

UJFALUDI LÁSZLÓ

NAPENERGIA
A JÖVŐ ENERGIAFORRÁSA



20 ÉVES
A HEVES MEGYEI ÖNKORMÁNYZAT PEDAGÓGIAI INTÉZETE

Grafikai szerkesztő:
Vida József

Lektorálta:
Nyilas István főiskolai docens

Kiadja:
A Heves Megyei Önkormányzat Pedagógiai Intézete

Felelős vezető:
Dr. Horváth Tamás

2004

BEVEZETÉS

A fosszilis energiahordozók használata jelentősen hozzájárult a jelenlegi globális környezeti problémák kialakulásához. Az üvegházhatás felerősödése, amely a növekvő szén-dioxid kibocsátás következménye, a klímaváltozás veszélyével fenyegeti bolygónkat. A fosszilis tüzelőanyagok bányászata és szállítása is számos problémát vet fel, pl. a területhasználat, a vízszennyezés, olajvezetékek törései, tankhajók balesetei. A városi közlekedés – amely jelenleg szintén a fosszilis energiahordozók használatán alapul – ugyancsak jelentős problémákat okoz a nagyvárosi agglomerációkban, ilyenek a fotokémiai füstköd, a kipufogógázok ólomszennyezése, rákkeltő anyagok emissziója.

A napenergia hasznosítása 2500 éves múltra tekint vissza. Ennek ellenére nem vált jelentős tényezővé a modern kor energiaellátásában. Elgondolkodtató tény ugyanakkor, hogy a Napról 15 nap alatt annyi energia érkezik a Földre, mint a fosszilis energiahordozók összes becsült energiatartalma. Ennek isméréseiben sokan úgy vélik, hogy a jövő energiaellátása szempontjából a napenergia az egyedül jó alternatíva.

Az Eszterházy Károly Főiskolán 1993-óta folyik környezetvédelmi képzés. A Fizika Tanszék ebben kezdettől fogva jelentős részt vállalt. Az általunk oktatott "Környezetfizika" c. tárgy fontos részét képezi az energiagazdálkodás, ezen belül az alternatív energiaforrások és elsősorban a napenergia-hasznosítás. Ez az összeállítás tíz év oktatási tapasztalatai alapján született.

A kötet a Nap működésének, a napenergia létrejöttének ismertetésével kezdődik, ezt követi a napenergia-hasznosítás története, a hasznosításhoz szükséges fizikai alapok rövid összefoglalása, majd a jelenleg használatos műszaki megoldások (szoláris építészeti, napkollektorok, napelemek, naperóművek) ismertetése. A részletesen ismertetett 10 laboratóriumi mérőgyakorlatot eredetileg főiskolai hallgatók számára állítottuk össze és évek óta a környezetfizikai oktatás részét képezik. A gyakorlatok többsége azonban középiskolai fakultáción is elvégezhető, ahol a szükséges eszközök rendelkezésre állnak.

A kötet végén rövid gyakorlati útmutató tájékoztatja az olvasót az Internet elérési lehetőségekről, a FÜGGELÉK-ben pedig 12 általános iskolai szakköri vagy táborig foglalkozásra alkalmas játékos napenergia-kísérlet leírását adjuk közre.

I. A NAP MŰKÖDÉSE ÉS ÉLETCIKLUSA

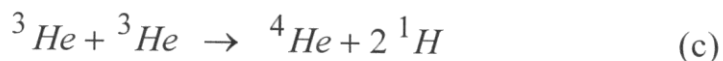
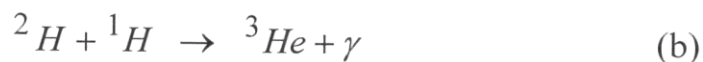
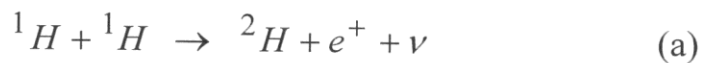
Általános jellemzés

A Nap a Naprendszer központi csillaga. A Földtől való közepes távolsága 150 millió km, átmérője 1,4 millió km (a Föld átmérőjének 109-szerese), tömege $1,99 \times 10^{30}$ kg (a Föld tömegének 333 000-szerese, a bolygók együttes tömegének 1000-szerese). Átlagos sűrűsége 1400 kg/m^3 , de centrumában, ahol a nyomás 3×10^{11} bar, a sűrűség $155 000 \text{ kg/m}^3$. Anyagát hidrogén és hélium alkotja, ezek aránya a megfigyelhető külső rétegekben 74%, ill. 24% továbbá 2% nehéz elem; centrumában azonban a hélium mennyisége fokozatosan növekszik a hidrogén rovására. Magjában jelenleg kb. 36% hidrogén, 62% hélium és 2% nehéz elem található.

A Nap belsejére külső rétegei a gravitációs vonzás következtében hatalmas nyomással nehezednek. Ezzel tart egyensúlyt a belső gáznyomás és a sugárzási nyomás, így anyaga egyensúlyban van, amelyben azonban kisebb-nagyobb fluktuációk vannak, ezek okozzák a naptevékenység néven ismert jelenségekört.

Szerkezete, működése

A Nap centrumában (amely $\frac{1}{4}$ R-ig tart, ahol R a Nap sugara) a hőmérséklet 15 millió K, ezen a hőmérsékleten az anyag szabad elektronok és atommagok keverékére bomlik, ionizált (ún. plazma-) állapotba kerül. Az atommagok a heves hőmozgás következtében nagy sebességgel ütköznek egymásnak, időnként összetapadnak, ezt nevezzük magfúzióknak. Ennek során az eredetileg ott lévő hidrogén-atommagokból (protonokból) hélium-atommagok épülnek fel. Valójában a folyamat az alábbi lépésekben megy végbe:



Az (a) reakció a leglassúbb, egy átlagos hidrogén-atommag esetén ennek gyakorisága 14 millió év, ez az ún. „biztonsági szelep” a Nap működésében. A létrejött deutérium a (b) reakció során már igen gyorsan (6 másodperces gyakorisággal) alakul át ${}^3\text{He}$ izotóppá, közben szabadul fel a sugárzó energia javarésztét kitevő gamma-foton. Két ${}^3\text{He}$ mag fúziójával keletkezik a ${}^4\text{He}$ mag a (c) reakcióegyenlet szerint, ennek gyakorisága 1 millió év. (A fent ismertetett proton-proton ciklus mellett – bár jóval kisebb arányban – szerepet játszik még az ún. Bethe-Weizsäcker ciklus, amelynek során szén atommagok katalizáló hatása segíti a hidrogén héliummá történő fúzióját.) Az energia forrása az ún. tömegdefektus, ami azt jelenti, hogy a kiinduló 4 proton tömege nagyobb, mint a belőlük

keletkezett ${}^4\text{He}$ atommag tömege. A tömegkülönbség, vagy tömegdefektus Einstein egyenlete alapján:

$$E = mc^2$$

alakul át energiává; ahol m a tömegdefektus, c a fény sebessége. A fenti reakciók során a tömegdefektus az eredeti proton-tömegek 0,7%-a. Ennek következtében a Nap belsejében másodpercenként 4 millió tonna anyag alakul át energiává, miközben $3,8 \times 10^{26}$ J energia sugárzódik ki.

A Nap centrumát (magját) a sugárzási zóna veszi körül, amely 0,25R-től 0,8R-ig terjed. A magban létrejött sugárzási energia fotonjainak ezen a tartományon kell keresztül hatolnia; ami a nagy anyagsűrűség miatt csak igen lassan mehet végbe. A fotonok átlagosan 1 másodpercenként ütköznek és véletlen irányokban szóródnak. Egy fotonnak átlagosan 1 millió év szükséges ahhoz, hogy a felszínre jusson. Ezt másképp úgy fejezik ki, hogy a sugárzási zóna átlátszósága kicsi, viszont éppen ez az átlátszatlanság eredményezi a Nap sugárzásának viszonylag nagyfokú stabilitását. Az energia további útja a felszín felé a konvektív zónán át vezet, amely 0,8R-től R-ig terjed; az energia ezen keresztül konvektív áramlással jut fel a felszínre.

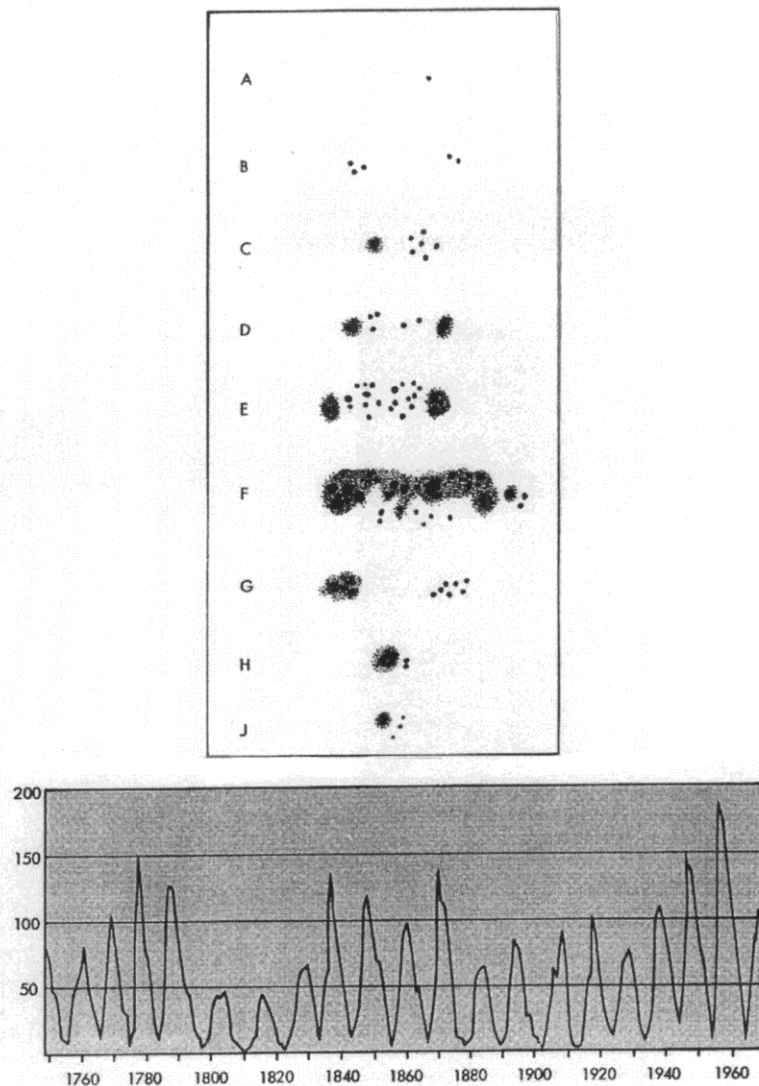
Fizikai folyamatok a Nap felszínén és atmoszférájában

A Nap felszínén a 300-400 km vastag fotoszférát értjük, innen származik központi csillagunk látható fénye. Hőmérséklete 6000 K. A fotoszféra alatti rétegeket a Nap belsejének, a felette elhelyezkedőket pedig a Nap légkörének nevezzük – ez utóbbit alkotja a kromoszféra és a korona.

Napunk saját tengelye körül forog, de nem merev test módjára, hanem a különböző szélességi körök mentén eltérő sebességgel; ezt a jelenséget differenciális rotációnak nevezzük. A sarkok közelében a tengelyforgás periódusideje 30 nap, az egyenlítőnél 25 nap – ennek megfelelően mozognak a felszíni képződmények is.

A fotoszféra finomabb felbontású távcsővel vizsgálva szemcsés, márványmintás szerkezetet mutat. A szemcsék (granulák) átlagos átmérője 1000 km, élettartamuk 6-10 perc. A granulák közepén a forró anyag felfelé áramlik, a granulák szélének sötétebb határvonala mentén a már lehűlt, hidegebb anyag áramlik vissza. A kontúr mentén figyelhetők meg az ún. szpikulák (lángnyelvek), amelyek szélessége 700-1000 km, magasságuk 5000-15000 km, átlagos élettartamuk 4-10 perc.

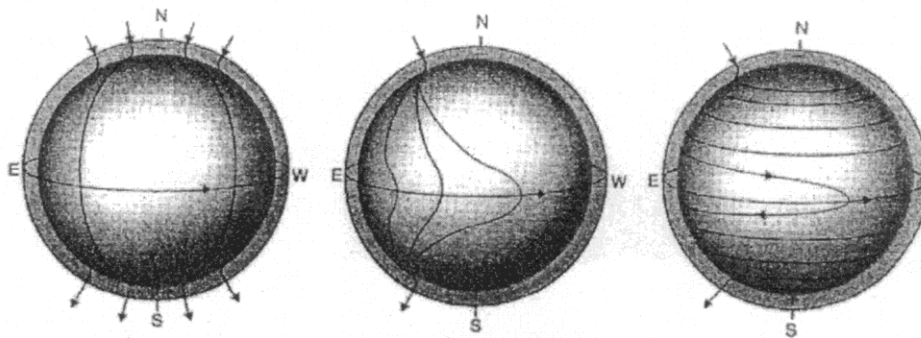
A fotoszféra legfeltűnőbb objektumai a napfoltok (**1.1 ábra**). Ezek a környezetüknél jóval sötétebb területek 1000-2000 Kelvinnel hidegebbek környezetüknél. Az egyedül álló napfoltok átlagos átmérője 1000 km, élettartamuk 7 nap. A napfoltok általában csoportosan fordulnak elő, a csoportok mérete 100 000 km nagyságrendű, átlagos élettartamuk 30 nap.



1.1 ábra

A napfoltok fejlődése és a napfolttevékenység periodikus változása

A napfoltok létrejötte a Nap igen erős mágneses terének hatására vezethető vissza. A mágneses teret az elektromos töltéssel rendelkező anyagtömegeknek a konvektív zónában történő áramlása hozza létre. A differenciális rotáció következtében az egyenlítő leghaladósabban mozog, az erőkörök mentén haladó erővonalak megnyúlnak, felcsavarodnak (1.2 ábra). A folyamat következtében a mágneses térben erősítési és gyengítési helyek jönnek létre. Az erősítési helyeken a mágneses térerősség annyira megnövekszik, hogy lelassítja a forró, ionizált gáztömegek felfelé áramlását a konvektív zónában, ezeken a helyeken a felszínre kevesebb energia érkezik, ezért ezek hidegebbek lesznek környezetüknél. A mágneses térerősség növekedése már a leendő napfoltok helyén megfigyelhető, röviddel azok létrejötte előtt; egyes jellegzetes spektrumvonalak ekkor – az erős mágneses tér hatására – megkettőződnek (a spektroszkópiában ezt a jelenséget Zeeman-effektusnak nevezik).



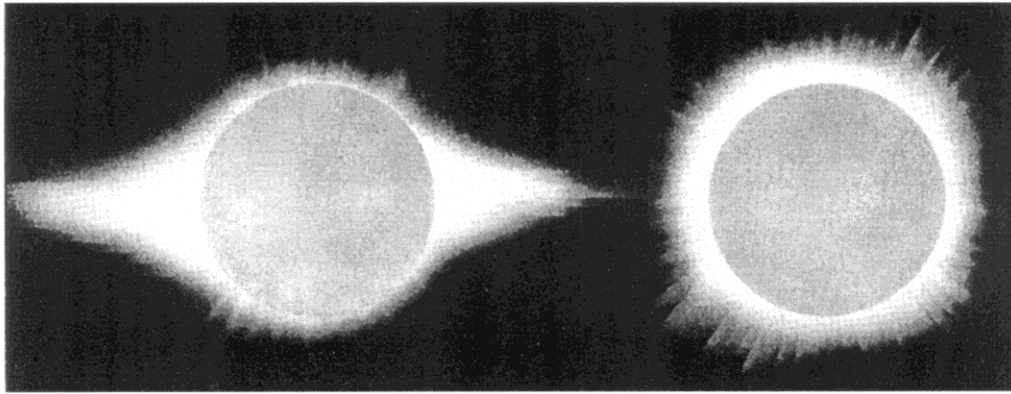
1.2 ábra
A mágneses erővonalak „felcsavarodása”

A napfoltok száma és a Nap aktivitása nem egyenletes, hanem a mágneses ciklusoknak megfelelően periodikus változásokat mutat (**1.1. ábra** alsó része). Két napfoltminimum között eltelt időt napfoltciklusnak nevezzük; ennek átlagos hossza 11 év, de ettől több éves eltérések lehetnek. A Nap aktivitása nemcsak időben, hanem helyileg is változik, északi és déli féltékjének polaritása ellentétes. A polaritások a 11 éves napfoltciklusnak megfelelően rendszeresen felcserélődnek.

A flerek rövid időtartamú, rendkívül heves, a napfoltokhoz kapcsolódó robbanásszerű jelenségek; létrejöttük szintén az erős mágneses tér és a konvektív zónában felfelé áramló plazma bonyolult kölcsönhatásával magyarázható. Gyakoriságuk a napfolttevékenységgel együtt változik. Hőmérsékletük többször 10 millió fok is lehet. A flerekből ionizált gázfelhők robbannak ki, ezek indulási sebessége 1500 km/s, így egyetlen alkalommal több millió tonnányi anyag hagyja el a Napot. Ha egy ilyen gázfelhő a Föld közelébe kerül, a pólusoknál be tud hatolni az atmoszféra felső rétegeibe és ott létrehozhatja a mágneses vihar néven ismert jelenséget. Ez igen erős elektromágneses zavarokat jelent, amelyek súlyosabb esetekben károsíthatják a műholdas távközlési rendszereket, sőt az elektromos távvezeték hálózatot is.

A fotoszféra fölött helyezkedik el a kromoszféra, amelynek átlagos vastagsága 8000 km; benne az anyag sűrűsége kifelé haladva igen gyorsan csökken. A hőmérséklet a kromoszférában változó: alsó részén és vastagságának 70-75%-ában megegyezik a fotoszféra hőmérsékletével (6000 K), felső részén azonban igen gyorsan nő és végül megközelíti a korona 1 millió K hőmérsékletét.

A korona a Nap légkörének legkülső, legritkább tartománya. A belső korona a Nap felszínétől átlagosan $2R$ távolságnyira terjed ki, a maximális hőmérséklet itt 1,5 millió K. A külső korona határát nem lehet pontosan definiálni, mivel ez folyamatosan megy át a ritka bolygóközi térbe; a hőmérséklet itt 1 millió K körüli. A korona a napfogyatkozásakor jól látható (**1.3 ábra**), máskor gyakorlatilag láthatatlan, csak a koronográf néven ismert speciális készülékkel válik láthatóvá.



1.3 ábra

A napkorona foltminimum (bal) és foltmaximum (jobb) idején

A napszél a korona hűvösebb területeiről, az ún. koronalyukakból kiinduló részecskeáram, amely protonokból, elektronokból és He-atommagokból áll. Ennek révén a Nap másodpercenként 3 millió tonnányi anyagot veszít. A napszél induló sebessége 4000 km/s, a Naptól távolodva fokozatosan lassul, a Föld közelében már csak 400 km/s, sűrűsége 10 részecske/cm³. A napszél által szállított részecskék folyamatosan ütköznek bolygónk magnetoszférájával és a sarki fény jelenségét hozzák létre.

A protuberanciák a fotoszféra fölött lebegő hatalmas gáztömegek, a Nap légkörének leglátványosabb képződményei, átlagos méretük 100 000 km. Két fő típusukat különböztetjük meg: a nyugodt és az aktív protuberanciákat. Az előbbiek élettartama átlagosan egy hónap és anyagukat a fotoszférából kiinduló erővonalak tartják lebegve. Az aktív, vagy robbanó protuberanciák ezzel szemben gyorsan változó, rövid életű képződmények. A bennük lévő anyag néhány száz km/sec sebességgel lökődik ki; a nagyobb protuberanciák anyagának egy része el is hagyhatja a Napot.

A Nap keletkezése

A Nap az ún. második generációs csillagok közé tartozik. Ez azt jelenti, hogy olyan csillagközi (intersztelláris) anyagból jött létre, amely egy korábban felrobbant szupernóva csillag maradványa volt. Az intersztelláris anyag kezdetben igen ritka. A hatalmas tömege által kifejtett gravitációs vonzás (és újabb feltevések szerint a közelében lévő szupernóva robbanások lökéshullámai) eredményeképpen elkezd összehúzódni. Egy ilyen nagy anyagtömeg az összehúzódás során több kisebb anyagfelhőre eshet szét, amelyek a további zsugorodás során szintén felaprózódhatnak. Egy-egy ilyen felhő összehúzódása nem homogén; a középpont környezetének sűrűsége gyorsabban nő, mint a külső részeké. Az összehúzódás révén az anyagtömeg hőmérséklete egyre nő, ekkor már előcsillagnak (protocsillagnak) nevezzük. A centrum gáznyomása az összehúzódás során egyre nő, ez egy idő után megállítja a további zsugorodást és egy vi-

szonylag stabil mag jön létre. Erre folyamatosan hull az anyag az őt körülvevő kiterjedt felhőből, miközben a mag tömege és hőmérséklete egyre nő; a tömegnövekedés következtében megnőtt gravitációs erő a zsugorodást felgyorsítja. Fejlődésének ebben a szakaszában a Nap mérete a Plútó pályájának átmérőjéről a Merkúr pályájának átmérőjéig húzódott össze.

A Naprendszer kialakulása, a Nap fősorozati életszakasza

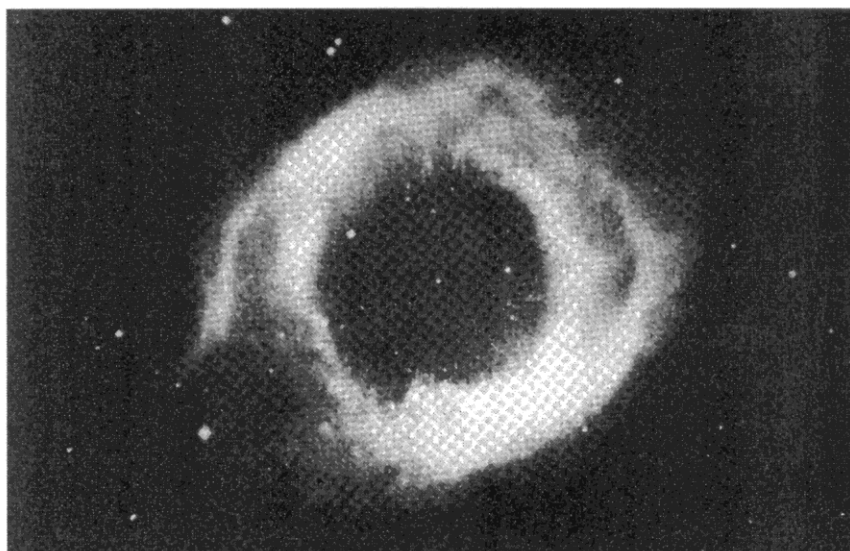
Az összehúzódó felhő anyagának csak kis hányada épül be a későbbi csillagba, a többi a protocsillag erős sugárzása révén eltávozik (a Nap egy közel 20 naptömegű felhőből keletkezett). Az anyagnak az a része, amely jelentős impulzuszórával (perdülettel) rendelkezik, a bezuhanás során egyre gyorsabban kering a centrum körül. Mozgása végül annyira felgyorsul, hogy nem is tud a protocsillag felszínére hullani, hanem állandósul az akörüli keringése. A folyamat révén egy korong alakul ki, ez szolgál a későbbiekben a bolygórendszer (esetünkben a Naprendszer) kialakulásához.

A protocsillag további összehúzódása közben hőmérséklete egyre nő, végül centrumában a hőmérséklet eléri a (korábban már részletezett) hidrogén-hélium fúzió beindulásához szükséges 15 millió K körüli értéket. A csillag ekkor belép életének leghosszabb szakaszába, az ún. fősorozati csillagok sorába. (Fősorozatnak a csillagok osztályozására szolgáló ún. Hertzsprung-Russell diagram főátlóját nevezik; a legtöbb csillag ennek mentén helyezkedik el.) A Naphoz hasonló nagyságú csillagok esetében a fősorozati életszakaszt megelőző időszak néhány millió év, a „fősorozati” időszak viszont a becslések szerint 10 milliárd év. A Nap jelenleg ennek az időszaknak körülbelül a közepén tart.

Hanyatlás a fősorozati életszakasz után

A fúziós reakciók során folyamatosan fogy a hidrogén és egyre több hélium kezd felhalmozódni a csillag magjában. Mivel csökken a hidrogén, csökken az energiatermelés is és a mag lassan összehúzódik. Eközben felforrósodik, többlet energiát termel, a hidrogén héliummá történő fúziója ezért a magot körülvevő héjban folytatódik. A két folyamat együttes hatásaként a mag zsugorodásával egyidejűleg a külső rétegek kitépődnek, felfúvódnak, a csillag az ún. vörös óriás állapotba kerül. A felfúvódás következtében ugyanis a felszín eltávolodik a magtól, emiatt hőmérséklete csökken és színe vörös lesz. A csillag sugara ekkor százszorosára, vagy akár még nagyobbra is megnő a fősorozati állapothoz képest. Amikor az egyre növekvő tömegű és felforrósodó hélium mag hőmérséklete eléri a 100 millió K-t, megindul a hélium atommagok nehezebb elemekké történő fúziója. Ettől hirtelen megnő a csillag fényessége; ez az állapot néhány száz évig tart. A hélium fúziós reakciója eredményeképp a magban szén és oxigén halmozódik fel, a hélium pedig lassan elfogy. Ekkor a magnak egy újabb, a korábbihoz hasonló összehúzódási szakasza kezdődik, a hőmérséklet ismét megnő

és a hélium fúziója a mag körüli héjban folytatódik, innen kifelé haladva a hidrogén égető héjat találjuk. A csillag külső rétegei ismét kitágulnak és az égítést megint vörös óriássá válik. Ez jelentős tömegvesztéssel jár, mivel a külső rétegek már igen távol vannak a magtól és ott alacsony a szökési sebesség. Ahogy anyagot veszít a csillag, egyre mélyebb és forróbb rétegei kerülnek a felszínre. Amikor a felszín hőmérséklete 20 ezer K körüli értékre nő, ionizálja és sugárzásra gerjeszti a korábban kidobott gáztömegeket és azok körülötte láthatóvá, fénylővé válnak. Ilyen objektumokat ma is megfigyelhetünk az égbolton, ezeket planetáris ködöknek nevezzük (**1.4 ábra**). A Nap által ledobott fénylő gázfelhő kiterjedése a becslések szerint akkora lesz, hogy a Föld pályáját is magába foglalja, ami a Föld teljes anyagának elpárologását eredményezi. Addigra azonban az élet már régen eltűnt a Földről, mivel az előző felfúvódáskor a hőmérséklet olyan magasra emelkedett, hogy bolygónk felszínéről az összes víz elpárologott.



*1.4 ábra
Planetáris köd a Lant csillagképben*

A végkifejlet: fehér törpe

A külső rétegek ledobása után a csillag hidrogén- és héliumégető héja lassan kimerül; a csillag energiatermelő reakciók híján elkezd összehúzódni és végül fehér törpe csillaggá válik. A fehér törpék összepréselt anyagában az atommagok nagyon közel kerülnek egymáshoz és az elektronok már nem tudnak a földi anyaghoz hasonló pályákon keringeni az atommagok körül, hanem szabad elektronok módjára nagy sebességgel száguldoznak az összezsúfolt atommagok között. Ez az elfajult elektrongáz akkora nyomást eredményez a törpe csillag belsejében, hogy az termonukleáris energiatermelő reakciók nélkül is ellenáll a külső rétegek nyomásának és nem roppan össze. Mindamellet a fehér törpék igen kicsik, méretük a Föld mérettartományába esik, tömegsűrűségük elképzelhetetlenül nagy; 10^9 - 10^{10} kg/m³. Az összehúzódás több rendkívüli következménnyel

jár: a forgás felgyorsul, fehér törpe állapotban a tengelyforgás periódusideje 10 s nagyságrendű. A fehér törpék anyaga – az elektrongáznak köszönhetően – igen jó hővezető, emiatt belsejükben a hőmérséklet mindenütt ugyanakkora. A megfigyelt fehér törpék hőmérséklete 4000 K és 100 000 K között van. Lassan, évmilliárdok alatt hőmérsékletük fokozatosan csökken és először vörös törpe, majd barna törpe, végül fekete törpe lesz belőlük, ekkor már teljesen láthatatlanná válnak.

II. RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Szoláris építészet az ókori Görögországban

Az energiatudatos építészet kialakulását Görögországban a tüzelőanyag hiány kényszerítette ki a Kr. e. 5. sz.-ban. Korábban rengeteg fát használtak hajóépítésre, fűtésre és a fémek kiolvasztására (utóbbira főleg faszén formájában). Az erdőket a görög szárazföldön, de a szigetek jó részén is a Kr. e. 5.sz. közepéig gyakorlatilag teljesen kiirtották. A fa távolabbi területekről történő importja viszont igen költséges volt, ezért – egyéb energiahordozó nem lévén – kényszerűségből új, napenergia-hasznosításon alapuló építészetet fejlesztettek ki.

Egy tipikus görög lakóház ebben az időben déli tájolású volt, ezen az oldalon előreugró tetőszerkezettel, amelyet oszlopok támasztottak meg (porticus). A tetőszerkezet megakadályozta, hogy a nyári napsütés a belső helyiségeket melegítse, az alacsonyan járó téli nap viszont besütött az épületbe és melegítette az oszlopcsarnok mögötti helyiségeket. Az északi oldalon nem, vagy csak alig voltak nyílászárók és a falat vastagra építették, ezáltal biztosítva a hőszigetelést a hideg évszak északi szelei ellen. Ebben az időszakban vált szállóigévé az a *Szókratész*nek tulajdonított mondás, hogy „A jó lakóház nyáron hűvös, télen meleg”.

A görögök még nem ismerték az üveget, így a nyílászáróikat nem tudták átlátszó védőfelülettel ellátni, ennél fogva a leírt tájolásból eredő hőnyereség a téli hónapokban igen szerény lehetett.

Görög városokban épültek a világon az első példaértékű közösségi épületcsoportok (ma lakótelepnek neveznénk őket), amelyeket az energiatudatos építészet jegyében terveztek. *Olynthosz* a görög szárazföld északi részén fekvő város volt, ahol télen a hőmérséklet gyakran süllyedt a fagypontra alá. A város egy fennsíkon egy 2500 lakos számára tervezett lakótelepet épített. Az utcák észak-déli és kelet-nyugati tájolásúak voltak, minden ház egyenlő mértékben részesülhetett a napenergiából és a szoros (sorház jelleggel) egymás mellé épített lakóegységek mindegyike déli tájolású volt, nagyjából a fent leírt alaprajzi elrendezéssel. *Priéné* a Kis-Ázsiai partvidéken épült város volt, Pergamontól délre. A városban egy, az Olynthoszihoz hasonló lakónegyed építettek, amelynek kialakítása ahhoz teljesen hasonló volt. A felszíni adottságok itt még kedvezőbbek voltak, mivel a lakótelepet északról egy hatalmas sziklafal határolta, védelmet nyújtva a téli hideg szelek ellen. *Délosz* szigete fontos stratégiai pont volt mind kereskedelmi, mind hadászati szempontból. Az erdők korábbi kivágása és a terület jellege itt is szükségessé tette a napenergia építészeti alkalmazását. A terep azonban erősen sziklás volt, ezért nem lehetett maradéktalanul alkalmazni a két említett városnál követett alapelveket. Ahol azonban erre lehetőség volt, az épületeket itt is déli tájolására alakították ki.

Szoláris építészet a Római Birodalomban

A rómaiak – a görögökhöz hasonlóan – eleinte igen sok fát használtak fűtési célokra, de a fejlettebb építészeti technika miatt (sok gazdag polgár házában központi fűtés vagy padlófűtés volt) még nagyobb ütemben irtották az erdőket, mint a görögök. Miután az *Appennini*-félszigeten az erdők gyakorlatilag eltűntek, Germániából, a Kaukázusból és más távoli helyekről kellett a fát importálni. A probléma megoldását itt is a napenergia építészeti alkalmazása jelentette, amely jelentős fejlődésnek indult az i. sz. I. sz.-tól.

A rómaiak nem egyszerűen átvették a görög szoláris építészetet, hanem tovább is fejlesztették azt. Mivel a birodalom kiterjedése igen nagy volt, a különböző klímájú területekre más-más építészeti megoldásokat dolgoztak ki. (Pl. Észak-Afrikában a házakat részben északi tájolásra építették, a hűvösebb klímájú Európai területeken viszont a görög minta szerint alakították ki az épületeket.) A különböző régiókra vonatkozó alapelveket *Vitruvius* foglalta össze híres könyvében. Igen komoly előrelépés volt a görögökhöz képest, hogy a rómaiak ismerték az üveget, és kiterjedten használták a csillámlemez is a nyílászárók szigetelésére. Ezáltal az üvegházhatást is hasznosítani tudták az épületek hőtárolására.

A közfürdők Rómában a legnépszerűbb közösségi találkozóhelyek voltak, amelyekből az i.sz. I.sz.-tól igen sok épült a fővárosban, de a birodalom más területein is. Ezek a társadalmi élet, a fürdés, a sport központjai voltak, amelyekben esetenként több ezer ember tartózkodott. A nagyméretű üvegfelületeket a fürdő épületeknél különösen gyakran használták az épület hőtartásának fokozására.

A napenergiához való jogot az állami törvények is szavatolták minden (szabad) római polgárnak. Így pl. korlátozásokat írtak elő az épületek egymástól való távolságára, magasságára stb. figyelembe véve azt a szempontot, hogy a szomszédos épületeket ne árnyékolják. Ezeket a törvényeket véglegesen és igen részletesen Justinianus törvénykönyve rögzítette. A történelemben ez volt az első eset, hogy a napenergiához való jogot törvényileg szabályozták.

Középkor és reneszánsz

A görög és a római szoláris építészet eredményei a középkor és a reneszánsz időszakában szinte teljesen feledésbe merültek. A napenergia alkalmazása jó részt fantazmagóriákban merült ki. Egyik ilyen fantasztikus ötlet volt a fókuszáló tükrök és lencsék harcászati célokra történő alkalmazása. Hadi mérnökök álmodoztak olyan tükrökről, lencséről amelyekkel az ellenséges hajóhadat felgyújtják, az ellenséges várost megsemmisítik stb. Ezek az elképzelések abból a legendából indultak ki, amely *Arkhimédész*ről terjedt el, aki – állítólag – Kr. e. 212-ben fókuszáló tükrökkel felgyújtotta a Syracuse ellen támadó római hajókat.

