

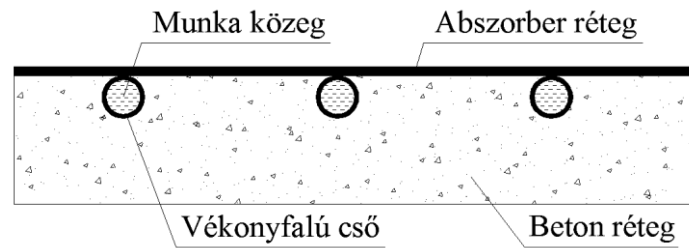


4.11. ábra Natúr beton felület hőmérséklete

A kísérlet során a mért adatokból számoltam a felmelegedés, lehűlés dinamikáját, ill. mértem a hőmérsékletek szélső értékeit is. Az eredmények alapján a fedetlen felületek dinamikusabban viselkedtek, míg a fedett felületek lassabb felmelegedést illetve lehűlést mutattak.

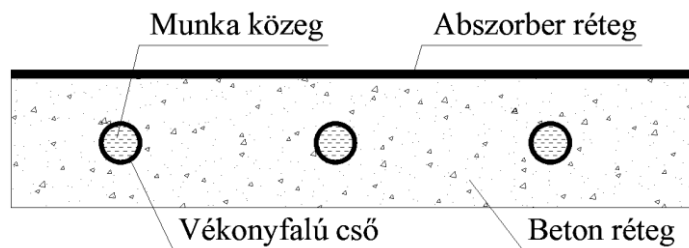
4.3. Cserépelem kollektor hőtani vizsgálata

A betonfelületekkel végzett napsugárzás elnyelődési kísérletek után, olyan épületelemet választottam a további vizsgálatokhoz, ami a valós építészeti körülmények között is ténylegesen megtalálható. A napkollektorok elhelyezése legtöbbször tetőfelületre történik és mivel a fő célom, ezek esztétikai okokból történő kiváltása, ezért használtam a továbbiakban a betoncserép formát. Az elemeket az útmutatásom szerint, a helyi betonelem gyárban legyártották. A legyártott mennyiség nagysága, egy átlagos napkollektornak megfelelő nagyságú felület, így tudtam összehasonlító vizsgálatokat végezni. A betoncserép formája, méretei korlátokat adtak a hőcserélő rész kialakításában, elhelyezésében. Az optimális csőtávolságtól el kellett térni az eredeti betoncserép formai sajátosságai miatt. Az első gyártásnál a hőcserélő részt, a jobb hőátadási folyamatok miatt, közel terveztem az abszorber réteghez. Ez a kialakítás azonban szilárdsági okok miatt nem lett megfelelő (4.12. ábra).



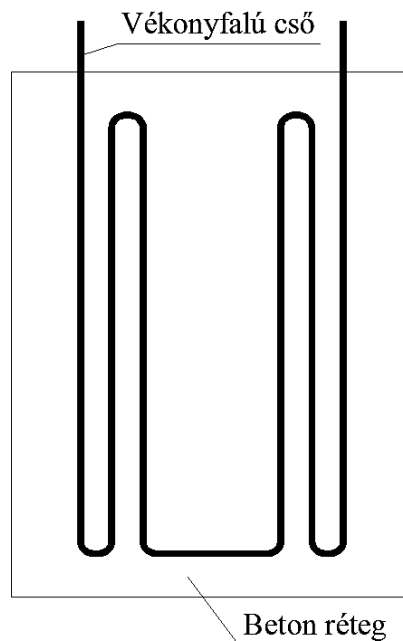
4.12. ábra A beton elem réteg kialakítása

Az átalakított, szilárdságilag megfelelő elemek festett felülettel készültek el, a rétegtervi kialakításuk a 4.13. ábrán látható.



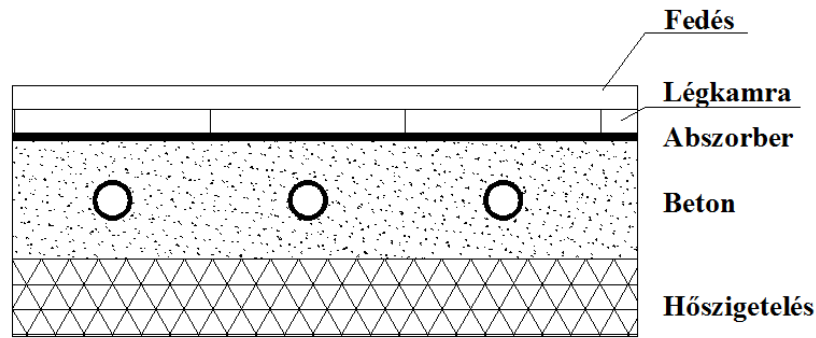
4.13. ábra A beton elem réteg kialakítása

A cserépelemben elhelyezett hőcserélő csőszakasz, felületre vonatkozó elhelyezése a 4.14. ábrán látható.



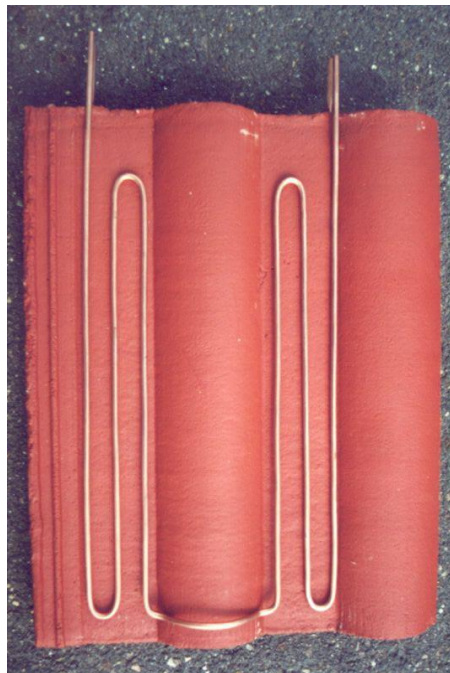
4.14. ábra A beton elemben elhelyezett cső formai kialakítása

A cserépelem további kialakítása során módosításokat végeztem a hőtechnikailag kedvezőbb tulajdonságok elérése érdekében. Az elem kedvezőtlen hűlésének meggátolása érdekében hátoldali hőszigetelés szükséges. A napsugárzás beesési iránya felől pedig szintén a hűlési veszteségek csökkentése miatt további rétegek elhelyezése szükséges. Az így kialakított cserépelem rétegszerkezete látható a 4.15. ábrán.



4.15. ábra A továbbfejlesztett modell felépítése

A ténylegesen legyártott cserépelemet mutatja a 4.16. ábra, szemléltetésképpen az anyagában elhelyezett hőcserélőt a felületen helyeztem el.

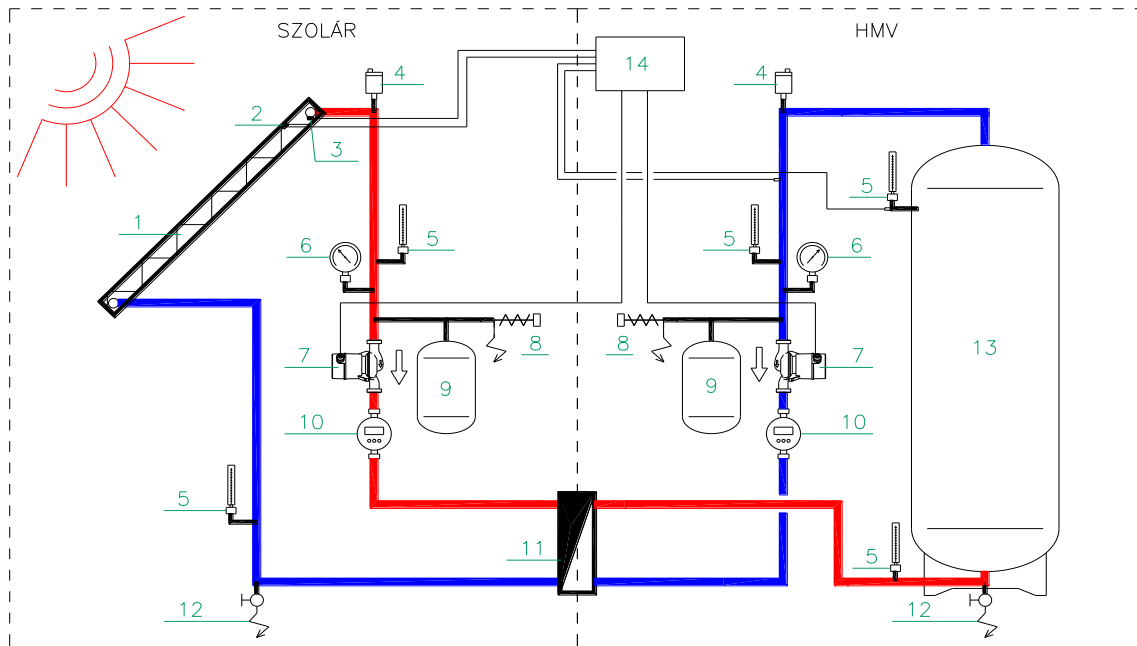


4.16. ábra A legyártott cserépelem

A mérőrendszer kialakítása

Komplett rendszer terveztem és építettünk a vizsgálatok elvégzéséhez. Kialakított rendszer alkalmas összehasonlító mérések elvégzésére, szükség szerint bővíthető, továbbfejleszhető.

Két körös (Szolár és HMV) kiépítés biztosítja a megfelelő szétválasztást és a jobb szabályozhatóságot. A két kör közötti kapcsolatot külső hőcserélő biztosítja. A keringetés kétfokozatú szivattyúk segítségével történik. Az összekötéseket rézcsövek segítségével valósítottuk meg. A rendszer hőtechnikai összehangolását a speciálisan napkollektorokhoz ajánlott szabályzóegység biztosítja. A szabályzó 10 db. érzékelő bemenettel és 5db. vezérelt kimenettel rendelkezik, üzemállapot, üzemzavar és programmód kijelzéssel. A befogott hőenergia tárolását 300 literes puffertároló végzi, mely biztosítja a további felhasználási lehetőségeket is. A biztonságos üzemvitelt a szokásosan beépített műszerek és biztonsági szerelvények segítik. A rendszer kapcsolási vázlata a 4.17. ábrán látható, a 4.18. ábra a tényleges kialakítást mutatja.

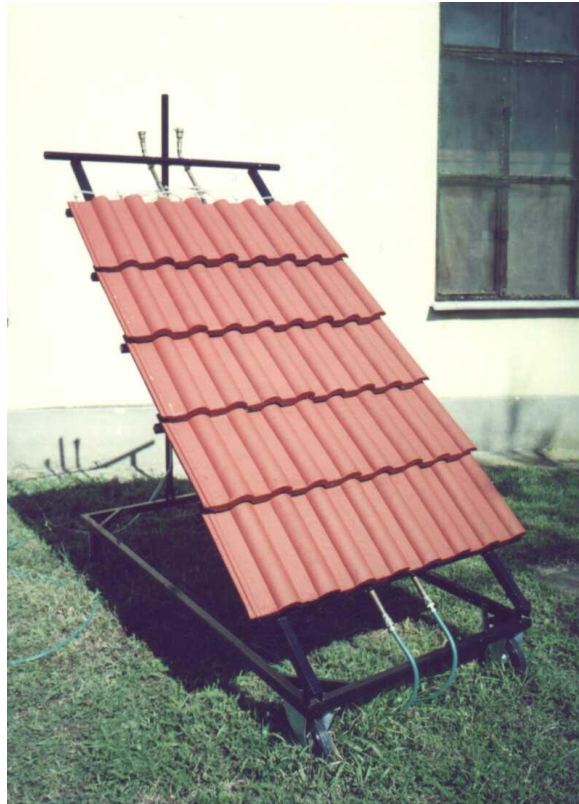


4.17. ábra A rendszer felépítésének vázlata



4.18. ábra A rendszer tényleges felépítése

A besugárzás szöge évszakonként és napszakonként változó, ezért a kollektor optimális energia felvétele szempontjából fontos, hogy az a napsugárzás irányába álljon. A megvalósított berendezésnél a kollektort tartó állvány hajlásszöge (30° - 45°) és oldalszöge (0° - 360°) között állítható. A 4.19. ábrán látható a tartószerkezet a vizsgálendő cserépfelülettel.



4.19. ábra Az állványzatra helyezett cserépkollektor felület (~2m²)

Az elemek hőcserélő részét a vizsgálatokhoz szükséges összekötni. A kialakítás során egy előremenő és visszatérő gerincvezetékre kötöttük az elemeket. A 4.19. ábrán az a kötési kialakítás látszik, mikor minden cserépelem hőcserélő csőszakasza párhuzamos kötési módban csatlakozik a gerincvezetékre. A 4.20a ábrán a teljes felület kötési kialakítása, a 4.20b részen pedig a közelebbi kötés kialakítások láthatók.



a)



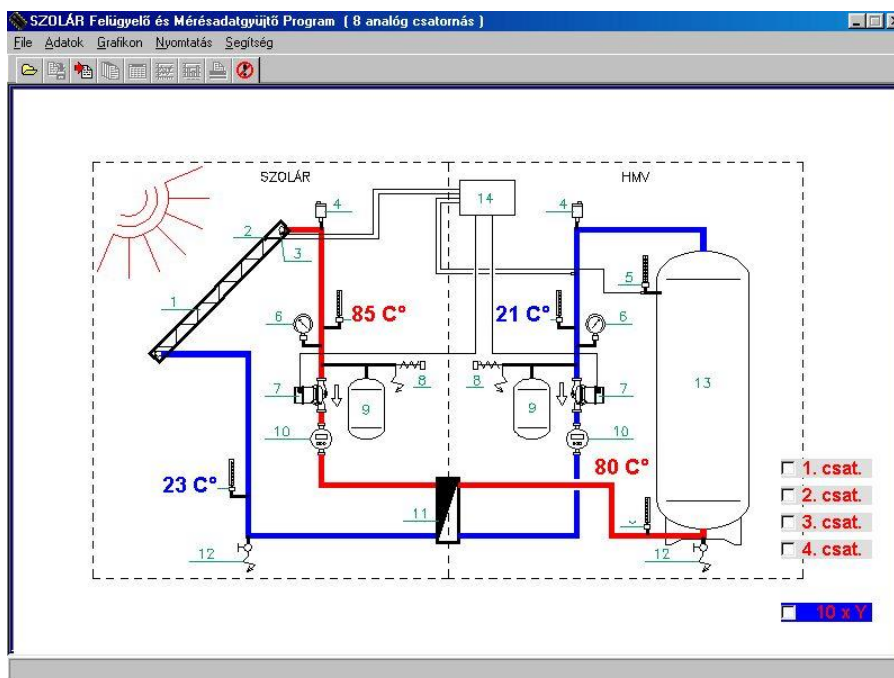
b)

4.20. ábra A cserépkollektor hátoldali felülete

Mérési adatok rögzítése, tárolása

A mérések során keletkezett nagy mennyiségű adat rögzítését, kiértékelését számítógéppel segített módszerekkel végeztem, így az adatok alkalmasak lesznek későbbi elemzések készítéséhez is.

Elkészült egy mérés adatgyűjtő és kiértékelő szoftver mely segíti a további munka végzését. A napkollektor önmagában nem garantálja a napenergiával működő berendezés optimális működését, lényegesen több múlik a teljes rendszer megoldáson, az új számítógépes program segítségével megoldható az ellenőrzés és a szabályozás is (4.21. ábra).



4.21. ábra Az adatgyűjtő szoftver képernyőképe.

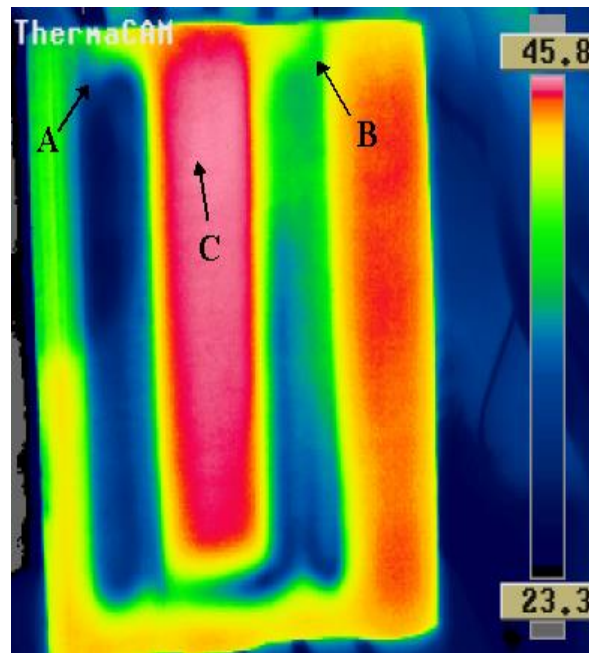
A számított és mért értékek egyezősége

Szimulációs modell az a modelltípus, amely a vizsgált jelenséghez hasonló viselkedés mutatósára képes, vagyis amikor a modell viselkedési elemei és a valóságos rendszer viselkedési elemei között egyértelmű kapcsolat teremthető. A szimulációs modell tehát nevének megfelelően szimulálja a rendszert.

Az így elkészített modellt tesztelnünk kell. Ha a modell úgy viselkedik, ahogyan a modellezni kívánt rendszer vagy objektum, (tehát predikciói egybevágnak a közvetlen tapasztalatokkal) akkor azt mondhatjuk, hogy a modell jó, céljának megfelelő keretek között használható, ha eltér attól akkor a modellt tovább kell fejleszteni vagy el kell vetni. A modellnek a valós tapasztalatokkal való összevetését a modell tesztelésének, validálásának esetleg verifikálásának nevezzük.

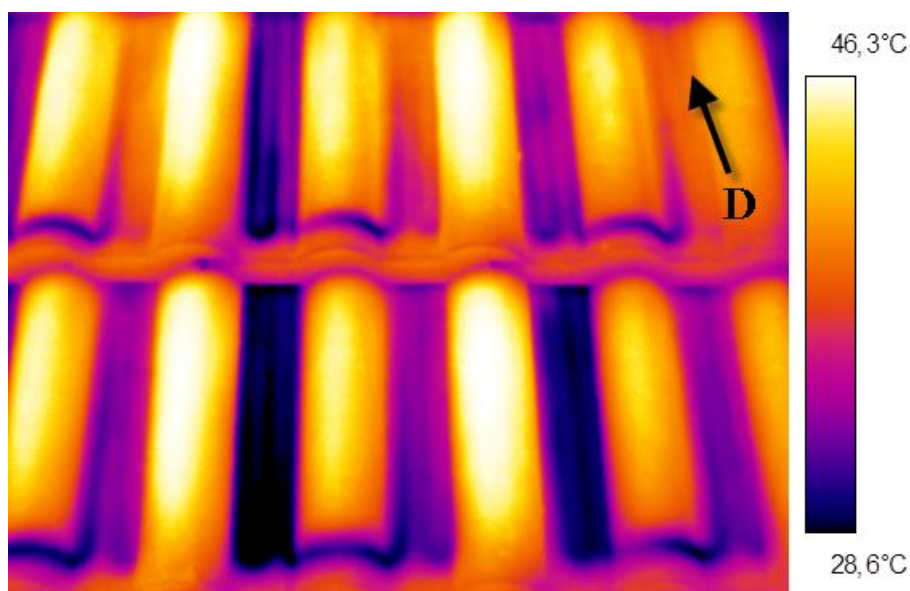
A modellezett, számított hőmérsékletek igazolására infra kamerás felvételeket alkalmaztam. A felületi hőmérséklet eloszlás, egy jellegzetes felvétele látható a 4.22. ábrán. A hőközvetítő közeg az ábrán „A”-val jelölt helyen lép be és a „B”-vel jelölt helyen lép ki. A felvételen a „C”-vel jelölt területen a szerkezeti kialakítás miatt nincs hő elvitel, így a felület hőmérséklete eléri a 45 °C körüli értéket is.

A felvételeken lévő hőmérséklet jelző színes skála mutatja az aktuális értékeket. Az egyszerű vizuális értékelés mellett, a felvételek kiértékelhetők adatfeldolgozó programmal is. Ekkor az infra kamerás felvételek pontossága (szoftveresen) ± 0.1 °C pontossági tartományban helyezkedik el.



4.22. ábra A cserép elem hőmérséklet eloszlása

A 4.23. ábrán látható felvétel a cserép kollektor felület hőmérséklet eloszlását mutatja egy átlagos nyári napon. Az ábra felső részén lévő cserép sorban áramló folyadék felmelegedése során közel eléri a felszíni hőmérsékletet. A „D”-vel jelölt területen a közel azonos szín mutatja ezt az állandósult állapotra jellemző hőmérséklet eloszlást. A felvételek adatai jól közelítik, igazolják a modellezéssel kapott adatokat. A hőmérséklet eloszlás egyenetlensége mutatja a gyártási okok miatti egyenetlen hőelvitelt is.



