



Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék

Napenergiát felhasználó abszorpciós hűtési rendszerek elemzése

Készítette: **Szabó Gábor** Létesítménymérnök hallgató

Belső konzulens: Dr. Kalmár Ferenc

Tanszékvezető: Dr. Kalmár Ferenc

Debrecen

2011.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
Bevezetés, köszönetnyilvánítás.....	3
I. A napenergia és hasznosítása.....	4
I.1. A napenergia és Magyarország szoláris adottságai	4
I.2. A napenergia hasznosítása.....	5
I.2.1. Napkollektorok.....	6
I.2.2. Napelemek.....	7
I.2.3. Naperőművek	7
I.2.4. Hűtés napenergiával	10
I.3. A sugárzást koncentráló kollektor szerkezetekkel nyerhető hőteljesítmény meghatározása.....	12
II. Abszorpciós hűtőgépek	15
II.1. Abszorpciós hűtőgépek felépítése működése	15
II.2. A termokémiai kompresszor felépítése, fontosabb részfolyamatai	16
II.3. Az abszorpciós hűtőgép termokémiai hatásfoka	19
II.3.1. A termokémiai kompresszor hőviszonyainak meghatározása.....	19
II.3.2. A termokémiai kompresszor hatásfokának meghatározása általános esetben	23
III. A vizsgált rendszer adatai és az eredmények	25
III.1. Az alkalmazott napkollektor adatai	25
III.2. Az alkalmazott abszorpciós hűtőgép adatai.....	29
III.3. A nyert adatok.....	30
Összegzés, tapasztalat:	38
Irodalomjegyzék.....	39

Bevezetés, köszönetnyilvánítás

A ma világát a globális felmelegedéstől és a szűkülő fosszilis energiaforrásoktól való félelem hatja át. Mindezek mellett növekszik az igény a minél komfortosabb belső terek létesítésére.

Ezeket az igényeket többféle módon lehet kielégíteni. Ha mindezt úgy szeretnénk tenni, hogy közben környezetünket védve gondoljunk unokáink Földjére, akkor az alkalmazott gépeknek a lehető legjobb hatásfokkal kell működni, úgy hogy az elsődleges energiaforrása megújuló jellegű legyen.

Jelen dolgozat egyenes folytatása a korábbi kutatásaimnak, ahol geotermális energiával működtetett nagyteljesítményű abszorpciós hűtőgépeket vizsgáltam. A mostani munkámban a kisebb gépek hatásfokának alakulását vizsgálom, egy másik megújuló energiaforrás felhasználásával.

A napenergia hasznosítás az épületgépészetben jellegzetesen a használati melegvíz előállításra korlátozódik. Egy lehetséges új felhasználási területe lehetne a hűtőtechnika, amennyiben az így előállított meleg vizet egy abszorpciós hűtőgépben hasznosítanánk. Ennek megvalósulásához több feltételnek kéne teljesülnie. Egyfelől az abszorpciós gép beüzemelési költségeinek kéne csökkennie, ami növekvő igények esetén elképzelhető. Másfelől akkor, ha a gép működése számítások során bizonyíthatóan jó hatásfokkal működik.

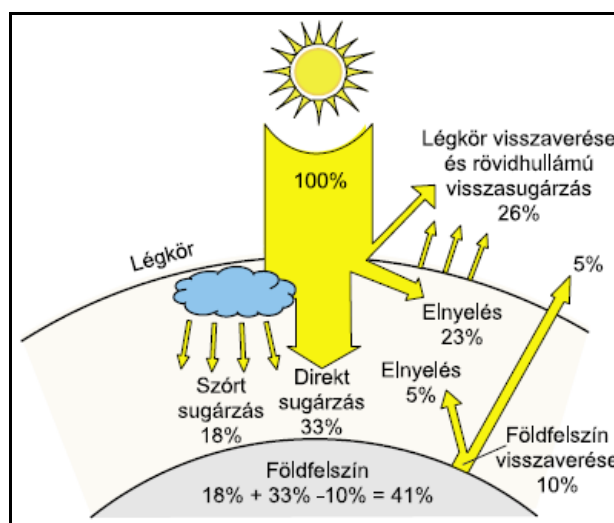
Ezen dolgozat megírásával ez utóbbira szeretnék bizonyítékot nyújtani.

A dolgozat megírásánál nagy segítséget kaptam témavezetőmtől Dr. Kalmár Ferenc főiskolai tanártól, az Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék vezetőjétől, akinek ezúton szeretnék köszönetet mondani fáradozásaiért.

I. A napenergia és hasznosítása

I.1. A napenergia és Magyarország szoláris adottságai

A Nap nagyrészt plazma állapotban lévő hidrogénből álló gáztömb tömegében magfúzió, vagyis termonukleáris hőtermelés zajlik, melynek során hidrogén héliummá alakul. A magfúzió következtében Nap külső felületének a hőmérséklete megközelítőleg 6000 [K] . E rendkívüli magas hőmérséklet következtében a Nap a világűr felé rövid hullámhosszú elektromágneses fény-sugárnyalábot bocsát ki. [1]

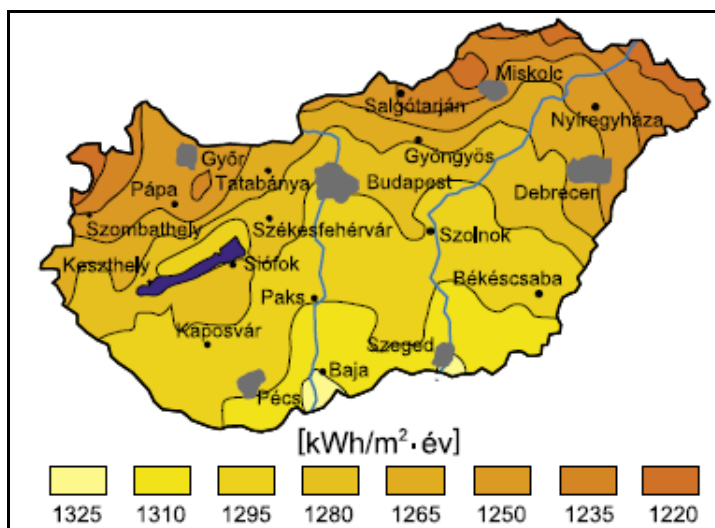


1. ábra A napsugárzás földi energiameérlege [1]

Magyarországról

Magyarország az északi mérsékelt övben található. Földrajzi fekvéséből adódóan, napsugárzás-jövedelem szempontjából hazánk a közepes adottságú országok közé sorolható. A vízszintes felületre érkező éves átlagos napsugárzás értéke $\sim 3,5\text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{nap)]}$. Ugyanez az érték a legkedvezőbb adottságú, ráktérítő és baktérítő közötti trópusi égővben $5-7\text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{nap)]}$. Magyarország területén belül a legnaposabb rész az ország középső, déli része, a legkevesebb a napsütés az északi és a nyugati részen. Ténylegesen megvizsgálva azonban az eltérést az egyes országrészek napsugárzás-viszonyai között, megállapítható, hogy a különbség a legjobb és a legrosszabb adottságú térség között kevesebb, mint 8 [%] . Ez nem olyan mértékű eltérés, ami döntő mértékben befolyásolná egy napenergia-hasznosító rendszer működését. [1]

Ezért kijelenthető, hogy Magyarország egész területe egységesen alkalmas napkollektoros hőtermelő berendezések megvalósítására. Az 2. ábrán a Magyarország területén vízszintes felületre érkező globális (direkt és szórt sugárzás együtt) napsugárzás mennyisége látható. A legnaposabb déli országrészeken ez az érték ~ 1325 $[kWh/(m^2 \cdot nap)]$, a rosszabb adottságú részeken pedig ~ 1220 $[kWh/(m^2 \cdot nap)]$. Ezek a sugárzási adatok vízszintes felületre vonatkoznak, a hasznosítás szempontjából kedvezőbb, megközelítőleg déli tájolású és $40-45$ $[^\circ]$ körüli dőlésszögű felületre azonban a vízszinteshez képest kb. 15 $[\%]$ -kal több napsugárzás érkezik. Magyarországon tehát egy optimális elhelyezkedésű felületre megközelítőleg $1400 - 1500$ $[kWh/(m^2 \cdot nap)]$ hőenergia érkezik a Napból. [1]



2. ábra A globál sugárzás megoszlása Magyarországon [1]

I.2. A napenergia hasznosítása

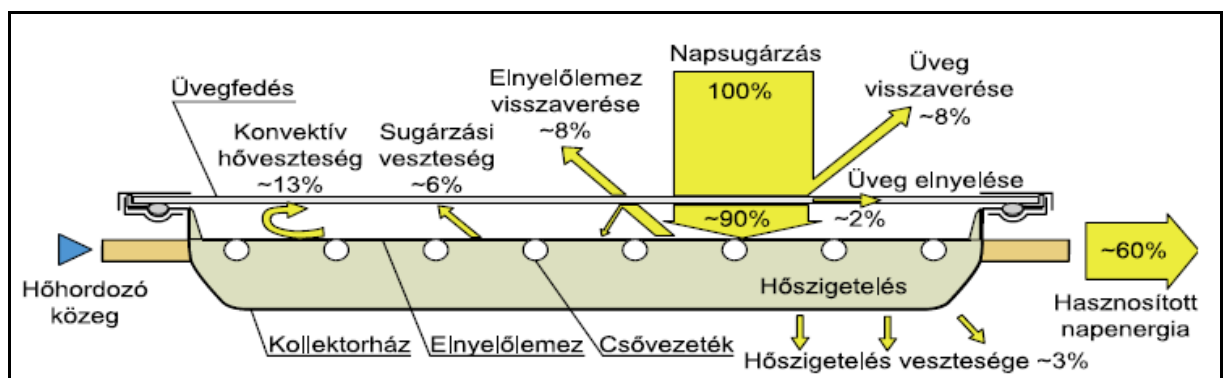
A legkedvezőbb értékhez képest a magyarországi napsugárzás csak mintegy $50-60$ $[\%]$ körüli érték, ez azonban nem jelenti azt, hogy ez ne lenne elegendő a reális hasznosítás számára. Jó példaként fel lehet hozni a szomszédos Ausztriát vagy Németországot, ahol az érkező napsugárzás mennyisége még kevesebb, mint hazánkban, mégis a megvalósult napkollektoros rendszerek száma sokszorosa a hazainak. Németország a világon az 5. helyen áll a felszerelt napkollektorok számát illetően, a szomszédos Ausztriában pedig több mint 3 millió négyzetméter napkollektor üzemel, amivel szomszédaink az egy főre jutó napkollektorok számát illetően világelsők. [1]

Ezek a rendszerek a gyakorlatban bizonyították, hogy a napkollektoros hőtermelés a magyarországi napsugárzásnál gyengébb viszonyok mellett is reális alternatívája lehet a hagyományos, döntően fosszilis energiahordozók elégetésén alapuló hőenergia előállításnak. A napenergia közvetlen hasznosításának legelterjedtebb módjait két fő csoportba szokás sorolni. Ezek egyike az ún. 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. [1]

I.2.1. Napkollektorok.