Fókuszáló tükröket már az ókorban is alkalmaztak, elsősorban kultikus célokra. Ilyen tükrökkel gyűjtötták meg pl. az áldozati oltárok tüzeit. Az említett harcászati elvárások nyilvánvalóan irreálisak voltak, ennek ellenére olyan neves természettudósok is foglalkoztak hasonló tervekkel, mint *Roger Bacon* és *Leonardo da Vinci*. Bacon az 1200-as években javasolta, hogy a Szentföldre utazó keresztes hadak fókuszáló tükrökkel gyűjtsék fel az ellenük felvonuló szaracén (arab) hadakat. Az ötletet az egyház ellenezte, mert benne az isteni akarat által adományozott napsugarak megengedhetetlen eltérítését látták és szentségtörésnek tartották. Bacont börtönbe is vetették bűnös gondolatai miatt.

Az 1600-as évektől egyre nagyobb méretű gömb, később parabola alakú tükröket építettek; nem ritkák a 2-3 m átmérőjű tükrök sem. Ezek elsősorban demonstrációs célokat szolgáltak. Problémát okozott, hogy az egyetlen darabból készült tükrök pontos felület kiképzése igen nehéz volt, a tükrök pedig súlyosak voltak. Ha viszont a tükröket vékony lemezből készítették, sérülékenyek voltak. Jelentős előrelépés volt az 1700-as évek végén *Peter Hoesen*, drezdai ezermester újítása, aki hatalmas gömbtükrét szegmensekből állította össze. A tükrök szögállását változtatni lehetett és kerekre szerelve hordozható demonstrációs eszközzé vált. Hoesen sok sikeres bemutatót tartott tűzgyűjtásra is alkalmas tükrével.

Az üvegházak térhódítása

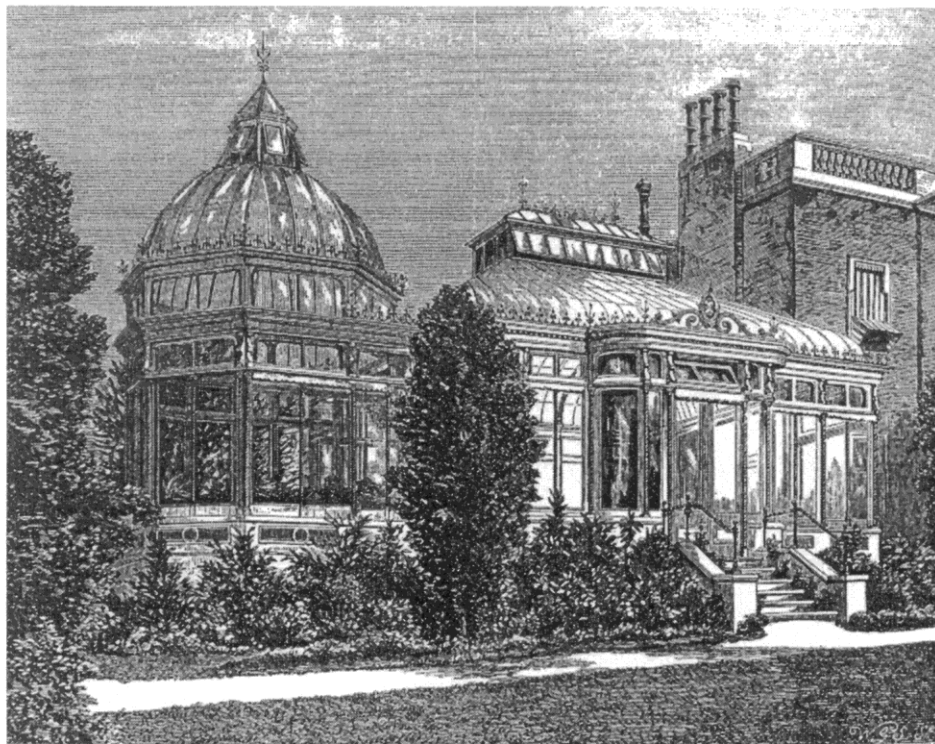
A 16. sz.-tól Nyugat-Európában gyorsan terjedt az üvegházi kertészeti kultúra. Korábban az egyház elítélte az üvegházak alkalmazását, mivel az évszakoktól jórészt független üvegházi termesztést a természet isteni rendjébe való beavatkozásnak tekintették.

Az üvegházi kultúra elterjedését erősen motiválták a nagy földrajzi felfedezések. Európába ezek nyomán rengeteg délszaki növényt hoztak be, amelyeket csak üvegházi körülmények között lehetett szaporítani és termelni. Az üvegházak először *Flandriában* és *Hollandiában* tűntek fel a 16. sz.-ban, ezt követően Franciaországban és Angliában is gyorsan elterjedtek, kezdetben főleg kertészeti célokra.

Ugyanebben az időben kezdték alkalmazni a síkba kiterített gyümölcsfa és szőlő ültetvényeket, amelyek egy (hőtároló) téglafalhoz voltak rögzítve és gyorsabb növekedést mutattak, mint a hagyományos kialakítású növények. Franciaországban a 17. sz.-ban rézsűs kiképzésű támasztófelületeket alakítottak ki, amelyekre a szőlő vagy a fák ágait ráfektették, ezáltal biztosítva a kedvezőbb beesési szöget és kihasználva az alátámasztó felület hőtároló kapacitását. Egyes kertészek változtatható szögű, rácsos támaszfalakat is alkalmaztak a mindenkori legkedvezőbb besugárzási állapot biztosítására.

A 18. sz. végén az üvegházak hőtárolására is újszerű megoldásokat találtak. A napközben besugárzott hőt téglafalakban tárolták a hűvös éjszakai órákra, egy

másik megoldásnál a meleg levegőt külön kamrában tárolták, majd éjjel konvektív áramlással visszavezették az üvegházba.



Épület oldalához csatlakozó üvegház a Viktória-korabeli Angliában

Angliában a 19. sz. végén jöttek divatba a lakóépületekhez csatolt, rendszerint déli tájolású üvegházak (conservatory), amelyekben dísnövényeket tartottak. Az üvegházakat esetenként nyílászárókkal a lakóépületekhez kapcsolták. Így napsütéses tavaszi vagy őszi napokon az épület fűtéséhez is jelentősen hozzájárultak. Ezt elsősorban a gazdagok engedhették meg maguknak. Később a városi, emeletes lakótömbök lakásaihoz is gyakran kapcsoltak kis méretű, üvegfalú helyiséget, amely a téli kert funkcióját töltötte be.

Városi beépítésnél nem mindig lehetett megoldani a napenergia szempontjából legkedvezőbb déli tájolást. Emiatt az üvegházak egy része nem működött kielégítően. Az első világháború után ezek a városi téli kertek szinte teljesen kimentek a divatból, de az egész üvegház-kultusz is hanyatlásnak indult.

Forró dobozok

Az üveggel határolt nyílászárók hőtartó hatása – az üvegházhatás – az ókortól ismeretes volt. Tudományos szintű vizsgálata azonban csak a 18. sz. második felében kezdődött el. 1767-ben *Horace de Saussure*, francia-svájci természetbúvár először végzett kísérleteket az üvegházhatás hőfejlesztő hatásának vizsgálatára. Kísérleteihez jó szigetelésű, nagy méretű fadobozt

készített, amelyre több réteg üveglefedést lehetett rögzíteni. Készülékét „forró doboznak” nevezte. A készüléket napra helyezve a legfelső térrészben 88 °C-ra emelkedett a hőmérséklet. Kisebb további változtatással már 109 °C-t lehetett elérni.

Sir John Herschel, a neves csillagász hasonló forró dobozt készített, amelyet Dél-Afrikai csillagászati expedíciója során sütési-főzési célokra használt. Nem sokkal később *Samuel Langley* kimutatta, hogy több rétegű üvegborítással ellátott forró dobozban mélyen a fagyponthoz alatti külső hőmérsékleten, hó borította vidéken is 100 °C fölötti hőmérsékletet lehet elérni derült, napsütéses időszakokban.

A forró doboz kísérletek jelentősége abban állt, hogy technikai alapjául szolgáltak a későbbi, melegvíz előállítására alkalmas sík napkollektoroknak.

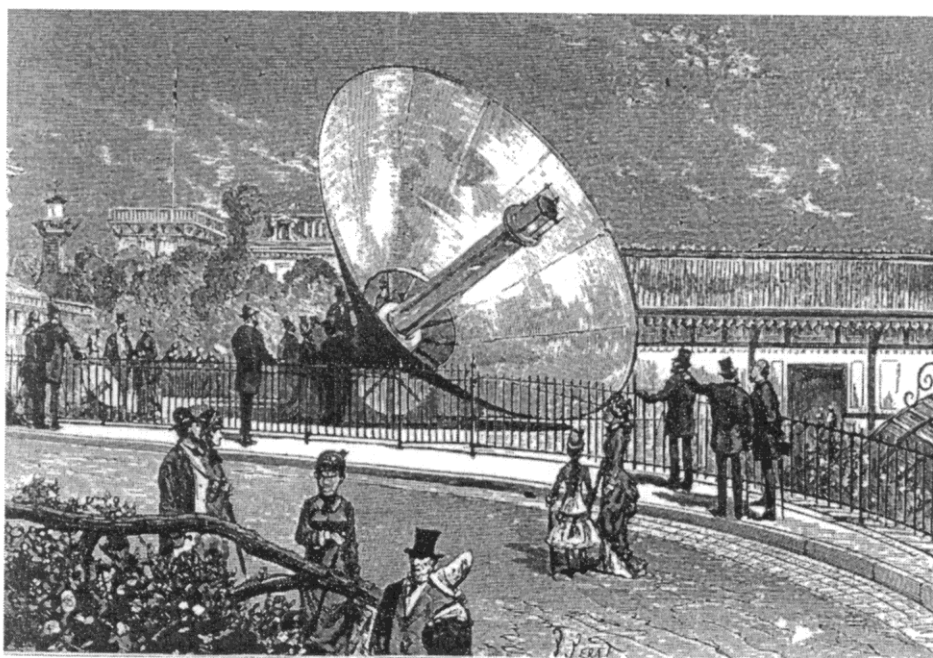
A demonstrációtól az ipari alkalmazásig

A 19. sz. elején kezdődött az a nagyarányú ipari fejlődés Nyugat-Európában, amelyet ipari forradalom néven tart számon a történelem. A fejlődés élharcosa Anglia volt, Franciaország hátrányos helyzetbe került, mivel szénkészletei szűkösek voltak.

Augustin Mouchot, a fiatal matematika professzor toursi katedráját hagyta el, hogy 20 évet a napenergia eszközök fejlesztésének szenteljen. Törekvéseiben az motiválta, hogy az energiahordozókban (akkor még) szegény Franciaországban a fejlődést a napenergia ipari léptékű hasznosításával lendítse fel. Alapos előtanulmányok után először három teljesen újszerű készüléket fejlesztett ki: napenergiával működő főző-, desztilláló készüléket és egy szivattyút, mindhárom fókuszvonalas (vályú alakú) koncentrátorral üzemelt. Ezek még kisebb méretű berendezések voltak, Mouchot célja azonban olyan kazán építése volt, amely az akkor használatban lévő gőzgépek működtetésére is alkalmas. 1874-ben Toursban bemutatta napkövető óraművel ellátott, rézlemezből készült napkazánját, amely egy csonka kúp alakú tükör fókuszvonalában helyezkedett el; a kazánt kívülről üvegborítással látta el, az üvegházhatás biztosítása céljából. A 2,5 m átmérőjű reflektor-tükör szegmensekből készült, Peter Hoesen 100 évvel korábbi berendezésének mintájára. Mouchot napkazánja igen nagy sikert aratott, nagy nyomású gőzt állított elő és egy 0,5 lóerős gőzgépet működtetett.

Mouchot felismerte, hogy Franciaországban a napsugárzás csekély volta és rapszodikus változása miatt nagyobb méretű gépi berendezések működtetéséhez sok napkazán lenne szükséges, amelynek igen nagy a területigénye. Franciaország ebben az időben vetette meg lábát Észak-Afrikában, ahol a besugárzási körülmények sokkal kedvezőbbek voltak és Mouchot ezután néhány évig Algériában végezte napenergia-kutatásait. Először néhány egyszerű, köznapi használatra szánt eszközt fejlesztett ki a francia idegenlégió

használatára, többek között egy főző készüléket és egy vízdesztilláló berendezést. Ugyancsak Algériában építette fel minden korábbinál nagyobb napkazánját, amelynek csonka kúp alakú reflektora 5 m átmérőjű volt. A kazánt az 1878 évi Párizsi Világkiállításon is bemutatták, ahol nagy feltűnést keltett. A berendezés gőzgépet működtetett, amely óránként több, mint 2000 liter vizet szivattyúzott. Ugyanezzel a berendezéssel alkoholt desztilláltak, ételeket főztek, sőt egy hozzákapcsolt hűtőberendezés segítségével jégkockákat is előállítottak.



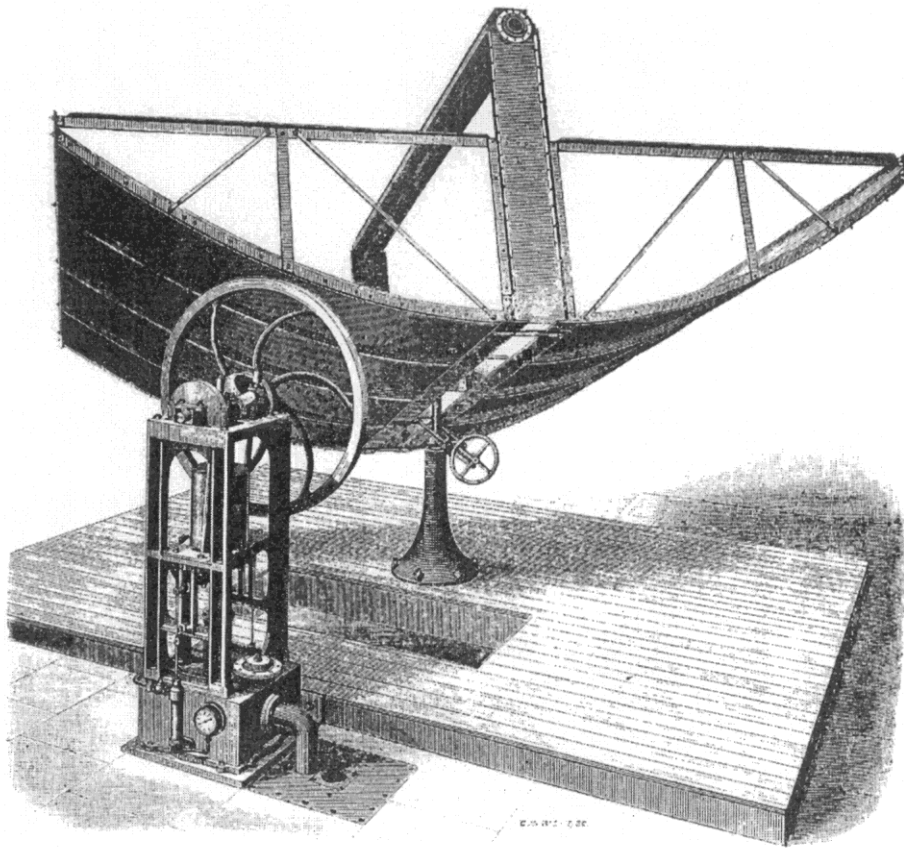
Mouchot napkazánja az 1878. évi Párizsi Világkiállításon

A párizsi siker után Mouchot visszatért Algériába, ahol elsősorban az energiatárolás problémája foglalkoztatta. Először különböző hőtároló anyagokkal foglalkozott, majd felfedezte azt az energiatárolás eljárást, amelyet mindmáig a legkorszerűbbnek tartanak: a vízbontást elektromos árammal. Az így fejlesztett hidrogén elégetésével biztosítható az energiaellátás az éjszakai órákra és a felhős napokra. Akkoriban még ismeretlen volt a napelem, ezért Mouchot termoelemekkel kísérletezett, hogy elektromos áramot termeljen. Ezek teljesítménye azonban igen kicsi volt, így ezt a zseniális ötletet nem sikerült valóra váltani, ez csak jóval később, közel 100 év múlva valósult meg. Időközben Franciaországban korszerűsödött a bányászat, olcsóbbá vált a szén, a napenergia lassan háttérbe szorult. Mouchot ezért 1880-ban visszatért matematikai munkásságához. Készülékeit azonban még sokáig használták Algériában.

Mouchot-nak ugyan nem sikerült Franciaországot a „napenergia korszakába” bevezetnie, munkássága mégis új korszakot nyitott. Átlépte azt a bűvös határt, amely a tudományos kutatás és a gyakorlati alkalmazás között húzódik. Az általa kifejlesztett eszközökkel sokféle módon bebizonyította, hogy

a napenergia az emberiség jelentős energiaforrása lehet. Munkásságával megteremtette a modern szoláris technika alapjait.

Ezzel egyidejűleg Amerikában is jelentős előrelépés történt a napenergia hasznosításában. *John Ericsson*, svéd származású mérnök-feltaláló felismerte, hogy a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése után a napenergia lehet a legjelentősebb energiaforrás. 1870-ben ezért felépítette első napenergiával működő gőzgépét, amely sok tekintetben Mouchot berendezéséhez hasonlított. Alapvető különbség volt, hogy Ericsson vályú alakú reflektort használt, amelynek fókuszvonalában viszonylag kis átmérőjű rézcső töltötte be a kazán szerepét, és üvegburkolatot nem alkalmazott a cső külsejére. A készülék többszöri tökéletesítése után a sorozatgyártásra és az eszköz forgalmazására akart áttérni, de ebben 1889-ben bekövetkezett halála megakadályozta.



Ericsson vonalfókusz-kazános gőzgépe

A századforduló táján az Újvilágban is megnőtt az érdeklődés a napenergia iránt. Ericsson követői több módosítást végeztek az ő konstrukcióin és elsősorban olyan területeken népszerűsítették a napenergia rendszereket (pl. Arizonában), ahol igen nagy a sugárzó energia és a szárazság miatt nagy jelentősége van az öntözésnek. Több technikai változatban készítettek napenergiával működtetett öntöző rendszereket, amelyek bemutatóit nagy

érdeklődés kísérte. Ezek a rendszerek mégsem terjedtek el széles körben, aminek két fő oka volt. Egyrészt építési költségük magasabb volt, mint az akkor forgalmazott hagyományos (széntüzeléses kazánal üzemelő) rendszereké. Másrészt a reflektor igen nagy felületű, érzékeny berendezés volt, amely könnyen szennyeződött, erős szélben felborult és összetört; a hasonló balesetek is hozzájárultak a berendezés népszerűségének csökkenéséhez.

Frank Shuman német származású autodidakta mérnök volt Philadelphiában. Elsőnek ő bizonyította be, hogy a napenergia ipari (erőművi) léptékű energiaellátásra is alkalmas lehet. Először a korábbi forró dobozokhoz hasonló berendezéseket használt hőfejlesztésre, a keletkezett hőt alacsony forráspontú folyadék (éter) forralására használta és a keletkező étergőzzel egy speciális, alacsony nyomású gőzgépet hajtott meg. Első bemutatói igen sikeresek voltak, berendezésével nagy teljesítményű szivattyúkat üzemeltetett. Shuman vérbeli menedzser volt, értett a reklámhoz és tudta, hogyan kell pénz szerezni további fejlesztéseihez. Vállalatot alapított és részvényeket bocsátott ki a vállalkozás további finanszírozásának érdekében. A későbbiekben a forró doboz elvet egyesítette a koncentrátor kollektorral, ezzel olyan magas hőmérsékletet tudott előállítani, hogy az már vízforralásra is alkalmas volt. Nagy méretű, vályú alakú kollektorokat alkalmazott vonalfókuszos rendszerben, ezekkel Philadelphiában egy 32 lóerős berendezést épített szivattyúkat üzemeltetésére.

Ezután Shuman angol üzleti partnereket szerzett, akik támogatásával Egyiptomban 1913-ban (akkori viszonylatban) nagy méretű naperőművet épített. A kazán hőellátását 5 darab 70 m hosszú, 3,5 m széles vályú alakú parabola-kollektor látta el, amelyek egymástól 7 m távolságra voltak. A naperőmű egy alacsony nyomású gőzgépet hajtott, amely szivattyúkat üzemeltetett. A hőtárolást nagy méretű, szigetelt tartállyal oldották meg, így a szivattyútelep 24 órán át üzemelt. A teljesítmény 55 lóerő volt és a berendezés percenként 25 m^3 vizet szivattyúzott. A berendezés területigénye a hagyományos kazán-egységekhez képest igen nagy volt, lóerőnként közel 20 m^2 és építési költsége egy hagyományos kazánénak a kétszerese volt. A jelentős üzemanyagköltség megtakarítása révén azonban a többletköltség az előzetes becslések szerint 2-3 év alatt megtérült, a fenntartási költségek pedig jóval kisebbek voltak, mint a hagyományos kazánoké. A napenergia ilyen nagy léptékű sikeres alkalmazása nyomán Anglia 1914 elején nagy földterületet ajánlott fel Egyiptomban Shuman munkacsoportjának, kísérleti öntöző telep létesítésére. Németország ugyanekkor jelentős összeget helyezett kilátásba Nyugat-Afrikai gyarmatán építendő naperőmű céljára.

Shuman nagyratörő terveiben már egy 55 ezer km^2 kiterjedésű napkollektor-mezőről álmodott a Szaharában, amellyel évi 270 millió lóerő teljesítményt lehetett volna megvalósítani (ez a világ 1909. évi teljes üzemanyag kitermelésének felelt meg). Az első világháború kitörése azonban ezeket a terveket keresztülhúzta, Shuman a háború alatt meghalt. A háború éveiben az

olajipar gyors fejlődésen ment keresztül, az üzemanyagárak erősen lecsökkentek és az általános érdeklődés ismét elfordult a napenergia alkalmazásától.

Vízmelegítés napenergiával

Az ókori Rómában a fürdőkultúra igen magas szinten állt. A középkorban azonban ez a kultúra, egészen az újkor kezdetéig teljesen kihalt. A rendszeres tisztálkodás igénye csak a 19. sz.-ban éledt újra, részben az infrastruktúra korszerűsödése, részben *Pasteur* mikrobiológiai felfedezései révén, amelyek nyomán világossá vált, hogy a fertőző betegségeket mikroorganizmusok okozzák. A 19. sz. közepétől Európában és Amerikában a fenti okok következtében általánossá vált az igény a melegvízzel történő rendszeres tisztálkodásra. Az előkészületek azonban igen hosszadalmasak és nehézkesek voltak: fa, vagy széntüzelésű vízmelegítő kazánokat használtak, amelyek felfűtése több órát vett igénybe. Ezért a fürdés általában heti egy alkalommal történő, hosszas szertartás volt.

A fejlődés – mint sok más esetben – most is Amerikából indult. A napenergia használata kezdetben abból állt, hogy feketére festett tartályokat helyeztek a háztetőkre, amelyekből néhány óra múlva – napsütéses idő esetén – meleg vizet nyertek (ezek nagyjából úgy működtek, mint a mostanában használt kerti zuhanyozók, fekete hordóhoz csatolva). Ezek a tartályok azonban, mivel nem volt megoldva a hőtárolás, igen gyorsan lehűltek.

Clarence Kemp 1891-ben Baltimore-ban (Maryland Állam) újítást vezetett be: a fekete tartályokat üveglefedésű kazettába helyezte, így az üvegházhatás közbeiktatásával a készülék hőtartása sokkal jobb lett. Létrehozta a „Climax” vízmelegítő berendezést, amely hatalmas üzleti siker lett. A készüléket a vízigénytől függően négy különböző méretben gyártotta. Kemp felismerte, hogy készüléke a napsütéses Kaliforniában sokkal hatékonyabb lehet, ezért ott is forgalmazni kezdte, igen nagy sikerrel.

A későbbiekben *Charles Haskell* tökéletesítette a készüléket; a hengeres tartályok helyett – amelyekben a vastag vízréteg lassan melegedett át – nagyobb felületű, lapos tartályt alkalmazott, ezáltal a víz felmelegedése jóval gyorsabbá vált. Ez az új változat – a tökéletesített Climax vízmelegítő – rendkívül népszerű lett. A századforduló táján készült Kaliforniai városképeken (Los Angelesben és Pasadenában) látható, hogy az épületek jelentős hányadában használták a tetőre szerelt vízmelegítő készüléket.

1909-ben *William Bailey* kifejlesztette a nagyteljesítményű, éjjel-nappali melegvíz szolgáltatásra alkalmas („Day and Night” típusú) készüléket. Ebben a korábbi, javított Climax-típusú készülékhez egy nagy méretű tároló tartályt is kapcsolt. A tartály magasabban helyezkedett el, mint a vízmelegítő kollektor, így a konvektív áramlás a melegvizet a tartályba emelte. A hideg vizet a tartály alján a fogyasztás ütemében egy mechanikus automata szelepen át pótolták. A

Day and Night rendszer egész Kaliforniában elterjedt és az 1920-as évek végéig használatban volt.

Az 1920-as, 30-as években a napkollektor gyártás virágzó iparág volt Kaliforniában és Floridában. Az akkori méretekhez képest nagy üzemekben folyt a gyártás és igen jelentős volt az üzleti forgalom. A konstrukción további tökéletesítéseket végeztek: a vizet vékony csőkiágán vezették át a kollektor dobozban és keringető szivattyút építettek be. Olyan területeken, ahol télen a hőmérséklet fagypont alá csökkent, kétkörös megoldást alkalmaztak. Ezeknél a háztetőn elhelyezett primer körben fagyálló folyadék keringett, amely hőjét egy hőcserélőn keresztül adta át a szekunder körben áramló víznek, ez egy tároló tartály közbeiktatásával már a használati melegvizet szolgáltatva. A 30-as évek végére a gyártó cégek között jelentős üzleti verseny alakult ki.

A második világháború után az Egyesült Államokban a napkollektor iparág hanyatlásnak indult. Ennek több oka volt. Egyrészt emelkedett a gyártáshoz használt anyagok (fémek, üvegek stb.) ára, ezen kívül emelkedtek a munkabérek is. További problémát jelentett az, hogy a kollektorok felületét tisztán kellett tartani, és karbantartásuk általában elég munkaigényes volt. Ugyanakkor jelentősen lecsökkent a fosszilis energiahordozók (olaj és földgáz), valamint az elektromos energia ára.

Ugyanebben az időszakban más, energiahordozókban szegény régiókban erőteljes fejlődésnek indult a napenergia-ipar. Ezekben az országokban lényeges új fejlesztések nem történtek, az USA-ban korábban kifejlesztett típusokat adaptálták a helyi körülményeknek és a fogyasztók lehetőségeinek figyelembe vételével.

Izraelben, amely fosszilis energiahordozókban szegény, a napenergia alkalmazásainak feltételei ideálisak, mivel az ország az egyik legnaposabb régióban van. Az 1940-es években *Levi Yissar* megalapította az első napkollektor-üzemet. A termelés gyorsan növekedett, néhány év alatt 100 ezres nagyságrendben forgalmaztak vízmelegítésre alkalmas napkollektorokat. A napkollektor-gyártás évtizedekig virágzó iparág volt, prosperitásának – paradox módon – az 1967. évi hat napos háború vetett véget. Ekkor a Szinai-félsziget jelentős olajkészleteivel Izrael fennhatósága alá került. Az innen származó olcsó olaj rövid időre háttérbe szorította a napenergia-ipart. Később azonban az iparág újból fellendült és az utóbbi években (az ezredforduló körül) újból nagy népszerűségnek örvendenek a vízmelegítő kollektorok. Mivel Izraelben a hőmérséklet mindig fagypont fölött van, a legegyszerűbb primer-körös kollektorokat alkalmazzák, aminek előnye az egyszerű konstrukció, az alacsony ár és a magas hatásfok.

A háború után Ausztráliában is rohamosan elterjedt a napkollektorok használata, különösen az északi, trópusi területeken. Először a legegyszerűbb, termoszifonos keringetésű (konvektív áramlású) modelleket gyártották, később áttértek a keringető szivattyús változatokra. Rövid időn belül 10 ezres nagyságrendekre emelkedett a napkollektorok forgalmazása. A központi

kormány támogatta a napenergia-programot, ennek demonstrálására még a kormányzati épületeket is napkollektorokkal szerelték fel a melegvíz előállítására céljából.

Japánban, ahol igen kiterjedt fürdőkultúra volt, szintén gyorsan tért hódított a napkollektorok használata a második világháború után; először főleg a mezőgazdasági (rizstermelő) területeken, később mindenütt. A korábbi fejlesztések több változatát alkalmazták, de végül főleg egy igen olcsó, hengeres tartályokból felépített változat terjedt el, amely leginkább a századforduló táján az USA-ban használt Climax típusú vízmelegítőre emlékeztetett.

Napenergia az építészetben

Az ókor feledésbe merült energiatudatos építésze a 19. és 20. sz.-ban helyenként ismét felbukkant, de ezek az alkalmak szórványosak, gyakran csak demonstratív vagy kísérleti jellegűek voltak.

A sötét, egészségtelen városi nyomornegyedeiről híres Angliában az 1860-as években Liverpool közelében felépült Port Sunlight, egy napenergia-tudatos tervezésű minta-lakótelep. Hasonló minta-lakónegyedeket terveztek az 1910-es években Franciaországban és Németországban is. Híressé vált a Berlin közelében 1929-ben épült „Siemensstadt” lakótelep, a kisebb lakóközösségeknek tervezett Zeilenbau lakónegyed és a Svájcban épült Neubühl, Zürich közelében.

Amerikában a századforduló körül felépültek az első felhőkarcolók. Az ilyen magas épületek árnyékoló hatása építészeti, etikai és jogi problémákat vetett fel. *William Atkinson* bostoni építész foglalkozott először ezzel a problémával. Sikerült elérnie, hogy Boston városi tanácsa 1904-ben rendelettel korlátozta az épületek magasságát. Atkinson kiterjedt elméleti és kísérleti munkát folytatott az épületek tájolásával, napenergia hasznosításával, árnyékoló hatásával stb. kapcsolatban. Tervezési segédleteket, demonstrációs készülékeket készített, és kísérleti üvegházakat épített. 1912-ben publikálta „Az épületek tájolása a napsugárzás hasznosítása szempontjából” c. könyvét. Ennek azonban nem volt különösebb visszhangja, Atkinson munkássága feledésbe merült, és csak évtizedek múlva hasznosították eredményeit.

Az európai eredmények ösztönző hatást gyakoroltak az Újvilágra is. Az 1930-as években a napenergia építészeti hasznosításának új hulláma indult el az Egyesült Államokban. Egész sor új konstrukció látott napvilágot. A legismertebb konstruktőrök *George Keck* és *Arthur Brown* voltak. Chicago közelében Solar Park néven lakótelep is létesült, amelyek épületeinél a tervezők a napenergia maximális kihasználására törekedtek. A „nap-házaknak” általában nagy sikere volt, ezért egyes építési vállalkozók erre a területre szakosodtak. Készültek olyan változatok is, amelyek teljes egészében előre gyártott elemekből álltak és a helyszínen, igen rövid idő alatt lehetett őket összeszerelni.

A nap-házak általában funkcionálisan jó konstrukciók voltak, esztétikai megjelenésük azonban nem mindig váltott ki osztatlan sikert. Egyik ilyen ház pl. a napenergia hasznosítás fokozása céljából fekete falfelülettel épült, amit sokan kissé morbidnak ítélték.

A 40-es évek végén a nap-ház program lassú hanyatlásnak indult. Az energiahordozók ára jelentősen lecsökkent, a napenergia használatával elért megtakarítás mértéke így már jóval csekélyebb volt, mint a háború előtt és alatt. Másrészt a nap-házak építési költsége legalább 10 %-kal magasabb volt, mint a hagyományos épületeké. Ez a szempont az építetőköt a hagyományos épületek irányában motiválta. A 40-es évek végére a nap-házak iránti érdeklődés gyakorlatilag megszűnt.

A Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) napházai

A mindmáig legnagyobb volumenű kísérleti napház-program 1938-ban kezdődött, és néhány éves szünettel 1962-ig tartott. A program fő indítékát az adta, hogy az Egyesült Államokban a lakóházak fűtése óriási energiát emészt fel, nagyobbat mint pl. az egész ipar energia fogyasztása. Ha ezt legalább részben napenergiából lehetne fedezni, annak gazdasági jelentősége óriási lenne. A program finanszírozását egy gazdag bostoni üzletember biztosította, 650 ezer dolláros adományával.

A program során négy különböző típusú kísérleti házat építettek, ezek fűtését és melegvízellátását a napenergia felhasználásával kívánták megoldani. Minden kísérleti ház több évig üzemelt, és közben állandó méréseket, kiértékeléseket végeztek, igen gazdag tapasztalatokat szerezve. A kísérletekről készült dokumentációkat, beszámolókat mindmáig a napenergia-programok klasszikusai között tartják számon. A program vezetője *Hoyt Hottel*, az M.I.T. vegyészmérnöki karának professzora volt.

Az 1. napház déli tájolással, a tetőn 40 m² kollektor felülettel épült fel. A kollektorok által felmelegített vizet egy szivattyú az alagsorban elhelyezett 70 m³-es tartályba szivattyúzta. A tartály által felmelegített levegőt ventilátorok hajtották be a lakótérbe. A szivattyú és a ventilátorok külső elektromos hálózatról üzemeltek. A szabályozást úgy oldották meg, hogy ha a kollektorok vízhőmérséklete a tartály hőmérséklete alá csökkent, a rendszer automatikusan leürült. Ily módon elkerülték a kollektorok szétfagyásának veszélyét és hővesztés sem jött létre a külső hideg következtében.

A napház belsejében a téli hideg napokon sem csökkent a hőmérséklet 22 °C alá. Számos paraméter (a kollektorok dőlésszöge, az üveglefedések száma, a hatásfok változása stb.) vizsgálatára került sor, ezeket gondosan rögzítették. Gazdaságilag az eredmény nem volt túlságosan kedvező. A nagy kollektor felület és a nagyméretű tároló tartály jelentős költségtöbbletet igényelt, ezt lakóházaknál akkor megengedhetetlennek ítélték.