4.23. ábra A kollektorfelület hőmérséklet eloszlása

4.4. Kollektor hatásfok görbe meghatározási módszer

Összefüggés keresések a napkollektor felületére érkező globális sugárzás megváltozása és a kollektor termikus hatásfoka között. A jelenséget leíró vizsgálati paraméter a hatásfok (η), mely a kollektor termikus hatásfok változását írja le.

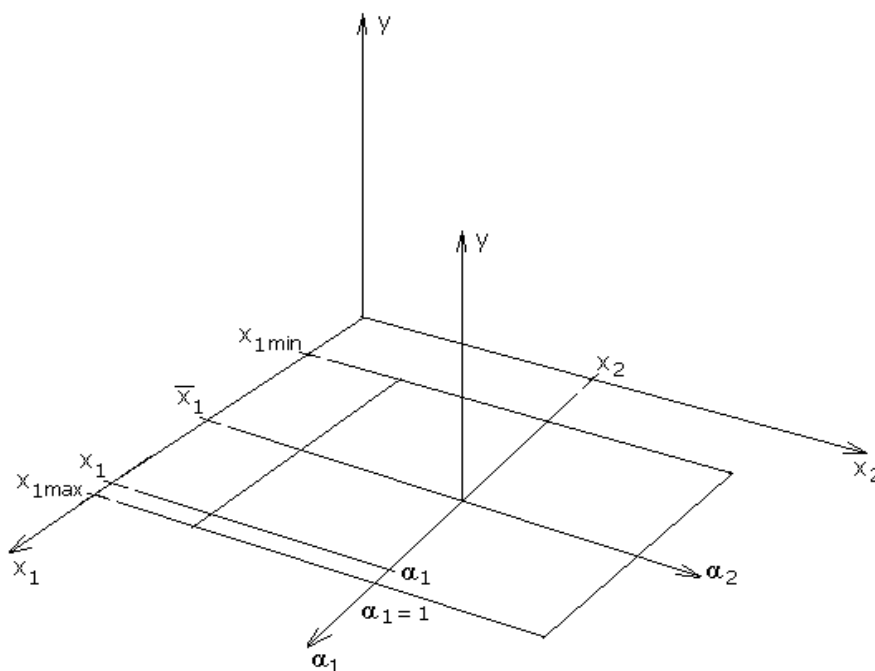
A vizsgálati paraméterre ható faktorok: a napsugárzás intenzitása (I_g), a kollektor körüli levegő hőmérséklete (T_a), a kollektorban áramló hőelvezető folyadék közepes hőfoka (T_m), a kollektorba belépő folyadék hőmérséklete (T_{in}), a kollektorból kilépő folyadék hőmérséklete (T_{out}), és a kollektor közepes hőfok és környezeti hőmérséklet különbsége ($T_m - T_a$). A felsorolt faktorok mértékegységgel rendelkező tényezők, míg maga a hatásfok mértékegység nélküli mennyiség. A kollektorban lévő folyadék melegedését mértem a napsugárzás intenzitásának és a kollektorban áramló folyadék térfogatáramának a függvényében. Ennek a kísérleti tervnek a kapcsán a fentiekben felsorolt vizsgálati paraméterek közül a sugárzás és a hőfokváltozás hatását fogom kísérlettel meghatározni a hatásfokra. A számítás általánosítása miatt a sugárzást „G”-vel, a hőmérséklet különbséget pedig „ ΔT ”-vel jelölöm:

$$\eta = f(G, \Delta T). \quad (4.14)$$

A kísérletek során alkalmazott mérési módszerek: a kísérleteket a korábban leírt berendezés segítségével kívánom elvégezni. A mérő vizsgálat elvégzéséhez szükséges eszközök: piranométer, hőmérő, vízóra, adatgyűjtő. A megmért adataim kiértékelésére a faktoriális kísérletet alkalmazom. Mellyel céljaim a fent felsorolt faktoroknak a napkollektor hatásfok megváltozására gyakorolt hatásának vizsgálata, valamint az elhanyagolható faktorok elhagyása, (η), mint vizsgált jelenség szélsőértékét meghatározó faktorértékek megállapítása, adott értelmezési tartományban a hatásfok megváltozása és a vizsgált faktorok ($G, \Delta T$) függvénykapcsolatának meghatározása.

Faktortér vizsgálat

A faktorok (G és ΔT) értelmezési tartományán belül fel kell venni egy vizsgálati tartományt ($\Delta T_{imin} - \Delta T_{imax}$), ($G_{imin} - G_{imax}$). Ez azért szükséges, mert a vizsgálati eredmények ezen a tartományon belül lesznek érvényesek. A faktortér határoló pontjaiban jelölöm ki a kísérleti beállításokat. Mivel esetemben kétfaktoros kísérletről van szó, ezért a négyszög csúcaiban, az ábrán példaként a szakirodalmi jelöléseket használom (4.24. ábra).



4.24. ábra A faktortér középpontjába helyezett koordináta rendszer

A kísérleti beállítások megvalósíthatóságának ellenőrzése:

α_1	+		-	
α_2	+	-	+	-
Kís.beáll.	1	2	3	4
Jel	a_0	$a_1\alpha_1$	$a_2\alpha_2$	$a_{12}\alpha_1\alpha_2$
η_1				
η_2				
η_3				
η_4				
η_5				

4.25. ábra A megvalósíthatósági táblázat

Az utolsó öt sorban (4.25. ábra) a mérési eredmények fognak szerepelni, mivel ötszörös ismétléssel lesznek a mérések végrehajtva.

A kísérleti eredmények kiértékelésének megtervezése

Azért, hogy a későbbi vizsgálatok egyszerűsödjenek a faktortérre vonatkozó koordináta transzformációt hajtók végre mindkét faktoron. Ami úgy kezdődik, hogy egy alapszintet kell meghatároznom a faktorokra:

$$\bar{G} = \frac{G_{\min} + G_{\max}}{2} ; \quad \overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_{\min} + \Delta T_{\max}}{2} . \quad (4.15)$$

A transzformált faktor neve α_i , vizsgálati tartománya -1 és 1 közé kell essen.

A G , ΔT faktorok és az α_i (transzformált faktor) kapcsolata az ábra alapján:

$$\frac{G - \bar{G}}{G_{\max} - \bar{G}} = \alpha_1 ; \quad \frac{\Delta T - \overline{\Delta T}}{\Delta T_{\max} - \overline{\Delta T}} = \alpha_2 . \quad (4.16)$$

Mindkét faktorra elvégezve a transzformációt a η vizsgálati paraméter így alakul:

$$\eta = f(\alpha_1, \alpha_2) . \quad (4.17)$$

Tehát itt a transzformált faktorok -1 és 1 között változnak és a kísérleti beállításokat is ezeken a helyeken hozom létre $(-)$, $(+)$.

A modell helyességének vizsgálata

A faktortér középpontjába is kell végezni egy méréssorozatot. Ennek eredményei a következők lesznek:

n	1	2	3	4	5
η_{0n}					

Ebből megkapom:

$$\bar{\eta}_0 \quad s_0^2 \text{ értékeit.}$$

A közelítő matematikai modell felállítása:

$$= \eta_0 - k a b_1 k + b_2 N + b_{12} k N.$$

A mérések során megkapott mérési eredményekre a Legendre – elv alapján kell egy függvényt illeszteni. A jelenséget a faktorokban lineáris modellel próbálom meg közelíteni:

$$\eta = b_0 + b_1 G + b_2 \Delta T + b_{12} G \Delta T. \quad (4.18)$$

A transzformált koordinátarendszerbeli formája:

$$\eta = a_0 + a_1 \alpha_1 + a_2 \alpha_2 + a_{12} \alpha_1 \alpha_2. \quad (4.19)$$

Táblázat készítés:

Az utolsó oszlopba a fenti táblázatban megadásra kerülő mért értékekből számítható átlagértékek, azaz az egyes kísérleti beállításhoz tartozó várható értékek kerülnek:

Együtthatók Sorszám	a_0	a_1	a_2	a_{12}	Mérési eredmény
	-	α_1	α_2	$\alpha_1 \alpha_2$	η
1	+	+	+	+	η
2	+	+	-	-	η
3	+	-	+	-	η
4	+	-	-	+	η
a_i	\bar{a}_0	\bar{a}_1	\bar{a}_2	\bar{a}_{12}	

Az a_i számítási képlete:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^N \alpha_j \eta}{N}, \quad (4.20)$$

ahol, $N = 2^2 = 4$,

$$a_0 = 1/N[+\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4],$$

$$a_1 = 1/N[+\eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - \eta_4],$$

$$a_2 = 1/N[+\eta_1 - \eta_2 + \eta_3 - \eta_4],$$

$$a_{12} = 1/N[+\eta_1 - \eta_2 - \eta_3 + \eta_4].$$

Ezek alapján az eredeti közelítő függvényt úgy kapom meg, hogy a transzformált függvény α_i faktorai helyére rendre a transzformációs összefüggéseket helyettesítem.

A közelítő függvény hibahatára:

Meghatározom a minden egyes kísérleti beállításhoz tartozó szórásnégyzeteket:

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\eta_{ji} - \bar{\eta}_j)^2, \quad (4.21)$$

ahol, n a mérési ismétlések száma ($n = 5$).

A közelítő függvény szórásnégyzete:

$$s_\varepsilon^2 = \frac{\sum_{j=1}^N s_j^2}{N}. \quad (4.22)$$

A hibahatár nagysága a Student próba felhasználásával 5% szignifikanciaszint mellett 95% - os valószínűséggel:

$$\Delta\varepsilon = t \cdot s_\varepsilon, \quad (4.23)$$

ahol, t az F_1 táblázat alapján 2,015 ($f = 5$ szabadsági fokhoz tartozóan).

A szórásnégyzetek megegyezésének vizsgálata

A Fisher próba alapján a különböző kísérleti beállításokhoz tartozó szórásnégyzetek azonos elméleti szórásnégyzethez tartoznak ha:

$$F_{kis} = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} \leq F_{\text{tábl}}, \quad (4.24)$$

ahol, $F_{\text{tábl}}$ értéke 5,1.

Ha F_{kis} értéke kisebb a táblázati értéknél, akkor a Fisher próba alapján a különböző kísérleti beállításokhoz tartozó szórásnégyzetek azonos elméleti szórásnégyzethez tartoznak. Ha a Fisher próba szerint nincs egyezés, akkor Bartlett próbát kell alkalmazni. Melynek menete a következő:

$$c = 0,4343 \left[1 + \frac{1}{3(N-1)} \left(\sum_{j=1}^N \frac{1}{f_j} - \frac{1}{f_0} \right) \right], \quad (4.25)$$

ahol, $f_0 = \sum f_j$

$$B = \frac{1}{c} \left[f_0 \lg s_\varepsilon^2 - \sum_{j=1}^N f_j \lg s_j^2 \right]. \quad (4.26)$$

Az F_4 táblázat alapján $f = N - 1 = 5 - 1 = 4$ szabadsági fokhoz: $\chi^2 = 9,488$.

Ha $B < \chi^2$, akkor a vizsgált tapasztalati szórásnégyzet azonos elméleti szórásnégyzethez tartozik.

Az együtthatók szignifikancia vizsgálatát az alábbi képlettel végzem el:

$$\Delta a_j = \frac{t \cdot s_\varepsilon}{\sqrt{N}}. \quad (4.27)$$

Ha például az $a_{12} < \Delta a_{12} = \Delta a_j$, összefüggés alapján az adott együttható nem különbözik szignifikánsan nullától, ezért elhagyható, ebben az esetben a közelítő függvényre felírható:

$$\eta = \left[\bar{a}_0 + \bar{a}_1 \alpha_1 + \bar{a}_2 \alpha_2 \right], \quad (4.28)$$

Ha ez teljesül, akkor az összefüggés a transzformált faktorok függvényében a jelenséget az adott vizsgálati tartományban $\Delta\varepsilon$ hibahatárral, 95 % - os valószínűséggel leírja.

A modell helyességének vizsgálata

Első lépésként, ha az egyszerűsítés sikerül akkor az előző pontbeli összefüggésbe, ha nem akkor az eredeti transzformált koordinátarendszerbeli formába kell behelyettesíteni a transzformációs összefüggéseket:

$$\eta = \bar{a}_0 + \bar{a}_1 \cdot \frac{\Delta T - \overline{\Delta T}}{\Delta T_{\max} - \overline{\Delta T}} + \bar{a}_2 \cdot \frac{G - \overline{G}}{G_{\max} - \overline{G}}. \quad (4.29)$$

Az egyenlet rendezése után az eredeti faktorok függvényében válik ismertté a jelenséget leíró összefüggés. Abban az esetben, ha bizonyos tagok együtthatója meglehetősen kicsire adódik, fennáll annak a lehetősége, hogy ezeket a tagokat elhagyjam bizonyos ellenőrzések elvégzése után. Ilyen esetben első lépésként azt kell ellenőriznem, hogy az egyszerűsített közelítő függvény is a hibahatáron belül írja le a jelenséget. Majd ehhez a függvényhez tartozó illeszkedési szórásnégyzetet kell meghatározni.

A különböző kísérleti beállításoknál a függvény az alábbi értékeket veszi fel rendre behelyettesítve a ΔT_{\min} , ΔT_{\max} , G_{\min} , G_{\max} értékeket.

A különböző függvényértékek számítása az egyes kísérleti beállításoknál:

$$\eta_{f1}(\Delta T_{\max}, G_{\max}) = (\Delta T_{\max} + G_{\max}),$$

$$\eta_{f2}(\Delta T_{\max}, G_{\min}) = (\Delta T_{\max} - G_{\max}),$$

$$\eta_{f3}(\Delta T_{\min}, G_{\max}) = (-\Delta T_{\max} + G_{\max}),$$

$$\eta_{f4}(\Delta T_{\min}, G_{\min}) = (-\Delta T_{\max} - G_{\max}).$$

Az illeszkedési szórásnégyzet meghatározása:

$$s_{ill}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (\eta_{fj} - \overline{\Delta \eta_j})^2}{N - (k + 1)}. \quad (4.30)$$

Ha az illeszkedési szórásnégyzet kisebbre adódik, mint a közelítő függvény szórásnégyzete (s_ε), akkor a függvény biztosan leírja a jelenséget az egyes kísérleti beállításokhoz tartozóan.

Második lépésben azt is ellenőrizni kell, hogy a közelítő függvényben négyzetes tagokat nem kellett volna figyelembe venni. Ezt úgy végzem el, hogy a közelítő függvény értékét meghatározom a faktortér középpontjában is:

$$\eta_{f0} = (\overline{\Delta T}_0, \overline{G}_0). \quad (4.31)$$

Ha az ebben a beállításban mért η_{f0} átlagos értéke belül van a hibahatáron ($\Delta\varepsilon$), akkor:

$$\eta_{f0} \pm \Delta\varepsilon. \quad (4.32)$$

így ilyenkor a négyzetes tagok jelenlétét feltételezni a közelítő függvényben nem indokolt.

A faktoriális kísérlet elvégzése utáni eredmények, a vizsgálat szempontjából elhanyagolható faktorok felkutatása, (η), mint vizsgált jelenség szélsőértékét meghatározó faktorértékek

megállapítása, adott értelmezési tartományban a hatásfok változása η és a vizsgált faktorok ($G, \Delta T$) között függvénykapcsolat felállítása.

Napkollektor hatásfok vizsgálata

A kísérlet célja: a Vitasol 100, AP-20 típusú, 2 m² felületű, Cu abszorber alapú napkollektor optikai hatásfokának megállapítása, 800 W/m² napsugárzás intenzitáshoz.

A kísérleti modell:

Gyártó	Focus Technology Co., Ltd
Modell	Vitasol 100, AP-20
Típus	Üvegezett síkkollektor
Sorozatgyártmány	Igen
Gyártás időpontja	2003. 07.
Teljes hosszúság	1,929 m
Teljes szélesség	1,496 m
Teljes magasság	0,133 m
Teljes terület	2,886 m ²
A nyílás területe	1,876 m ²
A hő felvevő területe	1,606 m ²
Súly üresen	63 kg
Folyadék térfogat	0,6 l

Vizsgálati módszer és eredmények:

Kollektor hatásfok:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta T}{E_g} - k_2 \frac{\Delta T^2}{E_g}, \quad (4.33)$$

$$\Delta T = T_m - T_a,$$

$$T_m = T_{in} + \frac{T_e - T_{in}}{2},$$

ahol, T_m [K], a folyadék közepes hőmérséklete,

T_a [K], külső léghőmérséklet,

T_{in} [K], a folyadék belépő hőmérséklete,

T_e [K], a folyadék kilépő hőmérséklete,

E_g [W/m²], a kollektorra merőlegesen érkező globális sugárzás,

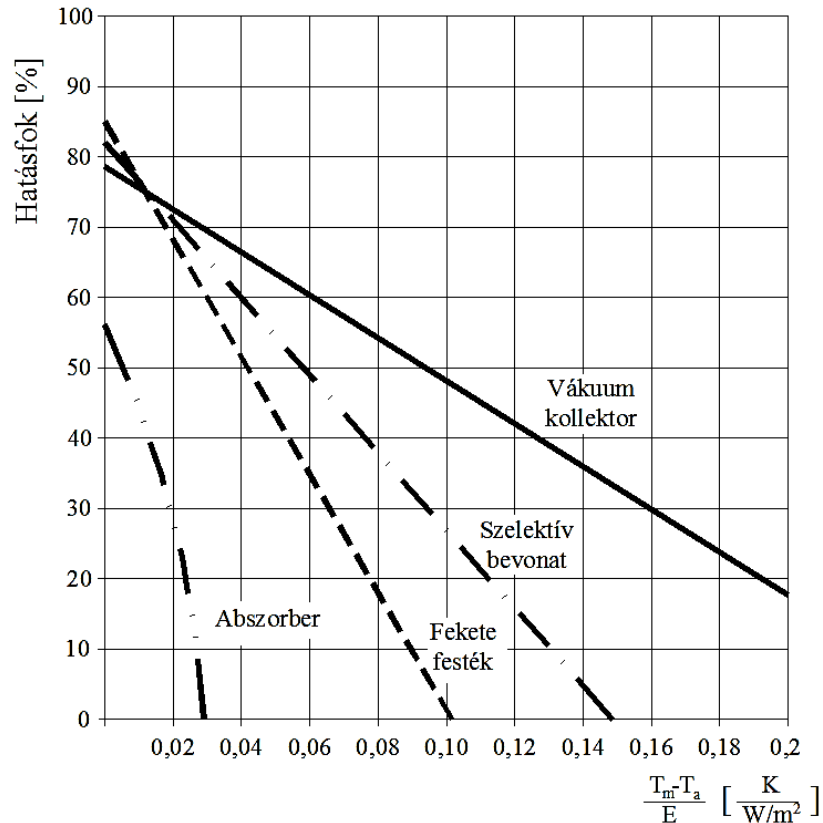
k_1 , hőveszteségi tényező (hővezetés)

k_2 , hőveszteségi tényező (hősugárzás),

η_0 , optikai hatásfok.