A napenergia összegyűjtésre szolgáló berendezések működési hőmérséklete a felhasználási céltól függően különböző lehet: 20 és 100 $^{\circ}\text{C}$ között változik. A burkolat nélküli hőelnyelők fekete felületű műanyagból vagy fémből készülnek, megjelenési formájuk lehet lemez, paplan, szőnyeg, cső vagy tömlő. Ezek az olcsóbb berendezések legfeljebb 40 $^{\circ}\text{C}$ -ig alkalmasak a napenergia hasznosítására, és csak a nyári időszakban működőképesek. Igen jól használhatók például uszodavíz melegítésére, vagy hőszivattyúk energiagyűjtőjeként. [1]

A napkollektorok a felületükre érkező napsugárzásnak csak egy részét alakítják át hasznos hőenergiává. Hasznosított hőenergiának azt nevezzük, amit a hőhordozó közeggel elvezetünk a kollektorból (3. ábra). A hasznosított hőenergia és a kollektorfelületre érkező napsugárzás hányadosa határozza meg a napkollektorok hatásfokát. [1]



3. ábra Napkollektorok jellemző veszteségei [1]

I.2.2. Napelemek

A napelemek olyan szilárdtest eszközök, amelyek a fénysugárzás energiáját közvetlenül villamos energiává alakítják. Az energiaátalakítás alapja, hogy a fény elnyelődésekor mozgásképes töltött részecskéket generál, amiket az eszközben az elektrokémiai potenciálok, illetve az elektron kilépési munkák különbözőségéből adódó beépített elektromos tér rendezett mozgásra kényszerít. A fotovoltaiikus elemek abban különböznek a napelemektől, hogy árnyékban is képesek áramot termelni, nem csak napsütésben. [1]

A legjobb hatásfokú napelemek kristályos szilíciumból (23 [%]) és gallium-arzenidből (25 [%]) állíthatók elő. Koncentrátorral ezek a hatásfokok 28-30 [%]-ra nőnek. Az eddig mért legjobb hatásfok 34 [%], ezt gallium-arzenidből és gallium-antimonitból álló réteges cellával, 100-szoros koncentrátorral érték el. [1]

A napsugárzás koncentrálásával (többfotonos technológia; vagyis apró lencsék alkalmazása) a hatásfok elméletileg 66 [%]-ra növelhető. A legkorszerűbb gáztüzelésű erőművek hatásfoka közel 60 [%]. [1]

A napelemekből kinyerhető teljesítmény függ a fény beesési szögétől, a megvilágítás intenzitásától, és a napelemre csatolt terheléstől. A fény intenzitásátkevésbé tudjuk befolyásolni (nem takarjuk el a napelemet szándékosan), míg a másik két paraméter elméletileg kézben tartható. [1]

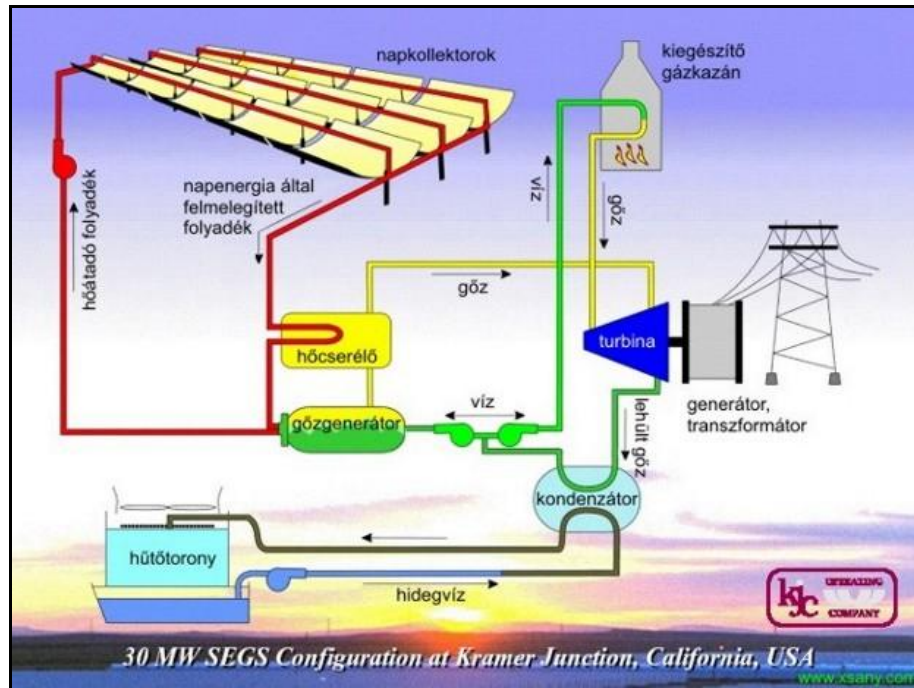
I.2.3. Naperőművek

A 4 ábrán egy Kaliforniában megépült naperőmű elvi sémája látható. Ha letakarjuk a séma bal oldalát, akkor egy gázfűtésű hőerőművet látunk az ábrán. [1]

A szárazgőz az erőművi technológiák alapja, nagy nyomású és magas hőfokú (*kb. 10 [bar] 395 [°C]*) vízgőz, ami a turbinát meghajtja. (a "normál" gőzből túl gyorsan kicsapódik, és a vízcseppek gyorsan "megeszik" a turbinalapátokat). [1]

Az elv gyakorlatilag azonos. A napenergia vagy a gázkazán által megtermelt hő hőcserélőkön keresztül szárazgőzt termel, ami a turbinát meghajtja. A turbina által megforgatott és a hálózatra szinkronizált generátor termeli az áramot. A turbináról a gőz a kondenzátorba kerül, ahol a hűtővíz egy hőcserélőn keresztül lehűti. A hűtővíz a hűtőtoronyban leadja a felvett hőt, a kondenzvíz pedig ismét a hőcserélőhöz kerül, ahol vagy a napenergia vagy az elégetett gáz hőjét veszi fel. [1]

A teknő alakú tükrök fókuszpontjában egy cső található, ami a visszavert napsugarakat elnyeli, és a keletkezett hőt a benne áramló hőátadó folyadéknak továbbítja. A "teknők" napkövető mechanizmussal mindig a Nap irányába fordulnak, így ha süt a Nap, az erőmű is működik. [1]



4. ábra Naperőmű sémája [1]

A hőátadás két lépcsőben történik. A már részben lehűlt hőátadó folyadék a gőzgenerátorban elgőzölteteti a kondenzvizet, majd az így keletkező gőz hőmérsékletét emeli tovább a hőcserélőben a magas hőfokú folyadék, és ezáltal szárazgőzt állít elő. A legtöbb naperőmű hasonló elven működik, azaz egy hőátadó folyadékkal a hőt egy klasszikus erőműben alakítják át villamos energiává. [1]

Naperőművek típusai [1]

- **Napteknő (eng: solar trough, deu: Parabolrinne):**

Teknő alakú tükrök követik a Nap mozgását, a tükrök fókuszában egy cső található, benne hőátadó folyadék kering és veszi fel a hőt.

- **Naptorony (eng: solar tower, deu: Heliostat):**

Koncentrikus körökbe telepített nagy felületű és napkövető síklap tükrök irányítják a visszavert fényt a középpontban álló torony tetejére. Itt egy tartályban található a hőátadó folyadék, ami felveszi a hőt.

- **Naptányér (eng: solar dish, deu: Paraboloid):**

Több korong alakú homorú tükröt mozgat egyszerre a napkövető állványzat. A tükrök közös fókuszpontjában veszi át a hőt a hőátadó folyadék.

- **Napkémény (eng: solar tower(2), Solar chimney, Solar flue):**

Nagy földterületet borítanak kör alakú üveg vagy műanyagszerkezettel, ami a kör közepe irányába magasodik. Középen egy magas torony található, benne szélturbina vagy szélturbinák.

- **Naptó (eng: solar ponds):**

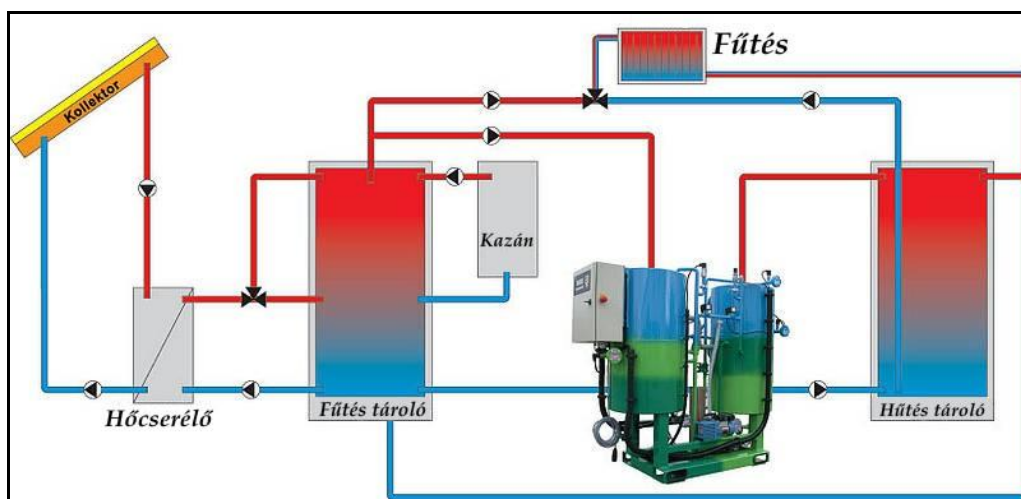
A naptó a napenergiából keletkező hőt tárolja úgy, hogy akadályozza a felmelegített vizet felszínre jutásban. Az alsó rétegében oldott só található, így ez a víz túl nehéz ahhoz, hogy a felszínre áramolhasson.

			
Jellege:	farm	farm	torony
Kollektor típusa:	teknő	tányér	torony
Koncentrálóképeség	10...100	100...600	100...1000
Elnyelő hőmérséklet ($[^{\circ}\text{C}]$)	150...350	400...900	450...1200
Hatásfoka ($[\%]$)	6...12	8...20	15...25
Kollektorra vetített teljesítménye ($[\text{m}^2/\text{kW}]$)	20...10	16...6	8...5
Beépített felületre vetített teljesítménye ($[\text{m}^2/\text{kW}]$)	80...40	60...25	40...20
Hűtőfolyadék	termo-olaj	termo-olaj	-
Munka (hőátvevő) folyadék	szerves folyadék, víz	víz, gáz	víz, levegő, hélium, nátrium
Turbina típusa	csavaros, gőzturbina Stirling-motor		gőzturbina, gázturbina

1. táblázat A napteknő, naptorony és naptányér típusú erőművek összehasonlítása [1]

I.2.4. Hűtés napenergiával

A hűtés és a klimatizálás energiaszükséglete állandóan növekszik. A hagyományos klímaberendezések energiaigénye és ezáltal költsége egyre magasabb. Ahhoz, hogy a klimatizálásnál energiaköltségeket takarítsunk meg, a szoláris hűtés egy optimális megoldás. Ehhez a szoláris hűtéssel a nyári napenergia-többletet abszorpciós hűtőberendezésekben hideg energiává alakítatjuk át. Ugyanezt a napenergia berendezést alkalmazzuk a melegvíz előállításához, valamint az átmeneti- és a téli hónapokban a fűtéshez (5. ábra). A nyári hónapokban felhalmozódott többlet napenergiát ezáltal hűtésre is használhatjuk. [1]