A 2. napház az elsőtől teljesen eltérő alapelvek szerint épült 1947-ben. A fűtési hőt a déli oldalfalon függőlegesen elhelyezett kettős üveglefedésű „fűtő-falak” szolgáltatották. Ezek feketére festett abszorberrel határolt lapos fémdobozok voltak. A fűtő-falról a meleg levegőt természetes konvektív áramlás hajtotta a ház belsejébe. A túlmelegedés ellen fehér vászonfüggönyökkel takarták a fűtő-falakat, amikor a ház belsejében a hőmérséklet $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá csökkent, a függönyöket egyszerűen felhúzták.

Az eredményt tekintve a kutatócsoport ezt a napházat végül nem ítélte sikeresnek. A fűtő-falak a ház teljes fűtési energia igényének 38-48 %-át fedezték, de a veszteség túl nagy volt és a függönyök kezelése nehézkessé tette a működést, ezért ezt a megoldást végül elvetették.

A 3. napház módosított alapelvek szerint épült 1949-ben. Tervezésénél az eddigieknél nagyobb mértékben vették figyelembe a gazdaságossági szempontokat. Egyrészt nem tekintették célnak azt, hogy a ház teljes fűtési hőigényét a napenergiából fedezzék, ezért kisebb kollektor felületet építettek be. Másrészt nagy felületű, déli tájolású ablakokkal további hőnyereséget értek el. A kollektorok által felmelegített víz itt is egy alsó tartályba került, ahonnan a levegőt - az első napházhoz hasonlóan - ventilátorok továbbították a lakótérbe. A tartály azonban itt jóval kisebb volt, mint az első napháznál.

Újdonság volt a korábbi kísérletekhez képest, hogy ezt a napházat lakásként hasznosították, az egyetem egyik fiatal oktatója családjával költözött a házba. A napház működése igen sikeres volt, a fűtési hő 44 %-át szolgáltatották a kollektorok, 29 %-át a déli tájolású ablakok, a bútorok és berendezési tárgyak hőtárolása további 16 %-ot eredményezett, elektromos fűtéssel csak a hiányzó 11 %-ot kellett pótolni. Ez volt az összes eddigi kísérleti ház közül a legeredményesebb; 1953-ig sikerrel működött, ekkor egy elektromos zárlat folytán keletkezett tűz során leégett.

A 4. napház 1958-ban épült, az elsőhöz lényegében hasonló elvek alapján. Tervezésénél azonban fokozottan figyelembe vették a gazdasági szempontokat és a házat egy sorozatgyártású modell prototípusának szánták. A konstrukció azonban nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, a kollektorok a fűtési energiának csak 50 %-át szolgáltatották. A ház így is 1962-ig üzemelt, amikor az M.I.T. napház programja befejeződött.

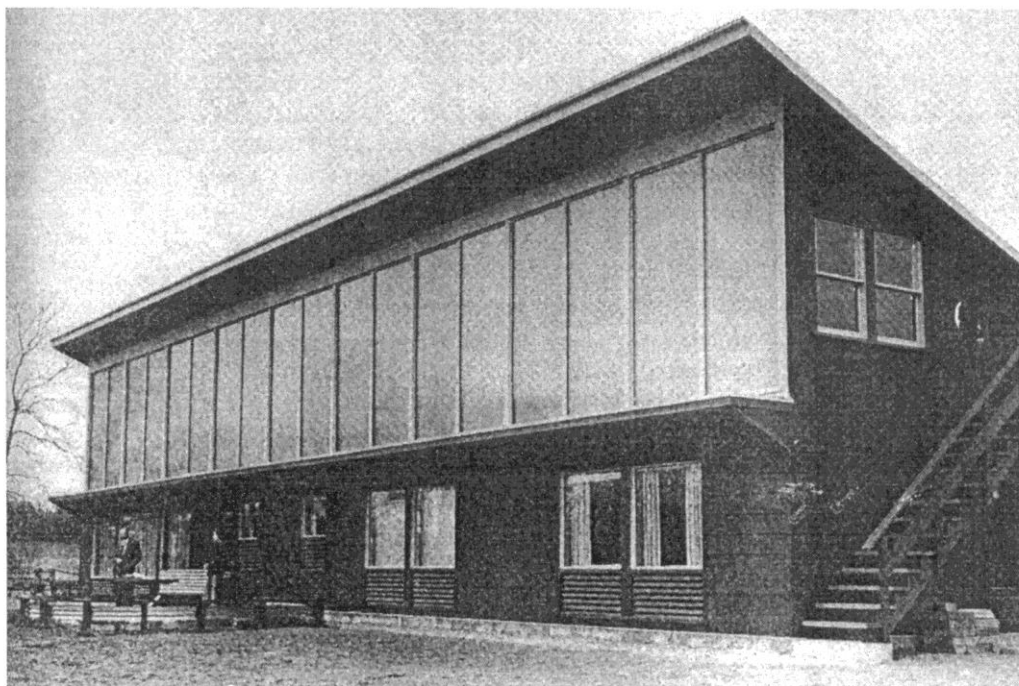
A program legfontosabb eredménye az volt, hogy bebizonyította: a napenergiával történő lakóház-fűtés Massachusetts-hez hasonló hideg éghajlatú vidéken is megvalósítható.

Telkes Mária munkássága

Telkes Mária, magyar származású fizikus, korábban fémipari kutatásokban tevékenykedett. 1945-től napenergia-hasznosítás területén dolgozott az M.I.T.-ben, egyidejűleg a napház-munkacsoporttal, de tőlük függetlenül.

Nehézkesnek találta a hőtárolás eddigi megoldásait - nagy térfogatú víztartályok, vagy közüzalék felhasználásával. Tudta, hogy a kristályos anyagok olvadásakor nagy hőmennyiség tárolódik el, amely megszilárdulásakor (fagyáskor) felszabadul (fázisátalakulási hő). Telkes Mária hosszú ideig kutatott egy alacsony olvadáspontú, olcsó kristályos anyag után, amelynek nagy az olvadáshője. Végül úgy találta, hogy a célnak a glaubersó (nátrium-szulfát dekahidrát) felel meg legjobban; ennek olvadáspontja 32 °C.

A kísérleti ház felépítéséhez szponzort is talált, így 1948-ban Doverben (Boston közelében) a ház felépült. Fűtését – Telkes Mária elképzelései szerint – teljes egészében a napenergia szolgáltatta volna. Ezért a ház déli homlokfalának felső szintjét függőleges állású napkollektorokkal építette be, innen a meleg levegőt ventilátorok továbbították a mögöttük lévő sótároló kazettákra. A glaubersó az abszorbeált hőtől megolvadt, majd amikor este a ház lehűlt, megszilárdult, látens hője felszabadult, melegítve a ház belső helyiségeit. A doveri házba 1948 telén a *Némethy*-család (Telkes Mária rokonai) költözött be. A tél kezdetben igen hideg volt, a napenergiával történő fűtés nem volt kielégítő, kiegészítő fűtést pedig nem terveztek az épületbe. A *Némethy*-család kellemetlen, hideg napokat élt át. Ezután két (enyhébb) télen át a működés kielégítőnek mutatkozott, majd a rendszerben működési zavarok léptek fel. A probléma az utólagos elemzés szerint valószínűleg az lehetett, hogy a glaubersó megolvadásakor külön vált az olvadt só és a vizes fázis. Visszafagyáskor ezek már nem keveredtek össze, így a látens hő felszabadulása nem volt egyöntetű.



Telkes Mária napháza Doverben

Végül a működési problémák kiküszöbölése céljából a tulajdonos elektromos fűtőtesteket helyezett el a házban, majd 1953-ban a glaubersó-tartályok szivárgása miatt az egész szoláris fűtőrendszert lebontották és teljes egészében hagyományos fűtésre tértek át.

Összegzésképpen megállapítható, hogy a latens hő felhasználása hőtárolási célokra termékeny ötlet volt, de technikailag nem sikerült jól megvalósítani. Másrészt az USA északi területeinek klimatikus viszonyai mellett akkor még irreális elképzelés volt egy tisztán napenergiára alapozott fűtési rendszer létesítése.

Telkes Mária a továbbiakban még jó néhány hasznos készüléket tervezett a napenergia-hasznosítására. Az ő elképzelései szerint épített tengervíz-lepárló berendezés először Boston közelében, majd főként Kaliforniában igen sikeresnek bizonyult. A készülék egy üvegházra emlékeztetett, amely alatt nagy felületű edényekben tengervizet tároltak. Az üvegházhatás következtében felmelegedett sós víz intenzíven párologott, a belső üvegfelületeken lecsapódott és az alul lévő vályúkban gyűlt össze, ahonnan tartályokba vezették. Így nagy mennyiségű (gyakorlatilag desztillált víz minőségű) édesvizet lehetett előállítani. Az akkori elképzelés szerint a készüléket a kaliforniai száraz mezőgazdasági területek öntözővizének biztosítására használták volna.

Telkes Mária egy másik készülékét a hadseregben hasznosították igen nagy sikerrel. A második világháborúban a harci gépek pilótái, ha gépüket találat érte, a katapult-készülék segítségével megmenekültek, de ha a tengerbe estek, a kiszáradás veszélye fenyegette őket, mivel nem volt édesvíz tartalékuk. Telkes Mária egy igen ötletes készüléket tervezett, amely a napenergia felhasználásával a tengervízből édesvizet állított elő. A készülék átlátszó műanyagból készült és egy baseball-labdához hasonlított. Közepén sík felületű lapot építettek be, amelyhez egy fekete filc-lemez volt rögzítve. Amikor a pilóta a tengerbe esett, gumitutaja automatikusan felfújódott. A vízdesztilláló készülék felső nyílását szabaddá téve tengervizet locsolt a közepén elhelyezett fekete filcre. A készüléket napra téve a víz gyorsan elpárologott, a készülék belső falán a gőz kondenzálódott és az alul elhelyezett édesvíz tartályba áramlott. Így naponta 1-1,5 l édesvizet lehetett előállítani, amely elegendő volt addig, amíg a mentőosztagok megérkeztek. Ez a készülék sok pilóta életét mentette meg.

Napenergiából elektromos energia

A Nobel-díjas *Henri Becquerel* apja, *Edmund Becquerel* nevéhez fűződik az ún. Becquerel-effektus felfedezése (1839). Ennek lényege az, hogy elektrolittal érintkező fémelektroda potenciálja megvilágítás hatására megváltozik. A jelenséget tehát – elvben – fényenergia-elektromos energia átalakításra lehet használni. (*Mouchot* ilyen irányú próbálkozásait a termoelemekkel - az 1870-es évek végén - már említettük korábban). *Charles Fritts* amerikai feltaláló az

1880-as évek végén készítette el az első szelén napelemet. Ennek hatásfoka azonban kisebb volt, mint 1%.

A kvantumfizika és a fényelektromos effektus felfedezése után az 1930-as évek elején kezdtek néhányan ismét a napelem megvalósításával foglalkozni, de az újra felfedezett szelén napelem rossz hatásfoka nem motiválta a további kutatásokat.

1954-ben a Bell Laboratóriumban három kutató: *Gordon Pearson*, *Darryl Chapin* és *Calvin Fuller* szilícium napelemekkel kezdett kísérletezni. Az első kísérletekben már 4 %-os hatásfokot értek el, majd további tökéletesítések után hamarosan 15 %-os hatásfokú napelemet állítottak elő. Eredményeik nagy port vertek fel, a napelemek sokan „a jövő tiszta energiaforrásának” tekintették. Hamarosan kiderült, hogy költségessége miatt a napelem (fotovillamos cella, PV-átalakító) széles körű alkalmazására még nem kerülhetett sor, de néhány speciális célra már ma is nélkülözhetetlen. Ilyen a távoli, izolált területek energiaellátása, és – elsősorban – az űrkutatás. Az USA űrprogramja során jelentős méretű napelem-ipart hoztak létre, az űreszközök működtetése ugyanis napelemek nélkül elképzelhetetlen. További népszerű alkalmazást nyert egy sor kis energiaigényű elektronikai eszközben, pl. zsebszámológépekben, zsebrádiókban, zseblámpákban stb. Újabban kiterjedten használják a napelemeket az ún. autonóm napházakban (részletesen ld. IV.4 fejezet).

Energia-dilemmák a 20. sz. második felében

A második világháború után az olajipar világszerte rohamos fejlődésnek indult. Egyes energiaszegény országokban (pl. Izraelben, Japánban) azonban a napenergia ipar is fellendült.

Az Egyesült Államok és szövetségesei egy ideig várakozó álláspontra helyezkedtek az energiaipar perspektíváinak kijelölése tekintetében. 1952-ben *Truman* elnök kezdeményezésére bizottságot hoztak létre a komplex probléma vizsgálatára. A bizottság – előrelátó módon – megállapította, hogy a fosszilis tüzelőanyagok hiánya várhatóan súlyos problémát okoz majd az USA-nak és szövetségeseinek a 70-es évek közepére. (Az előrejelzés igen pontosnak bizonyult.) Ezért leszögezték, hogy „..... erőfeszítéseket kell tenni a kimeríthetetlen mennyiségben rendelkezésre álló napenergia-hasznosítására”. Az USA kormánya azonban a gyakorlatban nem követte a bizottság által javasolt irányt. Eisenhower elnöksége idején az USA vezetése 1954-ben elkötelezte magát az atomenergia mellett és ebben szövetségesei is gyorsan követték.

Az atomenergia békés felhasználásának lehetősége a nyugati világban eufórikus hangulatot váltott ki. Az egész ezután következő korszakot „atomkorszak” néven kezdték emlegetni, amelynek legfontosabb vívmánya az lesz, hogy az emberiséget olcsó, korlátlan mennyiségben rendelkezésre álló atomenergiával látja el, ez pedig az emberi civilizáció soha nem látott

felvirágzását teszi lehetővé. Óriási beruházások indultak az atomenergia-ipar fejlesztésére, eközben a napenergia-hasznosítás fejlesztésére szánt összegek nem érték el a teljes energiaipari fejlesztés 1 %-át.

Néhányan már akkor is világosan látták az atomenergia alkalmazásában rejlő csapdákat és a várható súlyos problémákat, de csak kevesen adtak hangot kételkedésüknek. Ezek közé tartozott *George Russler*, aki már 1959-ben figyelmeztetett az atomerőmű-hulladék elhelyezésével kapcsolatban a várható súlyos gondokra. Cikkében ezt írja: „Ha valaki a problémát a jövőre vetíti, amikor a világ jelenlegi hagyományos erőműveinek talán 10-20 szorosára is szükség lesz és ezeket jórészt atomerőművek helyettesítik, a nukleáris hulladék elhelyezése – abban a léptékben – talán már megoldhatatlan lesz”. Russler ezzel szembe állítja a környezetbarát napenergia előnyeit: „A napenergia alkalmazása nem vet fel óriási biztonsági problémákat, hulladék-elhelyezési gondokat, nem igényel sok milliárd dolláros beruházásokat.A megfelelő – hosszú évszázadok alatt egyre tökéletesedett – technika és a megvalósítás know-how-ja is rendelkezésre áll. Egyedül a probléma sürgető fontosságának felismerése és az elhatározás hiányzik.”

A jövő – ma már tudjuk – nem Russler megszívlelendő tanácsainak figyelembe vételével valósult meg, viszont az atomenergia-iparra vonatkozó prófétai jóslatai jórészt beteljesedtek.

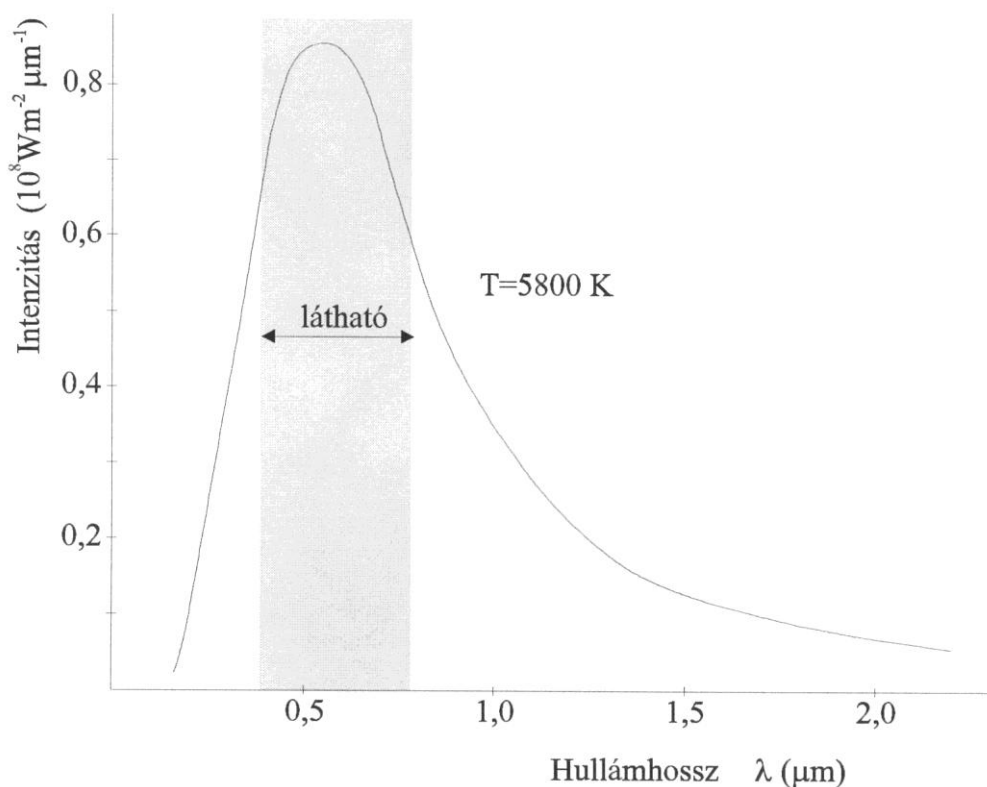
III. A NAP SUGÁRZÁSÁNAK JELLEMZŐI

1. Sugárzási törvények, a napenergia abszorpciója a légkörben

A Nap felszíni hőmérséklete 5800 K és gyakorlatilag fekete testnek tekinthető, amelyre Planck sugárzási törvénye érvényes. Ennek értelmében a sugárzás intenzitásának hullámhossztól és hőmérséklettől való függése az alábbi formulával írható fel:

$$I_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{ch}{k\lambda T}} - 1} \quad (3.1)$$

ahol I_{λ} az egységnyi felületen, λ hullámhosszon, időegység alatt kisugárzott energia, c a fény sebessége, h a Planck-állandó, k a Boltzmann-állandó, T az abszolút hőmérséklet. A Nap sugárzási spektrumát a **3.1 ábra** mutatja.



3.1 ábra
A Nap sugárzási spektruma

Az intenzitás maximuma a látható fény tartományába esik. Az intenzitást a teljes hullámhossz-tartományra összegezve a felületegységre eső kisugárzott teljes intenzitást kapjuk, amely a Stefan-Boltzmann törvény szerint:

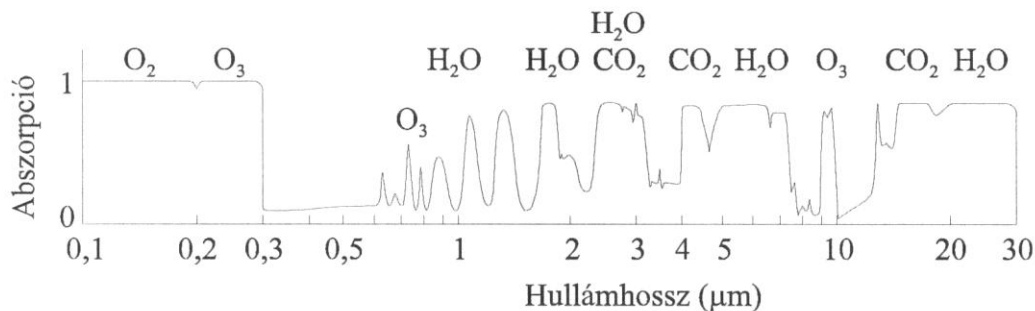
$$I = \sigma T^4 \quad (3.2)$$

ahol $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$, az ún. Stefan-Boltzmann állandó, T az abszolút hőmérséklet. Az energia-maximumhoz tartozó hullámhossz és az abszolút hőmérséklet kapcsolatát a Wien-féle eltolódási törvény adja meg:

$$\lambda_{\text{max}} T = C \quad (3.3)$$

ahol C állandó, mértékegysége a hullámhossz mértékegységétől függ. A Wien-törvénynek megfelelően növekvő hőmérséklet esetén a maximumhoz tartozó hullámhossz csökken, és fordítva.

A légkört alkotó gázok energia-elnyelése (abszorpciója) a hullámhossz függvényében változó; spektrális eloszlását a **3.2 ábrán** ábrázoltuk.



3.2 ábra

A légkör abszorpciója a hullámhossz függvényében

Az ábrán jól láthatók az alábbi nevezetes elnyelési sávok:

- az ózon elnyelési sávja az UV-tartományban (magas légköri védőréteg),
- az optikai ablak a 0,3 és 0,7 μm közötti sávban (látható fény tartománya),
- a szén-dioxid három elnyelési sávja az infravörös tartományban,
- az ózon elnyelési sávjai a közeli és a távoli infravörös tartományban,
- a vízgőz elnyelési sávjai az infravörös tartományban.

2. A napenergia eloszlása a Föld felszínén

A földfelszín adott pontján a beérkező napenergia mennyisége számos körülménytől függ. A földrajzi hely, az évszak, geometriailag meghatározzák a napsugarak beesési szögét. Az év folyamán érkező energia mennyisége azonban ezeken kívül még a meteorológiai tényezőktől is függ: pl. a felhővel való borítottság, a levegő páratartalma, a levegőben lévő szennyező anyag mennyisége stb. Emiatt a felszínre jutó napenergia eloszlása nem az éghajlati öveget, hanem a **3.3 ábra** szerinti bonyolult mintázatot követi. (Magyarország területén, É-D-i kis kiterjedése miatt csak kb. 10 % eltérés van az északi és a déli területek éves

besugárzott energia mennyisége között.) A fenti eloszlási térképről látható, hogy hazánk területére a lehetséges maximális energiának kb. a fele érkezik, ami igen jelentős mennyiség, hasznosítása azonban jelenleg még igen kis mértékű.

A napsugárzás intenzitását a helyszínen speciális sugármérő műszerrel mérhetjük, ha ilyen nincs, a helyi meteorológiai állomások adatait használhatjuk. A meteorológiai állomások által megadott adatok minden esetben vízszintes felületre értendők. Bármely napenergia hasznosító berendezés (a továbbiakban: kollektor) felületére eső sugárzás intenzitását annak vízszintessel bezárt szögének, az évszaknak, valamint a napszaknak megfelelően korrigálni kell. A korrekciót az alábbi eljárással végezzük.

1. lépés: Meghatározzuk azt a szélességet, ahol a Nap délben a zeniten van (ezt deklinációnak nevezik):

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \frac{2\pi N}{365,24} \quad (3.4)$$

ahol δ a deklináció, ε az ún. inklináció, a Föld tengelyének hajlásszöge ($23,5^\circ$) N a napok száma a tavasi napéjgyenlőségtől számítva.

2. lépés: Meghatározzuk a napsugár beesési szögének a beesési merőlegessel bezárt α szögét:

$$\cos \alpha = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos \omega t \quad (3.5)$$

ahol λ a vizsgált hely földrajzi szélessége, ω a Föld forgásának szögsebessége ($7,29 \times 10^{-5}$ rad/s), t az időpont a Nap delelésétől számítva.

3. lépés: A sugármérő a vízszintes felületre eső S intenzitást adja meg, a beeső napsugárra merőleges felületre az intenzitást a következőképpen határozzuk meg:

$$S_0 = \frac{S}{\cos \alpha} \quad (3.6)$$

A vízszintessel γ szöget bezáró kollektorra eső sugárzás intenzitása:

$$S_k = S_0 \sin(\alpha + 90^\circ - \gamma) \quad (3.7)$$

ahová a (3.6) egyenletet behelyettesítve kapjuk:

$$S_k = \frac{S}{\cos \alpha} \sin(\alpha + 90^\circ - \gamma) \quad (3.8)$$

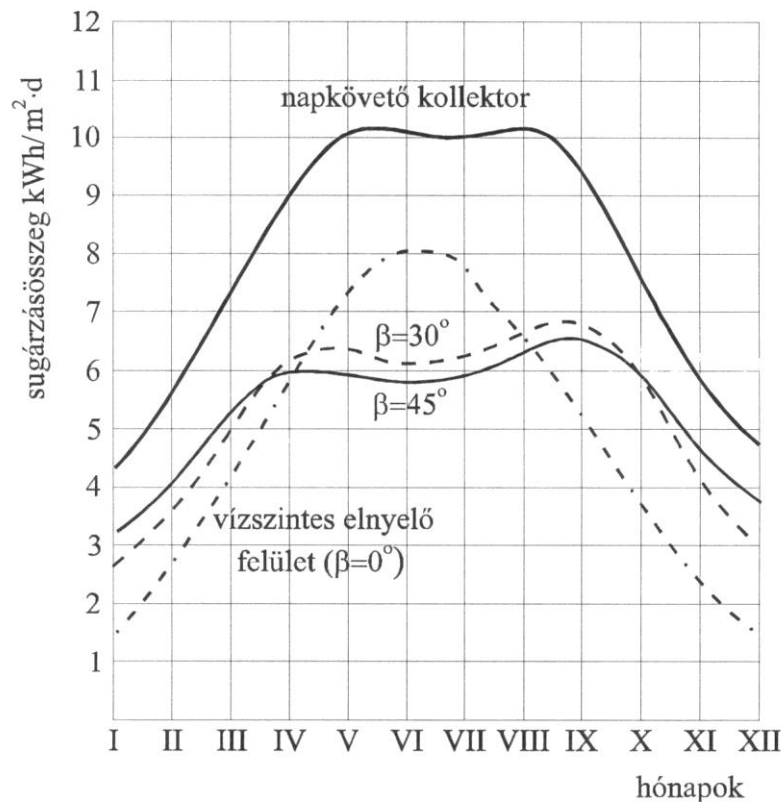


3.3 ábra
 A besugárzási energia eloszlása a Föld felszínén
 ($\times 100 \text{ MJ/m}^2/\text{év}$)

4. lépés: A deleléstől való eltérés figyelembevétele: a fenti egyenlet a Nap delelésekor érvényes; tetszőleges időpontban a kollektorra eső sugárzás intenzitásának meghatározásához figyelembe kell venni a napsugarak szögének a deleléstől való β eltérését, amelynek figyelembevételével:

$$S_k = \frac{S}{\cos \alpha} \sin(\alpha + 90^\circ - \gamma) \cos \beta \quad (3.9)$$

ahol $\beta = \alpha - \alpha_d$, vagyis a (3.5) egyenlet szerint a kérdéses időpontra és a déli időpontra számított α -értékek különbsége. (Megjegyezzük, hogy ha a kollektor nem déli tájolású, akkor a kollektor szögének a déli iránytól való eltérését is figyelembe kell venni.)



3.4 ábra

A beeső sugárzási teljesítmény a kollektor vízszintessel bezárt szögének függvényében

A **3.4 ábrán** a beeső sugárzási teljesítmény évszakos változását adjuk meg a kollektor vízszintessel bezárt γ szögének függvényében. Látható, hogy a maximális érték a napsugarakra mindenkor merőleges kollektor felülettel nyerhető; ez azonban csak igen költséges napkövető rendszerrel valósítható meg. A gyakorlatban általában fix szögállású kollektorokat használnak. Az ábra görbéiből

látható, hogy a téli hónapokban a 45°-os, nyáron a vízszintes helyzetű kollektor adja a maximális energianyereséget.

3. Különböző felületek emissziója és abszorpciója

Kirchhoff törvénye értelmében adott hőmérsékleten egy test emisszió- és abszorpció képessége egyenlő, vagyis:

$$\varepsilon = \alpha \quad (3.10)$$

ahol ε a test emisszó képessége, amelynek definíciója:

$$\varepsilon = \frac{I_t}{I}$$

ahol I_t a test sugárzó képessége, I az abszolút fekete test sugárzó képessége. α a test abszorpció-tényezője, amelynek definíciója:

$$\alpha = \frac{I_a}{I_0}$$

ahol I_a az abszorbeált sugárzási teljesítmény, I_0 a beeső sugárzási teljesítmény. A 3.2 képlet tulajdonképpen az abszolút fekete test sugárzási teljesítményét adja meg; valóságos testek esetén a sugárzó képesség a következőképpen számítható:

$$I_t = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3.11)$$

A sugárzó testek környezetükből egyidejűleg abszorbeálnak is energiát, ha a környezet hőmérséklete T_0 , akkor az abszorbeált energia (figyelembe véve, hogy az emisszió- és az abszorpció képesség egyenlő):

$$I_a = \varepsilon \sigma T_0^4 \quad (3.12)$$

A test által kisugárzott (emittált) energia a fenti két érték különbsége vagyis:

$$I_e = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (3.13)$$

Az egyenletből következik, hogy ha a test és környezetének hőmérséklete megegyezik, akkor a kisugárzott energia zérus, vagyis ha $T = T_0$, akkor $I_e = 0$.

A testek a sugárzást felületükön elnyelik (abszorbeálják), az elnyelt sugárzás hatására nő a test hőmérséklete. Ha a sugárzás megszűnik, a test fokozatosan lehűl. A felmelegedést és a lehűlést a hőátadás törvényeivel írhatjuk le.

Felmelegedéskor a K hőkapacitású, kezdetben T_0 hőmérsékletű test egy $T' > T_0$ hőmérsékletű közegben helyezkedik el. Ha a test felülete A , a test és a közeg közötti hőátadási tényező α , akkor a hőátadás az alábbi differenciál-egyenlettel írható le:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha A (T' - T) \quad (3.14)$$

ahol dQ/dt az időegység alatt felvett hő, T a test hőmérséklete tetszőleges t időpontban.

A fenti egyenlet a következőképpen alakítható át:

$$K \frac{dT}{dt} = \alpha A (T' - T) \quad (3.15)$$

ahol K a test hőkapacitása. A változók szerint átrendezve az egyenletet:

$$\frac{dT}{T' - T} = \frac{\alpha A}{K} dt$$

Integrálás után:

$$-\ln(T' - T) = \frac{\alpha A}{K} t - \ln C$$

ahol C integrálási állandó. Újabb átalakítás után:

$$T' - T = C e^{-\frac{\alpha A}{K} t} \quad (3.16)$$

A C állandót a kezdeti feltételekből határozhatjuk meg: ha $t = 0$, akkor a test hőmérséklete $T = T_0$, ekkor az egyenletből: $T' - T_0 = C$. Ennek figyelembevételével a 3.16 egyenlet:

$$T' - T = (T' - T_0) e^{-\frac{\alpha A}{K} t} \quad (3.17)$$

A fenti egyenlet azt fejezi ki, hogy a test és a környezete között a kezdeti hőmérséklet különbség exponenciálisan csökken, miközben a test hőmérséklete nő.

A felmelegedéssel azonos gondolatmenet szerint tárgyalható a test lehűlése a besugárzás megszűnte után. A lehűlést úgy foghatjuk fel, hogy a K hőkapacitású, A felületű, kezdetben T_0 hőmérsékletű test egy nála hidegebb T' hőmérsékletű közegben helyezkedik el. Ekkor a hőátadás a 3.15 egyenlet analógiájára:

$$-K \frac{dT}{dt} = \alpha A (T - T') \quad (3.18)$$

Az egyenlet bal oldalán a negatív előjel azt jelenti, hogy most a test ad át hőt a környezetének. Ezt az egyenletet integrálva, és az állandót a kezdeti feltételek alapján az előzővel analóg módon meghatározva, az alábbi egyenletet kapjuk:

$$T - T' = (T_0 - T') e^{-\frac{\alpha A}{K} t} \quad (3.19)$$

Az utóbbi egyenlet jelentése: a test hőmérséklete, miközben hőt ad le környezetének, exponenciálisan csökken, amíg a környezet hőmérsékletét el nem éri.

(Hasonló felmelegedési és lehülési folyamatok hőmérséklet-görbéi láthatók az V. fejezet 3. laboratóriumi gyakorlat 5.6 ábráján)

4. Az üvegház működése. A légköri üvegházhatás

Az elnevezés alapja az üvegházak működése, amely a következőképpen magyarázható. Az üvegházban igen jól átengedi a Nap spektrumának látható (rövid hullámú) részét. Ez a rövidhullámú sugárzás az üvegház belsejében lévő anyagok részecskéinek gerjesztése folytán hőt termel, amely infravörös (hosszúhullámú) sugárzás formájában realizálódik. Az üveg azonban nem engedi át a hosszúhullámú sugárzást, hanem visszaveri, ill. részben elnyeli. A folyamat révén a keletkezett hő nem távozik el az üvegházból, aminek eredményeképp a hőmérséklet jóval magasabbra emelkedhet, mint a külső hőmérséklet. Az üvegházhatásnak ezt a változatát hasznosítjuk a napkollektorok üzemeltetésénél és egyes építészeti napenergia-hasznosításoknál.

A fenti, technikailag megvalósítható üvegházhatáson kívül Földünk légkörében is működik egy természetes üvegházhatás. Ez az ún. üvegház-gázok (széndioxid, vízgőz, metán, ózon, freonok stb.) révén megy végbe, amelyek az üvegházhoz hasonlóan átengedik a látható fényt, de elnyelik az infravörös sugárzást. Ennek eredményeképp a légkör hőmérséklete magasabb, mint az a közvetlen sugárzási viszonyokból következne. A légköri üvegházhatást fizikailag a következőképpen értelmezhetjük.