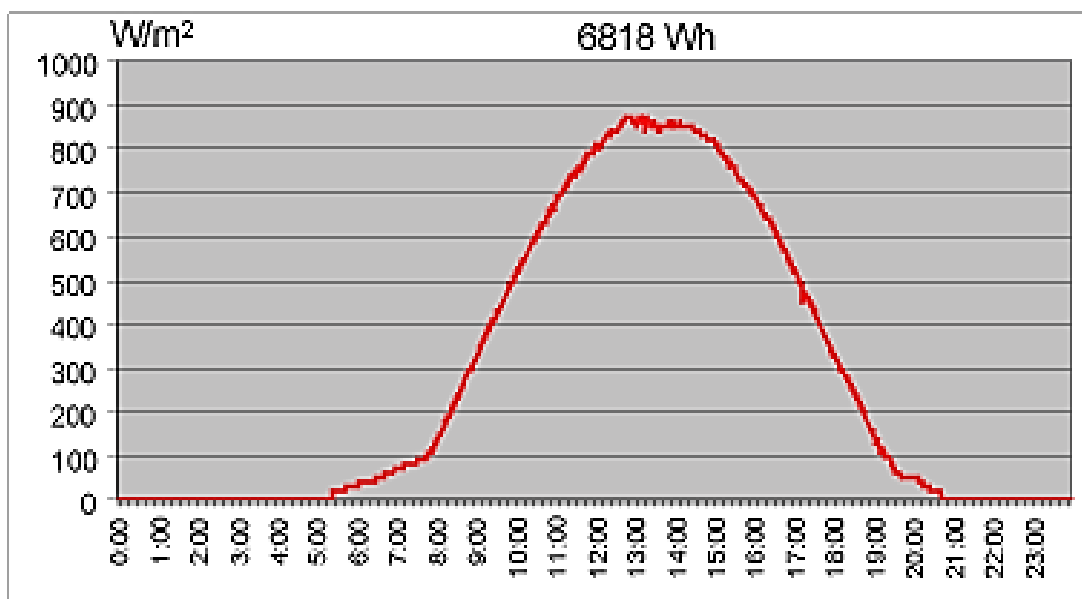
A kollektorokra érkező napsugárzás egy része a visszaverődés és az elnyelés miatt "elveszik". Az optikai hatásfok η_0 figyelembe veszi ezeket a veszteségeket. A kollektorok felmelegedése által ezek hővezetés, hősugárzás és konvekció által hőt adnak le környezetüknek. Ezeket a veszteségeket a k_1 és k_2 hőveszteségi tényező jelzi. Hőveszteségi tényező és optikai hatásfok alkotják a kollektor

hatásfokának jelleggörbét, amelyet a fenti egyenlet alapján lehet kiszámítani. Ha a kollektor és a környezet hőmérséklete közti különbség nullával egyenlő, akkor a kollektor nem ad le hőt a környezetnek, ekkor a hatásfok maximális értékű, ezt optikai hatásfoknak, η_0 nevezzük (4.26. ábra). Az optikai hatásfok összehasonlítási értékei és hőveszteségi tényezői gyári adatok alapján a következők: Vitosol 100 esetén $\eta_0 = 81\%$, $k_1 = 3,78 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k_2 = 0,013 \text{ W/m}^2\text{K}^2$.



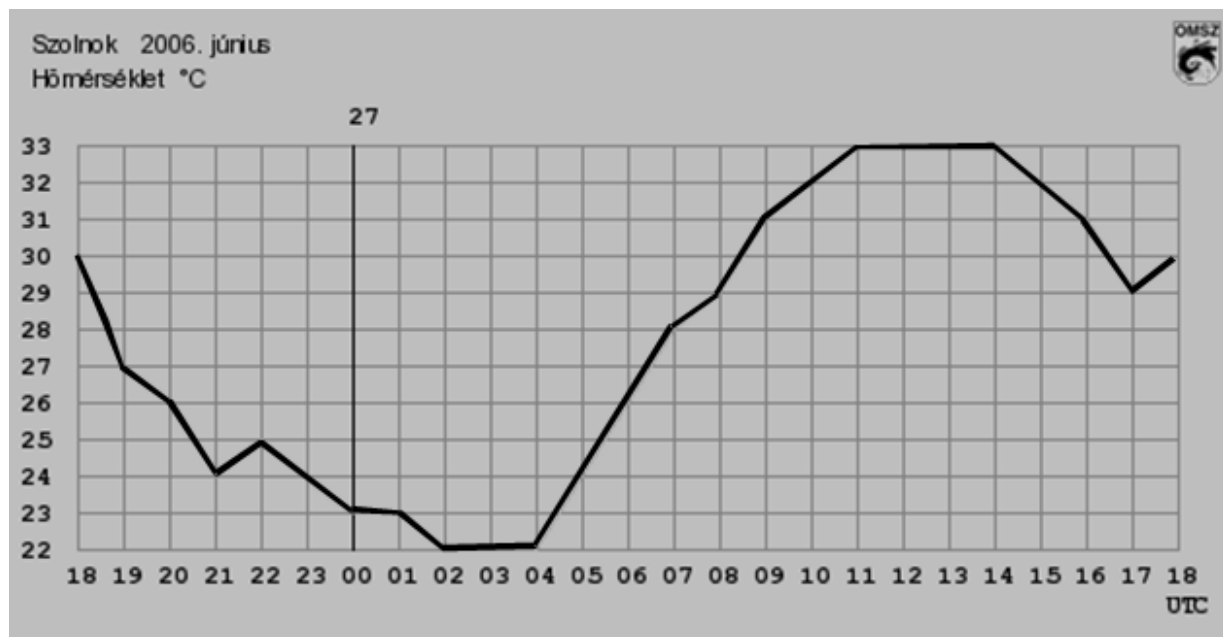
4.26. ábra Jellegzetes kollektor hatásfokgörbék

A méréseket állandósult állapotban kell elvégezni, ezért előzetes tájékozódó mérés kell, vizsgálom a napsugárzás intenzitás napi várható lefutását, dinamikáját, ez látható a 4.27. ábrán.



4.27. ábra A napsugárzás napi intenzitása

A levegő hőmérséklet napi várható lefutása, dinamikája, ez látható a 4.28. ábrán.



4.28. ábra A levegő hőmérséklet napi értékei

Vizsgálom továbbá:

- a belépő közeg hőmérséklet várható változását, dinamikáját,
- a kilépő közeg hőmérséklet várható változását, dinamikáját,
- a puffer tartály méret meghatározását,
- a tömegáram nagyságát.

Ezek függvényében számítható a besugárzásból eredő hőmennyiség, és kiszámítható a kollektor test által hasznosított hőmennyiség, így egy adott állandósultnak tekinthető időtartam alatt meghatározható a kollektor hatásfoka.

Az optikai hatásfok meghatározása méréssel és számítással

A vizsgálati paraméter (η) közvetlenül nem mérhető, számítási módja a mért paraméterekből extrapolálás segítségével határozom meg. A mért adatok a F.1. függelékben találhatóak, példakénti értékek a 4.3 táblázatban.

4.3. táblázat Kollektor hatásfok mért és számított értékei

G	\dot{m}	T_{in}	T_e	$T_e - T_{in}$	T_m	T_a	$T_m - T_a$	$(T_m - T_a)/G$
[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[K m ² /W]
804	141	20,2	27,5	7,3	23,85	24,0	-0,15	-0,00019
786	141	20,2	27,2	7,1	23,75	24,0	-0,25	-0,00032
752	141	20,2	27,0	6,8	23,60	24,0	-0,40	-0,00053
721	141	20,2	26,7	6,5	23,45	23,0	0,45	0,00062
841	141	44,9	51,3	6,4	48,10	23,0	25,10	0,02985
894	140	44,9	51,7	6,8	48,30	23,0	25,30	0,02830
817	141	44,9	51,1	6,2	48,00	23,0	25,00	0,03060
889	141	44,9	51,6	6,8	48,30	23,0	25,30	0,02846

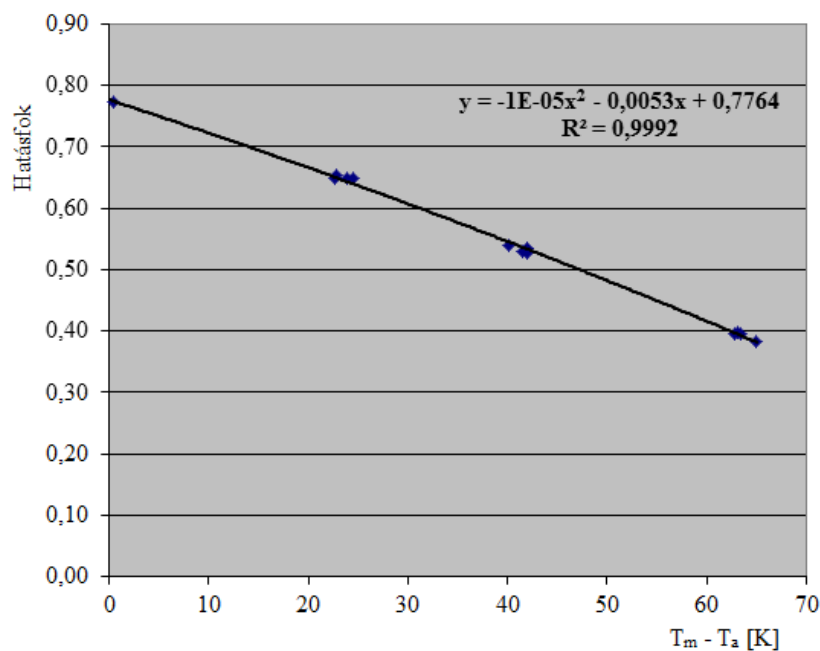
$Q_{\text{folyadék}}$	$Q_{\text{sugár}}$	η	$(T_m - T_a)/G_{800}$	fv. érték	eltérés a fv-től
[W]	[W]	[-]	[K m ² /W]		%
1196	1537,2	0,778	-0,1	0,777	-0,1
1166	1502,8	0,776	-0,3	0,778	0,3
1116	1437,8	0,776	-0,4	0,779	0,3
1066	1378,6	0,774	0,5	0,774	0,0
1045	1608,0	0,650	23,9	0,644	-0,9
1109	1709,3	0,649	22,6	0,652	0,4
1012	1562,1	0,648	24,5	0,641	-1,2
1110	1699,8	0,653	22,8	0,650	-0,4

Az 4.4. táblázatban foglaltam össze az a hatásfok görbe számításánál lévő változók meghatározását.

4.4. táblázat Az értékek számíthatósága

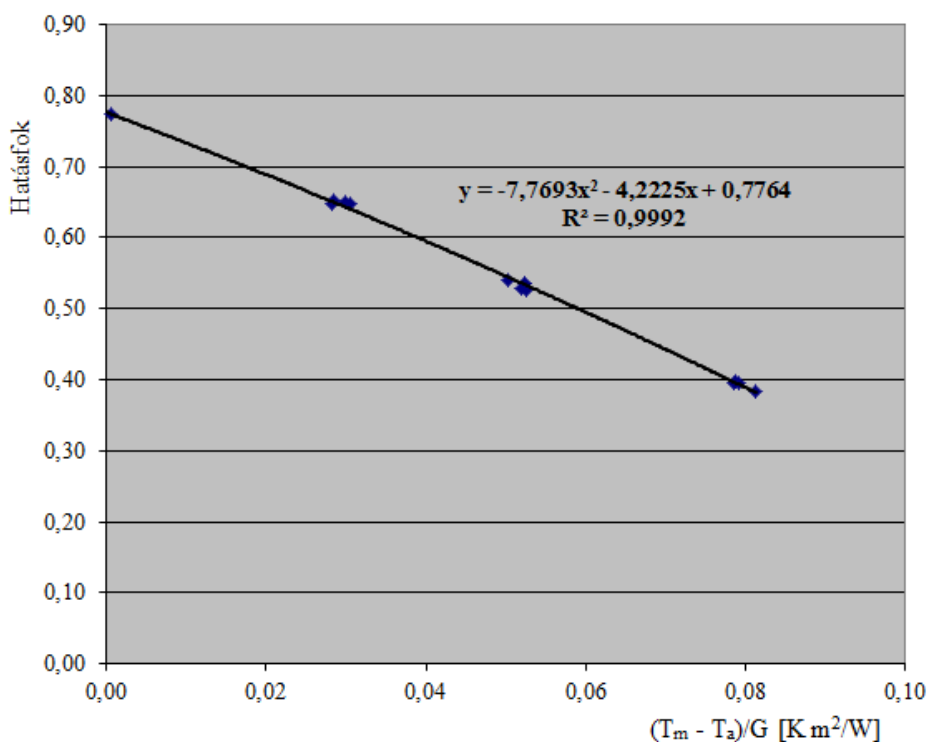
T_m [K]	- a folyadék közepes hőmérséklete	számítható
T_a [K]	- külső léghőmérséklet	mérés
T_{in} [K]	- a folyadék belépő hőmérséklete	mérés
T_e [K]	- a folyadék kilépő hőmérséklete	számítható (mérhető)
E_g [W/m ²]	- a kollektorra merőlegesen érkező globális sugárzás	mérés
k_1	- hőveszteségi tényező (hővezetés)	számítható
k_2	- hőveszteségi tényező (hősugárzás)	számítható
η_0	- optikai hatásfok	számítható

A 4.3. táblázatban lévő értékeket diagramban ábrázolva kapom (4.29. diagram) a kollektor hatásfok görbét valós, beépített körülmények között.



4.29. ábra Kollektor hatásfok görbe ($I_g = 800 \text{ W/m}^2$)

Az adatokból meghatározva a kollektor hatásfokkal kapcsolatos adatai 800 W/m^2 napsugárzási értékre, optikai hatásfok $\eta_0 = 0,776$, ez az érték a $T_m - T_a = 0$ értékvonalon található, a maximális hatásfok érték a görbén. A hatásfok görbe egyenlete a 4.29. ábrán felírva látható. Ebben a másodfokú egyenletben lévő kitevők alapján az elsőfokú hőveszteségre (hővezetés) jellemző érték $k_1 = 4,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, a másodfokú hőveszteségre (hősugárzás) jellemző érték $k_2 = 0,008 \text{ W/m}^2\text{K}^2$. A gyári adatokkal ($\eta_0 = 81\%$, $k_1 = 3,78 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k_2 = 0,013 \text{ W/m}^2\text{K}^2$) összevetve a megfelelő értékeket, azt lehet megállapítani, hogy a tényleges üzemi körülmények közötti értékek néhány százalékos eltérést mutatnak a rosszabb jellemzők irányába. Méréseim alapján 3,5%-kal rosszabb optikai hatásfok jött ki, és a hőveszteségi tényezők is nagyobb értékűek. Mivel a labor körülmények szigorú előírás szerinti és mesterségesen optimálisak a körülmények, teljesen elfogadhatóak a mérési eredményeim. A valós körülményű beépítésnél számítani lehet a kissé rosszabb értékekre. A mért adatok alapján a kollektor hatásfok görbéje másképpen kiszámítva a 4.30. ábrán látható.

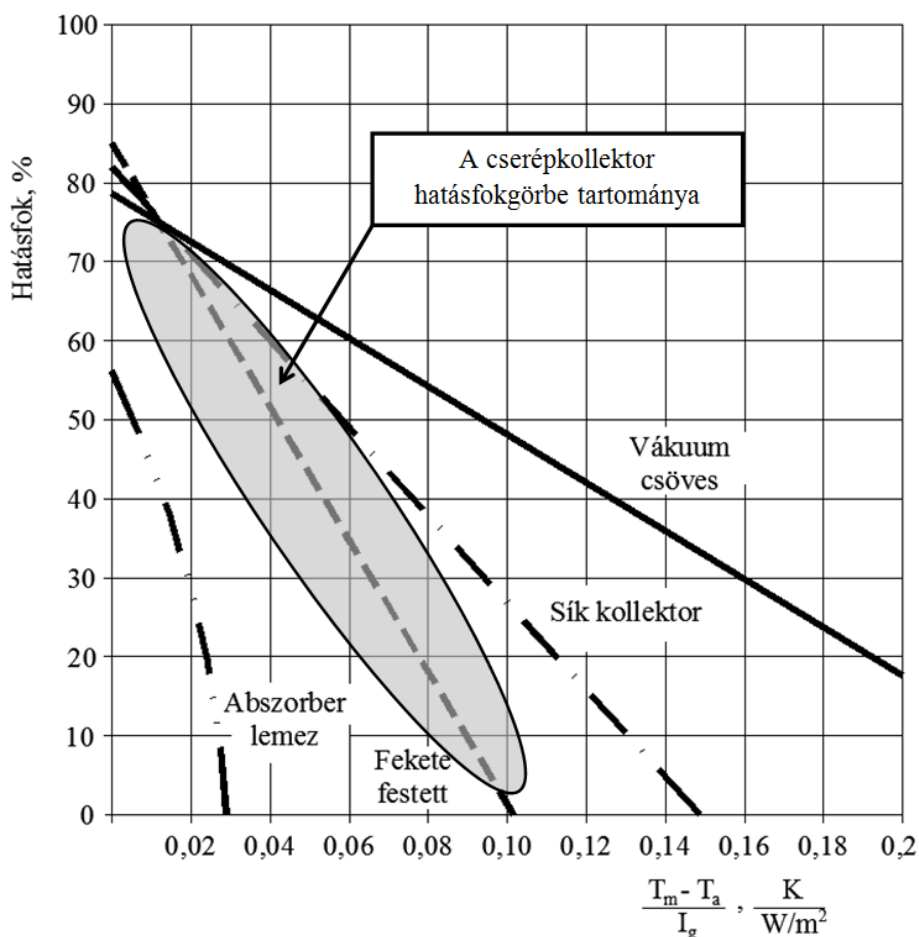


4.30. ábra Kollektor hatásfok görbe, mérési pontosság $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_g = 800 \text{ W/m}^2$

Épületelem kollektor (cserépkollektor) hatásfoka

A napkollektorok hatásfoka a változó bemenő értékek miatt állandóan változó értékű. A környezet, a belépő hőközvetítő közeg hőmérséklete, a kollektor test hőleadási körülményei a főbb befolyásoló tényezők a napsugárzás hővé alakítási folyamatában. A kollektorok hatásfokát a minősítések során nem egy állandó értékkel jellemzik, hanem egy görbe mutatja. Ezek az összetett laboratóriumi vizsgálatok költségesek és adott paraméter korlátok között érvényesek. Ebben a dolgozatban a mérési eredmények megfelelő feldolgozásával, egyszerűbben, költséghatékonyan és beépített körülmények között is megállapítható, megfelelő pontossággal a kollektorok hatásfoka.

A különböző kollektor típusok jellemző hatásfok görbéit mutatja a 4.31. ábra. Az előzetes mérési eredmények alapján a cserépkollektor hatásfok várható görbéje az ábrán jelölt területre esik.



4.31. ábra A cserépkollektor hatásfok görbe tartomány

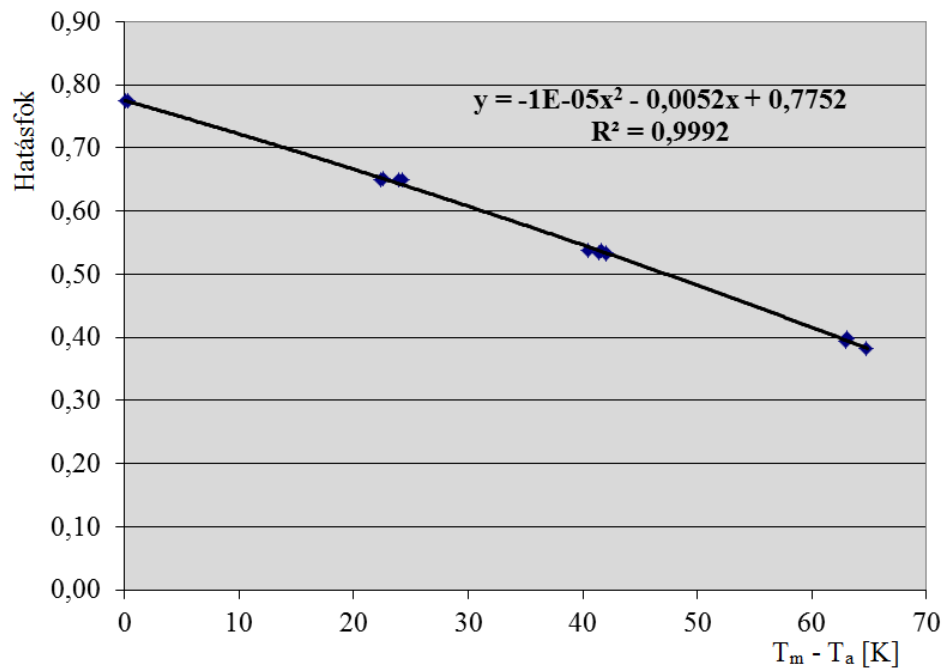
4.5. Eljárás a kollektor hatásfok görbe pontossági minősítéséhez

Vizsgáltam a hőmérsékletmérés pontosságának hatását a kollektorok hatásfokának a pontosságára, ugyanis a nagyobb pontosságú mérések anyagilag nagyságrenddel nagyobb költséget jelentenek egy-egy mérés során. Az előzőekben az átlagos műszaki gyakorlatnak megfelelő $\pm 0,1$ °C mérési pontosságú eszközökkel mért értékek alapján végeztem el a hatásfok számításokat. Megvizsgáltam a $\pm 0,01$ °C és az ± 1 °C pontosságú bemenő adatok hatását a számítások végeredményére, a kollektor hatásfok görbe meghatározására.