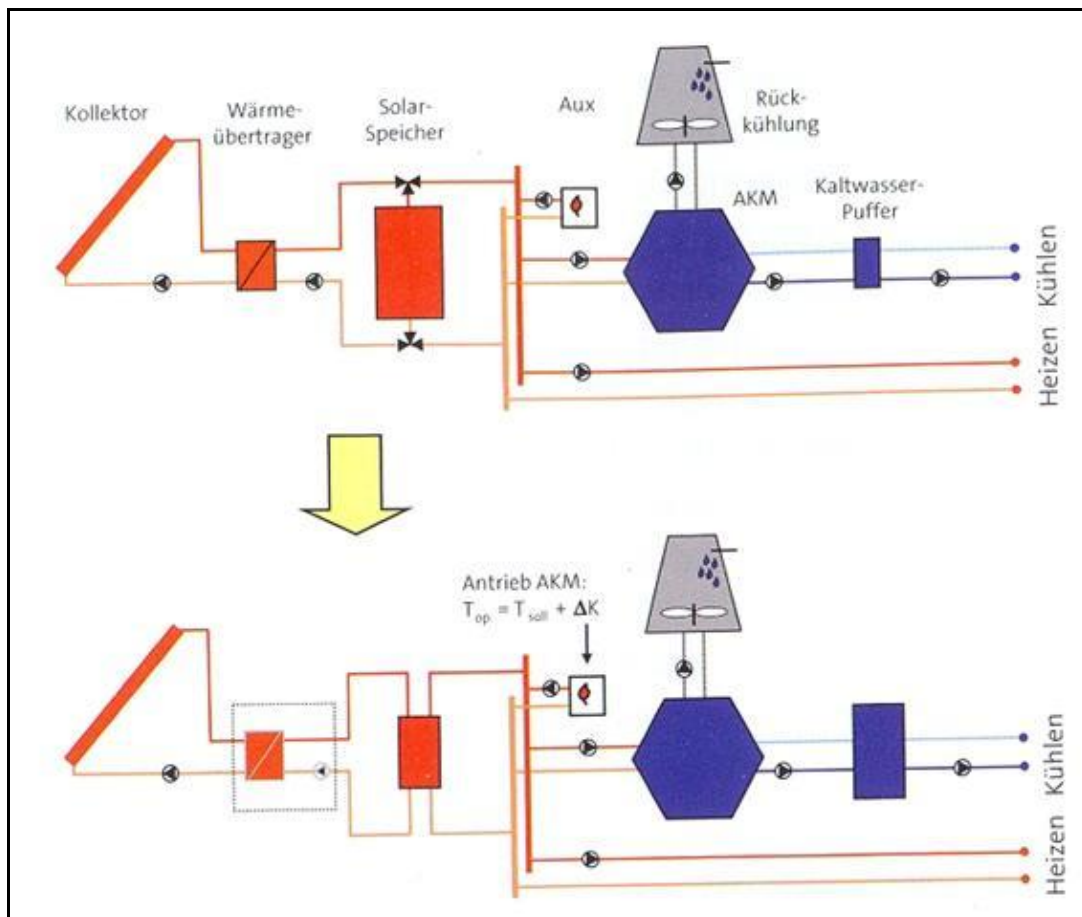


5. ábra Napenergia-forrásról működő hűtési rendszer sémája [1]

Ma Magyarországon az ilyen jellegű gépek és rendszerek nem számítanak elterjednek elsősorban az abszorpciós hűtés nagy beruházási költsége miatt. De például Németországban utóbbi időben eléggé terjedőben van a rendszer, így lehetőség nyílik a rendszer üzemeltetésével kapcsolatos kérdések alaposabb vizsgálatára.

A napenergia hőforrással működtetett hűtési rendszerek összetettsége folyamatosan növekszik. A megvalósult beruházások tapasztalata azt mutatja, hogy egy egyszerű hidraulikus rendszer megoldás kidolgozását nehezíti a rendszer által igényelt komplex ellenőrzés és folyamatos szabályozás. Az optimalizált rendszer súlypontja a hidraulikus rendszer-alkotóelemek jellemzőinek megfelelő tervezése és szabályozása kell legyen.

A 6. ábra felvázolja a megfelelő hidraulikus rendszer egy lehetséges egyszerűsítését.



6. ábra Egy napenergiás hűtőrendszer elméleti és gyakorlati kapcsolása [2]

Wärmeübertrager – hőcserélő, *Solar-Speicher* – melegvítároló,

Aux – segédenergia-forrás a fűtéshez illetve hűtéshez,

Rückkühlung – Hűtőtorony, *AKM* – Abszorpciós hűtőgép,

Kaltwasser-Puffer – Hidegvítároló, *Kühlen* – hűtővíz-kör, *Heizen* – fűtővíz-kör

Az ábra felső részén egy általánosan használt áramköri kapcsolás látható, ahol is lehetséges a napenergiából nyert hőt egy pufferben (melegvítároló) tárolni, vagy megfelelően magas hőmérséklet esetén, közvetlenül hasznosítani egy az abszorpciós hűtőben. Üzemi tapasztalatok azt mutatják, hogy az ilyen megoldásoknál technikai nehézségek miatt a melegvítároló kihasználtsága jelentősen csökken és a magas beruházási költségek miatt ezt az alkotóelemet nem lehet megfelelően kihasználni. [2]

Ezért az alsó képen látható megoldásnál a 3-utú szelepet elhagyjuk. Amiatt, hogy a megfelelő hőmérsékletű fűtővíz gyorsan elérhető a hűtőgép számára, a melegvítároló méretét csökkenteni, a hidegvítárolóét növelni lehet. [2]

Akkor alkalmazható ez a megoldás, ha az épület hűtési igénye alacsonyabb. [2]

I.3. A sugárzást koncentráló kollektor szerkezetekkel nyerhető hőteljesítmény meghatározása

A sugárzást koncentráló szerkezetekben a hőtechnikailag értékes felületek csökkentése érdekében, tükör vagy lencseszerkezet felhasználásával nagy energiasűrűséget hoznak létre. A kisebb elnyelő felületek, megfelelő üzemi körülmények mellett kisebb hővesztést jelentenek. [6]

A sugárzást; koncentráló kollektor szerkezetek teljesítményét jórészt a következő tényezők befolyásolják [6]:

- optikai úton végbemenő koncentrációhoz közvetlen sugárzás szükséges, a szórt sugárzás kárba vész [6]
- veszteséget jelent minden olyan szóródás, amely a napsugarak párhuzamosságát megszünteti [6]
- veszteséget jelentenek a tükröző szerkezetek megmunkálási és anyaghibái vagy a szerkezet elszennyeződése [6]
- veszteséget jelent a pontatlan napkövetés [6]

A koncentráló kollektorok hasznos hőteljesítményét a következő összefüggésből számíthatjuk [6]:

$$\dot{Q} = \frac{U_0}{U_k} \cdot A_t \cdot \left[I_a \cdot \frac{A_A}{A_t} \cdot U_k \cdot (t_{f,1} - t_k) \right] \quad (1)$$

Ahol a tényezők jelentése a következő:

- U_0 – A hőhordozó folyadék és a környezet között fellépő hőátbocsátási tényező
- U_k – Az elnyelő szerkezet hőátbocsátási tényezője:
- A_t – A parabola tükör felülete.
- I_a – A sugárzási hőátadási tényező:
- A_A – Az abszorber felülete.
- $t_{f,1}$ – Az abszorber csőbe belépő közeg hőmérséklete.
- t_k – A környezeti hőmérséklet.

Az összefüggésben szereplő tényezők közül háromnak a származtatása összetettebb és kevésbé ismert képlet segítségével történik [6].

A hőhordozó folyadék és a környezet között fellépő hőátbocsátási tényezőt a következő módon határozhatjuk meg [6]:

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{U_k} + \frac{D_k}{\alpha_i \cdot D_b} + \frac{D_k \cdot \ln \frac{D_k}{D_b}}{2 \cdot \lambda}} \quad (2)$$

Ahol a szimbólumok jelentése a következő [6]:

- D_k – Az abszorber cső külső átmérője.
- D_b – Az abszorber cső belső átmérője.
- λ – Az abszorber cső hővezetési tényezője.
- α_i – A folyadék és az abszorber fala közötti hőátadási tényező

Az elnyelő szerkezet (az abszorber cső) hőátbocsátási tényezője [6]

$$U_K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (3)$$

Ahol a szimbólumok jelentése a következő [6]:

- α_k – Az elnyelő és a környezet közötti hőátadási tényező.
- α_s – A sugárzási hőátadási tényező.

A sugárzási hőátadási tényezőt a következőképp lehet meghatározni [6]:

$$I_a = I_N \cdot R \cdot r \cdot \alpha \cdot \gamma \quad (4)$$

Ahol a szimbólumok a következőket jelentik.

- R – A napkövetés szöghibáiból származó tényező.
- r – A tükör reflexiós tényezője.
- α – Az abszorber sugárzás elnyelési tényezője.
- γ – A tükör optikai hatásfoka.
- I_N – A normális irányú sugárzó komponens.

A tükör optikai hatásfoka a következő összefüggéssel számolható [6]:

$$\gamma = 1 - e^{-h^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot f}{D}\right)^2} \quad (5)$$

- f – A gyújtópont fókusztávolsága.
- D – A tükör átmérője.
- h – A normál eloszlás koefficiense, értéke a következő képletből számolható:

$$h = \sqrt{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot f \cdot \tan 16'}{\cos \Phi} \right) \cdot I_{DIR} \quad (6)$$

A (6) egyenletben szereplő új kifejezések jelentése [6]:

- Φ – A nap beesési szöge.
- I_{DIR} – A direkt napsugárzás intenzitás.

A normális irányú sugárzó komponenst a következő képlettel számolhatjuk [6]:

$$I_N = R^* \cdot I_0 \quad (7)$$

Ahol a tényezők jelentése a következő [6]:

- R^* – Tényező, értékét ábrából olvassuk le.
- I_0 – A vízszintes felületre érkező teljes sugárzási teljesítmény.

II. Abszorpciós hűtőgépek

II.1. Abszorpciós hűtőgépek felépítése működése

A hűtőgépek négy fő részből épülnek fel: kompresszor, elpárolgató, kondenzátor, és expanziós gép. Az abszorpciós hűtőgépeknél a hűtőközeg sűrítését mechanikus kompresszor helyett egy termokémiai kompresszor végzi, ami maga is 4 fő részből áll: abszorber, kiűző, fojtás és oldatkeringtető szivattyú.

Az (melegvítámaszú) abszorpciós hűtőgépben megvalósuló körfolyamatot a következő módon lehet leírni:

Az alacsony nyomású elpárolgatóban elpárolog a hűtőközeg, melynek hőmérséklete $4-5 [^{\circ}\text{C}]$. A párolgáshoz szükséges hőt a hűtendő közegtől vonja el, amely így lehűl. Ezáltal megvalósul a gép működtetésének elsődleges célja. Az elpárolgott hűtőközeg, a kialakuló gőz nyomáskülönbség hatására az abszorberbe áramlik. Itt a hűtőközeg kb. $27-32 [^{\circ}\text{C}]-on$ kondenzálódik, és elnyelődik az abszorber anyagban. A kondenzálódáskor hő szabadul fel, melyet a hűtőtorony felől érkező hűtővízzel vezetünk el. Az abszorberben keletkező hűtőközeg-abszorber anyag cseppfolyós oldatát, az úgynevezett gazdag oldatot az oldatkeringtető szivattyú szállítja a nagynyomású kiűzőbe.