A Nap teljes felületéről kisugárzott teljesítmény:

$$P_N = 4R^2 \pi \sigma T_N^4 \quad (3.20)$$

ahol R a Nap sugara, T_N a Nap felszíni hőmérséklete. A Nap-Föld közepes távolságában ($d = 150 \times 10^9 \text{ m}$) lévő gömb egységnyi felületére időegységenként érkező energia, az ún. szoláris állandó:

$$S = \frac{P_N}{4d^2 \pi} \quad (3.21)$$

Az adatokat behelyettesítve $S = 1380 \text{ W/cm}^2$ adódik. Feltételezve, hogy a Föld felszínén stacionárius egyensúlyi állapot alakult ki, vagyis a be- és kisugárzott energia egyenlő, az alábbi mérlegegyenlet érvényes:

$$(1 - a)r^2 \pi S = 4r^2 \pi \sigma T_F^4 \quad (3.22)$$

ahol a az ún. planetáris albedo, vagyis a Föld által kisugárzott és a beérkező sugárzási teljesítmény hányadosa, r a Föld sugara T_F a Föld felszíni hőmérséklete. $a = 0,34$ értékkel számolva (a műholdas mérések alapján) $T_F = 250 \text{ K}$ ($-23 \text{ }^\circ\text{C}$) érték adódik, a valóságos érték azonban $T_F = 288 \text{ K}$ ($15 \text{ }^\circ\text{C}$). Az eltérés ($38 \text{ }^\circ\text{C}$) oka éppen az üvegházhatás által okozott energia-visszatartás.

Az üvegházhatás figyelembevételéhez be kell vezetnünk a légkör ún. átlátszatlansági együtthatóját (opacitását). Ez a légkör által (alulról felfelé) kibocsá-

tott és a felszín által kisugárzott hosszú hullámú sugárzás intenzitásának hányadosa, jele: b . A 3.22 egyenlet jobb oldalát ezzel szorozva, a mérlegegyenlet:

$$(1 - a)r^2 \pi S = 4r^2 \pi \sigma b T_F^4 \quad (3.23)$$

A baloldali szorzat állandó; b és T_F kivételével a jobboldal is állandó tényezőket tartalmaz. Ha tehát az üvegház-gázok mennyisége nő (ami b értékének csökkenésével jár együtt), akkor a $b T_F^4$ szorzat csak úgy maradhat állandó, ha a T_F egyensúlyi hőmérséklet nő. Ez a globális felmelegedés lényege: az üvegház-gázok mennyiségének növelésekor az egyensúly csak egyre növekvő felszíni hőmérséklet esetén állhat fenn.

Az üvegház-gázok energia-visszatartási mechanizmusa spektroszkópiailag a többatomos molekulák abszorpciós spektrumának elemzése útján értelmezhető. Ezek a molekulák forgás (rotáció) és rezgés (vibráció) révén képesek energiát felvenni környezetükből. Előbbi a molekula tömegközéppont körüli forgása, utóbbi a molekulán belüli atomtávolságok periodikus változása révén valósul meg. Mind a rotáció, mind a vibráció csak meghatározott energiaszinteken jöhet létre, vagyis ezeknek a mozgásformáknak az energia-felvétele is kvantumos, hasonlóan az atomok elektronpályái közötti ugrásokhoz. Pontosan meghatározott energiaértékek képesek pl. egy szén-dioxid molekula különböző forgási-, vagy rezgési állapotait előidézni. A **3.2 ábrán** a CO_2 (vagy bármely más üvegház-gáz) elnyelési sávjai ennek figyelembevételével úgy értelmezhetők, hogy a molekula az adott energiájú (hullámhosszúságú) infravörös fotonok abszorpciója révén növeli forgási-, vagy rezgési energiáját. Az ily módon visszatartott energia növeli a légkör hőmérsékletét. Így jön létre a közismert és sokat vitatott globális felmelegedés, annak minden éghajlati és ökológiai vonatkozásával együtt.

IV. A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK MÓDJAI

A II. fejezet történeti áttekintéséből kitűnt, hogy a napenergia hasznosításának 2500 éves története során az alábbi műszaki megoldások alakultak ki:

1. szoláris építészet – a napenergia közvetlen hasznosítása;
2. szoláris épületgépészet – különböző típusú és munkaközegű napkollektorok alkalmazása;
3. Fotovillamos (PV) energia átalakítók – napelemek, napelem-rendszerek;
4. teljes körű energiaellátást megvalósító, komplex rendszerek;
5. nap-hőerőművek – ipari léptékű energiaellátó rendszerek.

Az épületekben alkalmazott szoláris rendszerekben a napenergia hasznosítása három részfeladatot foglal magában:

- a napenergia hatékony begyűjtése,
- az energia szükséges mértékű tárolása,
- az energia megadott ütemezés szerinti leadása.

A szoláris épülettervezés során a fenti három funkciót az épület szerkezeti elemei látják el, az ilyen rendszereket passzív rendszereknek nevezzük. Az aktív rendszerekben ezzel szemben a három funkciót megfelelően kialakított épületgépészeti berendezésekkel: napkollektorokkal, fotovillamos rendszerekkel és az azokhoz kapcsolódó kiegészítő elemekkel biztosítják.

1. Szoláris építészet – közvetlen hőhasznosítás

A napenergia-hasznosítás legrégebb és máig leggyakrabban alkalmazott módja a direkt és a szórt sugárzás közvetlen felhasználása fény, hő, vagy mindkettő formájában. A klasszikus görög épületekben, de a jóval későbbi falusi, népi építészetben (tornácos házak) már megtalálható a modern, energiatudatos építészet minden fontosabb eleme. Ezeket az elemeket tudatosan és tervszerűen alkalmazza a modern építészet, felhasználva a korszerű technika és technológia eredményeit.

Egy helyiségben tartózkodó ember komfortérzetét alapvetően befolyásolja az épített környezet minősége és állapota. A komfortérzetet befolyásoló legfontosabb környezeti hatások a fényhatások (a megvilágítás erőssége, árnyékhatások, színek), a hőhatások (hőmérséklet, légmozgás, a határoló felületek hőmérséklete), a hanghatások és a levegő minősége. Az ún. bioklimatikus építészet a fenti hatásokat fokozottan figyelembe veszi; ennek fontos eleme a napsugárzás hasznosítása, amelynek kedvező élettani hatásán kívül az is előnye, hogy a világítás, a fűtés és a szellőzés terén jelentős energiamegtakarítást is lehetővé tesz.

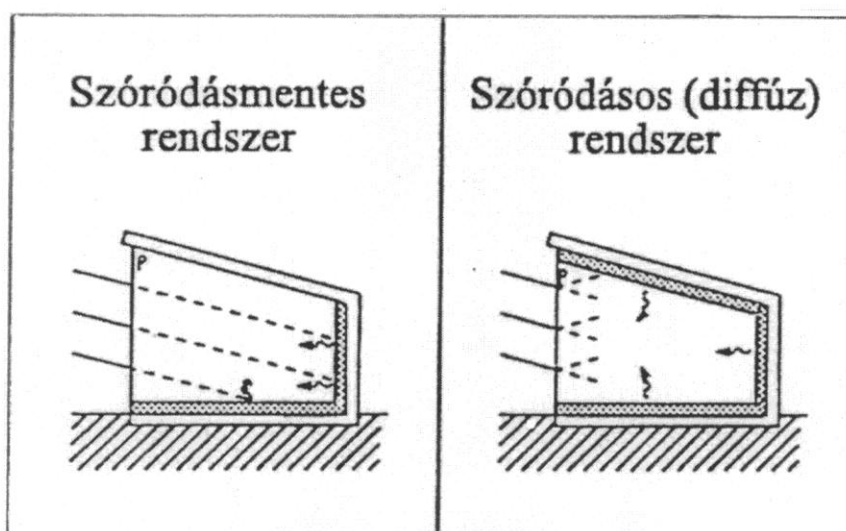
Az épület helyes tájolásával növelhető a direkt és a szórt sugárzásból hasznosítható energia mennyiség és csökkenthető a hőveszteség. Az épület elhelyezésekor figyelembe kell venni a terepviszonyok, esetleges közeli épüle-

tek és növények adta árnyékhatásokat. A klasszikus szabály szerint a hőhasznosítás a benapozott felületek déli tájolása esetén a legnagyobb; ezt más szempontok módosíthatják, de mégis általános irányelv, hogy a nappali tartózkodásra szolgáló helyiségeket a déli oldalra célszerű helyezni.

A szoláris építészetben alkalmazott passzív energiahasznosító rendszerekben – mint már említettük – a napenergiahasznosítás három fő funkcióját (az energia begyűjtését, tárolását és leadását) az épület szerkezeti elemei látják el. Attól függően, hogy az alapelemek milyen kombinációban jelennek meg az épületben, megkülönböztetünk direkt és indirekt rendszereket.

Direkt rendszerek

A direkt rendszerek az ablakfelületeken át a helyiségbe érkező napsugárzást közvetlenül hasznosítják. A besugárzott belső felületek (falak, födédek, berendezési tárgyak) felmelegszenek, a hő egy részét saját tömegükben tárolják, más részét átadják a levegőnek (**4.1 ábra**). A helyiségből a hőleadást a III. fejezetben részletezett üvegházhatás mechanizmusa csökkenti.



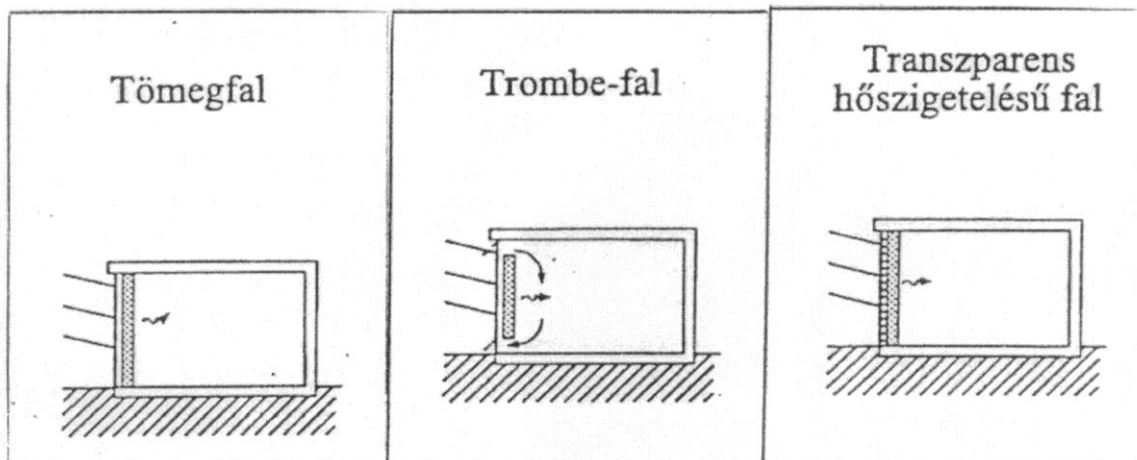
4.1 ábra

Direkt passzív szoláris rendszerek típusai

Indirekt rendszerek

A hő bevezetése és tárolása az indirekt rendszerekben egymástól térben elkülönül. Ez úgy valósul meg, hogy a helyiséget határoló üvegfelület belső oldalán vastag, hőszigetelő fal helyezkedik el, amely nagy hőtárolóképesége folytán hosszú időre elraktározza az üvegházhatás révén csapdába esett hőt (**4.2a ábra**). A hőtároló falak speciális esete a Trombe-fal, amelyen a konvektív áramlás biztosítására célszerűen kialakított nyílások vannak (**4.2b ábra**). Az ún. transzparens hőszigetelésű fal egy kiváló hőszigetelő képességű, rétegzett üvegből és egy átlátszatlan hőszigetelő falból áll (**4.2c ábra**). Az átlátszó hőszigetelés a direkt, vagy szórt sugárzás formájában érkező napenergiát át-ereszti, ugyanakkor a hideg környezet felé terjedő hőáramot csökkenti. Az ilyen

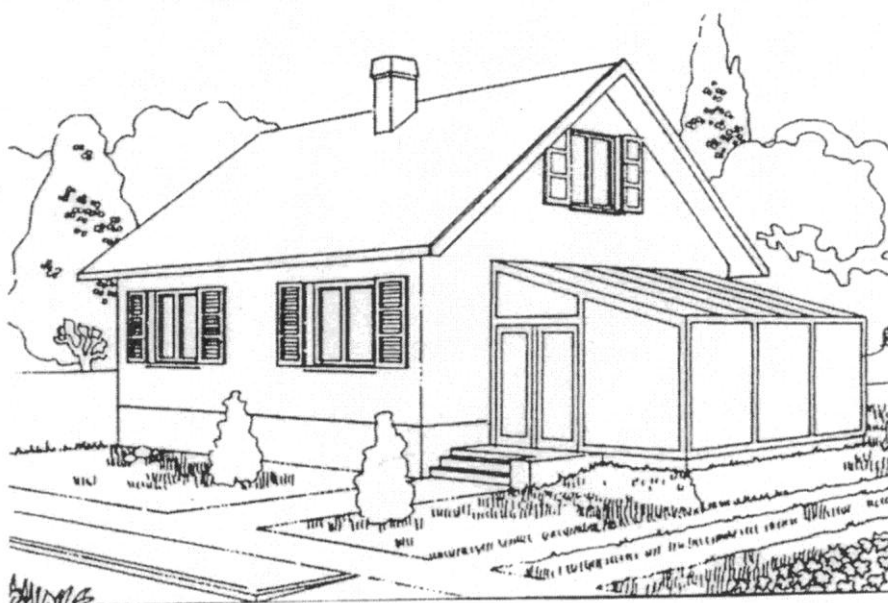
hőszigeteléssel ellátott épületben az év nagy részében nincs szükség hagyományos fűtésre.



4.2 ábra

Indirekt passzív szoláris rendszerek típusai

A naptér (4.3 ábra) az épület fűtött helyiségeihez csatlakozó, a külső környezettől üvegfelületekkel elválasztott direkt besugárzású tér, amelynek általában nincs hagyományos fűtőberendezése. (A régebbi üveges verandák, vagy csatlakozó üvegházak hasonló funkciót töltötték be.)



4.3 ábra

Ház oldalához csatlakoztatott naptér

A napenergiát az alsó födém és az épület felőli fal tárolja. Az időjárástól függően a naptér a tárolt hő felhasználásával, konvektív és vezetéses hőáramokkal fűti az épületet, nagy hidegben pedig csökkenti a hőveszteséget. Nyáron a túlmelegedés az üvegfelületek megfelelő árnyékolásával mérsékelhető.

Naptér alkalmazásával az éves fűtési energia megtakarítás jelentős, a mi éghajlati körülményeink között maximálisan 30% lehet.

Mind a direkt, mind az indirekt rendszereknél fontos a határoló falak és az üvegfelületek jó hőszigetelő képessége. A hagyományos, egyrétegű falak általában csak kiegészítő külső oldali hőszigetelés alkalmazásával felelnek meg a korszerű hőtechnikai követelményeknek. Új épületeknél réteges falszerkezetek kialakítása ajánlatos, ezek nálunk szokásos (és jól bevált) változata a közbenső hőszigetelésű tömör téglafal. Az üvegborítású felületek hőszigetelése a falakénál nehezebb feladat; a rendelkezésre álló műszaki lehetőségek a következők:

- speciális hőszigetelő üvegezés alkalmazása,
- alacsony emisszió-tényezőjű bevonat alkalmazása a kifelé irányuló infravörös sugárzás csökkentésére,
- nemesgáz-töltés (argon, kripton), vagy vákuum alkalmazása az üvegtáblák között,
- a hagyományos kétrétegű helyett háromrétegű hőszigetelő üvegezés használata,
- háromrétegű üvegezés, nemesgáztöltés, valamint két alacsony emisszió-tényezőjű réteg együttes alkalmazása,
- „intelligens” üvegek alkalmazása, amelyek a besugárzás változó teljesítményéhez alkalmazkodó hő-, illetve sugárzásvédelmet biztosítanak.

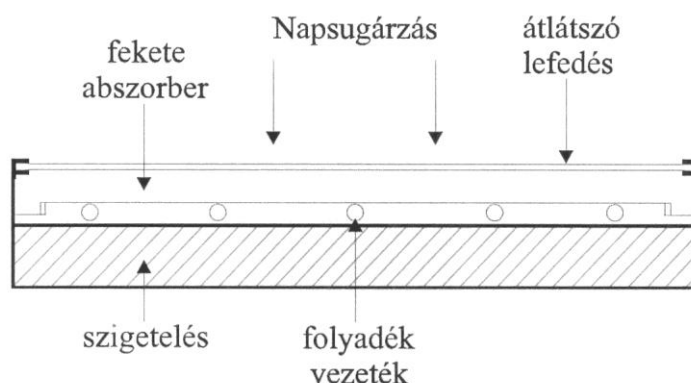
2. Szoláris épületgépészet

A napenergia hasznosítására szolgáló épületgépészeti berendezéseket aktív rendszereknek nevezzük. Alkalmazásuk elsődleges célja a hagyományos energiahordozók felhasználásának csökkentése. A modern épületgépészeti és szabályozástechnikai eszközök alkalmazásával ma már az épületek teljes energiaellátása megoldható. A szoláris épületgépészeti rendszerek felhasználhatók vízmelegítésre, fűtésre és hűtésre. Magyarországon a legfontosabb felhasználási cél a vízmelegítés, ezért a továbbiakban csak az erre szolgáló berendezésekkel foglalkozunk.

A sík kollektor olyan eszköz, amely a nap által sugárzott energiát elnyeli és átalakítja olyan (hő)energiává, amely épületgépészeti eszközökkel jól kezelhető. A hagyományos sík kollektor keresztmetszetét a **4.4 ábrán** mutatjuk be. A besugárzás az üveg lefedésen keresztül a fekete, matt felületű abszorberre (elnyelő felületre) érkezik, amelyhez hegesztéssel, jól vezető módon rögzítik a folyadékot szállító csőhálózatot. Az üveg lefedés funkciója kettős: egyrészt csökkenti a konvektív áramlás általi energiavesztéseket, másrészt az üvegházhatás folytán hozzájárul az abszorber hőmérsékletének növeléséhez. Az abszorber jó energiaelnyelő tulajdonságainál fogva magas hőmérsékletre melegszik fel és hőjét átadja a hozzá rögzített csőhálózatnak. Az alsó hőszigetelő réteg a hővezetés általi veszteségek csökkentését szolgálja.

A hasznosított sugárzási energia a kollektor felületével arányos. A besugárzott energiából a kollektor annál többet hasznosít, minél kisebbek a saját

veszteségei. Ezért fontos a veszteségek részletes áttekintése. Az egyes veszteségeket a **4.4 ábra** keresztmetszeti vázлата alapján tárgyaljuk.



4.4 ábra
Sík kollektor keresztmetszete

A veszteség 3 fő komponense a hővezetési, a sugárzási és a konvekciós veszteség; a teljes veszteség ezek összege:

$$q_{\bar{o}} = q_v + q_s + q_k \quad (4.1)$$

ahol $q(W/m^2)$ az egyes veszteségi tagokat jelenti, az indexek kezdő betűk szerinti jelölésével.

A hővezetés vesztesége Fourier I. törvénye alapján:

$$q_v = \lambda \frac{T_a - T_t}{d} \quad (4.2)$$

ahol T_a az abszorber, T_t a támasztó felület hőmérséklete, λ és d a szigetelő réteg hővezetési tényezője, ill. vastagsága.

A sugárzási veszteség a Stefan-Boltzmann törvény szerint:

$$q_s = \varepsilon_{\ell} \sigma (T_{\ell}^4 - T_0^4) \quad (4.3)$$

ahol a ε_{ℓ} az üveg lefedés anyagának hőemissziós tényezője, T_{ℓ} a lefedés, T_0 a környezet hőmérséklete. A konvektív veszteség:

$$q_k = k(T_{\ell} - T_0) \quad (4.4)$$

ahol k a konvekciós tényező; értéke szélcsend (szabad konvekció) esetén 2...10 $W/(m^2K)$, szél (kényszerített konvekció) esetén több száz, sőt több ezer $W/(m^2K)$ is lehet. Az egyes veszteségi tényezők meghatározása összetett technikai feladat.

A hasznosított energia mennyisége szempontjából meghatározó jelentőségűek az abszorber tulajdonságai. Cél a maximális abszorpcióképesség és a minimális emisszióképesség biztosítása, amit ún. szelektív bevonattal lehet elérni. A szelektivitás azt jelenti, hogy az abszorber felületének a napsugárzás hullámhossz-tartományában (0-2 μm , ld. I.1. ábra) igen nagy az abszorpció-

képessége, míg a saját hőmérsékletének megfelelő infravörös tartományban (2-50 μm) az emisszióképessége igen kicsi. Szelektív bevonatként általában galvanizált nikkelt-, vagy króm-oxidokat alkalmaznak, de vannak nagy szelektivitású ún. szolár-lakkok is.

Az üveg lefedés anyaga a jó minőségű kollektoroknál edzett, biztonsági üveg. Léteznek többrétegű hőszigetelt üveg lefedések is. A 4.3 egyenletből látható, hogy a sugárzási veszteség az üveg lefedés hőemissziós tényezőjének alacsony értéke esetén kedvező. Ezért az utóbbi időben speciális, alacsony hőemissziójú üvegeket is forgalomba hoznak erre a célra. Szintén fontos, hogy az üveg lefedés külső oldalának reflexió-képessége kicsi legyen, ezt valósítják meg az ún. antireflexiós szolárüveggel, amelynek külső felülete rászteres, ezáltal kisebb a visszaverő képessége. Ennek kedvező hatása főleg a reggeli és a késő délutáni, ferdén érkező napsugárzás esetén érvényesül.

A hővezetés általi veszteségek (4.2 egyenlet) csökkentését kis hővezető képességű szálal szerkezetű ásvány-, vagy üveggypot lemezekkel biztosítják, a szigetelés teljes vastagsága 4-8 cm.

A kollektor hatásfokát az üzemelési adatok alapján a következőképpen számíthatjuk:

$$\eta = \frac{\frac{\Delta m}{\Delta t} c (T_{ki} - T_{be})}{A_k I_k} \quad (4.5)$$

ahol c az üzemi folyadék fajhője, $\Delta m/\Delta t$ a kollektoron időegység alatt áthaladó folyadéktömeg (folyadékhozam), T_{ki} és T_{be} a kimenő és a bemenő folyadék hőmérséklete, A_k a kollektor felülete, I_k a besugárzás intenzitása a kollektor síkjában. A hatásfoknak a fenti formula alapján történő meghatározása nehézségekbe ütközik, mivel a hőmérsékletek és a folyadékhozam méréséhez külön mérő-érzékelőket kellene beépíteni, a kollektor szerkezetének megbontásával. Ezért olyan empirikus összefüggéseket dolgoztak ki, amelyekkel speciális mérések nélkül is megbízhatóan becsülhető a napkollektorok hatásfoka. Az egyik ilyen empirikus összefüggés a következő:

$$\eta = \eta_0 - aX - bG_K X^2 \quad (4.6)$$

ahol:

$\eta_0 = a$ zérus hőmérsékletkülönbség melletti, ún. optikai hatásfok,
 a és b méréssel meghatározott állandók,

$$X = (T_m - T_K) / G_K$$

$G_K =$ a kollektor felületére merőlegesen érkező napsugárzás intenzitása,

$T_m =$ a kollektorban keringő folyadék közepes hőmérséklete,

$T_K =$ a külső léghőmérséklet.

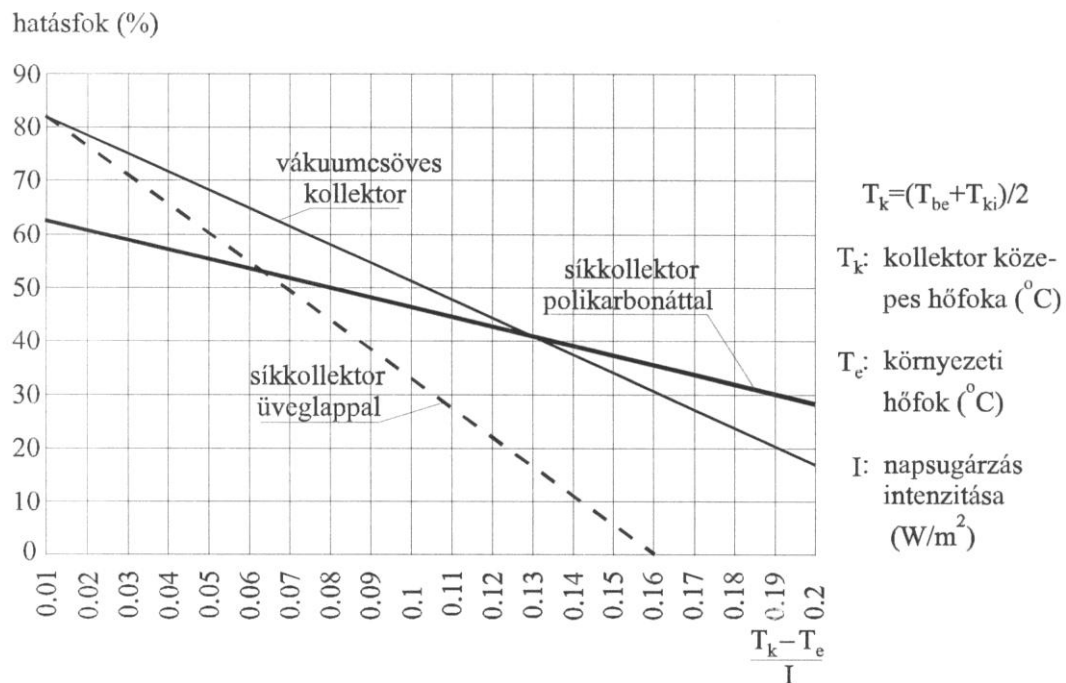
Egy szelektív abszorberű sík kollektorra a paraméterek empirikus értékeit behelyettesítve a fenti egyenlet konkrét alakja:

$$\eta = 0,79 - 4,17X - 0,011G_K X^2 \quad (4.7)$$

A tapasztalat azt mutatja, hogy a kollektorok hatásfoka elsősorban a napsugárzás erősségétől függ, a külső hőmérséklet hatása másodlagos. (Pl.: egy derült téli napon, amikor a levegő hőmérséklete -10°C , a hatásfok sokkal nagyobb, mint egy borús őszi napon, amikor a külső hőmérséklet $+10^\circ\text{C}$.)

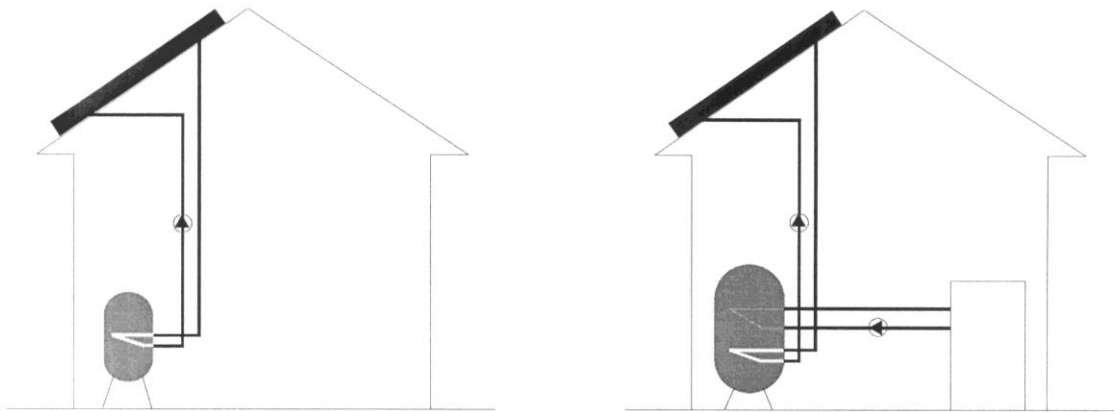
Ugyancsak szokás az egyes kollektor-típusok hatásfokát grafikus formában megadni, az így megadott hatásfokgörbék nagyszámú mérés átlagai.

A különböző típusú kollektoroknak a szerkezeti felépítéstől, a felhasznált anyagoktól, és a kivitelezés gondosságától függően igen különböző a hatásfoka. A **4.5 ábrán** néhány hazánkban kapható sík kollektor hatásfokát ábrázoltuk.



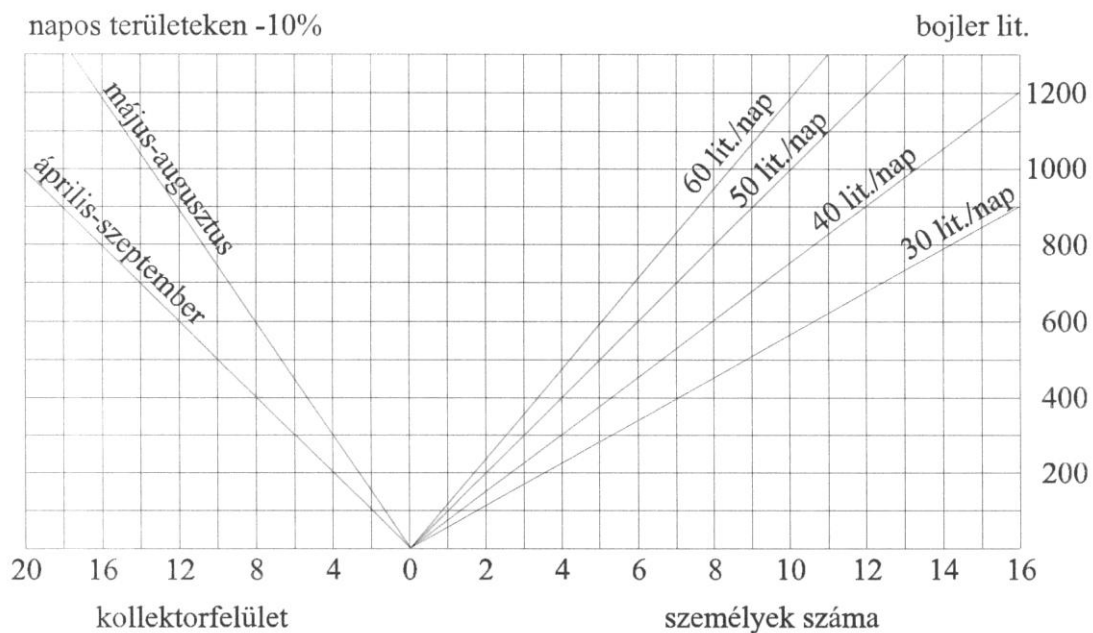
4.5 ábra
Különböző típusú sík kollektorok hatásfoka

Az éghajlattól, és a felhasználás követelményeitől függően a sík kollektorokat egykörös, vagy kétkörös rendszerben használják (**4.6 ábra**).



4.6 ábra
Sík kollektor egy- és kétkörös rendszerben

Az egykörös rendszerben a meleg vizet közvetlenül a kollektorról nyerik, gyakran egy nagyobb méretű tároló tartály is járul a rendszerhez. Ilyen kollektorokat használnak a melegebb éghajlatú országokban, pl. Izraelben, ahol a hőmérséklet nem csökken fagypont alá, így nem fenyeget a csövek szétfagyásának veszélye. A kétkörös rendszert olyan helyeken használják, ahol télen gyakori a fagy (pl. Magyarországon). Ezeknél a primer körben fagyálló folyadék kering, amely egy hőcserélőn keresztül adja át hőjét a szekunder körben áramló, közvetlen felhasználásra kerülő víznek. Mindkét rendszer működtethető ún. termoszifonos keringetéssel, amikor a spontán módon kialakuló konvektív áramlás cirkuláltatja a folyadékot, újabban azonban csaknem minden esetben keringető szivattyúkat alkalmaznak.



4.7 ábra
Sík kollektor (üveg lefedéssel) tervezési diagrammja

A sík kollektorok felületének nagyságát a besugárzás mértékének és a használat feltételeinek megfelelően kell megtervezni. A **4.7 ábrán** egy háztartási

melegvíz előállítására épített kollektor tervezési diagramját mutatjuk be. (A diagram déli tájolású, 45°-os dőlésszögű kollektorra vonatkozik.)

A tervezéshez szükséges adatok: a személyek száma, a napi melegvíz-fogyasztás (általában 30-60 ℓ/fő), a tervezés mértékadó időszaka (évszak, hónap).

Példa:

Hány m² kollektor felület szükséges, ha 6 személyre 50 ℓ/fő napi melegvíz-fogyasztást kívánunk biztosítani az április és szeptember közötti időszakokban? (Eredmény az ábra alapján: 12 m² kollektor felület és 600 ℓ-es boyler szükséges.)

A sík kollektorok azon kívül, hogy jelentősen hozzájárulhatnak a kisebb mértékű energiaigények fedezéséhez, jelentős környezetvédelmi funkciót is el látnak. Egy négyzetméter kollektor felület környezeti hatásai (egy évre vonatkoztatva) hozzávetőlegesen a következők:

- Megtakaríthatunk általa 75 liter tüzelőolajat.
- Elkerülhetjük 200 kg szén-dioxid kibocsátását.
- Elkerülhetjük 2,5 kg kén-dioxid kibocsátását.