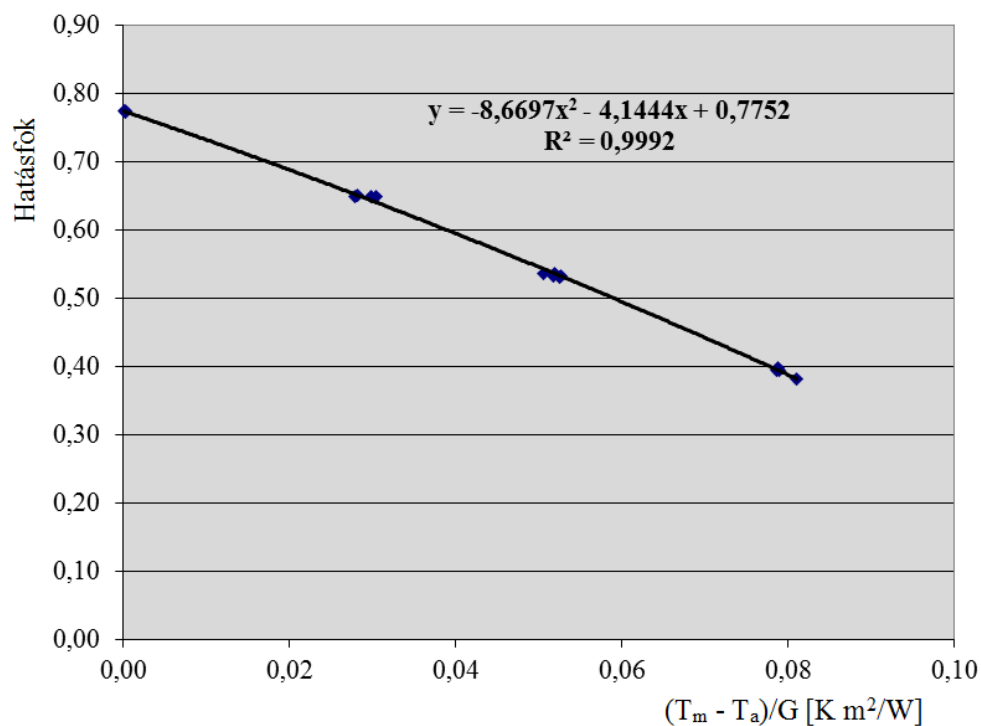
4.5. táblázat Hőmérséklet mérés $\pm 0,01$ °C pontossággal

G	m	T_{in}	T_e	$T_e - T_{in}$	T_m	T_a	$T_m - T_a$	$(T_m - T_a)/G$
[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[K m ² /W]
804	141,2	20,20	27,45	7,25	23,83	23,54	0,29	0,00035
786	141,3	20,18	27,23	7,05	23,71	23,74	-0,04	-0,00004
752	141,2	20,17	26,97	6,80	23,57	23,50	0,07	0,00009
721	141,2	20,15	26,66	6,51	23,41	23,16	0,25	0,00034
841	140,5	44,85	51,25	6,40	48,05	22,91	25,14	0,02989

A 4.5. táblázat adatai teljes mértékben a függelékben, az F.2. lapon található. Ezek alapján számolt hatásfok görbe látszik a 4.32. – 4.33. ábrán.



4.32. ábra Kollektor hatásfok görbe, mérési pontosság $\pm 0,01$ °C, $I_g = 800$ W/m²



4.33. ábra Kollektor hatásfok görbe, mérési pontosság $\pm 0,01$ °C, $I_g = 800$ W/m²

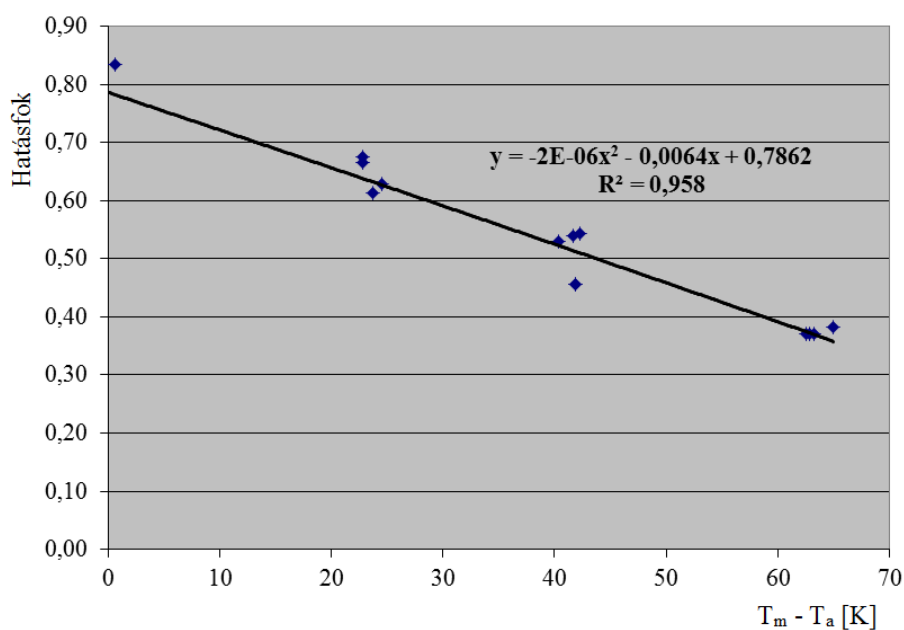
Az adatokból meghatározva a kollektor hatásfokkal kapcsolatos adatai 800 W/m² napsugárzási értékre, optikai hatásfok $\eta_0 = 0,7752$, ez az érték a $T_m - T_a = 0$ értékvonalon található, a maximális hatásfok érték a görbén. A hatásfok görbe egyenlete a 4.32. ábrán felírva látható. Ebben a másodfokú egyenletben lévő kitevők alapján az elsőfokú hőveszteségre (hővezetés) jellemző érték $k_1 = 4,16$ W/m²K, a másodfokú hőveszteségre (hősugárzás) jellemző érték $k_2 = 0,008$ W/m²K².

Vizsgálva az ± 1 °C pontosságú bemenő adatok hatását a számítások végeredményére, a kollektor hatásfok görbe meghatározására.

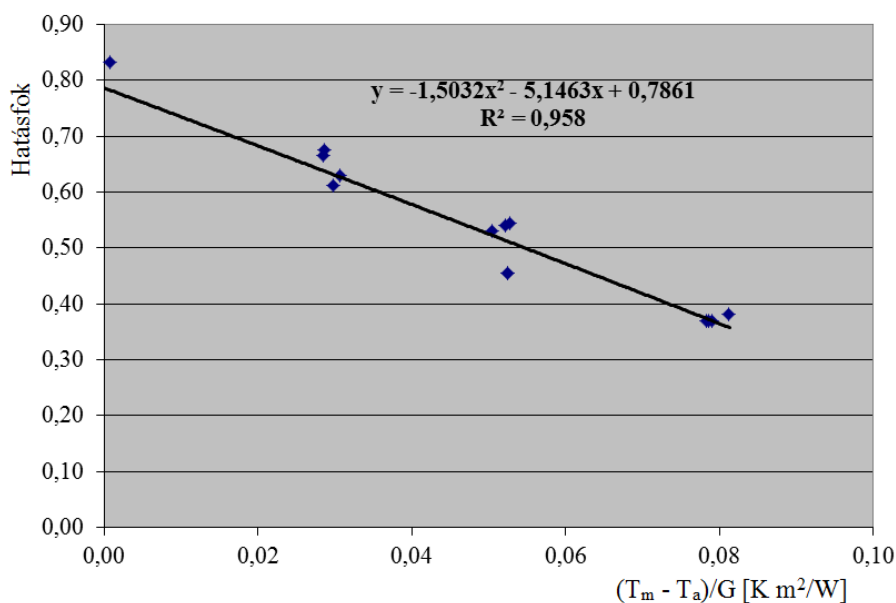
4.6. táblázat Hőmérséklet mérés ± 1 °C pontossággal

G	m	T _{in}	T _e	T _e -T _{in}	T _m	T _a	T _m -T _a	(T _m -T _a)/G
[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[K m ² /W]
804	141	20	27	7	23,5	24	-0,5	-0,00062
786	141	20	27	7	23,5	24	-0,5	-0,00064
752	141	20	27	7	23,5	24	-0,5	-0,00066
721	141	20	27	7	23,5	23	0,5	0,00069

A 4.6. táblázat adatai teljes mértékben a függelékben, az F.3. lapon találhatóak. Ezek alapján számolt hatásfok görbe látszik a 4.34. – 4.35. ábrán.

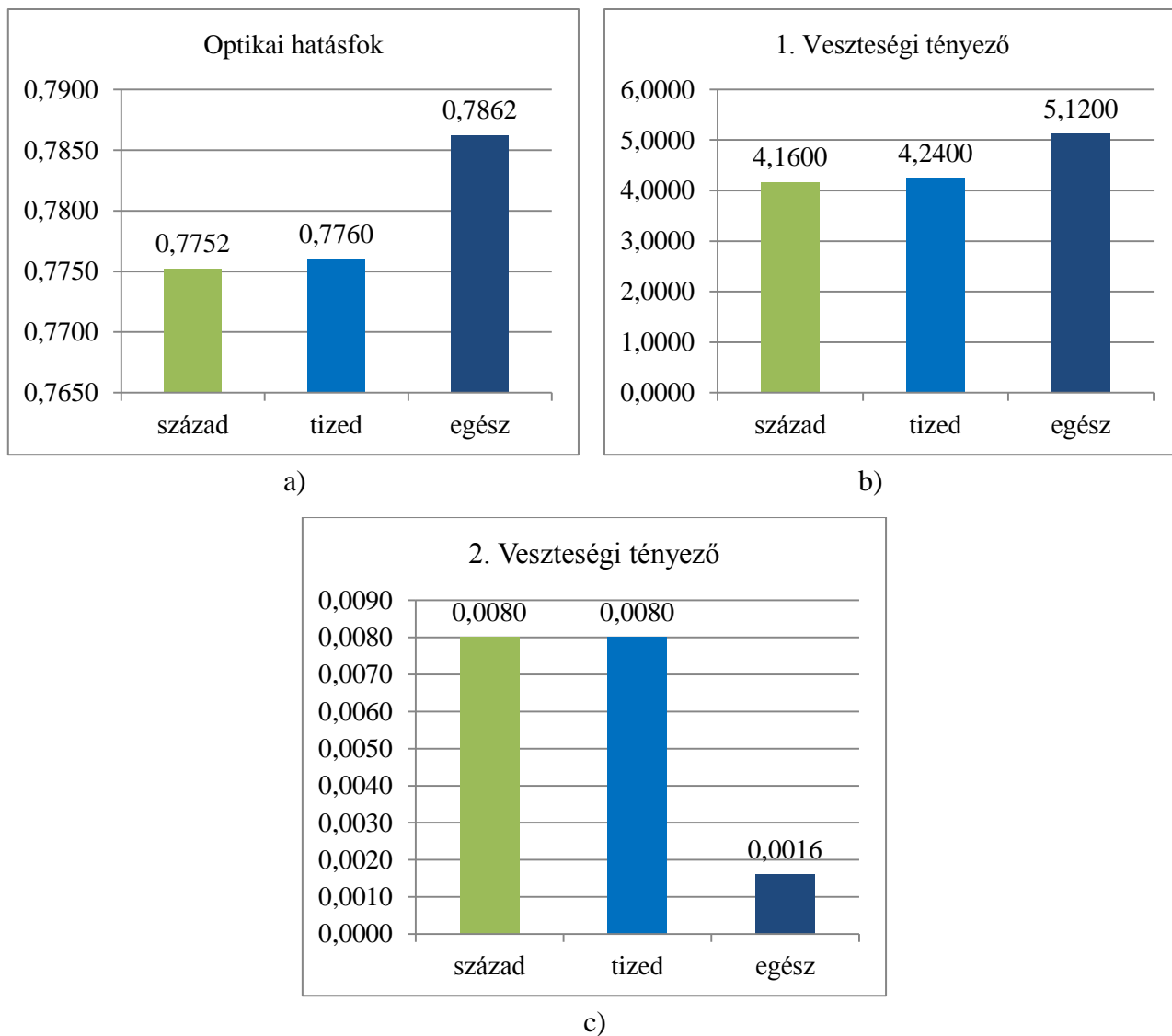


4.34. ábra Kollektor hatásfok görbe, mérési pontosság ± 1 °C, $I_g = 800$ W/m²



4.35. ábra Kollektor hatásfok görbe, mérési pontosság ± 1 °C, $I_g = 800$ W/m²

Az adatokból meghatározva a kollektor hatásfokkal kapcsolatos adatai 800 W/m^2 napsugárzási értékre, optikai hatásfok $\eta_0 = 0,7872$, ez az érték a $T_m - T_a = 0$ értékvonalon található, a maximális hatásfok érték a görbén. A hatásfok görbe egyenlete a 4.34. ábrán felírva látható. Ebben a másodfokú egyenletben lévő kitevők alapján az elsőfokú hőveszteségre (hővezetés) jellemző érték $k_1 = 5,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, a másodfokú hőveszteségre (hősugárzás) jellemző érték $k_2 = 0,0016 \text{ W/m}^2\text{K}^2$.



4.36. ábra Kollektor hatásfok görbék pontossági összehasonlítása

A napkollektor hatásfok görbe meghatározás mérőeszközeinek szükséges pontosságára vonatkozóan mérési adat értékeléseket végeztem. Az adott hőmérsékleteket $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ -os, $\pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ -os és $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ -os leolvasási pontossággal felírva a 4.36. ábrában foglaltam össze grafikusán a főbb jellemzőket. Az alpmérések $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ pontosságúak. Az optikai hatásfokra vonatkozóan a $\pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ pontosság minimális eltérést adott. Az $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ fok mérési pontosság mellett az eltérés az optikai hatásfoknál 0,01, százalékosan 1% (4.36a ábra). A napkollektor hőveszteségre utaló tényezőknél (k_1 , k_2), az alpmérés pontosságához képest a százados értékű mérés minimális eltérésű, míg az egész jegyű leolvasási értéknél ez 20%-os eltérést mutat az egyik értéknél, a másik tényező együttvétele ennél nagyobb eltérést mutat. A kis érték viszonylag nagy eltérése azonban nincs nagy hatással a végső hatásfok eltérésre (4.36b-c ábra). Az alábbi eredmények alapján megállapítható, a

mérőműszerek pontossága mellett fontos a matematikailag és mérés technikailag helyesen felépített mérések végzése.

4.6. Eljárás a kollektorok gazdaságossági számításához

A napkollektorok alkalmazásának gazdaságossági kérdései, megtérülési idejének számítása hosszú ideje képezi viták tárgyát. Leggyakrabban azonban az fordul elő, hogy keverednek a gazdaságossági szempontok a környezetvédelem, a jövőért érzett felelősség szempontjaival. Más esetekben nem veszik figyelembe a számítási módszerek alkalmazhatósági korlátait. A jelen dolgozatban a gazdaságosság megítéléséhez alkalmazható számítási módszerekkel foglalkozunk és adott példa kapcsán, egy korábbi, 10 éves beruházást értékelünk. Bemutatjuk a beruházás pénzügyi kalkulációját a 2003-ban rendelkezésre álló adatok alapján. A 10 év alatti valós energiahordozó árváltozási adatok alapján vizsgáljuk a megtérülési időtartamot a berendezés élettartamára vonatkozóan.

Gazdasági számítások paraméterei

A műszaki - gazdasági értékelések célja általában a beruházások, ezen belül az energiatakarékosságot szolgáló intézkedések gazdaságosságának megállapítása, azok megfelelő rangsorolása. Ezek a számítási lehetőségek olyan értékelési módszereket is tartalmaznak, amelyek akkor alkalmazhatók, ha a beruházás következtében az üzemeltetés költségei megváltoznak. A probléma lényege az, hogy egy egyszeri ráfordítást egy majdan, hosszabb idő alatt jelentkező megtakarítással kell összevetni Farkas, I. (2003). A gazdasági paraméterek pontos meghatározása fontos, mivel az eredményekre nagyobb hatással van, mint alkalmazott módszer kiválasztása.

Gazdaságossági paraméterek:

- Beruházás	I_0 [Ft]	- Nominális kamatláb	n_r [%]
- Éves nettó megtakarítás	B [Ft/év]	- Valós kamatláb	r [%]
- Műszaki/gazdasági élettartam	N [év]	- Inflációs ráta	b [%]

Beruházás, I_0

A beruházás tartalmaz minden, a megrendelő által térítendő, a beruházással kapcsolatban felmerülő összes költséget. Az energia-megtakarítást célzó intézkedésekkel kapcsolatos beruházások a következő elemeket tartalmazzák:

- Tervezés,
- Projekt-menedzselés / minőség biztosítás,
- Anyagok, berendezések, alkatrészek,
- Beszerelés,
- Ellenőrzés és vizsgálat,
- Végleges dokumentáció,
- Üzembe helyezés,
- Egyéb költségek,
- Vám, ÁFA.

Éves nettó megtakarítás, B

Az éves nettó megtakarítás az adott beruhásból származó tiszta évi megtakarításokat (HUF/év) jelenti. Az energia-megtakarítást célzó beruhásból eredő éves nettó megtakarítás egyszerűsített kiszámítása:

$$B = S E, \quad (4.34)$$

ahol,

B - éves nettó megtakarítás	[Ft/év]
S - évente megtakarított energia	[kWh/év]
E - energia ára	[Ft/kWh].

A megtakarított energia (kWh/év) csökkentése mellett a teljesítménycsúcsok (kW), a csatlakozási költség, stb. csökkentése is szerepelhet a számításokban, ha ezeket megtakarítják, illetve kifizetik. Amennyiben az energia-megtakarítás céljából beépített készülék, elem további karbantartást igényel (új berendezés), akkor a tiszta évi megtakarítás kiszámításakor e karbantartási költséget le kell vonni.

$$B = S E - O M, \quad (4.35)$$

ahol,

$O M$ - járulékos üzemeltetési és karbantartási költségek.

Műszaki / gazdasági élettartam, N

Gazdasági élettartam: a beruhás értékének nullára való amortizációjához szükséges időszak.

Műszaki élettartam: a beruhás fizikai és gyakorlati élettartama.

Ha egyes alkatrészeket/termékeket még a teljes elhasználódásuk előtt kicserélnek, mert új és alkalmasabb alkatrészek jelentek meg a piacon, akkor a gazdasági élettartam rövidebb a műszaki élettartamnál. A szabványok és előírások, energiaárak, komfortkövetelmények, stb. megváltozása ugyancsak egyes alkatrészek cseréjéhez vezethet, mielőtt azok műszakilag elhasználódnának. A műszaki-gazdasági számítások és értékelések elvégzéséhez a *gazdasági élettartamot* kell alkalmazni.

Nominális kamatláb, n_r

A szokásos esetben ez megegyezik a kölcsönök banki kamatlábjával és mindig magasabb az inflációnál. A nominális kamatláb segítségével tudjuk kiszámítani a pénz megtakarítást a bankban és az ott lévő pénzösszeget adott évek után.

Pénzmegtakarítás a bankban (időben előrehaladva): Bizonyos összeg, B_0 (Ft) a bankban van. Ha a nominális kamatláb n_r , akkor mennyi pénz lesz a bankban n év múlva?

B_0	- pénzösszeg a bankban ma
B_n	- pénzösszeg n év múlva
n_r	- banki nominális kamatláb
n	- a pénz által a bankban töltött idő (év)

A bankban lévő pénzösszeg n év után:

$$B_n = B_0 (1+n_r)^n. \quad (4.36)$$

Diszkontált érték (időben visszahaladva): Ha n év múlva B_n (Ft) összeg van a bankban, akkor mennyi ennek a pénznek a mai B_0 (Ft) értéke? A megtakarításra alkalmazott egyenletet itt is alkalmazva kiszámíthatjuk B_0 értékét:

$$B_0 = B_n / (1+n_r)^n . \quad (4.37)$$

Valós kamatláb, r

A valós kamatláb az inflációnak, az energiaárak relatív emelkedésének, és egyéb lehetséges relatív áremelkedéseknek megfelelően korrigált nominális kamatláb. A valós - leszámitolási - kamatláb jövőbeli alakulását gyakran igen nehéz előre megjósolni, különösen ez a helyzet a gazdaságilag átalakuló országokban. Mindemellett ez egy kiemelten fontos paraméter. Minél hosszabb egy beruházás gazdasági élettartama, annál fontosabb szerep jut a valós kamatlábnak.

Inflációs ráta, b

Az infláció a fogyasztási javak összességének évenkénti átlagos áremelkedése. Az inflációt nehéz előre megjósolni, és a különféle áruk és szolgáltatások esetében más és más lehet: Az inflációval korrigált valós kamatláb:

$$r = n_r - b / (1+b) \quad (4.38)$$

Amennyiben mintavételezést vagy megközelítő számításokat végzünk, úgy a valós kamatláb kiszámításához egy egyszerűsített számítás végezhető:

$$r = n_r - b \quad (4.39)$$

Ez az egyszerűsített formula olyan esetekben nem alkalmazható, ahol magas az infláció.