A kiűzőben szétválasztjuk a gazdag oldatot hűtőközeg gázra és hűtőközegben szegény oldatra. Ennek eléréséhez fűtőközeg segítségével hőt viszünk be a kiűzőbe. A szegény oldatot egy fojtáson keresztül visszavezetjük az abszorberbe. Az energia visszanyerés céljából a kiűzőbe való belépés előtt a gazdag oldatot elő szokás melegíteni a kiűzőből távozó szegény oldat hőenergiájával. A kiűzőből távozó nagynyomású és forró hűtőközeg-gáz a nagynyomású kondenzátorba áramlik, ahol közel $37-42 [^{\circ}\text{C}]-on$ kondenzálódik. A felszabaduló hőt az abszorber felől érkező hűtővízzel szállítják el a hűtőtorony irányába. A kondenzálódott hűtőközeget, egy expanziós gépen (általában fojtáson vagy termosztatikus adagolón) keresztül visszajuttatják az elpárolgatóba, ahol a folyamat kezdődik előlről.

Az abszorpciós hűtőgépek csoportosítása sokféle lehet. A két legelterjedtebb csoportosítás a következő:

- Alkalmazott munkaközeg és abszorber anyag szerint
- Alkalmazott fűtőközeg szerint

A hűtőközeg és az abszorber anyag szerint sokféle abszorpciós hűtőgép létezik. Ezek közül jelenleg két típus számít elterjedtnek. Az egyik ammónia hűtőközegű és víz abszorbensű, míg a másik víz hűtőközegű és lítium-bromid abszorbensű. Az előbbi szinte kizárólag ipari hasznosítás esetén használják.

Az alkalmazott fűtőközeg szerint két nagy csoportja van a gépeknek:

- melegvítámaszú hűtőgépek
- gőztámaszú hűtőgépek.

Az első csoportban fűtőközeg $80-120\text{ }[^\circ\text{C}]$ hőmérsékletű melegvíz, míg a másodikban $2-9\text{ }[bar]$ túlnyomású gőz. A melegvítámaszú hűtőgépeket kisebb rendszereknél, míg a gőztámaszú gépeket jellegzetesen ipari fogyasztóknál, például távhűtésnél alkalmazzák.

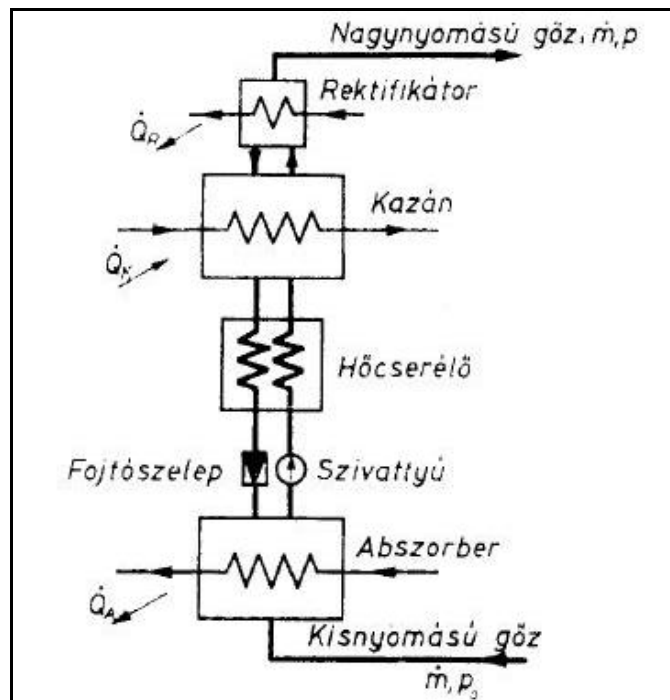
Az abszorpciós hűtőgépeknek két nagy hátránya van. A kisebbik az, hogy $0\text{ }[^\circ\text{C}]$ hőmérsékletű hidegvizet nehéz előállítani vele (csak speciális abszorbens-hűtőközegeknél). A nagyobb hátránya az, hogy magas a beruházási költségük. Így tehát ott érdemes csak beruházni rá, ahol a fűtőközeg valamely más technológia mellékterméke folytán (pl. hulladékhő) olcsón rendelkezésre áll.

II.2. A termokémiai kompresszor felépítése, fontosabb részfolyamatai

A termokémiai kompresszor feladata ugyanaz, mint a mechanikus vagy a gőzsugár-kompresszoroké: a munkaközeg hőmérsékletszintjének növelése úgy, hogy az alacsony hőmérsékletszinten elvont hőmennyiség, a hőleadás magasabb hőmérsékletszintjén átadható legyen a hőfelvevő közegnek. [3]

A termokémiai kompresszort elsősorban az jellemzi, hogy a folyamat megvalósítása hőenergiát igényel. Mechanikai energiára vagy egyáltalán nincs szüksége vagy csak alárendelt mértékben: szivattyúk, segédberendezések, automatika, stb. üzemeltetésére. Felépítési vázlatát az 7. ábrán mutatom be:[3]

Hogy a hőenergia közvetlenül használható legyen, egykomponensű munkaközeg helyett kétkomponensű munkaközeget kell használni. Az alacsonyabb hőmérsékleten keletkezett hűtőközeg gőzt valamely alkalmasan megválasztott oldószerrel hígítva egy magasabb hőmérséklet szinten is cseppfolyósítani lehet, anélkül, hogy a nyomását növelni kéne. [3]



7. ábra Egyfokozatú termokémiai kompresszor kapcsolása [3]

A hígításhoz tiszta oldószer helyett a hűtőközeg és az oldószer megfelelően alacsony koncentrációjú oldata, azaz a szegény oldat is használható. Ez az alacsony nyomású cseppfolyósítás az abszorberben megy végbe. Magyarán: A szegény oldat elnyeli a hűtőközeg gázt és úgynevezett gazdag oldat keletkezik. A cseppfolyós gazdag oldatból a hűtőközeget a hőleadás hőmérsékletszintjének megfelelő telítési nyomáson kell visszanyerni. Ez két lépésben történik. Először a keringtető szivattyú, a nagy nyomású kiűzőbe juttatja, majd ott hőenergia bevezetéssel szétbontjuk a gazdag oldatot nagy nyomású, cseppfolyós szegény oldatra és nagy nyomású hűtőközeg gázra. Ez utóbbi elvétve tartalmazhat oldószert is, ilyen esetekben célszerű rektifikátort alkalmazni, melynek feladata az, hogy a termokémiai kompresszorból távozó nagynyomású gőzben csökkentse az oldószer arányát. [3]

A szegény oldat míg visszajut az abszorberbe javasolt egy oldat hőcserélőn átvezetni, hogy lehűljön a kívánt hőmérsékletre, egyúttal előmelegítse a kiűzőbe tartó gazdag oldatot, valamint át kell mindenképp vezetni egy fojtáson, hogy a nyomása ne legyen nagyobb, mint az abszorberben szükséges. [3]

Ha megfelelő oldószert alkalmazunk az oldat szivattyúzásához szükséges munka nagyságrendileg kisebb lesz, mint az a munka, amelyet a mechanikus kompresszor alkalmazása esetén lenne szükséges a hűtőközeg komprimálásához és szállításához. [3]

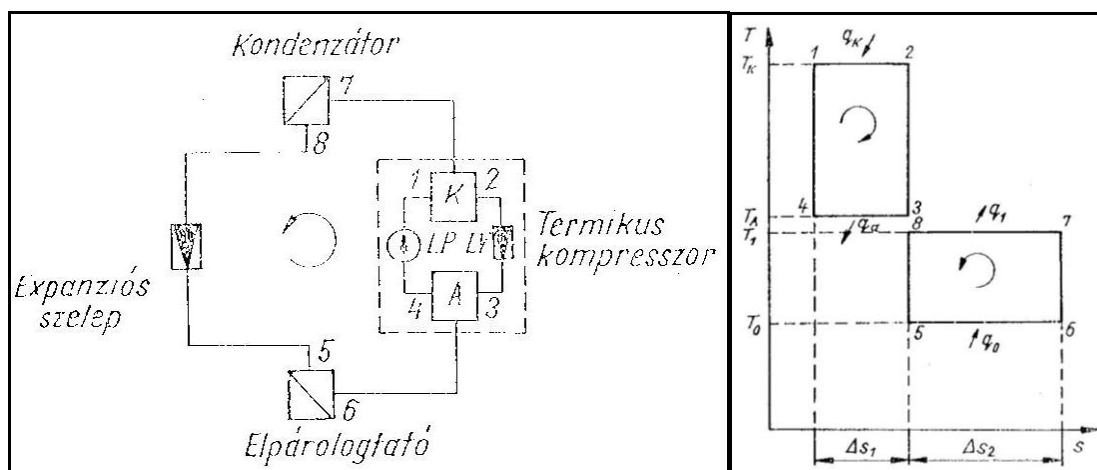
A termokémiai kompresszor részegységei a következők [3]:

- abszorber (oldó)
- oldat keringtető szivattyú
- kiűző (kazán, generátor)
- rektifikátor
- fojtás
- belső hőcserélő

A termokémiai kompresszor részfolyamatai, pedig [3]:

- folyamatos oldás (abszorpció)
- oldatszivattyúzás
- folyamatos kigázosítás (kiűzés)
- a hűtőközeg gőz dúsítása
- az oldat nyomásának csökkentése fojtással
- belső hőcsere

A szorpciós hőszivattyúknál és hűtőgépeknél ideális összehasonlító körfolyamatok alapjaként a Carnot-körfolyamat jöhet számításba. A 8. ábra az abszorpciós hűtőgép ideális összehasonlító Carnot-körfolyamatát ábrázolja T-s diagramban. Ez elvileg felosztható egy munkát szolgáló (1-2-3-4) körfolyamatra és egy (5-6-7-8) hőszivattyú körfolyamatra. Ideális esetben a két terület nagysága egyenlő.[4]



8. ábra Abszorpciós hűtőgép kapcsolása illetve Carnot-körfolyamatának ábrázolása T-s diagramban [4]

II.3. Az abszorpciós hűtőgép termokémiai hatásfoka

II.3.1. A termokémiai kompresszor hőviszonyainak meghatározása

A hasznos és a felhasznált energia hányadosát a kompresszorok mechanikai meghajtó energiájára vonatkoztatott fajlagos hűtőteljesítménytől megkülönböztetve hőviszonynak hívjuk, hiszen azt a meghajtó energia hőbevitelére vonatkoztatjuk.

A hőviszony jele ζ és a következőképpen határozzuk meg:

$$\zeta_K = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_K + P_{sz}} \cong \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_K} \quad (8)$$

Fajlagos értékek felírásával is igaz marad az egyenlet:

$$\zeta_K = \frac{q_0}{q_K} \quad (9)$$

Megkülönböztetünk valós és ideális hőviszonyt, annak függvényében, hogy mit írunk a fenti képletben szereplő kifejezések értékének. Amennyiben a gép üzemviszonyainak megfelelő értékeket, úgy valós hőviszonyról, míg ha a Carnot-körfolyamatnak megfelelő adatokat írunk be, akkor az ideális hőviszonyt tudjuk meghatározni.

II.3.1.1. A valós hőviszony meghatározása

A hőbevitel a kiűzőben a fűtővíz hőleadása alapján határozható meg:

$$\dot{Q}_F = c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki}) \quad (10)$$

Ahol:

- c_F – A fűtőközeg közepes fajhője [kJ/kg·K];
- $\dot{m}_F$ – A fűtőközeg tömegárama [kg/s];
- $T_{F,be}$ – A fűtőközeg kiűzőbe belépő hőmérséklete [K]-ben
- $T_{F,ki}$ – A fűtőközeg kiűzőből kilépő hőmérséklete [K]-ben.