3. Fotovillamos (PV) energia-átalakítók

A napelemek (PV diódák) a napsugárzás fotonjainak energiáját közvetlenül elektromos energiává alakítják át. A fotonok energiája rezgési frekvenciájuktól függ az alábbi, Planck-féle összefüggés szerint:

$$E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{Joule})$$

ahol h a Planck-féle állandó, ν a foton rezgési frekvenciája, c a fénysebesség, λ a foton hullámhossza. Félvezető problémáknál az energiát gyakran eV (elektronvolt) egységekben fejezik ki:

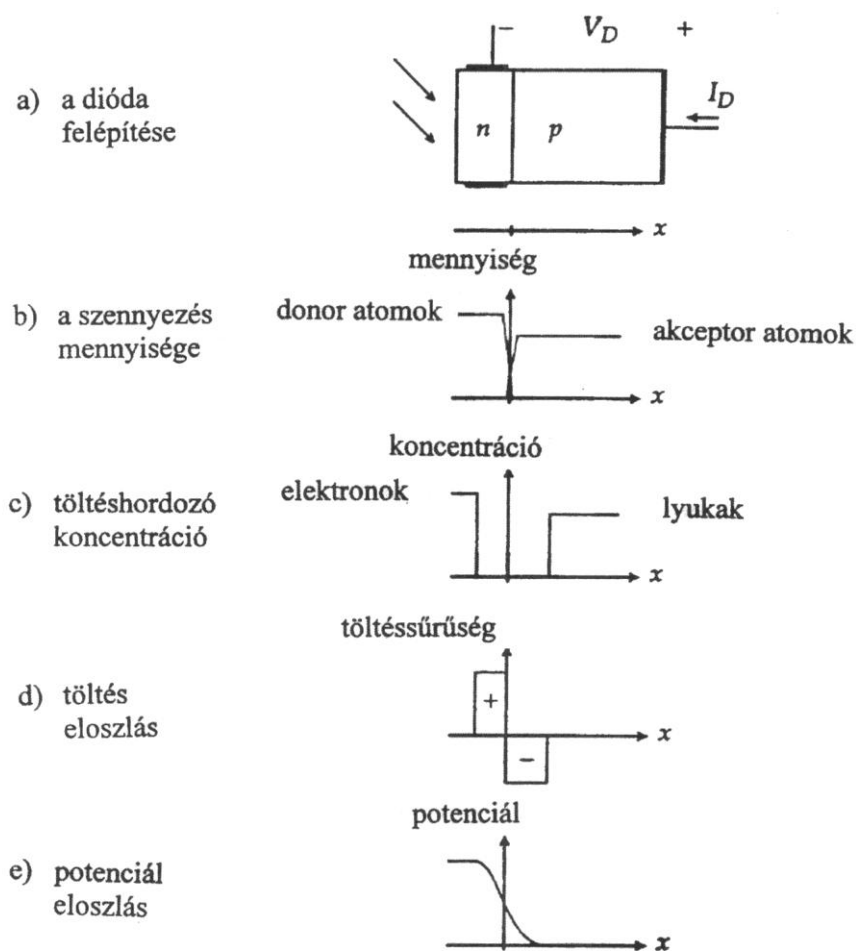
$$E_f = \frac{hc}{\lambda e} = 1,242 \frac{1}{\lambda_{\mu m}} (eV) \quad (4.8)$$

ahol e az elektron töltése: $1,6 \times 10^{-19}$ C; a hullámhossz az utóbbi kifejezésben μm -ben értendő.

A napelemek alapanyaga a leggyakrabban szilícium félvezető kristály. A tiszta szilícium külső elektronhéján négy elektron helyezkedik el. Egy elektronnak a vegyértéksávból a vezetési sávba történő emeléséhez 1,12 eV energia szükséges. Ekkor az elektron helyén a kristályrácsban az elektronhiány folytán egy pozitív töltés (lyuk) marad vissza. Megfelelő megvilágítás esetén az elektron-lyuk párok folyamatosan keletkeznek, majd az elektronok lyukakkal rekombinálnak. Az elektron-lyuk párok keletkezése a vezetőképesség megnövekedéséhez vezet; a jelenséget a szilárdtestfizikában fotokonduktivitásnak nevezik. Ezen az elven működik a fényelem, amely sok fényérzékelő berendezés

(pl. a fotocella) működésének alapja. Az ilyen módon működő félvezetőket „intrinsic” félvezetőnek nevezzük.

Számottevő elektromos energia nyeréséhez szennyezett (extrinsic) félvezetők szükségesek. A szilícium kristályt kétféleképpen szennyezik. Az ún. donor-szennyezéskor kis mennyiségben olyan elemet adagolnak a szilíciumhoz, amelynek külső elektronhéján öt elektron van; ilyen pl. az antimon, az arzén és a foszfor. Ilyenkor a negatív töltésű elektronok vannak fölöslegben, ezért az ilyen félvezetőt n-típusú félvezetőnek nevezzük. Az akceptor szennyezéskor a szilíciumot olyan elemmel szennyezik, amelynek külső elektronhéján három elektron van; ilyen pl. a bór, az alumínium és az indium. Ilyenkor pozitív töltésű lyukak keletkeznek fölöslegben, ezért az ilyen típusú félvezetőt p-típusú félvezetőnek nevezzük



4.8 ábra

Egy napelem (PV-dióda) vázlatja és jellegzetes eloszlás-diagramjai (magyarázat a szövegben)

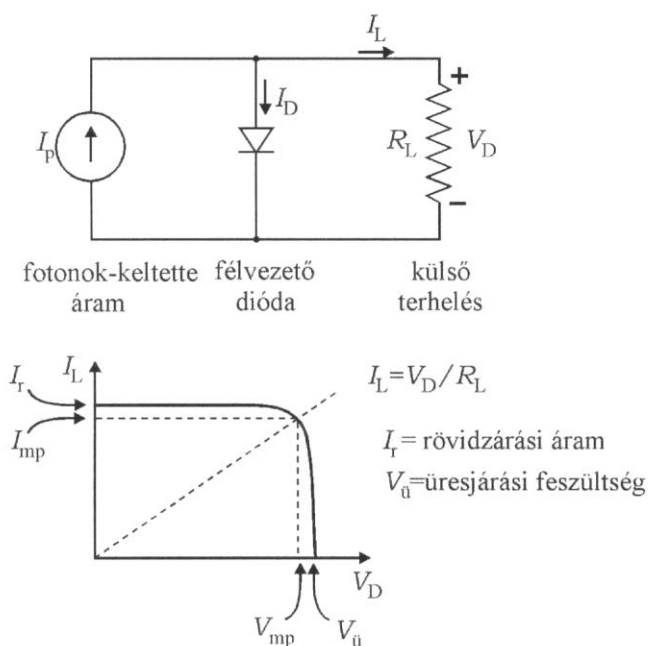
A napelem egy n- és egy p-típusú réteg összekapcsolásából létrehozott félvezető dióda, amelynek egyszerűsített vázlatja a **4.8(a) ábrán** látható. A szabad elektronok és a lyukak átdiffundálnak a határrétegen és rekombinálnak, ezért töltéseloszlásuk a **(b) ábra** szerint alakul. Az ellentétes töltések hatására a határréteg közelében az n-rétegben lyukak, a p-rétegben elektronok halmozódnak fel, ezek koncentrációját a **(c) ábra** mutatja. A fenti töltéseloszlás hatására

létrejött egyensúlyi elektromos mező potenciál eloszlását a **(d) ábra** mutatja. Nyilvánvaló, hogy az n-rétegben az elektronok vannak többségben, ezért ott azokat elsődleges, vagy többségi töltéshordozóknak nevezzük, ugyanítt a lyukak másodlagos, vagy kisebbségi töltéshordozók. A p-rétegben viszont a lyukak a többségi (elsődleges), az elektronok a kisebbségi (másodlagos) töltéshordozók. Ha nincs külső energiaforrás (megvilágítás) akkor a diódában a fenti módon kialakult potenciál különbség nem alkalmas áramforrásként történő alkalmazásra. A létrejött elektromos mezőt ugyanis teljes mértékben kioltja a két anyag közötti kontaktpotenciál különbsége.

Ha azonban a diódát az n-réteg felől megvilágítás éri (és a réteg elég vékony és átlátszó) akkor a fotonok áthatolnak a p-rétegig és ott energiájuknak megfelelő számú elektron-lyukpárt hoznak létre. Az így keletkezett lyukak (mivel belőlük ott már egyébként sok van) alig keltenek áramot, viszont az elektronok (itt kisebbségi töltéshordozók) az elektromos mező hatására átmennek a határrétegen. Így keletkezik az az elektronáram, amely már energiaforrásként működik mindaddig, amíg a megvilágítás tart.

A napelem idealizált áramköri modelljét és feszültség-áram karakterisztikáját a **4.9 ábrán** mutatjuk be. A terhelésen átmenő áramra a csomóponti törvény alapján felírható:

$$I_L = I_p - I_D \quad (4.9)$$



4.9 ábra

A napelem idealizált áramköri modellje és feszültség-áram karakterisztikája

Továbbá érvényesek a következő egyenletek az áramerősségre és a kimeneti teljesítményre:

$$I_L = \frac{V_D}{R_L} \quad (4.10)$$

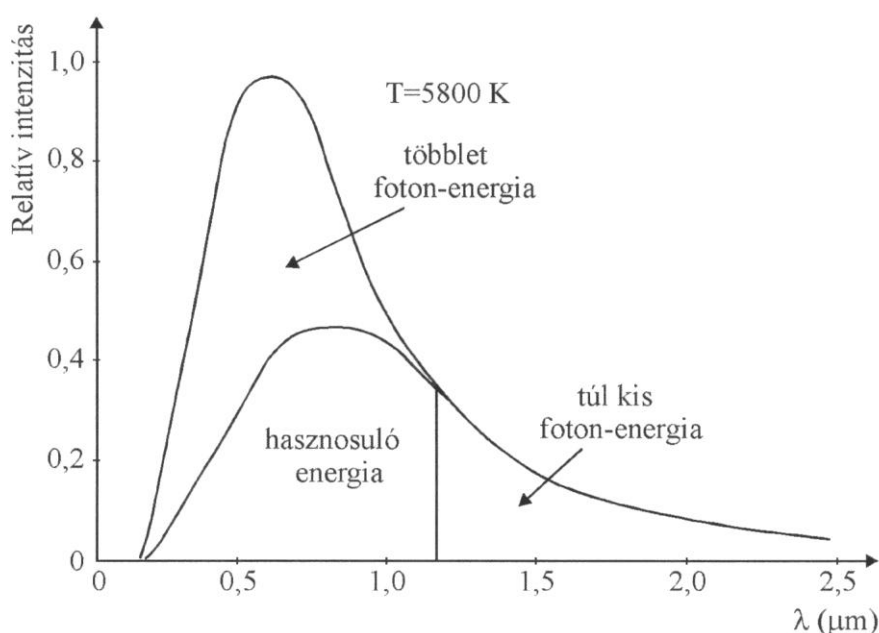
$$P = I_L V_D \quad (4.11)$$

A maximálisan kinyerhető teljesítmény a **4.9 ábra** karakterisztikájából láthatóan:

$$P_{\max} = I_{mp} V_{mp} \quad (4.12)$$

ahol I_{mp} és V_{mp} a maximális teljesítményhez tartozó áramerősség és feszültség.

A napelemek a Nap sugárzási spektrumának csak egy részét képesek hasznosítani (**4.10 ábra**).



4.10 ábra

A napelem sugárzó energia hasznosítása

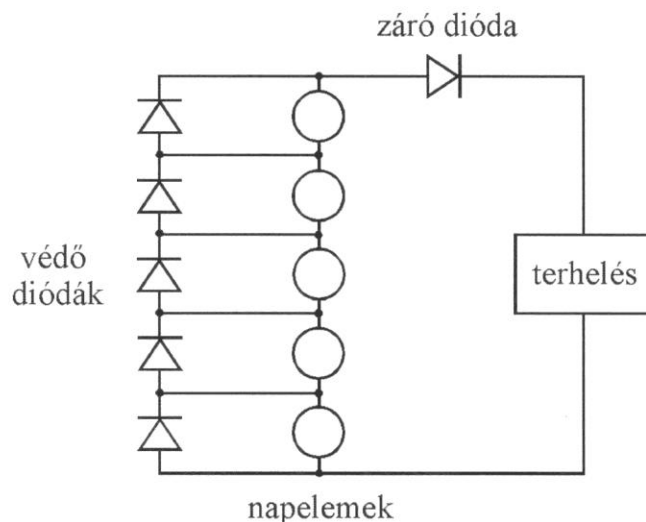
Egy elektron-lyuk pár keltéséhez 1,12 eV foton-energia szükséges. Azok a fotonok, amelyeknek energiája kisebb ennél, nem képesek a párkeltésre. A teljes besugárzási energiának így 23 %-a elvész. A túlságosan nagy energiájú fotonok energiájának egy része is kárba vész; a fölös energia hő formájában jelenik meg és melegíti a félvezető eszközt. Ezt a hatást is figyelembe véve a beeső napenergiának már csak 44%-a hasznosulna. További veszteségek miatt azonban (elméletileg bizonyítható), hogy a maximális elérhető hatásfok mindössze 22 % (szilícium félvezető napelemre 19,2 %) a kereskedelmi forgalomban hozzáférhető napelemek esetén azonban a hatásfok csak 12-16 %.

A napelem hatásfokát tetszőleges terhelő ellenállás esetén az alábbi összefüggés alapján számíthatjuk:

$$\eta = \frac{I_L V_D}{P_{be}} \quad (4.13)$$

ahol a P_{be} a besugárzás teljesítménye a napelem felületére vonatkoztatva.

Egyetlen szilícium napelem cella feszültsége maximálisan 1,1-1,2 V és általában 0,1 A árammal terhelhető. A kívánt teljesítmény elérése céljából megfelelő számú napelemet párhuzamosan ill. sorosan kapcsolnak. Soros kapcsolásnál a cellák feszültsége, párhuzamos kapcsolásnál a cellák árama adódik össze (ennek további részleteivel a mérőgyakorlatok leírásánál foglalkozunk). Összetett rendszerekben egy cella tönkremenetele áramköri szakadást hozna létre. Ha ez egy soros kapcsolás része, a többi cella sem képes energiát termelni. Ilyenkor védő (megkerülő) diódákat kell alkalmazni minden egyes cellával párhuzamosan kapcsolva (**4.11 ábra**).



4.11 ábra
Védő diódás kapcsolás áramköri vázlatja

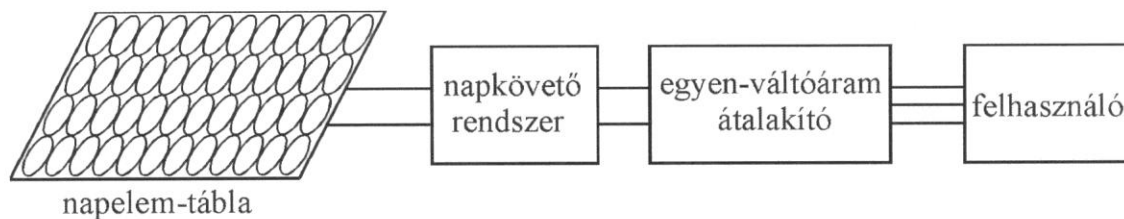
Normális üzemeléskor a diódák záró irányú előfeszültségre vannak kapcsolva, s így áramerősségük zérus. Ha most az egyik elem tönkremegy, annak diódája átengedi az áramot és az áramkör ismét működik, de feszültsége csökken.

A napelemek alkalmazása igen széles körű. Nagy mennyiségben alkalmazzák a kisebb napelemes áramköröket mikroelektronikai eszközökben: órákban, kalkulátorokban, kisebb világítási egységekben stb. Alkalmazásuk létfontosságú az űreszközök működtetésében, ahol semmilyen más energiaforrás nem jöhet szóba. Ugyanígy távoli, nehezen megközelíthető területek kutatóállomásai, megfigyelő pontjai stb. energiaellátására is kiterjedten használják a napelemeket. Nagyobb léptékű (erőművi) energia ellátásra nagy költségigénye és viszonylag rossz hatásfoka miatt egyelőre még csak kísérleti jelleggel alkalmazzák.

A nagyobb egységekbe kapcsolt napelemeknél a maximális teljesítmény kinyerése érdekében minden cellának az optimális munkaponton kell lennie. Ez azt jelenti, hogy a terhelő ellenállás értékének a körülményektől (besugárzás intenzitásától, és a külső hőmérséklettől) függően változnia kell. Ezt nagyobb egységeknél elektronikus szabályozó rendszerrel valósítják meg. Ugyancsak nagyobb, ezért költségesebb rendszereknél automatikus napkövető mechanizmust

is alkalmaznak, amely a napelem-egységeket mindig a napsugarakra merőlegesen állítja be.

Egy szokásos elektromos energiatermelő egység a **4.12 ábra** szerint épül fel.

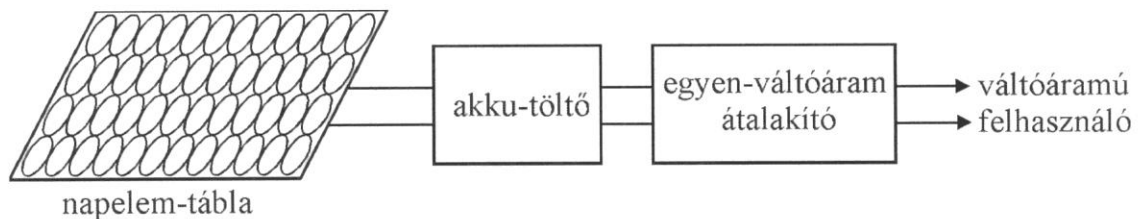


4.12 ábra

Napelemes energiaellátó egység vázlat

A napelem-modul által termelt egyenáramot váltóárammá kell átalakítani, melynek frekvenciája és feszültsége a hálózati áraménak felel meg, mivel általában az összes eszköz ezzel működtethető.

Speciális alkalmazásoknál, ahol hálózati áramellátás nincs, a napenergia áramlásának szakaszos jellege miatt energiátárolásról is gondoskodni kell. A legtöbb ilyen rendszerrel akkumulátorokkal oldják meg az energiátárolást. (Egyes esetekben ezt még egy motoros áramfejlesztő egység is kiegészítheti.) Az ilyen rendszerek szokásos kiépítését a **4.13 ábrán** vázoljuk.



4.13 ábra

Energiatároló (akkumulátoros) napelemes egység vázlat

Az 1980-as évek elejétől különböző országokban nagy méretű, kísérleti energiaellátó rendszereket építettek. Ezek közül az egyik legnagyobb a Carissa Plains-ben (USA) 1984-85-ben létesült 5,2 MW teljesítményű napelem-erőmű, amely szilícium egykristály-cellákból épült fel. Ez kéttengelyes napkövető-keretre szerelt egységekből áll. A teljesítmény 1990-ig 3 MW-ra csökkent, amelynek oka valószínűleg a magas üzemi hőmérsékleten fellépő oxidáció volt. 1990-ben a berendezést szétszerelték és elemeit kisebb energiaellátó rendszerekben hasznosították. Számos kisebb teljesítményű napelemes rendszer épült ezen kívül az USA-ban, Németországban, Svájcban, Hollandiában stb. Érdekes kísérleti erőmű épült Floridában 1988-ban 15 kW teljesítménnyel. A fix állású modulokat amorf szilícium-diódás egységekből építették fel. Ezek jóval olcsóbbak a hagyományos kristályos szilícium napelemeknél, de hatásfokuk is jóval kisebb. A rendszer hatásfoka három év alatt 25 %-kal csökkent, így 1991-ben a hatásfok már csak 4 % volt.

A napelemes elektromos energiatermelés egyelőre még jóval drágább, mint a hagyományos. Egy amerikai gazdasági elemzés szerint (1995-ben) a napele-

mekkel előállított áram ára kilowattóránként 20 c, míg a hőerőművek esetében az egységár 3-4 c/kWh.

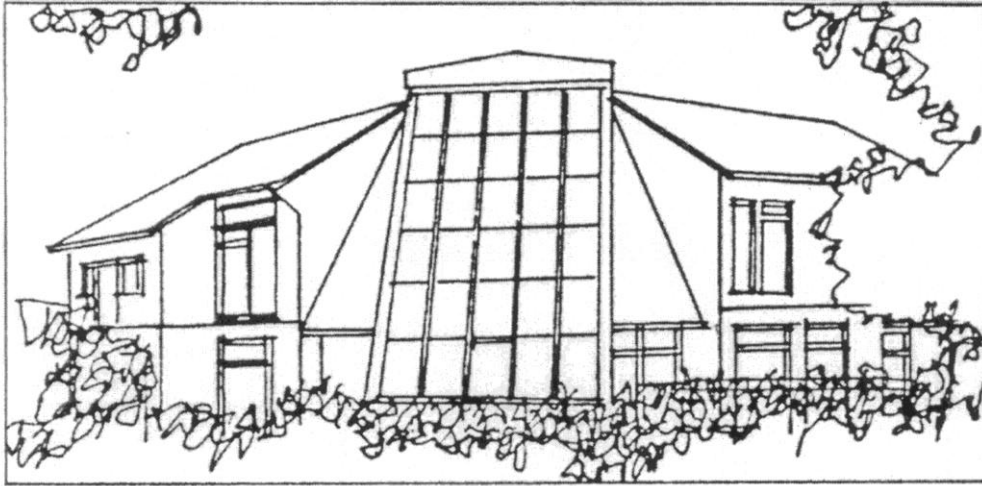
A napelemek környezeti hatásaival kapcsolatban megállapítható, hogy azok működésük közben semmilyen szennyező anyagot nem bocsátanak ki. Gyártásuk során keletkeznek ugyan káros anyagok, ezek azonban még nagy léptékű alkalmazás esetén is jóval kisebbek, mint akár a fosszilis tüzelőanyaggal, akár az atomerőművekben történő energiaátalakításkor.

4. Komplex rendszerek

A szoláris építészetben egyre inkább tért hódít az integrált szemlélet, az ún. „teljes épület” megközelítés. Ez azt jelenti, hogy a passzív építészeti elemek mellett aktív épületgépészeti eszközöket is alkalmaznak a napenergia nagyobb mértékű hasznosítására annak érdekében, hogy a hagyományos energiaellátás igényét minimálisra, vagy éppen nullára csökkentsék. (A II. fejezet történeti áttekintésében láttuk, hogy az M.I.T. napházai, különösen Telkes Mária doveri háza, ennek a törekvésnek előfutárai voltak.)

Az ilyen épületekre jellemző az egyes elemek, berendezések többfunkciós használata. Pl.: A sík kollektorok hőnyereségét nemcsak használati melegvíz előállítására, hanem alacsony hőmérsékletű központi fűtéses rendszerben fűtésrészegítés céljára is hasznosítják; a napkollektorok ugyanakkor az előtető, a tetőfedés és az árnyékoló szerkezet funkcióját is elláthatják.

A következő rövid ismertetésben a komplex napházak három példáját mutatjuk be. Magyarországon Bucsa községben (Karcag közelében) épült az első bioszolár napház, amelynek passzív eleme az épülettömbbe déli oldalról integrált naptér. Az ennek padlószerkezetén abszorbeált napsugárzás részben a padlóburkolatot, részben az alatta lévő üregekben lévő levegőt melegíti fel. A belső helyiségek a naptérhez üvegezett falakkal csatlakoznak. Így alacsony téli napállásnál a napsugárzás közvetlenül az épület magjába jut, ahol a nagy tömegű kémény kedvező hőtárolást biztosít. A kiegészítő fűtés: jól szabályozható, gáztüzelésű légfűtés. Az alkalmazott passzív eszközökkel a hagyományos fűtési költségek 40-60%-a megtakarítható. A **4.14 ábrán** egy Berlinben épült, nulla fűtési energiaigényű családi ház déli homlokzata látható. A hőveszteséget a falak és a födémek rendkívül jó hőszigetelő anyagból történt kiképzésével minimálisra szorították le. A napenergia hasznosítás passzív eszközei: a nagyméretű, délre tájolt üvegezés, az északi homlokzat kis felülete és kis üvegezési hányada, valamint a központi hőtároló tömeg beépítése a lépcsőház terében.



4.14 ábra

Nulla fűtési energiaigényű ház Berlinben

Aktív elemek: 52 m^2 napkollektor felület a déli tetősíkba integrálva, a melegvíz ellátás és az alacsony hőmérsékletű fűtés céljára, a rövid idejű használati melegvíz ellátás céljára egy 350 l -es, a szezonális hőtárolás céljára egy 20 m^3 -es hőszigetelt, forró vizes hőtároló, 30 cm vastag hőszigeteléssel, valamint a friss levegő téli előmelegítése a távozó levegővel, hőcserélőn keresztül. Nyáron a kollektor a szomszédos két lakóépület használati melegvíz igényét is fedezi.

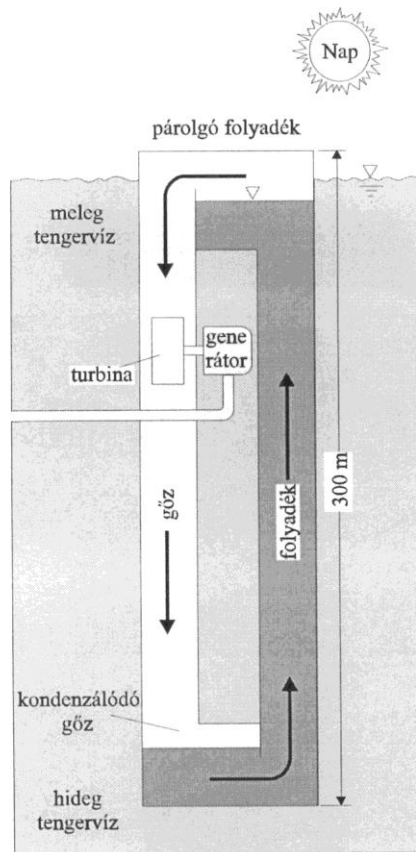
Végül a jelenlegi csúcsteljesítmények közé sorolható a freiburgi autonóm (energia-önellátó) ház. Az alkalmazott passzív elemek: a déli homlokzat transzparens hőszigetelése, gáztöltésű ablakok kis hőemissziós tényezőjű bevonattal, az északi homlokzat és az alapozás különleges hőszigetelése. Aktív elemek: 14 m^2 transzparens hőszigetelésű kollektor, 30 m^2 felületű PV-mező, amely vízbontó berendezést is működtet. Az elektromos energia egy részét 48 db akkumulátorban tárolják, másik részét vízbontásra használják. Az így nyert hidrogént a háztartásban főzési-sütési célra használják fel.

5. Nap-hőerőművek

Óceáni naperőművek

Az óceánok vízfelülete úgy is felfogható, mint egy hatalmas napkollektor: a naponta általa adszorbeált napenergia 250 milliárd hordó olajjal egyenértékű. Az elnyelt hő hatására az óceánok felső rétegei felmelegsznek, hőmérsékletük $20\text{-}25 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal is lehet melegebb az alsó rétegeknél. Az energetikai alkalmazásoknál ezt a hőmérséklet különbséget hasznosítják.

A berendezés vázlatát a **4.15 ábra** mutatja. A felső, melegebb zónában az alacsony forráspontú üzemi folyadék felforr, gőze meghajtja a turbinát, majd kondenzálódik és lecsurog az alsó folyadéktartályba. (Rankine-ciklus)



4.15 ábra
Óceáni naperőmű működési vázlata

A napenergia koncentrációján alapuló (koncentrátoros) erőművek

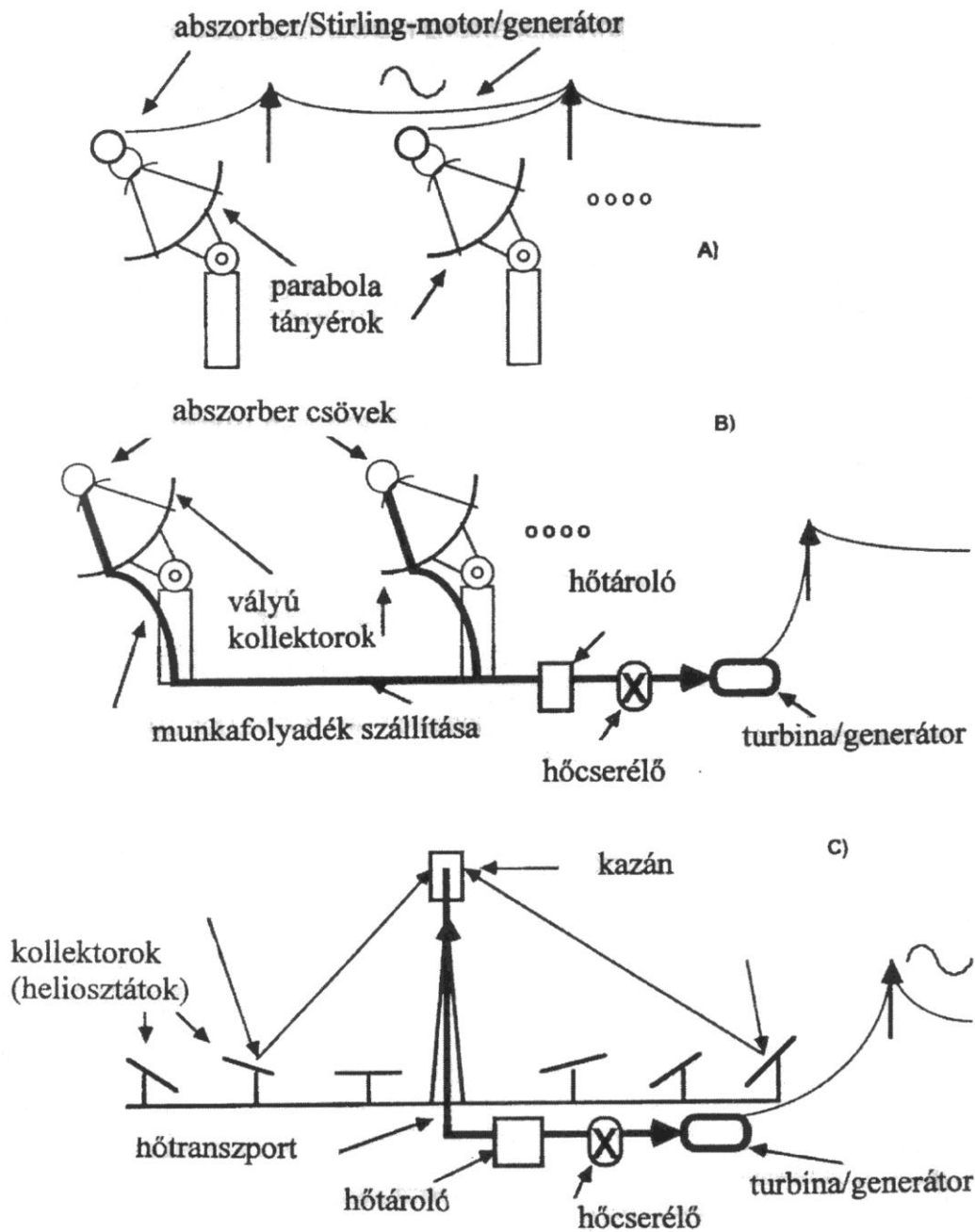
A koncentráló kollektorok jellemzője, hogy a sugárzás felfogására és összegyűjtésére optikai szerkezetet: lencsét, vagy tükröt alkalmaznak. Az ilyen kollektorok általában magasabb (több száz, vagy több ezer fok) hőmérséklet elérésére képesek, ezért ipari (erőművi) léptékű energia szolgáltatásra is alkalmasak. Az elérhető maximális hőmérséklet megvalósítása érdekében kompromisszumot kell találni az optikai és termodinamikai szempontok között. Az abszorbert a lehetőség szerinti legkisebb méretűre kell választani, hogy csökkenjen a hővesztés. Ugyanakkor az abszorbernek elég nagyak kell lennie ahhoz, hogy befogadjon minden, vagy majdnem minden beeső sugárzást.

A koncentráló kollektorok fontos jellemzője az ún. koncentráció-fok. Ezt a következőképpen definiálják:

$$C = \frac{A}{A_a} \quad (4.14)$$

ahol A = a fogadó felület nagysága, A_a = az abszorber felület nagysága. A napkövetővel ellátott koncentráló kollektoroknál igen jelentős koncentrációfokot lehet elérni, pl. fókuszpontos rendszereknél $C = 40\,000$, fókuszvonalas rendszereknél $C = 200$ értékeket. A gyakorlatban megvalósított rendszereknél a koncentráció fokát jó néhány körülmény csökkentheti, ilyenek pl. a tükrök és a

lencsék optikai hibái, követési hibák, a fényvisszaverő anyag minőségromlása, a tükrökre, lencsékre érkező por és más szennyezések. Az alacsony koncentrációjú kollektoroknak előnyös tulajdonsága, hogy a diffúz sugárzás jelentős részét is hasznosítják.



4.16 ábra
A naperőművek alaptípusainak vázlata

Az energia koncentráló hőerőműveknek három típusa alakult ki, ezek működését elsősorban az Egyesült Államokban 1972-ben indult nagyszabású fejlesztési program során vizsgálták. A három alaptípus a következő:

- parabolatányéros naperőművek,

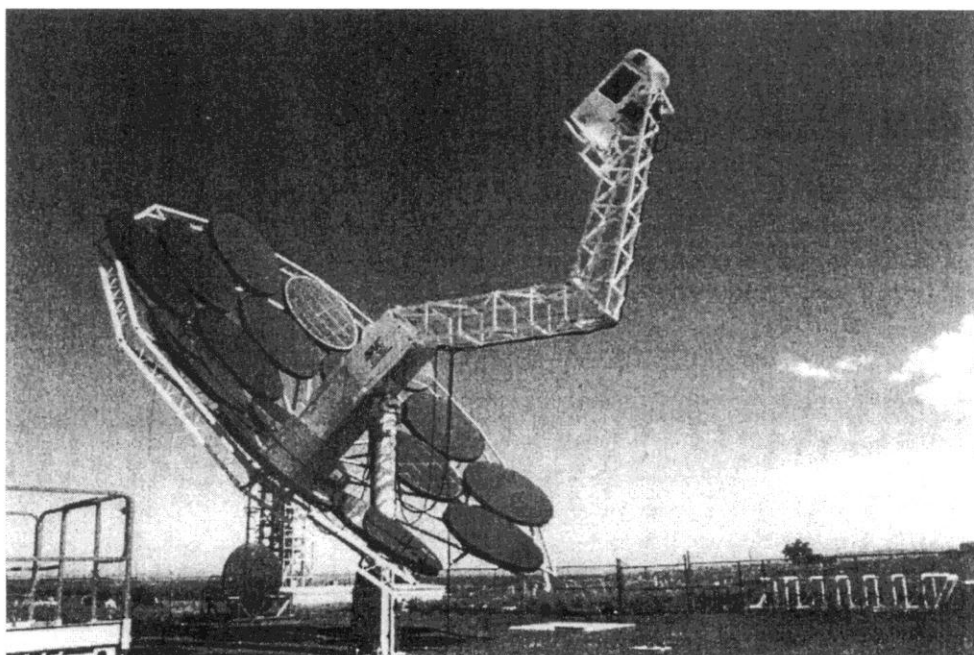
- vonalfókuszos (Luz-rendszerű) naperőművek,
- toronykazános (heliosztátos) naperőművek.

Az alábbiakban ezeket az alaptípusokat röviden ismertetjük a **4.16 ábra** működési vázlatai alapján.