Gazdaságossági számítások módszerei

A beruházások gazdaságosságának a kiszámítására több módszer létezik:

- *Megtérülés, (Payback – PB),*
- *Nettó jelenlegi érték, (Net Present Value – NPV),*
- *Nettó jelenlegi értékhányados, (Net Present Value Quotient – NPVQ),*
- *Visszafizetés, (Pay Off – PO),*
- *Élettartam Költség, (Lifetime Cost - LC).*

A felsorolt módszerek alkalmazásához a diszkontált érték és a nettó jelenlegi érték elvét kell megérteni. A következő paraméterek az összes módszerben közősek:

- a befektetés, I_0 , [Ft]
- éves nettó megtakarítás, B , [Ft/év]
- gazdasági élettartam, n , [év]
- valós kamatláb, r , [%]

A megtérülés módszere

Az egyszerű megtérülés azt az időt jelenti, amely alatt a befektetés egyenlő éves nettó megtakarítások alapján megtérül ($B_1=B_2=...=B_n$). Ezen idő elteltével a befektető a gazdasági élettartam elteltéig pénzt keres. Akkor új befektetésre van szükség.

$$\text{Megtérülési idő} = \text{Beruházás} / \text{Éves nettó megtakarítás.}$$

A megtérülés módszere a legalkalmasabb eszköz a gyors számítások elvégzéséhez, de a módszernek vannak bizonyos korlátai is:

- csak akkor alkalmazható, ha a valós kamatláb alacsony,
- csak akkor alkalmazható, ha a megtérülés 4-5 évnél rövidebb,
- a módszer a megtérülési időszak utáni éves megtakarítások értékét nem veszi figyelembe, ezáltal jelentős megtakarítások figyelmen kívül maradhatnak, és így a teljes gazdaságosság jóval kedvezőbb lehet, mint ahogyan azt a megtérülés jelzi.

A nettó jelenlegi érték módszere

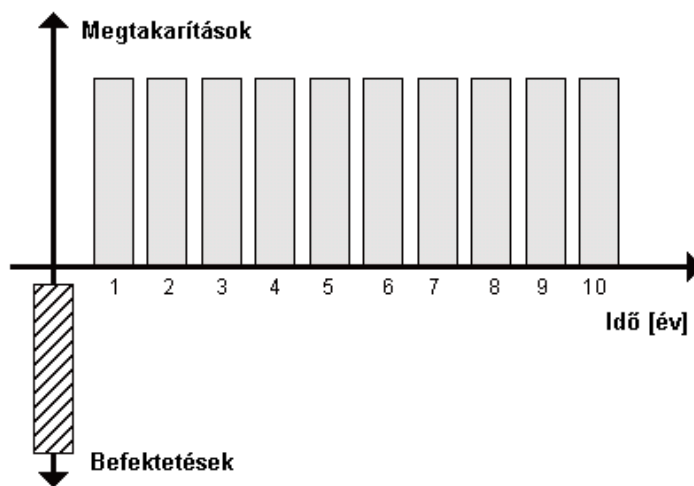
Az energia-megtakarítást célzó intézkedések belső rangsorolásához a nettó jelenlegi értékhányados a legjobb módszer. Az éves megtakarítások diszkontált értékének az összesítéséhez meg kell határozni azt a referencia-évet, amelyhez az összes befektetést és megtakarítást viszonyítani lehet. Az nem fontos, hogy melyik évet választjuk ki referencia-évné, ha az összes bevételt és kiadást ugyanahhoz a referencia-évhez viszonyítjuk. Szokásos esetben a kiválasztott év az az év szokott lenni, amelyben a befektetés megtörtént (0. év). Egy energia-megtakarítási intézkedés nettó jelenlegi értékét a gazdasági élettartam (1 - n év) alatti jövőbeli éves megtakarítások akkori jelenlegi értéke, valamint a befektetés (0 év) különbsége jelenti:

$$\text{Nettó jelenlegi érték (NPV)} = A \text{ megtakarítások diszkontált értéke} - \text{Befektetés.}$$

Az energia-megtakarítást célzó projekteknél a nettó megtakarításokat gyakran évről évre azonosnak tekintik, $B_1=B_2=\dots=B_n$. Ebben az esetben a nettó jelenlegi érték leíró egyenlete matematikailag egyszerűsíthető:

$$\text{NPV} = [B (1 - (1 + r)^{-n} / r] - I_0. \quad (4.40)$$

A következő ábrával (4.37. ábra) szemléltethető ez a módszer, melynél a befektetés egy összegben, a megtakarítások éves szinten egyenlően jelennek meg.



4.37. ábra Az egyszerűsített nettó jelenlegi érték módszer

Ha az éves nettó megtakarítások évről évre eltérőek, akkor a nettó jelenlegi érték az alábbi képlettel számolható:

$$\text{NPV} = [B_1 / (1 + r)^1 + B_2 / (1 + r)^2 + \dots + B_n / (1 + r)^n] - I_0 \quad (4.41)$$

A nettó jelenlegi értékhányados

A nettó jelenlegi érték és a teljes befektetés hányadosa:

$$\text{NPVQ} = \text{NPV} / I_0. \quad (4.42)$$

A magasabb NPVQ gazdaságosabb projektet jelez. Az NPVQ módszere igen alkalmas az energia megtakarítást célzó intézkedések gazdaságossági szempontú besorolására.

A visszafizetés módszere

Az az idő, amely alatt a befektetést a valós kamatláb figyelembevételével visszafizetik. Ez az NPV=0 állapot előtt eltelt időt jelenti:

$$\text{NPV} = [B (1 - (1 + r)^{-n} / r] - I_0 = 0. \quad (4.43)$$

Élettartam költség

Ez a költség a tőke költségét (I_0), valamint az adminisztráció (A), az üzemeltetés (O) és a karbantartás (M) költségeinek az épület élettartamára diszkontált értékét jelenti.

$$\text{LC} = I_0 + [(A + O + M) (1 - (1 + r)^{-n})] / r, \quad (4.44)$$

ahol, I_0 , tőkeköltség (= befektetés),

- A , adminisztrációs költség,
- O , működési költség,
- M , karbantartási költség,
- r , valós kamatláb,
- n , élettartam (általában műszaki élettartam)

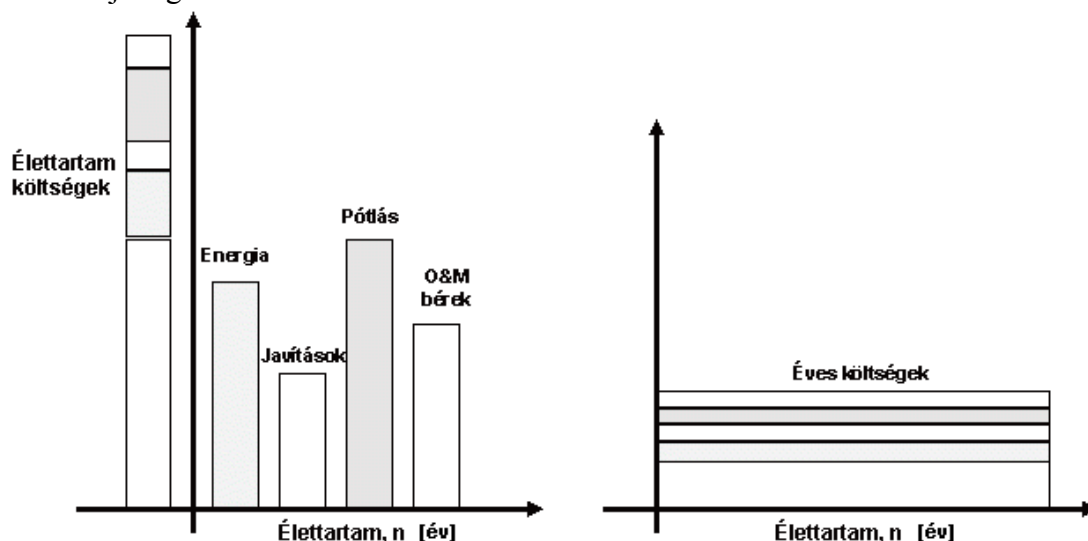
Éves költségek: Az élettartam költségnek az épület élettartama alatti évenkénti lebontását éves költségnek nevezzük. Az éves költség az az átlagos pénzmennyiség, amit az épület tulajdonosának az épület élettartama alatt minden évben a tőke, az adminisztráció, a működés és a karbantartás költségeinek a fedezésére kell szánnia. Az éves költségek elemzése az épület számos ügyintézési eszköze egyikének tekinthető, mivel ez a módszer hosszabb távú gazdasági becsléseket tesz lehetővé.

$$\text{Éves költség} = \text{Járadék tényező} \cdot \text{Élettartam költség} = f \cdot \text{LC},$$

ahol,

- $f = B / I_0 = r / [1 - (1 + r)^{-n}] = \text{járadék tényező, (annuity factor)}$.

A 4.38. ábra bal oldala szemlélteti a módszert, az ábra jobb oldalán az éves költségek eloszlásának jellege látható.



4.38. ábra Az élettartam költségek módszer összetétele

Napkollektor beépítése HMV készítéshez és fűtés rásegítésre

Az alábbiakban 2003-ban megvalósult napkollektoros beruházás adatai alapján, megvizsgáljuk a gazdasági megtérülést több számítási módszer segítségével. A megvalósítás kiindulási adatait ezután pontosítjuk a ténylegesen bekövetkezett energiahordozó árakkal, így értékelve újra a megtérülési adatokat, mennyire gazdaságos a napkollektoros rendszer.

A beruházás célja:

Földgáztüzelésű kazán és hőtárolós villanybojler üzemének segítéséhez új napkollektorok felszerelése. Cél a hagyományos energiahordozók helyettesítése megújuló energiaforrással előállított hőenergia kapacitás létesítésével, napkollektorok segítségével.

A beruházás műszaki tartalma:

Fiorentini típusú síkkollektorok felszerelésével kiváltani (várhatóan 60-65%) a melegvíz előállításához eddig használt hőtárolós villanybojlert, illetve a ház fűtéséhez használt régi típusú földgáz tüzelésű kazán üzemébe besegíteni (várhatóan 20-25%).

A beruházással érintett lakás adatai:

A beruházás helye: Mezőtúr, építésének éve: 1988, alapterülete: 140 m², fűtött légtere: ~500 m³. A lakás társasházi, tetőmegoldása magastetős típusú, az épület építési módja hagyományos, két szintes. A használati melegvíz felhasználás 60-70 liter/nap/fő. A használati melegvízzel ellátandók száma 4fő. A lakás fűtési módja központi fűtés, kiskazán berendezéssel. A melegvíz előállítás egyedi, villanybojler módú.

A kiindulási adatokat táblázatokba és diagramokba rendeztük, az 4.7. táblázatban a meglévő rendszer elemei, a 4.8. táblázatban a napkollektorok jellemzői láthatók.

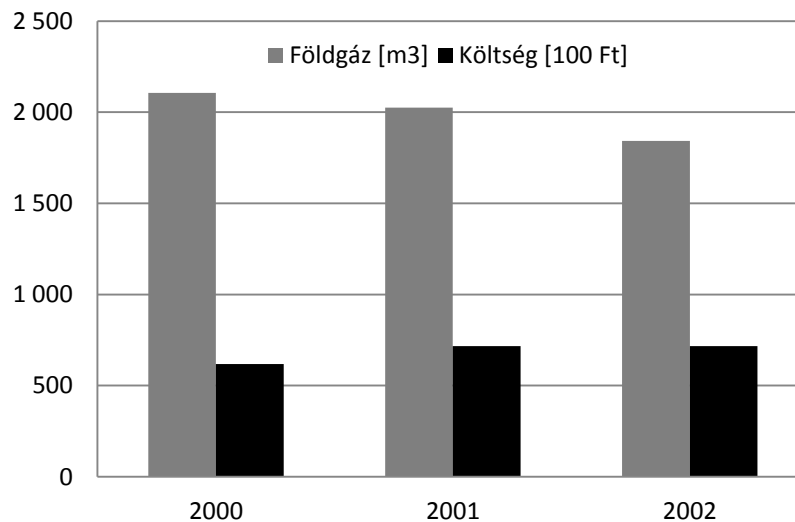
4.7. táblázat Az alaprendszer felépítése

Fűtés	Melegvíz
Földgáztüzelésű kazán	Hőtárolós villanybojler
Típus: Thermotéka-25	Típus: Hajdú-200
Darabszám: 1	Darabszám: 1
Gyártó cég: Kazép, Gyoma	Gyártási év: 1987
Gyártási év: 1987	Teljesítmény: 2.2 kW
Teljesítmény: 23 kW	

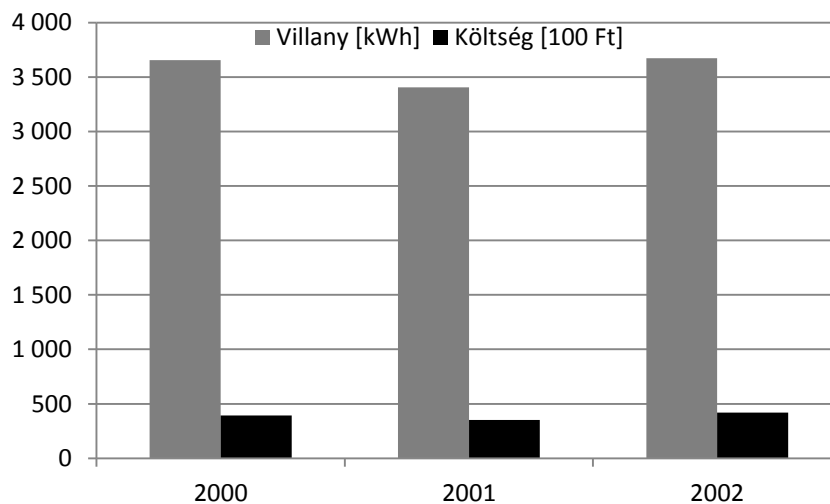
4.8. táblázat A napenergia hasznosító berendezés főbb adatai

Megnevezés: ~ 10 m ² napkollektor
Típus: SKV-3
Darabszám: 5 db.
Gyártási év: 2002
Gyártó cég: Fiorentini Hungary Kft.
Teljesítmény max: 1,4 kW
Éves energiahozam: 900-1000 kWh

A 4.39. és a 4.40. ábrán a lakás fűtésére és a HMV előállítására felhasznált energia éves mennyiségét és bekerülési költségét ábrázoltuk a napkollektorok beépítése előtti években.



4.39. ábra A lakás évi földgáz felhasználása és költsége kollektor beépítés előtt



4.40. ábra A villamos energia (HMV) felhasználása és költsége kollektor beépítés előtt

A 4.9. táblázatban a 2003-as évi energia felhasználásokat és a várható megtakarítások összegét látjuk. A megtakarításoknál a szoláris részarányt HMV készítésnél 65%-ra, a fűtés rásegítésnél 25%-ra vettük. A 4.10. táblázatban a beruházás anyag és munkadíj költségét foglaltam össze.

4.9. táblázat A kalkulált energia felhasználás és költségei

Energia hordozó megnevezése	Energia felhasználás (2003)			Energia költség Ft/év (2003)		
	Korszerűsítés előtt	Korszerűsítés után	Megtakarítás	Korszerűsítés előtt	Korszerűsítés után	Megtakarítás
Villamos energia: [kWh/év]	3 600	1 260	2 340	47 880	16 758	31 122
Földgáz: [m ³ /év]	2 000	1 500	500	82 000	61 500	20 500
Összesen:	-	-	-	129 880	78 258	51 622

4.10. táblázat A beruházás költségeinek részletezése 2003. évi árszinten

Főbb anyagok megnevezése	Egység db, m ²	Beszzerési összeg ÁFÁ-val, Ft	Szolgáltatások megnevezése	Szolgáltatási összeg ÁFÁ-val, Ft
SKV-3 napkollektor	5	353 950	Csőszerelés	50 000
1000 l puffer	1	150 000	Bádogos mdíj	62 500
Szabályzó	1	106 250	Beüzemelés	15 000
Szivattyú, szelepek	-	125 000		
Csővek, fitting	-	37 500		
Bádogos anyagok	-	62 500		
Gépköltség	-	20 000		
Szigetelés	-	50 000		
Összesen:	-	905200	-	127 500

A beruházás megvalósításához 2003-ban, mindösszesen ~1 050 000.- Ft szükséges. A beruházás megvalósításához ennek az összegnek a megléte kellett, pályázati támogatásra csak utólagosan lehetett számítani. A számításoknál mindkét lehetőséget megvizsgáljuk. Az 9. táblázatban a pénzügyi költség-haszon elemzés látható összefoglalóan.

4.11. táblázat A beruházás költség-haszon elemzése 2003-ban

Üzemeltetés költségei:		
Napkollektoros rendszer befektetése		1 050 000.- Ft
Üzemeltetési nyereség:		
Energiaköltség megtakarítás		52 000.- Ft
Fenntartás megtakarítás		7 000.- Ft
<i>Megtakarítás összesen:</i>		<i>59 000.- Ft</i>
Pénzügyi adatok:		
Diszkontkamatláb	5%	
Hitel kamatláb	15%	
Technikai élettartam	25 év	
Hitelfelvétel		0.- Ft
Támogatás		(315 000), 0.- Ft
Futamidő	25 év	

A rendelkezésre álló adatok alapján a gazdaságossági számításokat elvégezve kapjuk a következő eredményeket.

Megtérülési idő mutató támogatás nélkül:

$$M = B_k / N_y = 1\,050\,000 / 59\,000 = 17,7 \text{ év.}$$

Jövőérték (FV) = megtakarítás (59 000) x 25 év = 1 475 000.- Ft

Nettó jelenérték mutató:

Diszkontkamatláb: 5% (Ezt azért vettem fel ennyire, mert az energiaárak nagyobb emelkedést mutatnak az elmúlt évek átlagában az infláció mértékéhez.)

Beruházási Ktsg: $I = 1\,050\,000.- \text{ Ft}$ (=PV(I)) (Rövid idejű beruházás!)

Működési Ktsg PV(C)= 0.- Ft (A rendszer működtetési költsége minimális)

A megtakarítások jelenértéke:

Bevétel R = 1 475 000.- Ft

$PV(R) = FV(1\,475\,000) \text{ (-----)} = 831\,543.- \text{ Ft}$ (lásd 6. táblázat)

Nettó jelenérték:

$NPV = PV(R)(=831\,543) - PV(C)(=0) - PV(I)(=1\,050\,000) = -218\,457.- \text{ Ft}$

Hozam-költség mutató:

$BCR_1 = PV(R) / (PV(I) + PV(C)) < 0 \text{ (} \sim 0,792 \text{)} \text{ (} PV(C) = 0.- \text{ Ft)}$

Mivel a nettó jelenérték mutató negatív szám, ez azt jelenti, hogy a megtakarítások összegének jelenértéke nem éri el a beruházás összegét, így az nem gazdaságos megoldás. A hozam-költség mutató is ezt támasztja alá.

4.12. táblázat Belső megtérülési ráta: (IRR)

	Diszkont tényező	Bevétel		Diszkont tényező	Bevétel		Diszkont tényező	Bevétel
Év	5%	59 000	Év			Év		
1.	0,9524	56 190	10.	0,6139	36 221	19.	0,3957	23 348
2.	0,9070	53 515	11.	0,5847	34 496	20.	0,3769	22 236
3.	0,8638	50 966	12.	0,5568	32 853	21.	0,3589	21 178
4.	0,8227	48 539	13.	0,5303	31 289	22.	0,3418	20 169
5.	0,7835	46 228	14.	0,5051	29 799	23.	0,3256	19 209
6.	0,7462	44 027	15.	0,4810	28 380	24.	0,3101	18 294
7.	0,7107	41 930	16.	0,4581	27 029	25.	0,2953	17 423
8.	0,6768	39 934	17.	0,4363	25 742		PV(R)	831 543
9.	0,6446	38 032	18.	0,4155	24 516			

A beruházás belső megtérülési rátája IRR=4% körül van, ami kedvezőtlen a jelenlegi betéti kamatlábakat (~10%) figyelembe véve! Jelen számítások szerint a napkollektoros rendszert nem vezetném be, mert a nettó jelenérték negatív. A további mutatók is ezt támogatják. Érzékenységi vizsgálatok nélkül is belátható, hogy a fejlesztés gazdaságossága a gázár és a villamos energia árának változásától illetve arányának változásától függ.

Megtérülési idő mutató 30%-os támogatással:

$$M = B_k / N_y = 735\,000 / 59\,000 = 12,4 \text{ év.}$$

Jövőérték (FV) = megtakarítás (59 000) x 25 év = 1 475 000.- Ft

Nettó jelenérték mutató:

Diszkontkamatláb: 5%

Beruházási Ktsg: I = 735 000.- Ft (=PV(I)) (Rövid idejű beruházás!)