Az alkalmazott fűtőközeg vagy folyékony, vagy gőz halmazállapotú. Ennek megfelelően kell behelyettesíteni a képletbe.

A hűtőteljesítmény a hűtött víz által leadott hőmennyiségnek felel meg:

$$\dot{Q}_0 = c_{HT} \cdot \dot{m}_{HT} \cdot (T_{HT,bs} - T_{HT,ki}) \quad (11)$$

Ahol:

- c_{HT} – A hűtött víz fajhője, [kJ/kg·K];
- $\dot{m}_{HT}$ – A hűtött víz tömegárama, [kg/s];
- $T_{HT,be}$ – A hűtött víz hűtőgépbe belépő hőmérséklete [K]-ben;
- $T_{HT,ki}$ – A hűtött víz hűtőgépből kilépő hőmérséklete [K]-ben.

A gyakorlatban a valós hűtési teljesítményt a gyártók következő ajánlásával határozzák meg:

$$\dot{Q}_0 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_{f,n}} \cdot \dot{Q}_n \quad (12)$$

Ahol:

- η_1 – A belépő hűtővíz hőmérsékletétől függő tényező, [%]-ban;
- η_2 – A hőforrás hőmérsékletétől függő tényező, [%]-ban ;
- η_3 – A kilépő hűtött víz hőmérsékletétől függő tényező, [%]-ban ;
- $\dot{Q}_n$ – A gyártó által megadott névleges hűtőkapacitás, [kW] – ban;
- $\dot{Q}_{f,n}$ – A gyári katalógus adatai alapján a $\dot{Q}_n$ névleges hűtőkapacitás

előállításához szükséges névleges fűtőteliesség, [kW]-ban.

Bevezetve az $\eta_4 = \dot{Q}_f / \dot{Q}_{f,n}$ tényezőt a következő összefüggést nyerjük:

$$\dot{Q}_0 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \dot{Q}_n \quad (13)$$

A valós hőviszony meghatározása így a következő módokon lehetséges:

$$\zeta_{K,1} = \frac{c_{HT} \cdot \dot{m}_{HT} \cdot (T_{HT,be} - T_{HT,ki})}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,be} - T_{F,ki})} \quad (14)$$

$$\zeta_{K,2} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_{f,n}} \cdot \dot{Q}_n}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,be} - T_{F,ki})} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \frac{\dot{Q}_n}{\dot{Q}_{f,n}} \quad (15)$$

$$\zeta_{K,3} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \dot{Q}_n}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,be} - T_{F,ki})} \quad (16)$$

II.3.1.2. Az ideális hőviszony

A Carnot-féle összehasonlító körfolyamat egy balra haladó és egy jobbra haladó folyamatból áll (8. ábra). Itt a jobbra haladó folyamatban fellépő meghajtó energia $(T_K - T_A) \cdot \Delta s_1$ nagysága megegyezik a balra haladó hűtési folyamathoz szükséges meghajtó energia $(T_1 - T_0) \cdot \Delta s_2$ nagyságával. Ezzel a Carnot-féle ideális hőviszony a következő:

$$\zeta_{KC,1} = \frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{T_K - T_A}{T_K} \quad (17)$$

Ahol:

- T_K – A kiűzés hőmérséklete, [K]-ben;
- T_A – Az abszorpció hőmérséklete, [K]-ben ;
- T_1 – A kondenzáció hőmérséklete, [K]-ben ;
- T_0 – Az elpárologtatás hőmérséklete, [K]-ben .[5]

Megjegyzésként: A kondenzátor és az abszorber hűtőközege szinte mindig ugyanaz.

Ha közelítéssel feltételezzük, hogy $T_A \cong T_1$, akkor az ideális hőviszony a következő:

$$\zeta_{KC,1} = \frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{T_K - T_1}{T_K} \quad (18)$$

Az elméleti vagy Carnot-hőviszony más módon is meghatározható:

Az ideális folyamatokban az izotermikusan elvont- vagy közölt hő a hőcserék révén éppen az átalakulási hővel azonos. Átalakulási hőnek azt a hőt nevezzük, amely szükséges a hűtőközegnek az oldatból való kiűzéséhez. Értéke az oldáshő miatt mindig nagyobb a párologáshőnél, ideális esetben [3]:

$$q_{\dot{a}} = r + q_{ld2} \quad (19)$$

A hűtőközeg-gőz abszorbeálásánál hasonlóképpen mindkét látens hőt együtt el kell vonni az oldat felmelegedésének meggátolása érdekében. [3]

Összefoglalva tehát a fajlagos hőmennyiségek ideális közegnél az 8. ábra jelöléseivel [3]:

$$q_k = r + q_{ld2} \quad (20)$$

$$q_a = r + q_{ld2} \quad (21)$$

$$q_0 = r \quad (22)$$

$$q_1 = r \quad (23)$$

Ahol:

- r – A hűtőközeg párologáshője;
- $q_{ld,2}$ – A differenciális izotermikus oldáshő, értékét grafikonok segítségével tudjuk meghatározni, az összetétel függvényében. (lásd a 9. ábrát)

Az ideális esetben tehát a hőviszony meghatározása a következőképpen alakul [3]:

$$\zeta_{KC,2} = \frac{q_0}{q_k} = \frac{r}{r + q_{ld2}} \quad (24)$$

Ha bevezetjük a

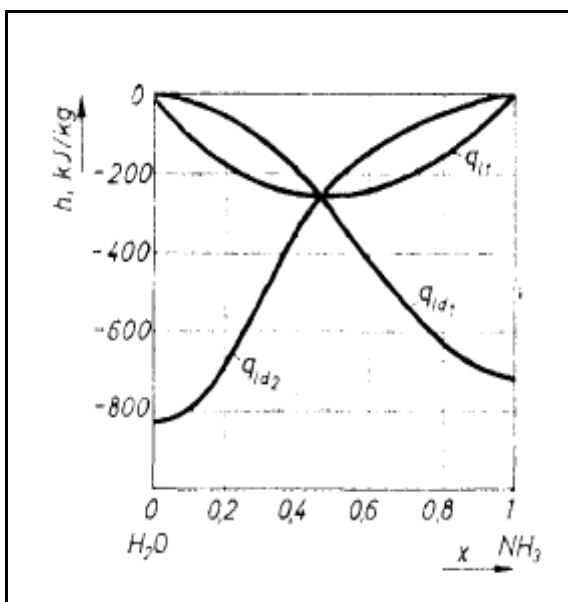
$$q_{lr} = \frac{q_{ld2}}{r} \quad (25)$$

összefüggéssel a relatív oldáshő fogalmát, akkor az ideális hőviszony összefüggése a következőképpen alakul [3]:

$$\zeta_{KC,2} = \frac{r}{r + q_{ld2}} = \frac{1}{1 + q_{lr}} \quad (26)$$

Mivel a relatív oldáshő a képletéből láthatóan nagyobb nullánál ($q_{lr} > 0$), ezért az ideális hőviszony legfeljebb egy lehet [3]:

$$\zeta_{KC,2} = \frac{1}{1 + q_{lr}} \leq 1 \quad (27)$$



9. ábra Az izotermikus integrált oldáshő (q_{lr}) és az izotermikus differenciális oldáshők (q_{ld1} , q_{ld2}) értékei H₂O-NH₃ közegpárnál h - x diagramban ábrázolva. [3]

Összefoglalva az ideális (Carnot) körfolyamatú abszorpciós hűtőgép hőviszonyát kétféleképp határozhatjuk meg:

$$\zeta_{KC,1} = \frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{T_K - T_A}{T_K} \quad (28)$$

$$\zeta_{KC,2} = \frac{1}{1 + q_{lr}} \quad (29)$$

II.3.2. A termokémiai kompresszor hatásfokának meghatározása általános esetben

A Carnot-féle jósági fok, ami az abszorpciós hűtőgépeknél a termokémiai hatásfok, a következő módon határozható meg [2]:

$$\eta_{CK} = \frac{\zeta_K}{\zeta_{KC}} \quad (30)$$

De mint láttuk, a kifejezésben szereplő értékeket többféleképpen is meghatározhatjuk, így a termokémiai hatásfok meghatározására is több összefüggés adódik:

$$\begin{aligned} \eta_{CK,1} &= \frac{\frac{c_{HT} \cdot \dot{m}_{HT} \cdot (T_{HT,bs} - T_{HT,ki})}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})}}{\frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{T_K - T_1}{T_K}} = \\ &= \frac{c_{HT} \cdot \dot{m}_{HT} \cdot (T_{HT,bs} - T_{HT,ki})}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_K}{T_K - T_A} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\eta_{CK,2} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\dot{Q}_n}{\dot{Q}_{f,n}}}{\frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{T_K - T_1}{T_K}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\dot{Q}_n}{\dot{Q}_{f,n}} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_K}{T_K - T_A} \quad (32)$$

$$\eta_{CK,3} = \frac{\frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dot{Q}_n}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})}}{\frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{T_K - T_1}{T_K}} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \dot{Q}_n}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_K}{T_K - T_A} \quad (33)$$

$$\eta_{CK,4} = \frac{\frac{c_{HT} \cdot \dot{m}_{HT} \cdot (T_{HT,bs} - T_{HT,ki})}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})}}{\frac{1}{1 + q_{lr}}} = \frac{c_{HT} \cdot \dot{m}_{HT} \cdot (T_{HT,bs} - T_{HT,ki})}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})} \cdot (1 + q_{lr}) \quad (34)$$

$$\eta_{CK,5} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\dot{Q}_n}{\dot{Q}_{f,n}}}{\frac{1}{1 + q_{lr}}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\dot{Q}_n}{\dot{Q}_{f,n}} \cdot (1 + q_{lr}) \quad (35)$$

$$\eta_{CK,6} = \frac{\frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dot{Q}_n}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})}}{\frac{1}{1 + q_{lr}}} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \dot{Q}_n}{c_F \cdot \dot{m}_F \cdot (T_{F,bs} - T_{F,ki})} \cdot (1 + q_{lr}) \quad (36)$$

Ahol a jelölések a következőket jelentik:

- η_{CK} – Az abszorpciós hűtőgép jósági foka [-]-ben ,
- η_1 – A belépő hűtővíz hőmérsékletétől függő tényező, [%]-ban ;
- η_2 – A hőforrás hőmérsékletétől függő tényező, [%]-ban ;
- η_3 – A kilépő hűtött víz hőmérsékletétől függő tényező, [%]-ban
- η_4 – Annak hatását fejezi ki, hogy a kiűzőben bevitt hőtéljesítmény hányada a névlegesen hűtőtéljesítmény előállításához szükséges fűtőtéljesítménynek, [%]-ban ;
- $\dot{Q}_n$ – A gyártó által megadott névleges hűtőkapacitás, [kW] – ban;
- $\dot{Q}_{f,n}$ – A gyári katalógus adatai alapján a $\dot{Q}_n$ néveleges hűtőkapacitás előállításához szükséges névleges fűtőtéljesítmény, [kW] – ban.
- q_{lr} – Adott koncentrációjú hűtőközre jellemző érték, [kW] – ban;
- c_{HT} – A hűtött víz közepes fajhője [kJ/kg · K]-ben,
- c_F – A fűtőközeg közepes fajhője [kJ/kg · K]-ben,
- $\dot{m}_{HT}$ – A hűtött víz tömegárama [kg/s]-ban,
- $\dot{m}_F$ – A fűtőközeg tömegárama [kg/s]-ban,
- $T_{HT,be}$ – A hűtött víz abszorpciós hűtőgépbe belépő hőmérséklete [K]-ben ,
- $T_{HT,ki}$ – A hűtött víz abszorpciós hűtőgépbe kilépő hőmérséklete [K]-ben ,
- $T_{F,be}$ – A fűtőközeg abszorpciós hűtőgépbe belépő hőmérséklete [K]-ben ,
- $T_{F,ki}$ – A fűtőközeg abszorpciós hűtőgépből kilépő hőmérséklete [K]-ben ,
- T_0 – Az elpárologtatási hőmérséklet [K]-ben ,
- T_1 – A kondenzáció hőmérséklete [K]-ben ,
- T_A – Az abszorpciós hőmérséklete [K]-ben ,
- T_K – A kiűzés hőmérséklete [K]-ben .