Parabolatányéros naperőművek (4.16a ábra)

Szerkezeti kialakítása: egyetlen nagy forgási paraboloid alakú reflektorból és annak fókuszába rögzített abszorber-elemből áll. Az abszorber összegyűjtött hőjét egy Stirling-motor alakítja át mechanikai energiává, majd egy generátor elektromos energiává. (A Stirling-motor tulajdonképpen egy dugattyús gázmotor, amelyben a hőközlés és a hőelvonás a hengerekhez csatlakozó hőcserélőkben történik.)

Jellemző adatok: tükörfelület 50-100 m², az abszorber üzemi hőmérséklete 700-1000 °C, a hatásfok 30% körüli, egy egység teljesítménye: 5-25 kW. (Egy erőművi egység képét a **4.17 ábrán** mutatjuk be.) A parabolatányéros egységek egymástól függetlenül, de együttműködve is üzemelhetnek, pl. országos hálózatba történő tápláláskor.



4.17 ábra

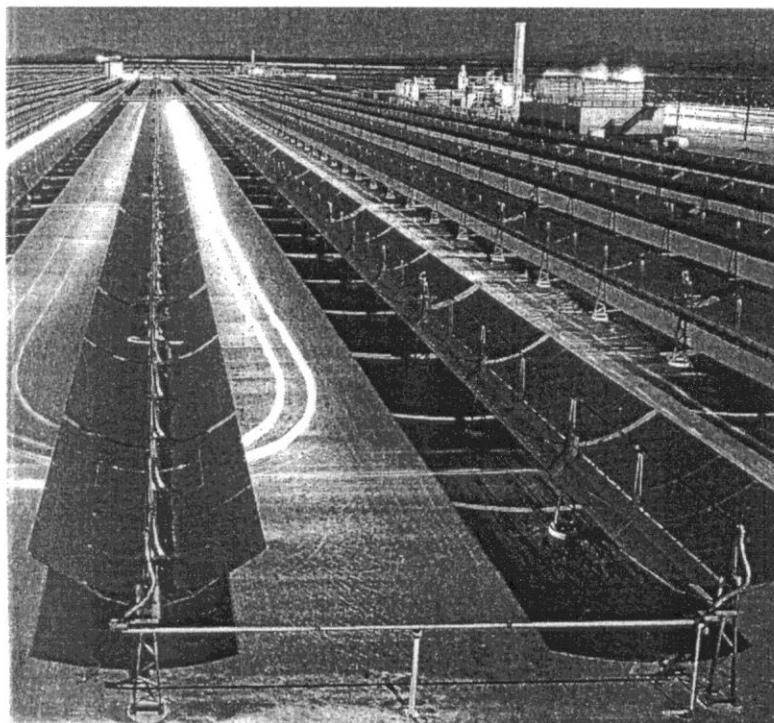
Parabola-tányéros erőmű egység képe

(A történelmi áttekintés – II. fejezet – alapján nyilvánvaló, hogy ez az erőmű-típus a Mouchot és tanítványai által az 1870-80-as években kifejlesztett koncentráló kollektorok továbbfejlesztett változata.)

Vonalfókuszos (Luz-rendszerű) naperőművek (4.16b ábra)

Az energiakonzentráció másik lehetséges módja: hosszú, parabola keresztmetzetű, itatóvályúra emlékeztető koncentráló tükrökkel alakítanak ki, a munkafolyadékot a fókuszvonalban elhelyezett kollektor-csőben áramoltatják. A

Luz International (nemzetközi energiaipari társulás) 1984 és 1990 között 8 elektromos energia- szolgáltató erőművet épített Kaliforniában a fenti elv alapján, ezek összteljesítménye 355 MW. (Az egyik kaliforniai erőmű részlete a **4.18 ábrán** látható.)



4.18 ábra

Vonalfókuszos (Luz-rendszerű) erőmű távlati képe

A vonalfókuszos rendszernek számos előnye van a másik két rendszerrel szemben:

- a parabola keresztmetszetű vályúkat csak egyetlen (vízszintes) tengely körül kell forгатni,
- alkalmazási köre igen széles: háztartási melegvíz, fűtővíz, meleg levegő előállítás (pl. szárító-, aszaló berendezésekhez), túlhevített gőz előállításával pedig elektromos energia átalakító erőművi berendezések üzemeltetése,
- szerkezetéből adódóan kiválóan alkalmas moduláris megosztásra azaz független, kisebb egységek létesítésére.

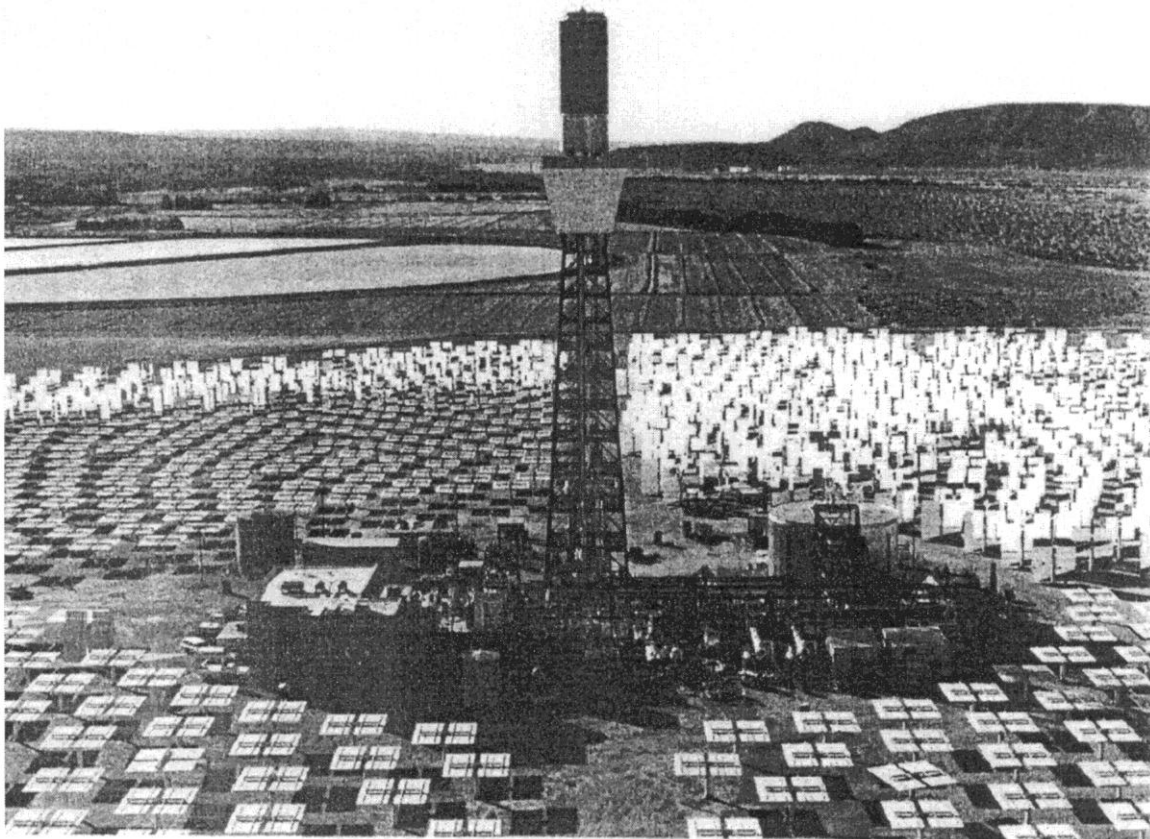
A vályúkat É-D-i vagy K-Ny-i irányba lehet tájolni. Az É-D-i tájolás valamivel nagyobb energia-kihozattal eredményez, de a K-Ny-i tájolással jóval kisebb évszakos ingadozás érhető el. A kollektor-csővet galvanizált króm-, vagy nikkel bevonattal látják el. Ezt koncentrikus üvegcső veszi körül a sugárzási és a konvekciós veszteség csökkentése céljából (üvegházhatás). A munkaközeg sokféle lehet: erőművi üzemelés esetén szintetikus termo-olajat, vagy olvasztott sókat használnak.

(A történelmi példákkal – II. fejezet – összevetve látható, hogy a Luz-rendszerű erőmű tulajdonképpen az Ericsson által megalapozott, majd Shuman által az 1900-as évek elején már ipari méretűvé fejlesztett vályú-kollektoros erőmű modern változata.)

Toronykazános (heliosztátos) naperőművek (4.16c ábra)

Első, sikeresen működő prototípusa a Solar One, amely Kaliforniában készült (távlati képét a **4.19 ábra** mutatja). A kazán egy 76 m magas torony tetején áll, erre fókuszálja a napsugarakat 1818 külön mozgatható, egyenként 40 m²-es tükör (heliosztát). A tükröket egy automatikus vezérlő rendszer mindig a nap irányába állítja.

Az erőmű elektromos teljesítménye 10MW (termikus teljesítménye 35MW). Munkaközege 510 °C-os túlhevített vízgőz, amelyet egy több fokozatú gőzturbinába vezetnek. A folyamatos üzemelés biztosítására a rendszerhez egy olajos-kőágyazatos hőtároló is csatlakozik. A sikeres üzemelés nyomán jóval nagyobb teljesítményű (~100MW) hasonló típusú erőművek építését határozták el.



4.19 ábra

Az első nagyteljesítményű toronykazános erőmű: a Solar One

6. Az energia tárolása

Az energiaipar mindmáig legnagyobb problémája az energia tárolása. A változó energiaigények kielégítése állandó kihívás, amelynek a hagyományos erőművekre alapozott energia ellátás az erőművi egységek leállításával és újra indításával tud (üggyel-bajjal) eleget tenni. Fokozott problémát jelent az energia tárolása szoláris energiaellátó rendszerek esetén, a napsütés szakaszos és az intenzitás változó jellege miatt.

A korábban már említett hőtároló rendszerek csak rövid idejű energiatárolást tesznek lehetővé. A kristályos anyagok megolvadásakor elraktározott, majd dermedésükkor felszabaduló látens hő felhasználása hatékonyabb, mint a hagyományos (víz, kőzúzalék) hőtároló közegek, de ez is csak rövid távú megoldást jelent. (A módszert egyébként először a magyar származású Telkes Mária alkalmazta, amint azt a II. fejezetben már említettük.)

Akkumulátoros energiatárolás

Az elektromos energia elektrokémiai úton történő tárolására szolgálnak a különböző típusú akkumulátorok. A fontosabb akkumulátor típusokat az alábbiakban ismertetjük.

Savas ólom akkumulátor

A legkiterjedtebben alkalmazott akkumulátor típus, töltését jól tartja és viszonylag olcsó. Hátránya, hogy alacsony töltőárama miatt csak lassan tölthető és teljes lemerülés esetén tönkre mehet. Élettartama végén nagy mennyiségű veszélyes hulladékot képez.

Nikkel-kadmium akkumulátor

Élettartama igen hosszú, töltőárama nagy, ezért igen rövid idő alatt feltölthető. Hatásfoka viszont kisebb, mint az ólom akkumulátoré és könnyebben lemerül (rosszabb a töltéstartó képessége).

Az utóbbi években fejlesztettek ki néhány különleges akkumulátor-típust, elsősorban járművekben történő használatra. Ezek üzemi jellemzői sokkal jobbak, mint a hagyományos akkumulátorokéi.

A nátrium-szulfid akkumulátor egy feltöltésével egy elektromos autó 430 km-t képes megtenni úgy, hogy maximális sebessége 120 km/h.

A lítium-polimer akkumulátor képviseli a jelenlegi csúcstechnikát. Fajlagos energiatároló képessége 150 Wh/kg (ez például az ólom akkumulátor esetén 35 Wh/kg). Egy elektromos autó ezzel az akkumulátorral 450 km-t képes megtenni, ugyanilyen súlyú ólom akkumulátorral ez a távolság mindössze 130 km.

Szolár-hidrogén technológia

A hidrogén a legtisztább tüzelőanyag, égéshője 242 kJ/mól, elégetésekor vízgőz keletkezik. Acél vagy alumínium tartályban nagy nyomáson, gáz alakban tárolható és szállítható. Erősen lehűtve, 18 K hőmérsékleten cseppfolyósodik, a folyékony hidrogén szintén tartályban tárolható és szállítható. A tárolás egy to-

vábbi módját jelentik a fém-hidridek; ezek nagy nyomáson hidrogént abszorbeálnak, amely hőközléssel felszabadítható. A hidrogén előállításának több különböző módja ismeretes.

Szolár-villamos hidrogén előállítás

A napsugárzás energiáját fotovillamos (PV) cella alakítja át villamos energiává. Az így előállított egyenárammal elektrolizáló berendezést működtetnek.

Biomassza elgázosítása

A biomassza szénhidrogén kötése magas hőmérsékleten megbomlanak, hő hatására a szerves anyagból oxigénszegény környezetben hidrogén, szén-monoxid és metán keletkezik. A metánt vízgőzzel érintkeztetve hidrogén és szén-dioxid képződik az alábbi reakcióegyenlet szerint:



A hidrogén és a szén-dioxid nagy sűrűség különbségük folytán könnyen elválasztható.

Fermentáció

Gázosítás és pirolízis útján cukor-, keményítő- és olajtartalmú biomassza-alapanyagokból etanol és metanol állítható elő. Ezek szintén felhasználhatók hidrogén termelésre. Jelenleg a legolcsóbb a biomasszából történő előállítás.

A hidrogén felhasználási módjai

Hőtermelés.

A tiszta hidrogén levegőben elégethető és hőtermelésre felhasználható. Levegőben elégetve NO_x is keletkezik, de ún. katalitikus égést biztosítva a keletkezett NO_x mennyisége elhanyagolható.

Robbanómotorok üzemanyaga

A belső égésű motorok – kisebb módosítások elvégzése után – hidrogénnel is üzemeltethetők. Elsőként a BMW-gyár fejlesztette ki a hidrogén-motoros gépkocsiját. A motor kipufogó csövén víz és kis mennyiségű nitrogén-oxid távozik; hatásfoka jóval nagyobb, mint benzinüzem esetén.

Az üzemanyag lehet folyékony hidrogén, ekkor azonban költséges hűszigetelést kell alkalmazni, ezért inkább nagy nyomású tartályban tárolják.

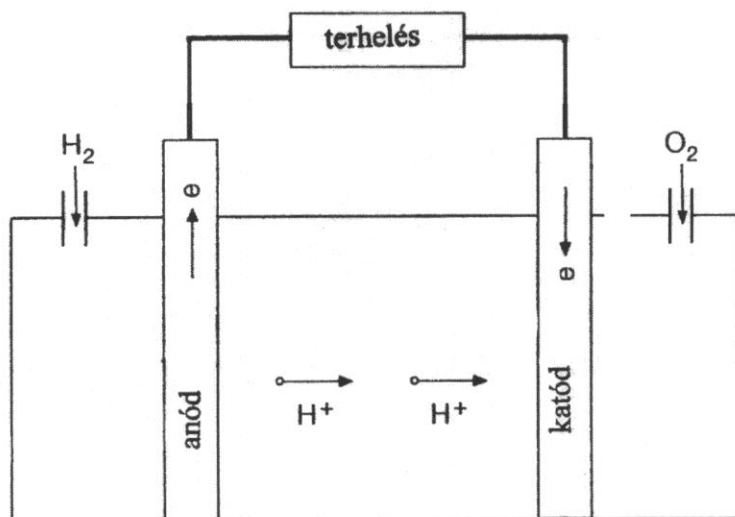
Izlandon hosszú távú közlekedés-fejlesztési programot indítottak hidrogén-üzemanyagra alapozva. A hidrogént a vízerőművekben igen olcsón előállított elektromos energiával fejlesztik, majd az így nyert üzemanyagot fokozatosan növekvő mértékben kívánják hasznosítani: 1. városi autóbuszok üzemeltetésére, 2. a halászhajó flotta hajóinak üzemeltetésére, 3. az összes autó és teherautó hajtására. Problémát jelentenek a még magas költségek, a folyékony hidrogén biztonságos tárolása és a megfelelő mennyiség biztonságos elraktározása hosszú utakra (pl.: halászhajóknál).

Tüzelőanyag-cellák

A tüzelőanyag-cellákban (fuel cell) hidrogént oxidálnak katalitikus úton elektrokémiai folyamat során, más szóval a kémiai energiát elektromos energiává alakítják át. Különböző típusai vannak, pl.:

- lúgos cellák
- savas cellák
- olvadó karbonátos cellák
- szilárd oxid cellák
- szilárd polimer cellák
- mikroorganikus (biokémiai) cellák

Példaképpen a savas cella működését mutatjuk be, amelynek szerkezeti vázlatát a 4.20 ábrán látható.



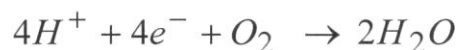
4.20 ábra

Savas hidrogén-oxigén tüzelőanyag-cella vázlat

A porózus szerkezetű platina elektródák kénsav oldatban merülnek. Az anódot H_2 -, a katódot O_2 - áramban tartják. A katalizátor hatására az anódon a hidrogén disszociál és a következő reakció játszódik le:



A protonok a katódra áramlanak, ahol:



a nettó reakció:



A víz képződési hője (entalpiája) 286 kJ/mól (emlékeztetünk arra, hogy az égéshő ennél kisebb: 242 kJ/mól). A képződési entalpia elektromos energia formájában jelenik meg az elektródok között, amely a fogyasztón realizálódik. A

cellában tehát a kémiai energia közvetlenül elektromos energiává alakul; emiatt a folyamatot gyakran „hideg égésnek” nevezzük.

Az energia átalakulás hatásfoka 60 % körüli, ami jóval nagyobb, mint az égetéses folyamatok hatásfoka (ott ugyanis a hatásfok felső határa a Carnot-körfolyamat hatásfoka). Egy cellával 1,23 V feszültség érhető el.

A tüzelőanyag cellák üzemeltetésénél számos technikai problémát kell megoldani; ilyenek, pl.: a gázok bevezetésénél a megfelelő túlnyomás és a folyadékkal való egyensúly biztosítása, a keletkezett víz miatt a savas elektrolit egyre hígul, ezért a víztöbblet eltávolításáról gondoskodni kell, stb. Ezek miatt a tüzelőanyag cellák technikailag bonyolult, költséges berendezések. Előnyük a folytonos üzem, és a minimális környezetszennyezés.

Járművekben történő alkalmazás esetén a tüzelőanyag cellák egyenáramú motorokat hajtanak meg, emiatt sebességváltó nem szükséges az erőátvitelhez. Nagyobb léptékű fejlesztési programok az 1990-es években indultak a vezető autógyárakban (Daimler-Benz, Chrysler, Ford). A Daimler-Benz 1997-ben üzembe helyezte az első tüzelőanyag cellás autóbuszokat Stuttgart városi közlekedésében.

Biztonsági kérdések

A hidrogén alkalmazásakor gyakran emlegetett probléma a biztonság. Megfelelő intézkedésekkel a tűz- és robbanásveszély minimálisra csökkenthető. A hidrogén igen széles koncentráció tartományban elégethető levegőben (4-75 térfogatszázalék), ez a tartomány jóval szélesebb, mint földgáz esetén. A robbanóképes keverék határkoncentrációja (18 %) magasabb, mint a metáné (10 %). A hidrogén igen könnyű, a levegőbe jutva felszáll és könnyen eloszlik – zárt terekben viszont állandó szellőztetés szükséges pl. ventilátorral. Égéskor a láng színtelen, ezért észrevételéhez színező gázt kell hozzá adagolni. A tárolással kapcsolatos tapasztalatok azt mutatják, hogy mindhárom említett tárolási mód (nagy nyomáson, palackban; folyékony állapotban; fém hidrideken) teljesen biztonságos.

V. LABORATÓRIUMI GYAKORLATOK

Ebben a fejezetben a napenergia alkalmazásával kapcsolatos laboratóriumi mérőgyakorlatok kerülnek ismertetésre, az alábbi csoportosítás szerint:

- Sugárzások emissziója és abszorpciója (1.....3 gyakorlat)
- Napkollektorok vizsgálata (4.....8 gyakorlat)
- Napelemek vizsgálata (9...10 gyakorlat)

A gyakorlatok ismertetése során az alábbi sorrendet követjük:

- elméleti alapok,
- a gyakorlat részletes leírása,
- az elvégezendő feladat(ok) ismertetése.

1. gyakorlat: Fekete test sugárzásának vizsgálata

Elméleti alapok

A fekete test sugárzásának elméleti alapjait a III. fejezetben részleteztük, most csak utalunk az ottani ismertetésre. A jelen mérésnél használandó alapösszefüggés az 3.13 egyenlet módosított változata, annak figyelembevételével, hogy fekete test esetén $\varepsilon = 1$, vagyis:

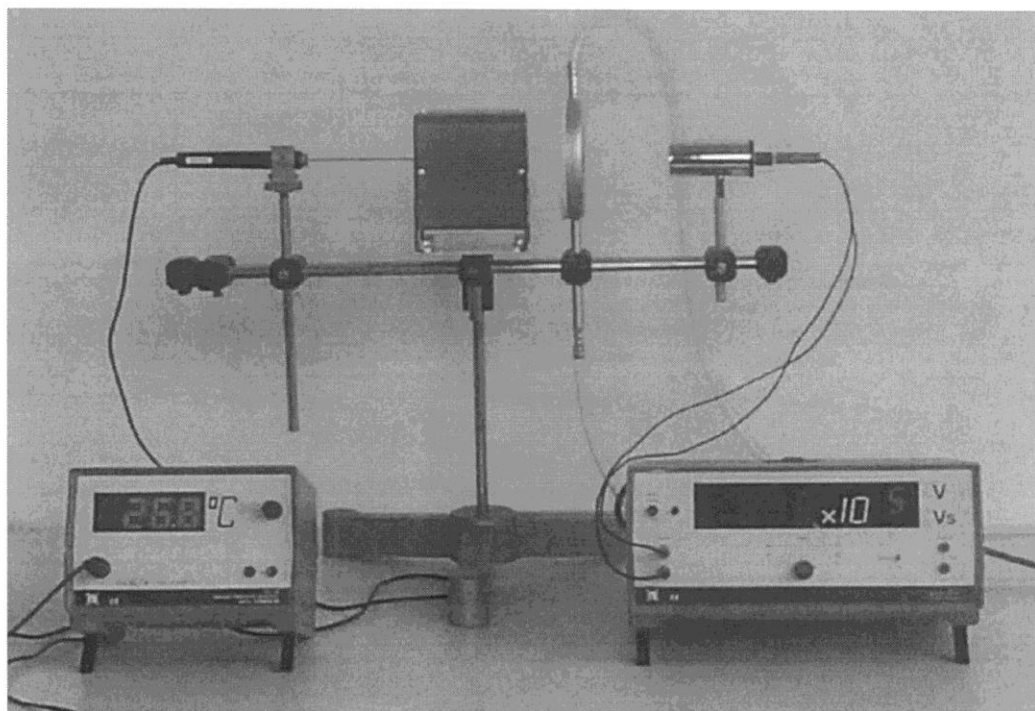
$$I_e = \sigma(T^4 - T_0^4) \quad (5.1)$$

A gyakorlat leírása

A mérőgyakorlat célja, hogy egy elektromos kemence által hevített fekete test készülék sugárzási intenzitásának mérésével igazoljuk a Stefan-Boltzmann törvényt. Az ismertetésre kerülő készülékeket a Leybold-Didactic forgalmazza, de természetesen más cégek által forgalmazott készülékek is használhatók.

A fekete test készülék legfontosabb része egy feketére égetett sárgaréz henger, amelynek egyik végén üreges a kialakítása. A hengert elektromos kályha fűti fel. Az üreg nyílásánál helyezkedik el a kisméretű furattal ellátott korong alakú ernyő, amelyet víz átáramoltatásával hűteni lehet. Ennek köszönhetően kizárólag a furaton keresztül távozó hőt mérjük, kizárva a környezetből sugárzó hőt. A sugárzás intenzitásának mérésére a Moll-féle sugárzásmérő készüléket használjuk. Ez egy abszorber felületére forrasztva 16, egymással sorban kapcsolt termoelemet tartalmaz. A készülék ablakán át beeső sugárzás hatására annak intenzitásával arányos termoelektromos feszültség keletkezik, amely érzékeny műszerrel (mikrovolt mérővel) mérhető. A készülékhez megadott műszerállandó segítségével a mért feszültséget sugárzási intenzitásra (W/m^2) számolhatjuk át. (A Leybold-Didactic által forgalmazott készülék hullámhossz-érzékenységi tar-

tománya: 150 nm - 15 μm .) A fekete test hőmérsékletét annak hátsó nyílásán át behelyezett termoelemes hőmérővel mérjük.



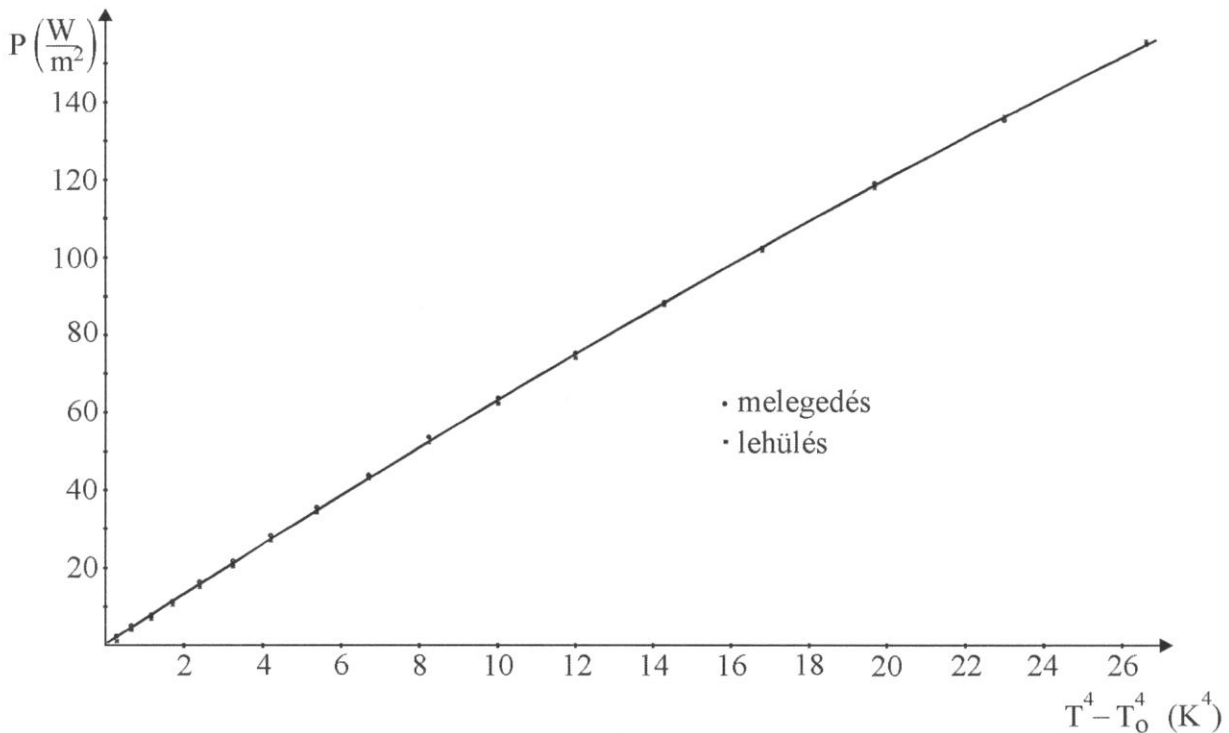
5.1 ábra
Berendezés a fekete test sugárzásának vizsgálatára

Állítsuk össze az **5.1 ábrán** látható elrendezést (az ábrán balról jobbra felül a termoelemes hőmérő érzékelője, a fekete test készülék, a vízhűtéses ernyő és a Moll-féle sugárzásmérő; alul a hőmérő kijelzője és egy mikrovoltmérő). A mérés kezdetén jegyezzük fel a szobahőmérsékletet (T_0), a sárgaréz-henger hőmérsékletét (T), és a Moll-féle sugárzásmérő kimenetén a feszültséget. Ezután kapcsoljuk be a kályha elektromos fűtését és minden 25°C fok emelkedésnél jegyezzük fel a sárgaréz-henger hőmérsékletét, és a sugárzásmérő feszültségét. Mikor a hőmérséklet $400\text{-}500^\circ\text{C}$ fok közé emelkedett, kapcsoljuk ki a kályha fűtését és az előzőhöz hasonlóan, lehüléskor is 25°C fokként olvassuk le a sárgaréz-henger hőmérsékletét és a Moll-féle műszer kimenő feszültségét. Ha a hőmérséklet 100°C fok és a szobahőmérséklet közé csökkent, a termoelemes hőmérő érzékelőjét emeljük ki a hengerből és a készüléktől eltávolítva mérjük meg vele a szobahőmérsékletet. Ezután árnyékoljuk le a Moll-féle sugárzásmérőt egy fekete papír-, vagy műanyaglappal és jegyezzük fel így is a kimeneti feszültséget.

Az elvégzendő feladatok

Hajtsuk végre a mérést az előző fejezetekben megadott módon. A mérési adatokat rögzítsük táblázatos formában. Ábrázoljuk a mérési pontokat olyan koordináarendszerben, amelynek vízszintes tengelyén a $T^4 - T_0^4$ különbséget, függőleges tengelyén az emittált sugárzási teljesítményt (I_e) tüntettük fel.

Az **5.2 ábrán** - tájékoztató jelleggel - ábrázoltunk egy mérési adatsort. A pontsor vége kissé eltér a Stefan-Boltzmann törvényre jellemző egyenestől. Ennek oka egyrészt az, hogy a környezet hőmérséklete is változik, másrészt az, hogy a sugárzásmérő - a hűtés ellenére - a környezet sugárzó hőjét is érzékeli.



5.2 ábra

Stefan-Boltzmann törvény. Egy mérési adatsor grafikonja

2. gyakorlat: Mérések Leslie-kockával

Elméleti alapok

A sugárzás emissziójának elméleti alapjait a III. fejezetben részletesen ismertettük. Jelen mérés során egy kocka négy különböző színű és minőségű oldallapjának emisszió-képességét hasonlítjuk össze, közben megvizsgáljuk a Stefan-Boltzmann törvény érvényességét is.

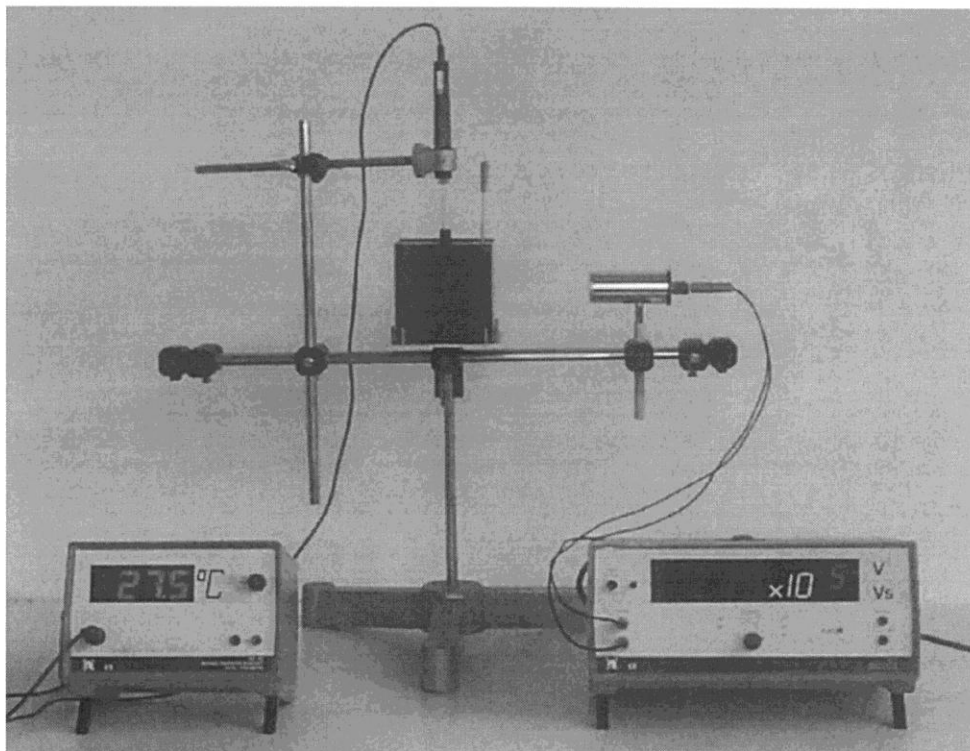
A kocka lapjai által egységnyi felületen egységnyi idő alatt emittált energia a 3.13 egyenlettel fejezhető ki, amely erre az esetre:

$$I_{ei} = \varepsilon_i \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (5.2)$$

ahol I_{ei} a kocka i -edik lapja által kibocsátott sugárzás intenzitása, ε_i az i -edik lap emisszió-képessége.

A gyakorlat leírása

A Leslie-kocka egy 10 cm oldalélű, függőleges tengely körül forgatható kocka, amelybe 1 liter folyadék tölthető. A kocka forgástengellyel párhuzamos 4 függőleges oldallapjának színe és minősége különböző. Az 1. lap feketére, a 2. lap fehérre van festve, a 3. lap fémszínű matt (szürke), a 4. lap fémszínű polírozott (tükrös).