Működési Ktsg PV(C) = 0.- Ft (A rendszer működtetési költsége minimális)

A megtakarítások jelenértéke:

Bevétel R = 1 475 000.- Ft

$PV(R) = FV(1\,475\,000) \text{ (-----)} = 831\,543.- \text{ Ft}$

Nettó jelenérték:

$$NPV = PV(R)(=831\,543) - PV(C)(=0) - PV(I)(=735\,000) = 96\,543.- \text{ Ft}$$

Hozam-költség mutató:

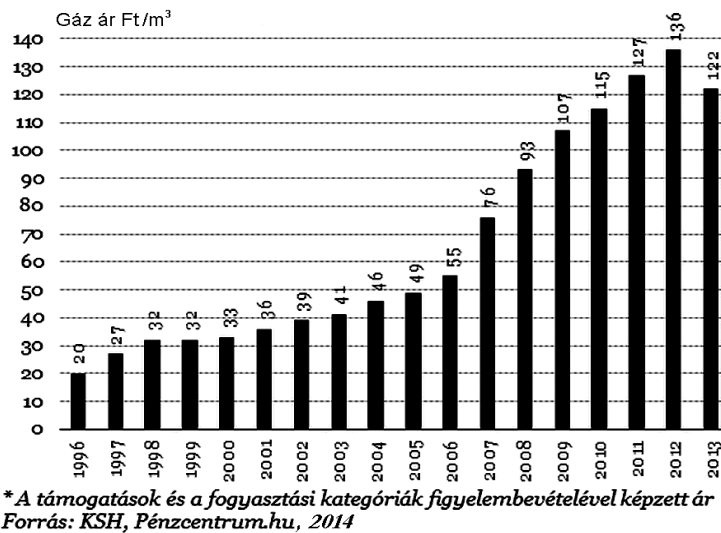
$$BCR_2 = PV(R) / (PV(I) + PV(C)) = 1,13 \quad (PV(C) = 0.- \text{ Ft}).$$

A 30%-os támogatásnál mondható el, hogy megtérülő a beruházás, az NPV pozitív és a hozam-költség mutató is nagyobb mint 1.

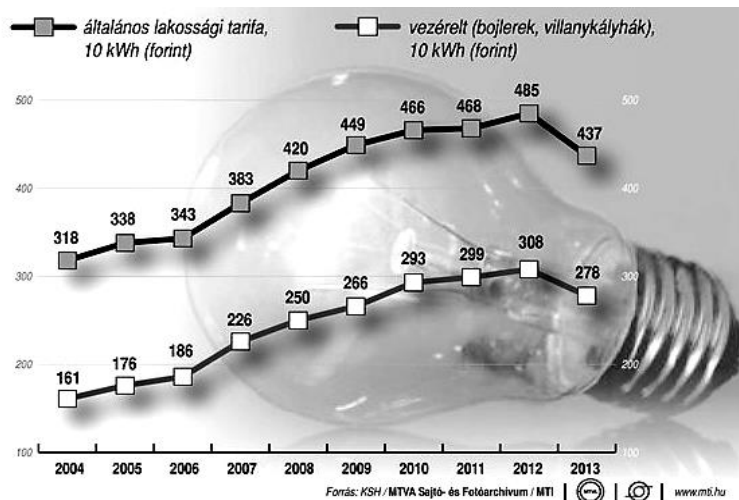
A 2003-ban rendelkezésre álló adatok alapján elvégzett számítások pénzügyileg nem támogatták a beruházás gazdaságosságát. A bankban tartott pénz nagyobb értékű lenne, mint a napkollektoros rendszerrel elérhető megtakarítások összege. Látható, hogy támogatás nélkül nem tűnt gazdaságosnak a napkollektorok beépítése. A kedvezőtlen pénzügyi, megtérülési mutatók ellenére a beruházás több mint 10 évvel ezelőtt megvalósult.

A beruházás gazdasági és üzemeltetési tapasztalatainak értékelése:

Vizsgáljuk meg milyen főbb gazdasági változások történtek a tervezési időszakban várható értékekhez képest. A két legfontosabb változás a villamos energia és a földgáz árának változása volt.



4.41. ábra A vezetékes gáz fogyasztói átlagárának alakulása



4.42. ábra A lakossági villamos energia átlagár alakulása

A 4.41. ábra adatai alapján a földgáz árának átlagos emelkedése 10 év alatt (2004-2013) 2,3-szeres, a 4.42. ábra adatai alapján a villamos energia árának átlagos emelkedése 1,5-szeres mértékűre adódik. Ezekkel a tényleges adatokkal átszámolva, a napkollektoros beruházás megtakarítási adatai a 4.13. táblázatban kerültek összefoglalásra.

4.13. táblázat Energia költségek tény adatokkal kiegészítve

Energia hordozó megnevezése	Energia költség Ft/év (tervezett)			Tényleges Ft/év
	Korszerűsítés előtt	Korszerűsítés után	Megtakarítás	Megtakarítás
Villamos energia	47 880	- *	47880	71 820
Földgáz	82 000	67 000	15 000	37 500
Fenntartás megtakarítás				9 000
Összesen:	129 880	67 000	51 622	117 320

A számolt tényleges megtakarítást (117 320.- Ft/év) azonban az előzetesen nem számolt/számolható alábbi költség növelő kiadásokkal együtt kell figyelembe venni. A családi házhoz tervezett napkollektoros rendszer 10 éves üzemeltetési tapasztalatai alapján az alábbi eltérések voltak tapasztalhatók:

- a HMV ellátásnál villanybojler teljesen ki lett váltva indirekt fűtésűre*,
- a fenntartási költségeknél számolni kell a szivattyúk villamos energia fogyasztásával, jelen esetben, éves szinten átlagosan 6-7 eFt, ez 10 év alatt ~ 70 eFt költséget jelentett,
- a rendszer elemei közül a szolár oldali tágulási tartályt kellett cserélni ~ 10 eFt,
- az egyik síkkollektor edzett üvegét kellett pótolni, törés miatt (biztosítva volt, 0 Ft),
- a primer kör fagyálló folyadék pótlása, frissítése ~ 2 eFt/év.

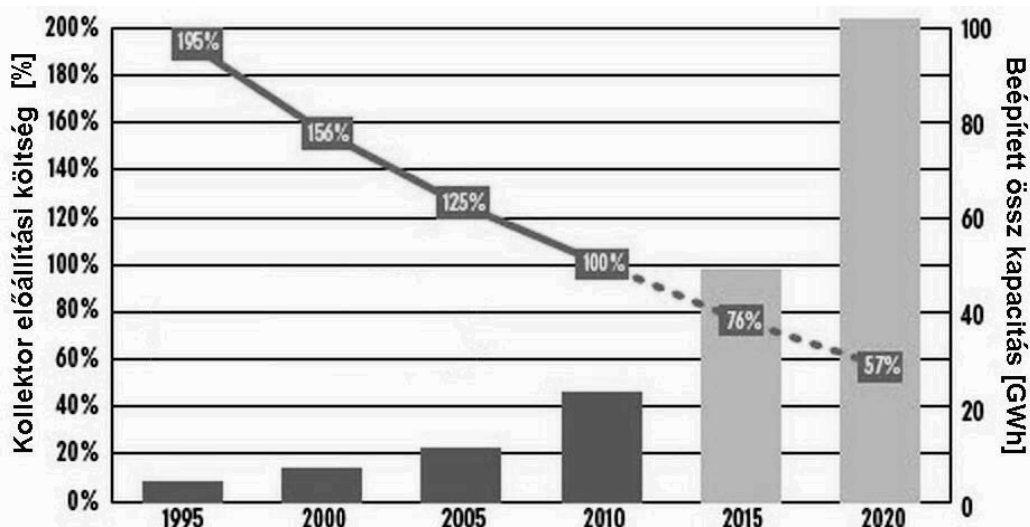
Ezekkel a költségekkel is számolva a tényleges megtakarítás ~ 107 320.- Ft/év-re csökken, így a megtérülés támogatás nélkül 9,8 év, támogatással (30%) 6,8 év. Összességében a támogatás nélküli tervezett megtérülési időnél lényegesen hamarabb megtérült a beruházás, fő tényezőként az energiaárak előre nem látható emelkedése miatt.

Gazdasági összegzés, javaslatok

Az előzetes pénzügyi elemzések a példa napkollektoros rendszer kedvezőtlen, hosszú idejű megtérülését jelezték, a tényleges energia árak emelkedése azonban jelentősen lerövidítették ezt. A fenti számítások alapján újabb értékeléseket, beruházást segítő döntéseket lehet hozni, amennyiben más típusú kollektorokat, rendszer elemeket építünk be.

Fontos felismerni, hogy a termikus napenergia hő költségek garantáltan állandó költség a rendszer teljes élettartama alatt. Nem lehet ezt megállapítani, ha a hasznos hő, a villamos energia vagy a földgáz árak alapján kerül kiszámításra. A változó gazdasági helyzet, a támogatási rendszer ciklikussága a pénzügyi számítások kiindulási értékeinek megállapítását bizonytalanná teszik, várhatóan a későbbiekben is ellentmondások lesznek az eredmények. A fosszilis energiaárak az utóbbi években ingadozást mutatnak hazánkban, előreláthatóan azonban az elkövetkező időszakban is növekedni fognak, ezért a termikus napenergia rendszerek versenyképesek lesznek. Ezt támasztja alá az is, hogy a napkollektoros rendszerek ára csökken a kollektor gyártás fejlődésével. Elemzések alapján a kollektorok termelési költségének csökkenése következett be a termikus napenergia piac növekedésével Európában.

A 4.43. ábrán a napkollektor árának százalékos alakulása látható, viszonyítási alap a 2010-es év (100%) és a beépített kapacitás az EU27 országait figyelembe véve. A szaggatott vonal és a világosabb oszlopok a vizsgált tényadatok alapján készült előjelzéseket mutatja.



4.43. ábra Napkollektor relatív előállítási költsége és a piac alakulása 1995-től 2020-ig az EU27 adatai alapján

(Strategic research and innovation agenda for renewable heating & cooling, March 2013)

A napkollektor csak az egyik összetevője a szolár rendszernek, további fontos részegységek a melegvíz-tároló tartály, a szabályzó, a szivattyú állomás, a csövek, stb. Mivel az összes beruházási költség ezekről is függ és a fejlesztések, gyártási eljárások hatékonysága folyamatosan fejlődik, így ezek árának csökkenése is megfigyelhető. A termelési költségek mellett, a telepítési költségeket is figyelembe kell venni. Egyes európai országokban, ahol a munkaerő költségek magasak, a telepítés költsége (kis tárolós rendszerek) eléri a beruházás 50%-át is. A kutatás és az ipar egyre nagyobb figyelmet szentel a rendszerintegrációra, ezáltal várható, hogy a rendszerek telepítési költsége is csökkenni fog az elkövetkező években (Strategic research and innovation agenda for renewable heating & cooling, March 2013).

4.7. Új tudományos eredmények

A kutatómunkám során a vizsgált új napkollektor típusra és annak optimális felépítésére vonatkozóan elért új tudományos eredmények a következők:

1. Az épületelem kollektor modellezése

Kidolgoztam egy fizikai alapú matematikai modellt, amely közvetlenül felhasználható az épületelem kollektor termikus folyamatainak modellezésére. A modellt az épületelem kollektor rétegeinek hő- és anyagtranszport-folyamatait leíró differenciálegyenletek összekapcsolásával állítottam elő, amelynek segítségével a cserépelem hőmérsékletére (T_t) és kilépő folyadék munkaközeg hőmérsékletére (T_{out}) a következő egyenleteket vezettem be:

$$\dot{T}_t = \frac{IA_t + k_{ta}A_{ta}(T_a - T_t) - k_{wt}A_w(T_t - T_{out})}{c_t m_t}, \quad (4.8)$$

$$\dot{T}_{out} = \frac{k_{wt}A_w(T_t - T_{out}) - \dot{m}_w c_w(T_{out} - T_{in})}{c_w \rho_w V_w}. \quad (4.9)$$

A modellt egy megépített cserépkollektoros rendszer mérésével validáltam. Megállapítottam, hogy a modellel az elemek felületi hőmérsékletére vonatkozóan mintegy 0,5 °C-os becslési pontosság érhető el.

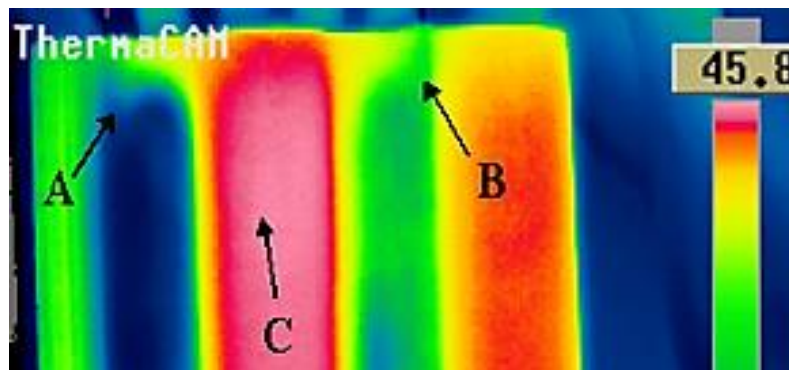
2. Az épületelem kollektor szerkezeti kialakítása

A modellel végzett szimulációk eredményei és az épületszerkezeti anyagok napsugárzási energia elnyelődés mérései alapján javaslatot tettem a cserépelem optimális formájára, méreteire, a hőcserélő rész kialakítására és annak térbeli elhelyezkedésére. Meghatároztam továbbá a csótávolságokat az eredeti betoncserép formai és szilárdságtani sajátosságainak megfelelően.

Mérések segítségével igazoltam, hogy az optimalizált cserépelemekből kialakítható egy átlagos napkollektornak megfelelően működő épületelem kollektor.

3. Kollektor modell hőfokeloszlása, mérési adatok validálása

Bizonyítottam, hogy az épületelem kollektorok hőmérsékletmező vizsgálatára és a modellezés értékeinek validálására az infrakamerás érzékelős módszer alkalmazható. A felvételek elemzése alapján megállapítottam, hogy a cserépelemek hőmérsékletének mérési pontossága 0,1 °C-nál kisebb hibával rendelkezik a kiemelt (A - munkaközeg belépés, B – munkaközeg kilépés, C – cserépelem maximális hőmérséklet) pontokban is (4.44. ábra). A kidolgozott módszer segítségével meghatároztam az épületelem kollektor hőmérséklet eloszlás egyenetlenségeit, amelyek számbavétele segíti az elemek optimális szerkezeti kialakítását.



4.44. ábra A cserépelem jellegzetes hőmérsékleti területei

4. Kollektor hatásfok görbe meghatározása

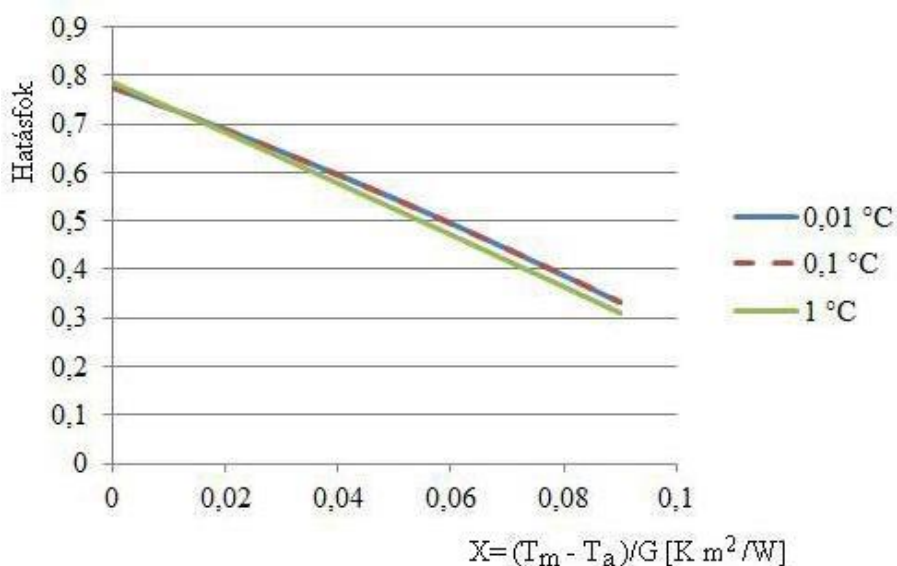
Faktortér analízisre alapozva új módszert dolgoztam ki napkollektorok hatásfokának meghatározására az üzem közbeni mérési adatok statisztikai elemzése alapján. Ennek során $X = (T_m - T_a)/G$ összevont változó függvényében megállapítottam a környezeti hőmérséklet, a kollektor közepes hőmérséklet és a globál sugárzás hatását napkollektor hatásfok értékére. A kidolgozott módszerrel az egyszeres üvegezésű, szelektív bevonattal ellátott síkkollektorok hatásfok függvényére (η) a következő összefüggést adtam meg azonosítva az optikai hatásfokot és a veszteségekre jellemző együtthatókat:

$$\eta = -7,7693 X^2 - 4,2225 X + 0,7764.$$

A bevezetett kollektor hatásfok görbe $D^2(X) = 0,9992$ szórásnégyzet érték mellett illeszkedik a mérési adatokhoz.

5. Eljárás a kollektor hatásfok görbe pontossági minősítéséhez

Új számítási eljárást dolgoztam ki a hatásfok görbe megadására nagy pontosságú mérőműszerek alkalmazása nélkül. A különböző mérési pontosságú eszközökkel mért értékek alapján bizonyítottam, hogy a normál pontosságú ($\pm 0,1$ °C) bemenő adatokhoz képest az egy nagyságrenddel nagyobb ($\pm 0,01$ °C) illetve az egy nagyságrenddel kisebb (± 1 °C) pontosság esetén sorrendben max. 0,014%-os illetve max. 2,5%-os eltérés mutatkozik a kollektor hatásfok függvények értékei között (4.45. ábra). A kisebb értékű eltérés a vízszintes tengely kezdő értékeinél, a nagyobb eltérés a nagyobb veszteségű működési tartományban mutatkozik.



4.45. ábra Mérési pontosság hatása a kollektor hatásfok görbére

6. Eljárás a kollektorok gazdaságossági számításához

Új eljárást dolgoztam ki a napkollektorok alkalmazásának gazdaságossági jellemzőire, megtérülési idejének számítására. Hosszú időszakra vonatkozó üzemeltetési adatok alapján gazdasági számításokkal igazoltam a napkollektorok megtérülési idejére a jelenleg alkalmazott közzgazdasági alapú becslési módszerek pontatlanságát, alkalmazási korlátaikat.

Az új, kidolgozott számítási eljárás figyelembe veszi a napkollektoros rendszerek árának csökkenési tendencia mutatóját, amely igazolható az európai napenergiás rendszerek piacának bővülésével. A beruházások eredményességének megítélését tovább javítja az externális költségekkel és a környezet terheléssel arányos tényezők bevezetése.

Az új számítási módszer eredményei azt mutatják, hogy a napkollektoros rendszerek 20-25 éves műszaki élettartamán belül, a hagyományosan 15-18 évre becsült megtérülési időtartammal ellentétben, a tényleges adatok alapján, ugyanazon rendszer esetében, gazdaságilag 8-10 év körüli időszakban megtérülhetnek a beruházások.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Napjaink nagy gondja a gazdasági növekedés fenntartásával járó emelkedő környezetszennyezés. A megújuló energiák, közte a napenergia, mindenki számára elérhető, decentralizált kiaknázása ezt jelentősen tudná csökkenteni. Ennek egyik lehetősége az olcsón előállítható napenergia hasznosító berendezések kialakítása, ezek széles körben való elterjesztése. A megújuló energiaformák fokozatos alkalmazása sürgető közérdek, azonban ne feledjük ésszerűen, gazdaságosan és kombináltan alkalmazni ezeket a lehetőségeket.

Napjaink hatékonyságot előtérbe helyező, de költséges fejlesztési elképzelései mellett szükséges a kisebb hatékonysággal dolgozó de olcsóbban rendelkezésre álló lehetőségek kihasználása. Az olyan egyszerűen és könnyen összeszerelhető berendezések kialakítása, melyek alkalmasak adott időszakban a napsugárzási energia gazdaságos befogására, az eredmények első következtetése az, hogy épületszerkezeti elemként kialakíthatók kollektor elemek.