A termokémiai hatásfok meghatározásának különböző egyenleteit más-más esetekben használjuk, annak függvényében, hogy mely üzemeltetési paramétert szeretnénk meghatározni, illetve mely adatok állnak rendelkezésre.

Nagyobb abszorpciós hűtőberendezéseknél a munkaközegpárok választása és a készülék műszaki igényessége szerint a Carnot-féle jósági fok 0,5-0,8 közé esik.

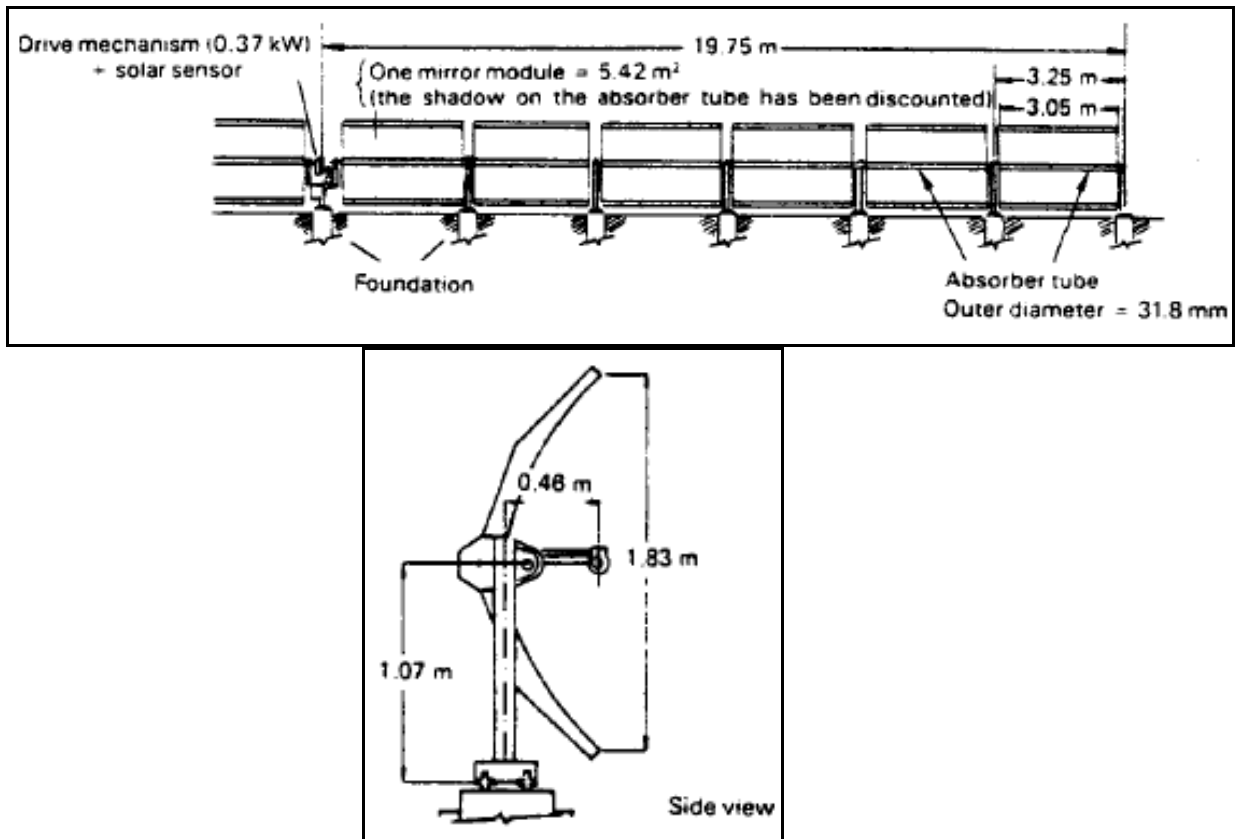
III. A vizsgált rendszer adatai és az eredmények

III.1. Az alkalmazott napkollektor adatai

A számítások során egy olyan parabolikus napkollektort alkalmaztam melyet a spanyolországi Almeria-ban is használnak. Ennek adatai a következők [6], [7]:

- f – A gyújtópont fókusztávolsága, értéke $0,46 [m]$
- D – A tükör átmérője, értéke $1,83 [m]$
- h – A normál eloszlás koefficiense, értéke $8,33732609 [-]$
- Φ – A nap beesési szöge, értéke $66 [^\circ]$
- I_{DIR} – A direkt napsugárzás intenzitás, $560 [-]$
- R^* – Tényező, értéke $1,3 [-]$
- I_0 – A direkt napsugárzás intenzitás, értéke az *2. táblázatból*
- R – A napkövetés szöghibáiból származó tényező, értéke $1 [-]$
- r – A tükör reflexiós tényezője, értéke $0,96 [-]$
- – Az abszorber sugárzás elnyelési tényezője , értéke $0,86 [-]$
- – A tükör optikai hatásfoka, értéke $0,99999997$
- α_k – Az elnyelő és a környezet közötti hőátadási tényező, értéke $24 [W/m^2K]$
- α_s – A sugárzási hőátadási tényező, értéke $5,86 [W/m^2K]$
- D_k – Az abszorber cső külső átmérője, értéke $31,8 [mm]$
- D_b – Az abszorber cső belső átmérője, értéke $27,6 [mm]$
- – Az abszorber cső hővezetési tényezője., értéke $386 [W/mK]$
- α_i – A folyadék és az abszorber fala közötti hőátadási tényező, értéke $34.042 [W/m^2K]$
- U_0 – A hőhordozó folyadék és a környezet között fellépő hőátbocsátási tényező, értéke $4,4473 [W/m^2K]$

- U_k – Az elnyelő szerkezet hőátbocsátási tényezője, értéke, értéke $4,4481 [W/m^2K]$
- A_t – A parabola tükör felülete, értéke $5,42 [m^2]$
- A_A – Az abszorber felülete, értéke $0,15 [m^2]$
- $t_{f,1}$ – Az abszorber csőbe belépő közeg hőmérséklete, ami jelen esetben az abszorpciós hűtőgép fűtőközegének visszatérő hőmérséklete, értéke $84 [^{\circ}C]$
- t_k – A környezeti hőmérséklet., értéke a 3. táblázatból vehető



10. ábra Az alkalmazott kollektor geometriai adatai [7]

Az itt szereplő adatok értékeit a [6] és [7]-ből valamint az 2. és 3. táblázatból vettem, valamint behelyettesítettem az (1)-(7) egyenletekbe

Így egy kollektorból nyerhető hőteljesítmény:

$$\dot{Q} = \frac{4,4473}{4,4481} \cdot 5,42 \cdot \left[(1,3 \cdot I_0 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 0,86 \cdot 1) \cdot \frac{0,15}{5,42} \cdot 4,4481 \cdot (84 - t_k) \right] \quad (37)$$

A vízszintes felületre érkező teljes sugárzási teljesítmény												
Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:30				28	114	158	119	42				
6:30			60	188	256	309	259	168	68			
7:30		68	217	338	436	488	418	367	213	109	9	
8:30	76	185	342	469	554	610	551	494	376	228	110	67
9:30	174	320	493	591	691	733	683	619	496	358	221	161
10:30	244	401	569	680	795	831	790	733	599	435	309	220
11:30	318	424	644	762	841	887	823	800	651	496	352	260
12:30	312	421	638	751	848	896	837	791	663	505	356	269
13:30	258	389	568	709	783	835	824	762	619	435	312	230
14:30	173	304	437	628	705	728	713	653	514	346	240	158
15:30	81	193	264	459	584	619	553	500	377	236	121	63
16:30		64	155	293	451	455	434	355	223	95	10	
17:30				133	286	298	265	205	69			
18:30				23	132	155	121	51				

2. táblázat A vízszintes felületre érkező teljes sugárzási teljesítmény értékei [6]

A külső levegő hőmérséklete derült időben												
Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:00	-7	-5,9	1,7	8,9	10,9	16,9	16,9	18,9	12,9	10	0,2	-2
6:00	-6,2	-5	2,7	10,2	12,2	18,2	18,2	20,2	14,2	10,7	1	-1,2
7:00	-5,4	-4,1	4	11,8	13,8	19,8	19,8	21,8	15,8	11,6	1,9	-0,4
8:00	-4,5	-3	5,5	13,5	15,3	21,5	21,5	23,5	17,5	12,5	3	0,5
9:00	-3,6	-1,9	7	15,2	17,2	23,2	23,2	25,2	19,2	13,4	4,1	1,4
10:00	-2,8	-1	8,4	16,7	18,7	24,7	24,7	26,7	20,7	14,2	5	2,2
11:00	-2	0,2	9,4	18,1	20,1	26,1	26,1	28,1	22,1	15	5,8	3
12:00	-1,5	0,5	10,3	19,1	21,1	27,1	27,1	29,1	23,1	15,5	6,5	3,5
13:00	-1,1	0,9	10,8	19,8	21,8	27,8	27,8	29,8	23,8	15,9	6,9	3,9
14:00	-1	1	11	20	22	28	28	30	24	16	7	4
15:00	-1,1	0,9	10,8	19,8	21,8	27,8	27,8	29,8	23,8	15,9	6,9	3,9
16:00	-1,5	0,5	10,3	19,1	21,1	27,1	27,1	29,1	23,1	15,5	6,5	3,5
17:00	-2	0,2	9,4	18,1	20,1	26,1	26,1	28,1	22,1	15	5,8	3
18:00	-2,8	-1	8,4	16,7	18,7	24,7	24,7	26,7	20,7	14,2	5	2,2