5.3 ábra

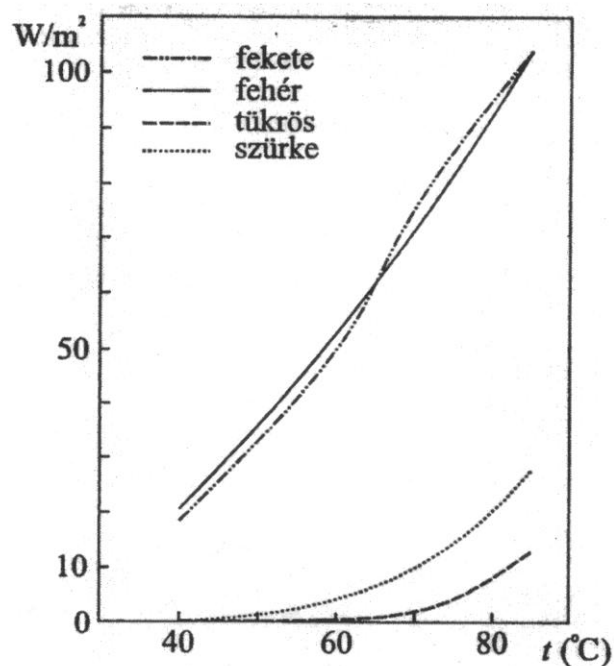
Kísérleti összeállítás a Leslie-kocka sugárzásának vizsgálatára

A mérés során először állítsuk össze a mérőberendezést az **5.3 ábra** szerint (az ábrán felül középen a Leslie-kocka, fölötte a hőmérő érzékelője, jobbra a Moll-féle készülék; alul a hőmérő kijelzője és a mikrovoltmérő). Ezután töltsük fel a kockát 0,9 liter forrásban lévő vízzel. A kocka felső nyílásába helyezzünk hőmérőt (lehetőleg digitális leolvasású termoelemes hőmérőt) és a víz lehűlése közben nagyjából 5°C fokenként olvassuk le a Moll-féle sugárzásmérő kimeneti feszültségét, váltakozva fordítva a készülék irányába a kocka különböző oldalait. A műszerállandó felhasználásával a leolvasott feszültség értékeket számítsuk át besugárzási intenzitásra. Jegyezzük fel az összetartozó hőmérséklet (T) és intenzitás (W/m^2) értékeket. A mérés kezdetén és végén, valamint néhányszor a mérés közben jegyezzük fel a szobahőmérséklet (T_0) értékét. A mérést a leírt

módon folytassuk addig, amíg a kockában lévő víz hőmérséklete kb. 10°C fokra megközelíti a szobahőmérsékletet.

Az elvégzendő feladatok

Az **5.3 ábra** szerint összeállított készülékkel végezzük el a mérést a leírt módon. A mérési adatokat rögzítsük táblázatos formában. Ábrázoljuk a mérési pontokat olyan koordináta-rendszerben, amelynek vízszintes tengelyén a víz t hőmérsékletét, függőleges tengelyén a kocka különböző oldalairól mért sugárzási teljesítményt (I_{ei}) tüntetjük fel. Az **5.4 ábrán** – tájékoztató jelleggel – egy mérési adatsort ábrázoltunk. Az eredmények érdekessége, hogy a fekete és a fehér felület sugárzási intenzitás görbéje majdnem egybeesik, várakozásunkkal ellentétben. Nem szabad azonban meglepedkezni arról, hogy a „fehér” és „fekete” szín megjelölések a látható fény tartományára vonatkoznak. A kocka által kibocsátott hősugárzás intenzitás-maximuma pedig $7\mu\text{m}$ környékén van, az infravörös tartományban. Ezen a hullámhosszon tehát a két felület emisszióképessége azonos, ill. közel azonos.



5.4 ábra

A Leslie-kocka oldallapjainak sugárzása

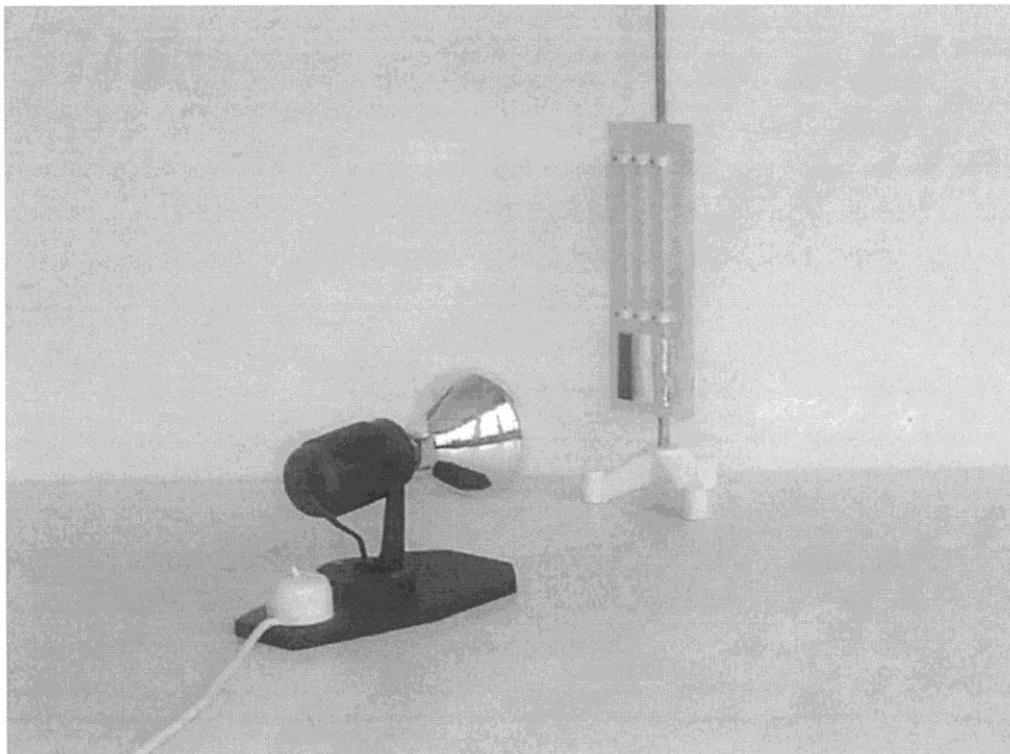
3. gyakorlat: Különböző felületek sugárzás-elnyelésének vizsgálata

Elméleti alapok

Itt ismét csak utalunk a III. fejezetre, annak is különösen a testek felmelegedésével és lehűlésével kapcsolatos gondolatmenetére (3 szakasz).

A gyakorlat végrehajtása

A testek energia-abszorpció útján történő felmelegedését, majd emisszió által történő lehülését a legegyszerűbben kis hőkapacitású testek (pl. hőmérők) segítségével tanulmányozhatjuk. A hőmérők lehetőleg azonos típusúak legyenek, hogy hőkapacitásuk is azonos legyen. Minden hőmérő folyadéktartó gömbjét lássuk el valamilyen hüvellyel, pl. az egyiket alufóliából készült, hüvellyel, a másikat fekete, a harmadikat fehér stb. hüvellyel. Ezután a hőmérőket helyezük a közvetlen napsugárzásra, vagy mesterséges fényforrás (pl. halogénlámpa) közelébe úgy, hogy azok a lámpától mért távolsága közel egyenlő legyen (**5.5 ábra**). A besugárzás kezdetétől mérjük az időt és az egyes hőmérőkön olvassuk le a hőmérséklet értékét. Amikor a hőmérsékletek már hosszabb idő elteltével sem nőnek számottevően, helyezük a hőmérőket árnyékba, vagy kapcsoljuk ki a besugárzó fényforrást. Ekkor a hőmérők csökkenő hőmérsékletét olvassuk le, szabályos időközönként. Megjegyezzük, hogy mind a felmelegedés, mind a lehülés folyamán kezdetben gyors a változás, ezért a leolvasásokat kezdetben rövidebb, később hosszabb időközönként lehet végezni (pl. kezdetben félpercenként, később 1 vagy 2 percenként).



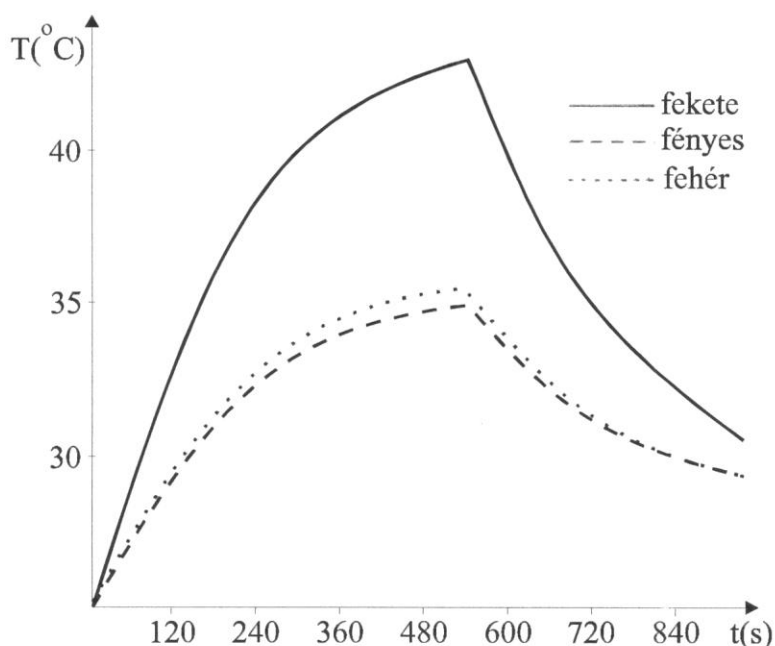
5.5 ábra

Kísérleti összeállítás a különböző színű felületek sugárzás-elnyelésének vizsgálatára

Az elvégzendő feladatok

Végezzük el a mérést a fent leírt módon. Az eredményeket rögzítsük táblázatos formában, majd ábrázoljuk az egyes hőmérőkön leolvasott hőmérséklet értékeket az idő függvényében. Hasonlítsuk össze a különböző színű burkolatok hatását a felmelegedésre és a lehűlésre, következtetéseinket írásban rögzítsük.

Tájékoztatásul az **5.6 ábrán** egy korábbi mérés eredményeit adjuk meg. A görbék menetéből látható, hogy mind a felmelegedéskor, mind a lehűléskor a változás a 3.17 és a 3.19 egyenletnek megfelelően exponenciális és aszimptotikusan közelít egy magasabb, ill. egy alacsonyabb hőmérséklethez. A változás mértéke és sebessége mindkét esetben a fekete burkolat esetén a legnagyobb, és az alufólia burkolat esetén a legkisebb.



5.6 ábra

Hőmérők különböző burkolattal. Felmelegedési és lehűlési görbék

4. gyakorlat: Egykörös sík kollektor vizsgálata termoszifonos keringetéssel

Elméleti alapok

A mérés során vizsgált berendezésnek csak a primer köre van kiépítve, amelyhez hasonló mediterrán és melegebb éghajlatú országokban használnak. A termoszifonos keringetést a spontán módon kialakuló konvektív áramlás hozza létre, így ez kevésbé intenzív, mint a keringető szivattyús áramlás. Ma már igen ritkán alkalmazzák, a gyakorlat célja éppen az, hogy ez a kapcsolási mód összehasonlítható legyen a keringető szivattyús megoldásokkal.

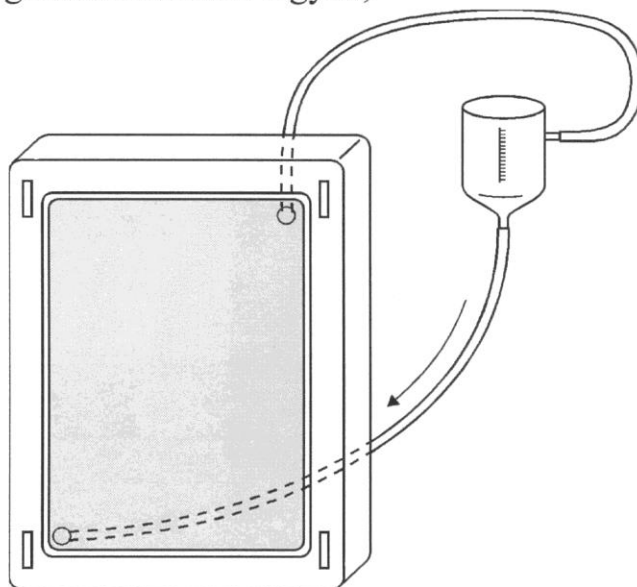
A működés elméleti alapjait tekintve itt csak utalunk a IV.2 fejezetben részletezett általános tudnivalókra.

A gyakorlat leírása

A gyakorlatot a Leybold-Didactic által forgalmazott laboratóriumi napkollektor-modell alapján ismertetjük. A készülék összeállítását az **5.7 ábra** szerint végezzük el. Az üzemi folyadék lehetőleg desztillált víz legyen, ezzel elkerülhető a csővezetékben a vízkő lerakódása.

Fontos, hogy a vízzel való feltöltést alulról fölfelé végezzük, így a csővezetékben lévő levegő könnyen eltávozhat. A termoszifonos összeállításnál igen kicsi az áramlás hajtóereje, ezért fontos a következő rendszabályok betartása.

- A csatlakozó műanyag csövek a lehető legrövidebbek legyenek,
- A csövekben ne legyenek éles kanyarok,
- Az áramlás légbuborékmentes legyen,



5.7 ábra

Laboratóriumi napkollektor termoszifonos keringetéssel

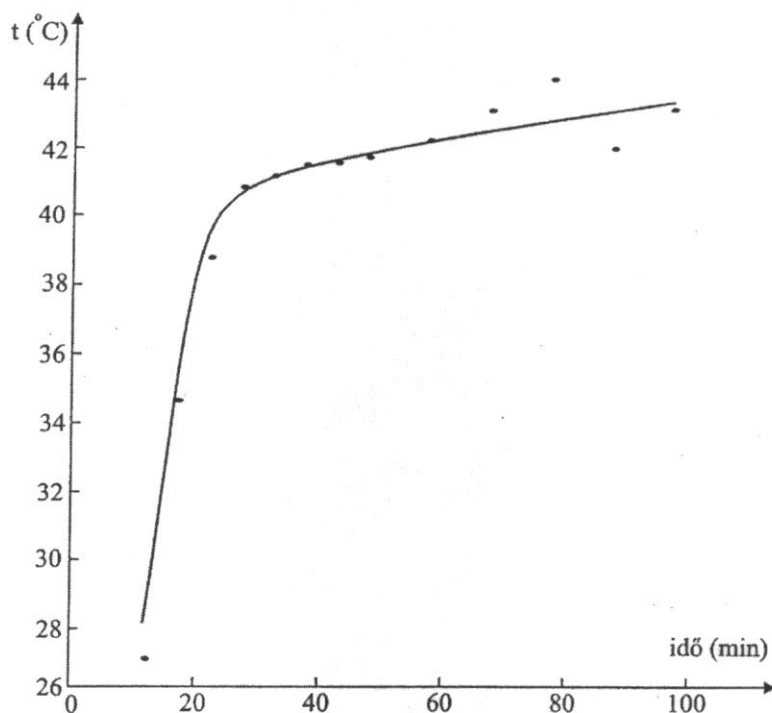
- A kiegyenlítő tartály felső (töltő) csöve a kollektor felső (kifolyó) nyílása fölött legyen,
- A csövek folytonosan emelkedő szögben álljanak.

A kollektor megvilágítását napfénnel, vagy borús időben nagyteljesítményű halogén lámpával biztosíthatjuk. Mindkét megvilágítási mód esetén a mérés előtt mérjük meg a kollektorra eső besugárzás nagyságát. A mérés közben ügyeljünk arra, nehogy túllépjük a gyártmányismertetőben megadott maximális kollektor hőmérsékletet.

Az elvégzendő feladatok

Állítsuk össze a berendezést a fenti útmutatásnak megfelelően. Végezzük el a besugárzás intenzitásának mérését. Ezután állandó megvilágítás mellett szabályos időközönként olvassuk le a kollektorba bemenő és kimenő víz hőmérsék-

letét, valamint a környezeti hőmérsékletet. Az adatokat táblázatos formában rögzítjük. Végül grafikonon ábrázoljuk a hőmérsékleteket az idő függvényében. A mérést lehetőleg addig folytassuk, amíg a kollektor vízhőmérséklete állandósul. Az **5.8 ábrán** – tájékoztató jelleggel – megadunk egy grafikont, amely egy korábbi mérés eredményét ábrázolja (a mérési pontok a be- és a kimeneti vízhőmérséklet átlagértékét mutatják).



5.8 ábra

Kollektor termoszfonos keringetéssel. Felmelegedési görbe

Látható, hogy a kollektor vízhőmérséklete igen gyorsan nő, de (különösen magasabb hőmérsékleteknél) nagy a bizonytalansága. Ennek oka a konvektív áramlás egyenetlensége; emiatt alkalmaznak keringető szivattyúkat.

5. gyakorlat: Egykörös sík kollektor vizsgálata szivattyús keringetéssel

Elméleti alapok

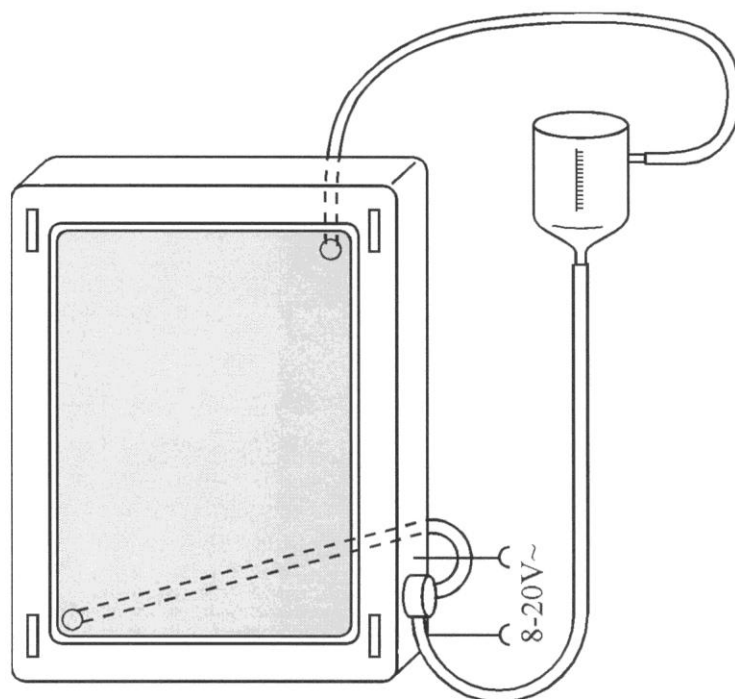
Ismét utalunk a IV.2. fejezetben összefoglalt általános tudnivalókra. Keringető szivattyú alkalmazásával a kollektor vízkörében az áramlás sokkal intenzívebbé válik, ezért itt nem kell külön gondot fordítani a csővezetékek lejtésére, a vezetékek hosszára stb.

A gyakorlat leírása

A berendezés összeállítását az **5.9 ábrán** mutatjuk be. A keringető szivattyút egy külön erre a célra beállított egyenáramú áramforrással üzemeltetjük. A mérés megkezdése előtt itt is – a 4. gyakorlathoz hasonlóan – mérjük a beeső su-

gárzás intenzitását akár napsugárzással, akár mesterséges megvilágítással végezzük a mérést.

Határozzuk meg a szivattyú vízszállítását is úgy, hogy a kiegyenlítő tartály üres állapotából kiindulva feltöltjük azt a szivattyúval és mérjük a feltöltéshez szükséges időt.



5.9 ábra

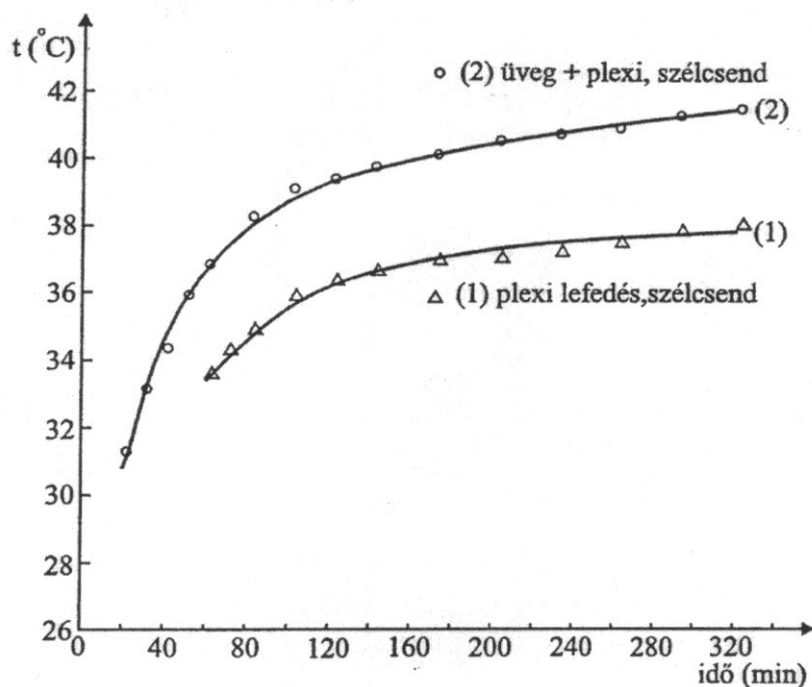
Napkollektor összeállítása keringető szivattyúval

A mérés során a megvilágítás kezdetétől mérjük az időt és a kollektor bemenő, ill. kimenő víz hőmérsékletét. Végül a mérési eredmények alapján a II.17. egyenlet alapján néhány mérési pontra számítsuk ki a kollektor hatásfokát, a kezdeti állapotból kiindulva a stacionárius végállapotig (amikor a hőmérsékletek időben állandósulnak).

Az elvégzendő feladatok

Állítsuk össze a készüléket az előzőekben megadott módon, végezzük el az előzetes méréseket. Ezután szabályos időközökben mérjük a be- és kimenő víz hőmérsékleteket lehetőleg addig, amíg azok állandósulnak. Az adatokat rögzítsük táblázatos formában, majd ábrázoljuk grafikusán. Néhány mérési pontra számítsuk ki a kollektor működési hatásfokát a 4.5 egyenlet alapján. Végül ábrázoljuk a hőmérsékleteket az idő függvényében. A mérést végezzük el üveglefedés nélkül és üveglefedéssel; az eredményeket hasonlítsuk össze. Korábbi mérések eredményeit az **5.10 ábrán** mutatjuk be, tájékoztató jelleggel (a mérési pontok a be- és kimeneti víz hőmérséklet átlagértékei). Látható, hogy a kettős

lefedés hő-visszatartása sokkal nagyobb, mint az egyszeres lefedésé, ennek megfelelően hatásfoka is magasabb.



5.10 ábra

Keringető szivattyús napkollektor felmelegedési görbéi

6. gyakorlat: Egykörös sík kollektor vizsgálata szivattyús keringetéssel, légáramlással

Elméleti alapok

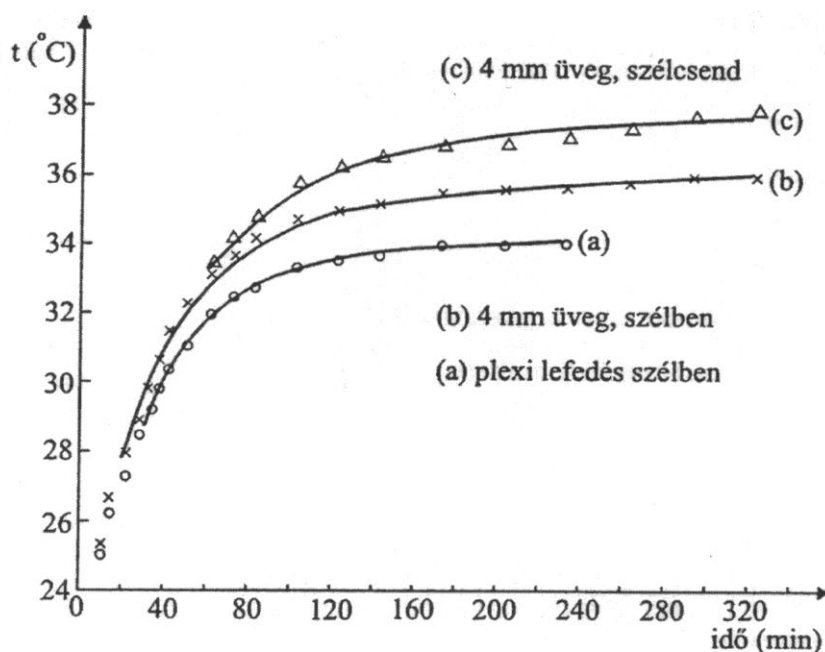
A IV.2 fejezetben részleteztük a veszteségeket, amelyek közül ebben az esetben a konvektív veszteségeknek van jelentős szerepe. Ezeket a 4.4 egyenlet fejezi ki (ld. ott), amelyben a k konvenciók tényező értéke ugrásszerűen megnő légáramlás esetén (kényszerített konvekció). Ebben az esetben a kollektor hatásfoka nyilvánvalóan jóval kisebb, mint szélcsend esetén. Ugyancsak utalunk a 4.5 egyenletre, amellyel a hatásfokot számítjuk a mérés végén.

A gyakorlat leírása

A berendezés összeállítását az **5.9 ábra** szerint végezzük el azzal a változtatással, hogy a légáramlás biztosítására a kollektor oldalához állítsunk be egy ventilátort, amelynek forgástengelye legyen párhuzamos a kollektor lapjának síkjával, és magassága kb. a kollektor közepén legyen (ld. még az 5.12 ábra bal oldali részét). A gyakorlat megkezdése előtt végezzük el az 5. gyakorlatnál leírt előzetes méréseket, ezen kívül egy kézi anemométer segítségével mérjük le a ventilátor által keltett légáramlás sebességét. A megvilágítás kezdetétől a mérést az 5. gyakorlathoz hasonló módon végezzük, a kollektor vízhőmérsékletének állandósulásáig.

Az elvégzendő feladatok

Állítsuk össze a készüléket és végezzük el az előzetes méréseket a leírt módon. Minden adatot rögzítsünk írásban. A megvilágítás kezdetétől mérjük az időt, valamint a be- és kimenő vízhőmérsékletet, minden adatot táblázatban rögzítünk. A mérést a hőmérsékletek állandósulásáig folytassuk. Végül ábrázoljuk a hőmérsékleteket az idő függvényében. A gyakorlatot végezzük el üveglefedés nélkül, és üveglefedéssel; az eredményeket hasonlítsuk össze. Tájékoztatóképpen az **5.11 ábrán** közöljük az ide vonatkozó korábbi mérések eredményeit (a mérési pontok minden esetben a be- és kimeneti vízhőmérséklet átlagértékei). A felmelegedési görbék közül jól érzékelhető a szél által okozott jelentős hőveszteség (hatásfok csökkenés), valamint az, hogy a szél okozta veszteség függ a lefedés anyagától is.



5.11 ábra

Keringető szivattyús napkollektor. Felmelegedési görbék légáramlással

7. gyakorlat: Kétkörös sík kollektor vizsgálata

Elméleti alapok

A kétkörös (primer és szekunder áramlási kört tartalmazó) sík kollektor elvi vázlatát a **4.6 ábrán** mutattuk be. Ebben az elrendezésben a hatásfok a primer és a szekunder kör hatásfokának szorzata:

$$\eta = \eta_p \eta_s \quad (5.3)$$

Mindkét hatásfokot a 4.5 egyenlet analógiájára számítjuk, de itt figyelembe kell venni, hogy a primer kör vize a szekunder kör vizét melegíti, a szekunder kör szempontjából ezért bemenő teljesítménynek a primer kör hőteljesítményét kell tekinteni. Az egyes hatásfokokat tehát a következőképpen számítjuk (p index = primér kör, s index = szekunder kör):

$$\eta_p = \frac{\left[\frac{\Delta m}{\Delta t} c (T_{ki} - T_{be}) \right]_p}{A_k I_k}$$

$$\eta_s = \frac{\left[\frac{\Delta m}{\Delta t} c (T_{ki} - T_{be}) \right]_s}{\left[\frac{\Delta m}{\Delta t} c (T_{ki} - T_{be}) \right]_p}$$

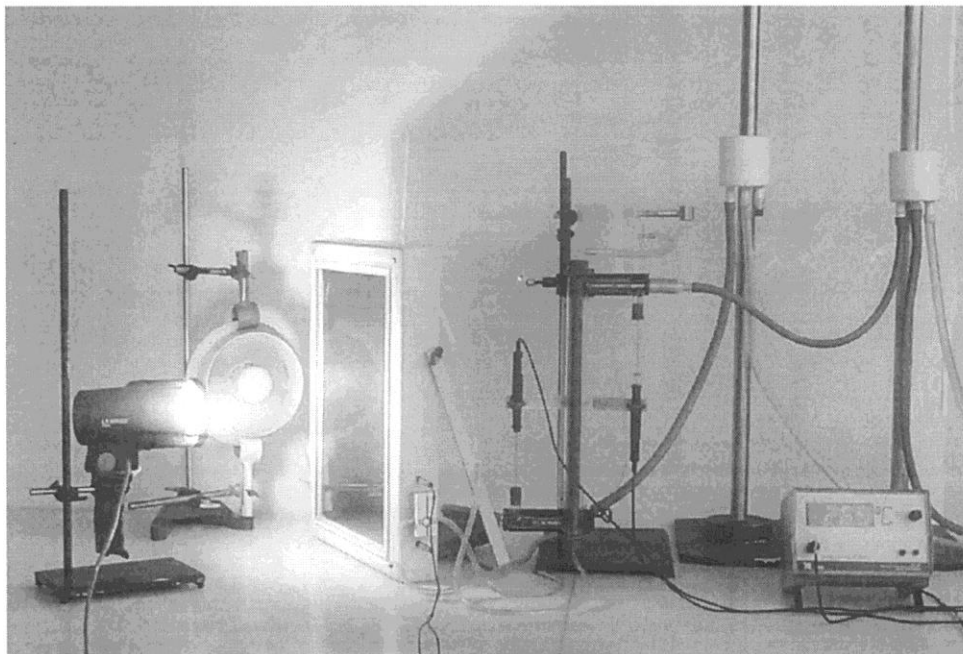
Figyelembe véve az 5.3 egyenletet és elvégezve az egyszerűsítéseket, a hatásfokot végül a következőképpen számítjuk:

$$\eta = \frac{\left[\frac{\Delta m}{\Delta t} c (T_{ki} - T_{be}) \right]_s}{A_k I_k} \quad (5.4)$$

ahol $\Delta m/\Delta t$ az időegység alatt az adott (primer-, vagy szekunder-) körön átáramló folyadéktömeg, c az alkalmazott folyadék fajhője, T_{ki} és T_{be} a ki- és beáramló folyadék hőmérséklete, A_k a kollektor felületének nagysága, I_k a kollektorra beeső sugárzás intenzitása.

A gyakorlat leírása

A kétkörös rendszerben üzemeltetett napkollektor és a mérőberendezés összeállítását az **5.12 ábrán** mutatjuk be (az ábrán balról jobbra: a megvilágító halogén-lámpa, ventilátor a kényszerített konvekció vizsgálatához, a napkollektor, az ellenáramú hőcserélő két hőmérő-érzékelővel, két szintszabályozó a hőcserélő áramlásának biztosítására és a hőmérő kijelzője).

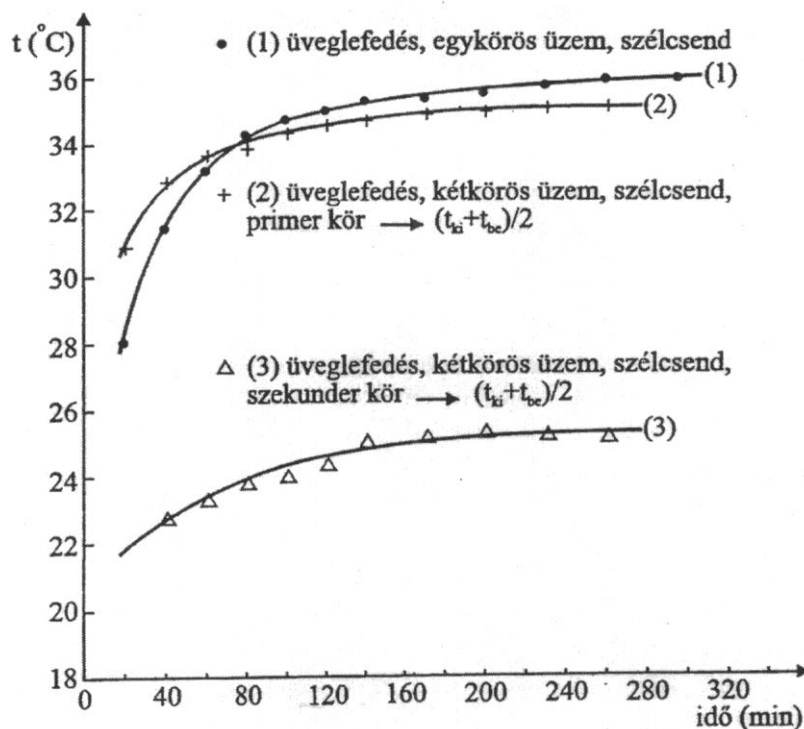


5.12 ábra

Napkollektor összeállítása kétkörös (hőcserélős) üzemelésre

Megjegyezzük, hogy az itt alkalmazott hőcserélő (két koncentrikus hengerben a hideg- és a meleg víz ellentétes irányban áramlik) a lehető legegyszerűbb változat, ipari rendszereknél a hőcserélők igen nagy felületű, bordázott kivitelben készülnek, hogy a hőátadás minél hatékonyabb legyen. A gyakorlat során a hőcserélőn a hálózati vízcsapról hideg vizet áramoltassunk át és ennek is mérjük hőmérsékletét a hőcserélő előtt és után. (A felvételen látható szintszabályozók a hőcserélő vízhozamának stabilizálását szolgálják.) Mérjük a szekunder körön átáramló víz mennyiségét is. A többi előzetes mérést ugyanúgy végezzük, mint az 5. gyakorlatnál.

A megvilágítás kezdetétől mérjük a primer kör és a szekunder kör vízhozamát, valamint mindkét körben a bemenő és a kimenő vízhőmérsékletet .



5.13 ábra

Kétkörös napkollektor felmelegedési görbéi

Az elvégzendő feladatok

Állítsuk össze a készüléket az **5.12 ábrán** látható módon. Végezzük el az 5. gyakorlatnál részletezett előzetes méréseket, majd a megvilágítás alatt mérjük a két kör be- és kimenő vízhőmérsékletét, lehetőleg az állandó érték eléréséig. Minden adatot rögzítsünk táblázatos formában. Végül ábrázoljuk grafikusán a vízhőmérsékleteket az idő függvényében. Tájékoztatásul egy kétkörös kollektorral végzett korábbi mérés eredményét mutatjuk be az **5.13 ábrán**. Összehasonlítás céljából megadjuk az egykörös változat felmelegedési görbét is.