A vizsgálatok és a modellezés kapcsán felmerült a kérdés, a jelenleg használt kollektor hatásfok képlete megfelelő-e a számításokhoz. Az számítások során a kollektorban lévő közeg hőmérséklete változó. A sugárzás intenzitásának változása befolyásolja a kollektor hatásfokát. A hatásfok számítására szokásosan használt képletben a kollektor közepes hőmérséklet nem tükrözi a valóságos hatásfokot teljes mértékben. A kollektorok belső hőmérséklet eloszlása és az összekapcsolt kollektorok hatásfokra gyakorolt hatásának megállapítása fontos lenne a pontosabb szabályozás és a nagyobb energia felhasználhatóság érdekében.

A mérőrendszer kialakítása során megállapítható volt a kollektorok gazdaságos üzemidejének kiterjesztési lehetősége is. A kollektorok működési kezdetének és leállításának időpontjai nagymértékben függenek a kollektor típusától és a hasznosító, keringetési rendszer egyéb elemeinek megfelelő összehangolásától. Az elméleti modellből kiindulva vizsgálható a nem víz alapú szolárfolyadékok üzemidőre és a gazdaságos működtetésre vonatkozó hatása. Felmerül a kombinált rendszerek alkalmazási előnye, mely működési határainak jó behatárolása, ajánlott méretezési módszerrel, lépés lehet a gazdaságosan működő kollektoros rendszerek még fokozottabb elterjedésére.

Eredményeim alapján javaslom az épületelemként kialakítható kollektorokat azokban az esetekben, mikor nem építik be a hagyományos kollektorokat esztétikai okokra való hivatkozás miatt. Javaslom továbbá ezeket az elemeket a városi-hősziget hatás csökkentésére, mikor az épületek felmelegedése rontja az emberi komfortérzetet.

Javasolható ilyen elemek alkalmazása építésetileg védett kialakítású épületek felújításánál, a napenergia aktív hasznosításának növelése, az egyre szigorodó épületenergetikai előírások teljesítése érdekében.

Végezetül javaslom az új eljárások és megoldások felhasználását a napkollektorok hatékonyságának megállapításánál, utólagos hatásfok ellenőrzés elvégzésénél, továbbá a gazdaságossági mutatók helyes megállapításánál, előrejelzésénél.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A megújuló energiaformák befogására és hasznosítására irányuló kutató-fejlesztő tevékenység az utóbbi két évtizedben gyakorlati értékű technológiák kialakításához és ezeket alkalmazó berendezések, rendszerek kereskedelmi forgalomban való megjelenéséhez vezetett. Az életfenntartáshoz és az élelmiszerellátás biztosításához egyre több energiára van szükség. A megújuló energiaformák fokozatos alkalmazása sürgető közérdek, a lemaradás egész gazdaságunknak sokba kerülhet.

A napenergia aktív hasznosításának lehetőségei közül az épületszerkezetekbe integrálható kollektortestekkel foglalkoztam. Bemutattam az aktív napenergia hasznosítás egy újnak mondható, nem szokásos, eddig még nem alkalmazott lehetőségét. A kollektortestek többféle hőtechnikai rétegezésének optimalálására kialakítottam a matematikai modellt és szimulációs vizsgálatokat végeztem. A beeső napsugárzás energetikai jellemzőinek vizsgálatára különböző felületű próbatesteken végeztem méréseket. A berendezést úgy terveztem és építettük meg, hogy a legtöbb elvárásnak megfeleljen a lehetőségeinken belül. A rendszer alkalmas összehasonlító mérések elvégzésére, szükség szerint bővíthető, továbbfejleszhető. A számítások alapján elkészített kollektortesteket mértem.

Megvizsgáltam a napkollektoros rendszerek hatásfok számításának a módját. A mérések pontos megtervezésével, megfelelő matematikai módszerek segítségével bizonyítható, hogy nemcsak a nagy pontosságú műszerekkel lehet műszakilag megfelelő eredményeket, minősítéseket elérni. A szokásos hatásfok képletek pontossága sem megfelelő egyes esetekben, ill. nem világít rá határozottan egyes rosszul kialakított elemek, rendszerek hibáira.

Az egyes elemek fejlesztése és optimalása mellett fontos a napkollektoros berendezések gazdaságos üzemidejének növelési lehetőségét vizsgálni. A kombinált rendszerek adta lehetőséget kihasználva, az épületszerkezetekbe integrálható kollektortestek nemcsak a napsugárzás energiáját, hanem a levegő hőtartalmát is képesek lehetnek megfelelően befogni.

Gazdasági számításokkal megvizsgáltam egy adott paraméterű napkollektoros rendszer beruházási, gazdasági megtérülési lehetőségét. Hazánkban a napenergia hasznosítására jó adottságok vannak. Ezért is kell ezeknek a jellemzőit ismerni, előnyeit és hátrányait ismerni, ismertetni. Jelenlegi gazdasági mutatók nem kedveznek egy gyorsan megtérülő, szokásos technológiát alkalmazó beruházáshoz. Fontos figyelembe venni a rendszerek árcsökkenésének irányába ható műszaki mutatókat is, továbbá a környezet védelme, a jövőért érzett felelősség adhat egyfajta döntési támogatást.

Összefoglalóan megállapítva, a kollektortestek formai és anyagszerkezeti kialakításának változtatásával tudom megközelíteni a hőtechnikailag elérhető maximális hatásfokot. A kollektortestek többféle hőtechnikai rétegezésének kialakítása, azok modellezése, szimulációja, illetve mérése után, a műszakilag jó minőségben gyártható, szerelhető, olcsó, jó hatásfokú kollektortestek kialakíthatók, megfelelő üzemidejű, gazdaságos rendszerek segíthetik a napenergia még nagyobb mértékű felhasználását.

7. SUMMARY

BUILDING INTEGRATED SHELL-STRUCTURED SOLAR COLLECTORS

Important to research and development activities for the capture and utilization of renewable forms of energy that led to the birth of applying them, and equipment, design of systems for the past two decades, commercially viable technologies. The life sustenance and food supplies to ensure more and more energy is needed to gradual use of renewable forms of energy urgent public interest, the entire backlog could cost our economy.

Opportunities for active utilization of solar energy from the building structure can be integrated into kollektortestekkel dealt with. I presented the active solar energy can be a new, non-standard, I have never used the possibility. The bodies of many collector thermal stratification developed a mathematical model of optimization and simulation experiments were carried out to establish. The investigation of the incident solar radiation energy characteristics of measurements were performed on samples of different surfaces. The equipment is designed based on the ideas, and we have built to meet expectations in the most options. The system is able to perform comparative measurements can be extended if necessary, further developed.

I studied the solar system efficiency of the method of calculation. The exact design measurements, using appropriate mathematical methods can be demonstrated that not only the high-precision instruments may be technically correct results are achieved certification. Not appropriate in some cases, the usual efficiency and accuracy of the formulas. it is definitely not light up some badly designed components, systems failures.

Important to the development and optimization of the individual components of solar systems in addition to economical way to increase the operating time tested. The combined systems by taking advantage of the opportunity, the building structure can be integrated into not only kollektortestek solar radiation energy, the heat content of the air but also be able to capture properly.

Economic calculations examined the possibility of investment in a given solar system parameters, economic return. In our country, the exploitation of solar energy are in good conditions. That is why we need to recognize these characteristics, advantages and disadvantages acknowledged described. Current economic indicators are not favorable for a rapid return, standard technology investment. It is important to take into account the direction of the price reduction systems in technical indicators, as well as protecting the environment, may feel a sense of responsibility for the future decision-making support.

In summary, noting the collector body shape and design of structural materials by changing, I can approach the maximum thermal efficiency is technically available. The design of the collector bodies of many thermal stratification of their modelling, simulation and measurement after the technically high quality manufacture, assemble, inexpensive, highly efficient collector bodies formed, right-lasting, economical systems can facilitate even greater use of solar energy.

MELLÉKLETEK

M1: Irodalomjegyzék

1. A globálisugárzás átlagos évi összege Magyarországon (2000-2009)
http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/ (2015.01.29.)
2. A napfénytartam átlagos havi értékei Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak alapján
http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/ (2015.01.29.)
3. A napsugárzás spektrális megoszlása
<http://www.hol-napinvest.hu/site/napelemekrol> (2015.01.20.)
4. Argyelán, J. (2009): Transzportfolyamatok. Pannon Egyetemi Kiadó.
5. Árpád, I. (2013): Energetikai berendezések hőszigetelésének optimalítása
http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2013/Arpad_Istvan_dissertation.pdf (2015.01.22.)
6. Atkins, P. W. (2013): Fizikai kémia I-III. Tankönyvkiadó, Budapest.
7. Az évi átlagos napfénytartam (óra) Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak alapján
http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/ (2015.01.29.)
8. Barótfi, I. (2008): Megújuló energiaforrások és nézőpontok II
<http://www.zoldtech.hu/cikkek/20080408-megujulo-energia-nezopontok> (2015.01.20.)
9. Barótfi, I. (2011): Épületenergetika, A beesési szögek értelmezése
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-019_Epuletenergetika/ch02.html (2015.01.29.)
10. Barótfi, I., et al.: A napenergia hasznosítása. Energia felhasználói kézikönyv. Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest .
11. Barótfi, I.: Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, 2003.
12. Csehó, J. (2008): Klímapolitika az Európai Unióban
http://www.mtakszi.hu/Honlap/CSEHO_klimaEU.pdf (2015.01.21.)
13. F. Kreith, R.E. West (editors) (1997): CRC Handbook of Energy Efficiency - CRC Press, New York, London.
14. Farkas, I. (2003): Napenergia a mezőgazdaságban
Mezőgazda Kiadó, 317 o.
15. Farkas, Oné. (2002): A XXI. század energetikai kihívásai
<http://www.energiamedia.hu/upmenu/tud/tud016.html> (2015.01.22.)
16. Fülöp, L., Szűcs, M., Zöld, A.: A napenergia passzív hasznosításának hazai potenciálja. Energiagazdálkodás, 46 (1), pp.: 8-13. 2005
17. Gács, I. (2009): Klíma és energia
<http://www.e-gepesz.hu/?action=show&id=293> (2015.02.03.)

18. Gelencsér, A., Molnár, Á., Imre, K. (2012): Az éghajlatváltozás okai és következményei <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/ff/02-eghajlat/Eghajlat.xhtml#d6e146> (2015.02.02.)
19. Gyurcsovics, L. (1987): Hőtermelés napsugárból Műszaki Könyvkiadó, Bp., p.9-19.
20. Horánszky, B. (2004): Az EU energiapolitikája <http://www.uni-miskolc.hu/~gzhbea/oktatasianyagok/jegyzetek/eupol2004.pdf> (2015.02.02.)
21. Horváth, J. (2011) Megújuló energia http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05.html (2015.01.29.)
22. Imre L., Bitai, A., Hecker, G. (2000): Megújuló energiaforrások - Felsőfokú oktatási segédlet. BME Energetika Tanszék, Budapest.
23. Imre, L. (1983): Hőátvitel elmélet és áramlástan. Tankönyvkiadó, Budapest.
24. Imre, L. (2003): Hőátvitel összetett szerkezetekben. Akadémiai Kiadó, Budapest.
25. Imre, L., Bitai, A., Hecker, G.: Megújuló energiaforrások. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2009.
26. Imre, L., Szabó, I. (1974): Transzportfolyamatok. Tankönyvkiadó, Budapest.
27. Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S. (1977): Heat transfer. Third edition, Mir Publishers, Moscow.
28. Jászay, T. (1972): Műszaki hőtan (Hőközlés). Tankönyvkiadó, Budapest.
29. K. Butti, J. Perlin (1980): A Golden Thread (2500 years of solar architecture and technology) - Marion Boyars, London-Boston <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0303/ujfal0303.html#ir> (2015.02.02.)
30. K. Butti, J. Perlin: A Golden Thread (2500 years of solar architecture and technology) Marion Boyars, London-Boston, 1980.
31. Kacz, K., Neményi, M. (1998): Megújuló energiaforrások Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
32. Környey, T. (1999): Hőátvitel. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
33. Krecz, Á. (1999): Zölden és nyereségesen KÖVET és a TTMK hírlevél, (10), <http://www.kovet.hu/view/main/182-283.html> (2015.02.05.)
34. Liszi, J. (1993): Fizikai kémia. Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém.
35. Mihejev, M. A. (1987): A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest.
36. Mika, J. (2011): A globális klímaváltozás és a városi hősziget összefüggései <http://www.termeszetvilaga.hu/otka/ht/mika.html> (2015.02.05.)
37. Móczár, G., Farkas, I. :Napenergia-hasznosítás

- <http://www.okotaj.hu/szamok/22/mas4.html> (2015.02.03.)
38. Napkollektoros rendszer elemei
<http://www.napra-kesz.hu/rendszerattekint.html> (2015.02.10.)
39. Napkollektoros rendszer elemei
<http://www.napra-kesz.hu/rendszerattekint.html> (2015.02.10.)
40. Naplopó Kft.: Tervezési segédlet (2011)
<http://www.naplopo.hu/letoltes.html>, tervseg[1].pdf., p.11. (2015.02.02.)
41. Németh, Á. (2010): A megújuló energiaforrások kiaknázásának ösztönzése az Európai Unióban és Németországban, Budapest
http://elib.kkf.hu/edip/D_15118.pdf (2015.02.02.)
42. Örvös, M. (2001): Termikus eljárások és berendezések. I. rész. Kézirat. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
43. Pál, G., Huba, B. (2003): Magyarország energetikai környezetértékelése és a kapcsolódó indikátorok meghatározása, különös tekintettel a megújuló energiaforrások felhasználási lehetőségeinek kiaknázására. Környezetállapot értékelés Program. Pályázati tanulmányok.
http://www.kep.taki.iif.hu/file/Huba_megujulo.doc. (2015.02.12.)
44. Phillips, K. J. H.(1995): Guide to the Sun. Cambridge University Press, Cambridge.
45. Sánta, I. (2011): Hő- és áramlástan II. (Hőtan II.), BME egyetemi jegyzet, Budapest.
46. Schlichting, H., Gersten, K. (2003): Boundary Layer Theory. 8th Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Corrected Printing.
47. Shell energy scenarios to 2060 (2013)
http://s01.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/Scenarios/Downloads/Scenarios_newdoc.pdf (2015.02.03.)
48. Shell energy scenarios to 2060 (2013)
http://s01.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/Scenarios/Downloads/Scenarios_newdoc.pdf (2015.02.03.)
49. Simonyi, K. (2011): A fizika kultúrtörténete. Ötödik, javított kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest.
50. Strategic research and innovation agenda for renewable heating & cooling, March 2013
http://decarboni.se/publications/strategic-research-and-innovation-agenda-renewable-heating-cooling/32-solar-thermal-technologies#fig_10 (2015.02.10.)
51. Szabó, L., Szabó Sándor (2005): A villamosenergia-szektor környezeti teljesítménye
<http://www.energiamedia.hu/upmenu/tud/tud005.html> (2015.02.02.)
52. Szűcs, M. (2000): Szoláris bioklimatikus építészet. A napenergia építészeti hasznosítása, Magyar Napenergia Társaság, Budapest.
53. Tóth, L. (2011): Települési Energetika
54. Zöld, A.(1999): Energiatudatos építészet - Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó saját publikációk listája*Lektorált cikk világnyelven*

1. **Fekete, I.,** Farkas, I.: Thermal analysis of shell-structured solar collectors, *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, Vol. 60, No. 2, 2012, pp. 43-48. ISSN 1582-5175
2. **Fekete, I.,** Farkas, I.: Factorial experiment method for determining the efficiency of solar collectors, *Szent István University Faculty of Mechanical Engineering, Mechanical Engineering Letters, Gödöllő, Hungary*, 2012, Vol. 8, pp. 38-52. HU ISSN 2060-3789
3. **Fekete, I.,** Farkas, I.: Numerical and experimental study of building integrated solar collectors, 2015, (publishing is in progress)

Lektorált cikk magyar nyelven

4. **Fekete I.,** Farkas I.: Az építészeti alkalmazásokba integrálható héjszerkezetű kollektortestek, *Magyar Energetika*, XVIII. évf., 6. szám, 2011. november, 32-35. o. ISSN 1216-8599
5. **Fekete I.,** Farkas I.: Épületszerkezeti elemek szerepe a napenergia aktív hasznosításában, *Mezőgazdasági Technika*, LIII. évf., 2012. szeptember, 2-4. o. HU ISSN 0026 1890
6. **Fekete I.,** Farkas I.: Napkollektor gazdaságossága családi ház esetén, *Energiagazdálkodás*, 56. évf., 2-3. szám, 2015. június, 29-35. o. ISSN 0021-0757

Nemzetközi konferencia kiadvány

7. **Fekete, I.,** Farkas, I.: Components of building integrated solar collectors, CD-ROM Proceedings, EuroSun 2012, ISES-Europe Solar Conference, Rijeka, Croatia, September 18-20, 2012, p. 1-8. ISBN 978-3-9814659-2-1
8. **Fekete, I.:** A napenergia termikus hasznosításának hatékonysága és környezeti hatásai. XVII. Nemzetközi Tehetséggondozási - Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési - Diákkonferencia, Szolnok, 2011. július 06.-08., 1-5. o. ISBN 978-963-89339-0-4, CD-ROM.
9. **Fekete, I.:** Épületszerkezeti elemekbe integrálható kollektortestek hatásfok vizsgálata. XVI. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, Mezőtúr 2010. jún. 30.-júl. 02., 49-53. o. ISBN 978-963-87874-5-3.
10. **Fekete, I.:** Thermic efficacy research of the shell-structured collector bodies integrable into architectural structures. *Gépészet 2002*, Proceedings of the third conference on mechanical engineering, Vol. 1, BME Budapest, 2002. May 30-31, pp. 37-41. ISBN 963 699 1650

Magyar nyelvű konferencia kiadvány

11. **Fekete, I.:** Az építészeti alkalmazásokba integrálható héjszerkezetű kollektortestek termikus hatásfok vizsgálata. Angol nyelvű, lektorált kiadvány, *Gépészet 2002 Konferencia*, BME Budapest, 2002.május 30.-31., I. kötet 37-41. o. ISBN 963 699 1650

12. **Fekete, I.:** Az épületszerkezeti elemekbe integrált napkollektorok fejlesztésének lehetőségei. V. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, Mezőtúr 2006, október 25.-26., 1-5. o. ISBN 963 06 0817 0, CD-ROM.
13. **Fekete, I.:** Épületszerkezeti elemekbe integrálható kollektortestek szimulációs vizsgálata. VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, Mezőtúr, 2008, október 16.-17., 234-239. o. ISBN 978 963 87874-2-2
14. **Fekete, I.:** Napkollektorok energiahatékonysága. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban, DAB Konferencia, Szolnok, 2012. május 10., 373-382. o. ISBN 978-963-7064-28-9

Nemzetközi konferencia abstract

15. **Fekete, I.:** Thermal efficiency of shell-structured collector bodies integrated into architectural structures, 13th Workshop on Energy and Environment (EE'07), 2007, November 5-6, p. 1-6., Gödöllő, Hungary.

Magyar nyelvű konferencia abstract

16. **Fekete, I.:** Épületszerkezeti elemekbe integrálható napkollektorok hőtechnikai optimalizálása MTA-AMB XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, poszter, konferencia kiadvány, Gödöllő, 2008, január 22., 70-71. o.
17. **Fekete, I.:** Az építészeti alkalmazásokba integrálható kollektortestek vizsgálata, konferencia előadás, VIA FUTURI, PTE-PMMK, Pécs, 2008. szeptember 3.-4., 1-5. o.

Egyéb

18. **Fekete, I.:** Héjszerkezetű napkollektorok termikus hatásfokvizsgálata. Előadás, A Magyar Tudomány napja, TSF. Szarvas, 2000. november 2.
19. **Fekete, I.:** Héjszerkezetű napkollektorok termikus hatásfokvizsgálata. Előadás, A Magyar Tudomány napja, TSF. Szarvas, 2001. november 15.
20. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés NKA-M-1/2001. Az építészeti alkalmazásokba integrálható héjszerkezetű kollektortestek termikus hatásfok vizsgálata. TSF. Mezőtúr, 2001. november 30.
21. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés NKA-M-1/2002. Az építészeti alkalmazásokba integrálható héjszerkezetű kollektortestek termikus hatásfok vizsgálata. TSF. Mezőtúr, 2002. november 29.
22. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés NKA-M-1/2006. Az építészeti alkalmazásokba integrálható héjszerkezetű kollektortestek termikus hatásfok vizsgálata. TSF. Mezőtúr, 2006. november 30.
23. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés NKA-M-1/2007. Az építészeti alkalmazásokba integrálható héjszerkezetű kollektortestek termikus hatásfok vizsgálata. TSF. Mezőtúr, 2007. november 28.