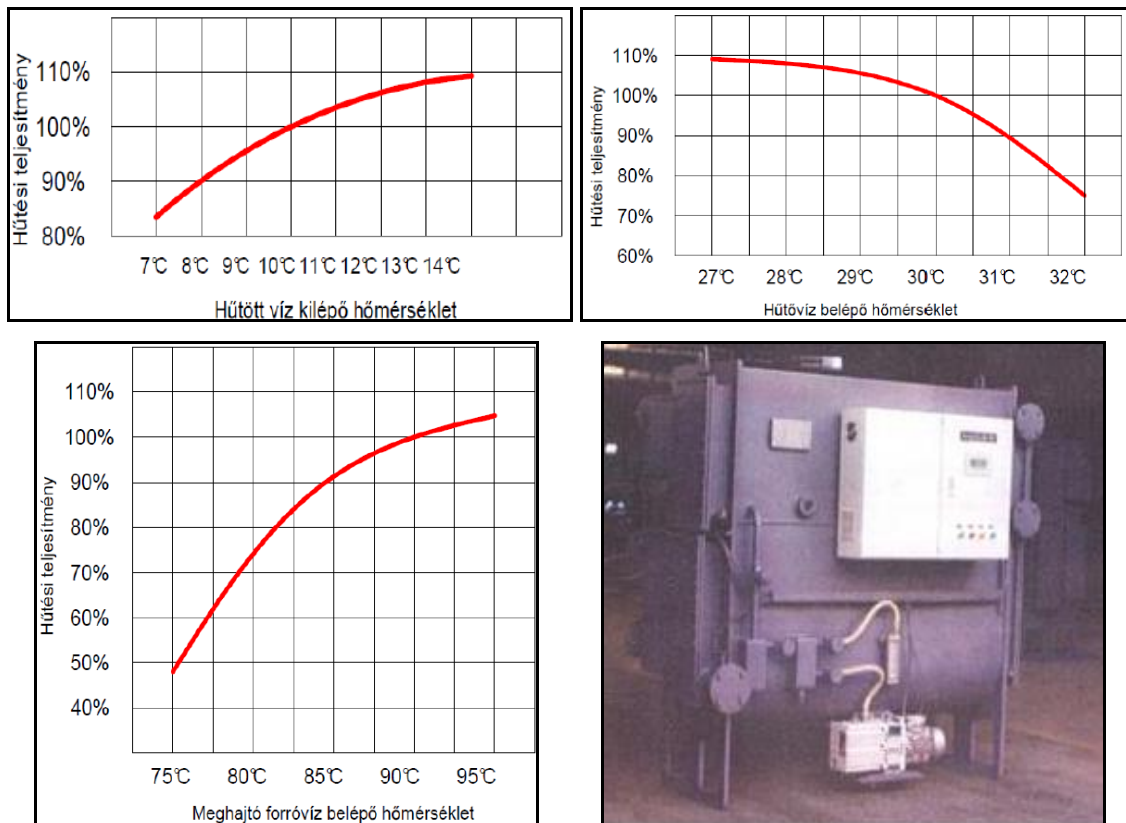
3. táblázat A külső levegő hőmérséklete derült időben értékei [6]

III.2. Az alkalmazott abszorpciós hűtőgép adatai

A számítások során egy WFMA-11 jelű abszorpciós hűtőgépet alkalmaztam. Ennek adatai a következők [8]:

- Névleges hűtőkapacitása 11 [kW]
- Az előremenő fűtővíz a kollektorokból érkező melegvíz
- A visszatérő víz $84 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- a fűtővíz térfogatárama $2,9 \text{ [m}^3/\text{h]}$, a hidegvízé, $2 \text{ [m}^3/\text{h]}$, a hűtővízé pedig $5 \text{ [m}^3/\text{h]}$.
- A hidegvíz hőfoklépcsője $7/12 \text{ [}^\circ\text{C]}$, a hűtővízé pedig $28/35 \text{ [}^\circ\text{C]}$

A termokémiai hatásfokának meghatározásában szereplő ((31)-(36) egyenlet) η_1 , η_2 , és η_3 értékeit a következő a gyártó katalógusában szereplő ábrákból lehet meghatározni:



11. ábra A hűtőkapacitás változása egyes működtetési paraméterek függvényében és maga a gép [8]

Az előzetes számítások alapján a gép működtetéséhez 6-7 [db] adott napkollektort kell alkalmazni. Emiatt elvégeztem a pontos számítások mind 6, mind 7 kollektort esetén is. A kollektorokat sorba kötöttem egymás után.

III.3. A nyert adatok

Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:30				28	114	158	119	42				
6:30			60	188	256	309	259	168	68			
7:30		68	217	338	436	488	418	367	213	109	9	
8:30	76	185	342	469	554	610	551	494	376	228	110	67
9:30	174	320	493	591	691	733	683	619	496	358	221	161
10:30	244	401	569	680	795	831	790	733	599	435	309	220
11:30	318	424	644	762	841	887	823	800	651	496	352	260
12:30	312	421	638	751	848	896	837	791	663	505	356	269
13:30	258	389	568	709	783	835	824	762	619	435	312	230
14:30	173	304	337	628	705	728	713	653	514	346	240	158
15:30	81	193	164	459	584	619	553	500	377	236	121	63
16:30		64	55	293	451	455	434	355	223	95	10	
17:30				133	286	298	265	205	69			
18:30				23	132	155	121	51				

4. táblázat Adott órában egy kollektorral nyerhető hőteljesítmény, $[W]$ -ban

Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:00				365	2066	2973	2180	657				
6:00			964	3551	5008	6158	5084	3178	1141			
7:00		1101	4155	6771	8973	10285	8568	7429	4102	1970		
8:00	1267	3462	6838	9714	11746	12936	11699	10370	7604	4395	1970	1092
9:00	3243	6335	10256	12616	12936	12936	12936	12936	9346	7223	4236	2997
10:00	4705	8161	12051	12936	12936	12936	12936	12936	12814	8907	6127	4211
11:00	6294	8644	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12936	10392	7081	5067
12:00	6173	8582	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12936	10584	7165	5250
13:00	5017	7874	12036	12936	12936	12936	12936	12936	12936	9020	6193	4415
14:00	3229	5984	9172	12936	12936	12936	12936	12936	10797	6945	4622	2944
15:00	1371	3629	5166	9518	12472	12936	11758	10513	7640	4563	2194	1024
16:00		1035	2883	5802	9353	9549	8965	7198	4319	1676	21	
17:00				2454	5632	5920	5224	3971	1177			
18:00				287	2439	2931	2236	845				

5. táblázat 6 kollektorral működtetett gépből nyerhető hűtött teljesítmény [W]-ban

Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:00				425	2410	3468	2543	766				
6:00			1124	4188	5873	7259	5995	3728	1346			
7:00		1299	4874	7982	10629	12059	10150	8757	4812	2298		
8:00	1478	4082	7893	11564	12936	12936	12936	12220	9010	5182	2298	1289
9:00	3803	7469	12148	12936	12936	12936	12936	12936	12320	8514	4994	3496
10:00	5518	9619	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12936	10606	7223	4966
11:00	7420	10292	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12308	8347	5943
12:00	7277	10167	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12534	8446	6190
13:00	5884	9329	12936	12936	12936	12936	12936	12936	12936	10685	7300	5206
14:00	3787	7240	10646	12936	12936	12936	12936	12936	12810	8230	5450	3434
15:00	1599	4279	6091	11275	12936	12936	12936	12454	9239	5380	2559	1208
16:00		1221	3381	6841	11023	11196	10620	8485	5093	1989	24	
17:00				2878	6640	6980	6159	4632	1389			
18:00				335	2861	3419	2609	986				

6. táblázat 7 kollektorral működtetett gépből nyerhető hűtött teljesítmény [W]-ban

Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:00				55,93	57,73	58,13	57,7	56,5				
6:00			56,41	57,98	58,88	59,23	58,86	58,07	56,37			
7:00		56,38	58,46	59,39	60,12	61,08	59,9	59,55	58,47	57,75		
8:00	56,98	58	59,37	60,26	61,04	60,61	61,05	60,74	59,5	58,4	57,75	56,38
9:00	58,23	59,18	60,44	61,21	53,1	49,8	53,7	59,63	60,73	59,6	58,44	58,12
10:00	58,64	60	60,97	54,02	45,67	43,51	45,93	49,77	61,22	59,82	59,24	58,45
11:00	59,19	59,88	57,34	47,81	42,98	40,54	43,95	45,3	56,54	60,73	59,63	58,87
12:00	59,22	59,9	57,9	48,55	42,59	40,1	43,15	45,85	55,44	60,68	59,61	58,82
13:00	58,88	59,75	60,97	51,64	46,4	43,26	43,88	47,72	59,64	60,11	59,22	58,39
14:00	58,06	58,95	61,36	58,78	51,93	50,12	51,24	56,27	60,63	59,35	58,34	58,14
15:00	56,95	57,95	58,84	60,31	61,2	59,59	61,04	60,7	59,49	58,35	57,69	56,4
16:00		56,39	57,83	59	60,35	60,94	60,12	59,6	58,42	56,86	56,03	
17:00				57,62	58,72	58,97	58,83	58,51	56,36			
18:00				55,95	57,63	58,14	57,68	56,45				

7. táblázat 6 kollektorral működtetett gép termokémiai hatásfoka az adott órában

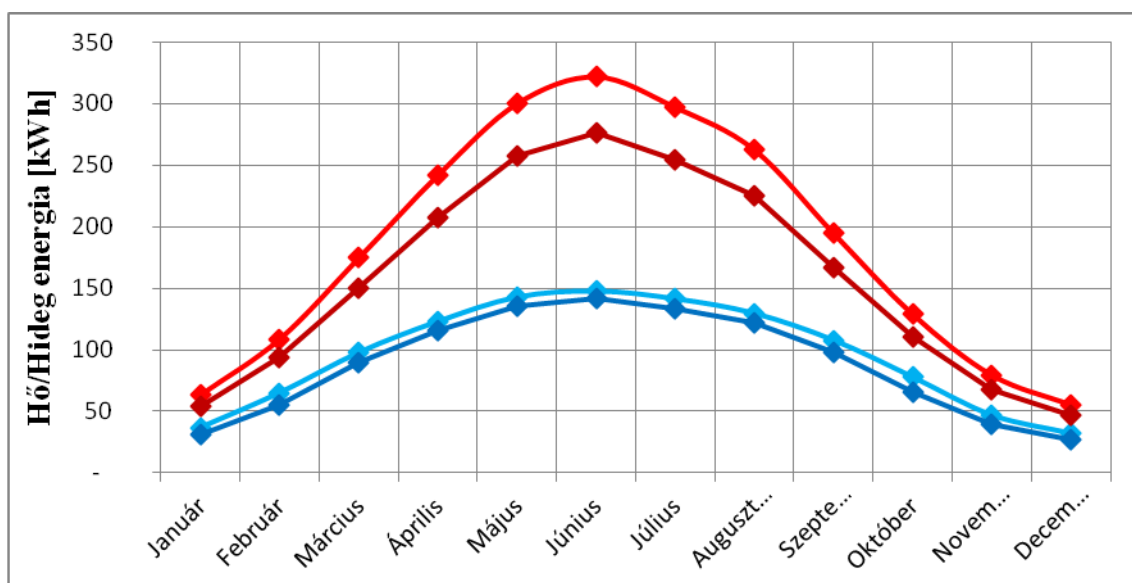
Óra	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
5:00				55,92	57,63	58	57,6	56,47				
6:00			56,37	58,45	59,98	59,59	59,27	58,25	56,95			
7:00		56,97	58,59	59,73	60,67	60,96	60,47	59,85	58,61	57,66		
8:00	56,92	58,48	59,71	61,09	57,18	51,51	57,42	60,93	60,11	58,84	57,66	56,97
9:00	58,23	59,54	60,94	53,36	45,08	42,26	45,6	50,67	61,22	59,91	59,88	57,99
10:00	58,75	60,28	55,65	45,88	38,73	36,87	38,95	42,23	52,53	60,68	59,6	58,89
11:00	59,55	60,76	48,71	40,55	36,42	34,34	37,25	38,41	48,03	61,23	59,96	58,96
12:00	59,58	60,47	49,2	41,19	36,09	33,95	36,57	38,88	47,09	61,17	59,93	59,22
13:00	59,98	60,35	55,73	43,83	39,35	36,66	37,19	40,48	50,69	60,66	59,58	58,83
14:00	58,24	60,88	60,67	49,94	44,08	42,54	43,5	47,8	61,22	59,99	58,77	58,01
15:00	56,89	58,43	59,24	60,84	53,97	50,65	57,12	61,2	61,34	58,78	57,59	56,99
16:00		56,99	58,02	59,37	60,58	60,86	60,68	59,92	58,86	57,75	56,03	
17:00				57,83	59,1	59,34	59,23	58,34	56,94			
18:00				55,94	57,84	58,01	57,58	56,41				