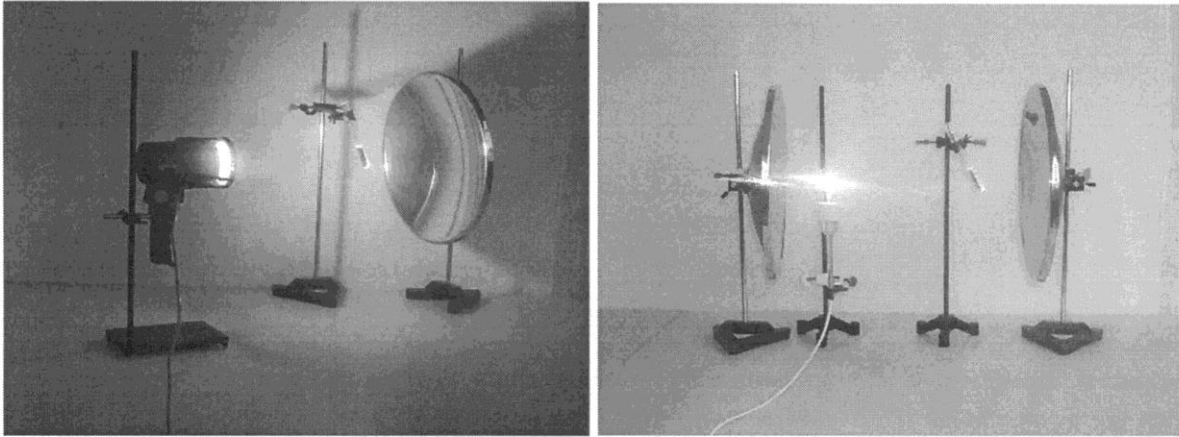
8. gyakorlat: Mérések koncentráló kollektorral

Elméleti alapok

Itt csak utalunk a IV.5 fejezetben a koncentráló kollektorokkal kapcsolatban leírt tudnivalókra.

A gyakorlat leírása

A gyakorlat során a Leybold-Didactic által forgalmazott 35 cm átmérőjű gömbtükör-kollektorral végrehajtható méréseket ismertetjük. Más cégek által forgalmazott készülékekkel hasonló mérések végezhetők. A kísérleti összeállítás két lehetséges változatát az **5.14 ábrán** mutatjuk be.



5.14 ábra
Vízforralás koncentráló kollektorral

1. A fókusz helyének megkeresése

Ha a gömbtüköröt napfényvel, vagy tőle kb. 1 m távolságra beállított halogénlámpával megvilágítjuk (egytükörös változat), a fókusz helyét igen könnyen megkereshetjük úgy, hogy egy papírlapot a fénysugarak útjának merőlegesen az optikai tengely mentén előre-hátra mozgatunk. A fókusz helyén a papírlapon kisméretű, éles határvonalú kör jelenik meg. Ennél pontosabb fókusz keresést tesz lehetővé, ha egy optikai padra helyezük a tükröt, a fényforrást és ezek optikai tengelyében mozgatunk egy érzékeny termoelemes hőmérőt. A maximális hőmérséklet helye adja a fókusz helyét. A kéttükörös változat esetén először egy távoli fényforrás segítségével valamelyik leírt módszerrel megkeressük az egyik tükrő fókuszát, majd oda egy (lehetőleg pontszerű) max. 100W teljesítményű fényforrást állítunk. Ennek bekapcsolása után párhuzamos fénynyaláb indul a tükörről a vele szembe állított másik tükrő irányában, amelynek fókuszát ismét a leírt módon határozzuk meg.

2. Víz forralása a fókuszban

A fókusz megkeresése után rögzítsünk egy állvány segítségével egy kémcsövet úgy, hogy annak alsó része a fókuszban legyen. Töltsünk néhány cm^3 vizet a kémcső aljára, és figyeljük. Néhány perc múlva a víz forni kezd. Ugyanezt a mérést végezzük el úgy, hogy a kémcsövet fehér, majd fekete papírba burkoljuk. Hasonlítsuk össze a víz felforralásához szükséges időtartamokat. (A reális összehasonlítás céljából mindig ugyanolyan térfogatú és hőmérsékletű vízzel kezdjük a kísérletet.) Számítsuk ki az egyes esetekben a folyamat hatásfokát úgy, hogy hasznos teljesítménynek a vízforraláshoz szükséges hőteljesítményt, befektetett teljesítménynek a gömbtükörrre érkező napfény (vagy mesterséges fény) besugárzási teljesítményét tekintjük.

Az elvégzendő feladatok

Allítsuk össze a kísérleti berendezést az **5.14 ábra** valamelyik változatának megfelelően. Keressük meg a tükör fókuszpontjának helyét a leírt módszerekkel. Jegyezzük fel a fókusz-távolságot, és a fókuszpontban mért hőmérsékletet. Végezzük el a vízforralási kísérletet a megadott kétféle módon. Számítsuk ki a folyamat hatásfokát.

9. gyakorlat: Napelemek áram-feszültség karakterisztikájának vizsgálata

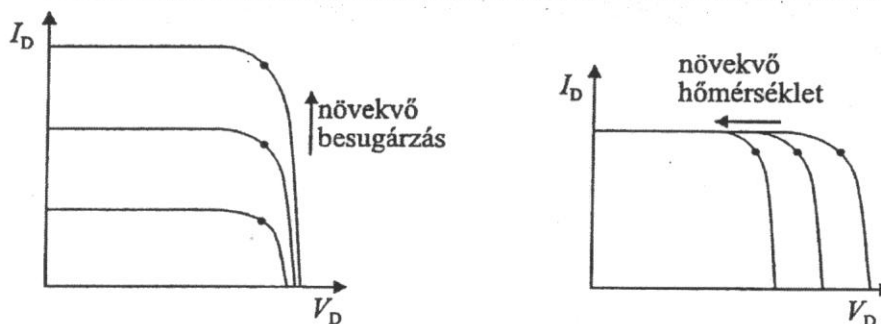
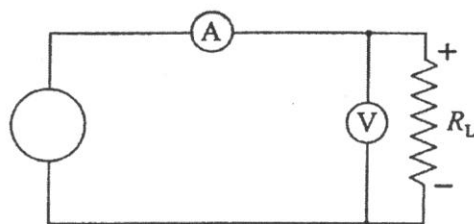
Elméleti alapok

Az elméleti tudnivalókkal kapcsolatban utalunk a IV.3 fejezetben adott összefoglalóra, valamint a **4.9 ábrára**. A gyakorlat leírását a Leybold által forgalmazott STE gyártmányú napelemre adjuk meg, de természetesen más gyártmányokkal is elvégezhető a mérés. Az STE napelem négy egymástól független egységből áll, amelynek feszültsége egyenként 0,5 V, rövidzárási áramuk kb. 0,3 A. A négy elemet sorba kapcsolva az egység üresjárású feszültsége 2 V, rövidzárási árama 0,3 A; párhuzamos kapcsolásban ezek az értékek: 1 V és 0,6 A. A napelem spektrális érzékenysége tartománya 400 nm-1200 nm, maximális érzékenysége 800 nm-nél van.

Üzemeléskor a megvilágítás történhet napfényvel vagy mesterséges fényforrással. Az utóbbi lehet halogénlámpa, vagy halogén izzós reflektor (floodlight), amelynek teljesítménye 1000 W. Ezzel a maximális 0,3 A rövidzárási áramot 0,5 m megvilágítási távolság esetén kapjuk. A kísérletek során a teljes felületet egyenletesen kell megvilágítani. A mérések idejére, ha azokat zárt helyiségben végezzük, célszerű besötétíteni, hogy a külső fény beszűrődését megakadályozzuk.

A gyakorlat leírása

Az STE napelemet építsük be az **5.15 ábra** szerinti áramkörbe, majd világítsuk meg mesterséges fényforrással. A terhelő ellenállás változtatásával mérjük az összetartozó feszültség és áramerősség értékeket. Az ellenállás értékét kis lépésekben változtassuk, vizsgáljuk a zérus ellenálláshoz (rövidzáráshoz) és a végtelen nagy ellenálláshoz (üresjáráshoz) tartozó állapotokat is. Ezt a mérést végezzük el különböző megvilágításokkal (pl. úgy, hogy változtatjuk a megvilágító fényforrás és a napelem távolságát). A feszültség-áram karakterisztikák várható alakulására az **5.15 ábrán** tájékoztatásul közölt görbesereg ad tájékoztatást. (Ugyanitt ábrázoltuk a karakterisztika várható alakulását a hőmérséklet változásától függően.)



5.15 ábra

Napelem áramköri kapcsolása és várható karakterisztikái

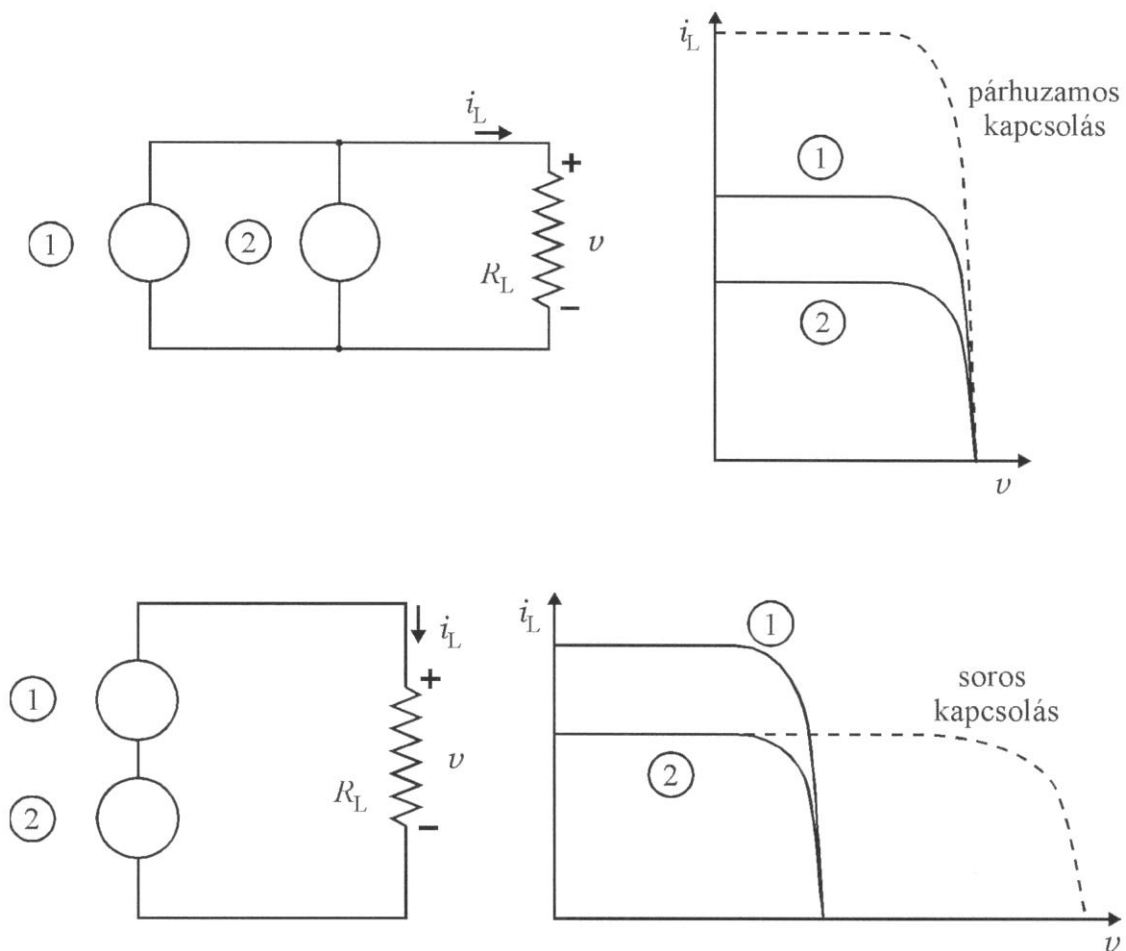
Az elvégzendő feladatok

Állítsuk össze az áramkört a megadott módon. Legalább három különböző megvilágításnál vegyük fel a napelem karakterisztikáját. Előzetesen besugárzásmérő segítségével (pl. a Moll-féle műszerrel) mérjük meg az egyes megvilágításhoz tartozó besugárzási teljesítmény értékét. Minden adatot rögzítsünk táblázatos formában. Végül ábrázoljuk grafikusán a kapott karakterisztikákat. Minden egyes karakterisztika néhány jellegzetes pontjára számítsuk ki a napelem hatásfokát a 4.13 egyenlet alapján. Állapítsunk meg összefüggést a megvilágítás erőssége, a munkapont helye és a hatásfok között.

10. gyakorlat: Napelemek vizsgálata. Kapcsolások összehasonlítása

Elméleti alapok

Az általános elméleti alapokat illetően utalunk a IV.3 fejezet bevezető ismertetésére. A mérés során használandó STE napelem műszaki adatait illetően a 9. gyakorlat bevezető szakasza érvényes. A gyakorlat során két napelem soros és párhuzamos kapcsolása esetén kialakuló állapotokat vizsgáljuk. Ez az eset analóg az áramforrások soros és párhuzamos kapcsolásával. Ennek megfelelően a két esetben várható áramköri jellemzők az **5.16 ábra** szerint alakulnak. Soros kapcsolásnál a napelemek feszültsége, párhuzamos kapcsolásnál áramerőssége adódik össze. A tájékoztatásul közölt karakterisztikáknál figyelembe vettük, hogy a két napelem nem teljesen egyforma, ezért karakterisztikájuk is kissé eltér. Ugyanez várható a gyakorlat során használt napelemek esetében is.



5.16 ábra

Napelemek párhuzamos- és soros kapcsolása

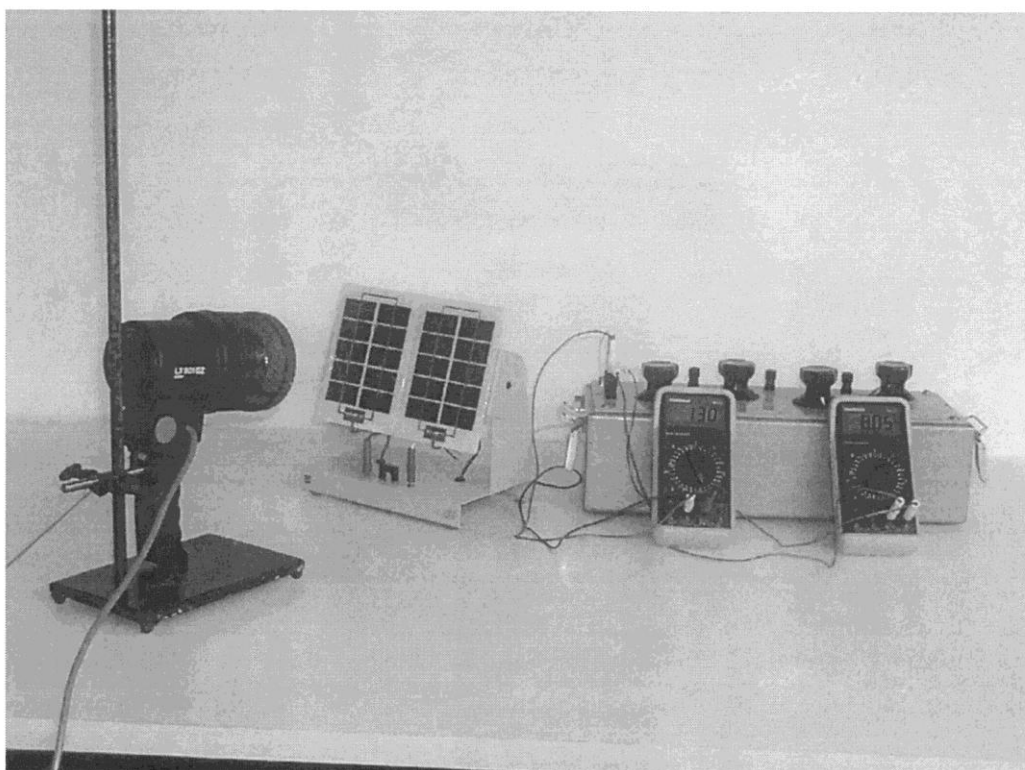
A gyakorlat leírása

A soros és párhuzamos kapcsolás vizsgálata előtt mérjük ki az alkalmazandó két napelem karakterisztikáját külön-külön a 9. gyakorlatban részletezett eljárással. A karakterisztikákat ugyanakkora megvilágítással mérjük ki mindkét napelemre

Ezután állítsuk össze a párhuzamos kapcsolást az **5.16 ábrának** megfelelően. Világítsuk meg a két napelemet úgy, hogy azok beeső fényintenzitása (a világító testtől való távolsága) egyenlő legyen, és megegyezzen az egyedi mérés megvilágításával. Ezután a terhelő ellenállás kis lépésekben történő változtatásával mérjük ki a sorba kapcsolt napelemek eredő karakterisztikáját.

Állítsuk össze a soros kapcsolást is az **5.16 ábrának** megfelelően, és erre az esetre is végezzük el a fenti mérést.

(Az **5.17 ábrán** egyik saját kísérleti összeállításunk képét közöljük.)



5.17 ábra

Kísérleti berendezés összeállítása napelemek vizsgálatára

Az elvégzendő feladatok

Mérjük ki a napelemek karakterisztikáját külön-külön, minden adatot rögzítsünk táblázatban és ábrázoljuk a két karakterisztikát ugyanabban a koordináta-rendszerben. Végezzük el a karakterisztika felvételét a soros és a párhuzamos kapcsolásra is, és ábrázoljuk a karakterisztikákat külön-külön. A 9. gyakorlathoz hasonlóan mind a soros, mind a párhuzamos kapcsolat esetében az eredő karakterisztika néhány jellegzetes pontjára számítsuk ki a hatásfok értékét a 4.13 egyenlet alapján.

VI. A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK PERSPEKTÍVÁI

Rövid történeti áttekintésünkben (II. fejezet) kitűnik, hogy bizonyos időszakokban, amikor a meglévő energiaforrások fogyatkozni látszottak, az emberiség újra meg újra a napenergia passzív és aktív felhasználása felé fordult. Amikor új, bőségesen rendelkezésre álló tüzelőanyagok jelentek meg, a napenergia nyomban „gazdaságtalanná” vált és az érdeklődés elfordult tőle. Így volt ez Kaliforniában és Floridában, amikor a századfordulón és utána még évtizedekig virágzó napkollektor-ipar fejlődött ki, majd később az olcsó gáz és elektromos energia teljesen háttérbe szorította. Voltak időszakok, amikor nem találtak alternatív tüzelőanyagot, pl. az ókori Görögországban, vagy Rómában, ahol a szoláris építészet évszázadokon át virágzott.

A világ mai energia-helyzete sok tekintetben emlékeztet a görög-római időszakra. A hagyományos tüzelőanyagok egyre fogyatkoznak és egyre drágábbak, a szóba jövő alternatív energiaforrások pedig korlátozottak. Az atomenergia, amelyet néhány évtizeddel ezelőtt az energiaprobléma végleges megoldásának vélték, jelenleg intenzív kritikai újraértékelés tárgya. A rendkívül magas beruházási költségek, a biztonságos hulladék elhelyezés megoldatlansága, a katasztrofális balesetek kockázata és annak lehetősége miatt, hogy a nukleáris fűtőanyagból atomfegyvert lehet gyártani, az atomenergia sokak számára elfogadhatatlan alternatíva. A szoláris építészet és technika több, mint 2000 éve folyamatosan fejlődik. A jelenlegi műszaki megoldások hosszú idő fejlődésének eredményei, és ezek új anyagok bevezetése és a gyártási eljárások fejlesztése révén ma is állandóan fejlődnek. A Nap igen jól hasznosítható, gyakorlatilag kimeríthetetlen energiaforrást kínál az emberi civilizáció számára olyan távoli jövőben is, amikor a fosszilis tüzelőanyagok már rég eltűnnek. Sokan még ma is „egzotikusnak”, vagy „kiforratlannak” ítélik a napenergia alkalmazás technikai megoldásait. A reális trendek viszont azt mutatják, hogy azok az akadályok, amelyek jelenleg széles körű alkalmazását gátolják, hamarosan teljesen eltűnnek, amint a fosszilis tüzelőanyagok drágulnak és készletük fogy. Sokak szerint már most egy hosszantartó napenergia-korszak küszöbén állunk.

A történelem sok tanulságot kínál, hogyan lehetne ebbe az új korszakba zökkenőmentesen átlépni. Az előző generációk sikerei és kudarcai útikalauzként szolgálhatnak a napenergia-alkalmazások fejlesztésében. A legfontosabb tanulság azonban az, hogy a napenergia reális alternatívája lehet az egyre fogyó fosszilis energiaforrásoknak. A Római Birodalom gályáit, amelyek messze földről fát szállítottak a Birodalom energia-gondjainak enyhítésére, mára olajszállító tankhajók váltották fel, amelyek a Perzsa-öbölből a világ nagyobbik részét folyékony üzemanyaggal látják el. Az okozott környezeti problémák mindkét korszakban jelentősek. A Nap azonban változatlan energiával sugárzott akkor is, amikor Észak-Afrika erdőit teljesen kiirtották, és változatlan erővel sugároz majd akkor is, amikor már az összes olaj és gázkutak rég kiapadtak.

A változás szükségességének felismerése – szerencsére – nemzetközileg is jelentős lépéseket eredményezett az utóbbi évtizedben. Az UNESCO Szoláris Világprogramja (1996) mind a fejlődő, mind a fejlett országok számára kitűz elérendő célokat. A fejlődő országokban a távol eső területek villamosítása a napenergia-hasznosítás egyik fontos területe. A fejlett országok a megújuló energiaforrások részarányának növelését tűzték ki célul. Az Európai Unió stratégiai fejlesztési programját az „Energia a jövőért: Megújuló energiaforrások” c. Fehér Könyv (1997) tartalmazza. Ez felhívja a tagállamok döntéshozóinak figyelmét a megújuló energetikai technológiák fontosságára azzal, hogy az EU tagországok területén 2010-ig a teljes primer energiafelhasználáson belül a megújuló energiaforrások részaránya érje el a 12%-ot.

A távolabbi jövőt illetően az előrejelzések bizonytalanabbak, de a fosszilis tüzelőanyagok rohamos fogyása és a környezeti problémák súlyosbodása miatt szükségszerű a megújuló energia részarányának további növelése a világ energiafelhasználásában. Az is nyilvánvaló, hogy a meglévő energiaellátó rendszerek ennek megfelelő átalakításához hosszú idő szükséges. A probléma komplexitását találóan fejezi ki az Egyesült Államok Tudományos Akadémiájának állásfoglalása: „Fontos annak hangsúlyozása, hogy az energiaprobléma nem az energiaforrások fizikai értelemben vett hiányából adódik. A környezetbarát energiaforrások alkalmazásának több reális alternatívája létezik, ezek – potenciálisan – hozzáférhetők a világ valamennyi országa számára. A probléma sokkal inkább az, hogy biztosítani tudjuk a társadalmilag-gazdaságilag elviselhető, zökkenőmentes átmenetet a fokozatosan kimerülő olaj- és gázkészletek felől az új technológiák felé, amelyek lehetőségeit, gazdasági vonatkozásait ma még becsülni sem tudjuk. Az átmenet időtartama – a tervezés és a fejlesztés időszaka – legalább fél évszázadra becsülhető. Alapvető kérdés, vajon lesz-e elég kitartásunk, bölcsességünk és szerencsénk ahhoz, hogy ez az elkerülhetetlen átmenet rendben, zökkenőmentesen megtörténjen.”

VII. A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSA MAGYARORSZÁGON

Magyarország nyugati normák szerint kiemelten nagy energiafogyasztónak számít. Az egy főre eső energiafogyasztás Japánnal közel azonos, ugyanakkor az egy főre eső GDP csak 1/4-e a Japán értéknek. Ez a pazarló energiafelhasználás több tényező eredményeképp jött létre; ezek közül a legfontosabbak: az épületeknél alkalmazott rossz hőszigetelési technikák (jelenleg a lakóépületek 95%-a nem felel meg az érvényben lévő hőtechnikai szabványoknak!), az elavult fűtőberendezések, a rossz hatásfokú energiatermelés, a takarékos felhasználást ösztönző árrendszer és a megújuló energiával kapcsolatos tudatformálás hiánya.

A megújuló energiaforrások részesedése az ország energiaellátásából jelenleg kb. 2-4 %, a vízerőműveket is beleértve. Ezt az értéket az EU elvárásainak megfelelően 2010-re 12 %-ra kell emelni. A biomasszában és a geotermikus energiában rejlő lehetőségek a becslések szerint csak rövid távra jelentenek megoldást, hosszú távú megoldást egyedül a napenergia kínál.

Hazánkban a napsugárzás energiasűrűségének átlagértéke 1260 kWh/m²év, a napsütéses órák száma átlagosan 2150 óra/év; mindkettő magasabb, mint az európai átlag. A napenergia tekintetében jobb helyzetben vagyunk, mint Hollandia, Dánia, Svájc, Németország és Ausztria, amely országokban a napenergia hasznosításának széleskörű elterjesztése az időben történt gazdasági alapfelismerés eredményeképp évtizedek óta kormányzati célkitűzés. Az említett országok jelentős napenergia eszköz gyártó iparral (és ami szintén fontos: jelentős tudatformáló programokkal) rendelkeznek.

Az utóbbi időben nálunk is öröndetes fejlődésnek indult a napenergia-ipar. Az Interneten a már idézett www.napenergia.lap.hu honlapon jelenleg (2002-09-01) 30 gyártó adatait lehet megtalálni. Az alábbiakban ezek közül néhánynak tevékenységét ismertetjük röviden. (A hivatkozott honlapon további részletek találhatóak.)

OLYMPIC

5672 Murony II.ker. 8/1.

Főbb tevékenységek: napkollektorok tervezése, gyártása, szerelése, az alábbi célokra:

- háztartási melegvíz előállítása,
- lakóépületek fűtése,
- ipari hőszolgáltatás.

FIorentini Hungary Kft.

1103 Budapest, Gergely-u. 83.

Főbb tevékenységek: napkollektorok, kollektor-rendszerek előállítása és üzembe helyezése, az alábbi alkalmazásokra:

- lakóházak melegvíz ellátása,
- lakóházak fűtése,

- uszodák fűtése,
- középületek fűtése, melegvízellátása stb.

NAPLOPÓ Kft.

1138 Budapest, Jakab József-u. 17.

Főbb tevékenységek: napkollektorok, kollektor-rendszerek előállítása és üzembe helyezése, az alábbi alkalmazásokra:

- lakóházak melegvíz ellátása,
- lakóházak fűtése,
- uszodák fűtése,
- középületek fűtése, melegvízellátása stb.

HELIOTECH Bt.

7624 Pécs, Ifjúság u. 11.

Főbb tevékenységek:

- fűtés napenergiával,
- melegvíz előállítása,
- szolártechnika,
- megújuló energiát hasznosító berendezések.
-

PANNON SOLAR Innovációs Kft.

1147 Budapest, Istvánffy u. 11/a.

Főbb tevékenységek:

- tetőkollektorok szerelése,
- padlófűtés szerelés,
- falfűtés szerelés,
- előzetes energetikai tervezés,
- ingyenes energetikai tanácsadás.

NAPENERGIA Hasznosító és Forgalmazó Kft.

6800 Hódmezővásárhely, Nyárfa u. 65.

Főbb tevékenységek:

- napkollektorok tervezése, gyártása, szerelése,
- napelemes tápellátó rendszer tervezése, kivitelezése,
- szolártechnika.

DUNASOLAR Napelemgyártó Rt.

1108 Budapest, Kozma u. 7.

Az egyetlen hazai napelemgyártó cég (amorf szilícium napelemeket gyártanak, amerikai licence alapján).

Főbb tevékenységek:

- napelemek, napelem-panelek gyártása,

- háztartási rendszerek napenergiás ellátása,
- napelemes erőművi rendszerek kivitelezése,
- napelemes háztartási és mezőgazdasági készülékek forgalmazása,
- energiaátalakítók (inverterek) forgalmazása,
- energiatároló (akkumulátoros) rendszerek tervezése, kivitelezése.

ISOSOLAR Kft.

2001 Szentendre, Pf. 309

Az Isosolar egy szabadalommal védett napenergia-ellátó rendszer. Napkollektorok és napelemek kombinációjából áll és teljes körű energiaellátásra (hő- és melegvíz szolgáltatás, valamint elektromos energiaellátás) képes. A cég az Isosolar rendszer tervezésével, gyártásával és forgalmazásával foglalkozik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző ezúton szeretné köszönetét kifejezni Dr. Imre László Professzor Úrnak, az anyag előzetes átnézése nyomán adott sok hasznos észrevételéért, útmutatásáért, valamint a BMGE és a Napenergia Társaság kiadásában e tárgykörben megjelent jegyzetek, tervezési segédletek rendelkezésre bocsátásáért. Köszönet illeti Dr. Farkas István Professzor Urat is, akinek tanszéki rendezvényei, bemutatói rendkívül tanulságosak és hasznosak voltak mind a szerző, mind kollégái számára.

Dr. Vida József, főiskolai docens, a kötet grafikai szerkesztését végezte igen magas minőségi igényrel; Zoller Gábor tanszéki asszisztens a laboratóriumi méréseket végezte nagy körültekintéssel, valamint a kísérleti összeállítások fényképeit készítette el. A szerző mindkettejüknek ezúton fejezi ki köszönetét.

Végül köszönet illeti Dr. Nyilas István főiskolai docenst a kötet gondos átnézéséért, az anyag jobbítását szolgáló hasznos észrevételeiért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Barótfi, I. (szerk.): Energiafelhasználói kézikönyv.
KÖTECH. Budapest, 1993.
- Boeker, E. and Grondelle, R.: „Environmental Physics.”
John Wiley and Sons, New York, 1995.
- Butti, K. and Perlin, J.: A Golden Thread.
(2500 years of solar architecture
and technology.)
Marion Boyars, London-Boston, 1980.
- Imre, L.-Bitai, A.-Hecker, G.: Megújuló energiaforrások.
Felsőfokú oktatási segédlet.
BMGE Energetika Tanszék, Budapest, 2000.
- Imre, L.-Varga, P.: Napenergia aktív hőhasznosítás.
Oktatási segédlet és gyakorlati útmutató.
Magyar Napenergia Társaság, Budapest, 1997.
- Kreith, F. and West, R.E.
(editors): CRC Handbook of Energy Efficiency.
CRC Press. New York, London, 1997.
- Leybold-Didactic: Napenergia-eszközök gyártmányismertetői
- Pálfy, M.: Fotovillamos áramellátó berendezések.
Oktatási segédlet és gyakorlati útmutató.
Magyar Napenergia Társaság, Budapest, 2000.
- Szűcs, M.: Szoláris bioklimatikus építészet.
A napenergia építészeti hasznosítása.
Oktatási segédlet és gyakorlati útmutató.
Magyar Napenergia Társaság, Budapest, 2000.
- Vajda, Gy.: Energiaforrások. Ezredforduló.
(Stratégiai kutatások a Magyar
Tudományos Akadémián.) 1998/6. sz.
- Zöld, A.: Energiatudatos építészet.
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.

Internet-elérési lehetőségek:

<http://fenyi.sci.klte.hu>

(Az MTA Napfizikai Observatóriumának honlapja)

www.mek.iif.hu

(A Magyar Elektronikus Könyvtár természettudományi alkönyvtára)

<http://www.isosolar.hu/napmo.html>

(az Isosolar Kft. honlapja, ld. még Függelék)

www.eurorex.com

(a megújuló energiával kapcsolatos európai hírek, legújabb fejlesztések)

www.energycentre.hu

(az Energia Központ Kht. honlapja)

www.omgk.hu

(a megújuló energia mezőgazdasági hasznosításáról ad tájékoztatást)

www.nrel.gov

(a National Renewable Energy Laboratory /USA/ honlapja; széleskörű tájékoztatást ad a megújuló energiaforrásokról, felhasználásukról és az ezzel kapcsolatos kutatás-fejlesztés legújabb állásáról)

www.napenergia.lap.hu

(a napenergiával kapcsolatos magyar honlap: általános tájékoztatást ad a napenergia hasznosításának módjairól, cégismertetőket, tervezési segédleteket tartalmaz)

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
I. A Nap működése és életeciklusa	
1. Általános jellemzés	2
2. Szerkezete, működése	2
3. Fizikai folyamatok a Nap felszínén és atmoszférájában	3
4. A Nap keletkezése	6
5. A Naprendszer kialakulása, a Nap fősorozati életszakasza	7
6. Hanyatlás a fősorozati életszakasz után	7
7. A végkifejlet: fehér törpe csillag	8
II. Rövid történeti áttekintés	
1. Szoláris építészet az ókori Görögországban	10
2. Szoláris építészet a Római Birodalomban	11
3. Középkor és reneszánsz	11
4. Az üvegházak térhódítása	12
5. Forró dobozok	13
6. A demonstrációtól az ipari alkalmazásig	14
7. Vízmelegítés napenergiával	18
8. Napenergia az építészetben	20
9. Az M.I.T. napházai	21
10. Telkes Mária munkássága	22
11. Napenergiából elektromos energia	24
12. Energia-dilemmák a 20. sz. második felében	25
III. A Nap sugárzásának jellemzői	
1. Sugárzási törvények, a légkör szerepe	27
2. A napenergia eloszlása a Föld felszínén	28
3. Különböző felületek emissziója és abszorpciója	32
4. Az üvegház működése. A légköri üvegházhatás	34
IV. A napenergia hasznosításának műszaki megoldásai	
1. Szoláris építészet – közvetlen hőhasznosítás	36
2. Szoláris épületgépészet – napkollektorok	39
3. Fotovillamos (PV) energia-átalakítók (napelemek, napelemrendszerek)	44

4. Komplex rendszerek	50
5. Nap-hőerőművek	51
6. Az energia tárolása	57
Tüzelőanyag-cellák	59
V. Laboratóriumi mérőgyakorlatok	
Sugárzások emissziója és abszorpciója (1...3. gyakorlat)	61
Napkollektorok vizsgálata (4...8. gyakorlat)	67
Napelemek vizsgálata (9-10. gyakorlat)	77
VI. A napenergia hasznosításának perspektívái	81
VII. A napenergia hasznosítása Magyarországon	83
Köszönetnyilvánítás	85
Felhasznált irodalom	86
Internet elérési lehetőségek	87
FÜGGELÉK	
Játékos napenergia kísérletek általános iskolásoknak (12 játékos kísérlet szakköri és tábori foglalkozásokra)	88