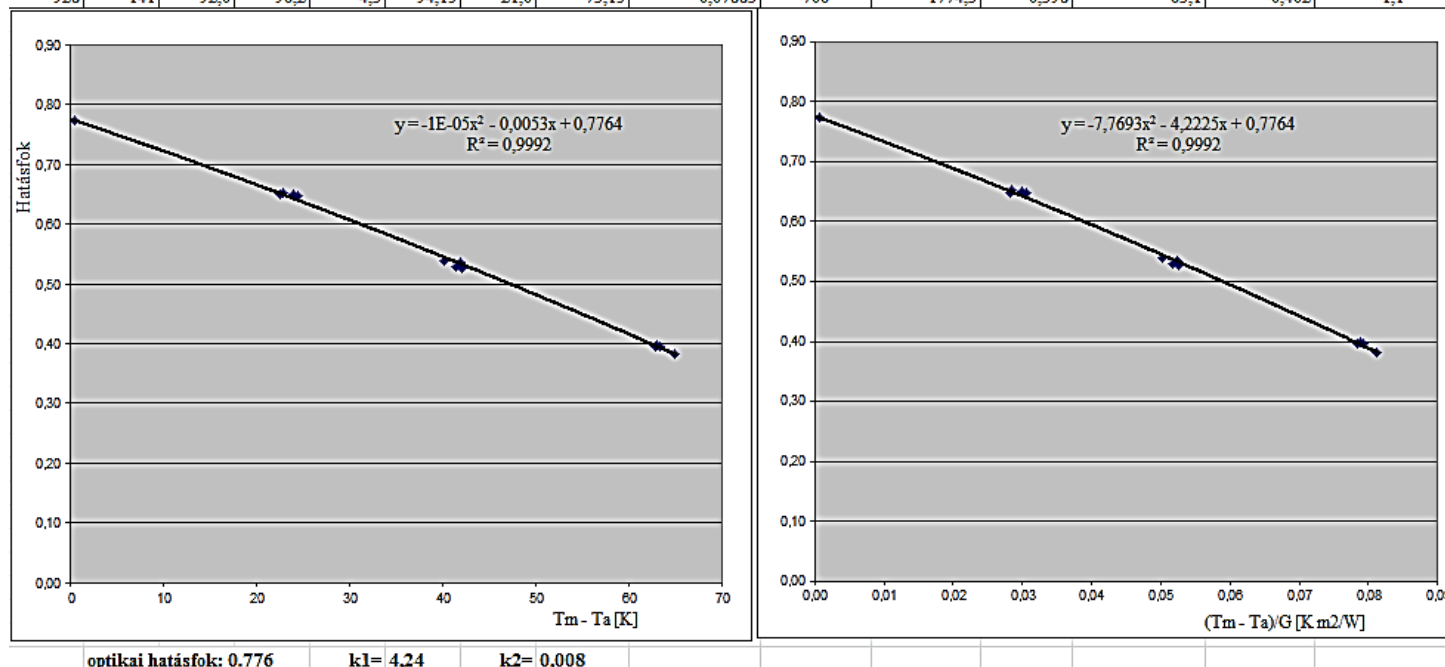
24. **Fekete, I.:** A napenergia hasznosítása napjainkig. Tudomány Napja Rendezvény, Előadás, SZF MMF, Mezőtúr, 2008. október 16.-17.
25. **Fekete, I.:** Épületszerkezeti elemekbe integrálható kollektortestek, Műszaki Értelmiség Napja, Előadás, MTESZ JNK-Szolnok Megyei szervezete, Szolnok, 2009. november 25.
26. **Fekete, I.:** Tiszta energiával a Földért, Kutatók Éjszakája Rendezvény. Előadás, SZF MMF, Mezőtúr, 2009. szeptember 24.
27. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés, KA-M-AM-1/2009. Épületszerkezetekbe integrálható kollektor testek műszaki és hőtechnikai paramétereinek optimalizálása. SZF-MMF. Mezőtúr, 2009. november 30.
28. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés KA-SZ-M-1/2010. Napkollektoros rendszer elemek hatásfok javításának hőtechnikai és műszaki lehetőségei. SZF Szolnok, 2010. november 28.
29. **Fekete, I.:** Szakmai és pénzügyi beszámoló jelentés KA-SZ-MG-1/2011. Napkollektoros rendszer elemek hatásfok javításának hőtechnikai és műszaki lehetőségei. Szolnok, 2011. november 30.

M3: Student (t) eloszlás táblázata

Sz.f.	0,55	0,6	0,7	0,75	0,8	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995
1	0,158	0,325	0,727	1,000	1,376	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656
2	0,142	0,289	0,617	0,816	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,137	0,277	0,584	0,765	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,134	0,271	0,569	0,741	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,132	0,267	0,559	0,727	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,131	0,265	0,553	0,718	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,130	0,263	0,549	0,711	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,130	0,262	0,546	0,706	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,129	0,261	0,543	0,703	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,129	0,260	0,542	0,700	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,129	0,260	0,540	0,697	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,128	0,259	0,539	0,695	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,128	0,259	0,538	0,694	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,128	0,258	0,537	0,692	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,128	0,258	0,536	0,691	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,128	0,258	0,535	0,690	0,865	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,128	0,257	0,534	0,689	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,127	0,257	0,534	0,688	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,127	0,257	0,533	0,688	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,127	0,257	0,533	0,687	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,127	0,257	0,532	0,686	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,127	0,256	0,532	0,686	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,127	0,256	0,532	0,685	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,127	0,256	0,531	0,685	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,127	0,256	0,531	0,684	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,127	0,256	0,531	0,684	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,127	0,256	0,531	0,684	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,127	0,256	0,530	0,683	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,127	0,256	0,530	0,683	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,127	0,256	0,530	0,683	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	0,126	0,255	0,529	0,681	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	0,126	0,254	0,527	0,679	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
100	0,126	0,254	0,526	0,677	0,845	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626
120	0,126	0,254	0,526	0,677	0,845	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
50000	0,126	0,253	0,524	0,674	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

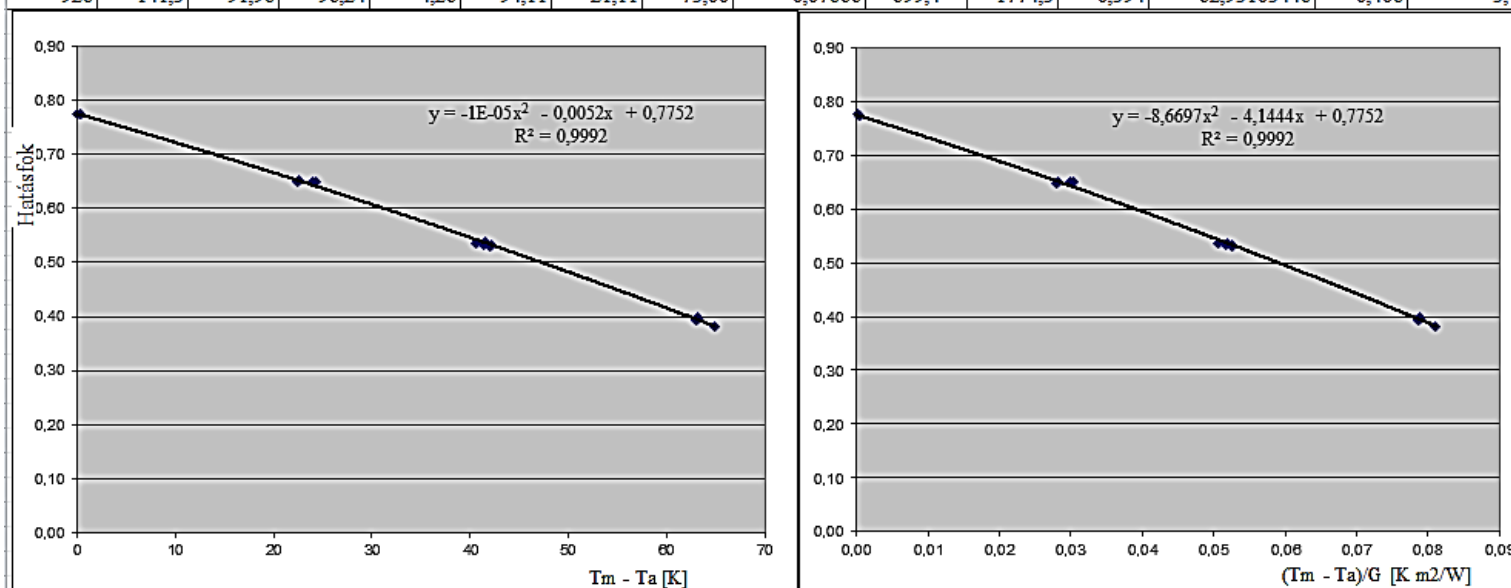
M4: Kollektor hatásfok görbe (hőmérséklet mérés tizedre)

G	m	T _{in}	T _a	T _a -T _{in}	T _m	T _a	T _m -T _a	(T _m -T _a)/G	Q _{blyadék}	Q _{sugár}	η	(T _m -T _a)/G ₈₀₀	fv. érték	eltérés a fv-től
[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[K m ² /W]	[W]	[W]	[-]	[K m ² /W]		%
804	141	20,2	27,5	7,3	23,85	24,0	-0,15	-0,00019	1196	1537,2	0,778	-0,1	0,777	-0,1
786	141	20,2	27,2	7,1	23,75	24,0	-0,25	-0,00032	1166	1502,8	0,776	-0,3	0,778	0,3
752	141	20,2	27,0	6,8	23,60	24,0	-0,40	-0,00053	1116	1437,8	0,776	-0,4	0,779	0,3
721	141	20,2	26,7	6,5	23,45	23,0	0,45	0,00062	1066	1378,6	0,774	0,5	0,774	0,0
841	141	44,9	51,3	6,4	48,10	23,0	25,10	0,02985	1045	1608,0	0,650	23,9	0,644	-0,9
894	140	44,9	51,7	6,8	48,30	23,0	25,30	0,02830	1109	1709,3	0,649	22,6	0,652	0,4
817	141	44,9	51,1	6,2	48,00	23,0	25,00	0,03060	1012	1562,1	0,648	24,5	0,641	-1,2
889	141	44,9	51,6	6,8	48,30	23,0	25,30	0,02846	1110	1699,8	0,653	22,8	0,650	-0,4
943	141	68,6	74,5	5,8	71,50	22,0	49,50	0,05249	951	1803,0	0,527	42,0	0,536	1,6
945	141	68,6	74,5	5,9	71,55	22,0	49,55	0,05243	967	1806,8	0,535	41,9	0,537	0,3
956	141	68,6	74,5	5,9	71,55	22,0	49,55	0,05183	967	1827,9	0,529	41,5	0,539	1,9
969	141	68,6	74,7	6,1	71,65	23,0	48,65	0,05021	999	1852,7	0,539	40,2	0,547	1,4
946	141	68,6	74,6	5,9	71,55	22,0	49,55	0,05238	967	1808,8	0,535	41,9	0,537	0,4
932	141	92,0	96,2	4,3	94,15	21,0	73,15	0,07849	706	1782,0	0,396	62,8	0,404	2,0
936	142	92,0	96,3	4,3	94,15	20,0	74,15	0,07922	707	1789,6	0,395	63,4	0,400	1,2
898	141	92,0	96,0	4,0	94,00	21,0	73,00	0,08129	657	1717,0	0,382	65,0	0,390	1,8
928	141	92,0	96,2	4,3	94,15	21,0	73,15	0,07883	706	1774,3	0,398	63,1	0,402	1,1



M5: Kollektor hatások görbe (hőmérséklet mérés századra)

G	m	T _{in}	T _e	T _e -T _{in}	T _m	T _a	T _m -T _a	(T _m -T _a)/G	Q _{előnyadék}	Q _{sugár}	η	(T _m -T _a)/G ₈₀₀	fv.érték	eltérése fv-től
[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[K m ² /W]	[W]	[W]	[-]	[K m ² /W]		%
804	141,2	20,20	27,45	7,25	23,83	23,54	0,29	0,00035	1189,5	1537,2	0,774	0,28358209	0,774	0,01
786	141,3	20,18	27,23	7,05	23,71	23,74	-0,04	-0,00004	1157,5	1502,8	0,770	-0,03562341	0,775	-0,67
752	141,2	20,17	26,97	6,80	23,57	23,50	0,07	0,00009	1115,7	1437,8	0,776	0,074468085	0,775	0,14
721	141,2	20,15	26,66	6,51	23,41	23,16	0,25	0,00034	1068,1	1378,6	0,775	0,27184466	0,774	0,13
841	140,5	44,85	51,25	6,40	48,05	22,91	25,14	0,02989	1044,8	1608,0	0,650	23,91438763	0,645	0,72
894	140,4	44,89	51,69	6,80	48,29	23,30	24,99	0,02795	1109,3	1709,3	0,649	22,36241611	0,654	-0,75
817	140,5	44,86	51,08	6,22	47,97	23,13	24,84	0,03040	1015,4	1562,1	0,650	24,32313341	0,643	1,13
889	140,5	44,85	51,64	6,79	48,25	23,22	25,03	0,02815	1108,5	1699,8	0,652	22,51968504	0,653	-0,14
943	141,1	68,61	74,45	5,84	71,53	22,04	49,49	0,05248	957,5	1803,0	0,531	41,98515376	0,539	-1,52
945	141,1	68,58	74,46	5,88	71,52	21,78	49,74	0,05263	964,0	1806,8	0,534	42,10793651	0,539	-0,92
956	141,0	68,59	74,53	5,94	71,56	22,11	49,45	0,05173	973,2	1827,9	0,532	41,38075314	0,543	-1,93
969	141,0	68,62	74,69	6,07	71,66	22,60	49,06	0,05062	994,5	1852,7	0,537	40,499484	0,548	-2,09
946	141,1	68,62	74,55	5,93	71,59	22,42	49,17	0,05197	972,2	1808,8	0,538	41,57716702	0,542	-0,78
932	141,3	91,95	96,24	4,29	94,10	20,54	73,56	0,07892	704,3	1782,0	0,395	63,13733906	0,407	-2,89
936	141,6	91,96	96,29	4,33	94,13	20,34	73,79	0,07883	712,4	1789,6	0,398	63,06410256	0,407	-2,31
898	141,3	91,97	95,97	4,00	93,97	21,19	72,78	0,08105	656,7	1717,0	0,382	64,83741648	0,396	-3,41
928	141,3	91,98	96,24	4,26	94,11	21,11	73,00	0,07866	699,4	1774,3	0,394	62,93103448	0,408	-3,47



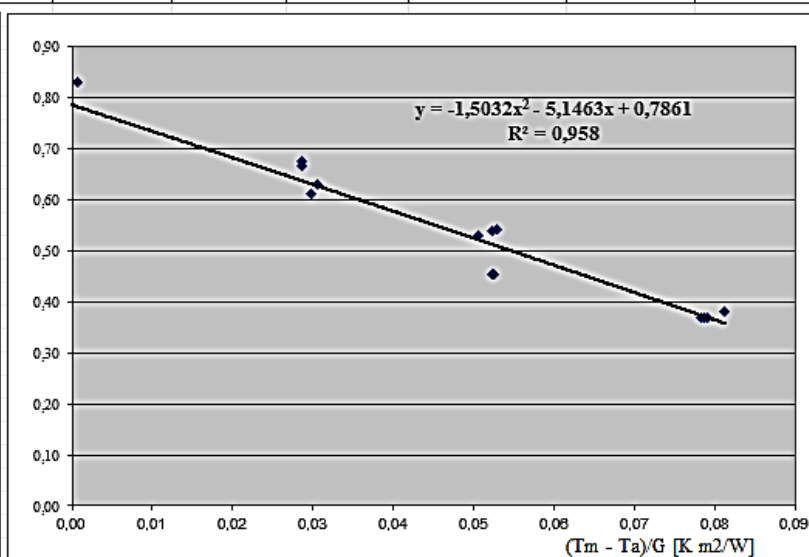
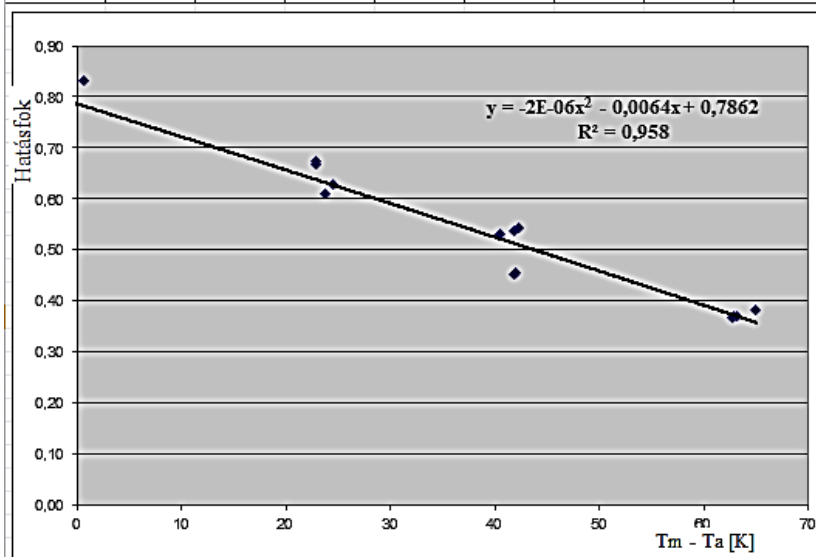
optikai hatásfok: 0,7752

k1= 4,16

k2= 0,008

M6: Kollektor hatások görbe (hőmérséklet mérés egészre)

G	m	T _{in}	T _e	T _e -T _{in}	T _m	T _a	T _m -T _a	(T _m -T _a)/G	Q _{felvétel}	Q _{sugár}	η	(T _m -T _a)/G ₈₀₀	fv. érték	eltérés a fv-től
[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[K m ² /W]	[W]	[W]	[-]	[K m ² /W]		%
804	141	20	27	7	23,5	24	-0,5	-0,00062	1147	1537	0,746	-0,5	0,789	5,4
786	141	20	27	7	23,5	24	-0,5	-0,00064	1147	1503	0,763	-0,5	0,789	3,3
752	141	20	27	7	23,5	24	-0,5	-0,00066	1147	1438	0,798	-0,5	0,789	-1,1
721	141	20	27	7	23,5	23	0,5	0,00069	1147	1379	0,832	0,6	0,782	-6,3
841	141	45	51	6	48,0	23	25,0	0,02973	983	1608	0,611	23,8	0,632	3,3
894	140	45	52	7	48,5	23	25,5	0,02852	1139	1709	0,666	22,8	0,639	-4,3
817	141	45	51	6	48,0	23	25,0	0,03060	983	1562	0,629	24,5	0,628	-0,2
889	141	45	52	7	48,5	23	25,5	0,02868	1147	1700	0,675	22,9	0,638	-5,7
943	141	69	74	5	71,5	22	49,5	0,05249	819	1803	0,454	42	0,514	11,5
945	141	69	74	5	71,5	22	49,5	0,05238	819	1807	0,453	41,9	0,514	11,8
956	141	69	75	6	72,0	22	50,0	0,05230	983	1828	0,538	41,8	0,515	-4,4
969	141	69	75	6	72,0	23	49,0	0,05057	983	1853	0,530	40,5	0,523	-1,4
946	141	69	75	6	72,0	22	50,0	0,05285	983	1809	0,543	42,3	0,512	-6,2
932	141	92	96	4	94,0	21	73,0	0,07833	655	1782	0,368	62,7	0,377	2,4
936	142	92	96	4	94,0	20	74,0	0,07906	660	1790	0,369	63,2	0,373	1,3
898	141	92	96	4	94,0	21	73,0	0,08129	655	1717	0,382	65	0,361	-5,6
928	141	92	96	4	94,0	21	73,0	0,07866	655	1774	0,369	62,9	0,375	1,6



optikai hatásfok: 0.7862

k1= 5,12

k2= 0,0016

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Farkas István professzor úrnak a kutatómunkám végzéséhez szükséges feltételek, valamint a megfelelő tudományos fórumokon való publikálási lehetőségek biztosítását. Köszönöm hasznos tanácsait és ösztönzését.

Köszönöm a Fizika és Folyamatirányítási Tanszék munkatársainak minden segítségét és a kedves, emberséges környezetet, amelyben jó volt dolgozni.

Kiemelten köszönöm családom és barátaim segítségét, feleségem és gyermekeim nélkülözhetetlen lelki támogatását.

Köszönetemet fejezem ki mindazok felé, akiket név szerint ugyan nem tudtam itt megemlíteni, de valamilyen módon hozzájárultak e munka létrejöttéhez.

Szolnok, 2015. május

Fekete István