8. táblázat 7 kollektorral működtetett gép termokémiai hatásfoka az adott órában

		Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
7 napkollektorral nyert	napi hőenergia [kWh]-ban	63	109	175	242	300	322	297	262	195	129	79	55
	havi hőenergia [kWh]-ban	1965	3046	5417	7259	9302	9656	9208	8137	5839	3996	2382	1708
	napi hidegenergia [kWh]-ban	37	65	98	123	143	148	142	130	108	78	47	32
	havi hidegenergia [kWh]-ban	1140	1820	3035	3693	4431	4436	4388	4019	3233	2410	1399	984
	termokémiai hatásfok [%]-ban	58,52	59,32	56,62	53,14	50,48	48,97	50,6	52,13	56,13	59,67	58,78	58,23
6 napkollektorral	napi hőenergia [kWh]-ban	54	93	150	207	257	276	255	225	167	110	68	47
	havi hőenergia [kWh]-ban	1684	2611	4643	6222	7973	8277	7893	6975	5005	3425	2043	1464
	napi hidegenergia [kWh]-ban	31	55	89	116	135	141	133	122	98	66	40	27
	havi hidegenergia [kWh]-ban	970	1535	2771	3473	4194	4239	4133	3775	2932	2036	1188	837
	termokémiai hatásfok [%]-ban	58,27	58,64	59,08	56,32	54,17	53,14	54,07	55,33	58,57	59,17	58,44	57,95

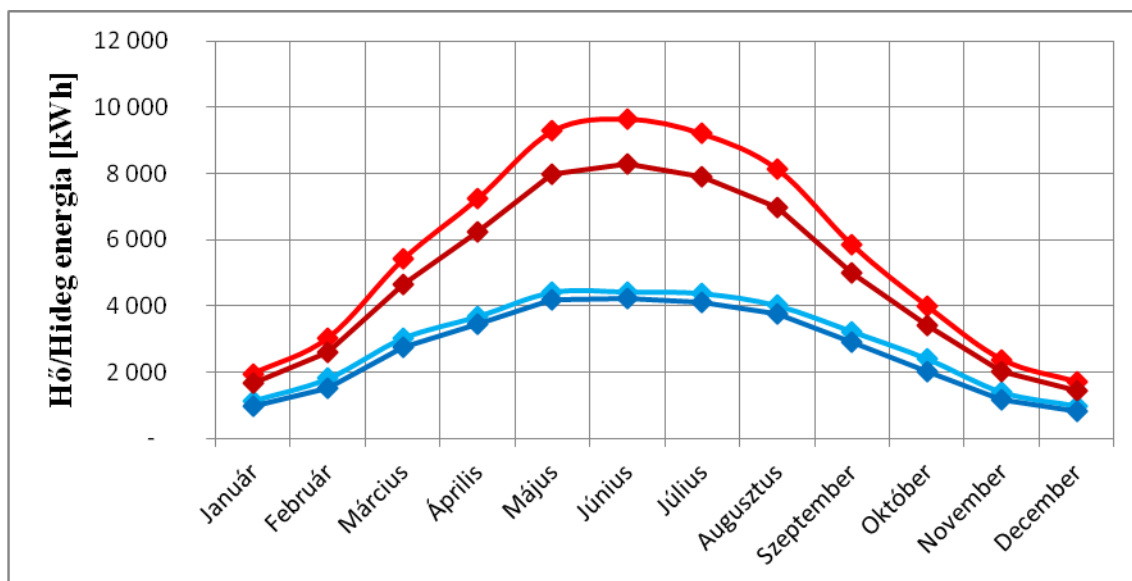
9. táblázat A naponta illetve havonta nyerhető hő illetve hidegenergia értéke [kWh]-ban illetve a gép hatásfoka [%]-ban

A fenti táblázatban szereplő értékek szemléletesebben és a következtetések levonásához gyakorlatiasabban ábrázolják a következő diagramok:



12. ábra Az átlagos napi átlag energia alakulása havonkénti bontásban
A vonalak felülről lefele: hőenergia nyereség 7 kollektorral, utána 6 kollektorral,
majd a hidegenergia alakulása 7 kollektorral és végül 6 kollektorral

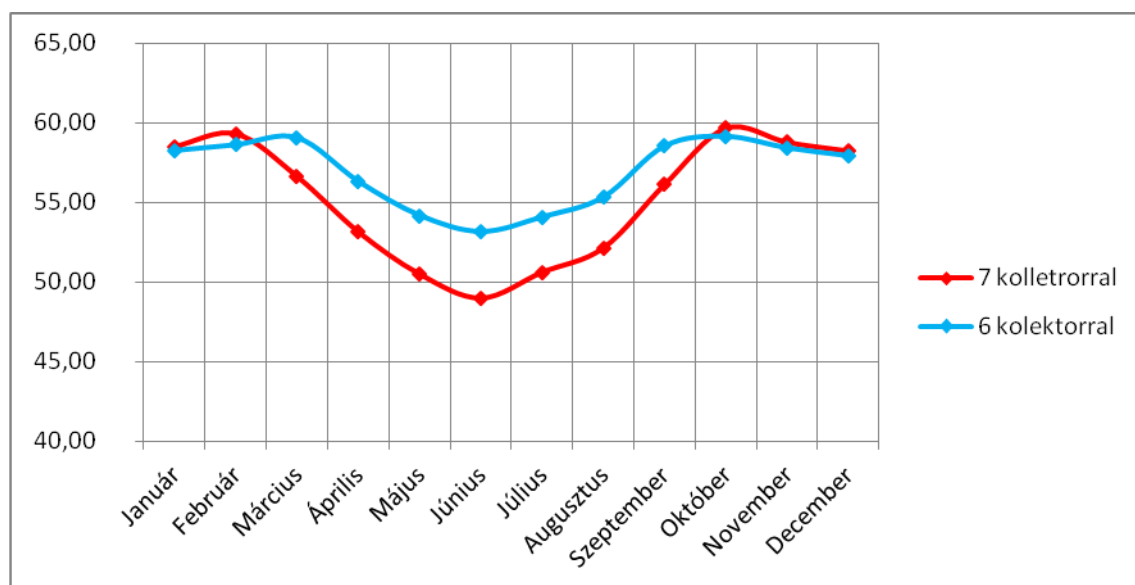
A napi nyerhető hő illetve hidegenergia összehasonlítása után vizsgáljuk meg, hogy egy adott hónapban összesen mennyi hő illetve hidegenergiát tudunk előállítani:



13. ábra Átlagosan egy adott hónapban nyerhető hő illetve hidegenergia mennyisége [kWh]-ban. A vonalak jelentése ugyanaz mint az előző ábránál.

A 12. és 13. ábrából látható, hogy a kollektorok számának csökkenése maga után vonja, a nyerhető hőenergia és az ebből nyerhető hidegenergia mennyiségét is. Viszont a hidegenergia csökkenés nem lesz akkora, mint a hőenergia csökkenés. Kevesebb kollektort alkalmazva is nyerhető közel ugyanakkora hidegenergia, viszont a beruházási költségek csökkennek.

A vizsgált abszorpciós hűtőgép termokémiai hatásfoka a következőképpen alakul:



14. ábra Az abszorpciós hűtőgép termokémiai hatásfokának értékei egy átlagos napon egy adott hónapban

Ennyi napkollektor alkalmazása mellett (7 illetve 6 darab) is a nyári hónapokban sok felesleges hő keletkezik, melyet az abszorpciós hűtőgépben hasznosítva, nemhogy többlet hidegenergiát nem tudunk vele nyerni, de még a hűtőgép termokémiai hatásfokát is rontjuk vele.

Ennek a jelenségnek a kiküszöbölésére, vagy kevesebb kollektor kell alkalmazni, vagy az úgymond feleslegesen nyert hőt más módon hasznosítani. Ez a hasznosítás lehetséges, a rendszerben keringetett víz hőn tartására (a számítások során feltételeztem, hogy a visszatérő víz hőmérséklete $84 [^{\circ}\text{C}]$) vagy használati melegvíz előállítására is használni.

A kollektorok számának csökkentése azt is eredményezi, hogy az abszorpciós hűtőgép termokémiai hatásfoka egész évre vonatkoztatva kevésbé fog ingadozni, ami növeli a gép élettartalmát.

Összegzés, tapasztalat:

A célom ezen dolgozat megírásával az volt, hogy bemutassam a szoláris energiával működtetett abszorpciós hűtőgépek jó hatásfokkal üzemeltethetőek és ezáltal alkalmasak épületek hűtési energiaigényének ellátására.

Előzetesen, a maximális igényekből kiindulóan nagy kollektor számmal számoltam, ami azt eredményezte, hogy pont akkor, amikor a legnagyobb a hűtési igény, akkor a hatásfok alakulásában visszaesés mutatkozott. Ez elkerülhető, abban az esetben, ha csökkentjük a kollektor számot. Ennek eredménye az lesz, hogy a hűtőgép egész évre vonatkoztatva egyenletes hatásfokon üzemelhet. Bár kétségkívül kevesebb hidegenergiát állítunk elő ezáltal, de az így nyert veszteség elenyésző a kollektor beruházásban megspóroltakhoz képest.

Összefoglalva a napenergia hasznosítható az épületek hűtésében egy abszorpciós hűtőgépen keresztül, aránylag jó hatásfokkal.

Sajnálatos módon viszont egyelőre, egy ilyen abszorpciós hűtőgép ára körülbelül 6 millió forint, míg a hagyományos, kompresszoros hűtőgépeknél ezt a teljesítményszintet fél millió forintért tudjuk megkapni. Ezt az árkülönbözetet manapság csak valamilyen támogatással (uniós, állami) lehet áthidalni, de személy szerint én bízok abban, hogy egy idő után a piac csökkenti majd a technológia árát.

Irodalomjegyzék

- [1] Kalmár Ferenc: Alternatív energiaforrások; Optimization of geothermal systems program keretében; Debrecen; 2008
- [2] Henning, H.-M. – Urbaneck, T. – Morgenstern, A. – Núñez, T. – Wiemken, E. – Thümmel, E. – Uhling, U.: Kühlen und Klimatisieren mit Wärme, Karlsruhe, 2009
- [3] Dr. Láng Lajos – Dr. Jakab Zoltán: Hűtéstechnika, Műszaki könyvkiadó; Budapest; 1984
- [4] Heinrich, G. – Najork, H. – Nestler, W. : A hőszivattyú és alkalmazásai, Műszaki könyvkiadó, Budapest; 1982
- [5] Rechnagel-Sprenger-Schramek: Fűtés és klimatechnika 2000 II. kötet, Dialóg Campus kiadó; Budapest-Pécs; 2000
- [6] Dr. Gyurcsovics Lajos: A napenergia hasznosítása az épületgépészetben, Műszaki Könyvkiadó; Budapest; 1982
- [7] http://www.insel.eu/fileadmin/insel.eu/diverseDokumente/Diplomarbeit_C.Hoyer.pdf 2011.11.14 12:56
- [8] http://www.szolarhutes.hu/index_elemei/RollUpViktory.pdf 2011.11.14 12:46